



# **Aireztatutako Fatxaden Portaera Energetikoaren Karakterizazio Esperimentala**

*César Escudero Revilla*

2016



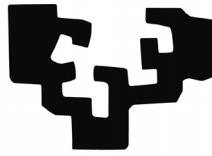


**Fotografía portada:**  
***James Natchwey***





eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea



*Makina eta Motor  
Termikoak Saila  
Departamento de Máquinas  
y Motores Térmicos*

# Caracterización Experimental del Comportamiento Energético de Fachadas Ventiladas

César Escudero Revilla  
(Ingeniero Industrial)

Universidad del País Vasco (UPV/EHU), en cumplimiento con los  
requisitos para el grado de doctor dentro del programa de doctorado  
Ingeniería Térmica del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos

Directores de Tesis:  
Dr. José María Pedro Sala Lizarraga  
Dr. Koldobika Martín Escudero

Vitoria-Gasteiz, 2016





## LABURPENA

Tesi lan honetan ideia argi baten alde egiten da, fatxada aktiboko erabilera eguzki ustiapenerako etxebizitza klimatizazioan eraikinetan. Era horretan, iturri fosiletako kontsumoa murrizteko eta kontsumo baliogabeko eraikinen helburura heltzeko baimentzen duen energia berriztagarriko osagai berri bat erabiltzen da. Baina ideia hau betetzeko beharrezkoa da sistema aktibo hauen diseinu fidagarria egin ahal izateko erreminta egokiak edukitzea. Eta funtsean, erreminta hauek bi dira: entsegu ekipamendua portaera energetikoa era esperimentalean ikertzea baimen dezala eta modelo termikoek eraikin-eskalarako ekarpen erreala analizatzea baimen dezatela. Beraz, tesi honek bi aspektu horiek betetzen dituzten bi zati argi bereizten ditu.

Tesiko lehen partea da kanpoko baldintzetarako karakterizazio ekipamendu baten puntuan jartzea fidagarritasun handiarekin estudioak egitea baimen dezala maila berera normalizatutako entseguak baino. Horretarako, *PASLINK* zelda bat erabiltzen da gaurko *DYNASTE* sareak garatutako ekipamendua. Ekipamendu hauek prestaziorik onenak aurkezten dituzte eskala errealerako probetekin entseguak egiteko. Memoriako lehen parte honetan deskribatzen da instalazio prozesua, ekipamenduaren kalibrazioa, eta *IQ-Test*-ari izena emanda trazabilitate-entsegu bateko egitearen bitartez emaitzen ziurgabetasun estudioa. Atal honek entseguaren errealizaziorako gidaliburu bat izan nahi du kanpoko baldintzetan funtsezko alderdi guztiak begiesten dituelako: ekipamenduaren eta instrumentazioaren oinarrizko ezaugarriak, entsegu metodologia, eta datuen tratamendua.

Bigarren parteak aireztatutako fatxadetako hiru tipotara egindako entseguen datu esperimentalak jasotzen ditu. Entseatutako probetako multzoan nahi da diseinualdagai posible guztiak erregistratzea, orri astunetarainoko orri arinetatik, eta aireztatutako ganberan konbekzio naturalagatik aire mugimenduko behartutara. Gainera fatxada pasiboa erreferentzia eta konparaziozkoa bezala entseatzen da. Aireztatutako fatxada arineko tipologia aukeratzen da modelatze-prozesurako, eraikuntzako sektorean hedatuena izateagatik, bai eraikuntza berrirako bai birgaitzerako. Eta fatxadaren portaera termikoaren modelo matematikoa garatzen da. Pauso honetan ez ezik lortutako azkeneko modeloa ere interesgarria da. Gainera, egindako lan prozesuak balio du beste fatxada aktiboko edozein tiporen modelatzeko. Azkeneko modeloa TRNSYS erremintan inplementatzen da eraikinaren eskalan analisi energetikoa egiteko. Emaitzek fatxada aktiboek duten potentzial handia erakusten dute aire-errezel batek xurgatutako beroaren bitartez eguzki-energiako hartzeko geroago etxebizitza klimatizazioan bero-garraiataile bezala erabil daitekeen fluido gisa balio duena.

## RESUMEN

En este trabajo de tesis se apuesta por una idea clara, el uso de fachadas activas en edificios para el aprovechamiento solar en la climatización de viviendas. De esta forma se introduce un nuevo componente de energía renovable que permite reducir el consumo de fuentes fósiles y alcanzar el objetivo de edificios de consumo nulo. Pero para que esta idea se haga realidad es necesario disponer de las herramientas adecuadas para poder hacer un diseño fiable de estos sistemas activos. Y estas herramientas son básicamente dos: un equipo de ensayo que permita estudiar experimentalmente el comportamiento energético, y unos modelos térmicos que permitan analizar el aporte real a escala de edificio. Por tanto, esta tesis se divide en dos partes claras que cubren ambos aspectos.

La primera parte de la tesis consiste en la puesta a punto de un equipo de caracterización en condiciones exteriores que permita realizar estudios con la misma fiabilidad que los ensayos normalizados. Para ello se emplea una celda *PASLINK*, equipo desarrollado por la actual red *DYNASTE*. Estos equipos presentan las mejores prestaciones para realizar ensayos con probetas a escala real. En esta primera parte de la memoria se describe el proceso de instalación, calibración del equipo, y estudio de incertidumbres de los resultados mediante la ejecución de un ensayo de trazabilidad denominado *IQ-Test*. Este apartado pretende ser una guía para la realización de ensayos en condiciones exteriores ya que recoge todos los aspectos fundamentales: características básicas de los equipos e instrumentación, metodología de ensayo, y tratamiento de datos.

La segunda parte recoge los datos experimentales de los ensayos realizados a tres tipos de fachadas ventiladas. En el conjunto de probetas ensayadas se pretende registrar todas las variables de diseño posibles, pasando de hojas ligeras a pesadas, y de movimiento de aire por convección natural a forzado en la cámara de aire. Además se ensaya como referencia una fachada pasiva con y sin aislamiento térmico, que sirve de referencia y comparativa. Para el proceso de modelado se escoge la tipología de fachada ventilada ligera, por ser la más extendida en el sector de la edificación, tanto para obra de nueva construcción como para rehabilitación. Y se desarrolla un modelo matemático del comportamiento térmico de la fachada. En este paso no sólo es de interés el modelo final obtenido, sino que además el proceso de trabajo realizado sirve para el modelado de cualquier otro tipo de fachada activa. El modelo final se implementa en la herramienta *TRNSYS* para realizar el análisis energético a escala de edificio. Los resultados muestran el gran potencial que tienen las fachadas activas para la captación de energía solar mediante calor absorbido por una cortina de aire que sirve como fluido caloportador que posteriormente se puede emplear en la climatización de viviendas.

## AGRADECIMIENTOS

Después de más de seis años en marcha hay muchas personas con las que he trabajado codo con codo y en consecuencia muchos agradecimientos que realizar.

El primero a José María Sala: gracias por brindarme la oportunidad de trabajar a tu lado. Como a muchos otros compañeros, jóvenes investigadores, me has dado la posibilidad y los medios para poder desarrollar un trabajo de calidad. Para todos nosotros eres una referencia como científico y como persona. Ese atreverme al primer encuentro en tu despacho para preguntarte si había alguna posibilidad de trabajo, ha sido la mejor decisión profesional que he tomado hasta el momento.

Después del peloteo de turno al jefe paso al resto de compañeros. Desde luego la lista empieza por Koldo Martín y por Iván Flores. Juntos empezamos a darle forma a lo que hoy es el Área Térmica. Con vosotros he aprendido casi todo lo que sé de energía en la edificación y cómo hacer bien las cosas. Nunca olvidaré esos años en la sala de control, las sesiones de Mark Anthony, los tres meses en Argentina, el roce de codo con codo, el txipirón,... A nuestro pequeño grupo se han ido sumando más personas: Daniel Pérez, un amigo que no se ha cortado en bajarme los humos en más de una ocasión; Carlos García, no hay palabras para definirte, el mundo no sería como es sin ti; Jon Martínez, que se marchó a Madrid pero que nos dio unos años mágicos y, desde luego Eider Iribar, Imanol Ruiz de Vergara y Juan María Hidalgo: el Área Térmica ha alcanzado los niveles de hoy en día gracias a vosotros, nunca habría terminado la tesis sin vuestro apoyo, ni con una comida en "el pakistani" saldaría mi deuda. Aitor Erkoreka: juntos le dimos vida a las celdas de ensayo, aunque me ganes al frontón es un placer discutir temas científicos contigo, sobre todo porque siempre tengo yo razón; Moises Odriozola, "Pipón", cómo me iba a olvidar de sus rancheras.

Por último gracias a los responsables del Departamento de Vivienda del Gobierno Vasco, en especial a los técnicos del LCCE, por su confianza y apuesta en nuestro trabajo. Sin su soporte sería impensable disponer de los medios para poder desarrollar proyectos con la calidad técnica que permite afrontar el Área Térmica, y por tanto poder realizar estudios de investigación como la presente tesis.

Gracias a todos, mi trabajo tiene una parte de cada uno de vosotros.





# Índice



Introducción.....	3
I.1 Antecedentes.....	5
I.2 Fachadas ventiladas.....	6
I.2.1 Construcción, clasificación y tipologías.....	8
I.2.2 Estado del arte en la modelización térmica de fachadas ventiladas.....	16
I.3 Objetivos y alcance .....	20
1 Kapitulua.....	23
1.1 PASLINK entsegu zelda .....	25
1.1.1 PASLINK zeldaren jatorria eta garapena.....	25
1.1.2 PASLINK-EGUZKI zeldaren ezaugarriak .....	29
1.2 Instrumentazioa .....	39
1.2.1 Bero-fluxuaren neurria, HFS-Tiles.....	39
1.2.2 Entsegu gelaren instrumentazioa .....	43
1.2.3 Kanpoko baldintzen neurrak .....	47
1.3 Entsegu laginak .....	49
1.3.1 Lagin-garraiaitzaile sistema.....	49
1.3.2 Laginen eraikuntza .....	51
1.3.3 Laginen instrumentazio espezifikoak.....	54
2 Kapitulua.....	59
2.1 Kalibrazio metodologia .....	61
2.1.1 Entsegu errutina.....	62
2.1.2 Itxituraren fluxuaren neurria .....	64
2.1.3 Kalibrazio-hormarako zuzenketak.....	70
2.2 Entsegu emaitzak .....	72
2.2.1 Infiltrazioen neurria.....	72
2.2.2 Bero fluxuak .....	73
2.2.3 Tenperaturak.....	82
2.2.4 Kalibrazio faktoreak.....	86
2.3 Zeldaren modelo matematikoak .....	88
2.3.1 Parametro identifikazio erremintak.....	88
2.3.2 Zeldaren modeloak.....	96
2.3.3 Kalibrazio hormaren modeloak.....	118
3 Kapitulua.....	131
3.1 IQ-Test trazabilitate entsegu.....	133
3.2 Trazabilitate entseguaren metodologia.....	137
3.2.1 Laginaren deskribapena .....	137
3.2.2 Entsegu prozedimendua .....	144
3.3 Datu esperimentalak.....	147
3.3.1 Horma opakua .....	147
3.3.2 Leihoa .....	161



3.4 Osagaietako modelo matematikoak .....	170
3.4.1 Horma opakuko modelo .....	171
3.4.2 Leihoaren modelo .....	183
3.5 Trazabilitate entseguren emaitzak.....	188
3.5.1 Análisi estatistikoa .....	188
3.5.2 Azken balorazioa.....	197
4 Kapitulu .....	199
4.1 Laginen eraikuntza eta instrumentazioa .....	201
4.1.1 Oinarrizko horma.....	202
4.1.2 Aireztatutako fatxada arina .....	206
4.1.3 Aireztatutako fatxada astuna.....	217
4.1.4 Aireztatutako fatxada behartua .....	224
4.2 Datu esperimentalak.....	232
4.2.1 Oinarrizko horma .....	232
4.2.2 Aireztatutako fatxada arina .....	241
4.2.3 Aireztatutako fatxada astuna.....	262
4.2.4 Aireztatutako fatxada behartua .....	283
Capítulo 5 .....	297
5.1 Modelo del muro base.....	299
5.1.1 Modelo del muro base sin aislamiento .....	299
5.1.2 Modelo del muro base con aislamiento .....	303
5.2 Modelo de la fachada ventilada de tiro natural .....	305
5.2.1 Modelos convencionales.....	305
5.2.2 Modelos CFD probeta de fachada ventilada .....	315
5.2.3 Modelo experimental de fachada ventilada .....	327
Capítulo 6 .....	349
6.1 Modelo del edificio.....	351
6.1.1 Características constructivas.....	351
6.1.2 Capacidades térmicas de los espacios, ventilación y cargas internas .....	358
6.1.3 Modelo del edificio con fachada ventilada.....	361
6.2 Resultados .....	369
6.2.1 Demanda del edificio sin rehabilitar .....	370
6.2.2 Demanda del edificio rehabilitado .....	374
Conclusiones.....	395
C.1 Aportaciones y conclusiones.....	397
C.2 Futuras líneas de investigación.....	406
Bibliografía .....	413

# Introducción





## I.1 Antecedentes

Edificios que no consuman energía primaria, y que estos edificios sean una realidad a corto plazo, es el compromiso tecnológico en el sector energético de la edificación. Pero hay que tener en cuenta que el consumo de energía en un edificio procede de diferentes orígenes, por un lado, los consumos asociados a los sistemas generales, como ascensores, iluminación, etc..., y por otro lado, los consumos asociados a la climatización de las viviendas. Es en este segundo apartado donde se basa el presente trabajo de investigación, y más concretamente, en el estudio y control de la demanda.

Los esfuerzos serios por reducir el derroche de energía en climatización en el parque edificatorio son relativamente recientes. Hasta bien entrado el segundo cuarto de siglo pasado no se comienzan a implantar medidas eficientes para controlar y reducir dicho consumo de energía. Estas medidas parten de las exigencias normativas, primero a nivel internacional y, posteriormente, a nivel nacional y regional. Las directivas europeas y su trasposición a códigos técnicos de la edificación, son por todos conocidas, y su evolución en la última década ha sido la piedra angular para el cambio en la mentalidad del sector de la edificación y en la actual forma de diseñar y construir.

El primer impulso al ahorro energético consistió en la limitación de la demanda mediante el aumento de las exigencias en el aislamiento térmico de la envolvente del edificio. Esta actuación es la que presenta mejor ratio eficiencia-coste, y su implantación en la primera década del presente siglo, ha permitido reducir prácticamente a la mitad las demandas. Sin embargo, existe un espesor óptimo de aislamiento, función de las condiciones climatológicas, a partir del cual, la tasa de eficiencia en la reducción de demanda se estanca. Estos espesores óptimos ya se están alcanzando en la actualidad, y por tanto, es una herramienta bastante agotada, o con pequeños márgenes de desarrollo. Además, la mejora por el aislamiento se ve coartada por el aumento en las exigencias de ventilación de las viviendas, de cara a las exigencias de salubridad y confort. La ventilación controlada, y con valores mínimos de renovación de aire, ha sido un gran paso adelante en la mejora de las condiciones de habitabilidad. Sin embargo presenta un aumento muy importante de la demanda de climatización. Esta nueva componente de ventilación implica que sólo con aislamiento nunca se alcanzará la demanda nula. Por tanto, la única forma de obtener edificios con demandas de energía muy reducidas o casi nulas pasa por la cobertura mediante energías renovables. Un claro ejemplo consiste en el aprovechamiento de la energía solar incidente sobre la envolvente del edificio. Esta envolvente no deja de ser una gran superficie captadora de radiación solar, desaprovechada en gran medida.

Hasta el momento, la envolvente térmica del edificio se plantea como un componente resistivo a las pérdidas de calor, con una respuesta pasiva. El cambio de enfoque radica en transformar este comportamiento pasivo en una respuesta activa, que permite absorber la mayor cantidad de energía incidente y transferirla a los espacios acondicionados de las viviendas. En esta línea, los sistemas constructivos configurados con fachadas ventiladas presentan un potencial importante. La cortina de aire de la fachada permite disponer de un fluido caloportador que haga esta función de transferencia de la energía incidente al interior de la vivienda, o que sirva de foco de calor primario para los sistemas de climatización. Y si se le suma el gran abanico de posibilidades constructivas y de operación, ponen a las fachadas ventiladas como una de las mejores opciones para la cobertura renovable de la demanda de climatización.

Pero debido precisamente a ese comportamiento activo, y a la diversidad de configuraciones posibles, se hace más necesario los ensayos de caracterización



térmica de dichos componentes. De forma que el disponer de herramientas fiables de modelado, basadas en ensayos representativos del comportamiento térmico de dichas fachadas, permita realizar un diseño de edificio fiable y que alcance las expectativas de cobertura de energía. Es en este punto donde se da una disponibilidad reducida de medios y una falta de experiencia global. Los ensayos en condiciones exteriores no controladas son complejos de estandarizar, de forma que los resultados de un centro de ensayo o laboratorio sean contrastables en otras instalaciones. Además, en sí mismo, el ensayo en condiciones dinámicas está sujeto a un elevado número de componentes de incertidumbre, difíciles de controlar y cuantificar. De forma que la calidad y utilidad de este tipo de ensayos está muy limitada a la fiabilidad con la que se llevan a cabo. Disponer de un equipo y una metodología de ensayo de una muestra representativa de la solución de fachada, y de un análisis y tratamiento de datos adecuado, es muy complejo. Todos estos aspectos son la base de la primera parte del presente trabajo de investigación.

La segunda parte del trabajo de investigación radica en la aplicación final a escala de edificio. El ensayo es el punto de partida, pero el componente ensayado no funciona, en la mayoría de los casos, de forma desligada, sino que se encuentra integrado en todo el conjunto del edificio. Es necesario dar un salto del componente al modelo de edificio. Este salto se puede realizar mediante herramientas de simulación que permitan integrar los resultados experimentales. Pero dicho salto, definido de forma sencilla, presenta una complejidad, y su resolución es importante de cara a que los resultados finales sean de aplicación real. Las dos ideas expuestas, ensayo y análisis a escala de edificio, son las dos componentes que se desarrollan en el presente documento. A continuación se realiza una introducción al concepto de fachada ventilada activa, y el estado actual en su caracterización y modelado.

## I.2 Fachadas ventiladas

El diseño de una fachada debe cumplir unas propiedades físicas y estéticas para desempeñar las funciones como envolvente del edificio al que pertenece. En la actualidad, uno de los principales requerimientos es la eficiencia energética. La envolvente exterior del edificio juega un papel crucial en las demanda de consumos en calefacción y refrigeración del mismo para obtener unas condiciones ambientales de confort adecuadas en su ambiente interior. Además, esta función de la envolvente no se puede disociar del resto de funciones como: el comportamiento acústico, respuesta a fuego, un buen comportamiento frente al movimiento de masas (aire y humedad), la disposición de las instalaciones de servicios, etc. Sin olvidar el papel estético que cumple la envolvente, ya que la fachada es la cara del edificio frente al entorno en el que se ubica, lo que le exige una adecuada integración y a su vez define su estatus dentro del mismo. La fachada ventilada presenta un gran atractivo para el diseño arquitectónico. Sus ventajas compositivas y constructivas han facilitado una amplia implantación de las mismas, en las últimas dos décadas, principalmente en los edificios de uso terciario y posteriormente en el residencial. Esta versatilidad hace que las fachadas ventiladas sean una opción óptima tanto para el diseño de nuevos proyectos, como para obras de rehabilitación, un ejemplo se muestra en la Figura I.1. Pero precisamente esta amplia versatilidad de diseño y composición complica el estudio o definición generalizada del comportamiento térmico de dichas fachadas y por tanto exige un estudio específico de cada solución constructiva y tipo de edificio. Es por ello que la *IEA (International Energy Agency)* ha intentado recoger los resultados de los principales estudios que se tienen hasta el momento sobre fachadas activas, dentro de

las cuales se engloban las fachadas ventiladas, junto con las posibilidades de análisis que se disponen actualmente<sup>[242-263]</sup>, ver Tabla I.1. En esta matriz se recoge el impacto o mejora frente a las soluciones constructivas tradicionales, o pasivas, y la posibilidad real de cuantificarlas con validez.



Figura I.1 – Ejemplos de soluciones de envolvente con fachada ventilada para obra nueva, imagen superior, y en rehabilitación, imágenes inferiores

Main Design Requirements	BIPV		Active envelopes		
	Impact	Tools	Impact	Tools	
use	suitability	2	2	2	1
	adaptability	2	2	2	2
occupant comfort	hygrothermal	2	2	3	3
	air quality	2	2	3	3
	visual	2	2	3	2
	acoustical	2	2	3	2
	hygiene	2	2	2	2
safety	water/air-tightness	2	2	2	2
	fire	3	2	3	3
identity	operational	3	2	3	1
		3	3	2	2
cost		3	2	3	2
environmental	energy	3	2	3	2
	raw & building materials	3	2	2	2
	air	3	2	2	2
	water	3	2	2	2
	land	3	2	2	2

key: impacts 1: about the same 2: slightly different 3: different  
tools 1: satisfactory 2: partially satisfactory 3: unsatisfactory

Tabla I.1 – Matriz resumen de diseño y análisis de fachadas ventiladas

La evolución de los sistemas de fachada ventilada se ha producido sin ningún tipo de organización consensuada para definir con rigor los objetivos de esta tipología de

fachadas, así como asegurar una combinación de materiales y diseños adecuada y coherente. El desarrollo de los sistemas comerciales se ha llevado a cabo de una manera completamente parcializada, promovida por los fabricantes de los diferentes componentes de la fachada en busca de buenas soluciones, pero con una visión parcial de las exigencias de diseño comentadas anteriormente. Para entender mejor el concepto que engloba la terminología de fachada ventilada, a continuación se intenta realizar una clasificación.

### I.2.1 Construcción, clasificación y tipologías

Es muy complicado definir una clasificación que recoja de forma precisa y completa al amplio conjunto de soluciones y conceptos que se engloban dentro del término fachada ventilada. En la actualidad la definición de fachada ventilada aparece en la norma EN 13119<sup>[264-284]</sup>, pero no existe una clasificación general única, ya que cada diseñador o fabricante presenta en sí mismo un amplio catálogo o clasificación propia. En el siguiente esquema de la Figura I.2 se intenta recoger todo el conjunto posible de fachadas ventiladas, en base a los principales conceptos que las definen, de forma que cualquier tipología pueda reflejarse. Este objetivo hace que se planteen combinaciones que en la realidad no se aplican o incluso no sean factibles técnicamente. Las soluciones de fachada estudiadas en la presente tesis aparecen sombreadas, y en especial en color naranja aparece el tipo de fachada que se analiza de forma completa, llegando hasta la escala de edificio.

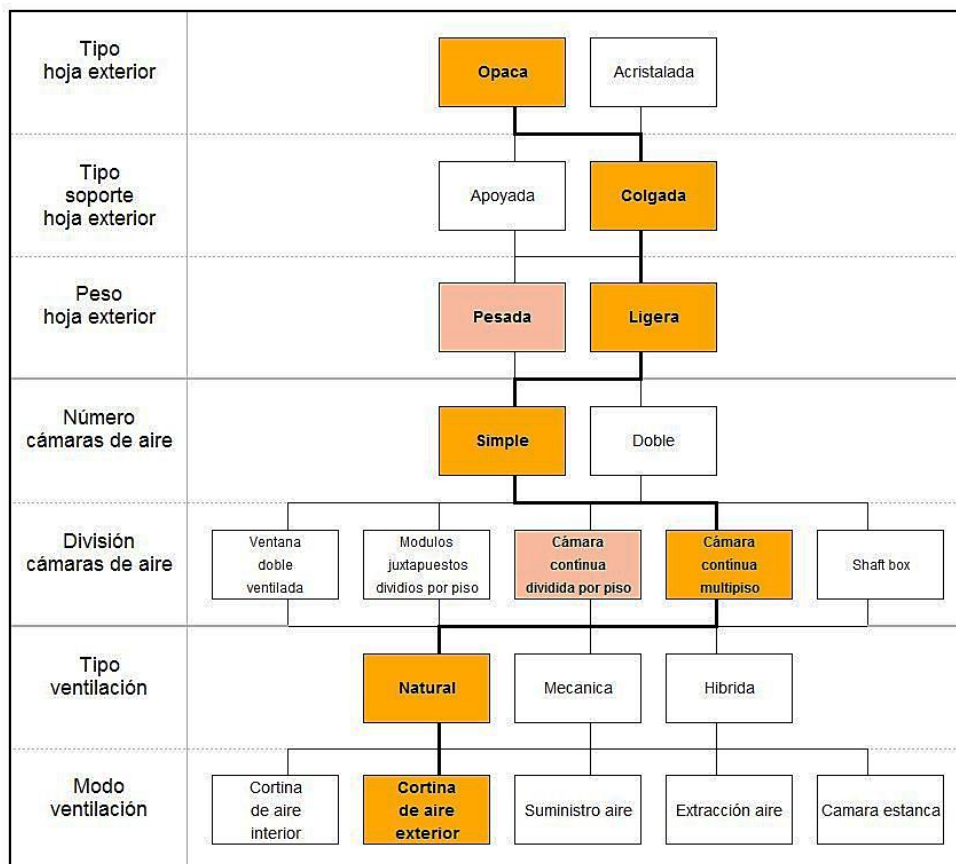


Figura I.2 – Esquema de clasificación para fachas ventiladas

Los principales parámetros de clasificación que se emplean son:

- Características de la hoja exterior, dentro de las cuales se realiza a su vez una distinción entre el comportamiento frente a la radiación solar, el sistema de soporte y el peso de la misma.
- Número y configuración de la cámara de aire.
- Movimiento del aire, principal origen de las mejoras en las propiedades físicas que presentan las fachadas ventiladas como envolvente del edificio, y que dependerá del tipo de ventilación y del modo en que se moverá el aire dentro del sistema formado por exterior-envolvente-interior .

El primer nivel de clasificación se basa en el tipo de hoja exterior. Esta clasificación se basa en la capacidad de aprovechamiento de la radiación solar que realiza la fachada a través de si la hoja exterior es opaca o acristalada. En el caso de la solución de hoja externa opaca, gran parte de la energía que incide por radiación se transmite al aire de la cámara por conducción y convección, y la posterior gestión de este aire implicará el aprovechamiento energético correspondiente. En la Figura 1.3 se recoge una configuración usual de fachada ventilada opaca, junto al flujo de energía asociado a la radiación que experimenta dicha fachada. Esta configuración está formada, de interior a exterior, por una hoja de fábrica, capa de aislamiento, cámara de aire ventilada, y hoja exterior de cierre. En el mercado hay un gran abanico de materiales para el cierre de la hoja exterior, lo que le da a las fachadas ventiladas esa gran posibilidad de diseño mediante texturas y formas. Estos materiales van desde la piedra a la madera, pasando por los materiales cerámicos y soluciones metálicas y plásticas.

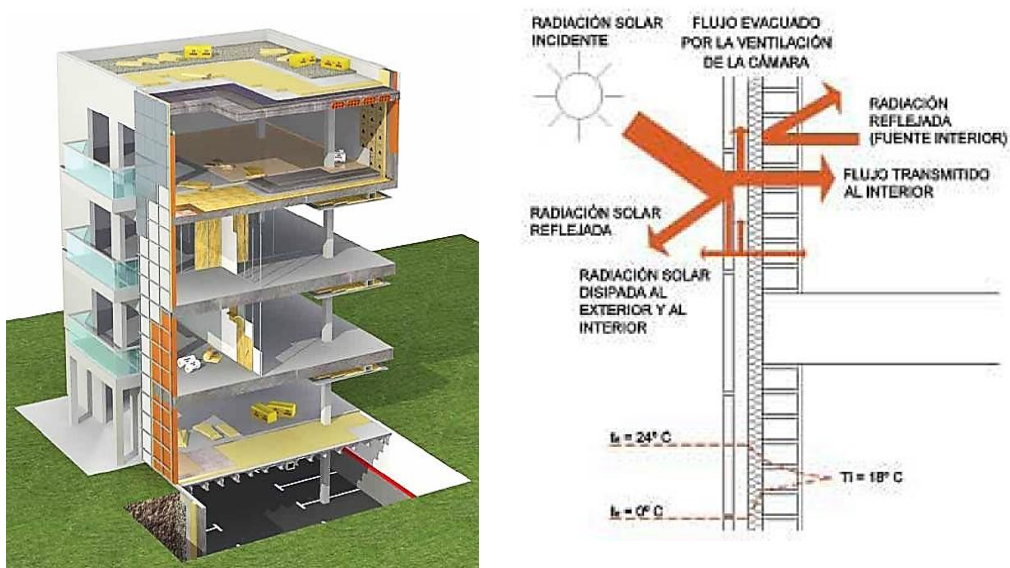


Figura 1.3 – Transmisión de la energía de radiación a través de una fachada ventilada opaca

La configuración de fachada acristalada, en concreto, permite un aprovechamiento mayor de la energía de radiación, ya que no solo se transmite al aire de la cámara sino que en gran medida el flujo de calor por radiación alcanza el espacio interior, ya que la hoja interior suele ser también acristalada, *Double-Skin Facade*, ver Figura 1.4. Esta configuración exige sistemas de control del aire, relativamente complejos, pero es la que permite obtener una mayor eficiencia energética de la envolvente. Las soluciones



acristaladas suelen presentar la configuración de doble cámara de aire, como se expondrá más adelante, incorporando entre ambas hojas un sistema de sombreado que permite reducir la ganancia solar cuando ésta es excesiva. Debido a su complejidad este tipo de soluciones suele aplicarse únicamente a edificios del sector terciario.

La configuración mixta de fachada con hoja exterior acristalada y hoja interior opaca corresponde a la solución constructiva conocida como muro *trombe*. En este caso se emplean una hoja interior de elevada capacidad térmica que permite acumular la energía radiativa para su posterior gestión. En la actualidad hay una serie de desarrollos técnicos que incluyen captadores fotovoltaicos en la hoja exterior acristalada, para obtener así un componente de generación eléctrica a través de la propia envolvente. Esta configuración tiene un doble aprovechamiento muy interesante. Por un lado se mejora el rendimiento eléctrico de las células fotovoltaicas, gracias a la refrigeración mediante la cortina de aire en movimiento, y por otro lado, el calor evacuado se puede aprovechar para la climatización.

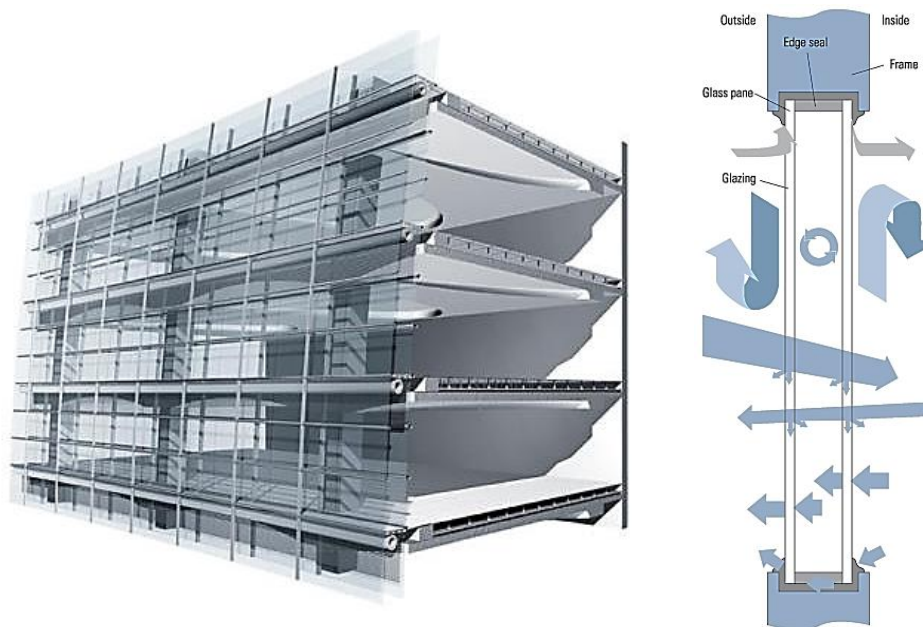


Figura I.4 – Transmisión de la energía de radiación a través de una fachada ventilada acristalada

El siguiente nivel de clasificación, que permite agrupar a un gran número de tipologías de fachadas ventiladas, es el sistema de sustentación de la hoja exterior, la cual puede ir apoyada en los forjados inferiores y pilares de la estructura del edificio, o colgada, de los mismos o de la hoja interior. Predominantemente, las fachadas apoyadas son de hoja exterior pesada y las fachadas colgadas presentan una hoja exterior ligera formada por una superficie continua o aplacada. En el caso de que la hoja exterior sea apoyada, el hecho de que todos los componentes de la fachada se soporten en los elementos inferiores mejora el comportamiento frente a las deformaciones mecánicas, térmicas y geológicas del conjunto. Va que si se colgase el dintel de los huecos al forjado superior, para asegurar su capacidad mecánica portante frente a los esfuerzos a los que le somete la hoja superior, cualquier pequeña flecha de ese dintel podría generar fisuras en la hoja externa. Un ejemplo de la fachada ventilada apoyada es la fachada de ladrillo, ver Figura I.5, siendo su mayor pega la dificultad de apoyo en cada forjado, y teniendo una mayor limitación compositiva, ya que los huecos sólo pueden presentar anchuras limitadas y la composición es predominantemente vertical.

Otra problemática que presentan las soluciones de hoja apoyada es la eliminación de los puentes térmicos correspondientes a frentes de forjados y pilares.

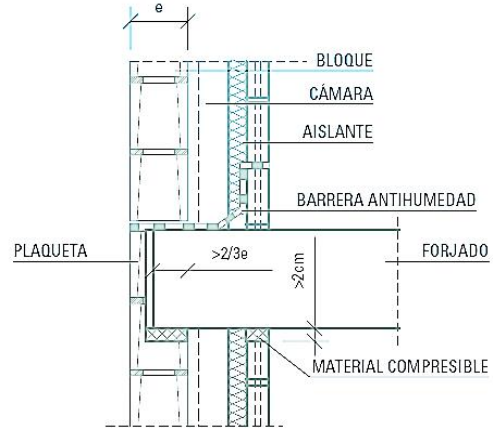


Figura I.5 – Ejemplo de fachada ventilada apoyada

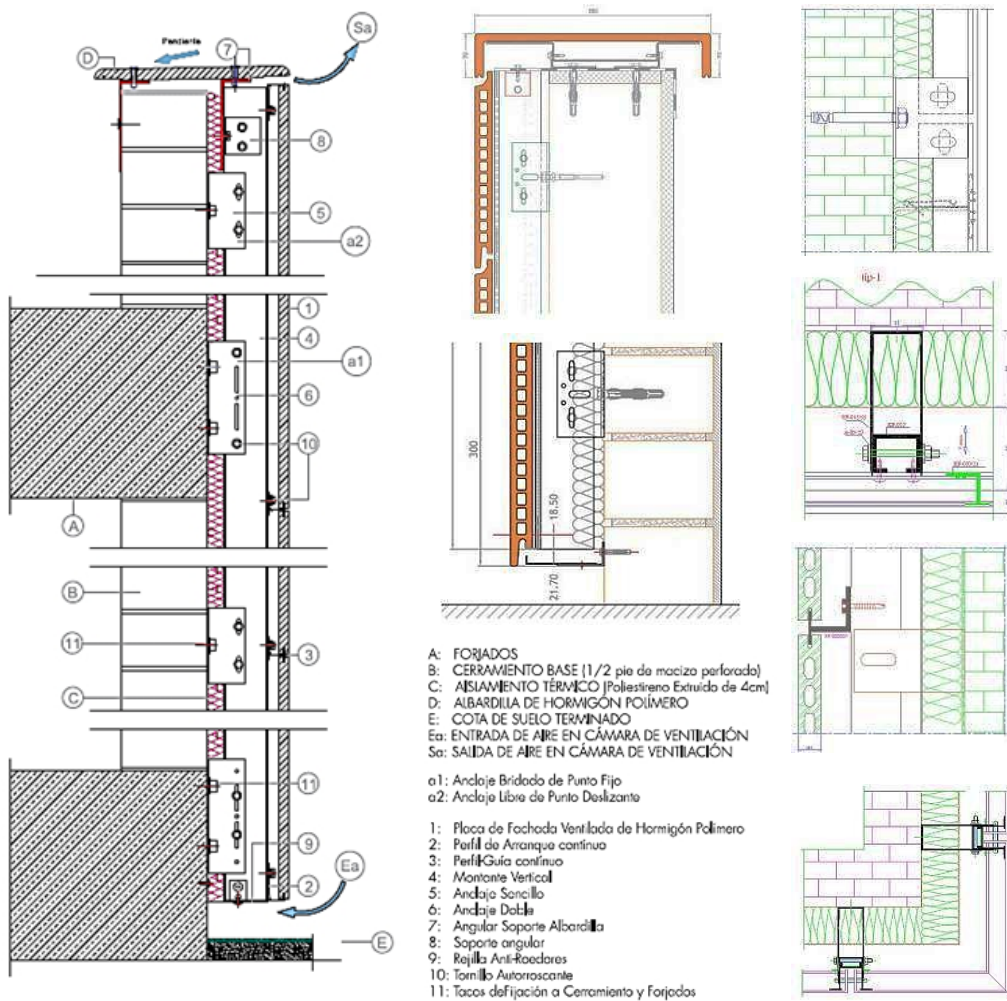


Figura I.6 – Ejemplo de esquema constructivo de fachada ventilada ligera de hoja exterior colgada con fijaciones a la hoja interior

La otra alternativa de montaje, la hoja exterior colgada, se origina gracias al gran desarrollo de la industria dedicada al diseño de premarcos de ventanas. Cuando el tamaño de los huecos es elevado es necesario que los premarcos se anclen al forjado para poder transmitir a éstos los esfuerzos de flexión y de su propio peso a los que están sometidos; se generan así elementos complejos formados por una estructura de tubos verticales, montantes, y horizontales, travesaños. La experiencia acumulada en su extendida utilización ha servido como base para el diseño de soportes de las hojas de muchos tipos de fachadas ventiladas. Por rapidez de montaje, economía de productos, amplio margen de diseño, y versatilidad de acabados, esta tipología de fachada ventilada es la más extendida en la edificación. En la configuración de hoja colgada hay dos alternativas de montaje. Una alternativa es que la hoja exterior cuelgue de la hoja interior, si ésta dispone de suficiente resistencia mecánica, mediante fijaciones puntuales, ver Figura I.6. Y la otra solución tipo es el empleo de un soporte formado por un entramado metálico vinculado a los forjados, lo que permite que los huecos puedan tener cualquier forma y dimensiones, aumentando en gran medida las posibilidades compositivas. Sin embargo, presenta mayores efectos de puentes térmicos en la capa de aislamiento debido a la estructura portante.

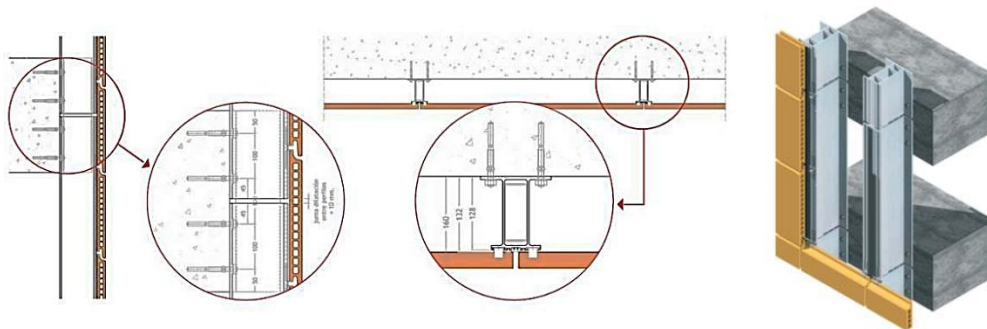


Figura I.7 – Ejemplo de esquema constructivo de fachada ventilada ligera de hoja exterior colgada mediante soportes entre forjados

En la tipología de fachada ventilada ligera existen dos tipos de hoja exterior de cierre, aplacada y continua. La configuración aplacada se conforma en base a unidades individuales de tamaño discreto, que permiten un montaje relativamente sencillo y facilita el aplomado y la solución de encuentros y geometrías complejas. Pero por otro lado presenta una de las principales desventajas de las fachadas ventiladas y es la durabilidad de la hoja exterior, especialmente en las zonas accesibles como plantas primeras y arranques. En general, el cambio de piezas debido a rotura es complicado y costoso. En cuanto al comportamiento térmico, al disponer de un gran número de rendijas, debidas a las juntas entre placas, el movimiento convectivo del aire en la cámara ventilada se ve muy condicionado por el efecto del viento. De forma que su aprovechamiento energético se ve muy condicionado y a su vez, complejo de evaluar. En cambio, la configuración de hoja continua, con una sola sección de entrada inferior y una sola sección de salida superior, presenta un comportamiento térmico más estable, y generado por el proceso de convección natural, en la mayoría de los casos. Esta segunda configuración es la que se toma como base del estudio experimental de la presente tesis. En ambas configuraciones de hoja exterior colgada, el abanico de materiales es muy amplio, desde materiales cerámicos, metálicos, pétreos, plásticos, etc..., lo que aporta una gran diversidad de comportamientos a la radiación solar.

El siguiente nivel de clasificación es por el peso de la hoja exterior. Como se ha comentado previamente, la configuración de la hoja exterior puede basarse en sistemas muy ligeros, como los que emplean placas metálicas, hasta las soluciones

más pesadas que presentan las hojas de albañilería apoyadas. Se toman como soluciones de hoja ligera a aquellas cuyo peso superficial no va más allá de los 75 kg/m<sup>2</sup>. Aunque usualmente la hoja exterior ligera va asociada al sistema de montaje de hoja colgada, el desarrollo de sistemas de anclaje más resistentes permite aprovechar esta configuración para soportar soluciones más pesadas, como es el caso de uno de los ensayos del presente trabajo de tesis, en el que se emplea una hoja de hormigón armado. El origen de esta clasificación se debe a la repercusión en la respuesta de la fachada debido a la inercia térmica de dicha hoja. Como se verá a en los datos experimentales, el comportamiento varía en gran medida, y las prestaciones energéticas de la fachada están muy ligadas a este parámetro de inercia.

Este mismo criterio de clasificación por peso, se podría aplicar a la hoja interior, que puede presentar configuraciones muy ligeras, como por ejemplo los paneles sándwich o los sistemas de placas de cartón-yeso, siempre y cuando se mantengan las funciones físicas de dicha hoja, como la estanqueidad. La construcción ligera, en todas las capas del cerramiento, tiene cada vez mayor aceptación, por la sencillez y rapidez de construcción y su potencial de industrialización. Pero hay que tener en cuenta que la repercusión en el comportamiento energético es importante y exige un mayor estudio experimental. Por eso, una de las soluciones de fachada estudiadas presenta una configuración ligera en todas sus capas, para compararla con el resto de muestras ensayadas, que presentan una configuración tradicional pesada, en base a hoja interior de albañilería.

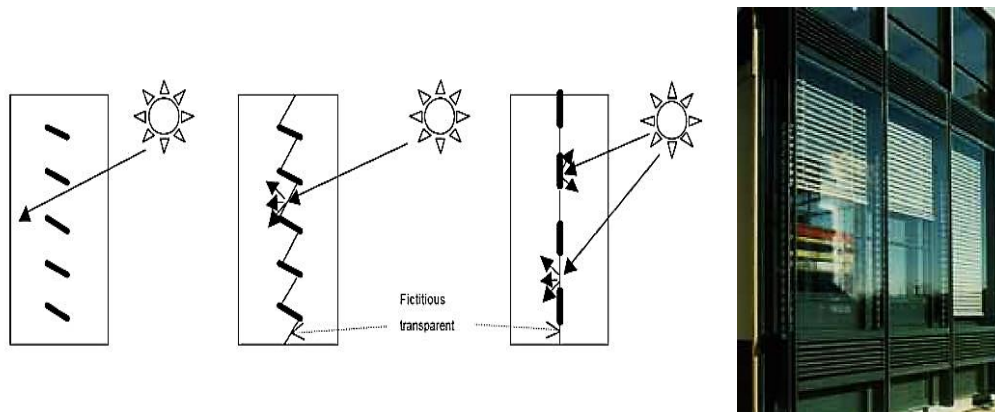


Figura I.8 – Cámara de aire con dispositivo de sombreado intermedio practicable

Los siguientes niveles de clasificación se centran en la propia configuración de la cámara ventilada, que es el componente diferencial respecto al resto de soluciones de fachada. Atendiendo al número de cámaras de aire, las fachadas ventiladas se pueden dividir en dos grandes familias: las que están formadas por una sola cámara de aire, y aquellas que presentan un dispositivo de lamas centradas en la cámara de aire, que permiten dividirla a su vez en dos subcámaras según las condiciones climáticas, ver Figura I.8. Esta configuración de doble cámara de aire se emplea únicamente en fachas dobles acristaladas, en la que la cortina intermedia de lamas actúa como dispositivo de sombreado que reduce las ganancias solares de la fachada, cuando éstas son elevadas. Las fachadas acristaladas tienen mayor aplicación en edificios de carácter terciario principalmente. Otro nivel de clasificación tiene en cuenta la forma física en la que se encuentra dividida la fachada ventilada en altura. La división puede producirse por piso, o de forma continua a lo largo de toda la envolvente. La Figura I.9 recoge esquemáticamente las posibilidades planteadas.



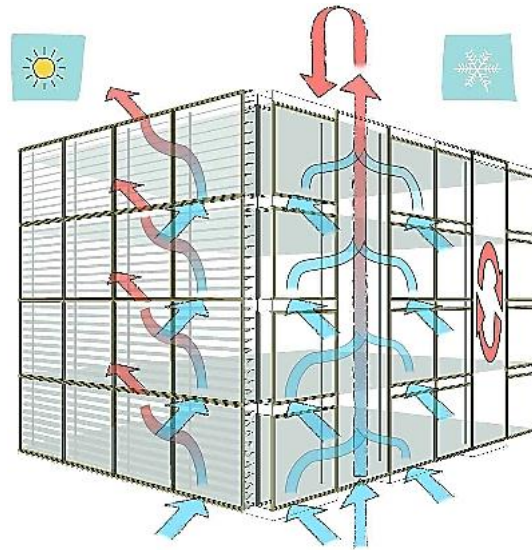


Figura I.9 – Esquema de posibilidades de división en altura de la cámara ventilada

Las fachadas divididas por piso, que a su vez pueden estar formadas por módulos individuales yuxtapuestos o por una única cavidad de aire, permiten un control más preciso de los parámetros de funcionamiento, como la temperatura de aire, velocidad de aire, etc. Este sistema es usual cuando el aire de la cámara ventilada va asociado a un sistema de climatización individual por planta. Para aumentar el efecto chimenea la cámara de aire se puede prolongar a lo largo de varios pisos y conectarla a las cavidades de cada piso, lo que permite una conexión a un sistema de climatización centralizado, ver Figura I.10. Por último, estaría la configuración de cámara de aire multipiso, y que a su vez no presenta ningún tipo de división horizontal y por tanto recorre toda la envolvente. Esta es la configuración más usual en edificios residenciales. En esta variante cabría una última alternativa, formada por aquellas fachadas en las que la hoja exterior está formada por lamas posicionables, de forma que amplíen aún más las posibilidades de respuesta de la fachada a las condiciones climáticas, ver Figura I.11.

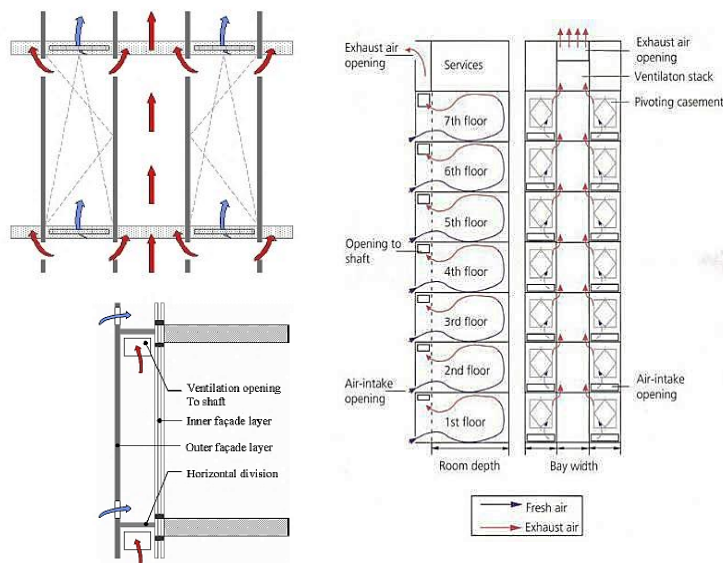


Figura I.10 – Cámara de aire multipiso con efecto chimenea

El siguiente nivel de clasificación está basado en el tipo de ventilación, que a su vez, está relacionado con las fuerzas motoras del movimiento de aire en la cámara ventilada y éstas pueden ser:

- Ventilación natural: el efecto de flotación producido por la diferencia de presión entre volúmenes con diferente densidad debido a las variaciones de temperatura a lo largo de la fachada generan un movimiento de masas. Otro motor del movimiento de aire dentro de la cámara es una velocidad de viento elevada en la superficie exterior de la hoja, lo que genera a su vez una subpresión que acelera el aire dentro de la cámara.
- Ventilación forzada: el movimiento de aire es generado y controlado mediante un sistema de impulsión mecánico, en general, conectado al sistema de climatización.
- Ventilación híbrida: en este tipo de ventilación se intenta aprovechar al máximo la ventilación natural, y en aquellos casos en los que las fuerzas de flotación por convección natural no sean suficientes entraría la convección forzada.

Finalmente, queda la clasificación por el modo de aprovechamiento de la cortina de aire, relacionado con el modo de ventilación de la cámara. El modo de ventilación hace referencia al origen y destino del aire circulante por la cámara ventilada. No todas las fachadas pueden presentar cualquiera de los modos de ventilación, y en general, una fachada está caracterizada por un solo modo de ventilación, aunque existan excepciones en las que el sistema de control y una serie de accesos motorizados dispuestos en ambas hojas permitan pasar de un modo a otro.

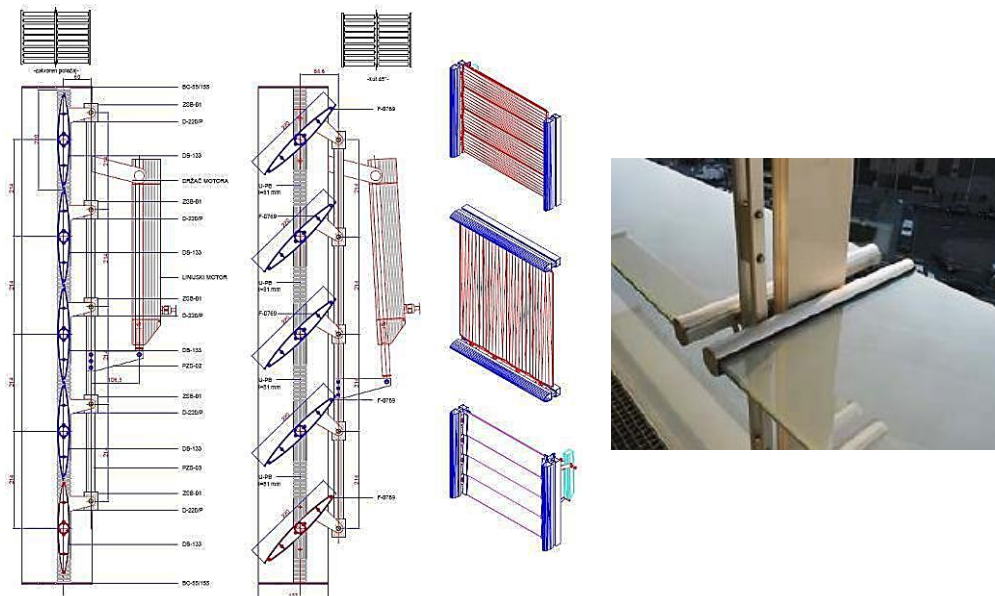


Figura I.11 – Fachada ventilada con hoja exterior formada por lamas

Existen cinco modos de ventilación básicos que a su vez se pueden invertir o combinar para ampliar las modalidades de ventilación, ver Figura I.12. Estos modos serían:

1. Cortina de aire exterior: el aire es tomado del ambiente exterior y devuelto de nuevo al mismo, formando así una cortina de aire que envuelve la hoja exterior de la fachada.

2. Cortina de aire interior: en este caso el aire que entra en la cámara proviene del espacio interior y tras recorrerla vuelve al mismo, formando, igualmente, una cortina de aire que envuelve, esta vez, la hoja interior de la fachada.
3. Suministro de aire: el aire entra del ambiente exterior y, tras recorrer la cámara ventilada, se introduce en el interior de forma directa o tras pasar por el sistema de climatización.
4. Extracción de aire: el aire entra en la cámara desde al interior y es evacuado, tras recorrer ésta, al exterior.
5. Cámara de aire estanca: en este caso no hay comunicación entre exterior e interior, y la cámara actúa como barrera amortiguadora de las condiciones térmicas.

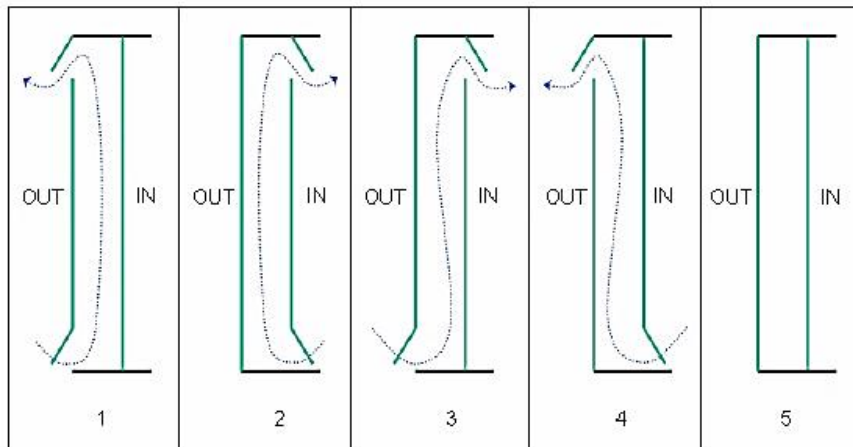


Figura I.12 – Modos básicos de ventilación

Una vez repasadas todas las posibles configuraciones de fachadas ventiladas queda más patente la gran diversidad de tipologías y el abanico de comportamientos térmicos de las mismas. Y por tanto, queda más patente la necesidad de disponer de herramientas de ensayo para obtener una adecuada caracterización, de cara a su valoración energética. Pero la elección de la metodología de ensayo es clave en la obtención de resultados fiables y representativos. Sumado a esto, hay que tener en cuenta el hándicap de la necesidad de realizar los ensayos en condiciones exteriores. Para entender mejor estos aspectos, en el siguiente apartado se realiza una breve descripción de la situación actual de los laboratorios y equipos de ensayo disponibles a nivel internacional.

## I.2.2 Estado del arte en la modelización térmica de fachadas ventiladas

La caracterización del movimiento de convección mediante ensayos experimentales de referencia comienza a mediados del siglo pasado. El primer trabajo que sienta las bases de los modelos de convección en placas planas verticales es el de *Elenbaas*<sup>[285,288]</sup>, que posteriormente ha sido refinado con ensayos más precisos gracias al desarrollo de instrumentación de medida más fiable y con menor error de medida. Un ejemplo de estos trabajos son los correspondientes a *Bodoia* y *Osterle*<sup>[289,310]</sup>, *Aung*<sup>[311]</sup>, *Curchill*<sup>[312,335]</sup>, *Bar-Cohen* y *Rohsenow*<sup>[336,357]</sup>, *Sparrow* y *Azabedo*<sup>[358,360,361,383]</sup>, *Ramanathan* y *Kumar*<sup>[384]</sup>, *Brinkworth*<sup>[385,404]</sup>, y más recientemente los estudios de

Olsson<sup>[382]</sup>. Este es un pequeño resumen de los trabajos de investigación más relevantes, aunque la bibliografía es muy extensa, como se puede ver en el apartado de referencias, donde se recogen con más detalle los trabajos disponibles sobre este tema. Pero en la mayoría de los casos, los datos experimentales se obtienen de ensayos en régimen estacionario, en condiciones controladas de laboratorio, con probetas formadas por placas de dimensiones reducidas en comparación con los tamaños de las fachadas a escala de edificio. Esto permite obtener modelos de una forma relativamente sencilla, asumiendo simplificaciones en los aspectos más complejos, como son las pérdidas de carga, por ejemplo. Aun así, dichos modelos tienen una gran aplicación y sirven de referencia como base fundamental para estudios más específicos. Pero su aplicación directa a modelos de fachadas a escala real se ve limitada.

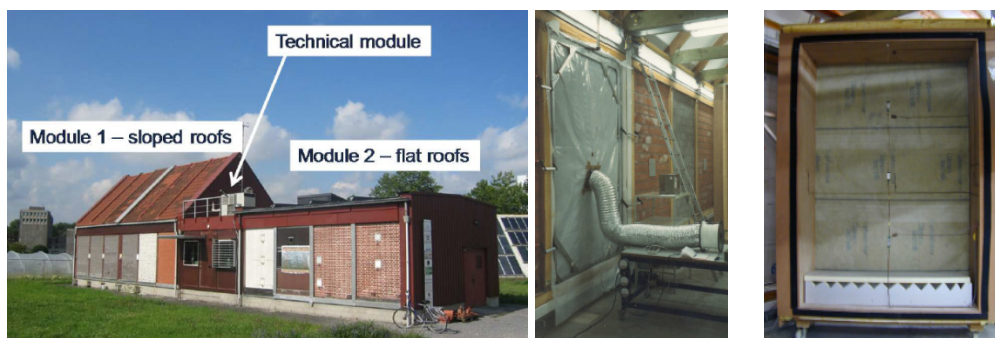


Figura 1.13 – Edificio de ensayos VLIET en K. U. Leuven en Bélgica

Hacia la última década del pasado siglo, el rápido desarrollo de la informática cambió el enfoque en el análisis y modelado. Las herramientas de elementos finitos<sup>[14]</sup> permitieron superar las limitaciones de los estudios experimentales. Incluso, el potencial de dichas herramientas también ha evolucionado rápidamente, permitiendo aumentar la definición de los puntos críticos del proceso de convección, como son las capas límites y zonas de turbulencia<sup>[141]</sup>. En paralelo, el desarrollo científico de modelos matemáticos aplicados a estas herramientas ha permitido que se pueda analizar cualquier tipo de situación bajo estudio. En este ámbito, la bibliografía es muy extensa. Pero, por el contrario, estos modelos exigen de un grado de definición previa muy elevado, lo que hace necesario un contraste experimental para su correcta validación. Esta situación ha implicado un renovado auge del ensayo experimental en el inicio del siglo XXI, que se mantiene en la actualidad.



Figura 1.14 – FEWF, Field Exposure Wall Facility, del NRC-IRC de Canada



Sin embargo, el ensayo en condiciones reales es complejo. Ya solo en el diseño del equipo experimental, como punto de partida, se presenta una gran complicación. Si se realiza un repaso de los principales centros que disponen de equipos para ensayo en condiciones exteriores, a nivel europeo<sup>[87]</sup>, se puede ver la gran diversidad de los mismos, tanto en configuraciones como en características de ensayo. Se encuentran instalaciones de ensayo como el *VLIET*, Figura I.13, de la universidad de *Leuven*, en *Belgica*, en el que se analizan soluciones de fachada y cubierta, tanto inclinadas como planas. Esta instalación es muy potente y versátil, en la que se pueden analizar simultáneamente diferentes muestras y tipologías de ensayo.



Figura I.15 – Equipos de ensayo en el centro de ensayos del *Fraunhofer* en *Holzkirchen*, Alemania

Otra configuración muy diferente es el edificio *FEWF*, Figura I.14, del *NRC-IRC* de *Canada*, situado en *Otawa*. Esta instalación se basa en un edificio en el que se pueden sustituir sus componentes acristalados, así como ciertos paños de la envolvente opaca. Un centro de ensayos de referencia es el *Fraunhofer*, con unas instalaciones en *Holzkirchen*, Alemania, donde disponen de 27 módulos o unidades de ensayos. En este caso, cada unidad se adapta a las configuraciones de las muestras bajo estudio. En la Figura I.15 se muestra un pequeño ejemplo de dichos módulos, para estudios de humedad y movimiento de masas, imagen de la izquierda, ensayo de cubiertas, imagen central, y una instalación a escala de edificio para el estudio de la integración de diferentes componentes y sistemas de climatización, imagen de la derecha.

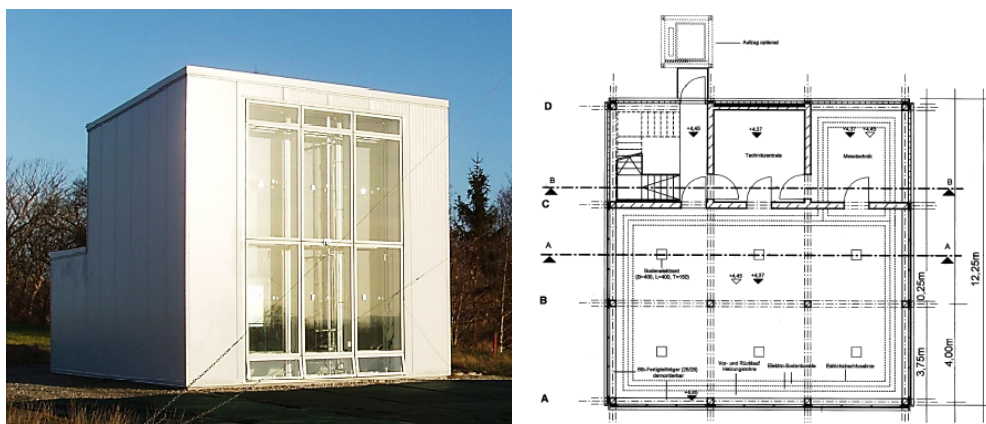


Figura I.16 – Instalación *Cube* de la Universidad de *Aalborg*, en Dinamarca

Otro ejemplo de instalación definida para un ensayo tipo, es el *Cube*, Figura I.16, situado en *Aalborg*, Dinamarca. Esta instalación está diseñada y configurada específicamente para el estudio de fachadas ventiladas dobles acristaladas. Un concepto de equipo de

ensayo en exteriores, diferente a los mostrados hasta ahora en los ejemplos anteriores, son las celdas *PASLINK*. En este caso, el enfoque es disponer de una misma tipología de equipo de ensayo en diferentes centros de investigación. Esto facilita en gran medida la estandarización de los resultados de ensayo, si además del equipo, los centros emplean la misma instrumentación de medida, aplican el mismo procedimiento de ensayo, y usan las mismas herramientas de tratamiento de datos y modelado.



Figura I.17 – Celdas PASLINK en la Universidad de Innsbruck, Austria

El grupo de centros que disponen de estos equipos forma una red de excelencia, de forma que el ensayo *PASLINK*, no se reduce a una tipología de equipo, sino a una metodología de trabajo. En la Figura I.17 se muestran las dos celdas de ensayo situadas en Innsbruck. Frente a la gran diversidad de equipos y metodologías de ensayo, en el año 2011 se configuró el *Annex 58* de la *IEA*, con el principal objetivo de estandarizar los métodos de ensayos en condiciones reales a escala de edificio. En este grupo de trabajo participa como asesor la red *DYNASTE*, configuración actual de la red *PASLINK*, gracias a los más de 20 años de experiencia con las celdas y con la configuración de una red de excelencia de centros de ensayo. Los trabajos que hasta el momento se han desarrollado en el grupo del *Annex* demuestran la complejidad de homogeneizar las condiciones de ensayo partiendo de un conjunto de equipos y metodologías de trabajo tan dispar. Si se analiza con detenimiento el ensayo en condiciones exteriores a escala real, existe una limitación física, que se puede definir como una especie de principio de incertidumbre similar al planteado por Heisenberg en la mecánica cuántica. Esta limitación se origina en la elección del tamaño de la muestra, y por tanto del equipo de ensayo, de cara a la aplicabilidad de los resultados en el edificio real. Es decir:

- Tamaños de muestra grandes permiten obtener resultados experimentales directamente aplicables al edificio real, pero aumentan en gran medida la incertidumbre del ensayo.
- Tamaños de muestra pequeños reducen en gran medida la incertidumbre del ensayo pero limitan la aplicabilidad de los resultados al edificio real.

Además de poderse aplicar al tamaño de la muestra, el principio de incertidumbre también se puede aplicar al propio equipo de ensayo y la versatilidad del campo de aplicación. Es decir:

- Cuantas más variables y parámetros permita ensayar el equipo y el procedimiento, menor precisión se obtendrán en la caracterización individual de las mismas. Por ejemplo, si el equipo permite caracterizar prestaciones térmicas, acústicas, higroscópicas, mecánicas, etc... el control de las incertidumbres asociadas a cada caracterización se dispara.
- Si el equipo y el procedimiento de ensayo se diseña y define específicamente para caracterizar una sola prestación, como puede ser el comportamiento térmico únicamente, las incertidumbres asociadas pueden controlarse de una forma más precisa.

Estas limitaciones físicas del ensayo fueron el punto de partida para el diseño de la metodología *PASLINK*. En este sentido, el diseño de la celda permite trabajar con un tamaño de muestra que permite obtener modelos aplicables a la escala real de edificio mediante herramientas de simulación, y que mantiene las incertidumbres de ensayo al nivel de los ensayos normalizados en condiciones de laboratorio. Y por otro lado, todos los esfuerzos de diseño se centran en la obtención de un equipo óptimo para la caracterización térmica de los componentes, exclusivamente. De forma que todos los aspectos que afectan a dicha caracterización, puentes térmicos, infiltraciones de aire, etc... en el equipo y en la metodología de ensayo, se controlen y minoren de la mejor forma posible. Por estas características expuestas anteriormente, se elige el método *PASLINK* como referencia para el desarrollo de la presente tesis, de forma que los trabajos de investigación consisten en la puesta a punto de una celda de ensayos, su calibración y análisis de incertidumbres de ensayo, como primera parte. Y en el ensayo y modelado de fachadas ventiladas para su aplicación en la reducción de la demanda de energía en climatización de viviendas, resolviendo el salto entre la escala de probeta y la escala de edificio, mediante herramientas de simulación, como segunda parte del trabajo.

### 1.3 Objetivos y alcance

El aporte científico del trabajo de tesis consiste en el análisis de la potencialidad en la reducción de la demanda de energía en vivienda mediante el aprovechamiento solar a través del uso de fachadas activas. Pero para poder desarrollar este trabajo son necesarios dos pasos previos. El primero consiste en disponer de la herramienta de ensayo adecuada para poder estudiar de forma experimental el comportamiento de dichas fachadas activas en condiciones reales. Y el segundo paso consiste en resolver el vacío en el salto entre los datos experimentales y el estudio a escala de edificio. Entrando más a detalle, a continuación se definen los objetivos concretos del trabajo de investigación así como el alcance de los mismos:

#### Objetivo 1:

Puesta a punto de una celda de ensayos *PASLINK*.

Alcance: partiendo de una celda *PASSYS* original, se quiere transformar en una celda tipo *PASLINK*, implantando todas las mejoras a partir de la experiencia adquirida por la red de centros que disponen de dichos equipos. Las mejoras a desarrollar consisten en el aumento de la precisión del equipo, reduciendo los puentes térmicos de la sala de ensayos, mejorando el sistema de sellado del portamuestras para reducir las infiltraciones, y ampliando la resolución en la medida del flujo de la envolvente en zonas borde. Para este objetivo se cuenta con la asesoría de J.J Bloem, uno de los principales responsables del proyecto *PASLINK*.

**Objetivo 2:**

Calibración y análisis de incertidumbres de la celda.

Alcance: tras la puesta a punto, se pretende obtener una estimación fiable de la incertidumbre del ensayo, partiendo de realizar el procedimiento de calibración establecido en los protocolos de ensayo de la red *PASLINK*. Este proceso de calibración es la mejor herramienta para conocer el comportamiento del equipo instalado.

**Objetivo 3:**

Estandarización y aseguramiento de la trazabilidad de la celda y de la metodología de ensayo.

Alcance: para verificar la correcta puesta a punto y calibración de la celda se realiza el ensayo de interlaboratorio *IQ-Test*. Este ensayo consiste en la medida de dos componentes, uno consistente en un muro opaco construido *in-situ*, pero con las características de los materiales acotadas. Y un segundo componente que es una ventana única, que circula por el conjunto de laboratorios. Este estudio permite analizar el estándar de calidad de la celda de ensayos y a su vez asegurar la trazabilidad de la instalación y metodología de trabajo, de cara a validar la fase experimental del trabajo.

**Objetivo 4:**

Análisis experimental de fachadas ventiladas.

Alcance: se van a estudiar tres muestras de fachadas ventiladas con diferentes configuraciones, de esta forma se cubre un amplio espectro de las tipologías de fachadas bajo estudio. Estas muestras consisten en una fachada de hoja ligera y otra de hoja pesada. En ambos casos con movimiento de convección natural en la cámara de aire. Y una tercera muestra de fachada industrializada ligera con movimiento forzado. En cada muestra se realizan dos periodos de ensayo, uno para el desarrollo de los modelos y otro periodo para la validación. Un objetivo paralelo que se quiere alcanzar, es que los datos experimentales sirvan como referencia libre para que cualquier investigador pueda emplearlos para validar sus modelos.

**Objetivo 5:**

Desarrollo de un modelo matemático del comportamiento térmico de la cámara ventilada.

Alcance: primero se verifica la validez de aplicación de los modelos existentes en la bibliografía para predecir los datos experimentales. En función de los resultados se seleccionará el más adecuado o, de ser necesario, se desarrollará un nuevo modelo específico. Para ello se toma como ejemplo de trabajo la muestra de fachada ventilada natural con hoja ligera, por tratarse de la solución constructiva más extendida en el sector de la edificación residencial. El modelo se adaptará para poder ser empleado en las herramientas de simulación energética de edificios.

**Objetivo 6:**

Estudio a escala de edificio del aprovechamiento energético de los sistemas de fachada ventilada.

Alcance: siguiendo con la línea de la fachada ventilada ligera, el modelo desarrollado se empleará en el estudio de demandas energéticas a escala de edificio. Como herramienta de trabajo se emplea el software *TRNSYS*. El estudio se realiza sobre un edificio base, que sirve como referencia para



cuantificar la demanda en edificios sin rehabilitar, y edificios modernos que cumplen los requisitos normativos vigentes. Sobre esta base de referencia se determina la reducción de demanda mediante el aprovechamiento de la potencialidad de captación de radiación solar de la fachada ventilada en la reducción de demanda por ventilación y su efecto en la demanda por envolvente. Como hito final de este objetivo, además, es resolver el paso de los datos experimentales a escala de celda de ensayos al análisis a escala de edificio.

La configuración de la memoria que se muestra a continuación recoge en cada capítulo los trabajos desarrollados para cada objetivo definido anteriormente. Cerrándose el documento con un apartado final de conclusiones y valoración final de los resultados obtenidos, así como futuras líneas de investigación.

# 1 Kapitulu Ekipamendu experimental





## 1.1 PASLINK entsegu zelda

Ekipamenduen ezaugarriak, entsegu-metodologiak, eta datuen tratamendua baldintzatzaileak dira lan esperimental guztian zehar. Horregatik, tesi honetako parte esperimentalerako PASLINK zelda erreferentziazko ekipamendu bezala aukeratzearen arrazoi nagusiak jasotzen dira atal honetan. Ekipamendu hau aukeratu zen ingurune-baldintzetan oinarritutako nazioarte mailan zeuden entsegu baliabideak aztertu ostean. Tipologia honetako zelda bat aukeratzearen helburu nagusia normalizatutako entsegu-baldintzen eta trazabilitatearen bilaketa da. Kapitulu honetan ekipamendu horien garapenaren inguruko sarrera bat egiten da. Jarduneko ikerketa-zentroen sare bat dago ekipamendu horiekin erlazionatuta, DYNASTEE, (*DYNamic Analysis, Simulation and Testing applied to the Energy and Environmental performance of buildings*). PASLINK-EGUZKI-a zeldaren ezaugarri nagusiak ere deskribatzen dira. Zelda hau Eusko Jaurlaritzak Gasteizen duen EKKL-aren (*Eraikuntzako Kalitatearen Kontroleko Laborategia*) instalazioetan kokatuta dago.

### 1.1.1 PASLINK zeldaren jatorria eta garapena

PASLINK entseguaren metodologia bi hamarkada baino gehiagotan jarraian egin diren ikerketa eta garapen proiektuen emaitza da. Proiektu horiek EE-ko, *Europar Erhidegoko*, diru laguntzen bitartez gauzatu ahal izan dira. Metodologia honek entsegu esperimentaleko alderdi guztiak biltzen ditu, ekipamendutik hasi, entsegu-prozeduretara, eta datuen tratamendu eta modelatze matematikoraino. N. Baker-ek<sup>[61]</sup> proposatu zuen jatorrizko ideia, EE-rako 1983an egindako estudioaren ondoren. Bertan azaldu zuen erabat normalizatutako entsegu-zelda bat garatzeko beharra, egiazko baldintzetan eraikinetako eraikuntza-elementuen karakterizazio esperimentala ahalbidetuko baitzuen. Entsegu-ekipamenduak teknologia jakin bat eduki beharko luke, eskala errealean karakterizatzea eta eguzki-ustiapenaren gainean ikertzea ahalbidetuko lukeena, kontsumo energetikoen aurrezpenerako.



1.1 Irudia – PASLINK metodologiaren garapenaren historia

Entsegu-ekipamendu horiek eraikinetan gertatzen diren bero transmisio prozesuak erreproduzitzeko moduko dimentsioak eduki beharko lituzkete, era berean, baita zeldaz kanpoko eta barneko baldintzen neurketa zehatza egiteko modukoak ere. Ekipamendu horiek ezaugarri berekoak izateko beharraz gainera, entseguen emaitzetan trazabilitatea lortu beharko litzake. Aipaturiko helburua lortzeko, klimatologia baldintza barietate zabala kontuan hartuta, beharrezkoa izango litzateke nazioarteko entsegu-zentro sarea edukitzea. Hau lor daiteke soilik entsegu-ekipamenduaren barruko baldintzen kontrol zehatzaren bitartez, horrela bero-irabaziak erreproduzitzea eta kanpoko baldintzen simulazio-metodoak zentroen artean erabiltzea posible izango bailitzateke. Planteamendu hori izan zen *PASLINK* entseguaren jatorria. 1985 eta 2004 urteen artean definitu dira entseguaren aspektu nagusiak eta gaur egun bere garapen zientifiko eta teknologikoak jarraitzen du. 1.1 Irudian gaurko artearen egoera azaltzen duten mugarri nagusiak jasotzen dira, ondoren laburtzen direnak.

#### **PASYSS I (1985):**

*Baker*-ek planteatutako kontzeptuak kontuan hartuta, entsegu-zeldaren lehen diseinu zehatza<sup>[20]</sup> aurkeztu zion Stuttgarteko *DFVLR*-ak (*German Research Institute for Aviation and Space Flight*) *EERI*, *PASSYS*-en (*PASSive Solar Components and Systems Testing*) lehen proiektuak gerora oinarritzat hartuko zuen modeloa, 1985eko urrian martxan jarri eta 1988an bukatu zena. Proiektu honekin entsegu-tipologiaren lehen ezaugarriak definituta geratu ziren, baldintza errealetan egiteko entsegu bateko aspektu nagusiak asetzen zituzten lau lantaldek garatu zituztenak. Lantaldeak arduratu ziren neurketa-ekipamenduen definizioaz (*TSM, Test Site Management*), entsegu-metodologiak (*TME, Test METHodologies*), modeloen garapen eta balidatzeaz (*MVD, Model Validation and Development*) eta orokorrean, lan-erremintez (*SDT, Simplified Desing Tools*). Lan horiek egin ziren *CEN*-aren gainbegirada eta parte-hartze aktiboarekin (*Committee for European Standarization*). 1986an bi lehen entsegu-zelda prototipoak (*Joint Research Centre*) instalatu ziren *JRC*-ean, Ispran. Horiek puntuan jarri ostean, lehen zelda-sorta eraiki zen era industrialean *Cadoltto* Alemaniako enpresari esker eta proiektuko parte-hartzaile ziren ikerketa-zentroen artean banatu ziren.

#### **PASYSS II (1990):**

1990ean hasiera eman zitzaion proiektuko bigarren etapari, zelden garapenari, *II PASSYS*-i deitu zitzaiona. Hemen ikerketa-zentru talde berri bat gehitu zitzaion, zeinak klimatologia mediterranearra duten herrietan kokatuta zeuden. Egoera honek baldintza meteorologikoen espektrua handitzea ekarri zuen, proiektuko lehen faseko parte-hartzaileak klima hotzeko Ipar Europako eta Europar erdialdeko herrietakoak ziren. Gainera, Fase honetan estalki-elementuak entseiatzeko eta zeldaren orientazioa aldatzeko gaitasuna handiagotu zen. Paraleloki, garatzen jarraitu zen entseguaren aspektu bakoitza, metodologiaren taldea osatzen zuten lau lantaldeen lanaren bitartez. Horrela, idatzi ziren oinarritzko gidaliburuak<sup>[7,12]</sup>.

#### **COMPASS (1992):**

1992an entsegu-metodologiaren garapeneko lanak hazi egiten dira *COMPASS*-a (*Appropriate testing and evaluation of passive solar components for improvement of thermal comfort in buildings*) proiektuaren bitartez. Proiektu honek biltzen zuen puntu nagusietako bat entsegu-gelaren barruko itxiturak elkartrukatzen duen bero fluxuaren neurketaren zehaztasunaren hobetzean oinarritzen zen. Horretarako, bi alternatiba planteatu zituzten. Lehena, *PAS* (*Pseudo Adiabatic Shell*)<sup>[4]</sup> bezala izendatua, oinarritzen zen orri berogailuen

bitartezko barruko azaleraren tenperaturaren kontrolean eta entsegu gelako horman bigarren kapa isolatzaile bat jartzean. Ondorengo bero-fluxuaren karakterizazioa egiten zen azalaren bi aldeetan tenperaturak neurtuz, bere ezaugarri termikoak alde aurretik ongi karakterizatuta izanda. Bigarren aukera zeldaren barneko azalera estaltzen zuten fluxu sentsoreen bitartezko neurketa zuzenean oinarritzen zen eta *HFS Tiles (Heat Flux Sensors Tiles)*<sup>[2]</sup> izena eman zitzaizen sentsore horiei. Aurrerapen hauek entsegu-periodoa laburtzea ahalbidetu zuten eta emaitzen ziurgabetasuna gutxitzea.

#### **PASLINK SAREA (1992):**

Sei urteko lanaren ondoren erakunde zientifikoaren sare bakar bat iada eratua zen bere ezaugarriengatik, erabat estandarizatuko entseguen kalitatearekin. Talde horrek *PASLINK* sarea izena hartua zuen, eta hau osatzen zuten zentroek eraikuntza-elementu oro karakteriza zezaketen zelda, entsegu-errutina eta datuen tratamendua eta laginaren modelatze berberak erabilita. Hori dela eta, emaitza uniformeak lortu zitezkeen Europa osoan zehar. Análisi eta garapen sakonarekin definitu eta planteatua zen entsegu-zelda, egindako proben eta prototipo desberdinen bilakaeraren ondoren. Ziurgabetasun-iturri desberdinak eta aipaturiko zeldek sor zitzaizketen akatsak ebaluatua ziren, zubi termikoak eta aire-infiltrazioak bezala, horiek ahal zen neurrian gutxitzeko neurriak hartuz. Parametroen nahiz itxituraren bero fluxuaren kuantifikazioaren arazoak konponduak ziren neurketa sistema, sentsore berri eta horien instalazio teknika egokien garapenarekin.

Entsegu-estrategia eta modelatu desberdinak baita ebaluatua ziren, parametro identifikazioan oinarritutako teknikak aukeratuz. Azken prozedurak<sup>[95]</sup> posible egin zuen bai entsegu-zeldari, bai estudio bitartez egindako laginaren karakterizazioari aplikatutako parametro kontzentratuen modeloekin lan egitea. Metodologia hau era egokian moldatzen zen entseguaren baldintza dinamikoetara, ikerketarako baldintza klimatikoaren aukera zabala edukitzea eta probetaren ezaugarri termikoaren tarte handiarekin lan egitea ahalbidetuz, inertzia termikoari, erresistentzia termikoari, eta elementuen eguzki-irabaziari dagokionean. Behin lan-modeloak definituta, entseguko eta beren balidatzeko metodologia optimoa eta denentzat komuna garatu zen, bai entseguan zehar lortutako datuen bai estudioan zehar estimatutako emaitzen akats-análisi zehatza egitea ahalbidetzen zuen errutinaren bitartez, metodo estatistiko eta fisikoetan oinarrituta. Horrek kalitateko informazioa lortzea ahalbidetzen zuen aztertutako laginaren ezaugarri termikoentzat lortzen ziren emaitzetan ziurgabetasuna mugatzea.

Azkenik, sarearen bitartez elkarrekin loturan zeuden zentroen artean talde formal bat eratzeak bermatzen zuen entsegu-bide guztien mantenua eragiketa eta garapen maila berean, kalitate eta trazabilitate estandare propioen aplikazioari esker<sup>[9]</sup>. Sarea hamabi ikerketa-zentroez eratuta zegoen, Europa osoan zehar hamar herrialdetan banatuta zeudenak eta 35 entsegu zelda aktibo guztira<sup>[10,11]</sup> batzen zituztenak.

#### **PASLINK EEIG (1994):**

1994an *PASLINK* sarea *EEIG (European Economic Interest Grouping)* bihurtu zen, metodologia garatzeko ahalegin berri bat egiten ari zen bitartean, oraingoan erregimen dinamikoko entseguari aplikatutako parametro-identifikazioen tresnen hobekuntzan zentratuta. Lan hori *I SIC (System Identification Competition I)*<sup>[84,85,86]</sup> izeneko lehiaketa ofizial moduan egin zen. Bertan

bilatzen zena identifikazio tresnarik onena lortzea zen, horma-tipologia desberdinei zegozkien kasu praktiko sorta batetik abiatuta, eta egoera errealekin parekatzen ziren neurketa baldintzekin. Beraz zarata zuten seinaleekin lantzen zen, neurketa-sentsoreen berezkoa bezala, eta zunda jakin batzuen haustura bezalako kasu partikularrak ematen ziren. Lehiaketa honetatik lortu ziren kalitate handiko bi tresna, *LORD-a (Logical R Determination)*<sup>[301]</sup> eta *CTSM-a (Continuous Time Stochastic Modelling)*<sup>[217]</sup>. Geroago, hurrengo lehiaketak egin dira, *II SIC* eta *III SIC*. *PASLINK* sareak garatu zituen lanen artean *PV HYBRID*-a proiektua, *IQ-Test*-a trazabilitate entsegua, eta *DAME-BC*-a proiektua nabarmentzea dira, kongresu, lan-bilera, eta ezagueraren hedatzen duten argitalpen zientifikoek<sup>[15]</sup> gainera.

#### **PV HYBRID (1996):**

*PV-HYBRID*-a (*Hibryd Photovoltaics in Buildings*)<sup>[375]</sup> proiektuan aireztatutako fatxada fotovoltaikeen eraikuntzari aplikatutako eraginkortasun energetikoa aztertzen zen. Fatxada aireztatuaren prototipo batean oinarritzen zen entsegu-diseinua. Fatxada honetan kanpoko orria zelula fotovoltaiakoak integratuak dituen kapa erdigarden batez eratuta zegoen. Aire-ganberaren behartutako aireztapenak zelula fotovoltaiakoak aireztatzea ahalbidetzen zuen aldi berean bi efektu positibo lortuz: energia elektrikoaren ekoizpenaren eraginkortasunaren hobekuntza eta bero ekarpena aire emariaren aurretiazko berotzearen bitartez bero. Horretaz gainera, studio hartan, eraikin-modelo batean emaitzak integratzeraino iritsi zen, sistemaren eraginkortasun energetikoa herri desberdinetako baldintzetan kuantifikatzeko moduan. Proiektu horrek *PASLINK* metodologian oinarritutako entseguak potentziala baduela adierazten du.

#### **IQ-Test (2000):**

*IQ-Test*-aren (*Improvement Quality Test*)<sup>[62,66]</sup> proiektua laborategi-arteko entsegu baten gauzatzean oinarritzen zen. Lan honek adierazten du trazabilitate eta entsegu kalitatea *PASLINK* metodologiaren osotasunean. Entseguen kalitatea ziurtatu zuten hurrengo *PASSYS* proiektuek lanerako pausu eta lan-metodologia guztiak zehazki definituz, baina ziurgabetasun-analisia amaitzeko trazabilitate osoko entsegu bat egitea beharrezkoa zen. Entsegua bi pausotan osatu zen: lehena, material ezaguneko horma homogeneousko karakterizazioa zen, partaide ziren zentro bakoitzean egiten zena; eta bigarrena, zentro guztietatik igarotzen zen leiho probeta baten karakterizazioa. Entsegu honek zentro bakoitzaren neurketa gaitasuna ebaluatzea eta sareak oro har karakterizatzeko duen zehaztasuna kuantifikatzea ahalbidetu zuen, oso emaitza positiboak lortuz.

#### **DAME BC (2002):**

Aurreko urteetan kontzeptu matematiko eta fisikoetan lortutako esperientzia eraikuntzako sektoreko onuradun posibleei helaraztea bilatzen zen *DAME-BC*-a (*Dynamic Analysis and Modelling applied to Energy performance assessment and prediction of Buildings and Components*)<sup>[3,4]</sup> proiektuan, aurreko urteetan egindako parametro-identifikazio metodoen hobekuntza lanekin jarraitzeaz gainera; era horretan, garatutako tresnak eskuragarri jarri eta publiko guztiari laguntza zerbitzuak eskeiniz. Aldi beran, laguntza-unitate desberdinak sortu ziren lan-eremu horrekin erlazionatutako aretarako, *CEN*-a (*European Committee for Standardization*), *ISO*-a (*International Organization for Standardization*), eta *IEA* (*International Energy Agency*) bezalako beste sare batzuk, etab... *DASU*-a (*Data análisis*



*Support Unit*) sortu zen modelatze matematikoan eta analisi estatistikoan adituak ziren batzuek eraturakoa, ikerketa eta garapen proiektu aurreratu eta laguntzarako. *PPSU*-a (*Performance Prediction Support Unit*) ere sortu zen, osagai-entseguetatik lortutako emaitzak eraikinaren eskalan integrazteko laguntza eskaintzen zuen unitatea.

#### **DYNASTEE (2005):**

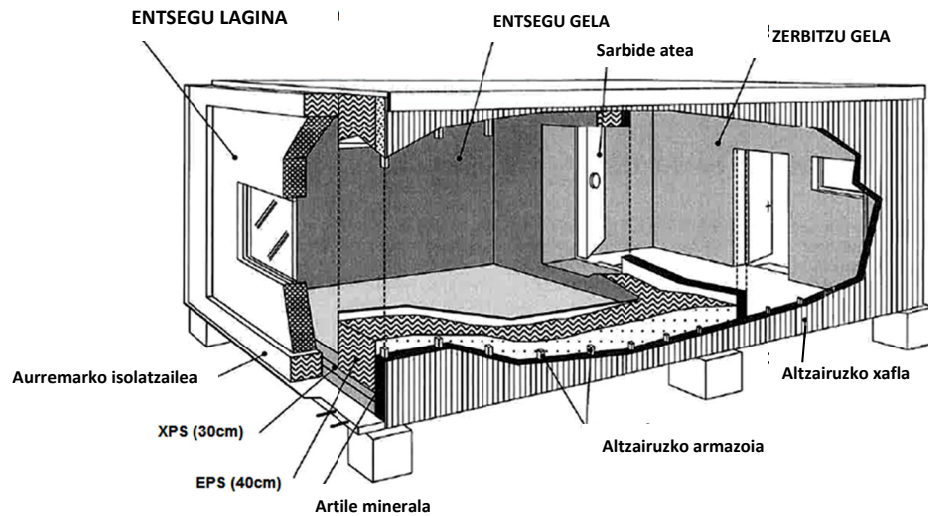
Geroago, *PASLINK EEIG* sarea *DYNASTEE (DYNamic Analysis, Simulation and Testing applied to the Energy and Environmental performance of buildings)* talde informalean bilakatu zen, zeinak *INIVE (International Network for Information on Ventilation and Energy Performance)* sarean aholkulari tekniko gisa parte hartzen duen, eta ikerketa eta garapen lanarekin jarraitzen du, bere eraikuntzako sektorerako publikoan ezaguera hedatzeko jardura mantenduz.

2009an *EKKL*-aren *TA*-ak (*Termikako Arloa*) *EGUZKI-ILARGI* proiektua hasten du, bi zelda *PASSYS*-en instalazioa eta puntuan jartzea biltzen dituena. Lehen zelda, *EGUZKI*, elementu bertikaleko entsegura eta karakterizazioa bakarrik zuzenduta dagoen *PASSYS* modeloa da; bigarren zeldak berriz, *ILARGI*, *II PASSYS* tipologiak, badu osagai bertikalak, nahiz horizontalak karakterizatzeko aukera. Puntuan jartzeko lan guztiak ikuskatu zituen *J.J. Bloem*-ek, *DYNASTEE* sarearen arduradun nagusienetakoak eta hasieratik *PASLINK* metodologiaren garapenean parte hartu duenak. Gainbegiratze honi esker, sarearen eremu esperimentalean lortutako azken hobekuntza eta lorpenak alikatu ahal izan dira *TA*-ko zeldetan; eta dituzte, bero fluxu sentsoreak diren *HFS Tiles*-en azken modeloaren instalazioa, esaterako. Hobekuntza horiei gehitu behar zaizkie, *TA*-ko teknikariek egindako aurrerapenak: infiltrazioak bezalako aspektuen hobetzea, zubi termikoen ezereztatzea, laginen garraioa, sentsoreak, ... Hurrengo atalean *PASLINK-EGUZKI* entsegu zeldaren ezaugarri nagusiak deskribatzen dira, tesi honen lan esperimentalak gauzatzeko erabili dena puntuan jartzeko lanen eta bere azkeneko instalazioaren bidez.

### **1.1.2 PASLINK-EGUZKI zeldaren ezaugarriak**

*PASLINK* zelda entsegu-esparru bat da funtsean eraikin-osagaietako karakterizazio termikorako. Esparru hau banatzen da entsegu-gela batean, isolamendu-gradu garaiarekin eta egiturazko masa termiko txikiarekin bere aurpegietako bat trukagarria denean analizatzeko laginaren jartzerako, eta alboko zerbitzuko gela batean. 1.2 Irudian gelaren konfigurazioko oinarritzko eskema ikus daiteke. Entsegu gelak estudio-osagaien zeharreko beroko eta berezko gelaren itxituraren trukea, bai irabaziak bai galerak, zehaztasun altuarekin neurtzea baimentzen duen kalorimetroaren moduan jokatzen du. Zerbitzu gelan neurri eta kontrola ekipamenduak kokatuta daude. Bi esparruak banantzen dituen horman entsegu gelarako sarbideko atea kokatzen da, entsegu gelaren itxitura baino isolamendu termiko-lodiera bera jartzen duela eta itxigailu-sistemako eta zigilatze-juntura aire-infiltrazio txiki batzuk ziurtatzen dituela. Gelaren konfigurazio honek baimentzen du entseguen egitean zeharreko kontrol ekipamenduan neurri-gelaren baldintzei eragin gabe sartzea. Hurrengo ataletan *PASLINK-EGUZKI* gelaren jatorritzko diseinua itxuratzen duten egiturazko ezaugarriak eta materialak erakusten dira, beraren puntuan jartzeko lanetan zehar egin ziren aldaketek gain.





1.2 Irudia – PASLINK gelaren konfigurazio orokorra eta EKKL-ko ILARGI eta EGUZKI geletako argazkia

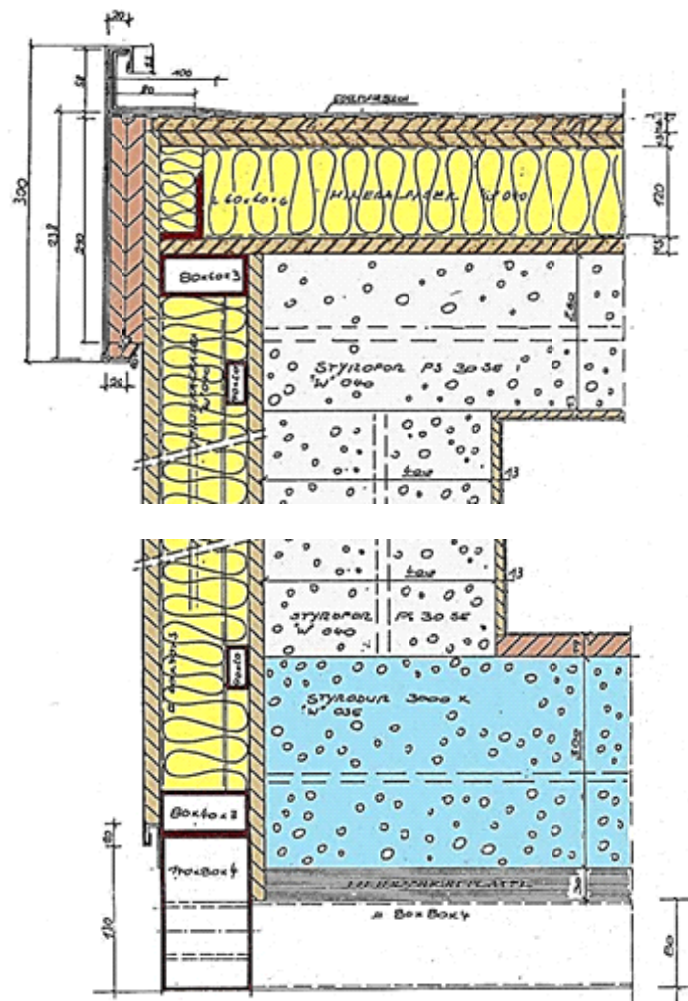
### 1.1.2.1 Zeldaren egitura

Zeldaren oinarriko egitura altzairuzkoprofilezko eskeleto batez eratuta dago, esfortzu mekanikoak eramaten dituen erresistentzia handiagoko beheko bankadara. Eskeleto hori portiko paraleloek osatzen dute, ikus 1.3 Irudia. Egitura metalikoaren eta entsegu gelaren barruko itxituraren arteko zubi termiko posibleak saihesteko lehen isolamendu-kapa jartzen da, 8 [cm]-ko lodieradun harri-zuntzekoa, eta altzairu-habeak guztiz inguratzen dituen. Barruko aurpegia zur hidrofugoko xaflez errematatzen da. Zur-xafla horien gainean entsegu gelako barruko hormak osatzen dituen isolatzailea jartzen da. Kapa hori poliestireno hedatukoa da, 26 [cm] eta 40 [cm]-koa, estalkian eta alboko horman hurrenez hurren; eta 30 [cm]-ko poliestireno estruidoak, aldiz, lorzuruan. Isolatzailea azkenik zur-xaflek eratutako beste kapa batez babesten da. 1.4 Irudian entsegu gelaren inguratzaileko goiko eta beheko sekzioaren eskema eraikitzailea ikus daiteke. Eraikuntzako jatorrizko sisteman xafla metalikoekiko entsegu gelako barruko

azalera sendotasuna hari emateko errematatu zen. Tratatutako altzairu xaflez estalita dago zelda kanpokaldetik; euriaren, ingurune-hezetasunaren, sedimentazioen, eguzki-erradiazioaren, etab.en aurkako babesa izan dezan.



1.3 Irudia - Sostengu egitura eta haitz-artilearen isolatzeko lehen kapa



1.4 Irudia - Entsegu gelako hormetako seekzioa materialetako eskema eraikitzailearekin

*PASSYS*<sup>[2]</sup> deituriko lehen gela-modeloaren egiturazko oinarrizko konfigurazioari dagozkio aurrez definitutako ezaugarriak. *EKKL*-ko *EGUZKI* zelda konfigurazio horretakoa da. Zelda horrek bi hamarkada baino gehiago zeramatzan operazioan, horregatik puntuan jartzeko lanak egitea beharrezkoa zen. Gertaera honek *PASLINK* saregatiko gelen erabileran zehar lortutako esperientzia aprobetxatzea ere ahalbidetu du eta egituraren gaineko ezaugarri esperimentalak hobetu dituzten aldaketak ematea baita. Burutu diren hobekuntzetako bat da entsegu gelaren zubi termikoen murriztapena. Zubi hauen kausa nagusia barruko azalera estaltzen zuten xafla metalikoak ziren.



1.5 Irudia – Entsegu gelaren itxituren lehenengo zur xafla kapa eta sarbide-atea jartzea, eta juntura-zigilatzearen xehetasuna

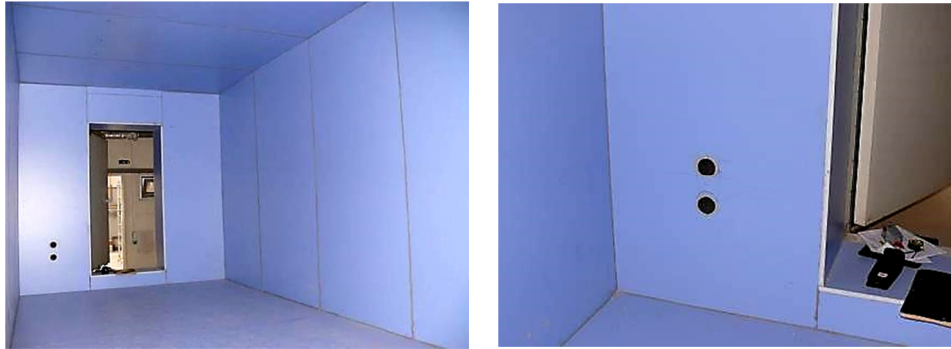


1.6 Irudia – Entsegu gelako infiltrazioen kontrolerako plastikozko kapa

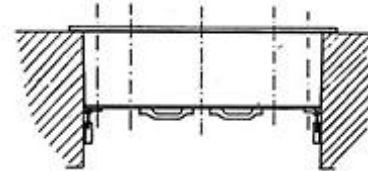
Lehen birgaitze-lanak aipaturiko metal-xaflak erretiratzea izan dira, azpian aurkitzen ziren zurezko xaflak ere ordezkatu dira eta isolatzaile guztia, baldintza txarretan aurkitzen zena, aldatu da. Kapa honetan nahiz gainerako isolatzaileen babes kapetan, zaintza berezia egin da junturak zigilatzerakoan, horrela aire-infiltrazioak entsegu gelan ahal den neurrian txikiagotzeko, ikus 1.5 Irudia. Lehen zur-xafla kapa honen gainean plastiko jarrai bat ipini da entsegu gelan infiltrazio



txikiak ziurtatzen dituen, ikus 1.6 Irudia. Zur-kapa berri bat jartzen da Infiltrazioak zigilatuzko erabiltzen den plastikozko kapa babesteko, eta honen gainean kontratxapatu hidrofugoko azkeneko kapa.



1.7 Irudia – Entsegu gela barruko azaleraren bukaera eta zerbitzu gelarekiko komunikazio hodiak

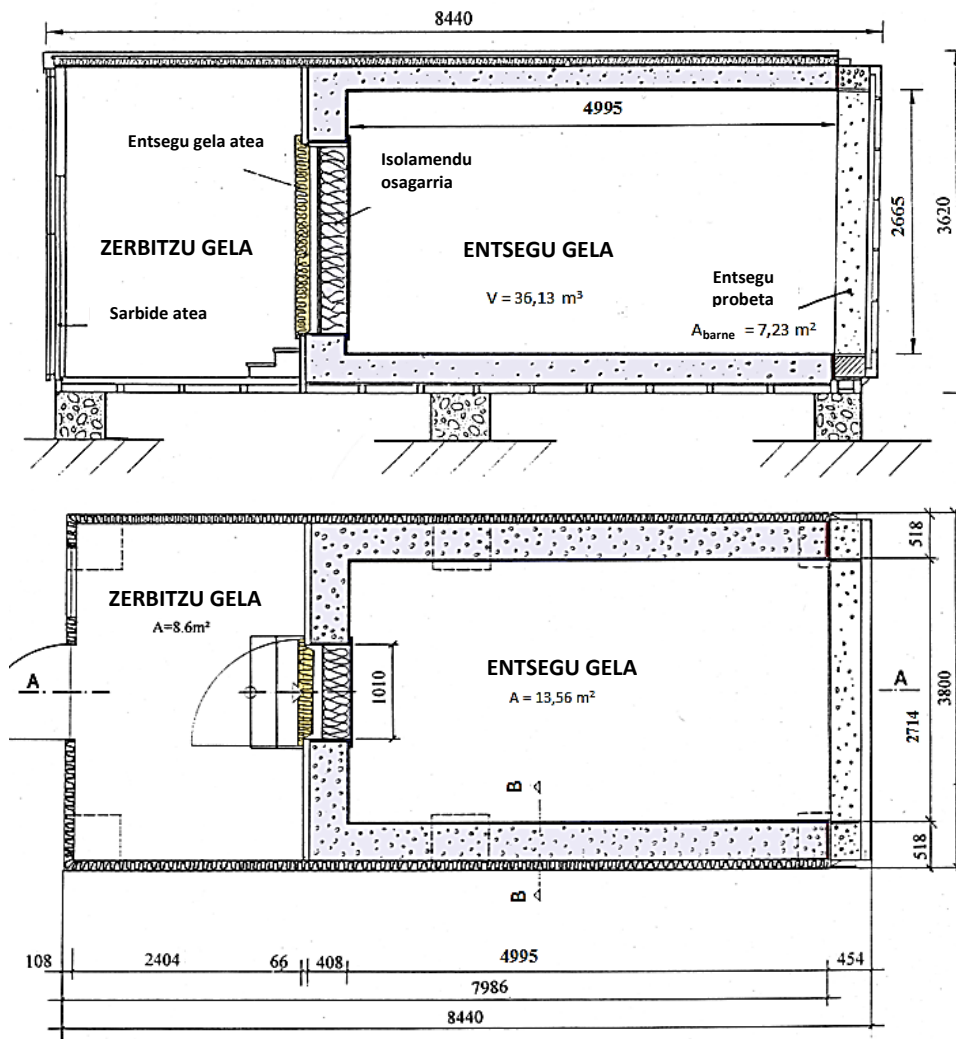


1.8 Irudia- Entsegu gelarako sarbiderako itxigailua, ezkerrean barneko irudia, eta eskuinaldean zerbitzu gelara ematen duen aldearen bista



1.9 Irudia – Entsegu gelako horma aldagarriaren bukaera

Bi kapa berri hauen artean 29 [mm]-ko lodiera duite, bero-fluxu sentsoreak jartzea ahalbidetzen duena eta entsegu gelako barruko azalera guztia estaliko duena, plastikozko lamina inoiz zulatzera heldu gabe. Beste jarduera bat izan da entsegu gela eta zerbitzu gelaren arteko komunikazio hodiak gutxitzea, bi hodi bakarrik eta sarbide-atea utziz. Bi hodi horiek erabiliko dira neurketa eta kontrolerako sistemaren konexioak pasatzeko eta entseguetan infiltrazio-maila egiaztatzeko presio-probak egitea ahalbidetuko duen balbula jartzeko.



1.10 Irudia - Zeldako altxaera eta oinplanoa

1.7 Irudian ikus daiteke entsegu gelako barneko hormak nola geratzen diren azkenean. Entsegu gelarako sarbide-atea da puntu kritikoa, infiltrazioak txikiagotzeari begira. Lehen zigilatze-sistema bezala poliestireno hedatuko 30 [cm]-ko isolatzaile pieza bat erabili da, itxituren erabili den bera. Pieza hori errei batean mugitzen diren gurgil sistema baten gainean muntaturik doa eta hori baoan zehatz mehatz jartzea posible egiten duite, irekitzea eta itxitzea erraztuz. Barruko errematea fabrikatuta dago taula hidrofugoaz. Hori dimentsionatu da atea eta gelako barruko gainazala jarraiak izateko moduan eta eraikuntza konfigurazio homogeneoa izan dezan behin bere lekuan kokatzean; era horretan, bi dimentsioko bero-fluxua sortzea saihestuz. Egoera honek entseguan zehar emango diren bero fluxuetan oreka handiagoa lortzea ahalbidetzen du, bere

neurketa erraztuz. Kanpoaldetik hozkailu-atea dauka, azkeneko zigilatzea egiten duena aire-infiltrazioei dagokionean. 1.8 Irudiaren argazkietan ikus daitezke entsegu gelarako sarbideko zulorako isolamendu gehigarria eta kanpoko hozkailu-atea. Azkenik, garrantzi handiko beste aldea entsegu gelaren hegoaldea da, lagina jartzen den aldea. Probeta eraikitze zeldaren egiturarekiko desmontagarria den lagin-garraiatazalea dauka. Lagin-garraiatazale sistemaren diseinua entseguan hein handi batean parte hartzen duen puntua da eta 1.3.1 atalean xehetzen da gehiago. oso gogorra den zur fronte bat jarri da bukaera bezala, laginak aldatzeko momentuetan gelako horma isolatzaileak babesteko asmoz. Kanpoko perimetroan, lagin-garraiatazalearen amarratze uztaiak dauden lekuan, estutzeko banda elastikoa ere jarri da, infiltrazioen kontrako zigilatze-gradua handitzen duena. 1.9 Irudian ikus daiteke entsegu gelaren itxiturako isolatzaile-kapa babesten duen erresistentzia handiko zura, eta zigilatzea ziurtatzen duen neoprenoko banda, ezkerreko irudian. Eskuineko irudian ikus daiteke baita ere nola geratzen den lagin-garraiatazalearen sistemaren kanpoko egitura eratzen duen aurremarko metalikoa jarri eta gero.

Materiala	Ezaugarriak	Lodiera [mm]	Eroakortasuna [W/mK]	Dentsitatea [kg/m <sup>3</sup> ]	Bero espezifiko [J/kgK]
Aglomeratua	-	13	0,10*	800*	1200
Kontraxapatua	-	21	0,11*	560*	1200
Haitz-artilea	Rockwool	80/120	0,038*	30*	840
Poliestireno hedatua	Styropor W 040	260/400	0,035*	28*	850
Poliestireno extruitua	Styrodur W 035	300	0,032*	34*	850

\* neurtutako balioak

1.1 Taula – Itxiturako materialen ezaugarri termofisikoak

	Erresistentzia [K/W]	Koduktantzia [W/K]	Kapazitatea [MJ/K]
estalkia	0.830	1.205	0.928
hormak	1.066	0.938	0.942
zorua	0.721	1.387	0.561
iparraldeko horma	1.963	0.510	0.512
goiko izkina	-	-	0.173
beheko izkina	-	-	0.132
zubi termikoak	-	0.996	-
	<b>0.167</b>	<b>5.973</b>	<b>4.497</b>

1.2 Taula – Entsegu gelaren itxituraren ezaugarri termiko osoak

1.10 Irudian entsegu gelaren altzaera eta oinaren bistak erakusten dira inguratzailea puntuan jartzeko lanak burutu ondoreneko behin betiko dimentsioekin. 1.4 Irudian irudikatutako ebakidura B-B sekzioari dagokio. Behin entsegu gelaren egitura definituta, gelaren transmitantzia eta kapazitate termikoaren kalkulu teorikoak egin dira. Balio horiek ezagutzea garrantzitsua da entseguetan beharrezko berotze-potentzia elektrikoa zehaztetu ahal izateko eta zeldaren portaera termikoa estimatzeko. 1.1 Taulan entsegu gelaren itxitura osatzen duten material nagusien ezaugarri termofisikoak jasotzen dira, estudiorako erabili diren balioak. Eroankortasun termikoko balioak EN 12664<sup>[8,9]</sup> eta

EN 12667<sup>[10]</sup> arauen arabera neurtu dira, eta EN 1602<sup>[11]</sup> arauaren arabera dentsitate balioak. Itxituraren aurpegi bakoitzaren erresistentzia termikoa zehazten da hura osatzen duten kapa guztien erresistentzia partziala eta ertz efektuak gehituz. Ertzetako geometria aldaketan ondorioz eratzen diren zubi termikoen efektua estimatzeko, estalkiaren eta alboko paretaren arteko intersektzioa hartzen da erreferentziatzat, denen artean adierazgarrienetako bat denez gero. Transmitantzia termiko lineala kalkulatu da,  $\psi$  [W/mK], ISO 10211<sup>[84]</sup> arauan esandako metodologia erabiliz: bolumen mugatuengatik kalkuluaren bitartez, *Fluent 6.2*<sup>®</sup> erreminta erabiliz. Transmitantzia linealerako estimatutako balioa  $\psi = 0,024$  [W/mK]-koa da. Ertz-efektuen analisia eta neurketa 2.2.2 atalean zabalago garatzen da. Entsegu gelaren itxituraren konduktantziarako lortzen den azkeneko balioa  $H_A = 5,95$  [W/K]-ko da, eta erabateko kapazitate termikoa  $C_A = 8,12$  [MJ/K]-ekoa da, ikus 1.2 Taula. Balio horiek  $\tau = R \cdot C = 7,7$  [egun]-eko ordenaren denbora-konstantea ekartzen dute. Balio horrekin gelaren erantzun-denbora estimatu daiteke eta hura entsegu-laginetakoarekin konparatu. Era horretan, erreferentzia bat hartu daiteke entsegu-errutinaren maiztasuna eta iraupena definitzeko.

### 1.1.2.2 EGUZKI zeldaren instalazioa

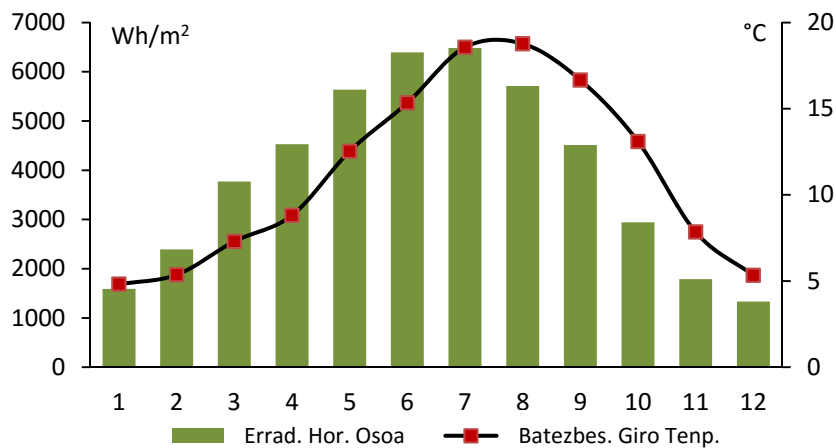
Zelda ERKL-aren instalazioetan kokatuta dago, Gasteizeko hirian, Euskadin, Espainian. 1.11 Irudian aipaturiko instalazioen aireko irudia ikus daiteke, TA-k dituen bi zelda PASLINK-en, EGUZKI eta ILARGIren, lokalizazioarekin. 1.12 Irudiaren grafikoan erakusten dira urte tipo baterako hiriaren ezaugarri klimatologikoak, giro-tenperatura batezbestekoa eta erradiazio horizontal osoa. 1.3 Taulan altitude eta koordenatuaren datuak jasotzen dira. PASLINK zeldak laborategiaren ekialdean daude, lan-eraikinaren ondoko patioan, hormigoizko zolata baten gainean, laginen manipulazioa eta aldaketa errazten duten garabien zirkulazioa ahalbidetzeko. Bi gelen kokapena aukeratu da hurbileko eraikinen itzal efektuak entsegu-azalaren gainean ahalik eta txikienak izan daitezen. 1.13 Irudian beren kokapen planoak erakusten dira. Zeldak hormigoizko sei zapataz osatzen diren zimenduen gainean kokatzen dira, 1,6 [m]-ko aldedun forma kubikodunak, zeinen gainean zelda sostengatzen duten zutabe motz batzuk hastendiren. Izkinetako zutabeek 0,5 [m]-ko aldedun sekzio karratua dute, eta erdialdeko bi zutabeek 0,6 [m]-ko aldeduna.



1.11 Irudia – ERKL-aren instalazioak Gasteizean



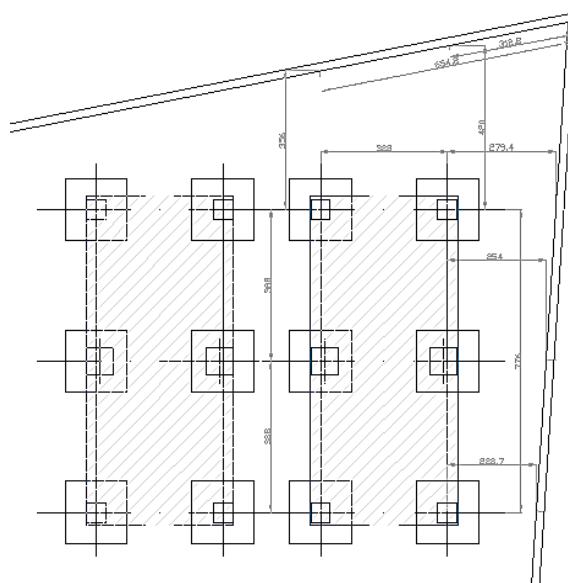
Zeldak Lurzoruaren gainetik 0,5 [m]-ra daude, hortaz lurraren temperaturaren efektua txikiagotzen da. Zeldak kokatuta daude entsegu-azalera hegoaldera eman dezaten. Neurketa topografikoen bitartez egin dira zutabeen eraikuntza, nahiz gelen azken kokatzea, hego geografikoarekiko  $\pm 1^\circ$ -etatik beherako ziurgabetasunarekin kokatzea lortuz. 1.14 Irudian ikus daiteke zimentazioaren hormigoitzea eta euskarri-zutabeen orientazioaren ondorengo egiaztatzea. Zutabeen eta gelen arteko kontaktu azalera neopreno-xafalak jartzen dira kontaktua hobetzeko eta  $0,5^\circ$ -eko malda sortzeko, H-I norabidean, nahiz E-M-an, euri-uraren ebakuazioa estalkiaren eta laginaren gainean errazteko. 1.15 Irudian ikus daiteke EGUZKI entsegu zeldaren instalazioa, kalibratio-hormarekin.



1.12 Irudia – Gasteizeko baldintza klimatikoak

Latitud	42° 51' N
Longitud	2° 41' O
Altitud	525 msnm

1.3 Taula – Gasteizeko hiriaren koordenatu geografikoak



1.13 Irudia – EKKL-aren instalazioetako bi zelden antolamendua





1.14 Irudia – Zimenduen eraikuntza eta zelden euskarri diren zutabeen orientazioaren egiaztatzea



1.15 Irudia – EGUZKI zeldaren hasierako instalazioa

Instalazioaren azken osagai bezala entsegu gelaren itxiturako hormak inguratzen dituen eguzki-oihala jartzen da eta beren ingurune-baldintzak homogeneousatzen ditu. Hori da eguzki-oihalari esker eguzki-erradiazioaren eguneko orduen aldakortasunaren araberakoa denaren, alboko hormen gainean efektuak moteltzen direlako ekialde eta mendebaldeko alboko hormen gaineaneta baita estalkiaren gainean zuzenean duen eraginean. 1.16 Irudian bi entsegu-zelden instalazioa amaituta ikus daiteke. EGUZKI irudiaren eskuinetara kokatuta dagoena da, leiho-entsegu batekin; eta ILARGI, ezkerraldean kokatuta dagoena, estalki-entsegu batekin.



1.16 Irudia – EKRL-ko PASLINK entsegu zelden instalazioa

## 1.2 Instrumentazioa

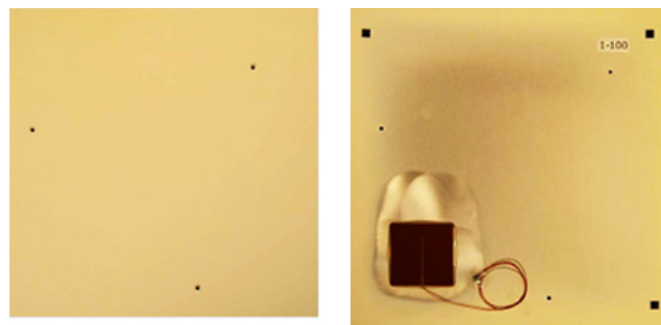
Behin entsegu-zeldaren egitura definituta, hurrengo puntu garrantzitsua instrumentazioa da. *PASLINK* zelda guztiak oinarritzko sentore-ekipamendu eta horien kokakzio berdinarekin hornituta daude, Stuttgarteko *ITW*-ak (*Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik*) eta Ispra-ko *JRC*-ak definitutakoak. Halaber, beren nomenklatura komuna da, datu-fitxategi trukea sinplifikatzeko moduan eta ez daitezten sortu interpretazio-akatsak. Jasota daude instrumentazioaren baldintzak Eragiketa- Eskuliburuan<sup>[12]</sup>, Neurketa eta Analisisietako Prozeduren Eskuliburuan<sup>[3]</sup>, eta Kalibrazio eta Mantenuaren Eskuliburuan<sup>[9]</sup>. Kodifikazio horrek trazabilitatea ziurtatzen du kalibrazioaren dokumentazioan eta erreferentziatutako sentore bakoitzaren erabileran. Zelda hornitzen duten instrumentazioak definitzen dira ondorengoak karakterizatu ahal izateko:

- barruko baldintzak, entsegu-gelakoak, nahiz zerbitzu-gelakoak;
- zelda eta laginaren inguruko kanpoko giroaren baldintzak eta baldintza klimatiko orokorrak.

Hurrengo ataletan deskribatzen dira *EGUZKI* zelda dohatzen duten instrumentazioaren ezaugarriak. Entsegu gelaren barruko itxitura guztia estaltzen duten bero fluxuko sentoreak nabarmendu behar dira. Sentore horiei *HFS Tile* izena ematen zaie.

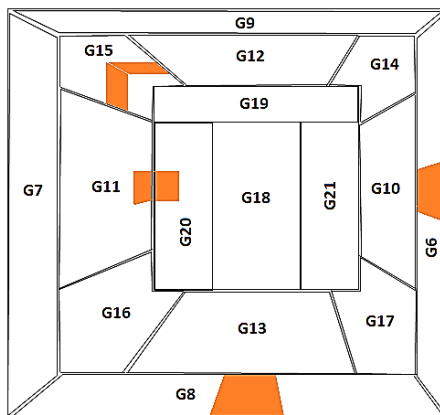
### 1.2.1 Bero-fluxuaren neurria, *HFS-Tiles*

*HFS Tiles*-ak *PASSYS* zelden gaineko muntaketarako Holandako *TNO-Building and Construction*-aren eskutik espezifikoki garatutako bero-fluxu sentoreak dira. Lehen diseinua *COMPASS* proiektuan egin zen, sistema pseudo-adiabatikoaren alternatiba bezala, entsegu gelaren itxiturean zehar trukaturako bero fluxuaren neurri zehatza edukitzeko. Sistema horrek entseguaren konplexutasuna sinplifikatzen du hein handi batean, zubi termikoak zuzenean neurtzen baitira eta ondorioz, ziurgabetasun kalkulua desagertzen delako. *HFS Tiles*-ek entseguaren zehaztasuna handitzen dute eta giro-baldintzen neurketarako ahaleginak zentratu egiten dira. *Hukseflux Thermal Sensors* enpresa nederlandarrak 2009ko urtarrilean eraikiak dira *EGUZKI* zeldan jarritako *HFS Tiles*-ak, eta azken bero-fluxu sentorearen azken prototipoari dagozkie. *HFS Tiles* horiek sareko gainerako zeldetako aurreko prototipoen erabileran zehar lortutako esperientzian oinarritutako hobekuntzak biltzen dituzte.

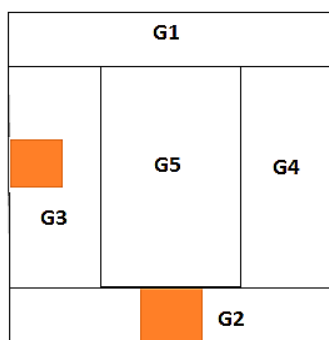


1.57 Irudia – *HFS Tile*, kanpoko aurpegia, ezkerrean; barruko aurpegia bero-fluxu sentorearen xehetasunarekin, eskuinaldean

Tiles HFS-en unitate oinarria da aluminiozko azaleraduna eta 530x530x3 [mm]-ko dimentsiokoa, 100x100x3 [mm]-ko dimentsiodun bero-fluxu sentsore bat bere atzealdeari itsatsita duena, ikus 1.17 Irudia. Tiles-en sentikortasuna  $31,5 \pm 1,7$  [ $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$ ]-koa da. Aipaturiko balioa zehazteko 25 tiles kalibratzen dira, batz besteko balioa hartuz kalibrazio-faktore bezalatasentsore guztientzat. Sentikortasun koefizientearen tenperaturarekiko menpekotasuna  $-0,14$  [%/K]-koa da. Guztira 235 tiles daude, zeinetako 210 entsegu-gelaren itxituran kokatzen diren eta 25 kalibrazio-horman. Sentsoreak seriean konektatzen dira 21 neurketa-talde eratuz, zeinetako 6 hormen azaleraren erdiguneko fluxuaren neurketari dagozkion, eta 15 ertzetako zonetan kokatzen dira zubi termikoko efektua neurtzeko. 1.18 Irudian eta 1.19 Irudian taldeak entsegu gelan eta hegoaldeko azalera kokatutako kalibrazio horman nola antolatzen diren azaltzen duen eskema erakusten da, hurrenez hurren; *EGUZKI* zelda eta lagin-garraitzzailean jarritako kalibrazio-hormaren irudiak, halaber. Tiles-etako bero fluxu sentsorea aluminio-plakako ertzetik 120 [mm]-tara kokatzen da, ikus 1.17 Irudia. Antolamendu horrekin ertz-efektuak zehazki neurtu daitezke. 1.4 Taulan neurketa-taldeen ezaugarriak jasotzen dira. Tiles-ak 1 [cm]-ko tartearekin jartzen dira, hortaz entsegu gelaren itxiturako azalera guztia ez da estaltzen. Guztira 66,772 [ $\text{m}^2$ ] estaltzen dira, azalera osoarekiko% 2,5 baino txikiagoko desberdintasuna egonda, zein kalibrazio-prozesuan kontuan hartzen den eta 2 *Kapituluan* deskribatzen den. Bere instalaziorako, lehenik kable zapal sorta bat jartzen da konektoreekin bere luzeran zehar banatuta.



1.68 Irudia – Entsegu-gelako HFS Tiles-taldeen konfigurazioa eta multitiles-en kokapena



1.79 Irudia – Kalibrazio-hormaren HFS Tiles-taldeen konfigurazioa eta multitiles-en kokapena

Talde	Kokapena	Tiles Kop.	Azalera (m <sup>2</sup> )
G1	Goiko ertza kalibrazio-horman	5	1.462
G2	Beheko ertza kalibrazio-horman	5	1.462
G3	Ekialdeko ertza kalibrazio-horman	3	0.841
G4	Mendebaldeko ertza kalibrazio-horman	3	0.841
G5	Zona zentrala kalibrazio-horman	9	2.460
G6	Ekialdeko horma eta laginaren ertza	5	1.436
G7	Mendebaldeko horma eta laginaren ertza	5	1.436
G8	Zorua eta laginaren ertza	5	1.462
G9	Estalkia eta laginaren ertza	5	1.462
G10	Ekialdeko hormaren zona zentrala	24	6.798
G11	Mendebaldeko hormaren zona zentrala	24	6.798
G12	Estalkiaren zona zentrala	24	7.014
G13	Zorua zona zentrala	24	7.014
G14	Ekialdeko horma eta estalkiaren ertza	16	4.800
G15	Mendebaldeko horma eta estalkiaren ertza	16	4.800
G16	Mendebaldeko horma eta zoruaren ertza	16	4.800
G17	Ekialdeko horma eta zoruaren ertza	16	4.800
G18	Zerbitzu gelako Sarbide-atea	8	2.326
G19	Zerbitzu gelako goiko ertza	6	1.358
G20	Zerbitzu gela eta mendebaldeko hormaren ertza	8	1.701
G21	Zerbitzu gela eta ekialdeko hormaren ertza	8	1.701
		<b>Erabateko azalera</b>	<b>66.772</b>

1.4 Taula – HFS-Tiles-en neurketa taldeen konfigurazioa

Geroago konprimagarria den material isolatzaile kapa bat jartzen da, tile-aren kontaktu ona ziurtatzen duena eta aire-ganbera eraketa saihesten du neurri-azalera atzean, efektu konbektibo posibleak horrela ezabatuz. Tiles-en muntaketa zuzenean egiten da entsegu gela barruko azalera estaltzen duten kontratxapatu xafren gainean, juntura plastikoak dauzkaten torloju eta banantze-zirien bitartez, loturetan zubi termikoak txikiagotzeko. 1.20 Irudiaren argazkietan muntaketa-prozesu hori ikus daiteke. Ertzetakofluxuen neurketaren zehaztasuna hobetzeko izkina-tipologia bakoitzean *multitile* bat dago. Tiles horiek hiru bero-fluxu sentsore daukate, A, B eta C, ezkerretik hasita eskuinera, 1.21 Irudiaren arabera.



1.20 Irudia – HFS Tiles-en muntaketa eta serieko konexioko sistemaren xehetasuna

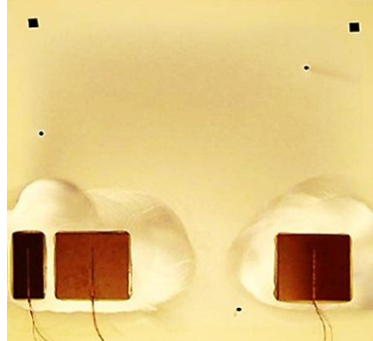


*Tiles* horietako sentsoreak ertzetiko distantzia jakin batera daude: 30 [mm]-ra *A sentsorea*, 120 [mm]-ra *B sentsorea*, *multitile*-a jarrita dagoen taldean parte hartzen duen sentsorea, eta 430 [mm]-ra *C sentsorea*. Konfigurazio horrek esan nahi du neurtutako fluxuak  $\phi_A > \phi_B > \phi_C$  formakoak direla. Hiru seinale horien erregistroei esker karakterizatu daiteke bero-fluxuaren profila tenperatura-eremuaren distortsio zonan. Sentsoreen kokapenaren interesa ulertzeko estalkiaren eta hormaren arteko topaketaren ingurutako bero-fluxuaren profila erakusten da, 2 *Kapituluan* garatutako estudiotik lortu dena. Ikus daitekenez, *A sentsorea* dimentsio bakarreko fluxuarekiko % 100 baino handiagoko fluxua neurtzen ariko litzateke, *B sentsorea* % 20 baino handiagoko fluxua, eta *C sentsorea* dimentsio bakarreko fluxua, ikus 1.22 Irudia. Ertz-efektua ez da heltzen 400 [mm]-etatik gora, hortik *tiles*-en dimentsia; era horretan, ertzeko taldeek guztiz erregistratzen dute, talde zentralak aipaturiko efektuak jasaten ez dituzten bitartean. Efektu hori geometriagatik eta osatzen duten materialen ezaugarri termikoengatik baldintzatuta dago. Hori ezagututa, gela barruan ertz efektuen lau tipologia desberdin bereizten dira, garrantziaren arabera sailkatuta:

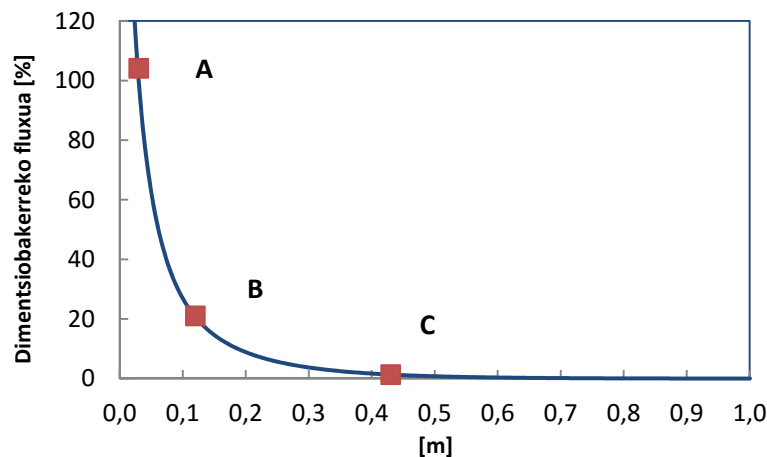
- 1 Tipologia: luzetarako izkinei dagokie, ertz efektuak luzera handiagoarekin jasaten dituzte eta, beraz, entsegu gelaren itxituraren erabateko fluxuaren neurketan pisu handiagoa dute. Haiek kuantifikatzeko 15 taldean kokatutako *multitile*-a erabiltzen da.
- 2 Tipologia: hegoaldeko alboko eta goiko ertzei dagokie, entsegu gelaren egituraren eta lagin-garraiatazaille sistemaren arteko bat-egite zonaren topaketan. Efektu horiek konplexuak dira, gelako geometriaren aldaketa gertatzen den lekuan gertatzen direlako; eta gainera, giroen arteko tenperatura-desberdintasun altuenen menpe daude. Haiek kuantifikatzeko 6 taldean kokatutako *multitile*-a erabiltzen da.
- 3 Tipologia: hegoaldeko beheko ertzari dagokio, entsegu gelaren egituraren eta lagin-garraiatazaille sistemaren arteko bat-egite zonaren topaketan. Zona hori hegoaldeko gainerako ertzetik bereizita analizatzen da; gelako lurzoruan, nahiz lagin-garraiatazaillearen behealdean materiale aldaketa ematen baita. Haiek kuantifikatzeko 8 taldean kokatutako *multitile*-a erabiltzen da.
- 4 Tipologia: iparreko aldea, zerbitzu gela banantzeko horma eta estalkia eta entsegu gelako alboko hormak elkartzen diren guneari dagokio. Ertz-efektu horiek eragin gutxiena dutenak dira -tenperatura-tarte txikiagoak jasaten dituzte- eta fluxu unitario txikiak dagozkie. Haiek kuantifikatzeko 11 eta 20 taldetan kokatutako *multitile*-ak erabiltzen da.

Entsegu gelaren itxiturako fluxuaren neurketaren zehaztasunak laginaren karakterizazioko ziurgabetasunari eragiten dio zuzenean. Beraz, kalibrazio-entsegu bat burutzen da, *PASLINK* metodologiako lehen pauso bezala, eta *tiles*-etan fluxuaren neurketa dohitu eta egiaztatzea ahalbidetzen duena. Aipaturiko kalibrazio hori egiteko entsegu-gelaren itxituraren antzeko ezaugarri termikoak dituen lagina erabiltzen da eta *tiles*-ak jartzen zaizkio, 1etik 5erako taldeetakoak, barruko azalera guztia zeharkatzen duen fluxua guztiz neurtuta egoteko moduan. Kalibrazio-horman lagin-garraiatazailetik hurbil geratzen diren zonetan ertz-efektuak sortzen direnez, haiek kuantifikatzeko 2 eta 3 taldeetako *multitiles*-ak erabiltzen dira. 1.18 Irudian eta 1.19 Irudian *multitiles*-en antolamendu osoa ikus daiteke, itzaleztatuta irudikatzen direnak. Behin kalibrazioa eginda, gainerako

osagaien entseguak egiteko erabiltzen diren taldeak 6tik 21era doazen taldeak dira, entsegu gelaren itxiturako hormetan jarrita.



1.21 Irudia – Multitiles-etako sentsoreen xehetasuna



1.22 Irudia – Multitiles-etako sentsoreek neurtutako bero-fluxuak

## 1.2.2 Entsegu gelaren instrumentazioa

Gelaren barruko baldintzen karakterizaziorako hurrengo aldagaiak neurtzen dira:

- aire-tenperatura
- azalera-tenperatura
- beroketan eta airearen irabiatzean kontsumitutako potentzia
- beroko fluxuak itxituran zehar
- aire-infiltrazioak

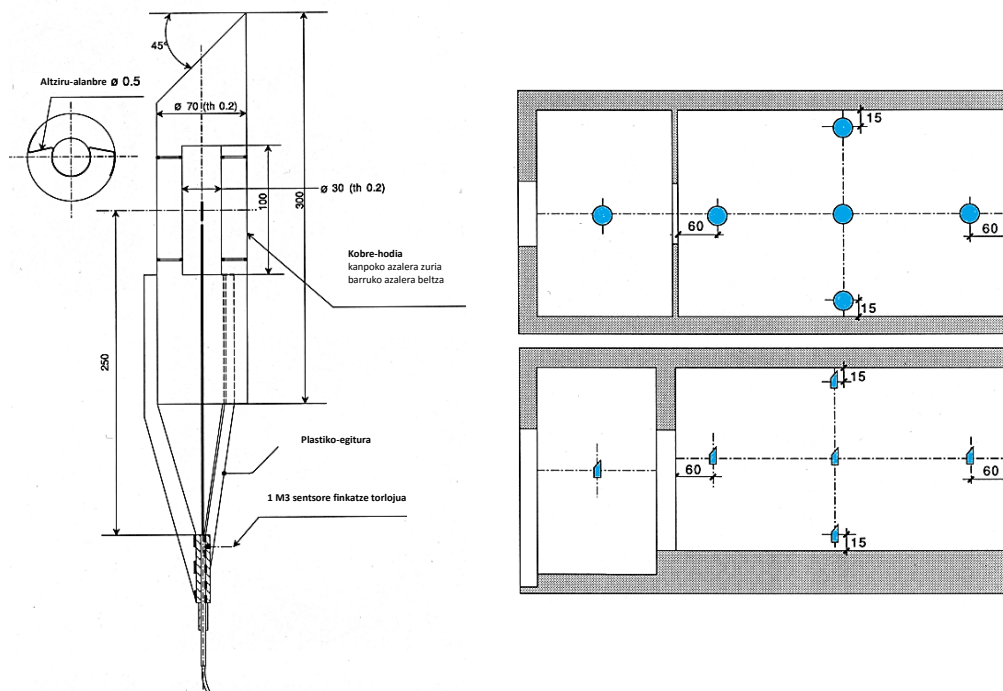
1.5 Taulan *EGUZKI* gelan erabilitako neurketa tresnen ezaugarri teknikoak erakusten dira. Funtsezko parametroa da entsegu gelako barneko airearen tenperaturaren neurketa, entsegu-metodologian, baita modelo balidatze prozesuan ere; beraz, oso garrantzitsua da bere neurketa egoki egitea eta egiaztatzea. Entseguaren eskaeretakoa bat baldintza homogeneousak lortzea da entsegu gelako airearen bolumen osoan, tenperatura-bektore bakarrarekin karakterizatzeko moduan. Aipaturiko homogeneousotasuna egiaztatzeko



temperatura-gradientea analizatzen da plano horizontalean altuera erdira, eta altuera desberdinetarako erdiguneko ardatz bertikalean. Guztira 7 zunda erabiltzen dira eta bataz besteko balioa hartzen da aire-temperatura baliotzat, beti ere bi punturen arteko desberdintasun maximoa  $T_{max} < 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$  baldin bada. Erabilitako sentsoreak Pt100 tipokoak eta A motako termoresistentziak dira, zeinek konfigurazioaren bitartez 4 haritara neurtzen duten, konexio-harrietako erresistentzia zuzentzea ahalbidetzen duen eta neurketa-akatsa ahalik eta gehien gutxitzen duen. Konfigurazio horri esker zehaztasun altua lortzen da temperaturaren neurketan,  $\pm 0,2^\circ\text{C}$ -ek neurketa-ziurgabetasuna ez du gainditzen; hau da, *PASLINK* prozedurek eskatutzen duten balioa.

Parametroa	Unitatea	Sentsore mota	Sentsore kop.	Ziurgabetasuna
Temperatura	$^\circ\text{C}$	PT100, A mota, 4 hari konexioa	14	$\pm 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}$
Bero-fluxua	W	HFS Tiles	210	$\pm 0,5 \text{ W}$
Potentzia elektrikoa	W	Wattmetro monofasikoa SINEAX 536	1	$\pm 0,2 \%$
Presio-galera	Pa	Ahlborn, FD8612DPS/APS	1	$\pm 0,5 \text{ Pa}$
Hezetasun erlatiboa	%	Transduktor chip	1	$\pm 3 \%$

1.5 Taula – Entsegu gelaren instrumentazioaren ezaugarri teknikoak



1.23 Irudia – Aire temperatura neurtzen duten zunden distribuzioa entsegu gelan eta apantailatu sistemaren xehetasuna erradiazioaren kontra

Zunden berezko prestazioen baldintzekin batera, arreta berezia izan behar da bere muntaketan, erradiazio-efektuek ez dezaten eragin. Helburu horrekin apantailatu-sistema garatu du *PASLINK*-a sareak, bi zilindro zentrokideren bitartez. Kanpoko babesleak diametro egokia du zundaren aireztapena ziurtatzeko eta kanpokotik zuriz eta barnetik beltzez margotuta dago. Barruko zilindroa emisibitate baxuko inprimazioarekin estalita dago. Apantailatu-sistema 1.23 Irudiko xehetasunean ikus daiteke, entsegu gelako aire zunden antolamenduaz gainera. Aire-zundak enbarillatuak daude 15 [cm]-ko luzerako zorro metaliko batekin. Azalera

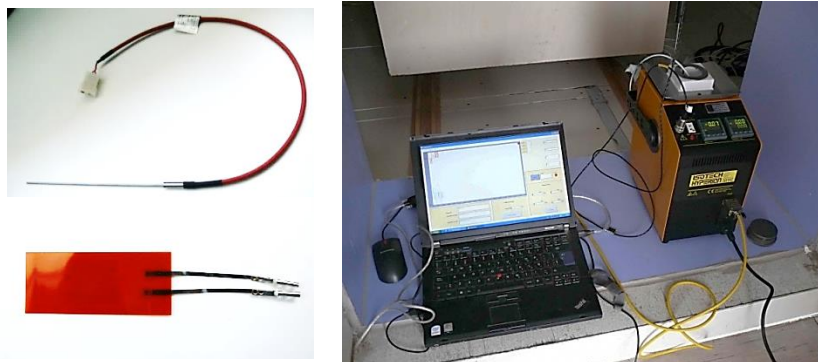
temperaturako neurketa zundek orri konfigurazioa dute, neurketa azalera guztian zehar banatuta dagoen platinozko hariarekin. Horiek kokatuta daude entsegu gelako aurpegi-tako bakoitzean, aire-zunden aurka ipinita, iparraldeko horman izan ezik; bertan zunda zentrala baitago, gainerako paretetan bezala, eta alboko zunda bat, sarbide-atea inguratzen duen azaleran. 1.18 Irudian ikus daitezke zundak nola jarri diren *EGUZKI*-a gelan.

$R_0$	$100\Omega \pm 0,05\Omega$
$\alpha$	$0,003850 \pm 0,00005$
Estabilidad	$0,010 \Omega/\text{año}$
Intensidad nominal	1 mA
Error a 1mA	$0,004^\circ\text{C}$

1.6 Taula - Erreferentzia-zundaren espezifikazioak

Rango temperaturas	$45^\circ\text{C}$ por debajo de ambiente a $+140^\circ\text{C}$
Estabilidad absoluta	$\pm 0,025^\circ\text{C}$
Uniformidad	$\pm 0,005^\circ\text{C}$
Volumen de calibración	65 mm (diámetro)
	160 mm (profundidad)

1.7 Taula - Kalibrazio-bainuaren espezifikazioak



1.24 Irudia - Temperatura-zundak eta kalibrazio-prozesua

Temperatura-zundak urtero kalibratzen dira murgiltze-bainuaren bitartez, *PASLINK* araudiaren Kalibrazio Prozeduraren<sup>[9]</sup> arabera. Erreferentzia-patroi bezala  $\pm 0,001^\circ\text{C}$  erresoluzioko termoresistentzia bat erabiltzen da, bi urtez behin kalibratzen dena nazioarteko trazabilitate patroien bitartez. Kalibrazio-maila  $0^\circ\text{C}$ -tik doa  $60^\circ\text{C}$ -tara doa. Kalibrazioa *in situ* egiten da, hortaz neurketa prozesu osoaren erabateko ziurgabetasuna, zunda, konexio-kablea eta neurgailua zehazten dira, , ikus 1.24 Irudia. Kalibrazio-entsegu bakoitzeko kalitate erregistroa edukitzen da. 1.6 Taulan eta 1.7 Taulan erakusten dira temperatura-zunda patroien eta kalibrazio-bainuaren ezaugarriak. Irakurgaien homogeneotasuna ziurtatzeko eta kalibrazio-prozesua errazteko zunda guztiak hornitzaile berarekin eta fabrikazio-sorta berekoak dira. Neurketa eta datuak eskuratzeko sistema bezala *Agilent*

34980A multimetro modeloa erabiltzen da, 34921A multiplexore txartelekin eta 34921T konexio-terminalekin. Multimetroaren ezaugarriak 1.8 Taulan erakusten dira. Entseguaren ejekuzioan zehar laginketa periodoa 1 [min]-koa da eta iragazki itegratzailea aplikatzen zaio seinaleari, maiztasun altukoosagaien zarata ezabatzen duena.

FUNTZIOA	TARTE	BEREIZMENA	ERRORE
DC Tentsioa	100 mV	0,1 $\mu$ V	4 $\mu$ V
	1 V	1 $\mu$ V	7 $\mu$ V
	10 V	0,01 mV	0,05 mV
	100 V	0,1 mV	0,6 mV
DC Intentsitatea	300 V	0,1 mV	9 mV
	10 mA	0,01 $\mu$ A	2 $\mu$ A
	100 mA	0,1 $\mu$ A	5 $\mu$ A
	1:00 AM	1 $\mu$ A	100 $\mu$ A
Erresistentzia	100 k $\Omega$ /1mA	0,0005 $\Omega$	0,005 $\Omega$
	1 M $\Omega$ /1mA	0,0001 $\Omega$	0,005 $\Omega$
	10 M $\Omega$ /100 $\mu$ A	0,0001 $\Omega$	0,005 $\Omega$

1.8 Taula – Eskuratze eta neurri sistemaren espezifikazioak

Entsegua egitean garrantzi handieneko aldagaia, temperaturaz gainera, entsegu gelan sartutako potentziaren neurria da. Entsegu-errutina oinarritzen da ausazkoa potentziadun seinalearen sorkuntzan, zeinak barruko bolumenaren portaera termikoa kanpoko baldintzekiko desberdintzea ahalbidetzen duen. *EGUZKI* gelak entsegu gelaren beroketarekin lan egiten du, erresistentzia elektrikoaren bitartez egiten dena etadatu-neurgailuak berak injektatutako kontrolaren seinale baten arabera jokatzen duen errelearen bitartez kontrolatzen dena. 1 [m]-ko luzera duen haizagailu tangenzial bat da entsegu gela barnean kontsumo energia duen beste sistema, berokuntza-sistemarekin batera, eta temperatura-homogeneotasuna ziurtatzen duena. Entsegu gelan sartzen duen potentziako kable bat dago soilik erabilitako energiaren neurri zehatza lortzeko, wattmetro monofasikoaren bitartez erregistratzen dena. Haizagailuak kontsumitutako potentzia 40 [W] ingurukoa da eta entseguetan erabilitako berokuntza-potentzia tarteak 250 [W] eta 500 [W]-koak dira. Potentzia-kable bakarra edukita, batera neurtzen dira entsegu-bolumenean elikatze-iturria behar duten gailu guztiak eta energia disipatzen dutenak, hori txikia izanagatik ere. Berogailua, nahiz haizagailu tangenziala horma opakuko 1 [m<sup>3</sup>] inguruko bolumena duen kajoia barruan kokatuta daude. Horri esker bero-disipazioa puntuala ez izatea lortzen da, temperatura-homogeneotasuna hobetuz, eta hurbileko tiles-ek bero-fluxu tasa handiagoa neurtzea saihestuz, uhin luzeko erradiazioa bitartez energia trukaketak eman baitaitezke. Entsegu gelaren infiltrazioen kontrola *PASLINK* entseguaren beste eskakizun garrantzitsua da. Konplexua da, ordea, infiltrazioek eragiten duten energiaren galderaren kuantifikazioa entseguen egitean zehar, eta ziurgabetasun handia aurkezten du. Infiltrazio txikiakin lan egitea da efektu hori txikiagotzeko modua eta efektu hori azken emaitzetan kontuan hartzeko modua bere akats-termino baten bitartez. Baldintza da entsegu gelan aire berriztatze balioa 50 [Pa]-eko presio desberdintasunean 0,5 [ber/h]-etatik beherakoa izatea. Horrek ekartzen du infiltrazioen efektua entsegu gelan trukaturako energian % 0,5ean txikiagoatzea. Termino hori zehazteko haizagailu itzulgarri bat eta presio diferentzialeko sentzore bat dago. Infiltrazioen erabakia egiten da kanpoko giroari buruz gehiegizko eta azpipresioko egoeran. Infiltrazioen azterketa egiten da entsegua hasi aurretik eta amaitu ondoren, entseguak iraun duen bitartean juntura-

zigilutan inongo kalterik ez dela gertatu egiaztatzeko. Entsegua gauzatzen den bitartean presio diferentziala erregistratzen da era jarraian, kontrolerako sistema bat gehiago bezala.

### 1.2.3 Kanpoko baldintzen neurketa

Entseguan zehar gertatzen diren kanpoko ingurune-baldintzak karakterizatzeko erregistratzen diren aldagaiak hurrengoak dira:

- eguzki-erradiazioaren osagaiak:
  - azalera horizontalaren gaineko erradiazio globala
  - azalera horizontalaren gaineko erradiazio difusoa
  - azalera bertikalaren gaineko erradiazio globala, hegoaldeko orientazioan
- haizearen abiadura eta norabidea
- giro-tenperatura
- ingurunearen presioa eta hezetasuna
- zerbitzu gelako azalera eta giro-tenperatura

1.9 Taulan instrumentazioaren ezaugarri teknikoak erakusten dira. Ingurune-baldintzak erregistratzen dituen instrumentazioa bi taldetan bana daiteke: entsegu-laginaren baldintzak erregistratzen dituzten sentsoareak eta ingurunearen baldintza globalak neurtzen dituzten sentsoareak. Entsegu-probetaren ingurune-baldintzak neurtzen diraberezko laginaren gainean kokatzen diren sentsoeren bitartez, edota laginetik bi metrotara kokatutako tripode batean eta laginaren erdiguneko ardatz horizontalaren altuera berean. Giroaren baldintza globalak 10 [m]-ko altueran neurtzen dira. Probetak jasotzen duen erradiazioaren neurketa garrantzitsua da eguzki-irabazia karakterizatu ahal izateko. Aipaturiko aldagaiaren analisi zehatza egin ahal izateko, eguzki-erradiazioaren osagai desberdinen datuak edukitzea beharrezkoa da. Aipaturiko osagaiak erregistratzeko hiru piranometro jartzen dira, horietatik bi erradiazio intzidentea azalera horizontalaren gainean erregistratzen dutenak eta hirugarrena azalera bertikalaren gainean osagaia neurtzen duena. Eragin globala eta eragin difusoa neurtzen dituzte zeldaren estalkiaren altueran kokatuta dauden erradiazio horizontaleko piranometroek; azkena, piranometroari itzala eginten dion eraztun baten bitartez.

Parametroa	Unitatea	Sentsore-tipoa	Sentsore kop.	Ziurgabetasuna
Tenperatura	°C	PT100, A mota, 4 hariko konexioa	5	± 0,2 °C
Eguzki-erradiazioa	W/m <sup>2</sup>	Kipp and Zonen CMP11	3	± 3 %
Anemometroa	m/s	Ahlborn FVA-615-2 / Meteo Multi FMA510	2	± 0,5 / ± 0,3 m/s
Haize-norabidea	° N	Ahlborn FVA-614-9-30 / Meteo Multi FMA510	2	± 5 ° / ± 3 °
Presio barometrikoa	bar	Meteo Multi FMA510	1	± 0,5 mbar
Hezetasun erlatiboa	% rH	Meteo Multi FMA510	1	± 3 %
Prezipitazioa	mm	Meteo Multi FMA510	1	± 5 %

1.9 Taula – Ingurune-instrumentazioaren ezaugarri teknikoak



1.25 Irudia – Erradiazioaren osagai desberdinak neurtzeko piranometroak



1.26 Irudia – Laginaren aurrean tenperatura zundak eta 10 [m]-ko altuerako ingurune-baldintzak

Piranometro bertikala laginaren hegoaldeko azaleraren gainean kokatzen da; hortaz, jasotzen duen erabateko erradiazioa zehazki neurtzen da. 1.25 Irudiaren argazkietan piranometroen instalazioa ikus daiteke. Laginak jasotzen duen giro-tenperatura funtsezko beste parametro bat da, bero-galeraren aztertzean hein handi batean parte hartzen baitu, eta ondorioz, osagaiaren transmitantziaren kalkuluan. Aldagai honen neurketan sortzen den arazoa da erregistratutako tenperaturaren eguzkiaren eraginak sortzen duen distortsioa. Efektu hori saihesteko ingurune-tenperatura neurtzen duen Pt100-a babes-elementu baten barruan kokatzen da eta era mekanikoan aireztatzen da. Zunda hau laginaren aurrean jartzen da, 2 [m]-ko distantziara eta altuera ertainera. Tenperatura-zundaren ondoan haize abiadura eta norabidea neurtzen dira, konbekzio-koefizienteak eta entseguan zeharreko infiltrazioen bilakaera balioestea baimentzen dutenak.

Azkenik, ingurune-aldagaien neurketarako gomendio orokorren arabera, altuerako 10 [m]-ko altueran kokatutzen da estazio meteorologikoa, aldagai-multzoa erregistratzen duena; presio barometrikoa, hezetasun erlatiboa, prezipitazioa, haize abiadura eta norabidea, horien artean. Estazio meteorologikoak erregistratutako datuak erabiltzen dira gainerako kanpoko aldagaien kontraste eta kontrol bezala. 1.26 Irudian erakusten dira laginaren aurrean kokatzen diren sentsoareak eta estazio meteorologikoa.



## 1.3 Entsegu laginak

Behin entsegu-zelda definituta, laginaren ezaugarriak eta horren muntaketa sistema dira entsegu-kalitateare prozesuan parte hartzen duen hurrengo atalan. Beraz, atal honetan definitzen dira lagin-garraiatazaille sistema, nahiz bere fabrikazio prozesua, lan honetan egin diren entsegu sortan erabilitako instrumentazio osagarriaren ezaugarri teknikoek azken ataleko deskribapenarekin bateralaginaren instrumentazio gehigarriaren, lan honetan egindako entseguetako multzoan erabiltzen diola, ezaugarri teknikoak deskribatzen diren azkeneko atalaz gain.

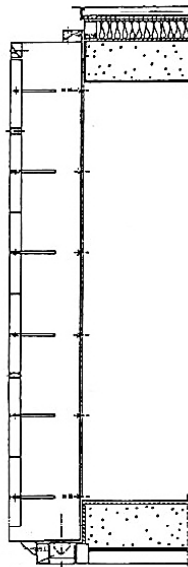
### 1.3.1 Lagin-garraiatazaille sistema

1.2 Irudian ikus daitekeen bezala, *PASLINK*-a gelak lagin-garraiatazaille desmuntagarriko sistema dauka hegoaldean. Honek probeta astunenak eraikitzea ahalbidetzen du pabiloi baten barnean, *EKKL*-ko kasua den bezala; alde batetik eraikuntzaren kalitatea ziurtatuz, eta bestalde, instrumentazioaren instalazioa zeldakoberezko sentsoreak kaltetu gabe egiten dela ziurtatuz. *BBRI*-ak (*Belgium Building Research Institute*) garatu zuen lagin-garraiatazailletako lehen sistema prototipoa, eta azken diseinuan oinarritu zen entsegu-zelda garatzen zuen taldeak. Lagin-garraiatazaille sistema ez da interesagarria muntaketarako bakarrik, hein handi batean parte hartzen du baita entsegu-laginaren karakterizazio prozesuan. Laginaren eta lagin-garraiatazaillearen arteko bat-egitean zubi termiko efektua ematen da, entsegu-gelaren bero fluxuaren trukeari eragiten diona. Bi prestazioak lortzeko, lagin-garraiatazaille sistema aurremarko metaliko batez eratuta dago, ezaugarri mekanikoak ematen dizkiona, barruan aurremarko isolatzailea duena eta zeinen gainean probeta eraikitzen den. 1.27 Irudian ikus daiteke zeldaren ebaketa lagin-garraiatazaillea eta entsegu gelaren egiturak bat-egiten duten zonari dagokiona, garraiatazaillearen irudi batekin batera probeta baten muntaketaren unean-. Aurremarko isolatzailea eratzen du entsegu gelako paretak eratzen dituen material beraz betetako eraztuna batek; poliestireno hedatuz, azpialdean izan ezik, beira zelularra erabiltzen baita sostengu-ahalmen handiagoa lortzeko. 0,4 [m]-ko lodiera du aurremarko isolatzaileak, imentsioetan entsegu-gelako hegoaldeko aldearen dimentsio berak dituenak; hórrela, lagin-aukera zabala eraiki daiteke. 1.28 Irudian ikus daiteke gelaren egitura instalatutako lagin-garraiatazaillearen zeharkako ebakidura bat, non aurremarko isolatzailearen ebaketa, nahiz bere eraikuntza prozesua atzeman daitekeen.

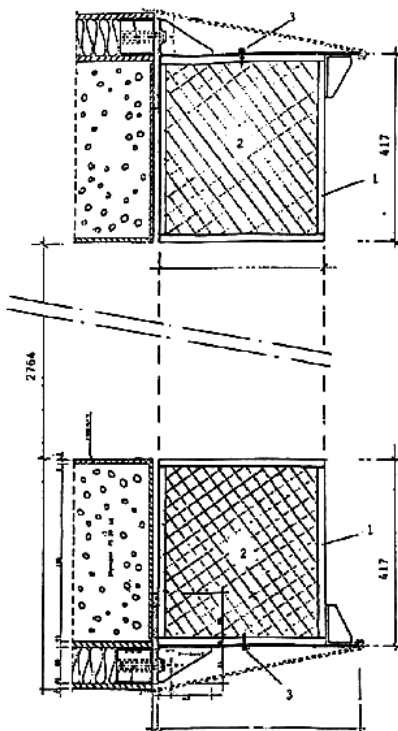
Isolamendua ingurune-baldintzetatik babesteko kontratxapatu hidrofugoko plakez estalita dago, eta azkeneko erremate bezala kolore zuriko pintura babeslea ematen zaio. Aurremarko isolatzailea aurremarko metalikoaren barruan eta egoki zigilatuta dago. 1.29 Irudian bi aurremarkoen muntaketa prozesua ikus daiteke. Aurremarko metalikoa 6 [mm]-ko lodierako altzairu galbanizatuko xaflez eraikita dago eta kanpoko hainbat uztai perimetral dauzka euskarri-sistema osagarri bezala lagin astunak ainguratzeko, aurremarko isolatzailearen sostengu-ahalmena inola ere ez gairatzeko eta inolako arriskurik gabe laginak mugitzeko segurtasun-kableak instalatzeko moduan. Lagin-garraiatazaillea kokatzen da entsegu zeldaren oinarria eratzen duen bankadaren gainean eta bere jartzea gidatzen da aurremarko metalikoko azpialdean kokatutako bi buloien bitartez. Gelaren egiturarako lagin-garraiatazaillearen ainguraketa egiten da aurremarko metalikoaren perimetroan zehar jarritako bernoen bitartez. Zigilatzea eta infiltrazioen eskakizuna betetzen dela ziurtatzeko finkapen-zona perimetralean



neoprenoko banda elastikoa jarrita dago, estutzen denean konprimatzen dena, eta lagin-garraiatailearen eta entsegu-gelako azaleraren artean kontaktu ona finkatzea lortzen da. Sistema osagarri bezala, lagin aldaketa bakoitzean zigilatze-banda osagarria jartzen da. 1.30 Irudian ikus daiteke nola jartzen den aipaturiko banda neopreno-azaleraren gainean, eta lagin-garraiatailea gelaren egiturari lotzeko amarratze sistemaren xehetasuna.



1.27 Irudian - PASLINK zeldaren lagin-garraiataile sistema



1.28 Irudia - Aurremarko isolatzailearen konfigurazioa



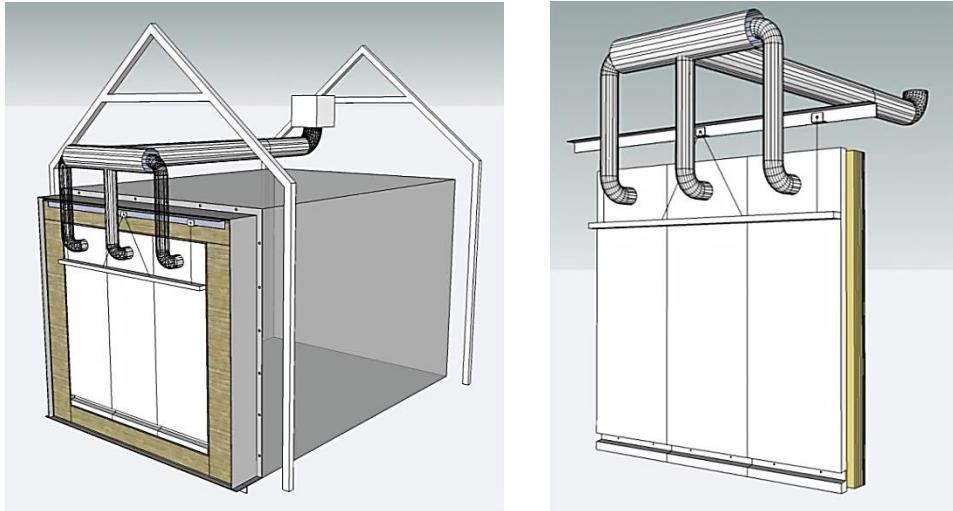
1.29 Irudia – Aurremarko metalikoaren barneko aurremarko isolatzailearen muntaketa prozesua eta juntura-zigilatzea



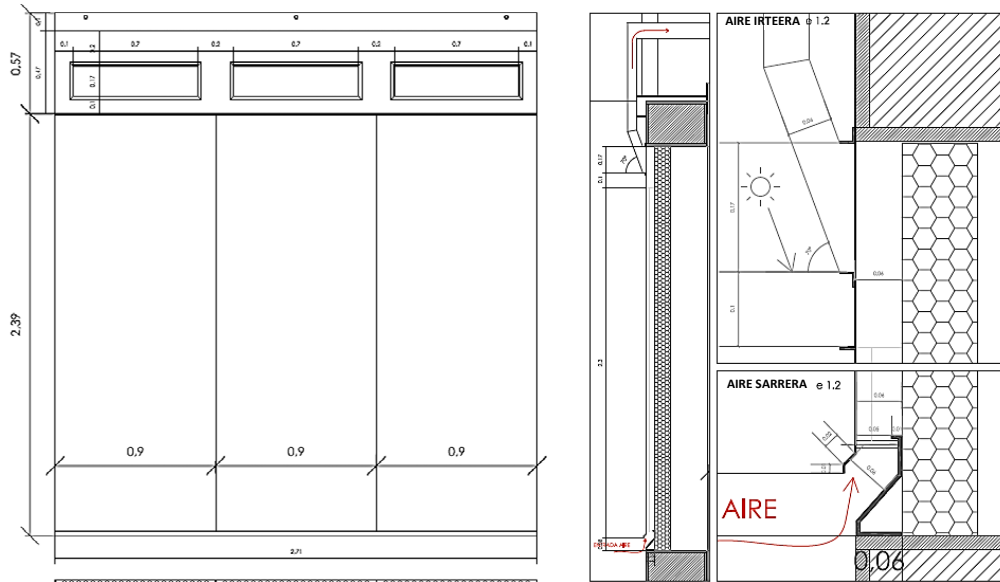
1.30 Irudia Zeldaren egiturako zigilatze junturak eta lagin-garraiatazaillearen ainguraketa bernoen xehetasuna

### 1.3.2 Laginen eraikuntza

Entsegu-laginen eraikuntza puntu delikatua da, beraren ezaugarriek analizatu nahi den fatxadaren soluzioa erreproduzitu behar baitute. Fabrikazioko eta muntaketako prozesua zehatz definituta dago kalitateko barne- prozedura baten bitartez. Bertan azaltzen dira jarraitu beharreko pausoak eta erregistratzeko beharrezko dokumentazioa. Hori PASLINK sarearen eskakizuna da kanpoko agenteei entsegu prozesu guztia aztertzeo aukeraematea helburu duena. Lehen pausoa da laginen definizio geometrikoa eta lagin-garraiatazailleko ainguraketa sistemaren diseinua. Eraikuntza xehetasun guztiak erregistratzen dira laginen ezaugarri guztiak guztiz zehatz-mehatz definitzen dituzten planoen bitartez eta bere onarpena aurretik ikuskatu egiten dira. Prozesuaren adibide bezala, aireztatutako fatxada behartuari dagokion probetaren eraikuntza prozesua erakusten da, tesi honetan ikertutako entsegutaldekoan sartzen dena. Aipaturiko fatxadan planteatu nahi da behartutako aireztapen sistema kontrolatu eta eraikinaren klimatizazio sistemara konektatutzea. Sistema hori erreproduzitu ahal izateko aire-hodi kaptadore multzo bat diseinatzen da kontrolatutako haizagailura konektatzen direla. 1.31 Irudian estudio honetarako planteatutako diseinua erakusten da. Behin prototipoa definituta, laginen eraikuntza planoak burutzen dira zeldarekiko ainguraketa eskemekin batera, ikus 1.32 Irudia.



1.31 Irudia – Aireztatutako fatxada behartuaren entsegu prototipoaren diseinua



1.32 Irudia - Aireztatutako fatxada behartuaren entsegu prototipoko eraikuntza planoak

Definizioaren ondoren, laginaren eraikuntzara pasatzen da, zein *EKKL*-ko muntaketa pabiloian barnean espezializatutako teknikariek egiten duten. Lanak egiten dira bankada baten gainean jarritako lagin-garraiatazailearekin, eraikuntza atal guztiak zehaztasunez eta era kontrolatuan egin ahal izateko moduan, eta teknikarientzako erabateko segurtasunarekin, ikus 1.33 Irudia. Eraikuntza pabiloiko lanak bukatu ondoren lagin-garraiatazailea entsegu zeldan jartzen da, horretarako garabi bat erabiltzen. Laginaren jartzea prozesu nahiko erraza da, ikus 1.34 Irudia, eta bankadan ongi kokatu ondoren, lotura bernoak torlojutzea da hurrengo pausoa. Lagin-garraiatazailea egoki finkatuta, azkeneko lanak probetaren gainean egiten dira, kasu honetan behartutako aireztapen sistemarako arnas hartze tolben instalazioa, ikus 1.35 Irudia, eta infiltrazioak txikiagotzeko juntura perimetral osoaren zigilatzea. Zigilatze egokia presio-entseguaren bitartez egiaztatzen da. Azkenik, eraikuntza planoak moldatzen dira eraikuntza-prozesuan zehar eman daitezkeen aldaketekin, edota instrumentazioaren azken instalazioarekin.





1.33 Irudia – Laginaren eraikuntza eta instrumentazioaren jartzea



1.34 Irudia – EGUZKI entsegu zeldako lagin-garraiatzailearen jartzea



1.35 Irudia – Gelan jarritako probetaren gaineko azkeneko lanak

### 1.3.3 Laginen instrumentazio espezifikoa

Lagina hornitzen duen instrumentazioa definitzeko helburua ondorengoak karakterizatzea da:

- fatxada osatzen duten orrien ezaugarri termikoak;
- aireztatutako ganbera barruan airearen portaera.

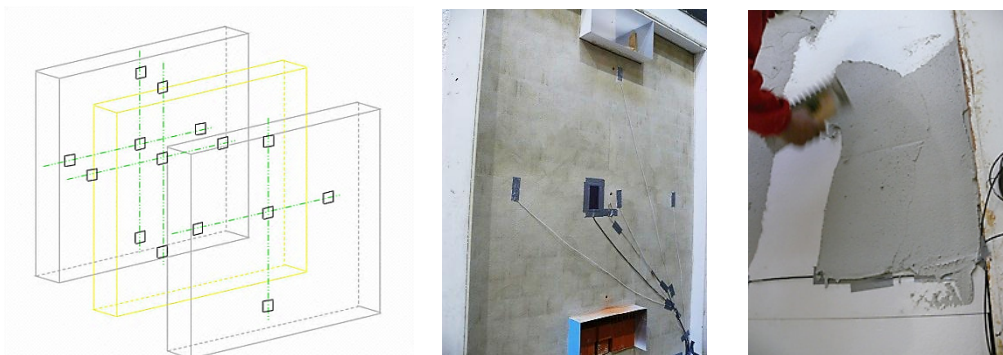
Definitutako bi aspektuen neurketarako hurrengo aldagaiak erregistratzen dira:

- azalera-tenperatura
- azalerako bero fluxua
- aire-tenperatura
- airearen tenperatura desberdintasuna
- aire-abiadura
- presio-galerak
- aire-emia

1.10 Taulan entseguetan erabilitako neurketa-tresnen ezaugarri teknikoak erakusten dira. Fatxada-prototipoak osatzen dituzten orri bakoitzaren ezaugarri termikoak neurtzeko azalerako tenperatura erregistratzen da. Parametro hori zehazteko tenperatura-gradientea neurtzen da ardatz bertikalean eta ardatz horizontalean, fatxadaren plano bakoitzeko tenperatura eremuaren distortsioak beraren portaera termikoari ez diezaiola eragin egiaztatu ahal izateko moduan. Orri bakoitzaren tenperatura bezala bataz besteko balioa hartzen da analisia eta modelatzea lantzeko. Erabilitako tenperatura-zundak Pt100 azalerako termoresistentziak dira, eraikuntza-prozesuagatik zundak sendoagoak izaten eskatzen duen kapetan izan ezik, morteruz edo igeltsuaz bukatutako barruko kapetan bezala. T motako termopareak erabiltzen dira kasu horietan.

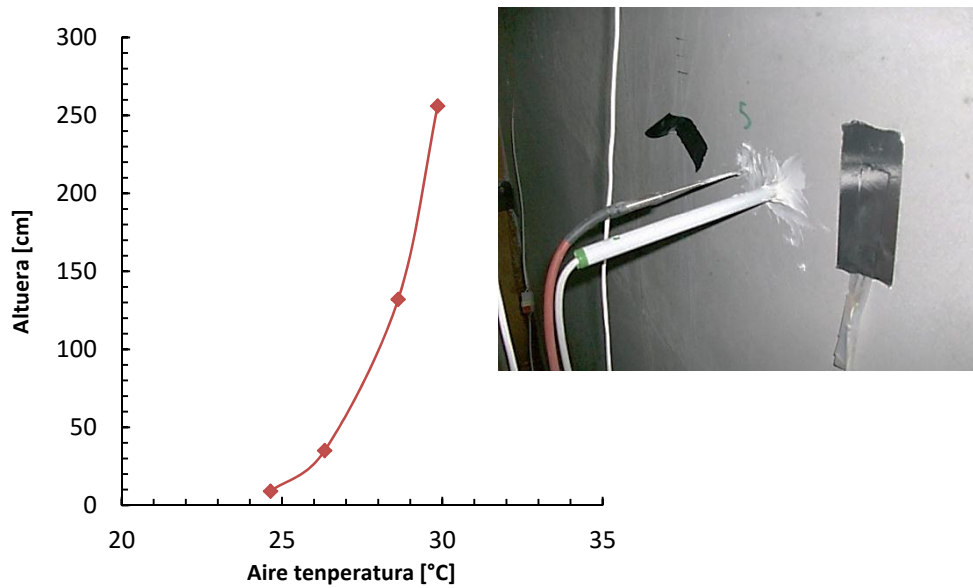
Parametroa	Unitatea	Sentsore-tipoa	Ziurgabetasuna
Temperatura	°C	PT100, A mota, 4 hari konexioa	± 0,2 °C
Temperatura	°C	Termopar T mota	± 0,4 °C
Termopila	°C	Termopar K mota	± 0,01 °C
Bero fluxua	W/m <sup>2</sup>	Ahlborn FQA-0801-H	± 5 %
Termoanemometroa	m/s	Ahlborn FVA-605-TA-1	± 0,01 m/s
Presio-diferentziala	bar	Ahlborn FD8612DPS/APS	± 0,5 mbar
Aire-emia	m <sup>3</sup> /h	Kimo CP300-DEBIMO HEGALA	± 3 %

1.10 Taula – Laginen instrumentazioaren ezaugarriak

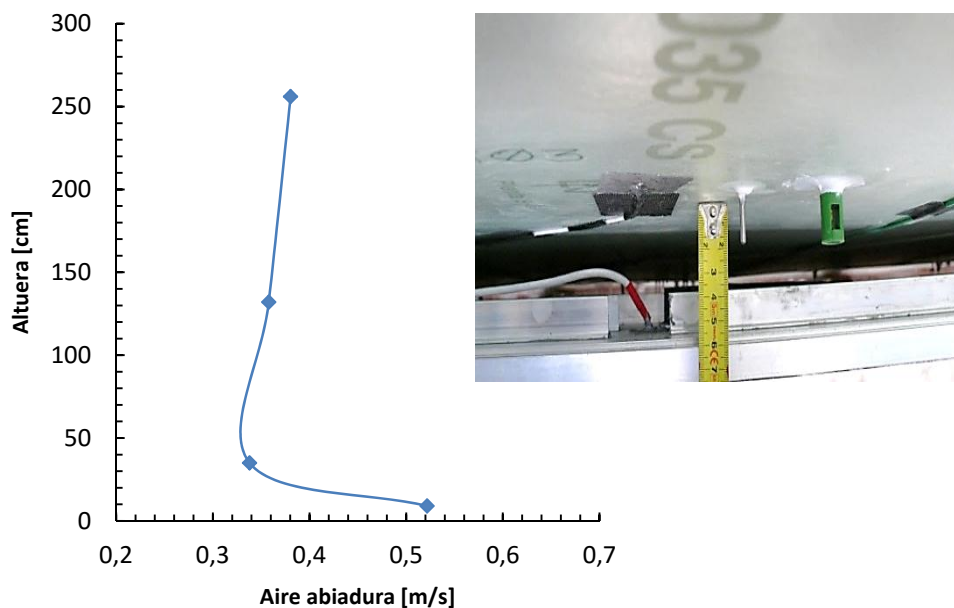


1.36 Irudia – Azalerako tenperaturaren eta probetetako bero fluxua neurria

Erradiazioari erakutsita dauden tenperatura zundetan, azalerako kanpoko tenperatura neurtzea zunden kasua den bezala, sentsorea emisibitate baxuko orri batez estaltzen da aipaturiko efektua neurtutako balioan txikiagotzeko. Tenperaturarekin batera dimentsio bakarreko fluxua erregistratzen da fluximetroaren bitartez azaleraren puntu zentralean. Neurri hau batez ere erabiltzen da modeloen egiaztatze kontraste aldagai bezala. 1.36 Irudian azalerako tenperaturako zundetako jartze eskema bat lagineko kapetan ikus daiteke eta fluximetroen jartzearen ondoan beren instalazioaren hainbat argazki. Aireztatutako aire-ganberaren baldintzen neurria aspekturik konplexuena da entsegu-prozesuan eta beraz bere karakterizazio egokirako instrumentazio handiagoak behar duela.



1.37 Irudia - Aireztatutako ganberako aire-tenperatura profilaren neurria



1.38 Irudia - Aireztatutako ganberako aire-abiadura profilaren neurria



Kasu honetan beharrezkoa da berezko aire-mugimenduari eragin gabe jartzeko sentsoreetako kopuruaren arteko konpromisora iristea, eta lodiera txikiko aire-ganberetako neurriaren konplexutasuna. Irizpide hau kontuan hartuz, eta dimentsioak probetako baimentzen du lagineko alboko ertzen efektuak baztertzea, aire-ganberaren portaera termikoa 2D-etan ebaluatzen da, ardatz bertikal zentralari buruzko plano erreferentziatzat hartuz. Zeinetarako temperatura eta aire abiadura lau puntutan erregistratzen da sarrera, altuerako 30 [cm]-etara, puntu zentrolean, eta irteran. Honela sarreraren turbulentsia eta muga-geruzen garapena bereizten da. 1.37 Irudian eta 1.38 Irudian erakusten dira instrumentazioaren irudiekin batera, temperatura- eta sekzio zentrolean aireak duen abiaduraren profilenadibideak, datu esperimentalekin lortu direnak. Erregistratutako informazioa osatzeko, airean neurtutako puntu bakoitzeko, temperatura-sentsore bana jartzen dira aireztatutako ganberako azalurretan, ikus 1.38 Irudia. Dimentsiobiko hipotesia egiaztatzeko, airearen temperatura profil horizontalak neurtzen dira sarrerako planoan, plano zentrolean eta irteera-planoan. Aire-mugimendua karakterizatzeko hirugarren parámetro bezala, presio galerak erregistratzen dira sarrerako puntukoak, nahiz sarrera eta irteerako diferentziak; aireztatutako fatxadaren portaerako erabakigarriak baitira. Neurketa hori presio diferentzialeko sentsoreen bitartez egiten da, bi konfigurazio erabiliz konektatzen direnak: pitot-tutuak erabiliz presioaren neurketa puntaletarako; edo elkarri lotutako presio-tutuen bitartez, sarrera eta irteera-planoetan presio batezbestekoa erregistratzeko. Azken hori hiru neurketa-zuloren bitartez egiten da, zentroan bat eta muturretan bi. 1.39 Irudian erakusten dira bi neurketa konfigurazioak.

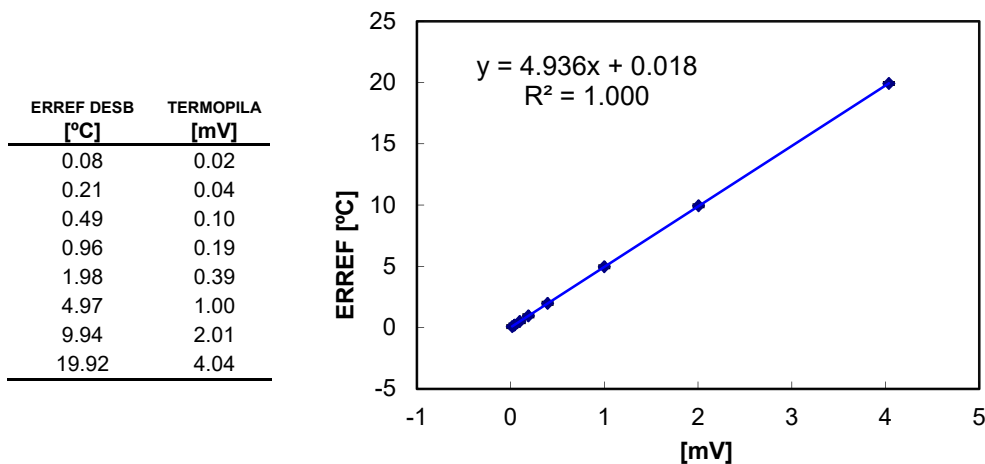


1.39 Irudia – Aireztatutako ganberako presio galeraren neurketa

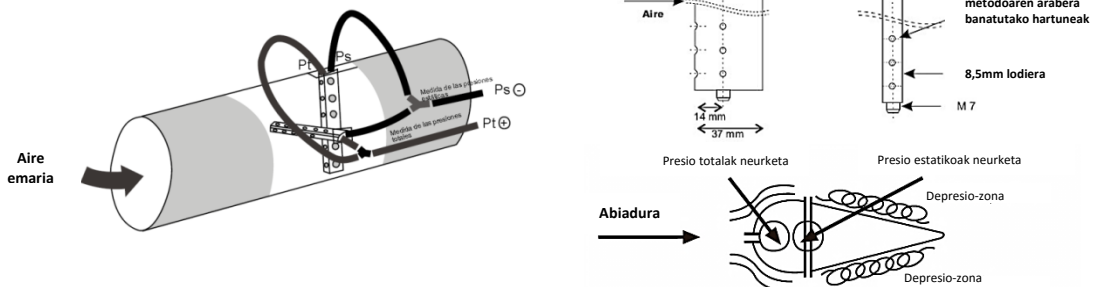


1.40 Irudia – Nomenklatura eta zunden instalazioa

Laginaren instrumentazioa *PASLINK* sarearen prozeduretan azaltzen den nomenklatura berarekin kodetzen da, eta entsegu-dokumentuetan jasotako planoen arabera instalatzen da. 1.40 Irudian ikus daiteke aire eta presio-neurketarako zunden jartze prozesua lagin batean. Aireztatutako ganberak duen bero irabazi osoa neurtzeko hamar neurketa-puntuz eraturako eta K mota termopareko kablearen bitartez osatutako termopila bat jartzen da. Termopila laborategiaren instalazioetan egiten da, eta bi murgiltze-bainuren bitartez kalibratzen da tenperatura-erreferentzia zunda banarekin. Neurketa era horri esker, airearen sarreraren eta irteeraren arteko tenperatura-desberdintasuna zuzenki erregistratzen dazehaztasun handiz.



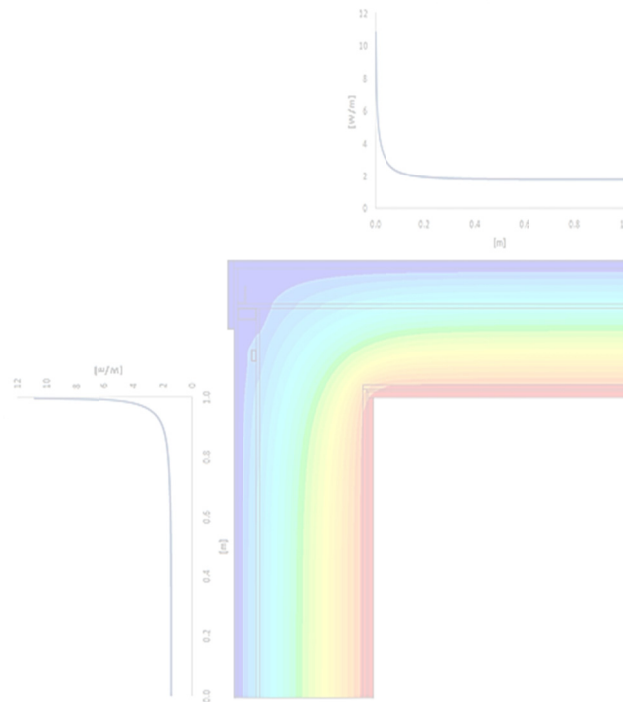
1.41 Irudia - Aireztatutako ganberako airearen berotzea neurtzeko termopilaren kalibrazioa



1.42 Irudia - Arnas hartze-sistema eta fatxada behartuaren emari neurgailua

Termopila jartzen da neurri-plano bakoitzean bost puntetako bakoitza jarrita, aireztatutako ganberaren aire sarrerari eta irteerari dagozkionak. 1.41 Irudian termopilako kalibrazio kurba erakusten da. Aire-ganberak behartutako aire mugimendurekin karakterizatu ahal izateko *EGUZKI* gelak estalkiaren gainean hiru hodiko aire xurgagailu sistema dauka, azkeneko hodi bakarraren bitartez komunikatzen direnak haizagailu batekin. Aire xurgagailu hodi bakoitzak aire ganberan emari zirkulatzailerak orekatzen duen erregulazio balbula dauka, abiaduraren osagai bertikalak sekzio horizontal guztian patroia homogenea izan dezan, laginaren ertz efektuak ezabatuz, aurremarko isolatzailearekin kontaktuan. Aire xurgagailu hodiaren puntu zentrolean jarrita dago aireko fluxu bolumetrikoaren emari-neurgailu bat, tenperatura-zunda batekin batera, entseguan zehar dabilen emari arrunta kuantifikatzea ahalbidetzen duena. Emari neurgailuaren mekanismoa oinarritzen da presio dinamiko eta estatikoaren arteko diferentzialaren neurketan eta hodiaren pareta efektua kontuan hartzeko eratuta dago. 1.42 Irudian erakusten da airea xurgatzeko eta aire emaria neurtzeko sistemako instalazioa. Entsegu-emari desberdinak lortzeko, haizagailua doitu dago potentzia-erregulagailu baten bitartez, aldi berean, zeldaren neurketa sistemarekin kontrola daitekeena. Ho fatxadaren baldintza termiko eta girokoekin lotutako emari aldagarriak azaltzen dituzten entsegu konplexuak egin daitezke.

## 2 Kapitulu Ekipamenduaren kalibrazioa







## 2.1 Kalibrazio metodologia

PASLINK-eko prozeduran eman beharrezko lehen pausoa zeldaren kalibrazioa da. Horretarako lagin espezifiko bat erabiliko da, kalibrazio horma deiturikoa, zeldaren itxiturarekiko antzeko ezaugarri termikoak dituena. Zelda itxiturako bero fluxuaren neurriaren azken faktorearen zuzenketa kalibrazio entsegua baimentzen du. Kalibrazio faktore honek Tiles-en azkeneko muntaketaren efektuak kontuan hartzen ditu, sentsoreek hartzen ez duten azalera ala zubi termikoen neurketen bezalako efektuak. Berez kalibrazio horma trukatzeko duen fluxua eta itxituraren bidez trukatzeko duen bero fluxua banantzea baimentzen du baita ere. Ikerketa prozesu honekin entsegu gelako itxituraren ezaugarri termiko errealak zehaztatu daitezke, eta bere modelo termikoa definituz, gainerako karakterizazio entsegu laginetan erabiliko dena.



2.1 Irudia – Fabrikazioa eta kalibrazio-hormaren instalazioa



2.2 Irudia – Jarritako kalibrazio-hormarekiko entsegu gela

Oso garrantzitsua da, bai kalibrazio prozesuan bai ikerketak egiterakoan, entsegu errutina definitzea. Entsegu prozedurak eragin handia dauka bere emaitzetan. PASLINK sareak garatu egin du prozedura estandar bat erregimen dinamikoko karakterizazioan aplikatzen diren identifikazio parametroen ahaltza. Prozedura honekin entsegu periodoak murriztu daitezke eta aplikazio espektro

haundi baten osagaien modeloak lortzea. Kapitulu honetan azaltzen dira kalibrazio hormaren ezaugarriak, entsegu metodologiaren azalpenarekin batera. Hurrengo orrietan planteatutako entsegu errutina bakoitzeko emaitza espermentalak erakusten dira, *tiles*-en kalibrazio faktoreen kalkuluarekin batera. Azkenengoz zelden entseguen modelo matematikoak definituko dira parametro identifikazio metodoaren azalpenarekin. Kalibrazio prozesua entsegu gelan potentzia seinale bat injektatuz egiten da, seinalea wattmetro baten bidez neurritzen da eta itxituraren bitartez transmititutako energiarekin konparatzen da, guztia *Tiles*-ekin neurtuta. Entseguen kalibrizazioaren zehaztasuna haunditzeko, laginaren ingurumenean zeldaren inguratzailea duen transmitantzia berdineko harresi opako bat jartzen da, fluxua azalera bakoitzean ahal eta homogeneousago banandu dagitela. Kalibrazio horma 40cm nukleoko poliestireno hedatua eta egur laminez estaliarekin konfiguratzen da. 2.1. irudian ikusi daiteke kanpoko inguratzailearen fabrikazio prozesua eta isolatzaile laminen kolokamena. Azken azalera pintura plastiko zuriarekin margotzen da. Kalibrazio hormaren barruko aurpegian *tiles*-ak jartzen dira, eta horrela entseguko beste hormekin jarraituz. 2.2.1 atalean ikusi daiteke kalibrazio horman jarritako *tiles* taldeen neurketen konfigurazioa. 2.2. irudian agertzen da entsegu gelaren barruko azaleraren egoera kalibrazio horma jarrita. Orain aukeratu behar dira egin beharreko entsegu errutina, ezinbestekoa dena emaitza onak lortzeko. Entseguen iraupena, eta potentzia seinalearen forma dira definitu beharreko parametroak. Hurrengo gaien jasotzen dira *PASLINK* sarean egin beharreko entseguen prozeduren ezaugarriak.

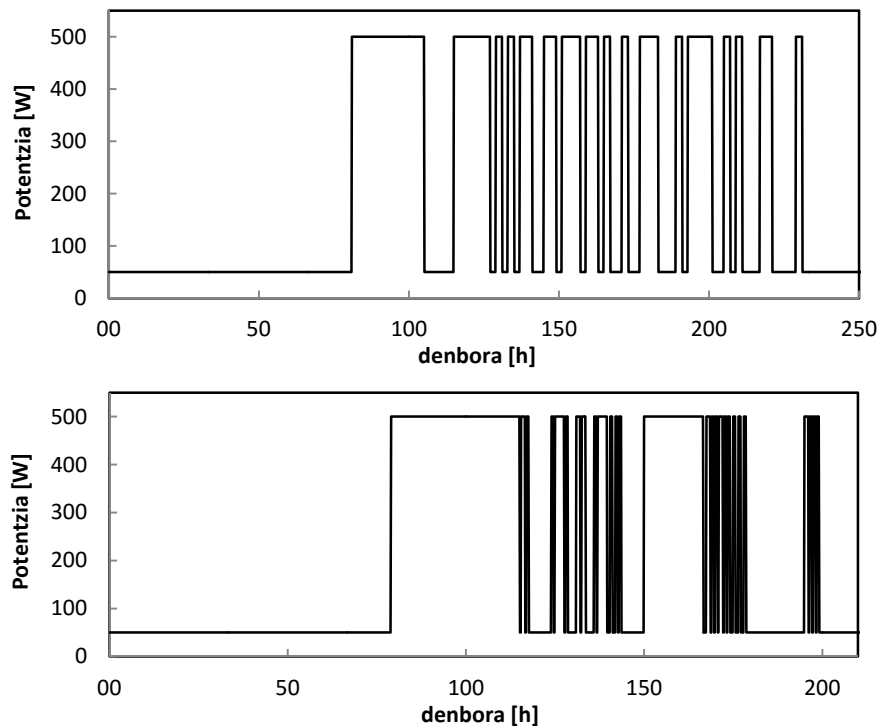
### 2.1.1 Entsegu errutina

Entsegu prozedurek eboluzionatzen joan dira hobekuntza eta zelden erabileraren metodologiarekin batera, baita proiektu eta entsegu ezberdinekin irabazitako esperientziarekin ere. Iragarpen denbora kalitate haundiko prozedura eta zelden propietateak ajustatzearen irabaztea ahal egin du. Entseguen errutinen ezaugarriak definitzen dituzten gai nagusiak hurrengoak dira:

- Sistemaren asalduren osagaiak banatzea baimentzen duen seinale dinamikoa.
- Laginaren barruko eta kanpoko azalaren tenperatura diferentzia maximoa transmitantziaren kalkulu eta neurriaren zehaztasuna hobetzeko.
- Tenperatura maila desberdinak emaitzen aldakortasuna determinatzeko.
- Emaitza balidazio ahalmen haundia, neurtutako datuen aberastasunari esker.
- Entsegu denbora luzapena minimizatzea.

Kanpoko inguruko entseguen arazoa eguzkiaren irradiazioa eta barruko-kanpoko tenperaturen diferentzien artean dagoen korrelazioa da. Akoplamendu honek bero transferentziarekin ligatutako tenperatura ezberdintasuna determinatzea zaila egiten du, eguzkiaren intzidentziaz lotutako irabaziengatik. Asalduen arteko interkorrelazioak txikiagotu daitezke entseguen kondizioen aldakortasuna haundituz. Bero galeren kasurako eta eguzki irabazientzako, hoberena, entsegu gelan tenperatura aldakortasun haunditzea da, aldakortasun hori, eguzki irradiazioaren denborarekiko errutina independente bat edukiz. Bi errutina mota erabiltzen dira entseguak egiteko *PRBS* (*Pseudo Random Binary Sequence*) eta *ROLBS* (*Randomly Ordered Logarithmically distributed Binary Sequence*) deitzen. Errutina hauek bero erresistentziaren konektatzea eta deskonektatzearen

sekuentzien bitartez osatuta daude, zelden estroturen erantzuna denboran egokitutako frekuentziekin. Asaldura frekuentzia eta errutinaren iraupena zelda erantzunaren ingurutzailaren erantzuna banantzea baimendu behar dute. 2.3. irudian *PRBS* eta *ROLBS* entseguen errutinak erakusten dira, A eranskinen jasotzen direnak. Entsegu prozesua hazten da, modu berean, hasieratze periodo batekin, non entsegu tenperatura libreki eboluzionatzen den, geroago asaldura prozesua martxan jarritz. *PRBS* errutinaren kasuan, oinarrizko kasu tartea 2 ordutako da, *ROLBS* errutinan berriz ordu erdikoa



2.3 Irudia – *PRBS* errutina, goiko grafikoa, eta *ROLBS* errutina, beheko grafikoa

$$P_e = (UA_{pr} + UA_{se}) \cdot (T_{se} - T_e) - gA \cdot G_v \quad [2.1]$$

Asaldura seinalea haizagailuren oinarrizko potentzia, momentu guztian funtzionatzen duena entsegu gelako tenperatura homogeneizatzeko, eta potentzia osoaren artean oszilatzen du, bero erresistentzia hazten denean. Potentzia hura entseguaren tenperatura erdia 10K-etako baino altuagoa izan dadin, 20K-etako tenperatura baino altuagoekin aholkatuz, bero fluxuen neurriaren zehaztasuna hobetzeko. Entsegu potentzia 2.1 ekuazioarekin estimatzen da, non:  $UA_{pr}$  eta  $UA_{se}$  entsegu gela eta entsegu probetaren transmitantzia totalak diren;  $T_{se}$  eta  $T_e$  kanpoko ingurumenaren tenperatura erdia eta entsegu gelako tenperatura diren; eta  $gA_{pr}$  laginaren erabateko eguzki irabazia den, laginaren bertikalki dagoen azalera eragiten duen batezbesteko irradiazioa biderkatuz,  $G_v$ . Gasteizko ingurumen kondizioetarako eta *EGUZKI* zelda termikoen ezaugarritarako, 20K tenperatura diferentzia lortzeko behar den potentzia 250W eta 500W-etan oszilatzen du. Zelden segurtasun eta iraupen irizpideengatik, entsegu gelako tenperatura 45°C-ak ezin ditu gainditu, baldintza honek entsegu tenperatura diferentzia maximoa mugatzen du.

## 2.1.2 Itxituraren fluxuaren neurria

Kalibratio entseguaren objektiboa entsegu gelan trukutzen duen ingurutzailaren bero fluxua determinatzea da. Horretarako, *tile*-en bitartez neurtutako fluxua sartutako energia elektrikoarekin konparatzen da, ikusi 2.2 ekuazioa. Kalkulu hau *ROLBS*, *PRBS* eta asaldura pulstu bate bitartez egiaztatzen da. *Tile*-en neurketa ona bada, eta ertz efektuak modu egokian kuantifikatu badira, zeldaren kalibratio guztiaren faktorea  $1 < f_{c,t} < 1,2$  artean egon behar da. Faktore hau unitatea baino haundiagoa izan behar da *tile*-en bitartez eztaletako azalera guztiaren %2,5 baino txikiago delako, 1.2.1 atalean esan denez. Beste aldetik airearen infiltrazioak ez dira kontsideratu, bere efektua gelaren hermetikotasunagatik arbuigarria delako, emari minimoa kalibratio faktorearen neurketan kontuan hartuz. Bi aspektu hauek bezala, eta kontuan ez harturiko hain beste aspektu bezala, efektu txikia izango balitz bezala konfiguratu dira,  $f_{c,t}$  balorea ezin daiteke oso haundia izan, onargarri hartuz 1,2 baino txikiagoa denean.

$$f_{c,t} = \frac{\int_{t_i}^{t_f} P_e(t) dt}{\int_{t_i}^{t_f} Q_{hfs,t}(t) dt} \quad [2.2]$$

*Tiles*-en bitartez neurtutako fluxu guztia talde bakoitzaren fluxuak batuz determinatzen da, 2.3 ekuazioa. Lehendabizi 21 taldeak batzen dira fluxu totala lortzeko, eta gero kalibratio horman jarritako 5 taldeak eta ingurutzailan instalatutako 16 taldeak bereiztuta batuz kalkulatu da. Bigarren kalkulua ingurutzailan neurtutako fluxua probetan neurtutako fluxuaren kontra dagoen efektua neurtzeko egiten da. Bi zonen kondizioak ezberdinak dira, ingurutzaila kanpoan dagoen toldo batekin babestuta dago eguzkiaren irradiazioaren efektua eta haizearen abiadura sortzen duen konbekzioa moteltzeko, aldi berean, kalibratio harresia ingurumenaren kondizioetara jarrita dago. 3.4.2 atalean analisi honen emaitza ikus daiteke. Talde bakoitzan neurtutako fluxua, konektatuta dituen *tile*-ak seriean daudela kontuan harturik, horrenbestez, neurtutako seinalea beren batuketa da, 2.4 ekuazioaren bidez determinatzen da,

$$Q_{hfs,t} = \sum_{i=1}^{21} Q_{hfs,g}(g_i) \quad [2.3]$$

$$Q_{hfs,g}(g_i) = \frac{F_c(g_i) \cdot V(g_i) \cdot A(g_i)}{N(g_i) \cdot \epsilon(g_i)} \quad [2.4]$$

non:

- $F_c$ : ertz efektuengatik taldean zuzendutako faktorea, ( $F_c = 1$ , erdiko taldeentzat),
- $V$ : taldea sortutako tentsio seinalea, ( $V_{DC}$ ),
- $A$ : taldeari izendatutako azalera, (includidos los espacios entre *tiles*-en ut),
- $N$ : taldearen *tiles* kopurua,
- $\epsilon$ : *tile*-en kalibratio koefizientea.

*Tile*-en sentikortasun koefizientea 25 sentsoreen kalibratioagatik lortzen da, 20°C-ko erreferentzia tenperaturarekin,  $r_{ef} = 31,5 \pm 1,7$  [ $\mu V/(W/m^2)$ ] izanik, Sentsore

guztien kalibrazio faktorearen batz besteko balioa harturik. Sentikortasun koefizientearen tenperaturarekiko dependentzia  $0.14 \text{ [%/K]}$  da, seinale elektriko bero fluxuan transformatzeko  $2.5$  ekuazioa aplikatzen da.  $\epsilon_{ref}$  faktorea bi urteko aldizkakotasunarekin kalibratzen da.

$$\epsilon = [1 - (0,0014 \cdot (T - T_{ref}))] \cdot \epsilon_{ref} \quad [2.5]$$

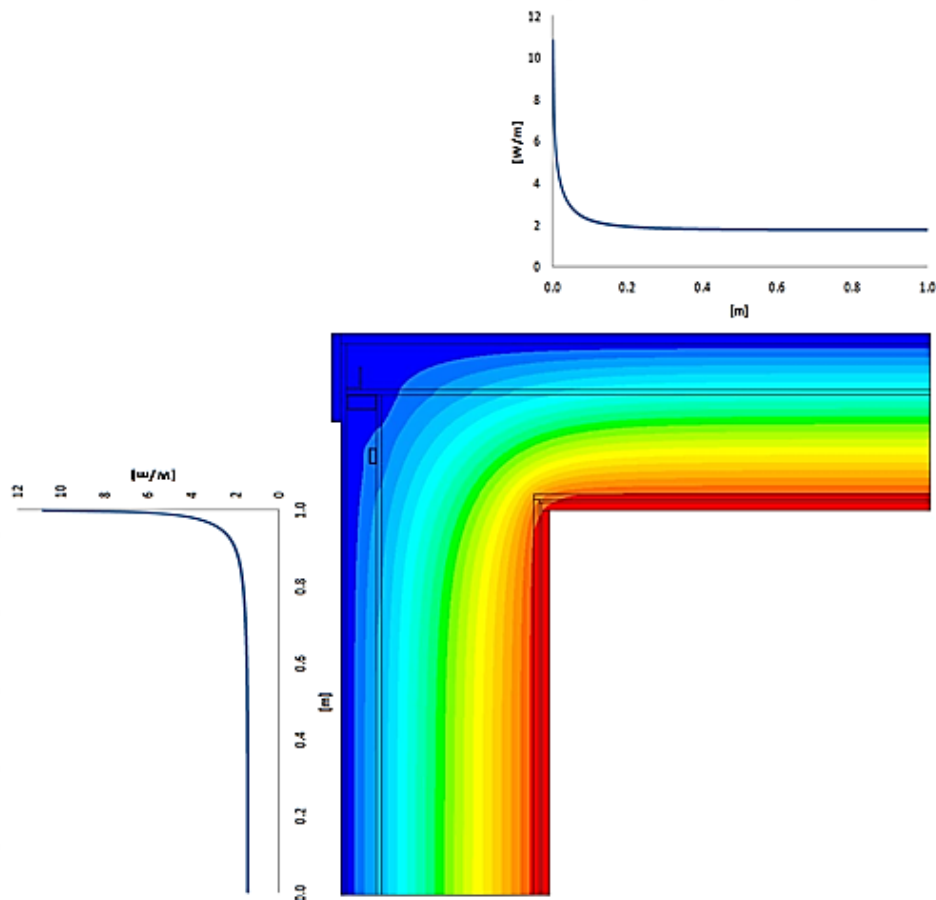
Ertz zonetako fluxua zuzenki kuantifikatzeko zehapen faktore bat aplikatzen da,  $F_c$ . Faktore honek entsegu gelako inguratzailearen zubi termikoaren tipologiaren funtzioan aldatzen da. Faktore horiek determinatzeko, *multitile*-ak erabiltzen dira. *Multitile* bat instalatuta dago adirazgarri den talde bakoitzaren ertz tipologia desberdinentzako. *Multitile*-ak hiru sentsore jarrita dituzte ertzetik  $30$ ,  $120$  eta  $430$  mm-tara., A, B eta C sentsoreak hurrenez hurren, 1.2.1 ataleko irudiak ikusi. C sentsorea, ertzetik urrunen dagoena, fluxu dimentsiobakarra jasotzen du, A sentsorea fluxu haundiena jasotzen du, eta B sentsorea erdiko balioa jasotzen du, eta *multitile*-a aurkitzen da taldean parte hartzen duena. Sentsoreen konfigurazio hau fluxu kurba estutzea onartzen du hurbilketa zuzenaren bidez. Neurketa prozedura<sup>[66]</sup>-ren dokumentuan  $F_c$ -ren determinazioaren metodologia jasotzen da, *PASLINK* zeldaren konfigurazio balio estandarrentzat. Kalkulua estutzeko, *EGUZKI* zeldaren bolumen finitoen ertz efektuen ikerketa egin da. *Fluent 6.2SW*-a kalkulu erreminta erabiliz.

Sarea	Elementuak	130445	Kalkulu	$\Delta T$	20	K	Emaitzak	q	3.64	W/m	
	Tamainua	3 mm		$U_{pared}$	0.070	W/m <sup>2</sup> K		$L^{2D}$	0.182	W/mK	
	EquiAngleSkew	0 - 0.1		99.61%	$U_{techo}$	0.088		W/m <sup>2</sup> K	$\Psi$	0.024	W/mK
	Aspect Ratio	1 - 1.1		98.07%	$l_{pared}$	1		m			
				$l_{techo}$	1	m					

Taula - Ertz-efektua analizatzeko zubi termikoko modeloaren parametroak estalkiaren eta alboko paretaren arteko topaketan

2.1 taulan tipologia 1-eko ertz efektua adierazten diren modeloaren ezaugarriak jasotzen dira, aldeko horma eta estalkiaren artean topo egiten ari dagoena. 2.4 irudian tenperaturen perfilak irudikatzen dira, eta fluxuaren aldaketa errepresentatzen da ertz efektuaren alboan. Ertz efektuak kuantifikatzeko erabilien era transmisio zuzena aplikatzea da. Metodo honek azalera osoan aplikatutako dimentsio bakarrek fluxua zuzentzean oinarritzen da, ertz efekturik egongo ez balitz bezala, ertz luzapenaren termino baten bidez lotutako kalkulu estatikoa eta transmitantzia termiko zuzena deiturikoa. Kalkulu prozedura *ISO 10211*<sup>[15]</sup> norman definituta dago,  $2.6$  ekuazioari dagokiona. Non  $L^{2D}$  luzera-unitatez barruko azalera zeharkatzen duen fluxu totala aplikatutako tenperatura saltoagatik zatituta dago. Balore hau zenbaki modeloaren emaitzaren bidez lortzen da. *Tipologia 1*-ean ertz efektuaren transmitantzia zuzenean estimatutako balorea  $\Psi = 0.024 \text{ [W/mK]}$ -koa da. Transmitantzia zuzeneko koefizientea ertz efektuko estimazioa egitea ahal egiten du, eta beharrezkoa den entsegu potentziara hurbiltzeko erabilgarria da. Hala ere bere kalkulua baldintza egonkorretan egiten da eta baldintza dinamikoetan<sup>[12]</sup> ertz eremuko fluxuaren determinazioa akats handia aurkeztu dezake. Fluxu errearen trukea ertz efektuaren eremuko perfilak sortzen duen zehaztasunarekin bakarrik determinatu daiteke. *Multitil*-en interesa entseguan esandako fluxu perfila neurtzeko ahalmena da.



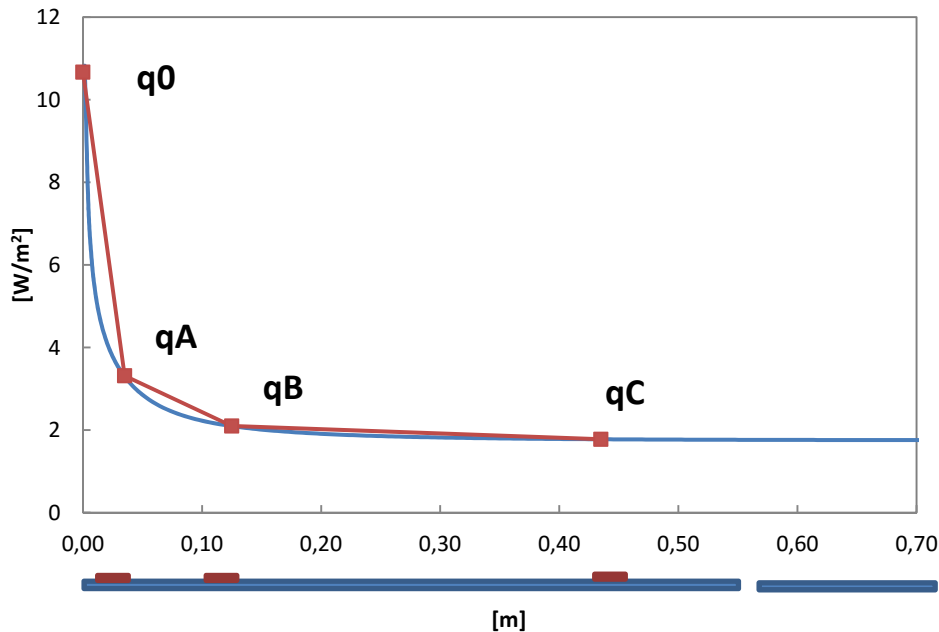


2.4 Irudia – Estalkiaren eta alboko paretaren arteko topaketako sekzioaren temperatura profila, eta barruko azaleretako fluxuak

$$\Psi = L^{2D} - \sum_i U_i \cdot l_i \quad [2.6]$$

$$F_c = \frac{\int_0^L q(x) \cdot dx / L}{qB} \quad [2.7]$$

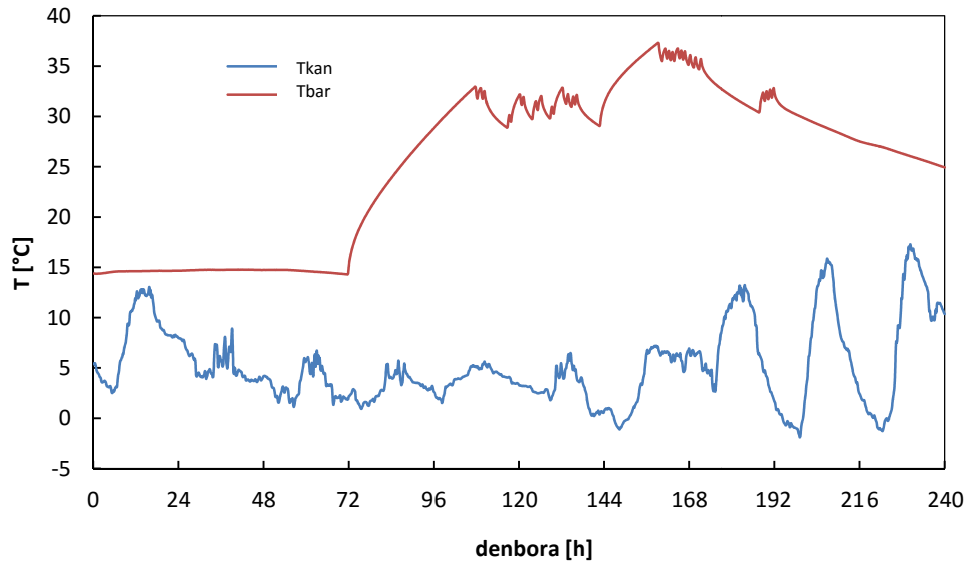
B sentsorea, ertz talde guztiaren fluxu neurketa egiten duen sentsorea, fluxu guztiaren integratutako balorea neurtutako balorearekiko hurbilen egoteko ipinita dago. Hala ere, neurketa zehatz bat edukitzeko zuzentzen da. Esandako efektua zehaztazunez neurtzeko zuzenketa faktorea aplikatzen da,  $F_c$ , 2.7 ekuazioaren bitartez. Horretarako,  $q(x)$  integralaren funtzioa hurbilketa zuzenaren bitartez kalkulatu da, multil-en hiru sentsoreen irakurketak erabiliz. 2.5 irudian bolumen finitoen modeloarekin lortutako fluxuaren kurba erakusten da, urdin koloreko kurba, era eta entsegu prozesuan erabiliko zen hurbilketa zuzena. Hurbilketa zuzenaren beheko azalera integrazioaren bidez errez lortzen da, 2.8 ekuazioa, *tile*-a ertzetik 5mm-etara ipintzen dela kontuan harturik eta hurrengo *tile*-arekiko banantze hutsunea erdikoa dela. Trukatutako fluxu totalaren kalkuluan hurbilketaren akatsa %5 baino gutxiagoa da.



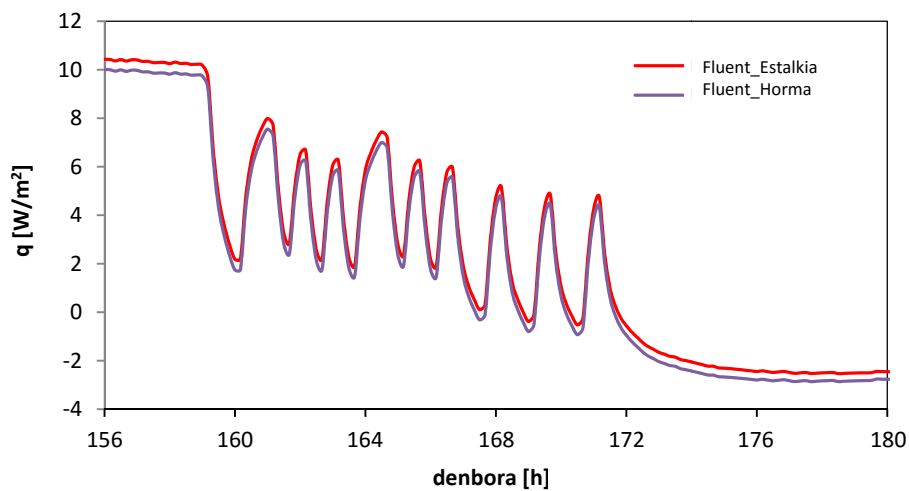
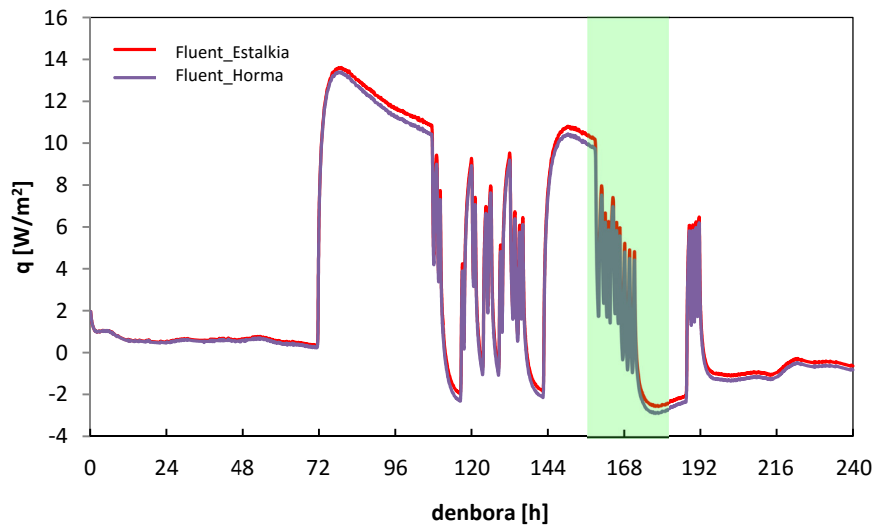
2.5 Irudia – Estalkiaren eta paretan arteko topaketako ertz fluxuaren hurbilketa lineala, 1 tipologia

$$\frac{\int_0^L q(x) \cdot dx}{L} = \frac{35q_0 + 125q_A + 300q_B + 310q_C}{2 \cdot (5 + 530 + 5)} \quad [2.8]$$

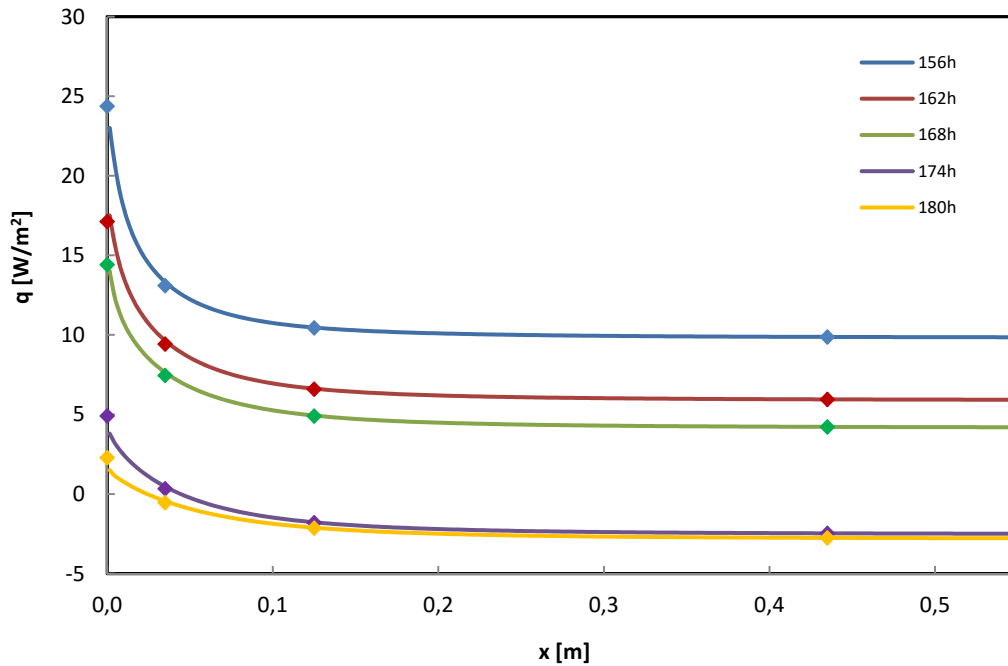
$q_A$ ,  $q_B$  y  $q_C$  fluxuen balioak, zuzenean neurtzen dira, eta ertz fluxuaren balioa determinatuz geratzen da,  $q_0$ . Balore hau ertz efektuaren geometriaren funtzioan dago, baita tenperaturaren kondizio dinamikoetan ere. Geometriaren efektua zenbaki modeloarekin lortutako perfilaren bitartez karakterizatzen da, eta erregimen dinamikoko efektua  $q_0$  eta  $q_A$  puntuen malda,  $q_A$  eta  $q_B$  puntuen bitartez lorturiko maldarekin, momentu bakoitzean erlazionatuz kontuan hartzen da. 1 tipologiarentzat  $\kappa_{0A} = 7,41 \cdot \kappa_{AB}$  malden erlazioa lortzen da. Planteaturiko kalkuluaren hipotesiaren baliotasuna egiaztatzeko, ikerketa bat egiten da, zenbakiko modelo erregimen dinamikoan egonda. 2.6 Irudian ikerketan aplikaturiko kanpoko eta barneko tenperaturen eszitazioa erakusten da, kalibrazio entseguen zehar neurtutako datuekin bat etorrita. 2.7 irudian ertz efektuen urrutiko eremuan ematen diren bero fluxuak irudikatzen dira, alboko horma eta estalkirako. Ikusi daiteke nola estalkiaren eta alboko hormen ezaugarri termikoen konfigurazioa ez dira hain desberdinak, antzeko fluxuak sortuz. Horrela parametro berberekin ertz efektuak karakterizatu daiteke. Ertz efektuen hipotesiaren determinazioa baliotasuna aztertzeko aldiune desberdinetan, ertz efektua ematen den eremuan fluxu perfilak konparatuz. *Multitile*-n neurrien era aplikatuz perfiletan datuak gainjartzen diren, ikusi 2.8 Irudia. Kondizio dinamikoetan ertz efektuen determinazioa lan hipotesi bezala balioduna ahal den egiaztatzen da. Aplikazioaren metodologian balioztatutako akatsa %1,2 da, integrazio zehatzaren bitartez determinatutako fluxuari buruz. Kalkulu prozesu hau ertz efektuen 2. eta 3. tipologietarako errepikatzen da, hego eremuko taldeei dagokie. 4. tipologiaren kasuan, zerbitzu gelako banantze hormari dagokiona, unitate bezala hartzen den zuzenketa faktorea,  $F_c = 1$ , eremu honetan B sentsorearen neurria nahiko gertua kontsideratzen delako. Irizpide hau ipar horma tenperatura gradiente txikiago baten eraginpean dagoelako hartzen da, zerbitzu gela kanpoko ingurumena tenperatura handiagoarekin dagoelako.



2.6 Irudia – Ertz-efektuko zenbakizko modeloari aplikatutako tenperatura-asaldurak, 1 tipologia



2.7 Irudia – Ertz-zonako zenbakizko modeloaren bitartez lortutako dimentsio bakarreko fluxuak, 1 tipologia



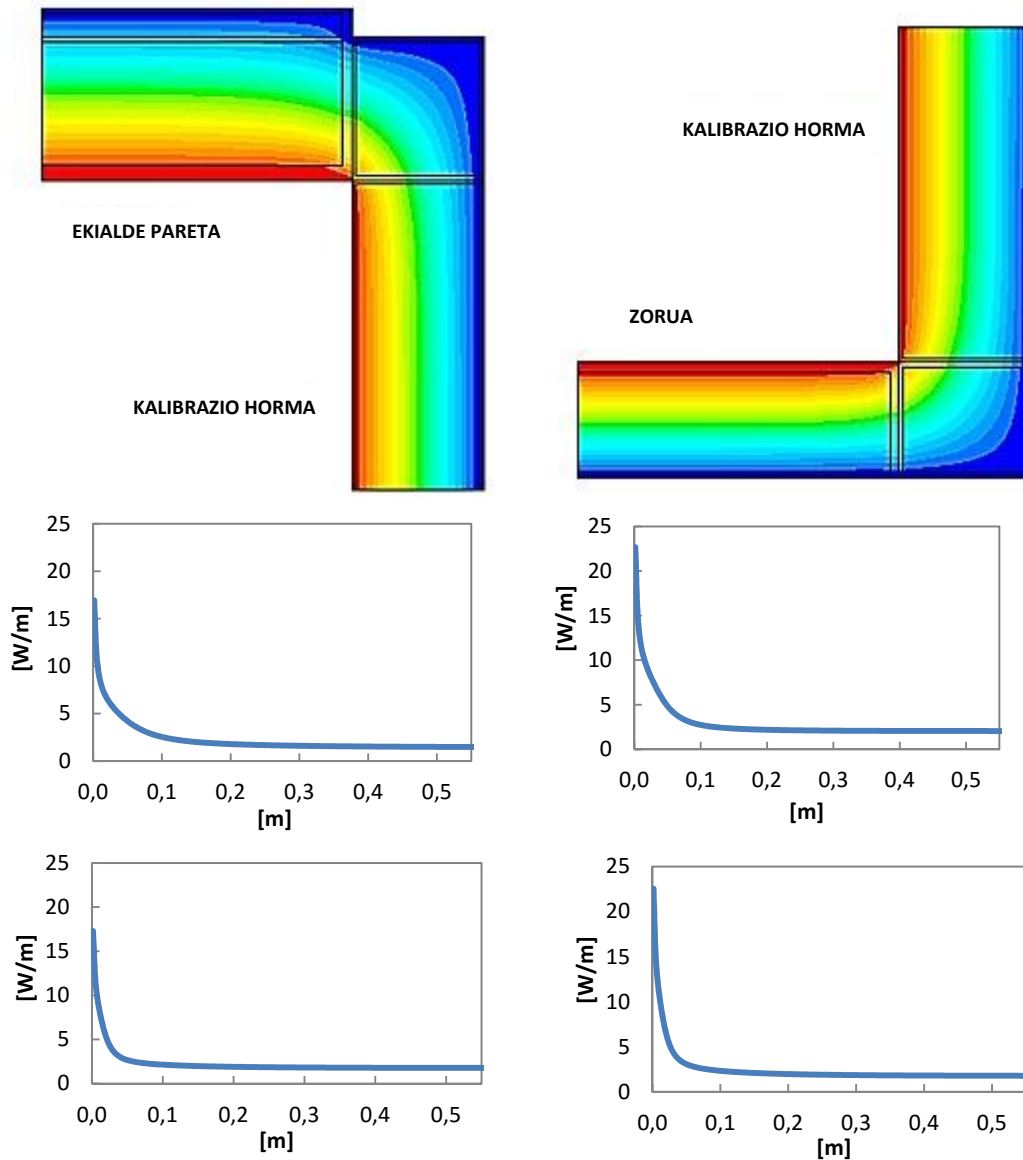
2.8 Irudia – Multitiles-en bitartez ertz efektuen erabaki metodologiaren balidatzea, 1 tipología

2.9. Irudian barne azaleraren fluxu kurba eta tenperaturen perfilak irudikatzen dira ekialde horma eta zoruko eremuentzat, laginaren isolatzaieran premarkoarekin, hurrenez hurren. Ikusi daiteke nola zorua eremuan bero fluxua handiagoa da, premarkoaren isolatzaileak eroankortasun haundiago erakutsiz, zuntz beira EPS kontra, eta lodiera txikiagoa. Baita ere fluxu perfiletan bereizten da, nola entsegu gelaren itxitura eremuan, instalatutako egurra isolatzaile babes erremate efektua dauka. Ikus daiteke nola fluxua handitzen den ertz efektuekiko distantzia handiagoekin, eta lehenago ikertutako perfilekiko irudi ez hain apuntatuta aurkeztuz. 2.2. Taulan ertz efektuen eta multile sentsoreek neurtutako fluxuen maldak erlazionatzen duten koefizienteak jasotzen dira, fluxu perfilen estutu zuzenak erabilia, tipologia ezberdinetan.

	1 tip.	2 tip.	3 tip.
$\kappa_{0A}/\kappa_{AB}$	7,41	5,01	4,92

2.1 Taula – Coeficientes de la aproximación lineal del efecto de borde

Ikusi daiteke nola 3. tipologiaren ertz efektua fluxu maldetan erlazio txikiago aurkeztu duen. Honek esan nahi du ertz efektuak fluxuan efektu handiagoa duela. Zeldaren itxituraren bitartez neurtutako fluxuaren metodologia bidimentsioko ertz efektuak kontuan harturik definituta dagoenean, hiru dimentsioko efektuak baztergarriak kontsideratzen dira. Hala ere kalibratio entseguaren bitartez zuzenketa faktore errealak lortzen dira, emaitza esperimentalen bidez.



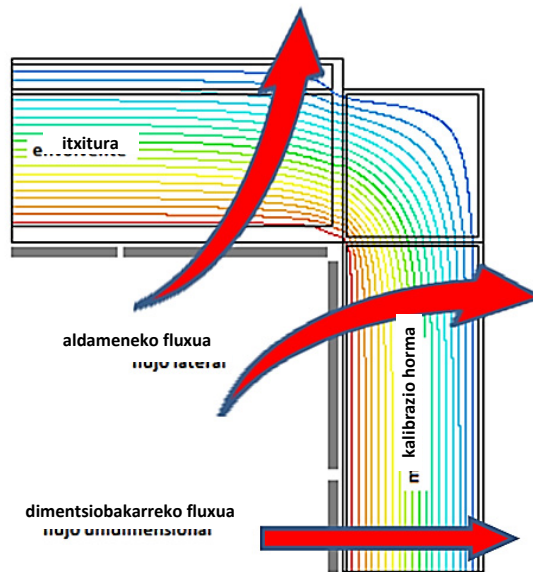
2.9 Irudia – 2 eta 3 *tipologietarako* ertz efektuko estudio modeloak. Goitik behera, temperatura-profila eta entsegu gelako eta kalibrazio-hormaren azalerako barruko fluxuko kurbak erakusten dira

### 2.1.3 Kalibrazio-hormarako zuzenketak

Lagin-karakterizazio entseguetan beharrezkoa da aurremarko isolatzailearekiko probetako bat-egite zonan gertatzen diren ertz efektuak kontuan hartzea. 1.3.1 *atalean* esaten den bezala, egoera hau kontuan hartzen da lagin-garriatzaile sistema diseinatzeko unean, aipaturiko efektuak txikiagotzen dituen aukera bilatuz. Baina haiek kuantifikatzea eta ertz-fluxua laginaren ezaugarri termikoen kalkulari ez zaiola eragiten ari egiaztatzea beharrezkoa da. 2.10 Irudian erakusten da itxituraren egiturarekiko lagin-garriatzaileko eta probetako bat-egite zonan gertatzen diren fluxuetako eskema bat. Zenbat eta handia laginaren isolatzeko gradua izan ertz-efektuak determinatzaile gehiago izango dira. Arrazoi honengatik



kalibrazio-horma aipaturiko efektuen balio maximoak ebaluatzeko osagai egokia da. Itxituraren alboko eta aurremarko isolatzaileko fluxuak neurtzen dira entsegu gelako hegoaldearen talde perimetralesen bitartez, zuzenketa egokiko faktorea eta kalibrazio-entsegua erabiliz bat etorri direla. Kalibrazio-horma kasuan, alboko fluxuak 4rako laren taldeekin neurtzen dira, eta 5 taldearekiko dimentsio bakarreko fluxua. Kalibrazio-hormaren ertz taldeak faktorearen bitartez zuzentzen dira aurreko atalean planteatutako kalkulu prozesuari jarraituz itxituraren ertz taldeetarako. 2.3 Taulan koefizienteak ardatzeko fluxuaren kalkulurako jasotzen dira.



2.10 Irudia – Kalibrazio-hormaren ertz efektuak

	aldea	azpia
$\kappa_{0A}/\kappa_{AB}$	14,20	13,65

2.2 Taula Kalibrazio-hormarako ertz efektuaren hurbilketa linealaren koefizienteak

Ikus daiteke malden arteko erlazioa lorturiko estalkiaren ertz efektuak baino haundiagoak direla. Haiengatik eragindako azalera txikiagoa da. Horren bestez, lagin garraiatzaile diseinaturiko sistema ondo egokitzen da eta barne zelden inguruneko laginaren fluxuarekin trukerik ez dauka. Hala ere, esandako efektuak kuantifikatzea beharrezkoa da. Ebaluatzeko lehen hurbilketa, kalibrazio hormaren kasuan, transmitantzia zuzena kalkulatzeko da 2.9 ekuazioaren bitartez irakurritako ertz taldeak erabiliz.

$$\Psi_{kh} = \frac{\sum_{i=1}^5 Q_{hfs_g}(g_i) - \left( \sum_{i=1}^5 A(g_i) \cdot \frac{Q_{hfs_g}(g_5)}{A(g_5)} \right)}{(T_{se,a} - T_e) \cdot L_{ertz,kh}} \quad [2.9]$$

2.10 ekuazioarekin transmitantziaren determinazioko efektua estimatu daiteke.

$$\Delta U_{kh} = \frac{\Psi_{kh} \cdot L_{ertz,kh}}{\sum_{i=1}^5 A(g_i)} \quad [2.10]$$

Lehenago esan den bezala, ertz efektuen ikerketa estatikoa beren magnitude segida bakarrik ematen du. Kalibrazio hormaren kasuan, magnitude haundien segida, hau da, ertz efektuen akats maximoa geratzen du. Esandako efektuen ikerketan dauden osagaien zatia analizatu behar da. Transmittantzia eta osagaien kapazitate termikoa ertz efektuen izaera dinamikoa aldatzen dute, eta bere eragina ikerketetan. Analizatzeko era bat modeloen parametro identifikazioa erabiltzea da, 2.3 atalean aipatuta, trazabilitate entseguarekin eginez balidatzen den, ikusi 3. Kapitulua.

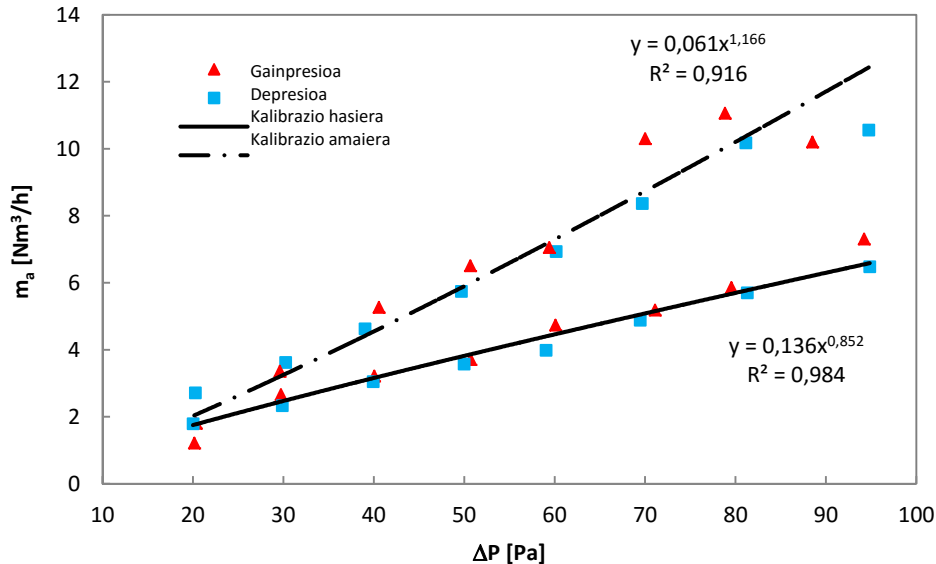
## 2.2 Entsegu emaitzak

Ondoren ertz-taldearen kalibrazio faktoreen kalkulua egiten da eta zeldaren erabateko faktorearen kalkulua bi entsegu-periodotan lortutako datuen bitartez. Lehen periodoak 21 eguneko iraupena du eta entsegu errutinak *ROBLS* eta *PRBS* erabiltzen dira. Beraren errealizazioaren ondoren *EES (Etengabeko Elikadura Sistema)* bat jartzen da artezle-inbertitzaile batean oinarritutako potentzia iragazte etapa batekin, seinale uniformeagoa zeldan lortzea baimentzen duela. Jarduera hau burutzen da zonaren sare elektrikoaren zarata garaiagatik. Tentsio elektrikoaren seinaleko kizkurtze garaiak entsegu gelan injektatutako potentziaren zarata handitzen duen baita instrumentazioaren multzoaren neurri zarata ere. Iragazte-etapa bat sartuz aipaturiko efektua ezabatzen da eta neurri-kalitatea hobetzen da, eta entseguko beraz. Aldaketa honen ondoren bigarren entsegu-periodoa burutzen da, 12 eguneko iraupenarekin, pultsu errutina aplikatzen den. Aurrekoa entseguaren hasieran egiten dira presio-probak eta aire-berriztatzea entsegu gelan neurtzen da. Proba hauek beraren amaieran errepikatzen dira, entsegu gelara sartu baino lehen, infiltrazio-mailak ez direla aldatu egiaztatzeko.

### 2.2.1 Infiltrazioen neurria

Presio-entseguak baimentzen du aire-berriztatzeagatik galtzen den entsegu gelaren energiaren ehuneko kalkulua. Balio hau arbuigarria izatea komenigarria da hura modelatze-partean sartu behar ez izateko esperimentera zehazteko kide konplexua denez gero. *PASLINK* metodologiaren entsegu prozeduretan esaten den infiltrazio muga erdirako berriztatze ordubetera balio txikiagoa da,  $n_a < 0,5$  [renv/h], kalkuluetan baztertu ahal dadila, 50 [Pa]-eko presio desberdintasunerako. Proba egiten da azpipresioa eta gehiegizko presioa kanpoko giroari buruz entsegu gelan sortuz. 2.11 Irudian presio-proben datu esperimenterak kalibrazio-entseguaren hasieran erakusten dira, eta bere amaitzearen ondoren. Erreferentzia-balioa lortzeko berriztatze-emaria presio-galera desberdinekin zehazten da, 100 [Pa]-etatik doazela 20 [Pa]-ko balio minimoraino, 10 [Pa]-eko tartetan. Gehiegizko presioa eta azpipresio entseguetarako lortutako emariak baldintza normalera pasatzen dira, entseguaren tenperaturak ez eragiteko moduan, eta karratu txikiaren metodoagatik doitzen da ekuazio potentzialaren bitartez. 50 [Pa]-etarako aireko emari normalaren balioa aipaturiko egokitzetik lortzen da. Kalibrazio-estudioaren hasierako presio entseguetarako lortutako aire berriztatze emaria  $m_{as} = 3,82 \pm 0,43$  [Nm<sup>3</sup>/h]-ko da, eta amaiera entseguetarako  $m_{am} = 5,90 \pm 0,85$  [Nm<sup>3</sup>/h]. Emarihauek  $n_{eg} = 0,11 \pm 0,01$  [renv/h]-ko eta

$n_{eg} = 0,16 \pm 0,02$  [renv/h]-ko entsegu gelako airearen berriztatze tasa ekartzen dute, kalibrazio-entseguko hasierara eta amaierara, hurrenez hurren.

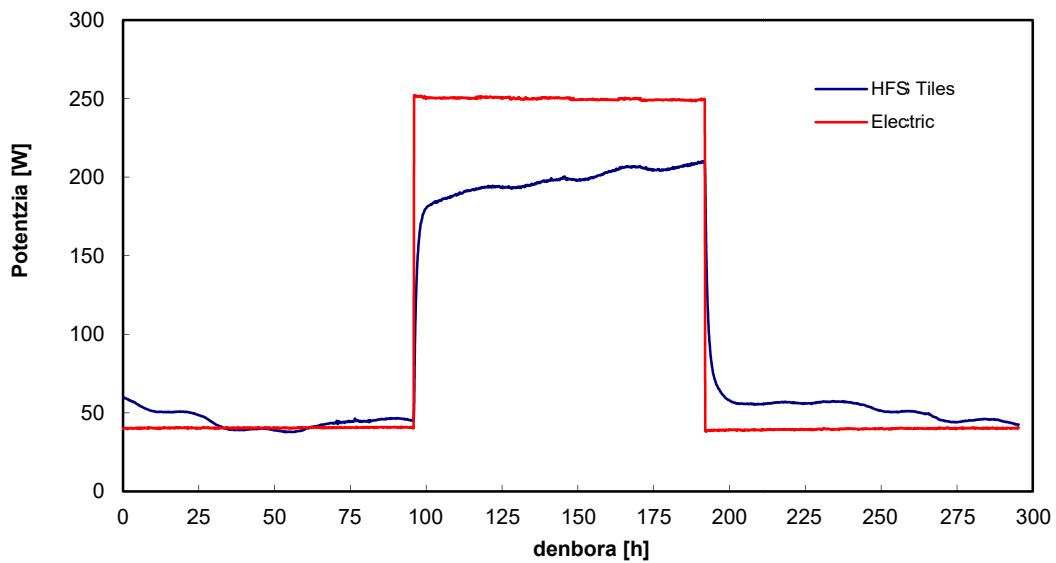
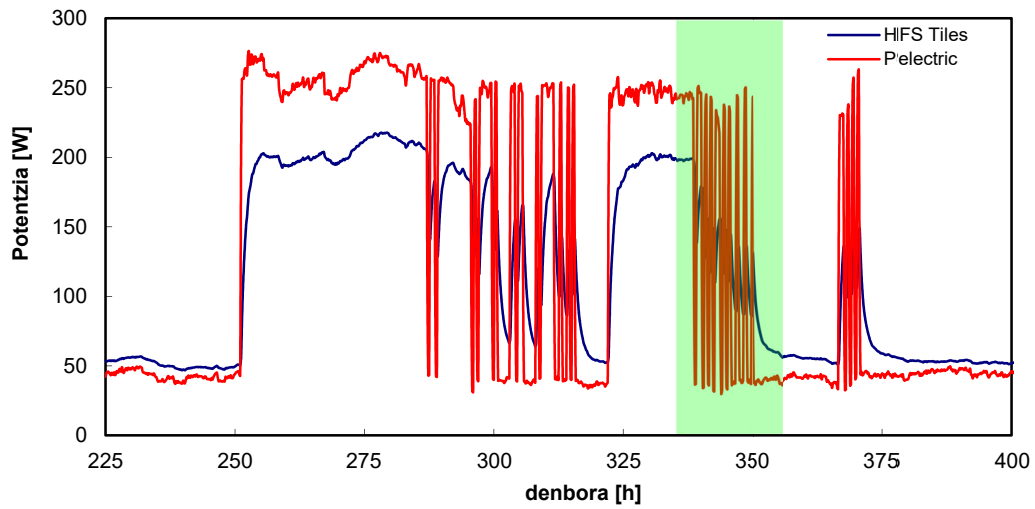
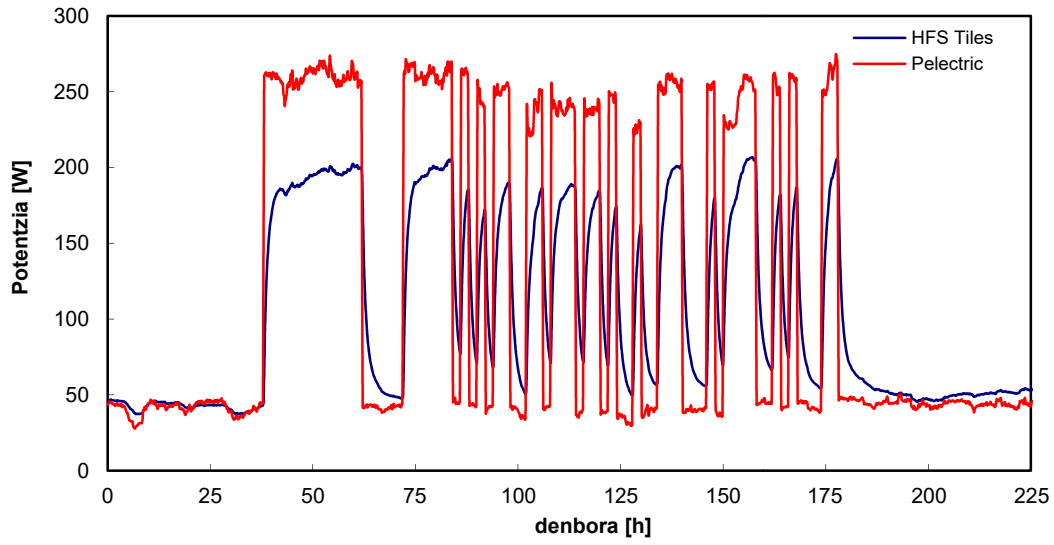


2.11 Irudia – Kalibrazio-entseguko infiltrazioen neurria hasieran eta amaieran

Aire-emariaren kalkuluaren ziurgabetasuna lortzen da instrumentazioaren neurri akats eta karratu txikiaren doitze hedapeneko batez besteko geometrikoaren bitartez, eta gainera entseguren egiten diren sei errepikapenen emaitzen arteko bariantza kontuan hartzen da, presio-konfigurazio bakoitzeko hiru, gehiegizko presioa eta azpipresioa. Presio-entseguan lortutako aire-doikuntza bihurguneko berriztatzea baldintza atmosferikoetan estima daiteke.  $\Delta P_{se-ext} = 5$  [Pa]-eko presio desberdintasunerako eta  $\Delta T_{se-ext} = 20^\circ\text{C}$  temperatura-salto baterako beroaren ebakuazioko potentzia bat  $P_a = 2,75$  [W]-ko infiltrazioengatik lortzen da. Kalibrazio-entseguren kasuan sartutako potentzia nominala  $P_n = 250$  [W]-ko da. Beraz, aire-infiltrazioek entsegu gelan trukaturako energiaren % 1,1etatik beherako balioa ekartzen dute. Honen airearen berriztatzeagatik trukutzen den beroa modelatze-prozesuan baztertzea baimentzen du, eta bere efektua potentziaren neurri ziurgabetasun estudioa eta lortutako azkeneko emaitzen ziurgabetasuneko bere hedapenera eramatea. Estudio hau forma berdineko egiten da gelan burutzen diren entseguetako bakoitzerako.

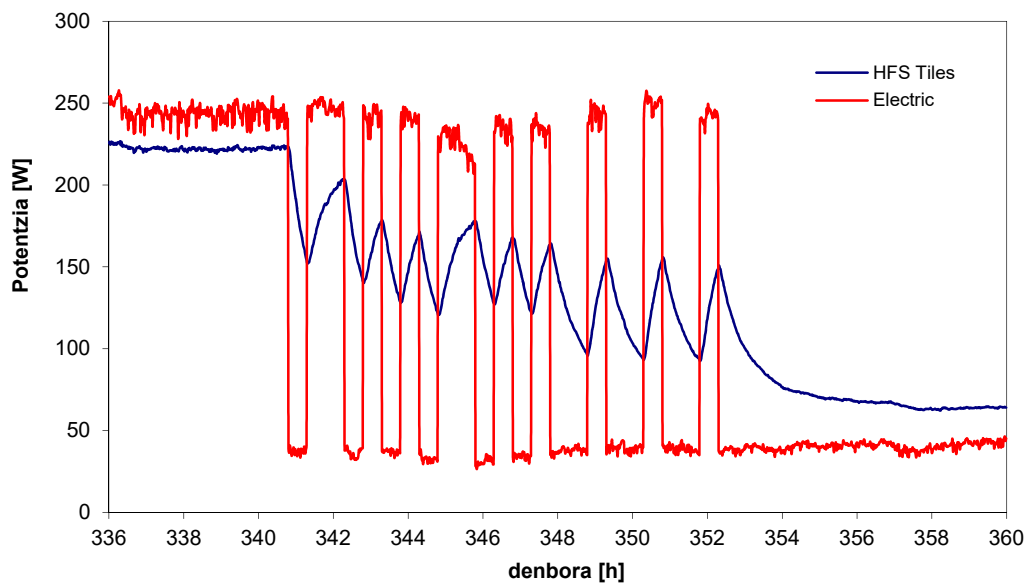
## 2.2.2 Bero fluxuak

Kalibrazio entseguan garrantzi handieneko aldagaiak itxituraren bero fluxuak eta aire eta azalera tenperaturak dira. Lehenik eta behin tiles talde desberdinetan erregistratzen diren fluxuak analizatzen dira, eta geroago tenperaturen homogeneotasuna. 2.12 Irudian entsegu gelan sartutako potentzia elektrikoko profilak erakusten dira eta erabateko beroko itxiturak tiles-ek neurtuta zeharkatzen duen fluxua. Lehen entsegu periodoan PRBS eta ROBSL errutinak, era jarraituan, erabiltzen dira. Potentzia elektrikoko kurban seinaleko kizkurtzea altua da. Hau sarearen korrante elektrikoaren asalduren ondorio da. Kizkurtze hau tiles-en seinalera eramaten da zarata-osagaia handituz.



2.12 Irudia – Beroketako potentzia elektrikoa eta HFS Tiles-en fluxuaren neurria PRBS, ROLBS eta PULTSU errutinetarako, goitik behera

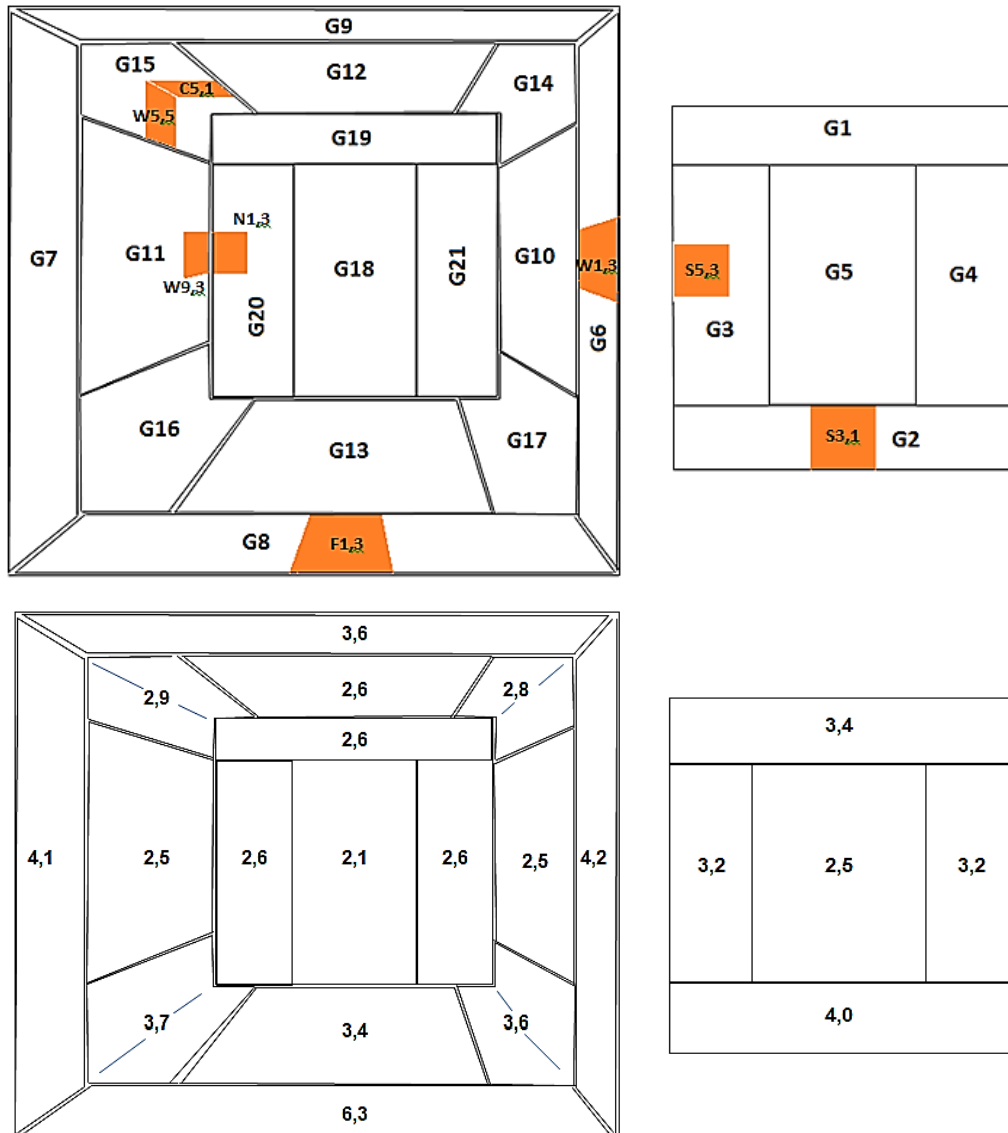
Efektu hau ezabatzeko, eta seinaleen kalitatea datuen ondorengo tratamendurako eta modelatzerako hobetzea, seinale-iragazte sistema gelaren potentzia elikaduran ipintzen da. Honela potentziaren seinalea egonkortzen da ez soilik baizik eta sentso desberdinen elikaduraren seinalea hobetzen da, eta instrumentazioaren neurri zarata txikiagotzen da. Ikus daiteke nola hobetzen duen bigarren entsegu periodoan zehar erregistratutako seinaleen kalitatea hein handi batean, beroketa-pultsu bat entsegu gelan ematen den. *Tiles*-ek erregistratutako fluxuaren seinaleak potentzia-aldaketetara egoki erantzuten duela ikus daiteke. 2.13 Irudian bero-fluxuaren bilakaera erakusten da goi-maiztasun-asaldura ematen ari den periodorako, denbora-ardatzaren xehetasun handiagoarekin.



2.13 Irudia – Fluxuaren neurriko *HFS Tiles*-en erantzunaren xehetasuna *ROLBS* errutinaren goi-maiztasuneko periodoan

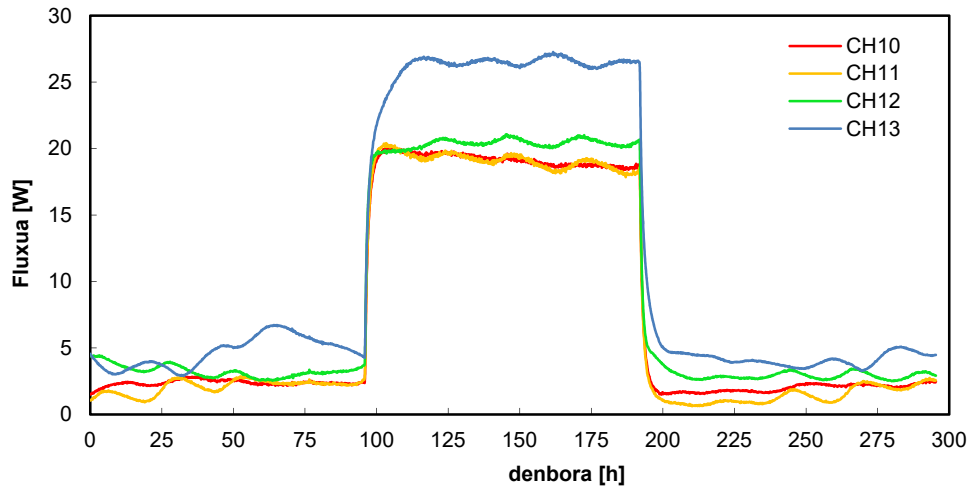
Ertz-taldean zuzenketa faktoreen erabakira eta zeldaren kalibratio faktoreko kalkulura aurrez, egiaztatze-seriea egiten da bero-fluxuaren neurriaren kalitatea ebaluatzeko. Lehen pausoa da azalera-unitateagatiko fluxu batezbestekoen analisia, tiles-talde desberdinek erregistratuta. Adibide bezala entsegu pultsuan lortutako emaitzak erakusten dira, analisia berdin-berdina gainerako errutinatarako denez gero. 2.14 Irudian *tiles*-talde bakoitzean neurtutako fluxuen batezbestekoak erakusten dira,  $[W/m^2]$ -unitateetan. Azalera-unitateagatik talde desberdinek neurtutako fluxuek koherentzia fisikoa izan behar dute bero-transmisio efektu desberdinekin. Entsegu gelaren itxiturako zona zentraletan tamaina txikieneko fluxuek gertatu behar dira eta bere balioek hurbileko egon behar dute haien artean. Ekialdea eta mendebala paretan fluxuak (CH10 eta CH11 hurrenez hurren) berdinak direla egiaztatzen da, estalki-fluxuko jarraituta (CH12), apur bat handiagoa, isolatzaile-lodiera txikiagoa denez gero. Zoruaren fluxua (CH13) balio maximora heltzen da, isolamendu-lodiera txikienarekiko entsegu gelaren itxiturako partea delako. Alboko paretetako eta estalkiko fluxu homogeneotasun hau lortzen da EGUZKI zelda biltzen duen kanpoko toldoa sortzen duena atemperazioari esker, eguzki-erradiazioaren efektua, eguneko orduetan zeharreko aldagaia, eta haizea aleatorioaren efektu txikiagotzen duela. 2.15 Irudian aipatutako *tiles*-taldeen fluxuen bilakaera denboran zehar erakusten da.



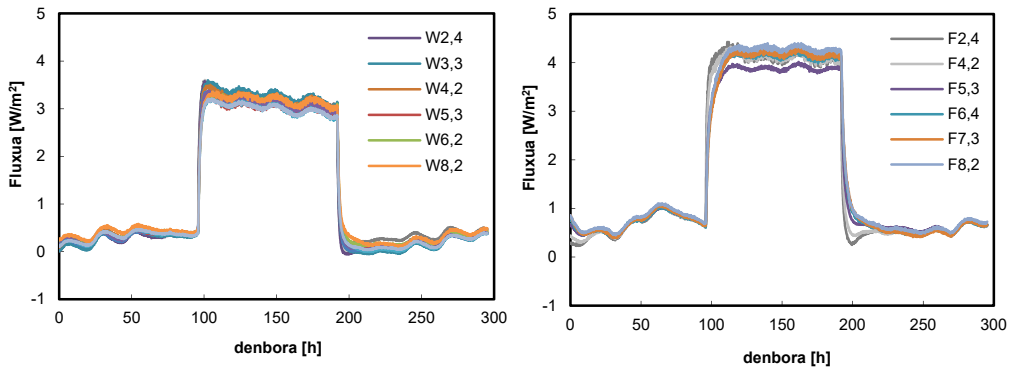


2.14 Irudia – Iparraldeko azalaren eta entsegu gelaren itxituran unitateagatiko fluxu batezbestekoak, ezkerre, eta kalibrazio-horman, eskuina

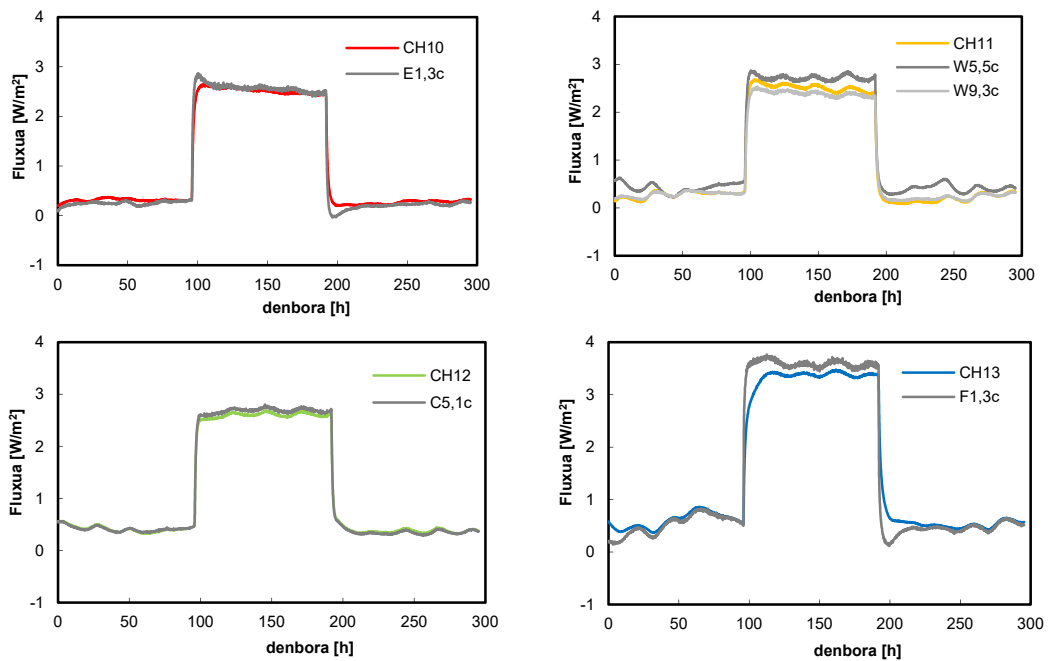
Proba espezifiko bezala, kalibrazio-periodoan zehar, erregistratzen dira mendebala paretaren eta zoruaren talde zentraletako hainbat *tiles*-en seinale individualak, aleatorioki aukeratuta. 2.16 Irudian erantzuna homogenea dela erregistratuta *tiles* guztietarako ikus daiteke. *Tiles*-ek nomenklatura matritziala daukatela bere definizioa eta kontrola errazteko. Behin eta talde zentralak egiaztatuta ebaluatzea beharrezkoa da ertz-efektuak egoki neur daitezela. Zenbakizko modeloen lortzen da aipaturiko efektuen eragina bere neurrirako zuzendutako ertz-taldean dimentsioetatik harantz ez dela hedatzen. Baldintza hau betetzen bada, kokatutako sentsoreek *multitiles*-en C posizioan neurtutako fluxuek azalera-unitateagatiko talde zentral egokiek erregistratutako fluxua bezalakoak izan behar dute. 2.17 Irudian erakusten da aipaturiko konparaziozkoa. E1,3 *tile*-a 6 taldeko da eta bere C sentsoreak ekialde paretaren dimentsio bakarreko fluxua erregistratzen du, eta beraz hark 10 taldea erregistratzeak azalera-unitateagatiko fluxuaren baliokidea izan behar du.



2.15 Irudia - Entsegu gelaren itxituraren talde zentralek neurtutako fluxua

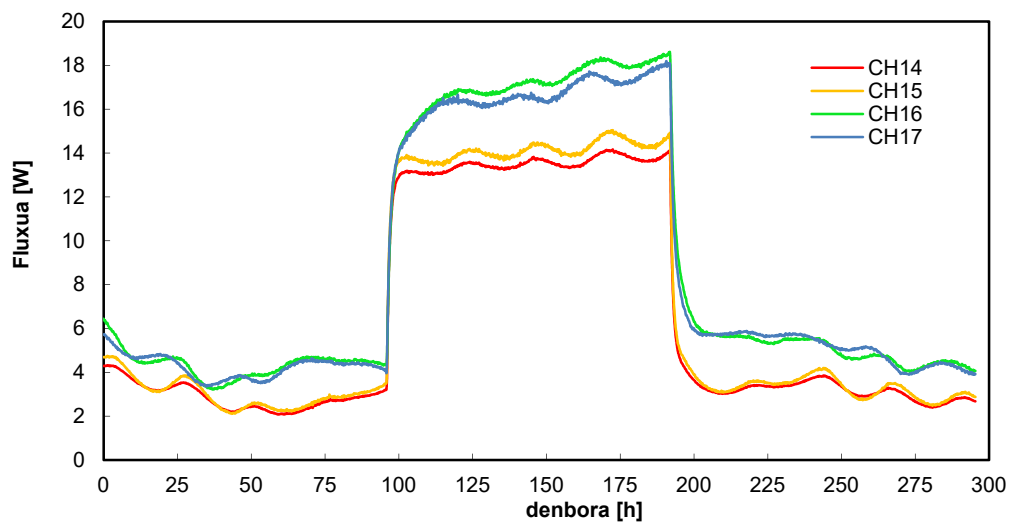


2.16 Irudia - Mendebala paretako eta zoruaren talde zentraletako tiles indibidualen seinalea

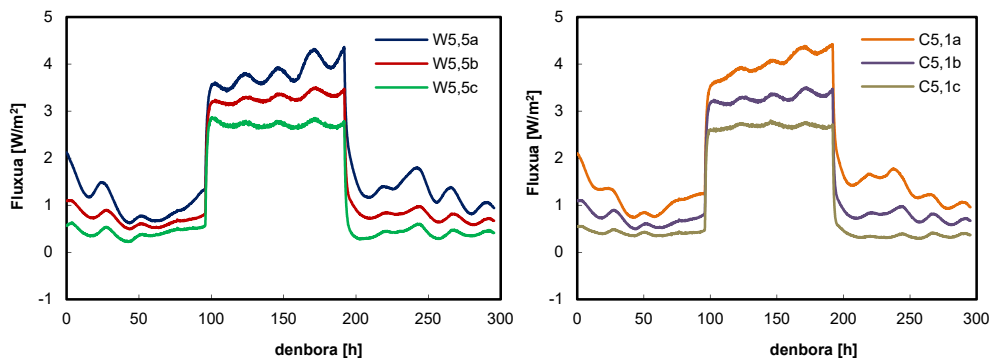


2.17 Irudia - Multitiles-en C posizioan kokatutako sentsoreen seinalea eta talde zentral baliokideen azalera unitateagatiko fluxua

11 taldearen fluxua bi *multitiles*-eko erantzunarekin konpara daiteke, 15 taldeko den W5,5-a, eta multitile-ak 11 sartzen ditu berezko taldera iparra paretarekiko bat-egiteko zonan, W9,3-a. Zoruko 12 taldea C5,1 *multitile*-arekin konparatzen da, 15 taldean kokatuta W5,5-aren pareko posizioan. Eta azkenik zoruko 13 taldea F1,3-arekin konparatzen da hegoa ertzaren 8 taldeko dela. 2.14 Irudian *multitiles*-en eta talde zentral elkartuen banaketa ikus daiteke. Erregistratutako desberdintasun txikiak arbuia garriak dira neurri-ziurgabetasun mailaren barruan. Behin eta talde zentralak ebaluatuta garrantziko hurrengoak luzetarako ertz-taldeak dira, 1 tipologiako direla. Talde hauek azalera unitateagatik fluxua erregistratu behar dute inguratzen duten talde zentraletakoa baino gehiago. Estalki-ardatzei buruzko ertz-taldeek bien arteko hurbileko balioa izan behar dute, zoruaren ertz talde bezala.



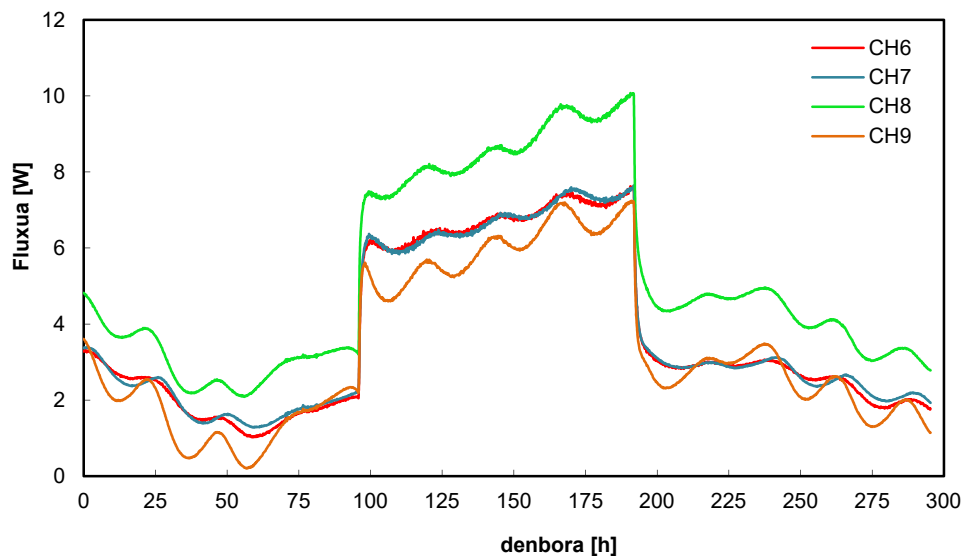
2.18 irudia - Luzetarako ertz-taldeek neurtutako fluxua, 1 tipologia, entsegu gelaren itxituran



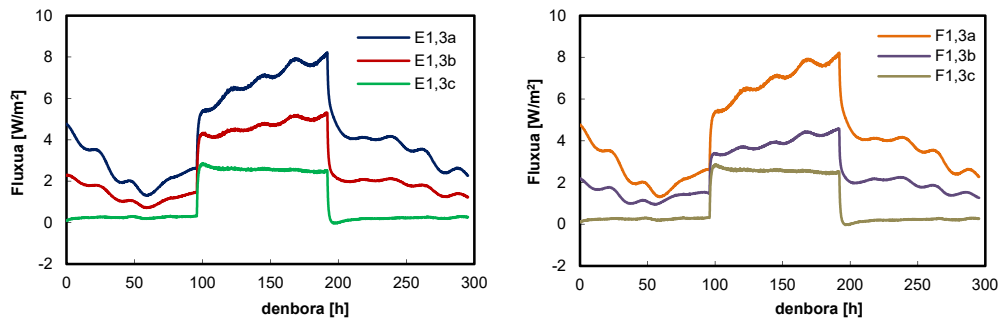
2.19 Irudia - Luzetarako ertz-efektuen karakterizaziorako erabilitako *multitiles*-etako hiru sentsoreek neurtutako fluxua, 1 tipologia

2.18 Irudian talde hauen eta portaerako simetriaren seinalea erakusten da. 2.1.2 atalean planteatzen den bezala ertz-taldearen seinalea  $F_c$  faktorearen bitartez doitzen da, fluxu errealeko profilaren, multitile-ko hiru sentsoreek kuantifikatuta, eta B sentsoreak neurtutako balioaren arteko erlazioa zehazten duela. 2.19 Irudian kokatutako bi *multitiles*-etako sentsoreen seinalea 15 taldean erakusten da, zuzenketarako erabiltzen direla. Ertz-efektuen neurri zuzenaren garrantzia estima daiteke. Luzetarako ardatzen kasurako, erregistratzen duten erabateko fluxua

talde zentralak trukutzen dituztela da fluxurako tamaina ordenako, nahiz eta azalera gutxiago izan. Garrantziko hurrengo taldeak hegoaldearen ertz efektuei buruzkoak dira, 2 eta 3 *tipologiak*. 2.20 Irudian ikus daitekeenez gero, ertz-efektu hauek fluxurik handienak sortzen dituzte azalera-unitateagatik. Hau ondorio da gainerako itxitura kanpoko toldoagatik apantailatuta dagoela, entsegu gelaren itxituraren kanpoko baldintzak homogeneoagoak izan daitezela eragiten duela. Ordea hegoa zona kanpoko giroari zuzenki erradiazioaren efektuarekin erakutsita dago. Gainera, zona honetan dibergentzia handiena itxituraren konfigurazio eraikitzailean gertatzen da lagin-garraiatzaile sistemagatik.



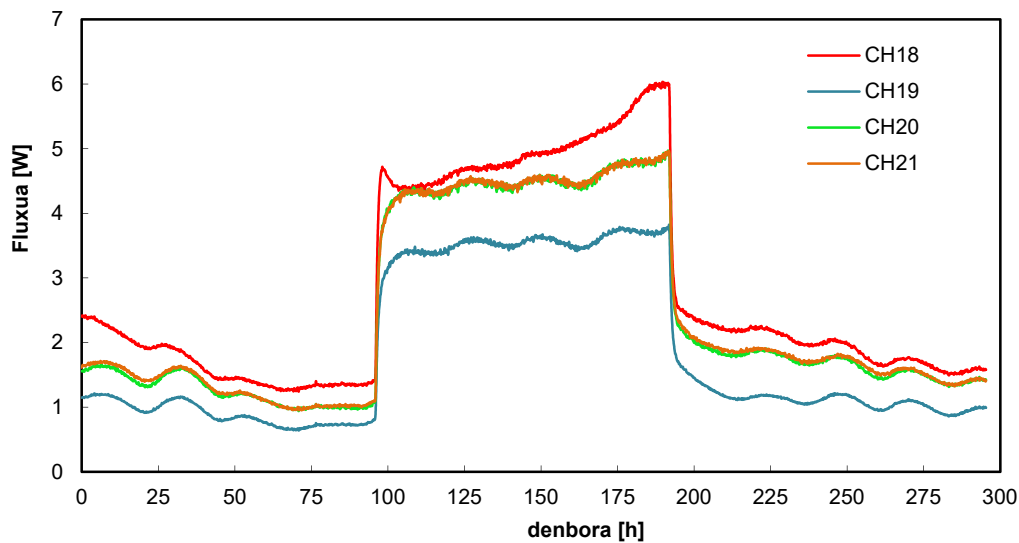
2.20 Irudia – Hegoa ertz taldeek neurtutako fluxua, 2 eta 3 *tipologiak*, entsegu gelaren itxituran



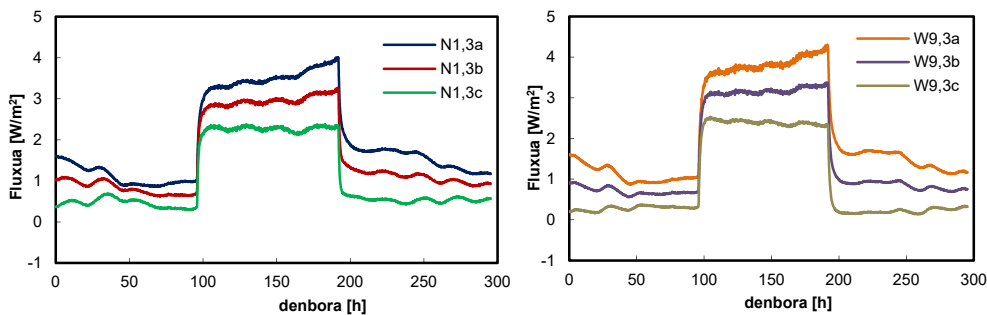
2.21 Irudia – Hegoa ertz efektuen karakterizaziorako erabilitako multitiles-etako hiru sentsoreek neurtutako fluxua, 2 eta 3 *tipologiak*

2.20 Irudian hegoa zonaren taldeek erregistratutako seinalea erakusten da. Bero-trukerik handiena zoruko ertzean gertatzen dela ikusten da. Hau aurremarko isolatzailearen material konfigurazioarekin bat dator, beheko zona  $\lambda_{vc} = 0,048$  [W/mK] eroankortasunetako beira zelularrak, errekerimendu mekanikoengatik, eratuta dagoenez gero, gainerako aldeetatik poliestireno hedatutakoa baino gehiagokoa,  $\lambda_{eps} = 0,035$  [W/mK]. Honetara gehitu behar da aurremarko isolatzaileko lodiera behekoa|mendekoa dela zoruko zonan, paretetako eta estalkiko lodierarekin konparatuz. Hau da beheko ardatza ertz-efektuaren tipologia espezifikoa bezala tratatzen den arrazoi eta multtile bat aipaturiko taldean jar dadila. 2.21 Irudian Ekialde paretaren ertz taldean eta zoruan kokatuta multitiles-etako sentsoreek erregistratutako seinaleak erakusten dira, 2

eta 3 *tipologiaren* karakterizaziorako, hurrenez hurren. Fluxu-balioak luzetarako taldeetako multitiles-ek neurtutakoak baino gehiagokoak direla ikusten da, eta bereziki zoruko ertz zonan. F1,3 *multitiles*-aren seinaleetan, estimatzen da B posizioaren eta A posizioaren fluxuen arteko gradientea aipaturiko sentsoreen arteko gradientea baino gehiagokoa beste ertz-zona batzuetarako dela. Entsegu gelaren itxitura zeharkatzen duen fluxuaren analisia bukatzeko, iparraldearen taldeak ebaluatzeagatik falta izango litzateke, entsegu gela banantzen duen paretari dagozkiola. 2.22 Irudian talde hauen seinalea erakusten da. Sarbide-atea inguratzen duten alboko bi taldeen neurrien simetria ikus daiteke.



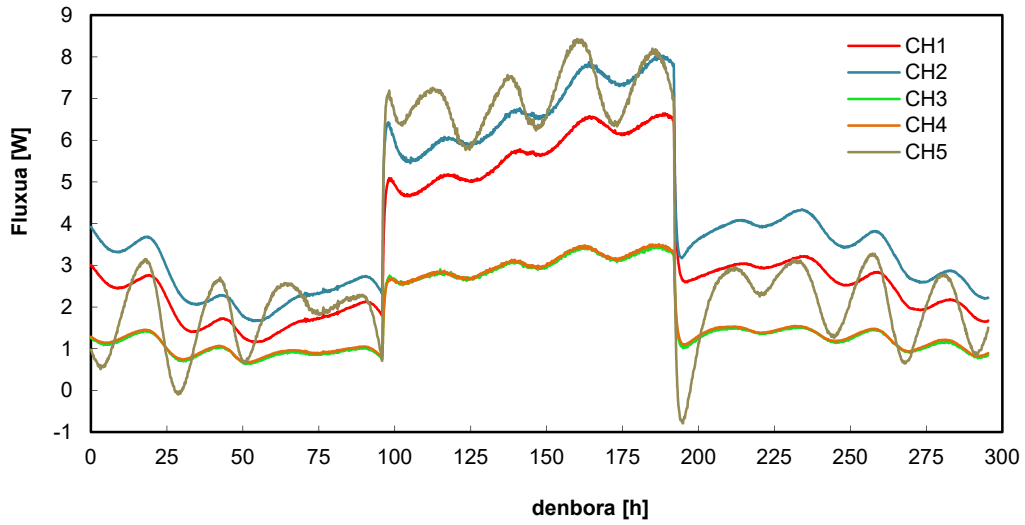
2.22 Irudia – Iparra ertz taldeek neurtutako fluxua, 4 tipologia, entsegu gelaren itxiturean



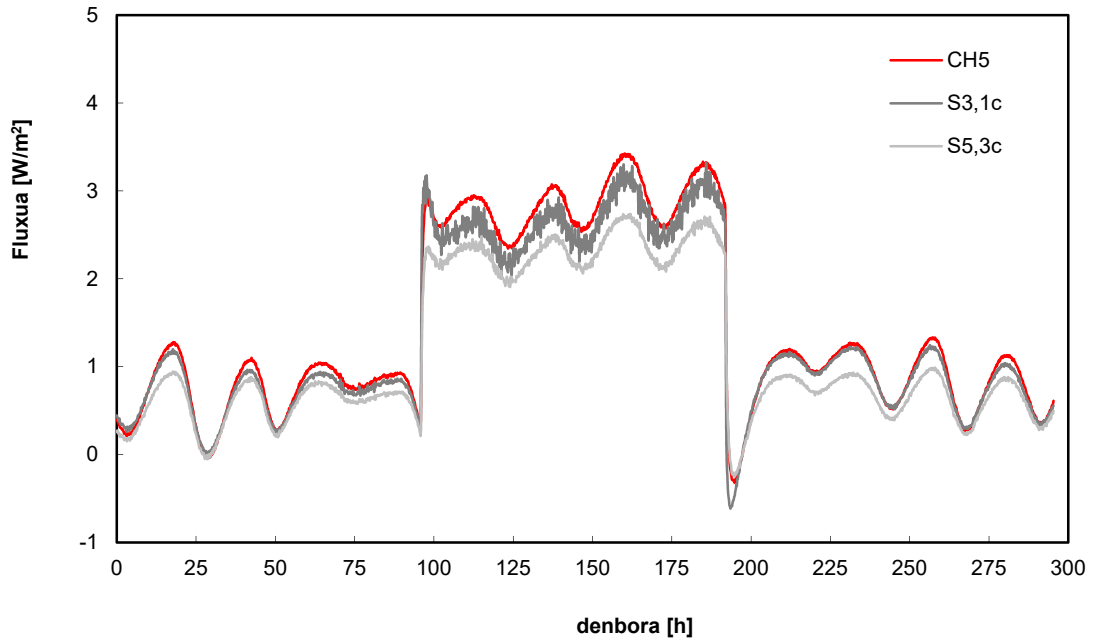
2.23 Irudia – Iparra ertz efektuen karakterizaziorako erabilitako multitiles-etako hiru sentsoreek neurtutako fluxua, 4 tipologia

Iparra paretaren ertz taldeek dituzte talde zentraleek neurtutako fluxuen antzeko fluxuak azalera-unitateagatik, ikus 2.14 Irudia. Ateko zonako fluxua tamaina txikienekoa da, konfigurazio fisikoarekin bat datorrena, entsegu gelako paretak baino isolamendu-lodiera bera izateaz gain zigilatzeke kanpoko atea ere daukan zero, gehitutako isolamendu-kapa bat ematen duela. 4 *tipologiaren* ertz efektuetarako zuzenketa  $F_c = 1$  faktorea hartzen da, zona tenperatura-gradiente txikiagoarekin delako, neurtutako fluxuko balio absolutuak islatzen dituzten bezala oso gainerako taldeetatik beherakoa. Baldintza hau egiaztatzen da azalera-unitateagatik fluxuen analisiaren ondoren eta 11 eta 20 taldean kokatutako multitiles-etako sentsoreetan lortutako seinaleagatik, 2.23 Irudian erakutsita. Sentsore desberdinek neurtutako fluxuak hurbilekoago daudela estimatzen da, honek ertz-efektua txikia dela dio.

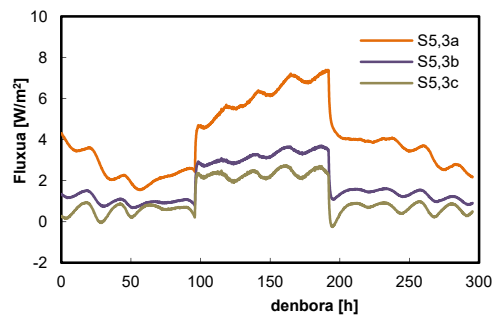
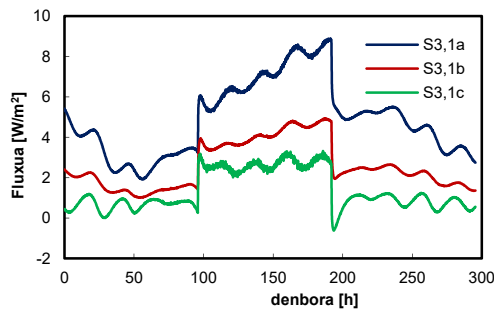




2.24 Irudia – Kalibrazio-hormaren taldeek neurtutako fluxua



2.25 Irudia – Multitiles-en C posizioan kokatutako sentsoreen seinalea eta kalibrazio-hormaren talde zentralaren azalera unitateagatik fluxua

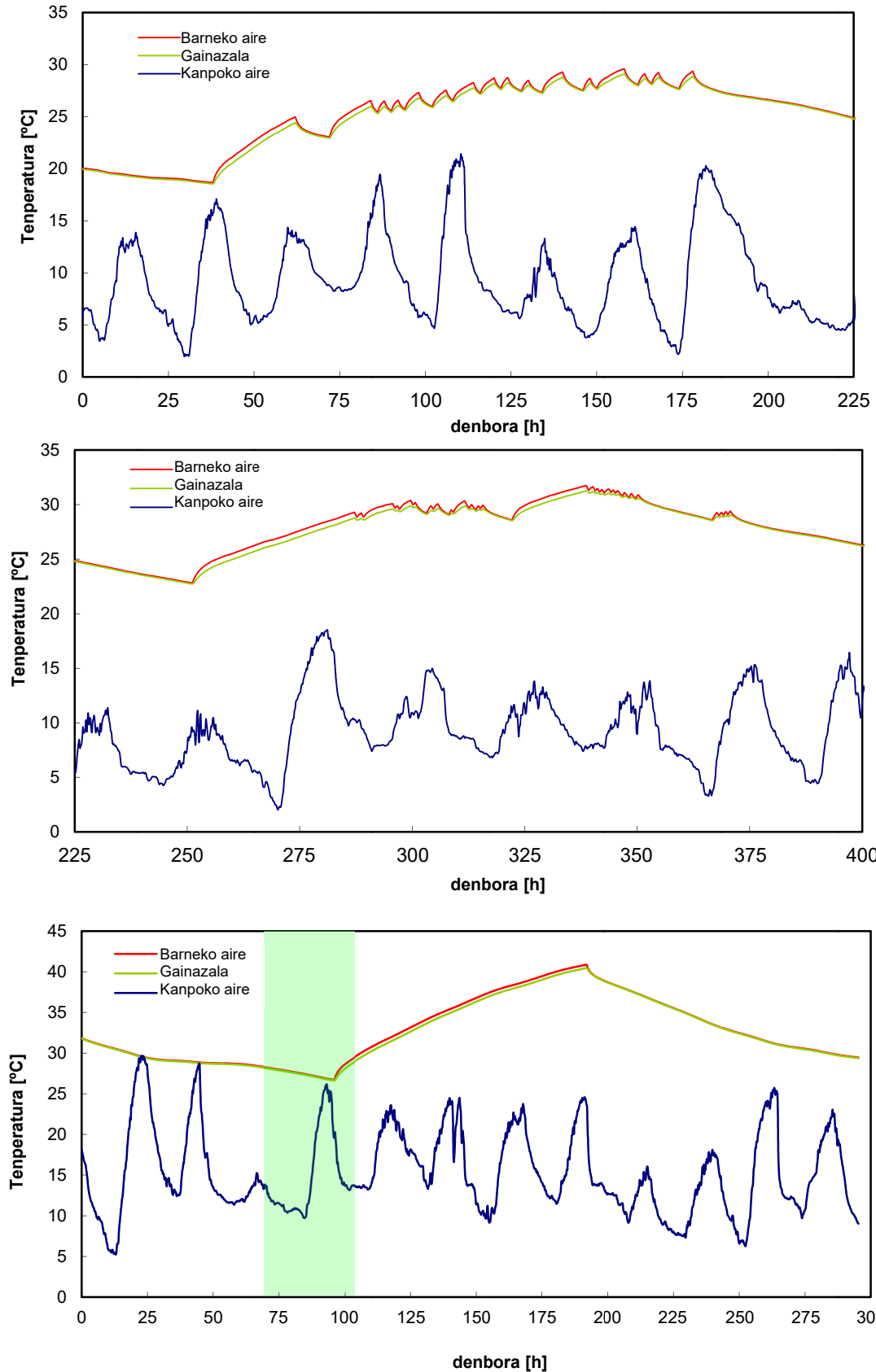


2.26 Irudia – Kalibrazio-hormaren ertz efektuen karakterizaziorako erabilitako multitiles-etako hiru sentsoreek neurtutako fluxua

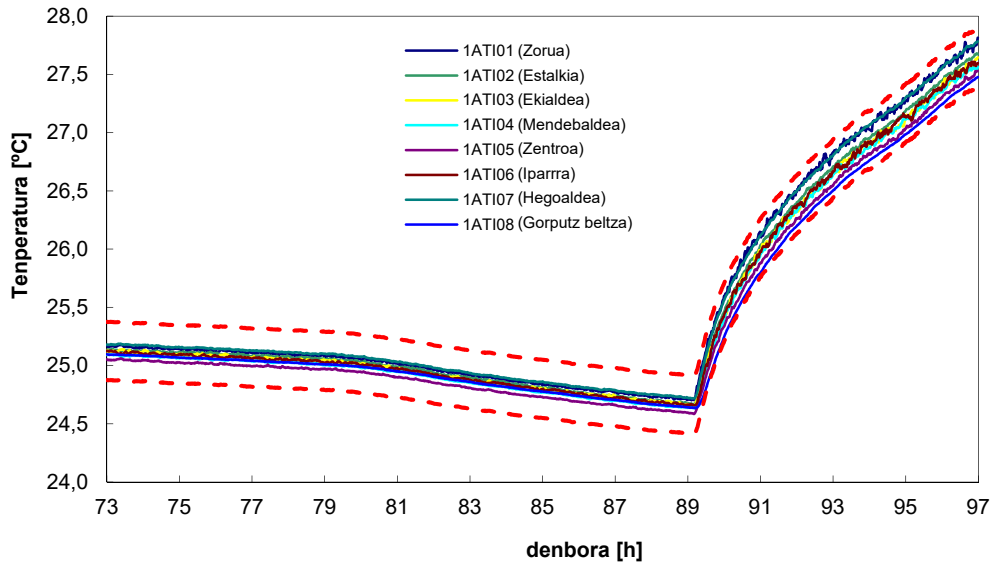
Azkenik, soilik geratzen da kalibrazio-hormaren portaera ebaluatzeko, zeldaren kalibrazio-erabateko faktorea zehaztea eta lagin-garraiatzaile sistemaren portaera analizatzea baimentzen duela. 2.24 Irudian kalibrazio-harresiaren gainean jarritako bost taldeen seinaleak erakusten dira. Fluxuaren seinalean oszilazio handiagoa ikus daiteke, zona zentrolean batez ere, 5 taldeari buruzkoa, eguzki-erradiazioko eta kanpoko giro-tenperaturagaren eguneko zikloengatik. Dena dela, zona zentroleko azalera unitateagatik fluxu ertaina entsegu gelaren itxituraren fluxu zentralen antzekoa da. Honek itxitura homogenea entsegu gela guztian lortzeko helburua egiaztatzen du, horrela zeldaren kalibrazio prozesua optimizatzea. Simetria ikus daiteke alboko bi taldeen seinalearen artean, fluxu handiagoa aurkezten duena beheko zonaren taldea izanez, aurremarko isolatzaileko beheko zonaren isolatze txikienagatik. Ertz-efektuaren garrantzia itxiturarako analizatzen den bezala, kalibrazio-hormarako ebaluatzen da ere. 2.25 Irudian C sentsoeren seinaleak erakusten dira, kalibrazio-hormaren ertz taldeetan jarritako bi multitiles-etako sentsoerak, 5 taldearen azalera unitateagatik fluxuarekin konparatuz. Seinalea hurbilekoa dela hiru kasuen artean ikusten da. Azkenik, kalibrazio-hormaren ertz taldeen zuzenketa faktoreak zehaztea soilik falta da. 2.26 Irudian 2 eta 3 taldeetan jarritako *multitiles*-etako sentsoeren seinaleak erakusten dira. Aurremarko isolatzaileko konposizio desberdinak beheko ertzeko efektua bereiz ikastea beharrezko eragiten du gainerako talde perimetralesei buruz.

### 2.2.3 Temperaturak

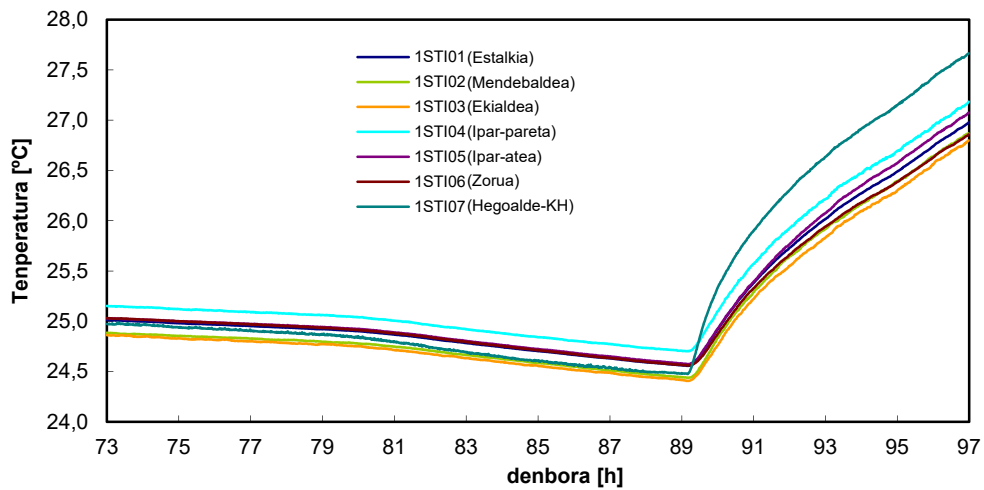
Modelo ahalik sinpleena edukitzea, entsegu gelaren portaera termikoa irudika dezala erabateko zehaztasunarekin, *PASLINK* zeldaren diseinuaren helburuetako bat da. Helburu honetako funtsezko pausoa aire-tenperatura homogenea lortzea da estratifikaziorik gabe, barruko bolumena tenperatura bakarrarekin irudikatu ahal izateko moduan. 2.27 Irudian erakusten den bezala, entsegu gelaren aireko eta azalerako tenperatura batezbestekoa aplikatutako irudikatzen denean ohitura desberdinetarako, eta kanpoko giroko tenperatura. Homogeneotasun-baldintzak kontuan hartzeko irizpide bezala aire-tenperaturetan  $\Delta T_{max} \leq 0,5^{\circ}\text{C}$ -etako desberdintasun maximoa hartzen da. 2.28 Irudian erakusten dira entsegu gelako barruko giroa karakterizatzen duten zortzi zunden aire tenperaturak, pulstu errutinaren berokuntza sistemako pizte unerako. Periodo honetan desberdintasun maximoak gertatzen dira. Nola dauden tenperaturak oso hurbileko asaldurarik gabeko periodoan egiaztatzen daiteke, berezko neurri-ziurgabetasunetik beherako dibergentziarekin. Beroketaren periodoa hasita kurbetatik bereiztea ikusten da, homogeneotasun-muga inoiz ez gaingiduz kolore gorriko bi lerro etenek irudikatzen dutela. Haizagailu tangentialak egiten duen airearen asaldurari esker azalera-tenperatura portaera homoganeoarekin ere mantentzen da, 2.29 Irudia erakusten duenez gero. Bakarrik, kalibrazio-horamren azaleraren tenperaturaren desberdintasun handiagoa gertatzen da. Hau ondorio da haizagailua eta erresistentzia elektrikoa daukan kutxaren aire irteera hegoa paretarantz orientatuta dagoela, laginean tenperatura-homogeneotasuna maximizatzeke. Entsegu gelaren paretan tenperaturen kasuan, balioak ez dira  $0,5^{\circ}\text{C}$ -ean desberdin gehiago. Kalibrazio-horman tenperatura-gradiente adierazgarririk ez dela gertatzen egiaztatzeke azalera betea estaltzen duten bost tenperatura-zunda osagarri jartzen dira. 2.30 Irudian aipaturiko tenperaturen bilakaera erakusten da,  $1^{\circ}\text{C}$ -etatik beherako desberdintasun maximoekin.



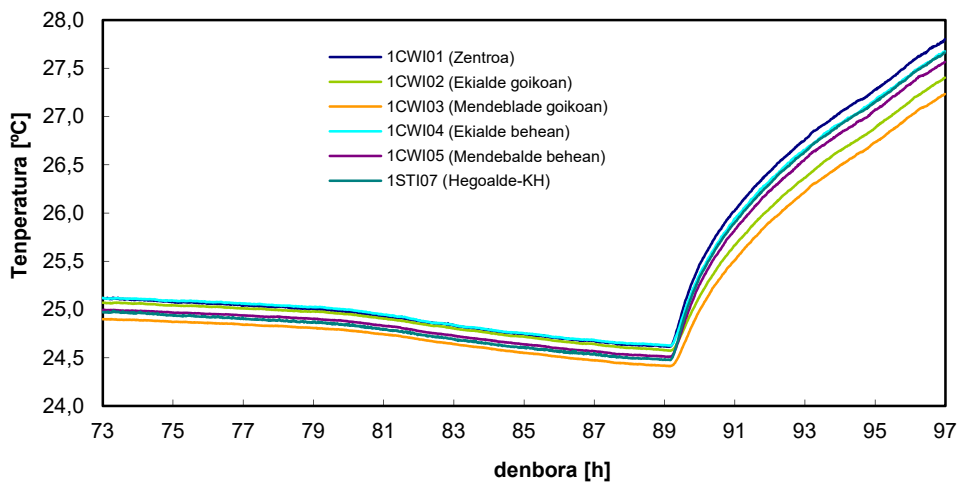
2.27 Irudia - Entsegu gelaren aire eta azalera temperaturak eta kanpoko aireztatutako temperatura PRBS, ROLBS eta PULTSU errutinetarako, goitik behera



2.28 Irudia - Entsegu gelaren aire temperaturak

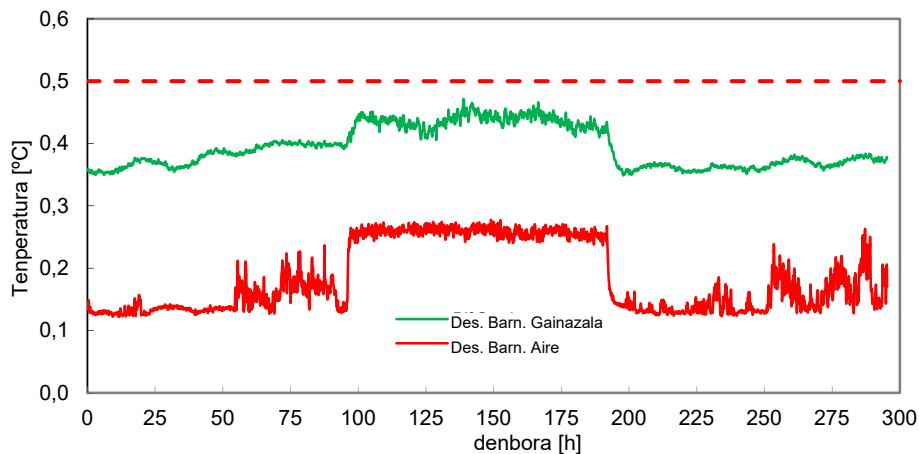


2.29 Irudia - Entsegu gelaren azalera temperaturak

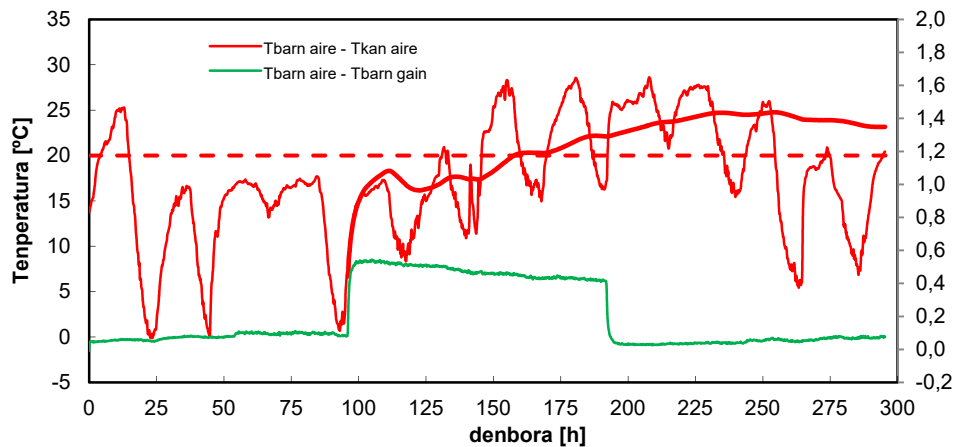


Irudia - Kalibrazio-homaren azalera temperaturak

2.31 Irudian tenperatura-desberdintasun maximoen bilakaera errutina pultsuan zeharreko ainerako eta azalerarako erakusten da. Analisisian soilik entsegu gelaren itxiturako pareten tenperaturak hartzen dira, entseguen egitean zehar kontrolatzea interesgarri den tenperatura denez gero. Bere aldetik, lagineko azaleraren tenperatura aldagaia izango da beraren ezaugarrien arabera. Tenperaturako desberdintasun maximoak ebaluatuta, bai ainerako bai entsegu gelaren azaleretarako, barruko bolumenaren portaerako irudikapena har dezake baliozkoa bezala bien batez besteko balioen bitartez. 2.1.1 atalean esan denez gero, entseguan zehar heldu behar dute entsegu gelaren barne-airearen eta kanpoko tenperatura arteko 20°C-a baino gehiagoko saltoetara.



2.30 Irudia – Desberdintasun maximoak entsegu gelaren aireko eta azalerako tenperaturak errutina pultsuan zehar

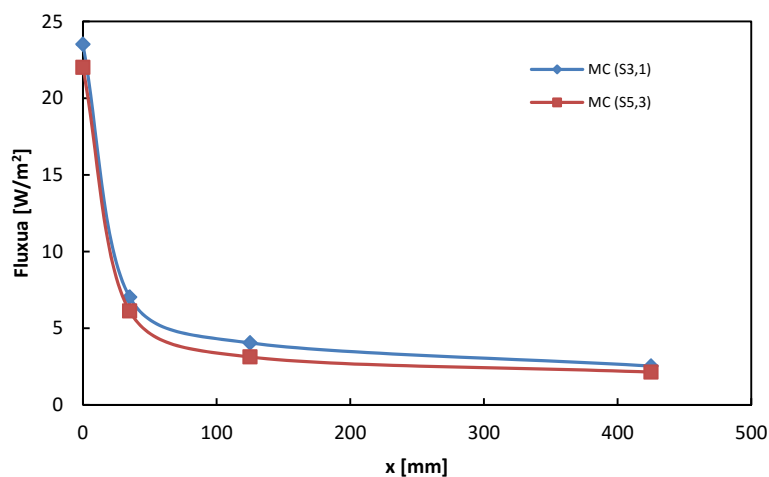
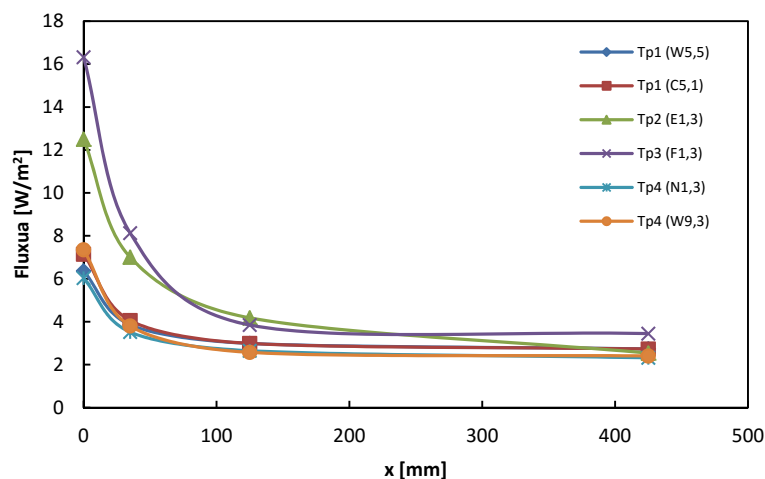


2.31 Irudia – Barruko giroaren eta kanpoko tenperatura arteko saltoa, ezkerreko ardatza, eta giroaren eta azaleraren artean, eskuineko ardatza, pultsu errutinaren zehar

2.32 Irudian nola heltzen den giroen artean bertakotutako batezbestekoa tenperatura saltoa aipaturiko baliora, lerro gorri lodia, behin eta berokuntza-errutina hasita, nahiz eta eguneko aldaketak ordu zehaztuetan behekoak izan. Zeldaren portaeraren modelatzeko ondorengo prozesuan kontuan hartzeko aspektu garrantzitsua da airearen eta entsegu gelaren azaleraren artean produktzen den tenperaturako desberdintasun txikia. Tenperatura hauek ez dira banantzen beroketa-periodoan zehar 0,6°C-etatik gehiago, eta berdintzen dira periodo libreetan zehar. Análisi hau PULTSU errutinarako erakusten da, baina gainerako entsegu-errutinak emaitzek balio baliokideak dituzte.

## 2.2.4 Kalibrazio faktoreak

Kalibrazioaren lehen pausoa da ertz-taldearen zuzenketa faktoreen kalkulua. Faktore hauek zehazten dira 2.1.2 atalean entsegu-errutinetako bakoitzerako planteatutako metodologiaren bitartez, eta bat-bateko faktoreen batezbestekoa behin betiko balioztat hartzen da. 2.33 Irudian erakusten dira  $t = 150$  [h] uneko ertz efektu tipologia desberdinetarako neurtutako fluxu-profilak, *PULTSU* errutinaren zehar. Kontuan hartu behar da zuzenketa-faktorea,  $F_c$ , ez dela ertz-efektuaren tamainaren adierazle bat, baizik baimentzen du kokatutako fluxu sentsorearen neurria B aipaturiko ertzeko fluxu errealeko integratutako balioari buruz posizioan estutzea. Efektu hauek bereizten dira fluxu-profilaren formaren bitartez eta fluxu maximoaren eta dimentsio bakarreko fluxuaren arteko erlazioaren bitartez. Ikus daiteke tipologia 1aren ertz efektuek fluxu maximoaren eta dimentsio bakarreko fluxuaren artean desbideratzea 2 eta 3 tipologietan baino askoz txikiago aurkezten dituztela. Fluxu-profilaren forma aldatzen dela tipologiaren artean ikus daiteke ere, isolamendu-mailagatik eta geometriara eta egiturazko konposizioagatik. 2.4 Taulan jasotzen dira entsegu-errutina desberdinetako multitle bakoitzerako lortutako zuzenketa-faktoreen balioak.



2.32 Irudia – *PULTSU* errutinaren zeharreko 150 [h] unerako ertz zonetako fluxu profilak

Behin eta emaitzak ebaluatuta behin betiko zuzenketa-faktoreak definitzen dira, 2.5 Taulan erakusten direla, eta erabiltzen direla ertz-talde egokien azkeneko



fluxuaren kalkulurako. Balioak entsegu periodo bakoitzaren integrazioetik lortzen dira. *PRBS* eta *ROLBS* errutinaren kasurako, potentzia-iragazte sistemarik ez zegoen, seinaleko kizkurtzeak ez du inongo efekturik sortzen emaitzetan, laginketako goi-maiztasunari esker, eta injektatutako potentziaren neurriaren zehaztasunagatik, eta *tiles*-en seinalearen tentsio jarraituaren seinalearen neurriko zehaztasunagatik.

	T-1		T-2	T-3	T-4		MC	
	W5,5	C5,1	E1,3	F1,3	N1,3	W9,3	S3,1	S5,3
PULTSU	1,021	1,036	1,130	1,174	1,008	1,078	1,028	1,126
PRBS	1,056	1,041	1,119	1,165	0,991	1,048	1,046	1,104
ROLBS	1,066	1,026	1,125	1,156	0,995	1,085	1,040	1,136

2.3 Taula – Hiru entsegu errutinetako *multitile* bakoitzerako zuzenketa faktoreak

Tipologia	Taldea	$F_c$
Tp1	(14,15,16,17)	1,041 ± 0,011
Tp2	(6,7,9)	1,125 ± 0,005
Tp3	(8)	1,165 ± 0,009
Tp4	(19,20,21)	1,070 ± 0,019
MC	(1,3,4)	1,038 ± 0,009
	(2)	1,122 ± 0,016

2.4 Taula – Ertz-talde tipologia bakoitzerako azkeneko zuzenketa-faktoreak

Behin eta ertzeko fluxuak zuzenki kalkulaturak, hurrengo pausoa haiek eta fluxu zentralen artean erlazioa balioestea da, dimentsio bakarreko baldintzak gertatzen direnean. *HFS Tiles-eko Instalazio Gidaliburuan*<sup>[16]</sup> esaten da erlazioa luzetarako ertz-taldean seinalearen artean  $G_{long} = 1,2 \pm 0,1$  ordenako da, eta hegoa ertz efektuetarako itxarondako ratioa  $G_{sur} = 1,5 \pm 0,2$  da. EGUZKI zeldarako lortzen ratioa, talde zentral elkartuei buruz luzetarako taldeen azalera unitateagatik fluxuen arteko zatiduratik lortuta, ikus 2.14 Irudia, da:

$$G_{long} = 1,11 \pm 0,10$$

eta hegoa kalibrazio-harresiaren talde zentralari buruz ertz taldeen ratioa:

$$G_{sur} = 1,57 \pm 0,19$$

Azkenik, kalibrazio osoko zeldaren faktorea kalkulatu da, [2.2] ekuazioaren arabera. Errutina bakoitzean lortutako emaitzak 2.6 Taulan erakusten dira.

	$f_{c,t}$
PRBS	1.091
ROLBS	1.051
PULTSU	1.066

Tabla 2.5 – Factores de calibración global obtenido en cada rutina de ensayo

Lortutako emaitzen batezbestekoa zeldaren kalibratiozko azkeneko balioa izanez:

$$f_{c,t} = 1,069 \pm 0,020$$

Faktore honek baimentzen du tiles-ek entsegu gela barruan erregistratzen ez duten energia trukea zuzentzea, aire-infiltrazioak adibidez, sentsoreen kableatzeagatik bero transmisioa, etab... Faktoreak  $f_{c,t} < 1,2$  baldintza betetzen du, beraz entsegu gelaren bero trukearen neurri sistema har daiteke egoki irudikatuta eta neurtuta tiles-en bitartez, eta gelako modelatze fasera pasa daiteke.

## 2.3 Zeldaren modelo matematikoak

Kalibratio-entsegu ez ezik zeldaren faktore osoa zehaztea baimentzen du, baita ere informazioa ematen du entsegu gelaren portaera definitzen duen modelo matematikoa garatzeko. Lehen esan denez gero, *PASLINK* prozedurak kontzentratutako parametro modeloekin lan egiten du. Modelo hauek bero-transmisio ekuazioen hurbilketa dira, baina zehaztasun altua aurkezten dute eraikuntzako lan mailarako, eta bere lañotasun erlatiboak parametro identifikazio prozesu mardul eta fidagarria baimentzen du. Entsegu-prozedurarekin batera *PASLINK* metodologian bi parametro-identifikazio erreminta garatu dira zeldaren kontzentratutako parametro modeloer aplikatzeko modukoak. Ondoren aipaturiko erremintak deskribatzen dira eta EGUZKI zeldaren modeloaren erabakian aplikatzen dira, kalibratio prozesuan, azkeneko pauso bezala, lortutako emaitzen egiaztatzea baimentzen duena.

### 2.3.1 Parametro identifikazio erremintak

Entsegu-laginen ezaugarri termikoak kalkulatzeko bi lan-erreminta ematen dira, *LORD* (*Logical R Determination*) eta *CTSM* (*Continuous Time Stochastic Modeling*). Ondoren aipaturiko erremintetako lan oinarriak deskribatzen dira. Fartxadaren bero transmisioeko prozesu fisikoa formulatu daiteke kontzentratutako parametroetako modelo baten bitartez [2.11] ekuazioa erabiliz, energia-balantzea modeloko nodo generikorako erakusten den, ikus 2.34 Irudia.

$$C_i \frac{dT_i(t)}{dt} = \sum_j H_{ij} \cdot T_j(t) + \sum_k H_{ik} \cdot T_k(t) + \sum_l A_{il} \cdot Q_l(t) \quad [2.11]$$

Non:

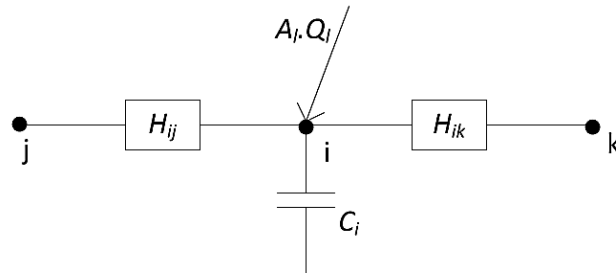
$C_i$  :  $i$  nodoaren kapazitate termikoa

$H_{ij}$  :  $i$  nodoaren eta  $j$  barneko nodoaren arteko konduktantzia

$H_{ik}$  :  $i$  nodoaren eta  $k$  kanpoko nodoaren arteko konduktantzia

$A_{il}$  : fluxuko admitantzia, nodoko balantzerako fluxu sarrerak akoplatzeko

Balantze-ekuazioetako multzoak, modeloaren nodo bakoitzari aplikatuta, ekuazio diferentzialeko sistema bat eratzen du irudika daitekeela [2.12] ekuazioaren arabera era matritzialean. 2.3.2 atalean aplikazioa modelo zehatzarentzat erakusten da.



2.33 Irudia – Bero-transmisioko itxituran kontzentratutako parametroetako oinarritzko modeloa

$$\begin{aligned} \{dT\} &= [A]\{T\}dt + [B]\{U\}dt \\ \{Y\} &= [C]\{T\} + [D]\{U\} \end{aligned} \quad [2.12]$$

Modeloa dagokio estatu-espazio modeloen kasu partikularrari, non:

- $\{T\}$ : estatu bektorea, nodo bakoitzeko tenperaturek eratuta
- $[A]$ : sistemaren matrize dinamikoak, modeloaren ezaugarri termikoak dauzka
- $[B]$ : komandoko matrizea, nola eragiten dioten asaldurek modelolari definitzen du
- $\{U\}$ : sarrera-bektorea, asaldura-aldagaiek eratuta, adibidez aire-tenperaturak, eguzki-erradiazioa, etab...
- $\{Y\}$ : neurri-bektorea, erregistratzen diren aldagai helburuek eratuta, azalerako tenperaturak eta fluxuak adibidez.
- $[C]$ : behaketa-matrizeak, neurtutako aldagaiak estatu-aldagaiekin erlazionatzen ditu
- $[D]$ : zuzeneko akoplamenduko matrizeak, neurtutako aldagaiak sarrerako aldagaiekin erlazionatzen ditu

Behin modeloa planteatuta hainbat alderdi definitzea beharrezkoa da parametro-identifikazio prozesua baldintzapean jartzen dutela. Lehena denborazko aldagaiko discretizazioa da, modeloa denbora jarraituko serieari dagokionez gero eta entseguan erregistratutako datuak izaera diskretua dira. Bigarren puntua funtzio helburuaren definizioa da, zeinen minimizazioak bilatutako parametroak lortzea baimenduko duen. Eta hirugarren kasuan, minimizazio-algoritmoaren aukeraketa, minimo osoaren lorpena ziurtatzeko moduan, lokal posible minimoak saihestuz. Ondoren nola ebazten dituzten bi lan-erremintek alderdi hauek deskribatzen da.

### 2.3.1.1 LORD

Aldagai denborako discretizazio egiten da desberdintasun mugatuko denborazko deribatuen hurbilketaren bitartez, [2.13] ekuazioa.

$$\frac{dT}{dt} \approx \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad [2.13]$$

Hortaz modeloa ekuazio linealeko sistemak ordezkatuta geratzen da, ikus [2.14], zenbakizko erabaki erraza duela, tarte bakoitzean aplikatzen dela.

$$\begin{aligned} \{T(t)\} - \{T(t - \Delta t)\} &= [A]\{T(t)\}\Delta t + [B]\{U(t)\}\Delta t \\ \{Y(t)\} &= [C]\{T(t)\} + [D]\{U(t) + T(t - \Delta t)\} \end{aligned} \quad [2.14]$$

Ebaluatzeko funtzio helburua neurtutako eta kalkulaturako balioen arteko desberdintasunaren karratua bezala lortzen da, [2.15] ekuazioa.

$$N(\theta) = \sum_{i=1}^n V(i)^2 \quad [2.15]$$

$$V(i) = (Y_{med} - Y_{calc})$$

Kontagailua  $i$  denbora-bitarteetako bakoitza kontatzeko erabiltzen den tokian, eta beraz, entseguan zehar erregistraturako aldagaien neurketetako bakoitza irudikatzen du ere, neurri erabateko kopurua  $n$  izanez. Modeloaren parametro hobeekin izango dira funtzio helburua txikiagotzen dutenak, [2.16] ekuazioa. Metodo honi *OEM (Output Error Method)* izena ematen dio, neurtutako eta modeloak kalkulaturako balioen artean desbideratzea irudikatzen dituen gero behin entseguko lan datuetako multzo guztia ebaluatuta.

$$[\theta]_{opt} = arg \min_{\theta} \sum_{i=1}^n (Y_{med} - Y_{calc})^2 \quad [2.16]$$

Irteera-funtzio bat baino gehiagorekiko kasuetan, neurtutako aldagai bat baino gehiagori buruzkoak, funtzio helburu bakarra lortzeko ponderaturako prozedura erabiltzea beharrezkoa da, [2.17] ekuazioa.

$$N^2(\theta) = \sum_{i=1}^n \mathbf{V}'(i) \cdot \mathbf{Z}^{-1} \cdot \mathbf{V}(i) \quad [2.17]$$

Ponderaturako aldagaietako bakoitzerako hondar objektiboa  $Z$  izanez [2.18] ekuazioaren arabera:

$$\mathbf{Z}(p, q) = \sum_{i=1}^n \frac{\mathbf{V}(p, i) \cdot \mathbf{V}(q, i)}{n} \quad [2.18]$$

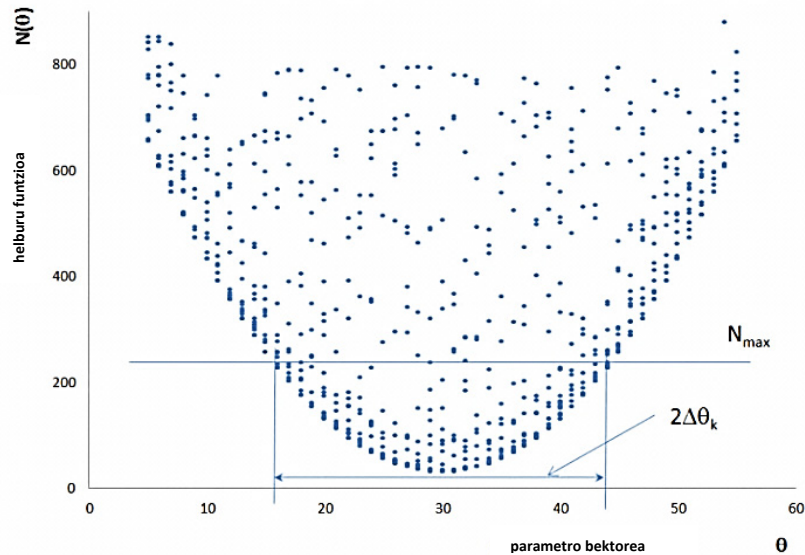
Non:

$\mathbf{V}(p, i)$ : kalkuluaren eta neurriaren arteko desberdintasuna da  $Y(p)$  aldagairako

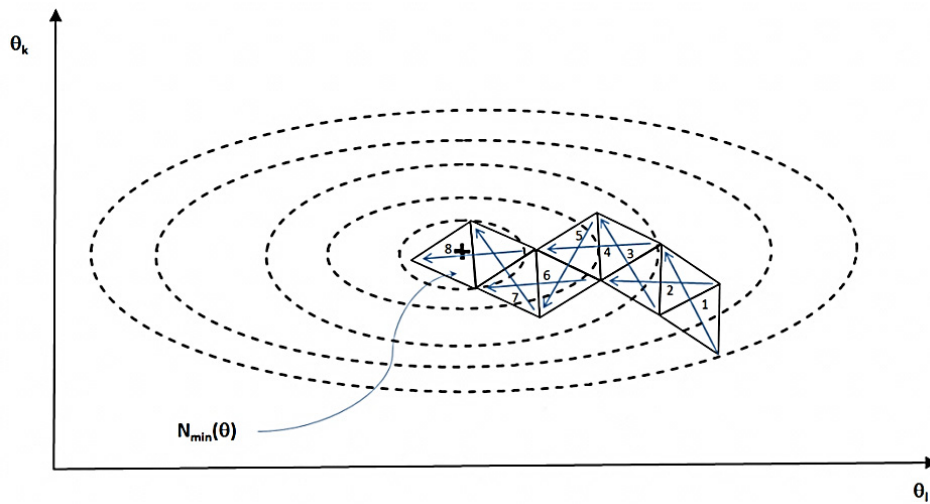
$\mathbf{V}(q, i)$ : kalkuluaren eta neurriaren arteko desberdintasuna da  $Y(q)$  aldagairako

Behin funtzio helburua definituta, txikiagotzen duen parametro bektorea kalkulatzeko *Downhill-Simplex* metodoa erabiltzen da. Prozedura hau da edozein funtzio multidimentsionaleko minimo bilaketako metodo heuristikoa. Oinarri geometrikoak aplikatzen ditu, eta beraz ez du funtzio helburuaren deribatua erabilera eskatzen. Hasierako estimutik aurrera, prozedurak  $m+1$  erpinak poliedro bat eraikitzen du,  $\theta$  bektorearen parametroetako kopurua  $m$  izanez, funtzio helburua ebaluatzen den tokian eta hobeto estutzen diren balio berriak lortzen dira. Bi parametroaren kasuan, algoritmoak triangelu bat eraikitzen du, zeinen erpinetan funtzio helburua ebaluatzen den eta bere balioen arabera poliedro mugitzen eta deformatzen ari da ezin hobezina bilatzeko. Behin minimoa detektatuta, *Monte Carlo* metodoa balio aleatorioak sortzeko aplikatzen da

minimoa inguratzen dutela funtzio helburuaren beheko balioak bilatuz. Balio minimo berria detektatzen bada, *Downhill Simplex* metodoa berriro ere erabiltzen da. Bilaketa-mekanismo honek lokal posible minimoak saihestea baimentzen du, eta funtzio helburuaren minimo osoa fidagarritasun handiagoarekin lortzea. 2.35 Irudian  $N(\theta)$  funtzio helburuari buruzko azalera erakusten da parametro bakarreko modeloaren kasurako.



2.34 Irudia – Funtzio helburuko azalera,  $N(\theta)$ , parametro baten kasurako,  $\theta$



2.35 irudia – Funtzio helburuko azaleraren proiektzioa  $N$  bi parametroren kasurako,  $\theta_k$  y  $\theta_1$ , eta *Simplex* minimoaren lorpenerako metodoaren prozedura

2.36 Irudian bi parametroekin modeloaren kasua erakusten da, azaleraren proiektzioa erakutsiz  $N(\theta)$ . Lerro etenean funtzioaren balio objektibo berarekin kurbak erakusten dira, edo *iso-N* kurbak, parametroen balio hobeezinei buruzko puntua inguratzen dutela. Parametroen arteko korrelaziorik ez badago, *iso-N*-a kurbak koordinatutako ardatzen paraleloak diren ardatzekin elipseak dira. Elipseko ardatzaren luzera parametro bakoitzaren norabidean konfiantzartarearen zabaltasuna dio aipaturiko parametroaren balio hobeezina zehazten ari den. Berriz, nola landuko lukeen Simplex algoritmoa funtzioaren balio minimo objektiboaren bilaketan erakusten da. Lortutako parametroen  $\theta$  baliotasuna bere

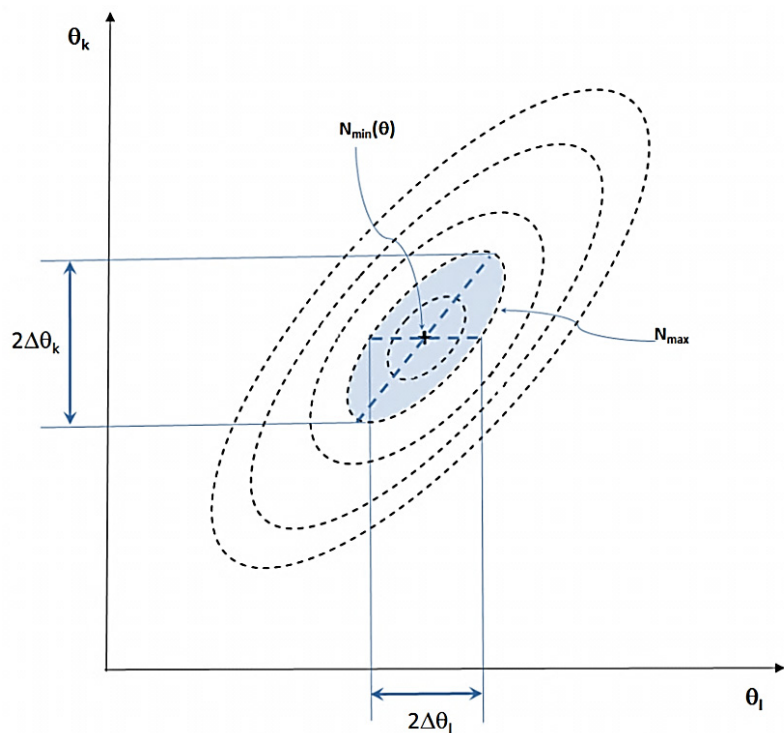
konfiantza-tartean bitartez analizatzen da  $\alpha < 5\%$ etik beherako ziurgabetasunerako. Iso- $N$  kurbeek konfiantza-tarte hau zehaztea baimentzen dute oso era sinplean. Funtzio helburuaren balio lehenik eta behin zehazten da,  $N_{max}(\theta)$ , aipaturiko ziurgabetasunarekin detektatutako balio minimoa daukala, funtzioaren batezbesteko objektiboak banaketa bati jarraitzen diola Fischer-en  $F$  hartzen den, eta beraz bilatutako balioa kalkula daiteke [2.19]<sup>[17]</sup> ekuazioaren bitartez.

$$N_{max}(\theta) = N_{min} \cdot \left[ 1 + F(m, n) \cdot \frac{m}{n - m} \right]^{-1/2} \quad [2.19]$$

Non:

$N_{min}$ : funtzio helburuaren balio minimoa da bilaketa-algoritmoaren bitartez aurkituta

$m$ : modelo osatzen dituzten parametroetako  $\theta$  kopurua da



2.36 Irudia – Funtzio helburuko azaleraren  $N$  proiektzioa bi parametroren kasurako,  $\theta_k$  eta  $\theta_l$ , korrelazionatutak

Parametroetarako konfiantza tartean balioa Monte Carlo metodoaren bitartez kalkulatzen da, aipaturiko parametroen balio aleatorioak sortuzeta funtzio helburua  $N_{max}$  balio azpitik eragiten dutenak aukeratuz. Estimuziurgabetasuna txikiagotzen da modelo zenbat eta sinpleagoa den,  $m$  balio txikiagoa, eta funtzio helburuaren datuetako kopuru handiagoa eduki dadin,  $n$  balio handiagoa. Bigarren kasu honetan, neurtutako balioen eraginkortasuna probetaren inertiaren mende dago. Osagai bat inertzia askorekin analizatzen ari bada neurri maiztasun oso baxuarekin, erregistratutako balioek korrelazioa aurkezten dute, hortaz  $n_{eff}$  balioa erabiltzen da efektu hau kontuan hartzen duela [2.20] ekuazioaren bitartez. Non  $\varphi$  hondarren autokorrelazio koefizientea da, zein neurtutako eta modeloak kalkulatutako balioaren arteko desberdintasuna kalkulatzen diren bezala iterazio-pausoetako bakoitzean, [2.21]<sup>[18]</sup> ekuazioaren



arabera. Konfiantza-tarteaz gain, parametroen  $\theta$  arteko korrelazioa ebaluatzea beharrezkoa da, korrelazio-gradu garaia badago parametroetako bateko aldaketa,  $\theta_r$ , konpentsatuta ikusten da bestearen aldaketarekin,  $\theta_l$ . Parametroen arteko korrelazioak *iso-N* kurbeetako ardatzen inklinazioa sortzen du proiektzio-planoko koordenatutako ardatzei buruz, ikus 2.37 Irudia.

$$n_{eff} = n \cdot (1 - |\varphi|) + 1 \quad [2.20]$$

$$\varphi = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} [(V(i) - \bar{V}) \cdot (V(i+1) - \bar{V})]}{\sum_{i=1}^n (V(i) - \bar{V})^2} \quad [2.21]$$

Zenbat eta handia izan aipaturiko korrelazioa inklinazioa handiena da. Egoera honek konfiantza-tarte handiak sortzen ditu parametro bakoitzerako, nahiz eta  $N_{min}$  funtzio helburuaren balioa ziurtasun handiarekin kalkulatu. Modeloaren parametroen kobariantza matrizea lortzen da [2.22] ekuazioaren bitartez. Non  $N_{p,l}''(\theta)$  N bigarren deribatu matrizea da, edo Hessendar matrizea [2.23].

$$[cov(\theta)] = \frac{2N(\theta)}{n} [N_{p,l}''(\theta)]^{-1} \quad [2.22]$$

$$[N_{p,l}''(\theta)] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N}{\partial \theta_1^2} & \cdots & \frac{\partial N}{\partial \theta_1 \partial \theta_m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial N}{\partial \theta_m \partial \theta_1} & \cdots & \frac{\partial N}{\partial \theta_m^2} \end{bmatrix} \quad [2.23]$$

LORD metodoak *Monte Carlo* erreminta estatistikoa aprobetxatzen du parametroen arteko korrelazioa kalkulatzeko. Hartarako parametro bektoreek eratutako matrize bat  $[\chi]$  sortzen du [2.24], aleatorioki lortuta,  $N(\theta) < N_{max}$  baldintza betetzen dutela.  $[\chi]$  behaketa-matrizea izena ematen dio

$$[\chi] = \begin{bmatrix} \theta_{11} & \cdots & \theta_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \theta_{r1} & \cdots & \theta_{rm} \end{bmatrix} \quad [2.24]$$

Geroago  $[M]$  aldaketa-matrizea lortzen da  $[\chi]$  matrizeko zutabe bakoitzaren bataz besteko balioek osatuta. Azkenik,  $[T]$  matrize simetrikoa sortzen da aldaketa-matrizea bere iraulia biderkatuz lortzen dela [2.25].

$$[T] = [M]^T \cdot [M] \quad [2.25]$$

$[K]$  parametroen arteko korrelazioko matrizea lortzen da [2.26] ekuazioaren arabera  $[T]$  matrizean zehar.

$$K_{ij} = \frac{k_{ij}}{(k_{ii} \cdot k_{jj})^{1/2}} \quad [2.26]$$

$[K]$  diagonalaren elementuak unitatea dira eta gainerakoak parametro-bikote desberdinen arteko korrelazio koefizientea dauka.  $k_{ij}$  koefizienteek 0 balioa

hartzen dute parametroen arteko korrelaziorik ez dagoenean, eta 1i hurbiltzen zaizkio zenbat eta handia den korrelazioa.

### 2.3.1.2 CTSM

Entsegu-esperientziak frogatzen du [2.12] estatu-ekuazioak, sistemaren portaera termikoa deskribatzen duela, neurtutako balioen bilakaera erabateko doitasunarekin ez duela iragartzen. Modeloaren erantzunaren eta sarrera-balioen artean desbideratzea ondorio da gehienetan:

- Modeloa hurbilketa da, halako sinplifikatzeko hipotesi batzuekin, kontzentratutako parametro modeloen kasua den bezala.
- Sistemari eragiten dioten beste aldagai batzuk egon daitezke, eta sarrera bezala ez direla kontuan hartzen ari, uhin luze-erradiazioaren kasua da, haize-abiadura, etab...
- Esperimentalki erregistratutako balioak neurri-akatsak eraginda daude, berezko edozein neurri-tresnarekin edo sentore lotutako zarataren kasua denez gero.

Efektu hauek kontuan hartu ahal izateko, eta modeloa era zehatzagoan estutzea neurrietara, modelo determinista modelo estokastiko bihurtzen da [2.27] ekuazioetan erakusten den bezala.

$$\begin{aligned} \{dT\} &= [A]\{T\}dt + [B]\{U\}dt + d\omega(t) \\ \{Y\} &= [C]\{T\} + [D]\{U\} + e(t) \end{aligned} \quad [2.27]$$

Non  $\omega(t)$  termino aleatorioak Weiner prozesua jarraitzen du kobariantzako gehikuntza independenteekin  $\sigma_1^2(t)$ , eta  $e(t)$  terminoak zarata zuriko banaketa normalari jarraitzen dio zero batezbestekorekin eta  $\sigma_2$  bariantzarekin. Hipotesia onartzen da  $\omega(t)$  eta  $e(t)$  independenteak dira elkar, eta beraz ez daude korrelazioan jarrita. CTSM kasuan aldagai denboran, modelo zuhurrera, modelo jarraituaren pausoa, [2.27] ekuazioa analitikoki ebatziz egiten da integrazioaren bitartez, ikus [2.28] ekuazioa:

$$T(t) = e^{A(t-t_0)}T(t_0) + \int_{t_0}^t e^{A(t-s)}B \cdot U(s)ds + \int_{t_0}^t e^{A(t-s)}d\omega(s) \quad [2.28]$$

Sistamarako sarrera asaldurak,  $U(t)$ , konstanteak direla laginketa-tartean  $[t, t+\Delta t]$  zehar onartuz, sistemaren bilakaera deskribatzen duen estatuko bektore berria izango litzateke:

$$T(t + \tau) = e^{A\tau}T(t) + \int_0^\tau e^{Ar}Bdr \cdot U(t) + \int_t^{t+\tau} e^{A(t+\tau-s)}d\omega(s) \quad [2.29]$$

Notazioa  $\tau=t+\Delta t$  eta  $r = t+\tau-s$  ordezpenean bitartez sinplifikatu den. [2.29] ekuazioa era trinkoagoan planteatu daiteke:

$$T(t + \tau) = \phi(\tau)T(t) + \Gamma(\tau)U(t) + v(t, \tau) \quad [2.30]$$

non:

$$\begin{aligned}\phi(\tau) &= e^{A\tau} \\ \Gamma(\tau) &= \int_0^\tau e^{Ar} \mathbf{B} dr \\ \mathbf{v}(t, \tau) &= \int_t^{t+\tau} e^{A(t+\tau-s)} d\boldsymbol{\omega}(s)\end{aligned}\quad [2.31]$$

Jada bezala esan da  $\boldsymbol{\omega}(t)$  Weiner-en prozesua jarraitzerakoan,  $\mathbf{v}(t, \tau)$  funtzioa banaketa normalari jarraitzen dion zarata zuriko funtzio bihurtzen da zero batezbestekotako eta kobariantzako:

$$\boldsymbol{\sigma}_1(\tau) = E[\mathbf{v}(t, \tau)\mathbf{v}(t, \tau)^T] = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{33} \end{bmatrix}\quad [2.32]$$

Neurriak etengabeko laginketako tarte batekin egiten badira, [2.32] ekuazioaren denbora|eguraldi eskala era trinkoagoan adieraz daiteke:

$$\begin{aligned}\mathbf{T}(i+1) &= \boldsymbol{\phi}\mathbf{T}(i) + \boldsymbol{\Gamma}\mathbf{U}(i) + \mathbf{v}(i) \\ i &\in 0, 1, 2, \dots, n\end{aligned}\quad [2.33]$$

Behin denbora jarraituko estatu-ekuazioa diskretura eraldatuta, hurrengo pausoa funtzio helburua definitzea da parametro hobeezineko modeloaren bektorea bilatzea baimen dezana. CTSM kasuan, funtzio helburua ez da funtzio hondarrean oinarritzen, modeloaren eta neurtutako balioen kalkuluaren arteko kenketa bezala definituta, baizik baldintzazko probabilitateko funtzioan oinarritzen da. Probabilitate-funtzio hau definitzen da [2.34] ekuazioaren arabera.

$$L(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{Y}(n)) = p(\mathbf{Y}(n)|\boldsymbol{\theta}) = \left( \prod_{i=1}^n p(\mathbf{Y}(i)|\mathbf{Y}(i-1), \boldsymbol{\theta}) \right) p(\mathbf{Y}(0)|\boldsymbol{\theta})\quad [2.34]$$

Beraz, probabilitatearen helburu-funtzioa baldintzazko probabilitatearen oinarritzko erregela  $P(A \cap B) = P(A|B)P(B)$  erabiliz lortzen da, bai neurtutako datuak duten hainbeste aldiz,  $n$ , baldintzazko dentsitateko funtzioa horrela eratuz, bektore zehatzerako  $\boldsymbol{\theta}$ . Kasu honetan, parametroetako bektore hobeezina bilatzen da neurtutako balioekin, aukera handiagoarekin, bat datorren sistemaren erantzuna sortzen duen bektore hura bezala. Gehitutako bi termino aleatorioak bezala  $\mathbf{v}(t)$  eta  $\mathbf{e}(t)$  banaketa normala jarraitzen dute, baldintzazko dentsitateko funtzioak banaketa normalari ere jarraitzen dio bere batez besteko balioak eta bere bariantzak bitartez defini dezaketen, bere batezbesteko balioa eta bere bariantza bereizgarri dezakeen zuzenki. Maximizatuta prozesua errazago egiteko funtzioaren logaritmo objektiboaren ganean lantzen da, [2.36] ekuazioa.

$$[\boldsymbol{\theta}]_{opt} = \arg \max_{\boldsymbol{\theta}} \{L(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{Y}(n))\}\quad [2.35]$$

$$l(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{Y}(n)) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [\boldsymbol{\varepsilon}(i)^T \mathbf{S}(i|i-1)^{-1} \boldsymbol{\varepsilon}(i) - \log(\det \mathbf{S}(i|i-1))] + C\quad [2.36]$$

Non baldintzazko batezbesteko terminoa sartu den:

$$\hat{Y}(i|i-1) = E(Y(i)|Y(i-1), \theta) \quad [2.37]$$

Eta baldintzazko bariantza:

$$S(i|i-1) = V(Y(i)|Y(i-1), \theta) \quad [2.38]$$

Gainera, akatsa ebaluatzen da [2.39] ekuazioaren bitartez tarte bakoitzean:

$$\varepsilon(i) = Y(i) - \hat{Y}(i|i-1) \quad [2.39]$$

Akatsaren estimu metodo honi *PEM (Prediction Error Method)* izena ematen dio. Metodo hau aurreratuagoa da *OEM*-a baino, modeloaren eta asaldura-funtzioetako aldakortasun estokastikoak kontuan hartzea baimentzen duenez gero, eta erreminta berriak azkeneko lortutako modeloaren analisirako eta balidatzerako erreminta berriak ematen ditu hondar-korrelazio analisia den bezala. Baldintzazko batezbestekoa eta bariantza era iteratiboan kalkulatzeko *Kalman*-eko iragazki bat erabiltzen da, estatu-bektorearen balioak kalkulatzeko dituen tarte bakoitzean. Behin aukera maximoko funtzio helburua ebaluatuta, bektore hobeezinen parametroen bariantza kalkulatzeko da,  $\theta_{opt}$ , [2.40] ekuazioa erabiliz.

$$V(\theta) = - \left[ \frac{\partial^2 \log L}{\partial \theta^2} \right]^{-1} \quad [2.40]$$

Ikus daitekeenez gero, bi lan-erreminten ikuspegia, *LORD* eta *CTSM*, oso desberdina da, nahiz eta abiapuntuko modeloa bera izan. Bere baliotasuna eta aplikazioaren ahalmena zabal ebaluatu dira *SIC (System Identification Competition)*<sup>[19]</sup> desberdinetan zehar, *DYNASTE* sareak bultzatutak. Bi parametro-identifikazio metodoen erabileran lortutako esperientziak erreminta bakoitzaren ezaugarri onenak aprobetxatzea baimendu du, *LORD* erabiltzen duen *Downhill Simplex-Monte Carlo* mekanismoaren sendotasunaren kasua den bezala, eta *PEM*-a *CTSM*-ek ematen duen metodoak baimentzen dituen emaitzen kalitate analisi potentzialtasun handia. Benetan, azken *LORD* bertsioak *PEM*-ek parametro-estimurako erabiltzen duen modulu estatistikoa sartzen du. Tesi hau osatzen duten modeloen lorpenerako bi erremintak era paraleloan erabiltzen dira. Erreminta orokorragoak daude parametro identifikaziorako, *Matlab*-eko toolbox-a bezala, oraingo|presente tesian ere erabili dietenetako. Behin parametro-identifikazio metodoak analizatuta, hurrengo atalean, pasatzen da *EGUZKI* entsegu zeldaren portaera deskribatzea baimentzen duten lan modeloak definitzera.

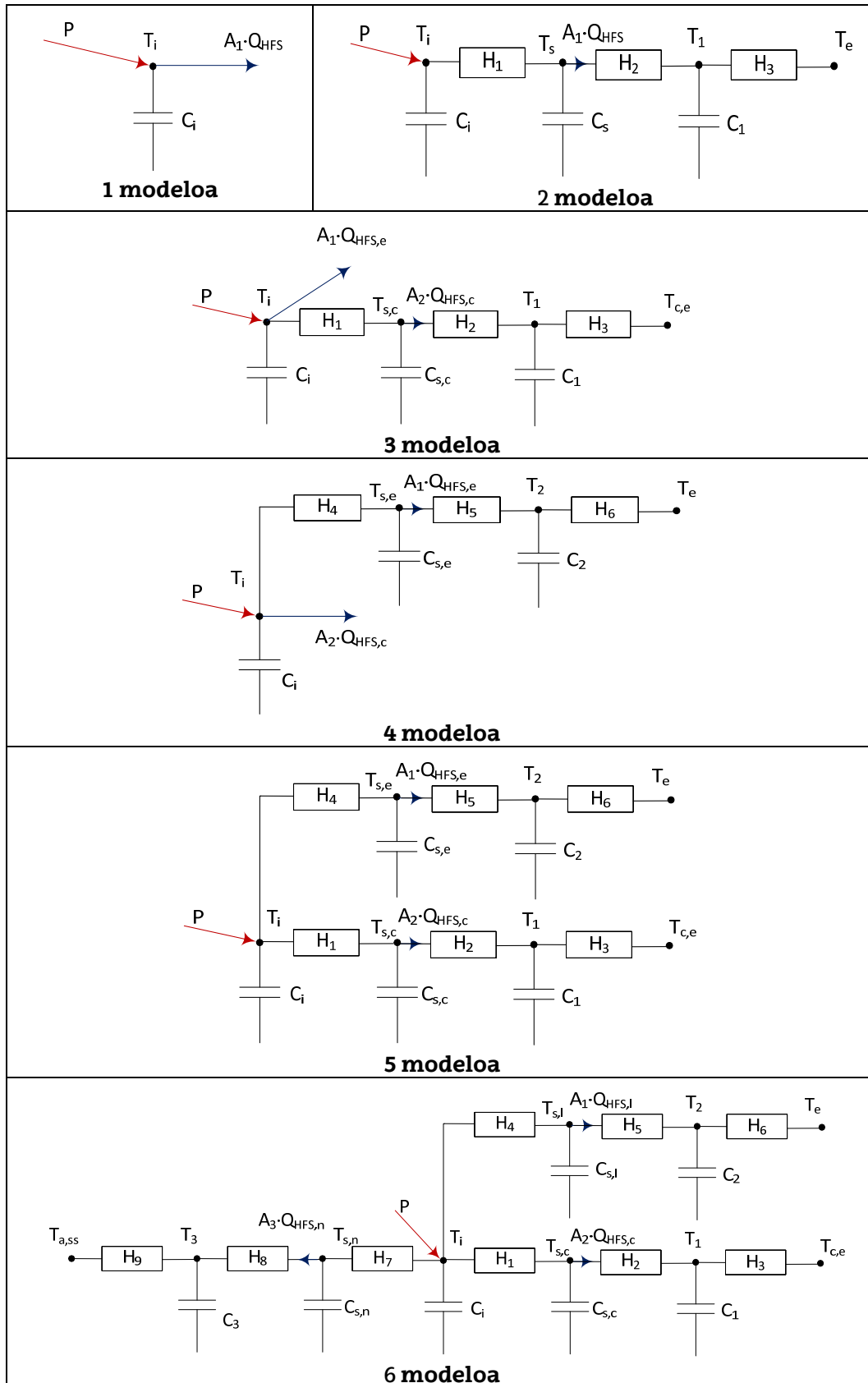
### 2.3.2 Zeldaren modeloak

Entsegu gela bere modelatzea errazteko diseinatu da. Zenbat eta errazagoa gelaren itxituraren portaera irudikatzea izan laginaren karakterizazioan parametro-identifikazio potentzial gehiago aplikatu ahal izango da. Nodo bakarrekoa gela-modelo hain erraza edukitzea egoera ideala izango litzateke. Helburu honetara heltzeko entsegu gelaren aire bolumenak tenperatura homogeneoa izan behar du, eta trukaturako beroko erabateko fluxua une bakoitzeko zehaztasunarekin neurtu behar da. Lehen puntua, tenperatura-homogeneotasuna, egiaztatu da zazpi

temperatura-sentsoreen neurketari esker eta haizagailu tangenzialak egindako aire bolumenaren nahaste egokiari esker ere, 2.2.3 atala. Bigarren puntua, egiten du erreferentzia trukaturako bero fluxu guztiaren neurketa zehatzera, egiaztatu behar du aurkezpenaren eta irudika dezaketen modelo desberdinen analisiaren bitartez eta entsegu gelan gertatzen den beroko transmisio prozesu fisikoa interpretatu. 2.38 Irudian modelo multzoa erakusten da *EGUZKI*-a gela ikasten dutela ebaluatzeko, modelo errazeneko nodo bakarreko hasiz, eta guzti modeloari ebaluatutako gune gehiago, itxiturako parteen portaerak egoki espezifikoak aurkezten dutela, bereiz, irudikatzen duena iristea. 1 modeloan energia-balantzea ikasten da *tiles*-azalerarekiko batera entsegu gelako giroa kontrol-bolumentzat hartuz. 2 modeloan itxitura osora balantzea handitzen da, azalera guztietarako kanpoko temperatura bera hartuz eta eguzki-erradiazioaren efektua kalibrazio hormaren gainean baztertuz. 2 modelo hurbilketa egokia da entsegu gelaren itxituraren ezaugarrien aurreko balio orientagarri batzuk lortzeko eta haiek aurreko kapituluko kalkuluagatik estimatutakoekin konparatzeko. 3 eta 4 modeloak dira kalibrazio-hormara eta entsegu gelaren itxiturara identifikazio ahalegina, hurrenez hurren, erdiratzea. 3 modeloan kalibrazio-hormaren gainazaleko temperatura erabiltzen da, eguzki-erradiazioaren efektua beraren gainean kontuan hartzea baimentzen duen. 4 modeloaren kasuan kanpoko aireko temperatura, zein azalera guztietarako berdina hartzen den, erabiltzen da. Bi modelo haiek aurreko iestudio gisa balio diote 5 modeloari, zeinengan ingurutzaileraren bidez beroko eta lagineko transmisioa aldibereko eran analizatzen den. Azkenik, 6 modeloak bereizten du iparra kanpoko temperaturara, baizik eta zerbitzu gelaren temperaturara menderatuta ez dagoen entsegu gelako azalaren bero transmisioa. 5 modelo hartzen badu adibide bezala, eta energia-balantzeak pentsatzen badituzte nodo bakoitzean, [2.11] ekuazioan esan den bezala, [2.41] ekuazioetako multzoa lortuko litzateke.

$$\begin{aligned}
 C_i \frac{dT_i}{dt} &= P + (T_{s,c} - T_i)H_1 + (T_{s,e} - T_i)H_1 \\
 C_{s,c} \frac{dT_{s,c}}{dt} &= (T_i - T_{s,c})H_1 + (T_1 - T_{s,c})H_2 \\
 C_1 \frac{dT_1}{dt} &= (T_{s,c} - T_1)H_2 + (T_{c,e} - T_1)H_5 \quad [2.41] \\
 C_{s,e} \frac{dT_{s,e}}{dt} &= (T_i - T_{s,e})H_4 + (T_2 - T_{s,e})H_2 \\
 C_2 \frac{dT_2}{dt} &= (T_{s,e} - T_2)H_5 + (T_e - T_2)H_6
 \end{aligned}$$

Sistamarako sarrera aldagaiak, edo modeloaren asaldurak, dira gelaren berokuntza potentzia, kalibrazio-hormaren gainazaleko kanpoko temperatura, eta ingurune-temperatura,  $P$ ,  $T_{c,e}$  y  $T_e$ , hurrenez hurren. Neurtutako funtzio helburua definitzeko erabiltzen diren aldagaiak gelako barne-airearen temperatura,  $T_i$ , eta itxituraren beroko,  $Q_{HFS,e}$ , eta kalibrazio-hormaren fluxuak,  $Q_{HFS,c}$ . Nomenklatura matrizial, zehatza [2.12] ekuazioan emanez, gelako modelo irudikatzen duen sistema lineala [2.42] eta [2.43] ekuazioetan esandakoa da. Modeloa ebazten da lehen planteatutako parametro-identifikazio erremintak erabiliz, egindako hiru entsegu errutinetarako, *PULTSUA*, *PRBS* eta *ROLBS*. Ondoren, adibide gisa, *PRBS* ohituraren kasurako lortutako emaitzak erakusten dira, ikus 2.6 Taula.



2.37 Irudia - Zeldaren portaera termikoko irudikapen modeloak



$$\begin{bmatrix} dT_i \\ dT_{s,c} \\ dT_1 \\ dT_{s,e} \\ dT_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-(H_1+H_4)}{C_i} & \frac{H_1}{C_i} & 0 & \frac{H_4}{C_i} & 0 \\ \frac{H_1}{C_{s,c}} & \frac{-(H_1+H_2)}{C_{s,c}} & \frac{H_2}{C_{s,c}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_2}{C_1} & \frac{-(H_2+H_3)}{C_1} & 0 & 0 \\ \frac{H_4}{C_{s,e}} & 0 & 0 & \frac{-(H_4+H_5)}{C_{s,e}} & \frac{H_5}{C_{s,e}} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{H_5}{C_2} & \frac{-(H_5+H_6)}{C_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_{s,c} \\ T_1 \\ T_{s,e} \\ T_2 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \frac{1}{C_i} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_3}{C_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_6}{C_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ T_{c,e} \\ T_e \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \sigma_i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{s,c} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{s,e} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_2 \end{bmatrix} dW \quad [2.42]$$

$$\begin{bmatrix} T_{i,m} \\ T_{s,c,m} \\ T_{s,e,m} \\ Q_{HFS,e} \\ Q_{HFS,c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{H_5}{A_1} & \frac{-H_5}{A_1} \\ 0 & \frac{H_2}{A_2} & \frac{-H_2}{A_2} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i(t) \\ T_{s,c}(t) \\ T_1(t) \\ T_{s,e}(t) \\ T_2(t) \end{bmatrix} + [0] \begin{bmatrix} P(t) \\ T_{c,e}(t) \\ T_e(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} s_i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_{s,c} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s_{s,e} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & s_2 \end{bmatrix} de(t) \quad [2.43]$$

Taulako hiru lehen zutabeetan estima daitekeenez gero, parametroen estudio maila zabala da, hasierako balioa inguratuz. Honela emaitzen baliotasun handiagoa ziurtatzen da, laginaren espazio adierazgarria aztertzerakoan, hortaz lortutako hondar-minimoa, edo probabilitate-maximoa, bilatutako balioada eta ez da lokal minimo edo maximo zehazten ari. Azken hiru zutabeek estimatutako balioen kalitatea ebaluatzea baimentzen duten hiru proba estatistiko jasotzen dituzte. Lehen estatistikaria t-scorea bariantzaren proba bat da. 0,05etatik beherako balioek parametro egokiak efektu baliogabe edo arbuigarria duela modeloan ekarriko lukete.  $dF/dPar$  estatistikaria objektibo funtziotik lortzen da, eta zerotik urrundutako balioak hartzen baditu aurkitutako balioa ez da balio hobeezina, eta hobeezina lokalera lortzen ari da.  $dPen/dPar$  estatistikariak tarte zehatzean zuzena bada ebaluatzea baimentzen du, zerotik urrundutako balioek esango lukete parametroaren balio hobeezina maila zehatzetik kanpo egon daitekeela, eta beraz bera handitzea beharrezkoa da. Behin parametro-identifikazio prozesua zuzenki burutu dela egiaztatuta lortutako parametroen balioak analizatzera pasatzen da.  $H_1$  eta  $H_4$  balioak dagozkie entsegu gelaren gainazaleko barruko konduktantziei, bai kalibrazio-hormarena bai itxiturarena, hurrenez hurren. Kalibrazio-hormaren azalera  $7.13 \text{ [m}^2\text{]}$ -ko dela kontuan hartuz,  $11.3 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ -eko konbekzio koefizientearen balioa lortuko litzateke.

aldagaia	min. balioa	hasierako balioa	max. balioa	estimaturako balioa	std. deb.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H1	10	100	300	80.42	4.57	314.8	-0,019	0.0002
H2	0.1	3	200	9.885	0.231	42.8	0,001	0.0000
H3	0.5	3	200	1.161	0.003	212.5	0,000	-0.0027
H4	100	300	600	459.5	1.5	307.8	0,020	0.0014
H5	1	10	200	187.7	2.1	89.3	-0,002	0.0001
H6	1	10	200	5.974	0.159	44.3	0,001	0.0000
Ci	0.0006	0.06	0.12	0.010	0.001	41.8	0,001	0.0000
Cs,c	0.006	0.3	0.6	0.256	0.006	45.2	0,000	0.0000
C1	0.006	0.3	0.6	0.293	0.003	91.3	0,000	-0.0004
Cs,e	0.006	0.3	0.9	0.450	0.005	94.9	-0,001	0.0004
C2	0.6	3	6	5.077	0.009	226.5	0,000	-0.0049
A1	0.5	0.8	1.5	0.995	0.002	422.6	-0,011	0.0004
A2	0.5	0.8	1.5	1.042	0.001	445.4	-0,001	-0.0155

2.6 Taula – 5 modeloko parametro identifikazio prozesuaren emaitzak PRBS errutinean

	H1	H4	Ci	Cs,c	H2	C1	H3	Cs,e	H5	C2	H6	A1	A2
H1	1												
H4	0.23	1											
Ci	0.14	-0.04	1										
Cs,c	-0.04	0.04	-0.02	1									
H2	-0.23	-0.04	-0.03	0.13	1								
C1	-0.05	0.02	0.00	0.01	0.05	1							
H3	-0.36	-0.06	0.00	0.02	0.04	0.01	1						
Cs,e	0.13	-0.01	-0.01	0.00	0.03	0.01	0.01	1					
H5	0.27	0.22	0.03	0.09	-0.22	-0.03	-0.01	-0.06	1				
C2	-0.14	0.02	-0.02	0.04	0.30	0.04	0.04	0.03	-0.23	1			
H6	0.02	0.29	-0.01	0.10	0.14	0.02	0.03	0.01	-0.23	0.08	1		
A1	0.27	0.27	-0.04	-0.26	-0.25	-0.03	0.02	-0.28	0.22	-0.12	0.03	1	
A2	-0.06	-0.02	-0.02	0.06	0.20	0.03	0.03	0.04	-0.16	0.16	0.09	-0.28	1

2.7 Taula – 5 modeloko parametro identifikazio prozesuaren aldagaien korrelazio koefizienteak PRBS errutinean

Itxitura kasuran, 53.12 [m<sup>2</sup>]-ko barruko azalera duenaren, lortutako konbekzio-koefizientea 8.6 [W/m<sup>2</sup>K]-eko izango litzateke. Gainazaleko koefizienteen balio hauek konbekzio naturaletako egoeran sortzen direnak baino handiagoak dira, 7.5 [W/m<sup>2</sup>K]-eko ordenaren balioak hartzen dituenak. Desberdintasun honek espero zuen asaldura mekanikoa haizagailu tangentialaren bitartez egoterakoan, eta beraren zabaltasuna bat dator potentzia-erreguladore baten bitartez inposaturako bira-abiadura baxuekin. Kalibratio hormaren azaleraren gaineko konbekzio koefizientearen balio handienak zentzua du ere entseguaren baldintza fisikoei dagokienez. Berogailua eta haizagailua daukan kutxaren aire irteera fokuratuta dago aipaturiko azalerrantz, nahiz eta zentratuena entsegu gelan egon, ibilbidea sarbide-atera bere irekitzerako utziz, entsegu gelako hegoaldera hurbilago dago. H<sub>2</sub> eta H<sub>3</sub> balioek kalibratio hormaren transmitantzia definitzen dute, U<sub>cal</sub> = 1.038 [W/K]-eko balioa lortuz. Desberdintasun honek ertz-efektuak kontuan hartzen ari direla erakusten du, geroago egiten den estudio partikularra eskatzen dutenak. Transmitantziako erabateko emaitza ebaluatzeaz gain beharrezkoa da bi

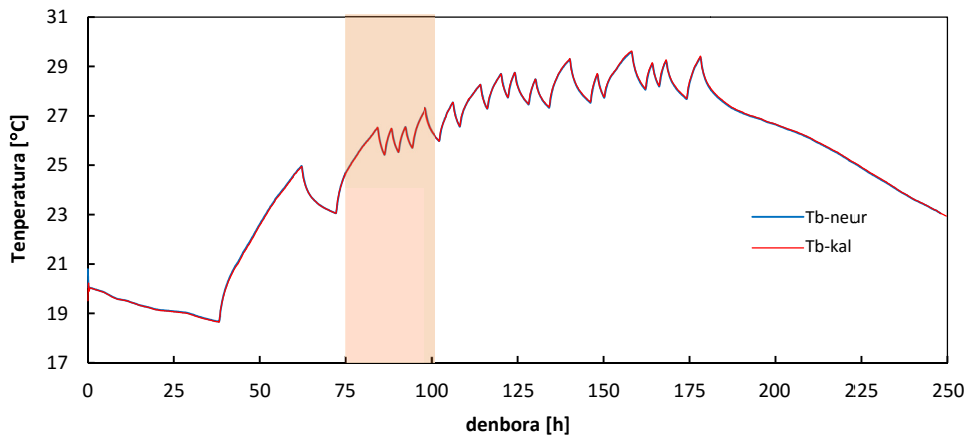
parametroek korrelaziorik ez dutela egiaztatzea, oso egoera hau sortzearekin suszeptibilitateduna denez gero. Erabateko transmitantziako balio bera sortzen duten balioetako bikoteetako aukera handia egon daiteke konduktantzia partzialetarako. 2.7 Taulan parametroen arteko autokorrelazio koefizienteak jasotzen dira.  $H_2$  eta  $H_3$  parametroen kasurako koefizienteak 0.04ko balioa hartzen du, zerotara hurbila, beraz beren arteko ez dago autokorrelaziorik, eta identifikazio-prozesua baliozkoa da. Korrelazio-koefizienteen estudioa modeloaren parametroetako multzo guztirako egin behar da, eta koefiziente altuak dituen kasuek ebaluatu behar da xehetasunarekin. Kalibratio-hormaren sekzio simetrikoa duenez gero orekadun konduktantzia-banaketa itxarotea posible izango litzateke, eta beraz,  $H_2$  y  $H_3$  parametroek balio berdin-berdinak aurkeztu behar izango lituzkete, edo gutxienez hurbilekoak haien artean. Ordea,  $H_3$  balioak hormaren guztizko erresistentziaren % 89.5 dauka. Konduktantzia berdintasuna modeloan ipini daiteke, baina identifikazio-metodoen ezaugarri berezia da erabateko balioak emaitza hobekak dituela itxuratzen duten parametroak libre uzten badira<sup>[3]</sup>. Egoera hau aurrerago arreta handiagoarekin analizatzen da. Era berdineko,  $H_5$  eta  $H_6$  konduktantziek entsegu gelaren itxituraren transmitantzia definitzen dute,  $U_{itx} = 5.790$  [W/K]-eko balioa emanez. Aurreko kapituluko 2.1.2.1 atalean aipaturiko transmitantziaren estimua egiten da egitura eratzen duten osagai desberdinetako neurtutako eroankortasunak erabiliz, kalkuluaren emaitza  $U_{env} = 5.973$  [W/K]-eko balioa lortuz. Beraz, parametro-identifikaziotik lortutako balioa itxarondakoarekin bat dator.

aldagaia	min. balioa	hasierako balioa	max. balioa	estimaturako balioa	std. deb.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
T10	10	20	40	18.44	0.19	94.9	-0.0001	-0.0002
T20	10	20	40	16.51	0.11	148.2	-0.0001	-0.0003
T30	10	20	40	16.84	0.14	123.2	0	-0.0001
T40	10	20	40	19.53	0.08	260.1	-0.0003	0
T50	10	20	40	19.67	0.10	199.4	0.0000	0.0003
sig11	0	0.01	1	0.009	0.000	34.4	-0.0001	0.0000
sig22	0	0.01	1	0.081	0.002	39.4	-0.0006	0.0000
sig33	0	0.01	1	0.244	0.005	51.6	0.0016	0.0000
sig44	0	0.01	1	0.013	0.000	44.1	-0.0005	0.0000
sig55	0	0.01	1	0.037	0.000	82.6	-0.0002	0.0000
s11	0	0.01	1	0.000	0.000	22.9	-0.0072	0.0000
s22	0	0.01	1	0.175	0.004	40.9	0.0003	0.0000
s33	0	0.01	1	0.000	0.000	20.7	0.0075	0.0000
s44	0	0.01	1	0.001	0.000	30.6	0.061	0.0000
s55	0	0.01	1	0.006	0.000	34.3	0.0025	0.0000

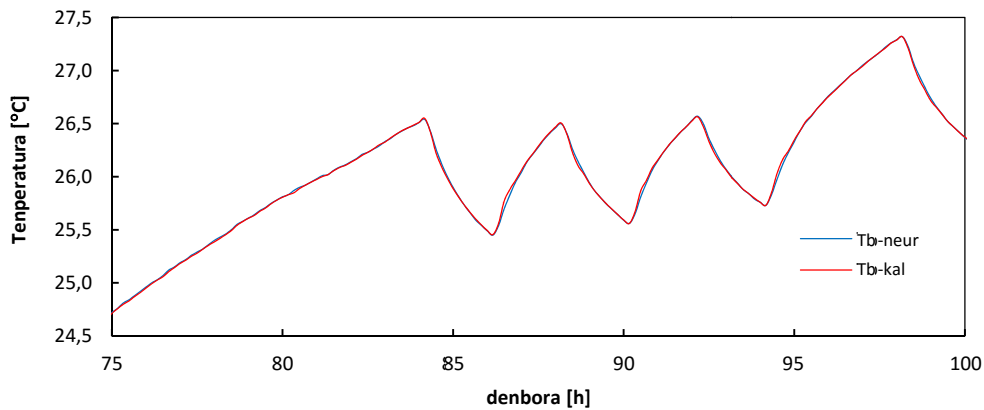
2.6 Taula - 5 modeloko parametro-identifikazio prozesuaren emaitzak osagarriak PRBS errutinean

Modeloaren transmitantziak analizatuta, inertzia termikoetatik lortutako balioak ebaluatzen pasatzen da.  $C_i$  balioak entsegu gelako barne-airearen inertzia termikoa irudikatzen du, berean aurkitzen dituzten gainerako elementuekin batera, berokuntza-sistema eta haizagailua daukan kutxa bezala, sarbide-atea finkatzen duen egitura, instrumentazioa eta ekipamendu elkartua, etab... Airearen ezaugarri estandarrak hartuz, entsegu gelaren bolumenaren gaitasun termikoak  $C_{aire} = 0.045$  [MJ/K]-eko balioa izango luke, zeini lehen esandako gainerako osagaiak gehitu behar zaion. Beraz, kasu honetan parametro-identifikazio prozesuagatik estimaturako balioa nabarmenki itxarondakotik beherakoa da.  $C_{s,c}$  eta  $C_{s,e}$  balioek entsegu gelako barruko azalera estaltzen duten tiles-en kapazitatea irudikatzen dute. Aipaturiko kapazitatearen hurbileko estimua egin daiteke aluminio-plaken

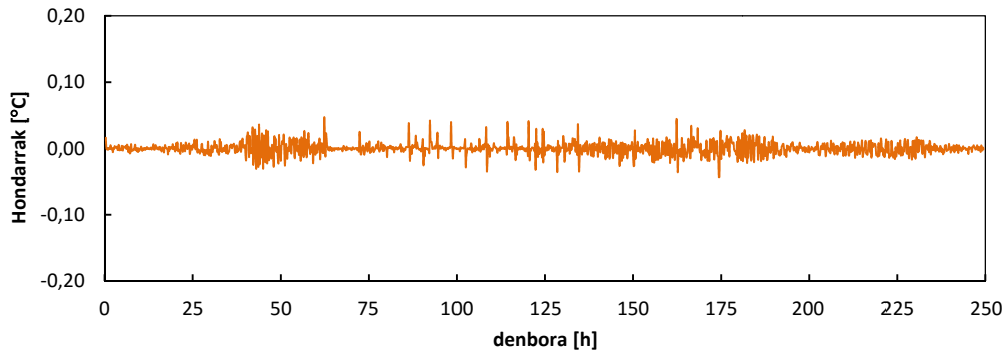
lodiera  $e_{tiles} = 4$  [mm]-ko dela kontuan hartuz eta  $\rho_{alum} = 2700$  [kg/m<sup>3</sup>]-ko eta  $c_p = 900$  [J/kgK]-eko balioak hartuz  $C_{tiles} = 0.650$  [MJ/K]-eko erabateko gaitasun termikoa lortzen da. Kalibrazio hormaren eta itxituraren artean azalera banaketa kontuan hartuz itxarondako balioak  $C_{s,c} = 0.070$  [MJ/K] eta  $C_{s,e} = 0.578$  [MJ/K] izango lirateke. Ikus daiteke nola kalibrazio hormaren azaleraren inertzia termikoaren kasuan, parametro-identifikazio modeloak oso goiko balioa lortzen du. Lehen barruko bolumenaren inertzia termikoari dagokionez esandakoa,  $C_i$ , kontuan hartuz  $C_{s,c}$  iruditutako balioak barruko bolumenaren kapazitatearen partea sartzen duela ondorioztatzen da.  $C_{s,e}$  balioaren kasuan lortutako emaitza itxarondakoarekin bat dator.



2.37 Irudia – Entseguan eta modeloan zehar neurtutako barne-aire-tenperaturaren arteko erkaketa



2.38 Irudia – Neurtutako barne-aire-tenperaturaren arteko erkaketa PRBS errutinaren tarteterako



2.39 Irudia – Barruko temperaturarako 5 modeloengako hondarrak PRBS errutinean

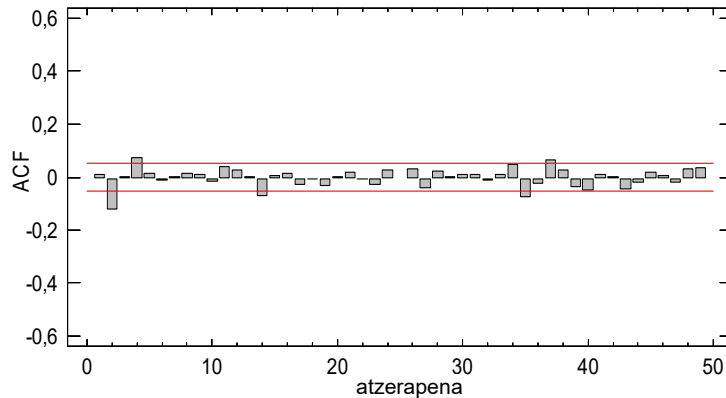
Parametro-akoplamendu egoera ohiko kasua da identifikazio-prozesuetan. Haiek saihesteko beharrezkoa da entsegu periodo aski zabala edukitzea identifikazio-prozesua tarte desberdinetan egin ahal izateko, eta lortutako balioen tinkotasuna horrela ebaluatu ahal izatea. Aplikaturako entsegu errutinak eragina du ere, arrazoi horrengatik *PRBS* eta *ROLBS* errutinak garatu ziren. Biei emandako estudioak, *PULTSUA* entsegua gehituz, parametroen emaitza zehatzagoak lortzeko ahalmen handiagoa edukitzea baimentzen du, aurrerago ikusiko denez gero. Modeloaren parametroekin batera ebaluazio-prozesua handitzen duten beste balio osagarri batzuk analizatu behar dira. Parametro hauek dira: nodo bakoitzeko tenperaturen hasierako balioak, nodoetako tenperaturetako Wiener-en funtzioen batez besteko balioa,  $\sigma_{ij}$ , eta banaketa normalaren batez besteko balioa,  $s_{jj}$ , entseguan zehar neurtutako asaldura-funtzioetan estimatutako akatsari buruzkoa, ikus 2.8 Taula. Kasu honetan, modeloak estimatutako tenperaturen hasierako balioak esperimenterki neurtutako balioetan doitzen dira. Nodo bakoitzean ebaluatutako kide aleatorioari dagokionez, ez du  $0.25^\circ\text{C}$  balioa gainditzen,  $0.18^\circ\text{C}$ -etako balio maximora heltzen den asaldurako funtzioetan estimatutako akatsa bezala, gainazaleko tenperaturaren batezbestekoaren bitartez lortuta. Akatsaren balioa tenperatura-zunden neurri ziurgabetasun azpitik dago, eta bestalde, arrazoizkoa da aipaturiko akats maximoa *tiles*-en gainazaleko tenperaturaren neurrian gertatzea, parametro hau entseguan neurtzeko konplexuena denez gero. Parametroak analizatu ondoren, modeloaren balidatze prozesua bukatzeko, hondarrei aplikaturako zarata zuriko estudioa egitea beharrezkoa da. Neurtutako aldagaien portaera egoki erreproduzitzen duen modeloak zarata aleatorioko patroia izan behar du hondarretan, neurrien eta kalkulaturako balioen arteko desberdintasunaren bitartez lortutak. Entsegu gelaren barneko tenperaturaren kasuan,  $T_i$ , prozesuaren aldagai nagusietako bat, neurtutako balioen eta kalkulaturakoen arteko erkaketa 2.38 Irudian ikus daiteke. Bi bihurguneen arteko desberdintasuna umea delako 2.39 Iruditan tartea xehetasun handiagoarekin erakusten da, aurreko irudian itzal egindako zona batetiko ordezkaturia. Ikus daiteke modelo estokastikoa, parametro-identifikazioaren bitartez lortuta, tenperaturaren bilakaera zehaztasun handiarekin iragartzeko gai dela.

2.40 Irudian kalkulaturako hondarrak erakusten dira zarata-portaera estimatzen den, zeroa patroia aleatorioari jarraituz inguratzen duten balioekin. Eta bestalde, aipaturiko hondarren balio absolutua oso berezko tenperatura-zunden neurri ziurgabetasunetik beherakoa da. Hondarrek patroia aleatorioa dutela egiaztatu ahal izateko, neurri-instrumentazioaren zarata zurira berezkoa, autokorrelazioko eta integraturako periodogramako funtzioa ebaluatzen da, erreminta estatistiko libreko aukera aldaera handiaren artean.  $a_k$  atzerapenarekiko autokorrelazioko funtzioaren koefizienteek, [2.44] ekuazioan bezala kalkulaturak,  $k$  denbora periodoak behaketen arteko korrelazioa kuantifikatzea bananduta baimentzen dute.  $a_k$  koefizienteen balio positiboek ekartzen dute  $r_t$  hondarreko balio positiboak zeinu beraren balio ondorengotza sortzen duela.  $a_k$  koefizienteen analisiak zikloak eta hondarretako joerak antzematea baimentzen du, erlazio ez linealak, edo modeloan sartu ez diren aldagai nabarmeneko omisioa.

$$a_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (r_t - \bar{r})(r_{t+k} - \bar{r})}{\sum_{t=1}^{n-k} (r_t - \bar{r})^2} \quad [2.44]$$

2.41 Irudian autokorrelazio analisia  $T_i$  hondarretarako erakusten da 5 modeloan.  $a_0$  koefizientea, balio unitatea beti hartzen duena, alde batera uzten da, eta 50h-eko balio maximoraino ebaluatzen da. Ikus daiteke  $a_k$  koefizienteek balio txikiak hartzen dituztela bizkor, eta balio baliogabearen inguruan aldizkatzen dira patroia

zehatzik gabe. Emaitza honek dio modeloa zuzenki irudikatzen ari dela gelaren portaera.



2.40 Irudia – 5 modeloaren  $T_i$  hondarretarako korrelazio koefizienteak PRBS errutinean

Konfiantza estatistikoko ak koefizienteen marjina kolore gorriko bi lerroren bitartez erakusten da. Muga hauek definitzeko aipaturiko koefizienteen erabakiko akats estandarra erabiltzen da. Kontuan hartzen bada  $a_k$  koefizienteak zero balioa hartu behar duela  $k$  bezalako eta goiko atzerapenentarako akats estandarra zehatz daiteke ekuazioa [2.45] dioen bezala.

$$e_s[a_k] = \left( \frac{1}{n} \left( 1 + 2 \sum_{i=1}^{k-1} a_k^2 \right) \right)^{1/2} \quad [2.45]$$

Banaketa normalaren balio kritikoko estatistikaria erabiliz, probabilitate mugak defini ditzake  $\%100(1-\alpha)$ -aren ziurtasunarekiko zeroaren inguruan [2.46] adierazpenaren bitartez.

$$0 \pm z_{\alpha/2} e_s[a_k] \quad [2.46]$$

Estudiorako  $\alpha = 0.05$  hartzen ditu, hortaz konfiantza estatistikoa  $\% 95$ en ziurtasunarekin lortzen da. Autokorrelazio-funtzioak hondarren portaera denboraren domeinuan ebaluatzea baimentzen du. Baina analisia maiztasunaren domeinuan egitea interes handia da ere. Estudio hau egin daiteke integratutako periodogramaren bitartez oso zuzeneko eran. Hartarako denboraren domeinuko serie zuhurra Fourier-en maiztasunetan deskonposatzen da funtzio harmonikoko batuketaren bitartez [2.47] ekuazioaren arabera. Fourier-en  $i$  maiztasuna [2.48] erabiliz zehazten da  $i = 0, 1, \dots, n/2$  kasuan,  $n$  bikoitia bada, edo  $i = 0, 1, \dots, (n-1)/2$ ,  $n$  bakoitia bada.

$$a_i \cos(2\pi f_i t) + b_i \sin(2\pi f_i t) \quad [2.47]$$

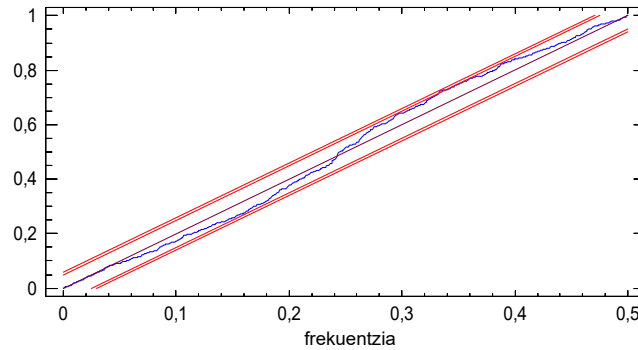
$$f_i = \frac{1}{n} \quad [2.48]$$

Serieko maiztasunetako bakoitzeko parte-hartzea [2.49] ekuazioaren bitartez kalkulatu da. Balio hau igotzen da Fourier-en maiztasunen osagai guztien batuketa bere batezbestekoari buruz hondarren desbideratze kuadratikoen batuketa bezalakoa izateko moduan. Honela, egiaz, egiten ari dena maiztasunen



bariantza analisi bat da. Osagai irudikapen honetara periodograma izena ematen dio.

$$I(f_i) = \frac{n}{2} (a_i^2 + b_i^2) \quad [2.49]$$



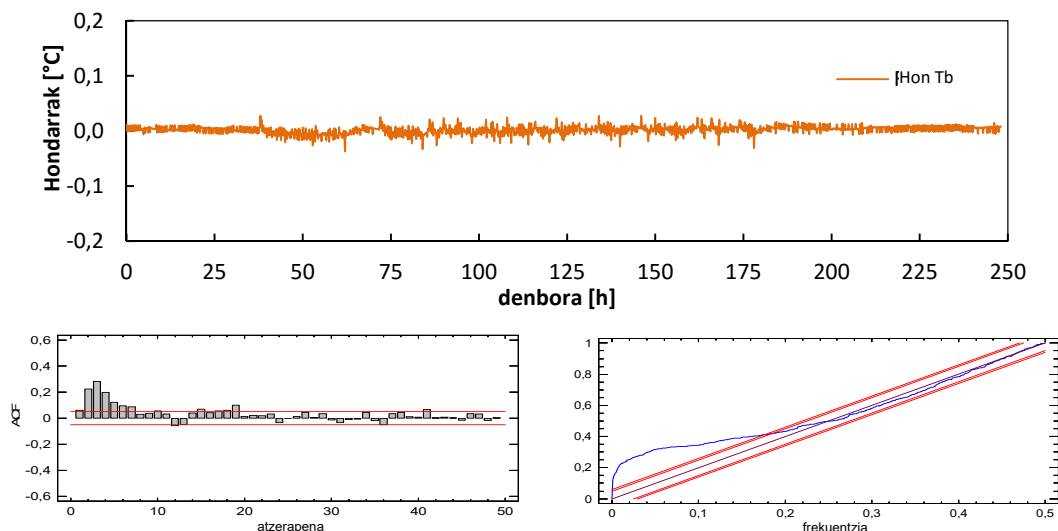
2.41 Irudia –  $T_i$  hondarretarako 5 modeloen osatutako periodograma PRBS

Gainera unitatera normalizatzen bada, osagai bakoitza osagaietako erabateko batuketaz zatituz, integratutako periodograma lortzen da. 2.42 Irudian erakusten da 5 modeloaren ebaluatzen ari den hondar estudiorako lortutako emaitza. Denbora-seriea aleatorioa bada soilik maiztasun bakoitzerako metatutako zabaltasun erlatiboek zuzen diagonalara eraturuko lukete. Konfiantza estatistikoa kalkulatzeko, kasu honetan, *Kolmogorov-Smirnov*-en konfiantza tarteak erabiltzen dira, lerro gorrien bitartez grafikoan erakusten direna, hurrenez hurren % 95en eta % 99ren, barruko eta kanpoko, ziurtasunerako. 5 modeloaren periodograman desbideratze nabariak estimatzen dira, honek autokorrelazio presentzia dio, baina konfiantza-bandak ez gairatzerakoan aipaturiko korrelazioak ahulak dira, eta mespretxatu daitezke. Hondar-autokorrelazioko, eta integratutako periodogramaren grafikoetako ikusi ahal izan denez gero, lortutako 5 modeloak gelako  $T_i$  portaera egoki erreproduzitzen du, modulu txikiko eta izaera aleatorioko hondar patroia emanez.

	$C_i$	$C_s$	$C_{s,c}$	$C_{s,e}$	$C_{cel}$	$C_c$	$C_e$	$H_i$	$H_{i,c}$	$H_{i,e}$	$H_c$	$H_e$	$A_1$	$A_2$	$A_3$
1. modelo	0,651												1,075		
	0,557												1,060		
	0,595												1,046		
2. modelo	0,028	0,685			5,434			530,4						1,071	
	0,324	0,355			5,329			446,6						1,042	
	0,009	0,737			5,648			473,6						1,032	
3. modelo			0,055	0,574		0,542			62,8		1,091		1,052	1,118	
			0,144	0,583		0,259			57,9		0,945		1,072	1,183	
			0,129	0,598		0,232			45,3		0,841		1,017	1,104	
4. modelo			0,183	0,853			3,973			334,6		5,379	1,038	1,061	
			0,175	0,405			4,992			323,6		5,135	0,983	1,331	
			0,195	0,446			4,555			234,6		3,641	1,066	1,098	
5. modelo	0,024	0,677	0,034	0,643	4,294	0,388	3,905	532,9	82,4	396,1	1,083	6,005	1,033	1,181	
	0,010	0,706	0,256	0,450	5,369	0,293	5,077	539,9	80,4	459,5	1,039	5,790	0,995	1,042	
	0,028	0,823	0,247	0,576	6,203	0,335	5,868	475,0	72,0	379,3	0,948	5,359	0,943	1,161	
6. modelo	0,022	0,750	0,282	0,470	5,871	0,631	5,240	499,1	86,1	346,5	0,906	5,977	1,035	1,176	1,057
	0,094	0,639	0,169	0,564	5,619	0,398	5,220	457,4	82,8	374,6	1,041	5,021	1,083	1,136	1,036
	0,026	0,798	0,193	0,497	5,623	0,260	5,364	364,6	62,2	311,4	0,928	5,821	0,938	1,096	1,084

2.7 Taula – Modelo bakoitzeko parametro identifikazio prozesuaren emaitza guztiak, goitik behera, *PULTSUA*, *PRBS* eta *ROLBS* errutinetan lortutako balioak erakusten dira, hurrenez hurren

Estudio hau era berdineko egin behar da modeloan erabilitako funtzio helburuetako multzorako. Ondoren analisia gelaren estudioan planteatutako modeloetarako garatzen da. 2.9 Taulan identifikazio estudioaren bitartez lortutako gelaren parametroen emaitza osoak jasotzen dira. Itzaleztatzean PRBS errutinaren bitartez lortutako balioak balioak erakusten dira xehetasun gehiagorekin analizatzen diren. Estudio osoa *A Eranskinean* jasotzen da. Planteatutako lehen modeloak garrantzi handia du, hartan nodo bakarrekin gela irudikatzen denez gero, entsegu gelaren aire tenperaturara lotuta eta kapazitate termiko elkartuarekin. Jada esan denez gero, gelaren diseinua modelo simple hau lortzeko orientatuta dago. Hartarako entsegu gelaren itxitura arina da eta isolamendu askorekin. Zubi termikoetan mugatutako efektua aurkezten dute, eta bere portaera zuzenki bereizita eta neurtuta dago entseguan zehar. Gainean, barruko giroaren baldintzak oso homogeenak dira entsegu gelaren bolumen guztian. Eta beroan trukean parte duten gainerako osagaiak, infiltrazioak, sentsoreen seinaleetako transmisio kabletan zeharreko eramatea, eta ez kontuan hartutako beste efektuak, arbuigarriak da neurtutako fluxuen kontra. Horregatik, entsegu gelaren portaera termikoa irudikatu behar izango litzateke aireko barruko tenperaturarekin, entsegu potentzia sartzen deneko, lotutako nodo bakarraren bitartez.

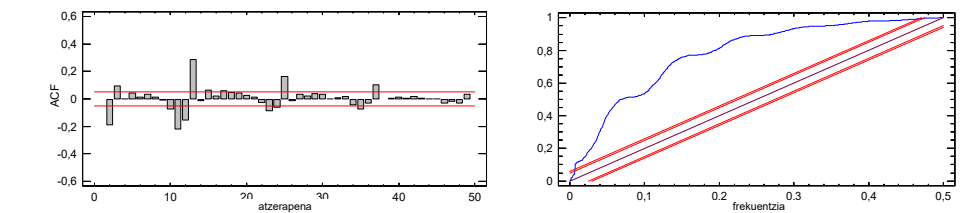
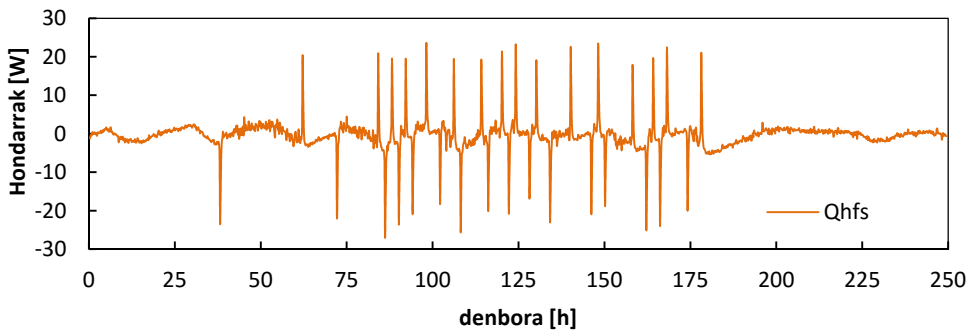
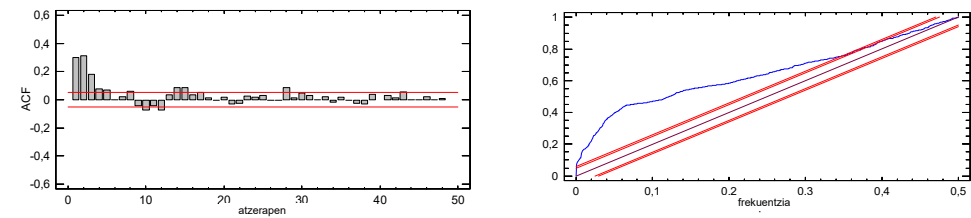
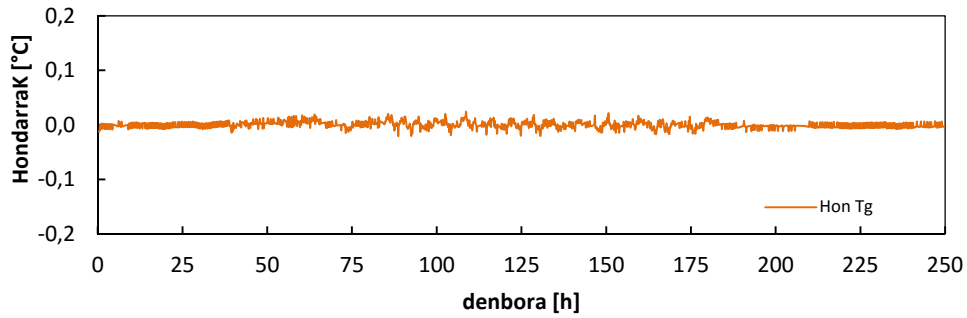
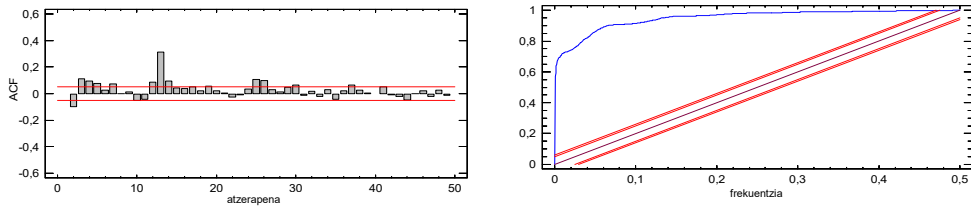
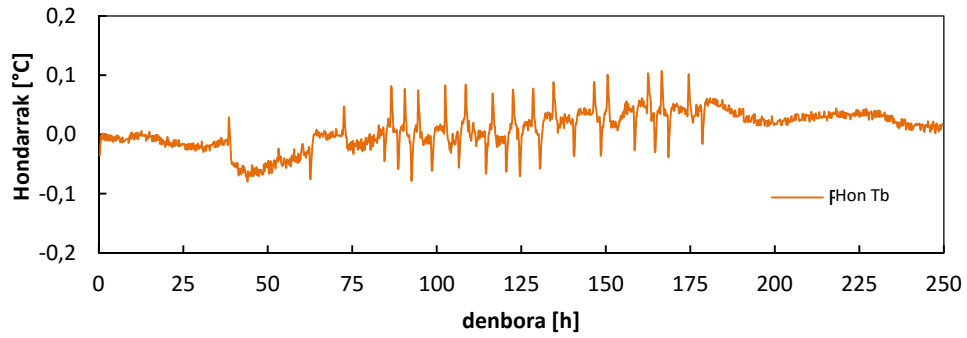


2.42 Irudia – 1 modeloaren hondar analisia PRBS errutinaren

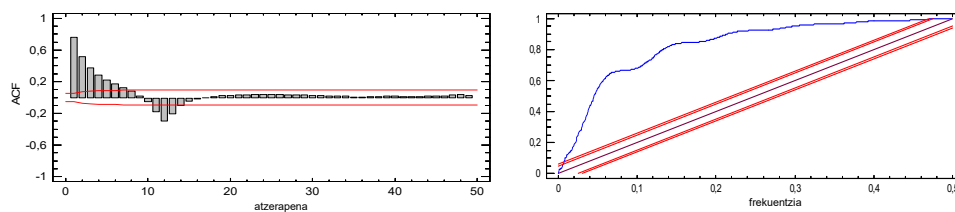
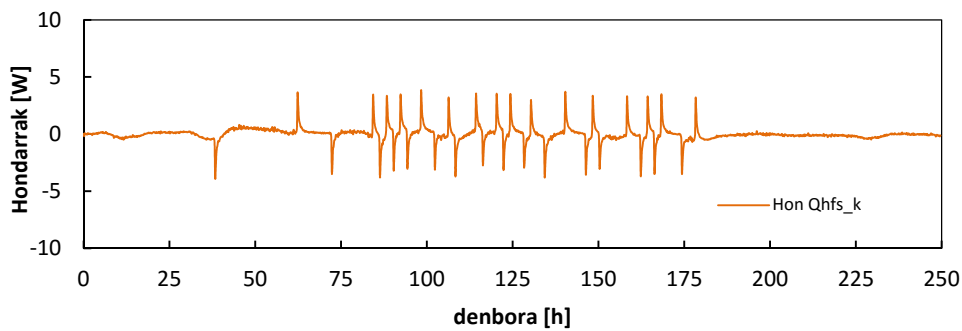
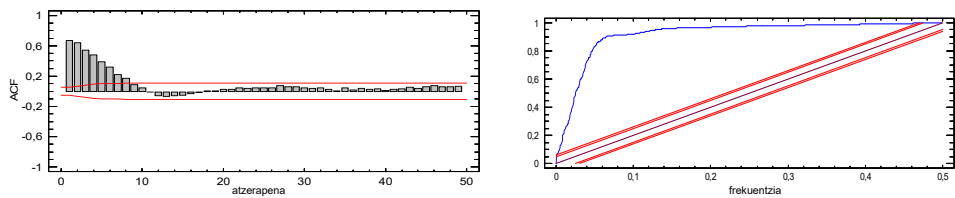
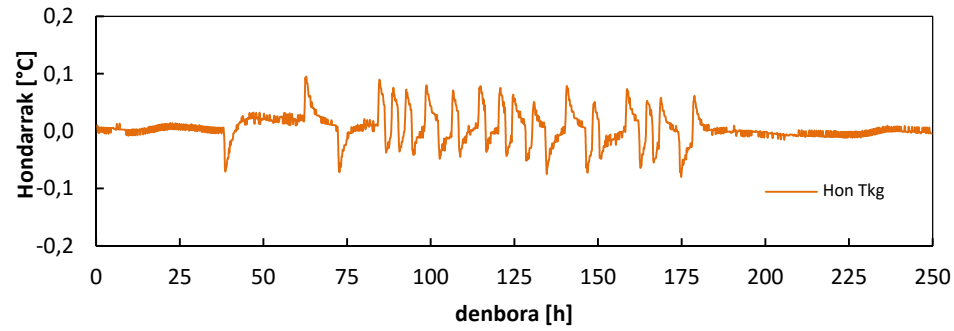
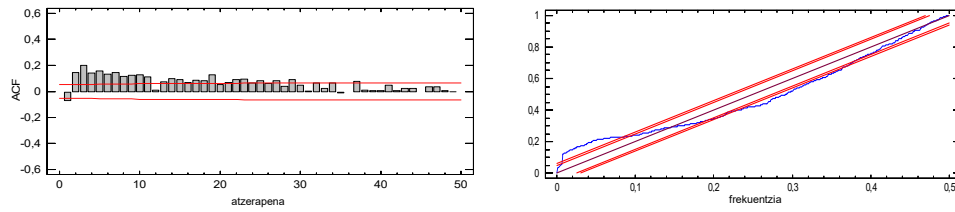
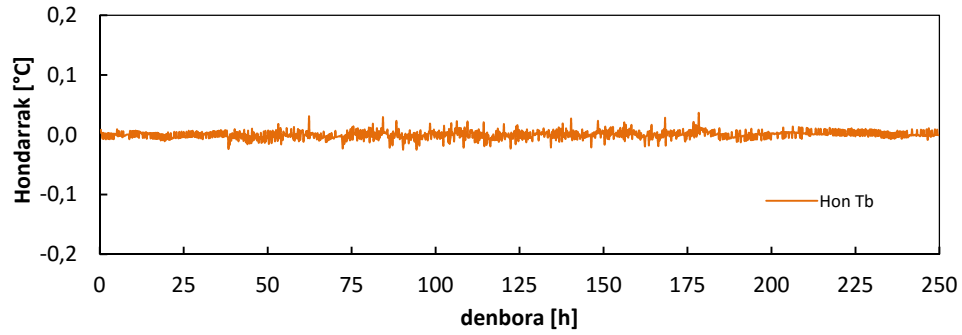
2.43 Irudian ikus daitekeenez gero ezaugarri hauek egiaztatzen dira. 1 modeloan lortutako hondarrak tenperatura-zunden berezko erabakitik beherakoak dira. Zarata zuriko patroi perfektua ez da lortzen, baina autokorrelazio-koefizienteek balio txikiak hartzen dituzte, konfiantza estatistikoko mugen hurbilekoak, eta integratutako periodograma onarpen banden artean aurkitzen da bere gehiengo handian. Desbideratzea maiztasun baxuetan ikusten da, baina zabaltasun txikiko eta arbuigarri har daiteke. Entsegu gelaren kapazitate termikorako lortutako balioak analizatuz, aipaturiko balioak bakarrik barruko girorako itxarondako gaitasun termikoa gainditzen duela ikus daiteke. Tiles-etako azaleraren tenperatura oso airekora hurbil dago itxitura oso isolatzailea eta trukaturako bero-fluxuak txikiak direlagatik, entsegu gelaren tiles-en inertzia termikoa airera berezkoari gehitzen zaion portaera baliokidea eragiten duena. Tiles-etarako estimatutako kapazitate termiko balioa  $C_{tiles} = 0,650$  [MJ/K]-eko da, aluminioaren ezaugarria estandarrik kontuan hartuz, eta modeloan lortutako emaitza horretako ordena da. Horregatik 1 modeloan entsegu gela barne-aireak eta tiles-etako

eratutako multzoa bezala irudikatzen da. *Tiles*-en seinalearen zuzenketa koefizienteak energia-integrazio metodoaren bitartez kalibrazio prozesuan lortutako balioaren antza du ere. 1 modelo oinarria da atzeko osagaietako estudiorako, 3 modelooren kasua denez gero ere, lehen pausoa erabiltzen dena kalibrazio hormaren estudiorako. 2 modelo, gelaren analisiko hurrengo pauso bezala planteatuta, oso sinplifikatutako modelo bat da, itxitura guztia kanpoko tenperaturara menderatuta dagoela kontuan hartzen duenez gero,  $T_e$ , iparraldea tenperatura garaiagoak dituen zerbitzu gelako giroa kontaktuz dagoenean, eta hegoaldeak eguzki-erradiazioa bere azaleraren gainean jasotzen du. Baina alboko azaleretan, paretetan, estalkian eta zoruan zehar trukaturako bero fluxua, *tiles*-ek neurtutako fluxuko ehuneko altua irudikatzen duten bezala, entsegu gelaren itxituraren ezaugarri termikoak ebaluatzen hasteko baliozko hurbilketa da. Gainera, bere erraztasunagatik, oinarri bezala balio du identifikazio prozesuko hurrengo modeloen parametroetako bilaketa tartea definitzeko. 2.44 Irudian modelo honetako hondarren analisiaren emaitzak erakusten dira. Nahiz eta aipaturiko hondarren batezbestekoa neurri-ziurgabetasunetik beherakoa da bai giro-tenperaturan,  $T_i$ , bai bero-fluxuan,  $Q_{hfs}$ , piko puntualak produzitzen dira. Desbideratze hauek sortzen dira modeloak desfasea aurkezten duelako berogailuko abio uneetan. Aspektu honek modelooren erraztasuna berresten du.

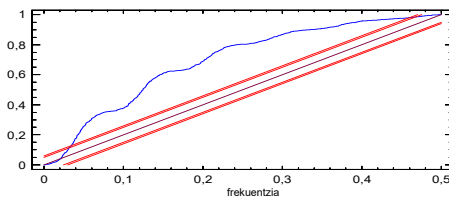
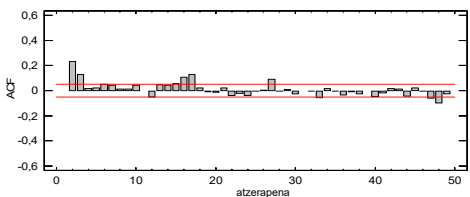
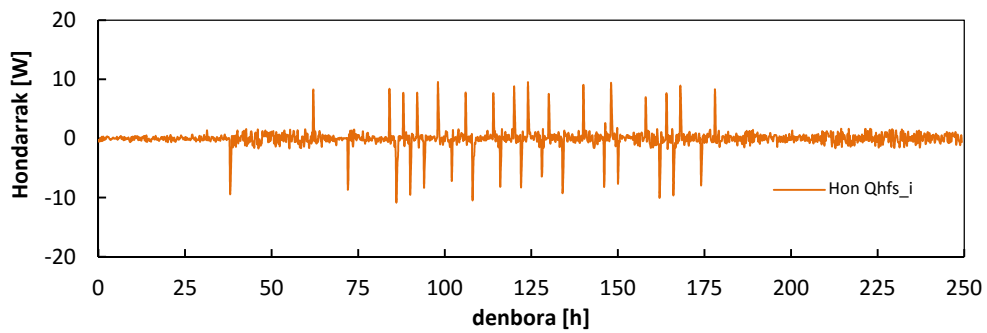
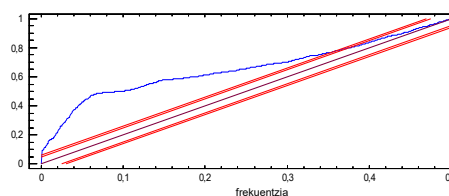
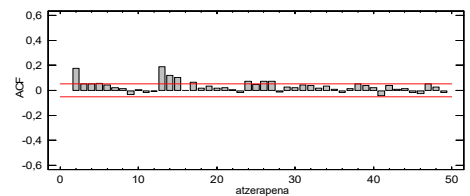
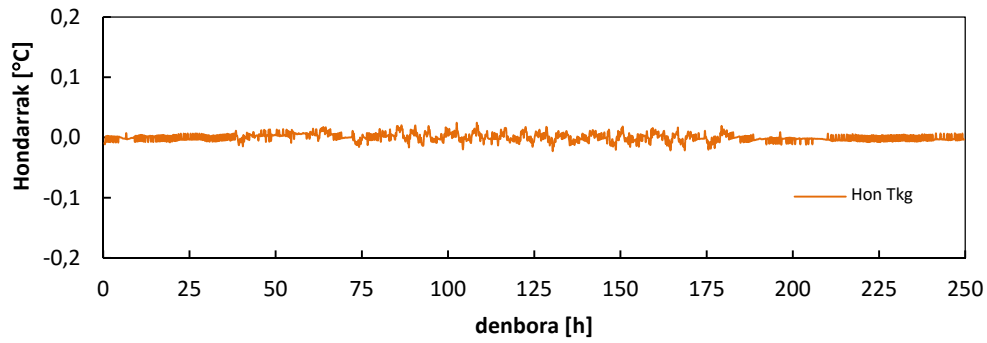
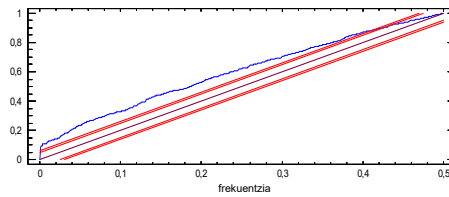
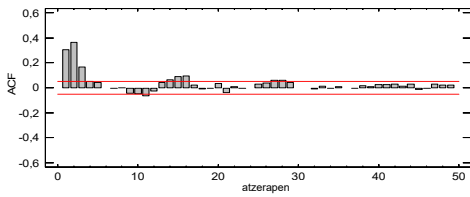
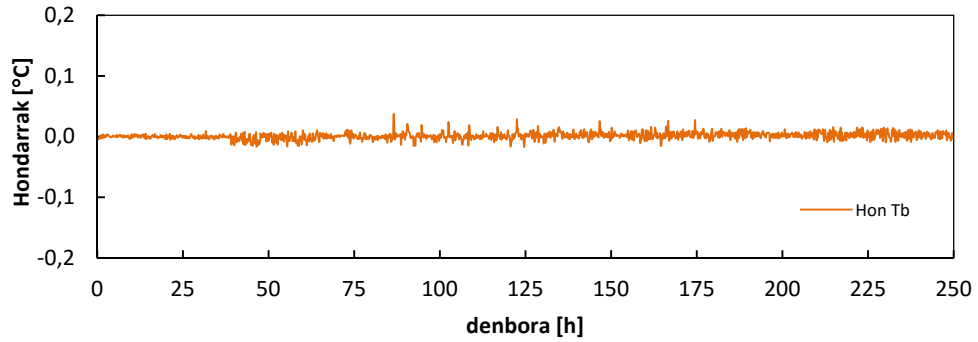
Itxituraren transmitantziako eta kapazitate termikoko lortutako balioei dagokienez, ikus 2.9 Taula, Kapitulu 1ean kalkulaturakoekin konparatzen badira lortzen da emaitzak oso hurbilekoak direla. Gainera, modelo honen bitartez gainazaleko barruko konbekzio koefizientearen lehen estimua lor daiteke. Barruko giroari eta *tiles*-etako azalerari buruzko kapazitateko banaketa identifikazio-prozesuaren bitartez lortu diren ebaluatzeko puntu garrantzitsu bat da *PRBS* errutinean. Nahiz eta bi kapazitatearen batuketa gainerako ohituretarako lortutakoa izan bere banaketa ez da egokia. Hau parametro-identifikazio metodoetan gertatu ohi den egoera da, horregatik beharrezkoa da asaldura aldagarriak maiztasun-aukera egokiarekin erabiltzea, osagai bakoitzaren ezaugarri termikoak eraginkorki banandu ahal izateko. Hau da *ROLBS*-a entsegu hobe bezala errutinaren garapenaren arrazoia da. Jada 3 modelo osagai estudioa planteatzen du, kalibrazio-harresiaren kasu honetan, geroago beste *EGUZKI* zeldarekiko fatxadaren edozein mota entseatzeko erabiliko den metodologiaren aplikazioaren bitartez. Lehen pauso honetan, kalibrazio hormaren modelo erraza planteatzen da, irudikatuta bakarrik bi transmitantziagatik eta kapazitate termikoagatik, lehen ordenako modelo. 2.45 Irudian objektibo funtzioen hondar analisia erakusten da. Ikus daiteke lortutako modeloak entsegu gelaren barruko tenperaturaren bilakaera erreproduzitzen duela egoki,  $T_i$ . Kalibrazio hormaren gainazaleko tenperaturaren,  $T_s$ , eta *tiles*-ek neurtutako fluxuaren,  $Q_{hfs}$ , kasuan modeloak baliozko korrelazio-koefizientek aurkesten ditu, baina integratutako periodograman hondarrak zarata zuriarekin ez datoz bat ikusten da. Emaitza hau ondorio da ertz-efektuak modeloan ez direla kontuan hartu, eta dimentsio bakarrek bezala neurtutako fluxu guztia planteatzeagatik orduan. Hurrengo atalean kalibrazio hormaren estudioa xehetasun gehiagorekin analizatzen da, modelo egokia lortu arte. Baina lehen pauso bezala, modelo honek ertz-efektuaren lehen balioespina lortzea baimentzen du. 4 modeloan aurrekoaren analisia erreproduzitzen da, baina orain estudioa entsegu gelaren itxituraren karakterizazioan erdiratuz. Kasu honetan, itxituraren portaera homogeneoagoa denez gero, erabili den modelo sinplea aldagai helburuetan hobeto doitzen da, ikus 2.45 Irudia. Hondarren modulua, bai tenperaturarako bai bero-fluxurako, txikia da, eta autokorrelazio-koefizienteek balio txikiak hartzen dituzte ere. Integratutako periodograman bi maiztasuneko efektua estimatzen da, 0.1eko eta 0.2ko tartean, baina zabaltasun txikiagoarekin aurreko modeloorengan baino.



2.43 Irudia – 2 modeloaren hondar analisia PRBS errutinean

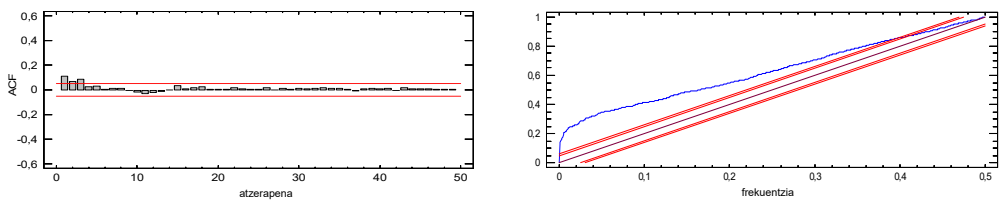
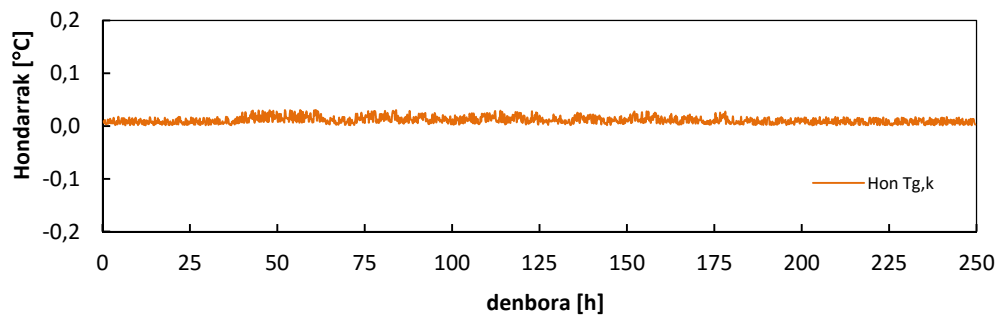
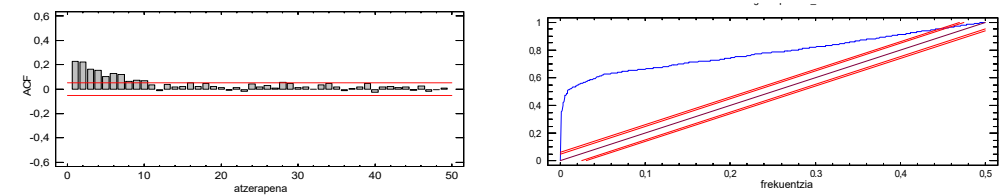
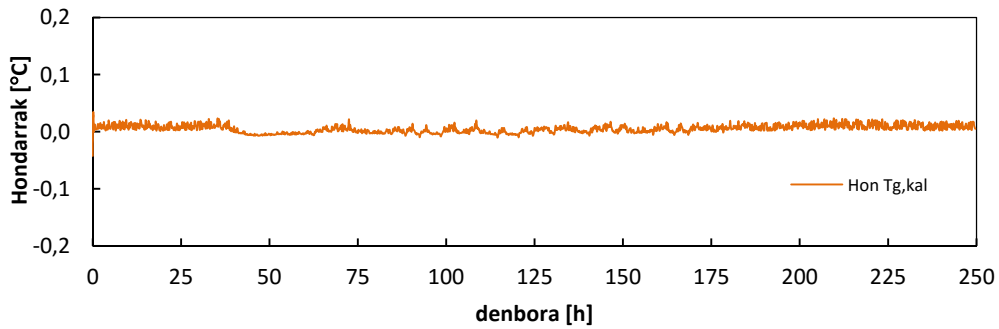
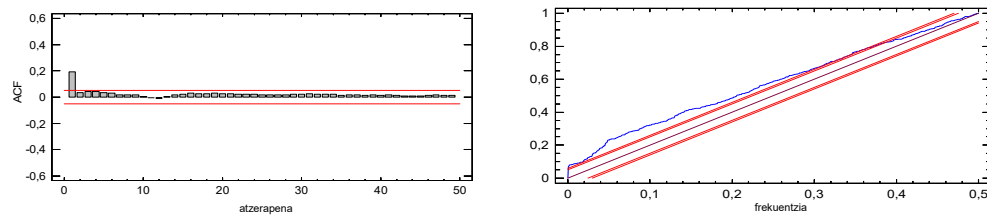
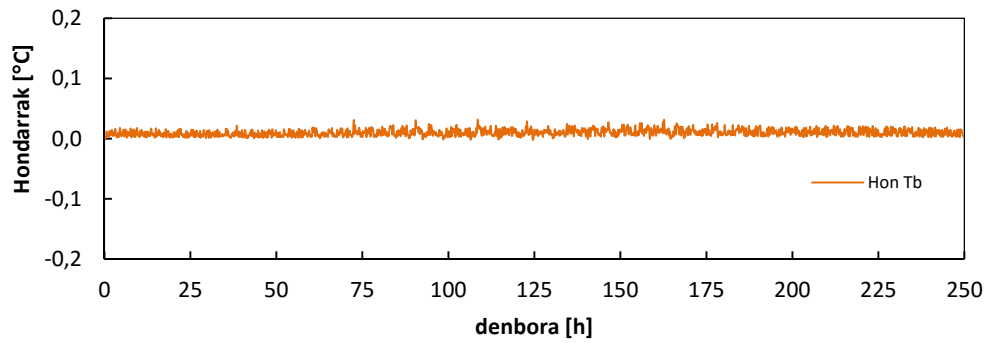


2.44 Irudia – 3 modeloaren hondar analisia PRBS errutinean

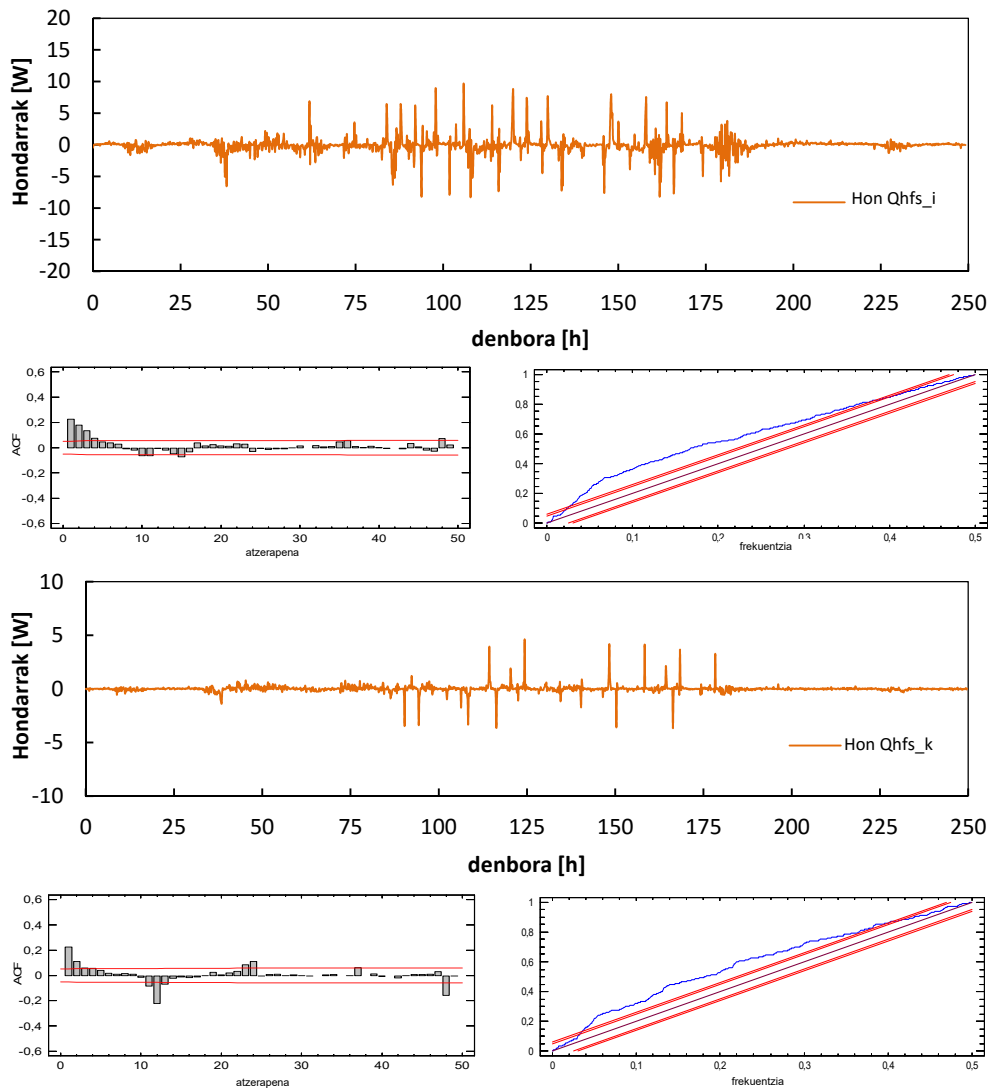


2.45 Irudia - 4 modeloaren hondar analisi PRBS errutinean



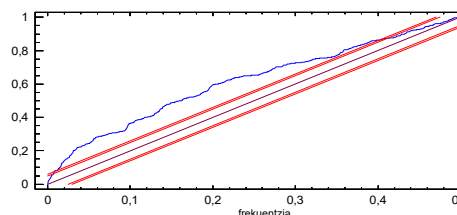
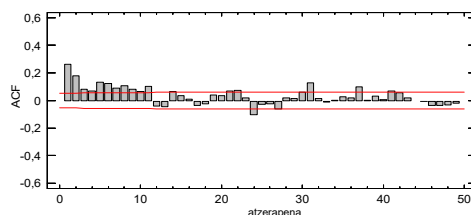
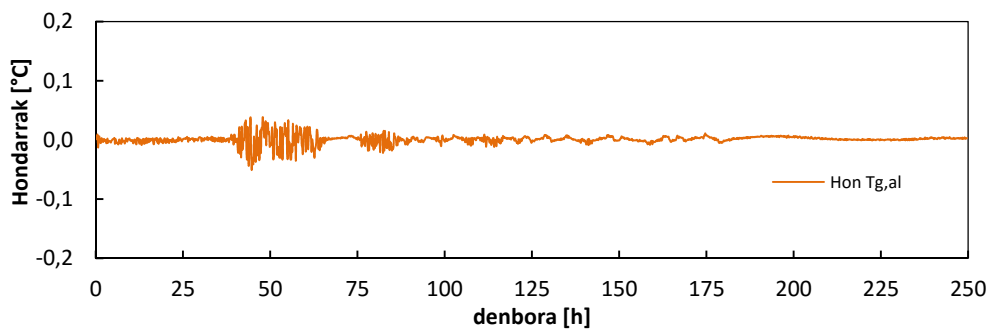
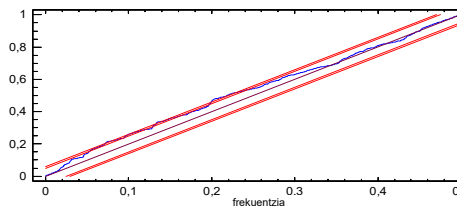
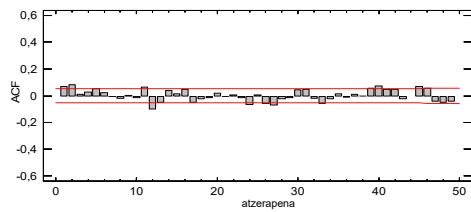
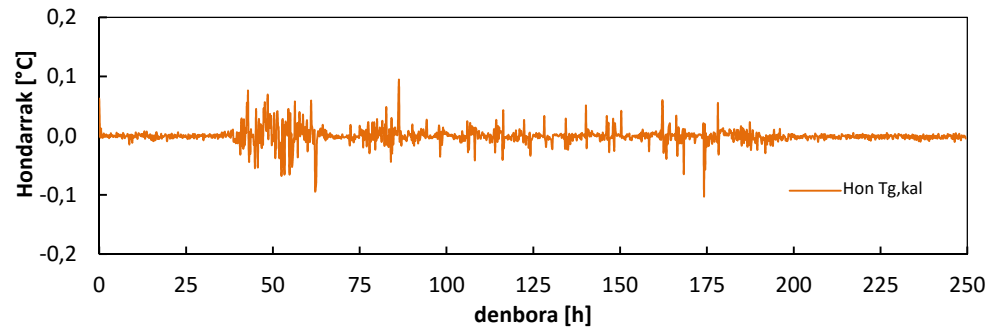
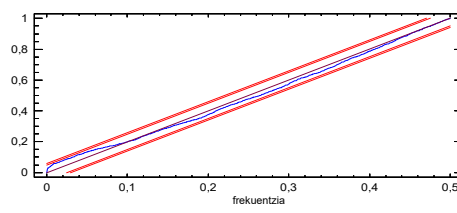
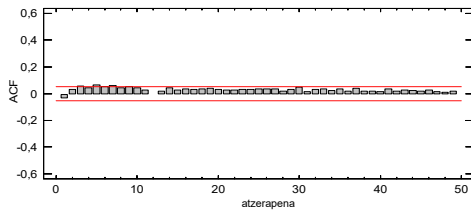
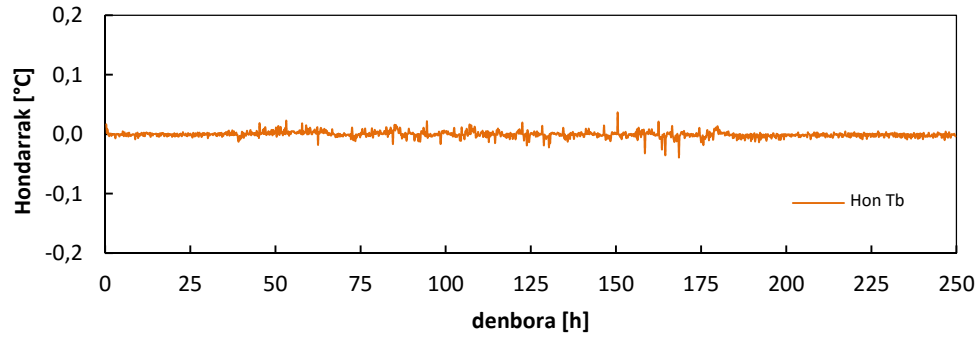


2.46 Irudia – 5 modeloaren hondar analisia PRBS errutinean

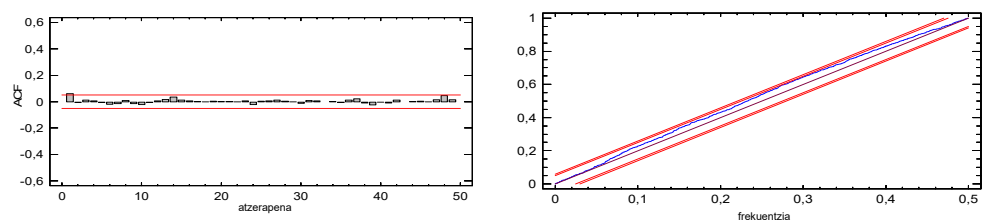
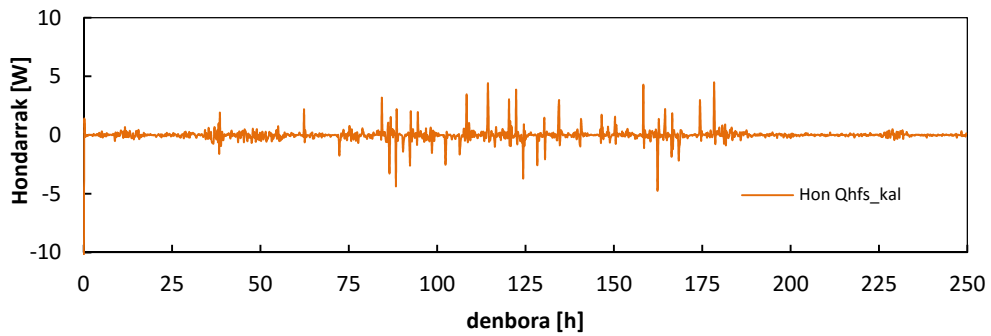
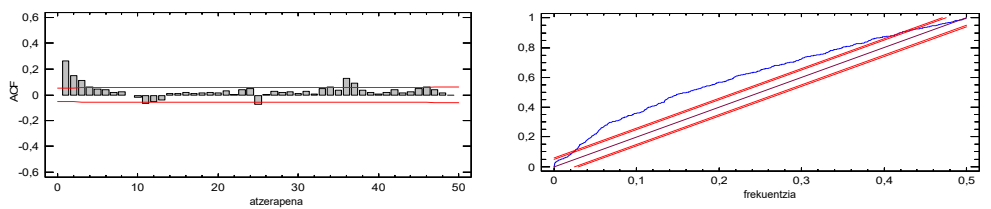
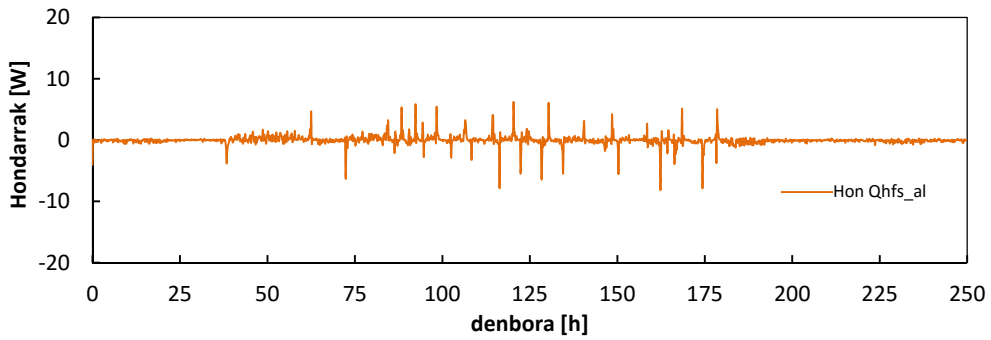
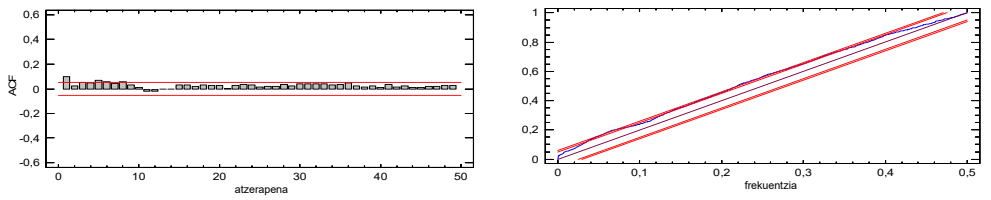
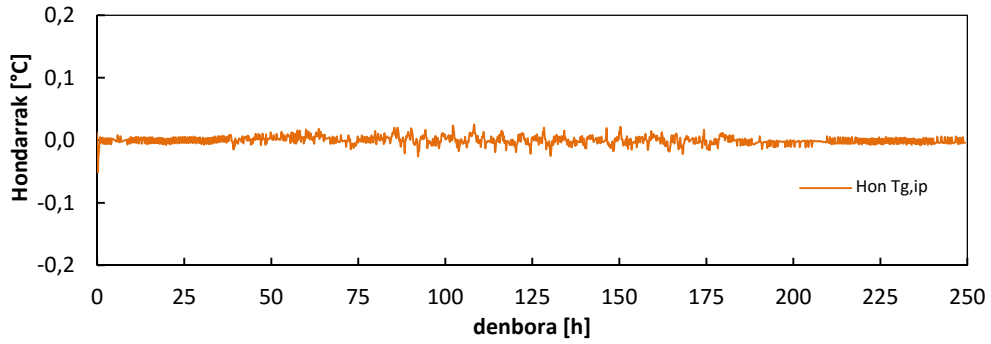


2.47 Irudia – 5 modeloaren hondar analisia PRBS errutinean

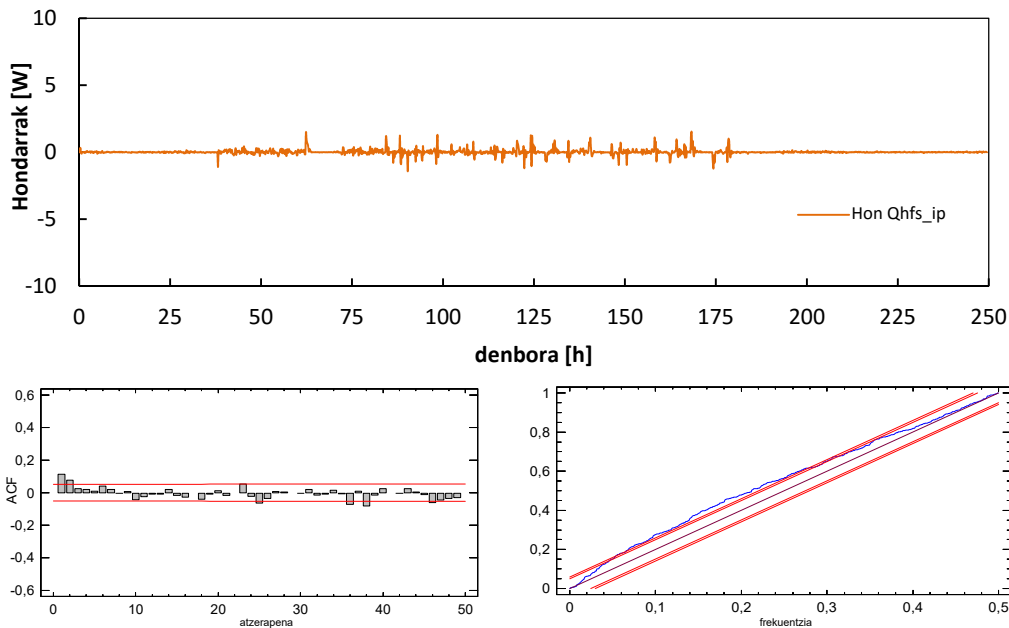
Modelo hau analizatzeko interes nagusia entsegu gelaren itxitura finkoaren ezaugarrien balioak lortzekoa da, entsegu osagaiko partea bananduz. 2.46 Irudian eta 2.47 Irudian 5 modeloaren emaitzak erakusten dira. Kasu honetan gela osoko modelorik sinpleena planteatzen da. Aurreko bi modeloek baimentzen dute parametro-identifikazio prozesua errazten duten transmitantziaren eta kapazitatearen balioetarako tarte lortzea, eta zuzenekoago era eraginkorragoan egiten dela ziurtatzen dute. Hondarren ezaugarriak ez dira aurretik doazen kasuen ebaluazioan desberdin hein handi batean. Hondarrak era hobeko estutzen direla zarata zuri-patroiari nabarmendu behar da, nahiz eta integratutako periodogrametan maiztasun baxuetan autokorrelazio-osagaiak estima jarraitzen da. Jada 6 modeloa konplexutasun nabarmeneko gradua izaten hasten da, identifikazio-prozesua egiteari begira. Kasu honetan, entsegu gelako iparraldean zehar gertatzen den trukea kontuan hartzen da. Azalera honek gainerako itxiturari buruz baldintza desberdinak ditu zerbitzu gelako giroa kontaktuz egoterakoan. Zerbitzu gelaren aire tenperaturak oso bilakaera desberdina aurkez dezanez gero kanpoko tenperaturaren kontra, eta beraz transmitantzia-adar bakarra batekin erreproduzitzea zail, 5 modeloaren kasuan bezala.



2.48 Irudia – 6 modeloaren hondar analisia PRBS errutinean



2.49 Irudia – 6 modeloaren hondar analisia PRBS errutinean



2.50 Irudia – 6 modeloaren hondar analisia PRBS errutinean

2.48 Irudia, 2.49 Irudia eta 2.50 Irudian jasotako hondar-analisan ikus daitekeenez gero modelo honek portaera hobea du aurreko modeloei konparatuz. Kasu honetan, aldagaiak zarata zurirako portaeraren desbideratze handiagoarekin temperatura eta itxitura perimetralaren fluxua dira,  $T_{s,l}$  eta  $Q_{hfs,l}$  hurrenez hurren. Konfigurazio eraikitzaile desberdinak eta gainazaleko konbekzio-koefizienteetako aldaketak, modeloaren portaera txarrago hau azalduko lukete. Baina oro har, EGUZKI zeldaren portaera termikoaren irudikapeneko modelo egokia bezala onar daiteke. Gainera, kontuan hartu behar da, atal honetan gelaren ezaugarri termikoen tamaina ordena lortzea bilatzen ari dela, *tiles*-taldeek egiten duten bero fluxuaren neurri zuzena egiaztatzea, eta azkenik, 2.2.4 atalaren kalibrazio prozesuaren emaitzak egiaztatzea ere.

Parametro-identifikazio estudioak egiteko momentuan bi alderdi garrantzitsu kontuan hartu behar dira. Lehenaren errealitate fisikora ados erantzuten duen modelo aurkitzea da. Bigarrena konplexutasuna datuetako informazio inplizituko mailarekiko konkordantzia egon dadin modelo aurkitzea da. Arrazoi hauengatik, modelo egokia definitzeko, estudioa konplexutasuneko maila hazkorraz egin behar da. Entsegu gelaren estudioarako 6 modeloak baldintza hauek betetzen dituela iritz daiteke, behin hondarren eta zarata zuri-erantzunera bere egokitzearen bilakaera analizatuta. Beraz, modelo konplexuagoko analisia ez da egiten eta lortutako emaitzak ikastera pasatzen da. 2.10 Taulan gelaren parametro termiko desberdinetarako estimatutako balioak jasotzen dira orokorrean, eta entsegu gelako bereziki, modelo desberdinetarako egindako estudioetako multzoaren analisi estatistikotik lortutak. Analisia kapazitate termikoengatik hasiz, entsegu gelako barne-airerako balio txikia lortzen da,  $C_i = 0,026$  [MJ/K], aire-bolumenaren berezko kapazitateerako itxarondakotik beherakoa, haren barruan kokatuta dauden gainerako osagaiekin batera. Hau ondorio da, balio nahiko txikia modeloaren gainerako kapazitateei buruz izaterakoan, bere identifikazioak konplexutasun handiagoa duela, eta agian balio errealeko zati bat modeloko beste parte batzuen kapazitateetan bertako dadin. *Tiles*-etarako  $C_s = 0,724$  [MJ/K]-eko balioa lortzen da, emaitza itxarondakoaren arabera dago, jada bezala baino lehenago ebaluatu da. Emaitza honek kalibrazio-hormaren azalera egiaztatzea behar

du itxituraren azalerarako gehiago lortutako kapazitateen batuketarekin. Batuketa hau  $C_{s,e} + C_{s,c} = 0,714$  [MJ/K] da, % 1,5 bakarrik bereizten dela, eta beraz emaitza koherentea dela iritz daiteke. Azaleratik kapazitate-banaketa egin daitekeen beste analisi bat da, tiles-etako erabateko azalera  $S_{tiles} = 66,77$  [m<sup>2</sup>] dela, eta kalibrazio hormak % 10,58 irudikatzen duela kontuan hartuz, itxarondako kapazitatea  $(C_{s,c})^* = 0,075$  [MJ/K]-eko izango litzateke eta itxiturarako  $(C_{s,e})^* = 0,638$  [MJ/K]. Balio hauek identifikazio-prozesuaren emaitzekin konparatuz, desbideratzea % -17tako da itxiturarako, baina kalibrazio-hormaren azaleraren kapaziterako desbideratzea oso goikoa da, % 55,1etako. Dena dela, emaitza hauek baliozko har daitezke, kalibrazio-entseguan tiles-en gainazaleko tenperaturaren neurketa konplexutasun handia duenez gero. Azalera-tenperatura hau oso airekora hurbil dago, itxituraren isolatzeko graduagatik, identifikazio-prozesua hein handi batean zailtzen duena.

	balioa	u	
$C_i$	0,026	0,003	
$C_s$	0,724	0,061	
$C_{s,c}$	0,168	0,087	[MJ/K]
$C_{s,e}$	0,545 ±	0,138	
$C_{cel}$	5,488	0,523	
$C_c$	0,309	0,066	
$C_e$	5,188	0,398	
$H_i$	453,2	77,4	
$H_{i,c}$	70,2	14,0	[W/K]
$H_{i,e}$	351,1 ±	62,6	
$H_c$	0,980	0,086	
$H_e$	5,348	0,734	
$A_{guztia}$	1,054	0,017	
$A_e$	1,022 ±	0,042	
$A_c$	1,141	0,076	

2.8 Taula - Emaitzak eta ziurgabetasuna EGUZKI zeldaren parametro nagusietarako identifikazio prozesuaren kalkulan

Entsegu gelaren egituraren kapazitate termikorako analisi bera erabili daiteke. Lortutako erabateko balioak % 0,2 atzeratzen du bakarrik lortutakoari buruz itxituraren kapazitateen batuketa gehiago kalibrazio-hormaren bitartez,  $C_e + C_c = 5,497$  [MJ/K]. Itxiturarako lortutako balioa 2 Kapituluaren egin den estimua baino gehiagoko % 13,3 da,  $C_e = 4,497$  [MJ/K]. Desberdintasuna egotz dakioke egiturako altzairu armazoiaren kapazitateari, estimuan kontuan hartu ez deneko. Kalibrazio hormaren kasuan osatzen duten materialen datuekin kapazitate termikoaren kalkulu erraza egin daiteke, bere konfigurazioa oso homogeneoa dela kontuan hartuz. Balio hau  $(C_c)^* = 0,266$  [MJ/K]-eko ordenako da, itxarondako balioaren % 13,8 desbideratzen dela. Emaitza hau 2.3.3 atalean zabalago analizatuko da. Lortutako transmitantziei dagokienez balidatze lehen egindakoaren baliokideko analisi bat egin daiteke. Entsegu gelaren gainazaleko barrukoagatik hasiz,  $H_i$ , lortutako balioa  $\alpha_i = 6,8$  [W/m<sup>2</sup>K]-eko konbekzio koefizientearekin bat etorriko litzateke. Emaitza hau ebaluatzeko hartzen dira bero-transmisioko estandar-ak koefizienteen balioak erreferentziatzen dituen konbekzio naturalerako bezala<sup>[9]</sup>. Bero-fluxuaren transmisio norabidearen arabera, sabai-azalerarako  $\alpha_{cn,sabai}$  = 5 [W/m<sup>2</sup>K] da, pareta bertikaletarako  $\alpha_{cn,pareta}$  = 2,5 [W/m<sup>2</sup>K]



da, eta zururako  $\alpha_{cn,zorua} = 0,7$  [W/m<sup>2</sup>K] da. Balio hauek osagai bakoitzeko azaleraren arabera haztuz badira,  $\alpha_{cn} = 2,2$  [W/m<sup>2</sup>K]-eko batezbestekoa bero transmisio koefizientea lortzen da. Entsegu gelarako lortutako emaitza gehiagoko ordenako hiru aldiko da konbekzio naturala baino. Hau bat dator entsegu gelaren barnearen baldintzekin, haizagailu tangentialak behartutako konbekzioa produzitzen duen mugimendua sortzen dueneko. Eta asaldura honek ez luke oso garaia behar izango haizagailuaren potentzia minimora txikiagotutako dagoelako. Behin gainazaleko transmitantziaren erabateko emaitza baliozkotuta, itxituraren eta kalibratio hormaren azalerarako lortutako transmitantziarako batuketak emaitza baliokidea ematen duela egiaztatzea beste kontraste bat da. Kasu honetan aipaturiko batuketa  $H_{i,e} + H_{i,c} = 421,3$  [W/K]-eko da, erabateko emaitzaren % 7 bakarrik bereizten dela. Osagai bakoitzaren balioek konbekzio-koefizientea kalibratio hormaren azalerarako  $\alpha_{i,c} = 9,9$  [W/m<sup>2</sup>K]-eko ematen dute, eta  $\alpha_{i,e} = 5,9$  [W/m<sup>2</sup>K]-eko gainerako itxiturarako. Emaitza hauek entsegu gelaren baldintza fisiko errealekiko konkordantzia gordetzen dute ere, haizagailuaren kokapenagatik kalibratio hormaren barruko azaleraren gainean koefiziente handiagoak espero zen. Koefizienteak gainerako itxiturarako txikiagoa izan behar du eta koefiziente osorako lortutako emaitzara hurbildu, egiazta daitekeenez gero. Behin gainazaleko koefizienteak analizatuta pareten konduktantzien emaitzak ikuskatzera pasatzen da. 1 Kapituluaren  $H_e = 5,973$  [W/K]-eko itxituraren transmitantziarako estimatutako balioa lortzen da, ertz-efektuak normalizatutako analisi estatikoaren bitartez kontuan hartuz. Identifikazio prozesuan, lortutako emaitza oso hurbilekoa da, % 10,5en desbideratzearekin, kalkulu balioa egin dela ertz-efektuen sinplifikazioaren bitartez kontuan hartuz, emaitza ona dela iritz daitekeen. Kalibratio hormarako, bere transmitantzia estimatzen bada osatzen duten materialen ezaugarrien arabera, itxarondako balioa  $H_c = 0,570$  [W/K]-eko izango litzateke. Lortutako balioa goiko % 72,1 da. Emaitza hau da muntaketa-sistemagatik laginen karakterizazioan sortzen diren ertz efektuen lehen adierazle bat.

Emaitza analisisia bukatzeko, fluxuen irekitzeak ebaluatzeagatik geratzen da. Kalibratio entseguan zuzenketa-faktorea  $f_{ct} = 1,069$ -ko tiles-etarako lortzen da, entsegu desberdinetan zehar trukaturako energiako integratutako batuketaren bitartez, 3,3,4 atalean ikus daitekeenez gero. Identifikazio-modeloen bitartez lortutako balioa  $A_{guztia} = 1,054$ -ko da, beraz emaitzak bat datos. Irekitzeak deskonposatzen badira itxituraren tiles-ek neurtutako fluxuari buruzkoetan eta kalibratio hormaren azalera jarritako tiles-ek neurtutako fluxuan, efekturik handiena azken hauetan gertatzen dela ikusten da. Itxituran  $A_e = 1,022$ -eko da, ertz-efektuei aplikatutako zuzenketez egoki trukaturako fluxua neurtzea baimentzen dutela dioena, doikuntza txikia tiles-ek ez neurtutako azalera gatik behar izanez. Zuzenketa hau kalibratio hormaren kasuan handiagoa da,  $A_c = 1,141$ -eko balioarekin, baina PASLINK prozeduretan esandako zuzenketa maximo bezala onartutako % 20 barruan.

Kalibratio prozesu guztia eta modelo analisisia bukatuz, bi konklusio garrantzitsu nabarmentzea posible da. Lehena da itxitura zeharkatzen duen bero fluxuaren neurria egokitzen da, hortaz bai ertz-efektuen karakterizazio metodoa bai kalibratio prozesua baliozkoak dira. Hau egiaztatzea funtsezkoa da, probetak entsegu desberdinetan trukaturako dituzten bero fluxuaren neurrirako oinarria denez gero. Gelako modeloaren xehetasuna handitzerakoan doikuntza hobe lortzen da, estimatutako ezaugarri termikoko balio osoak mantenduz. Emaitza honek tiles-sistema osatzen duten taldeetako bakoitzeko portaera zuzena egiaztatzea baimentzen du. Bigarren konklusioa da entsegu konplexutasunaren eta laginen portaeraren errealitatea estudioaren azpian analizatzeko ahalmena arteko konpromisoa betetzen dituela. Nahiz eta 6 modeloak, konplexuenak,

gelaren portaera termikoa egoki erreproduzitzen du, 1 modeloak, sinpleenak, emaitza egokia helburu bererako sortzen du, entseguen konplexutasuna maximoan txikiagotuz, hortaz parametro-identifikazio sistemen potentzialtasun guztia laginaren karakterizazioan zentratzen da. Hau *PASLINK* zeldaren diseinuaren objektibo nagusia da, eta *EGUZKI* zeldaren puntuan jartzerena ere, eta egindako kalibrazio |estudioaren bitartez egiaztatzen da. Emaitza analisisian desbideratzerik handienak ezaugarri termikoetarako itxarondako balioen eta modeloez estimatutako balioen artean, laginaren karakterizazioan gertatzen direla ikus daiteke. Hau kalibrazio hormaren irudikapenerako planteatutako modeloen sinpletasunaren ondorio da. Lehen ordenako modelo kasu guztietan erabili da, nahiz eta probetan ematen den ertzeko efektua erreproduzitu ahal izateko modelo hau gutxiagia izan. Arrazoi horrengatik beharrezkoa da hurrengo atalean zehazten den estudio zabalagoa egitea, gelaren kalibrazio prozesua bukatzeari begira.

### 2.3.3 Kalibrazio hormaren modelo

*I SIC* editatutako dokumentazioan<sup>[9]</sup>, Nygaard-ek eta Madsen-ek baliotasuna kontzentratutako parametro modeloen hurbilketan zehazteko era erraza planteatzen dute, eta modeloen gutxienez beharrezko ordena horrela kalkulatu ahal izatea. Material homogeen kasu orokorraren, eta efektu ez linealik gabe abiatuz, zubi termikoak bezala, ertz-efektuak, etab..., eramateagatik bero transmisioak [2.50] ekuazioari jarraitzen dio, non  $T(x,t)$  tenperatura  $t$  unean eta  $x$  sakontasunera den, eta  $\alpha$  materialaren difusibitatea da. Ekuazio diferentzial partzial, lineal, eta denboran inbariantea da, dimentsio infinituko estatu bektorea ekartzen duena.

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} \quad [2.50]$$

Ekuazio honek soluzio analitiko konplexua du pareta lau inguru baldintzetarako denboraren domeinuan, baina bai soluzioa du Fourier-en domeinuan, non ekuazio diferentzial arrunta izatera pasatzen den, [2.51] ekuazioa, non  $s = j\omega$ , [2.52] soluzio orokorra aurkezten duela.

$$\frac{\partial^2 T(x,s)}{\partial x^2} = \frac{s}{\alpha} T(x,s) \quad [2.51]$$

$$T(x,s) = F_1(s) \text{Sinh}(x\sqrt{s/\alpha}) + F_2(s) \text{Cosh}(x\sqrt{s/\alpha}) \quad [2.52]$$

Entseguetan erregistra daitezkeen datuak bezalako dagozkie tenperaturei eta trukaturako gainazaleko fluxuei, lor daiteke aldagai hauen arabera era matrizialeko bero transmisio ekuazioaren erabakia [2.53] ekuazioa erabiliz.

$$\begin{bmatrix} T(x_0,s) \\ q(x_0,s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Cosh}[d\sqrt{s/\alpha}] & \text{Sinh} \begin{bmatrix} (d\sqrt{s/\alpha}) \\ (\lambda\sqrt{s/\alpha}) \end{bmatrix} \\ (\lambda\sqrt{s/\alpha}) \text{Sinh}[(d\sqrt{s/\alpha})] & \text{Cosh}[d\sqrt{s/\alpha}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T(x_d,s) \\ q(x_d,s) \end{bmatrix} \quad [2.53]$$

Ekuazio-sistemako kanpoko aurpegian fluxua bakantzen bada,  $q(x_d,s)$ , lor daiteke barruko aurpegiaren tenperaturaren bilakaera,  $T_1(s) = T(x_0,s)$ , tenperaturaren

bilakaerarekin kanpoko aurpegian,  $T_2(s) = T(x_d, s)$ , eta barruko aurpegiko fluxuarekin,  $q_1(s) = q(x_o, s)$ , erlazionatzen duen ekuazioa, [2.54] ekuazioa.

$$T_1(s) = G_1(s)q_1(s) + G_2(s)T_2(s) \quad [2.54]$$

Non  $G_1(s)$  barruko fluxuaren eta barruko tenperaturaren arteko transferentzia funtzioa da, eta  $G_2(s)$  kanpoko tenperaturaren eta barruko tenperaturaren arteko transferentzia funtzioa da, eta [2.55] balioak hartzen dute.

$$G_1(s) = \frac{\frac{R}{\sqrt{sRC}} \operatorname{Sinh}(\sqrt{sRC})}{\operatorname{Cosh}(\sqrt{sRC})} \quad [2.55]$$

$$G_2(s) = \frac{1}{\operatorname{Cosh}(\sqrt{sRC})}$$

Erresistentzia eta kapazitate termikoko parametroetako sarrerak,  $R$  eta  $C$ , baimentzen du [2.50] ekuazioaren erantzun dinamikoa erabaki errazeko ekuazio diferentzial arruntek osatutako  $N$  ordenako sistema linealaren bitartez hurbiltzea. Konbekzioko eta erradiazioko osagaiek lortutako eramate ekuazioari gehitzen badiote [2.11] adierazpenaren modelo lortzen da, eta lehen esan denez gero, izena eman ohi diola kontzentratutako parametro modeloari. Eramate prozesura itzuliz, hurbileko modeloak modelo errealekin bat egingo luke noiz  $N \rightarrow \infty$ . Baina aplikazio errealetan, eta modeloaren ordenaren muga parametro-identifikazio metodoak erabiliko orduan kontuan hartuz, baldin eta probetaren portaera irudikatzen badu egoki, ordena posible txikienarekin lan egitea beharrezkoa da. Hormaren ezaugarri dinamikoak zehatz datoz [2.50] ekuazioaren poloen eta zeroen bitartez, eta haiek kalkulatzeko era bat  $\operatorname{Sinh}(x)$  eta  $\operatorname{Cosh}(x)$  funtzioen produktueta seriezko garapena erabiltzea da, ikus [2.56] ekuazioa.

$$\operatorname{Sinh}(x) = x \prod_{n=1}^{\infty} \left( 1 + \frac{x^2}{n^2 \pi^2} \right) \quad [2.56]$$

$$\operatorname{Cosh}(x) = \prod_{n=1}^{\infty} \left( 1 + \frac{x^2}{[(n - 1/2)\pi]^2} \right)$$

Garapen hauek barruko fluxuaren transferentzia funtzioan ordezkatzuz,  $G_1(s)$ , [2.55] ekuazioa, [2.57] ekuazioak lortzen dira poloetarako eta zeroetarako.

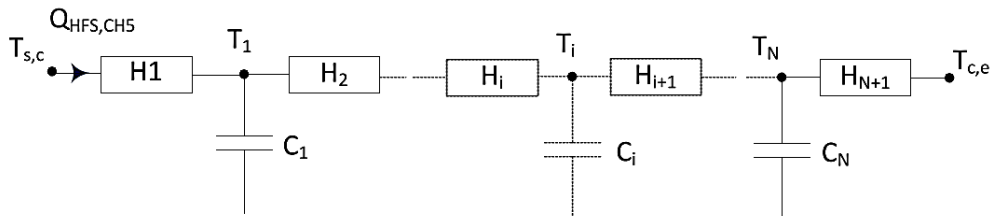
$$z_n = -\left( \frac{n\pi}{\sqrt{RC}} \right)^2 \quad [2.57]$$

$$p_n = -\left( \frac{(n - 1/2)\pi}{\sqrt{RC}} \right)^2$$

Non produktu-seriearen maiztasun muga kalkula daitekeen  $N$  ordena modelo erreproduzitzeko gai dena, [2.58] erraz ekuazioaren bitartez.

$$\nu = \frac{|z_n|}{2\pi} \rightarrow N = \sqrt{\frac{2RC\nu}{\pi}} \quad [2.58]$$

Hurbilketa honek modeloaren ordenaren,  $N$ , goiko muga-balioa kalkulatzeko baimentzen du, menderatuta dagoen asaldura-maiztasunen arabera. Kasu errealetarako, tenperaturako eta fluxurako neurtutako aldagaietako zaratako osagaia dagoenetarako, sistemaren portaera irudikatzeko beharrezko modeloaren ordena estimatutakotik beherakoa da. Kalibrazio hormak konfigurazio oso simple eta homogeneoa dauka, EPS-nukleoak eta bi kanpoko itxierako kontratxapatu zur plakak eratuta. Honek erresistentziako eta kapazitate termikoko balioak estimatu ahal ditzala egoki baimentzen du. 2. Kapituluaren esaten diren materialen ezaugarri termikoen datuak erabiliz, modeloaren ordenak  $2 \leq N \leq 12$  izan behar du lortzen da. Beheko balioa  $T = 24$  [h]-ko periodoa erabiltzerakoan lortzen da, kanpoko asaldurei dagokiela, eta goiko balioa,  $T = 0.5$  [h]-ko periodo bat erabiltzerakoan lortzen da, ROLBS errutina konfiguratzeko den tarte oinarriari dagokiela, maiztasun errutina altuagoa dela.

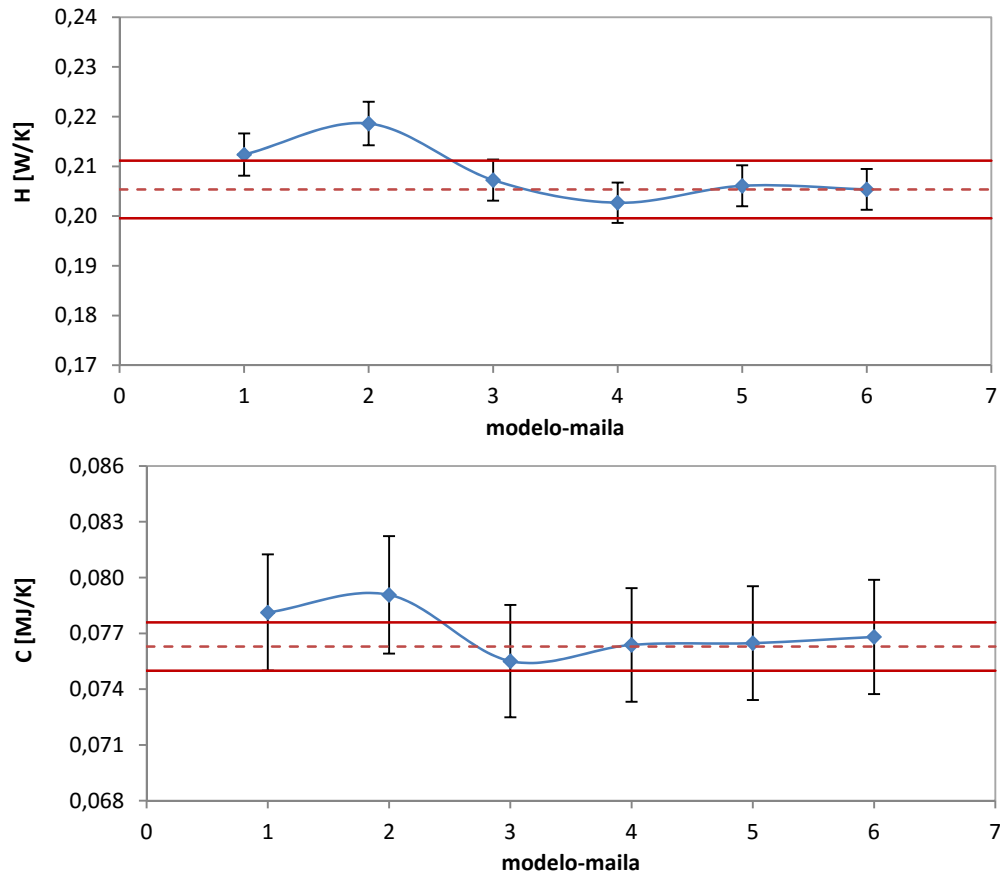


2.51 Irudia – Kalibrazio hormaren zona zentralerako dimentsiobakarreko modelo

N	1	2	3	4	5	6	media	$\sigma$
H [W/K]	0.212	0.219	0.207	0.203	0.206	0.205	<b>0.205</b>	<b>0.006</b>
C [MJ/K]	0.078	0.079	0.076	0.076	0.076	0.077	<b>0.076</b>	<b>0.001</b>
u [%]	3.4	6.5	2.9	2.3	2.4	2.0		
	2.4	3.6	2.0	2.1	2.2	2.7		

2.9 Taula – Transmittantzia eta kapazitate termikorako identifikazio prozesuaren emaitzak kalibrazio hormaren zona zentrolean

Kontuan hartu behar da modeloaren ordenak eragin handia duela parametro-identifikazio metodoak erabiltzeko orduan, jada bezala esan da. Ordena garaiko modeloek aipaturiko identifikazioa zailtzen dute. Beraz, beharrezkoa da laginaren portaera irudikatzeko modeloaren ahalmenaren arteko konpromisora iristea, eta bestalde, kopuruarekin ahalik eta txikiena identifikatzeko parametro gisa lan egin ahal izatea, emaitza fidagarri eta egingarriak lortzea baimen dezana. Arrazoi honengatik, horma osoaren zuzeneko analisiaren aurreko fase bezala, estudioa egiten da ordena hazkorreko probetako zona zentralerako modeloak konparatuz, non fluxua dimentsio bakarrekoa den eta tiles-taldeetako CH5-ak erregistratuta dagoen. Modeloak planteatzen dira sarrera bezala gainazaleko tenperaturak erabiliz, eta tiles-en fluxua objetibo funtzioa bezala, ikus 2.52 Irudia. 2.11 Taulan ROLBS errutinaren analitiko lortutako identifikazio-prozesuaren emaitzak jasotzen dira, entsegu zorrotzagoko errutina denez gero, eta modeloaren ordena hazkorren arabera.



2.52 Irudia – Kalibrazio hormaren fluxu zentralerako modeloaren ordenaren arabera emaitzak

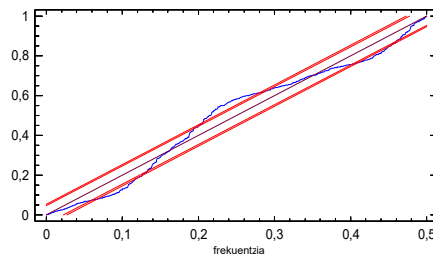
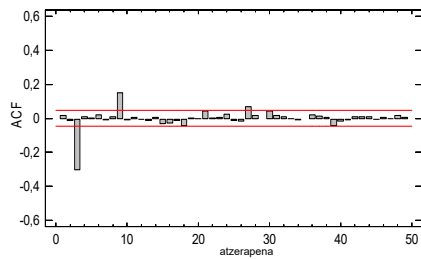
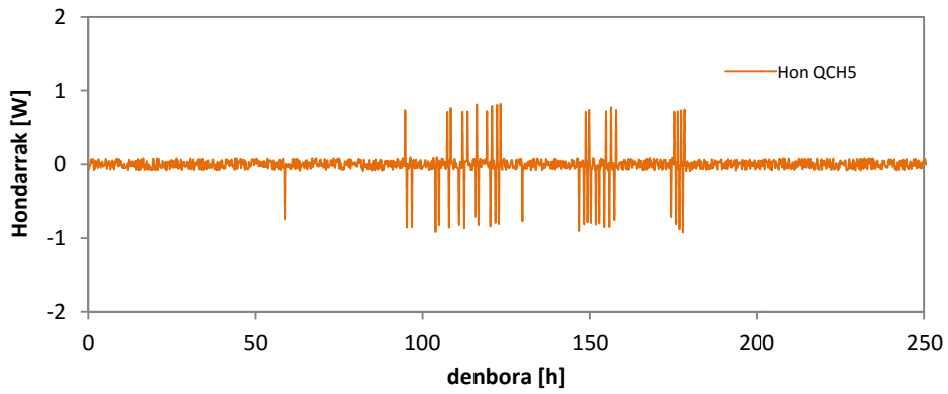
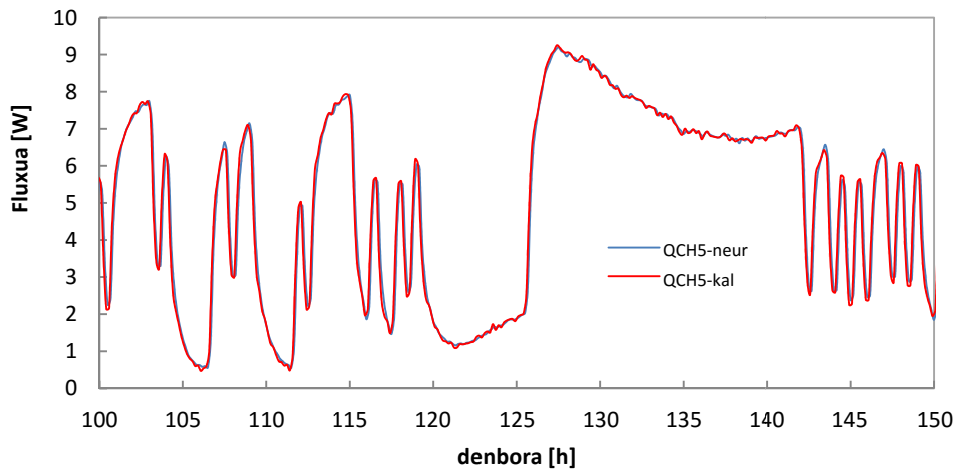
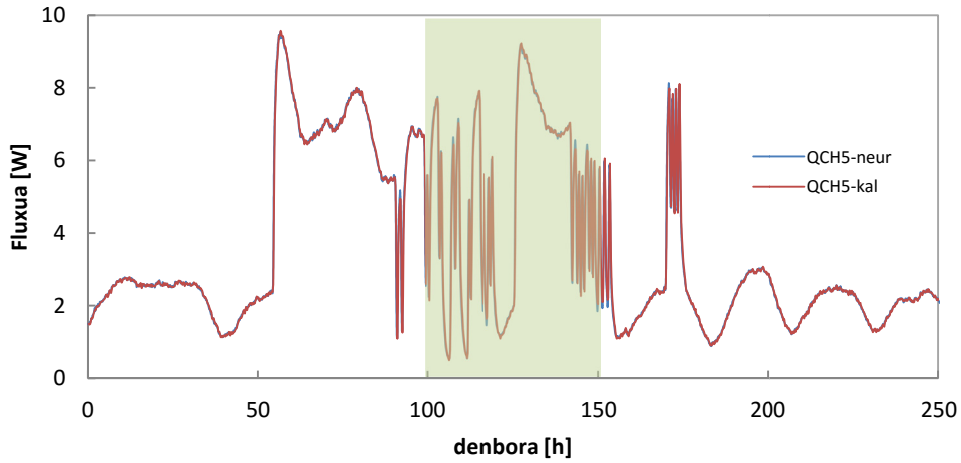
	H [W/K]	C [MJ/K]
PULTSUA	0.611	0.277
PRBS	0.607	0.261
ROLBS	0.598	0.274
<b>media</b>	<b>0.605</b>	<b>0.270</b>
<b><math>\sigma</math></b>	<b>0.004</b>	<b>0.005</b>

2.10 Taula – Kalibrazio hormearen ertz zonaren transmitantzia eta kapazitate termikorako identifikazio prozesuaren emaitzak

	S [m <sup>2</sup> ]	H		C	
		[W/K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[MJ/K]	[MJ/m <sup>2</sup> K]
ZENTROA	2,46	0,205	0,083	0,076	0,031
ERTZEA	4,77	0,605	0,127	0,270	0,057

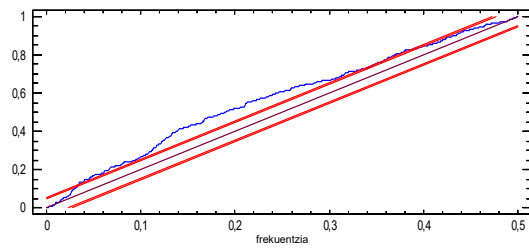
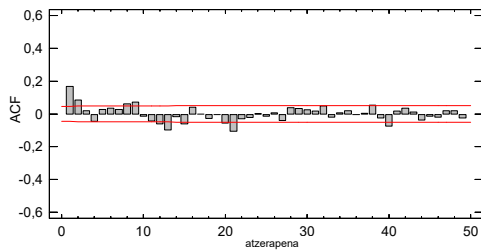
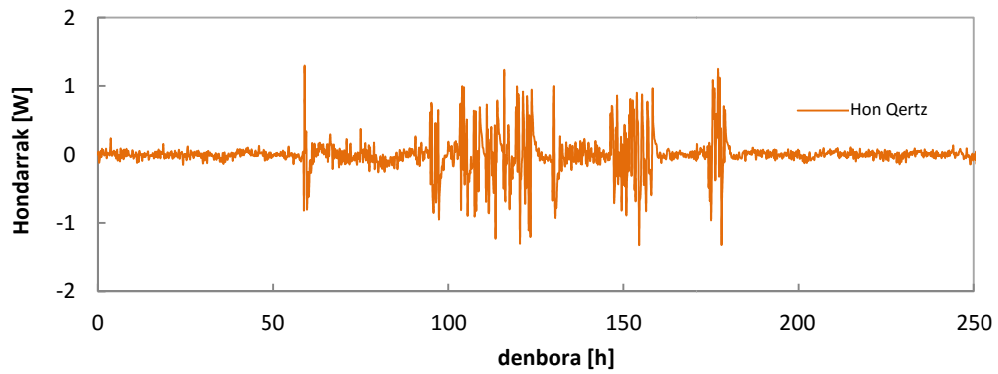
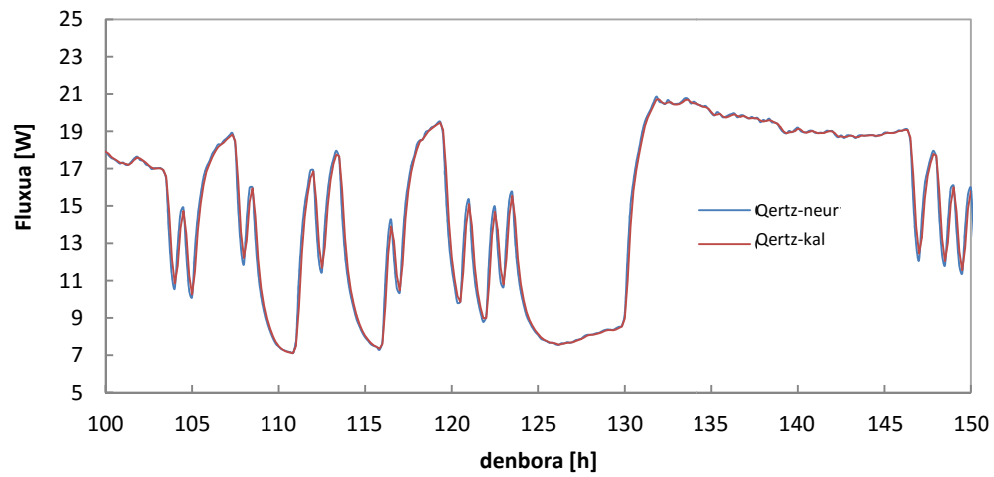
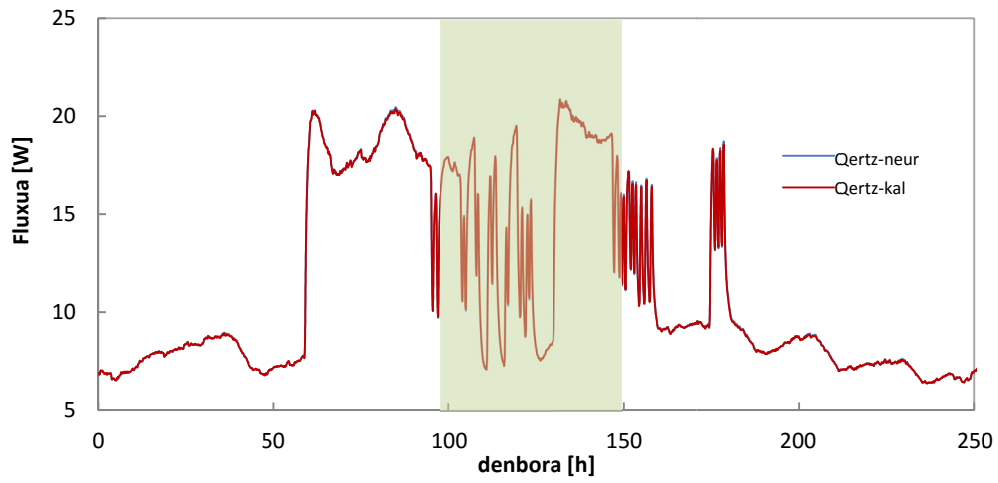
2.11 Taula – Kalibrazio hormaren karakterizazio ertz efektuaren analisia

Modelo desberdinen emaitza guztiak A Eranskinean jasotzen dira. 2.53 Irudian transmitantzia eta kapazitate termikoa kalkulatuak bilakaera era grafikoan erakusten da, batzaz besteko balioarekin eta emaitza multzoaren desbideratze estandarri buruzko ziurgabetasun-tarteekin batera.



2.53 Irudia - ROLBS errutinarako kalibrazio hormaren dimentsiobakarreko modeloaren analisisia





2.54 Irudia – ROLBS errutinarako kalibratio hormaren ertz efektuen analisisa

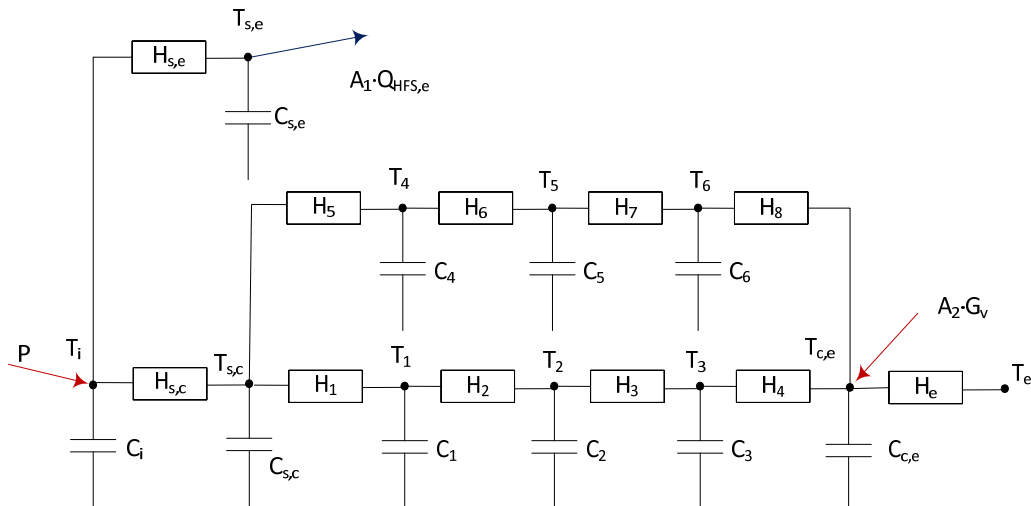
Nahiz eta lehen eta bigarren ordenako eredu matematikoen arrazoizko emaitzak eman, soilik hirugarren ordenako ereduak erabiliz lor daitezke akatsa %3ko baino txikiagoa izatea. Hondarrak aztertzen badira, halaber, hirugarren ordenako ereduak erabiliz lortzen da zarata zuriaren. 2.53 Irudian, ereduari ROLBS-a errutina aplikatzen zaion kasuan lortutako emaitzak erakusten dira. Helburua ahalik bezain eredu sinpleena lortzea denez, hirugarren ordenako ereduak aukeratzen da. Kalibrazio hormako zona zentrala aztertu ondoren, hurrengo pausua hertz-efektuen garrantzia erlatiboa kuantifikatzea da. Horretarako, ertzeko tile-taldeetan zeharreko fluxuen arteko batuketa erabiltzen da, hau da, CH1 kanaletik CH4 kanalera. 2.54 Irudian, ertzaren zonak aztertzeko erabilitako ereduaren emaitzak erakusten dira. Nahiz eta probeta eusten duen egituraren aurremarko isolatzailea modu desberdinean eraikia izan behelaldeko zonaldean, eta alboetako fluxuen balio baxuagoa izan goikaldeko eta behelaldekoarekin alderatuz, ikus 2.2.2 atala, ereduak potaera bere osotasunean onargarria da. Hondarrak, balio txikia dute magnitudea kontutan izanik, eta autokorrelazioko eta periodogramako balioek erakusten duten portaera zarata zuriari dagokionaren oso antzekoa da. 2.12 Taulan ikus daitezke transmitantzia eta bero-ahalmenari dagozkion balioak ertzetarako, errutina entseguak aztertu ondoren. 2.13 Taulan kalibrazio hormari dagozkion ezaugarri propietate termikoen balio totalak ematen dira. Bero-transmitantziaren eta bero-ahalmenaren balioak ertz-efektuak kontutan izanik  $H_c = 0,811$  [W/K] eta  $C_c = 0,347$  [MJ/K] dira. Balio hauek, kalibrazio-hormako lehen ordenako ereduarekin lortutako balioekin bat datoz, ikus 2.8 Taula, non  $H_c = 0,980 \pm 0,086$  [W/K] eta  $C_c = 0,309 \pm 0,066$  [MJ/K] diren. Emaitzen arteko desberdintasunak, alde batetik ereduaren ordenaren aukeraketatik datoz, eta bestalde, eta neurri handiagoan, ertz-efektuen azterketaren egokitasunetik. Beraz, efektu hau entseguak erabiliz bereiztea funtsezkoa da laginen propietate termikoen emaitza onak lortu ahal izateko.

	$Q_{hfs\_totala}$ [W]	$Q_{hfs\_ch5}$ [W]	$(T_{se,a}-T_e)$ [°C]	$L_{ertz\_kh}$ [m]	$\Psi_{kh}$ [W/mK]
PULTSUA	13,13	9,19	17,39		0,021
ROLBS	14,90	10,33	18,24	10,64	0,024
PRBS	14,08	10,08	15,99		0,024
				media	<b>0,023</b>
				$\sigma$	<b>0,001</b>

2.12 Taula – Ertz-efektuko koefiziente linealaren kalkulu esperimentalak

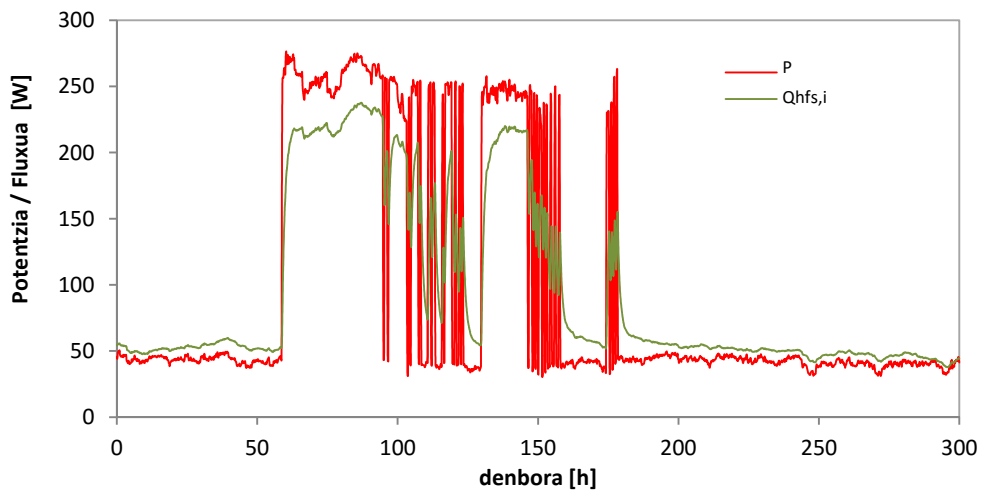
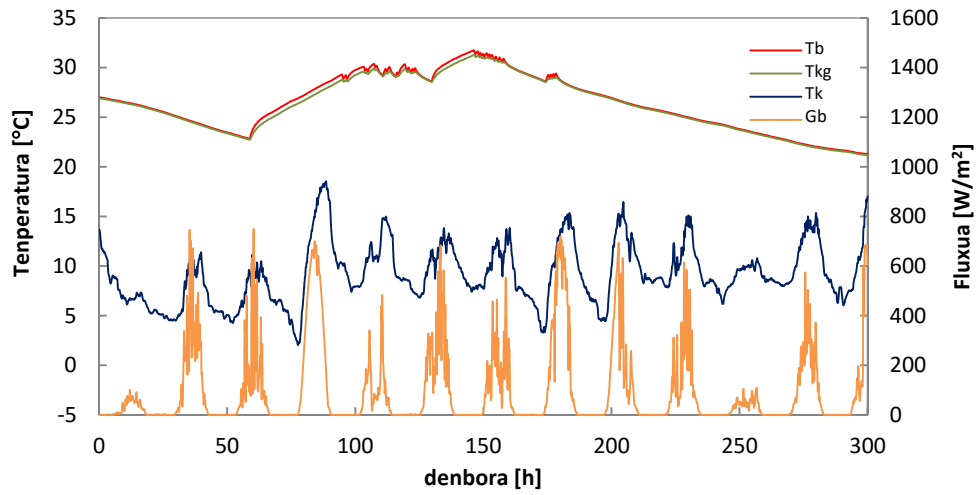
2.13 Taulan aurkeztutako emaitzak berriro ere errepasatzen badira, ertz-zonako transmitantzia zona zentralakoa baino %52 handiagoa da, zona zentralen fluxuak dimentsio bakarreko portaera duelarik. Ertz efektuek pisu adierazgarria dute laginaren portaeran. Zubi termikoen efektuen garrantzia, laginaren isolamendua handituz handitzen da. Entsegatutako laginaren isolamendua 40 [cm] denez, balio hau eragin tartearen goi mugari dagokio. Kontuan hartu behar da, entsegu konbentzionalak egiten direnean ertz efektuei buruz ez dela informaziorik jasotzen kalibrazio hormaren kasuan bezala. Eta beraz, entsegu metodologian, probetak trukatzeko dituen fluxuak ondorioztatu behar dira entsegu gelaren barruko baldintzen neurriaren bidez, sartutako potentziarekin eta itxituragatik ihes egiten duen fluxuarekin batera. Arrazoi honengatik, beharrezkoa da estudio modeloak probetak egoki lehenik neurtutako aldagaiekin bereizteko gai izatea. 2.1.3 atalean ertz-efektuaren kalkuluko hurbileko metodoa erakutsi da. [2.9] eta [2.10] ekuazioak erabiliz ertz-efektuaren koefiziente lineala kalkulatu da,  $\Psi$ . Kalibrazio hormarako 2.15 Taulan esandako emaitzak lortzen dira. Ertz-koefizientetik lortutako batzuekiko balioa  $\Psi = 0,023 \pm 0,001$  [W/mK]-eko da. Balio hau

erabilgarria da aipaturiko efektuak estimatzeko, lehen esan den bezala, baina ez daukan *PASLINK* entseguak behar duen beharrezko zehaztasunik. Parametro-identifikazio erremintan potentzialtasuna aprobetxa daiteke ertz-efektuak era egokiagoan kuantifikatzeko. 2.56 Irudian entsegu baldintza konbentzionalak kalibrazio hormarako irudikatzen diren modelo erakusten da.

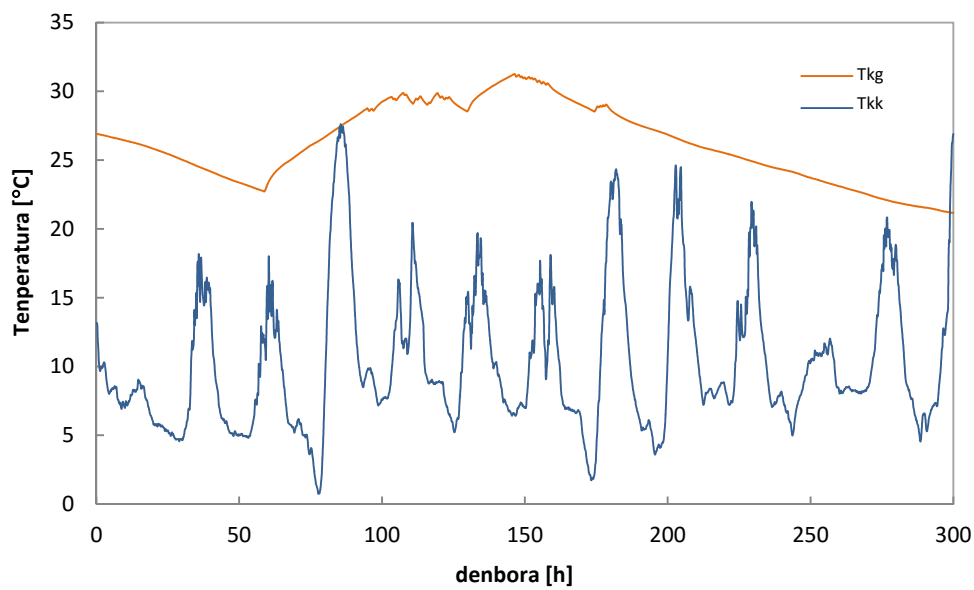


2.55 Irudia – Kalibrazio hormarako karakterizazio modeloa

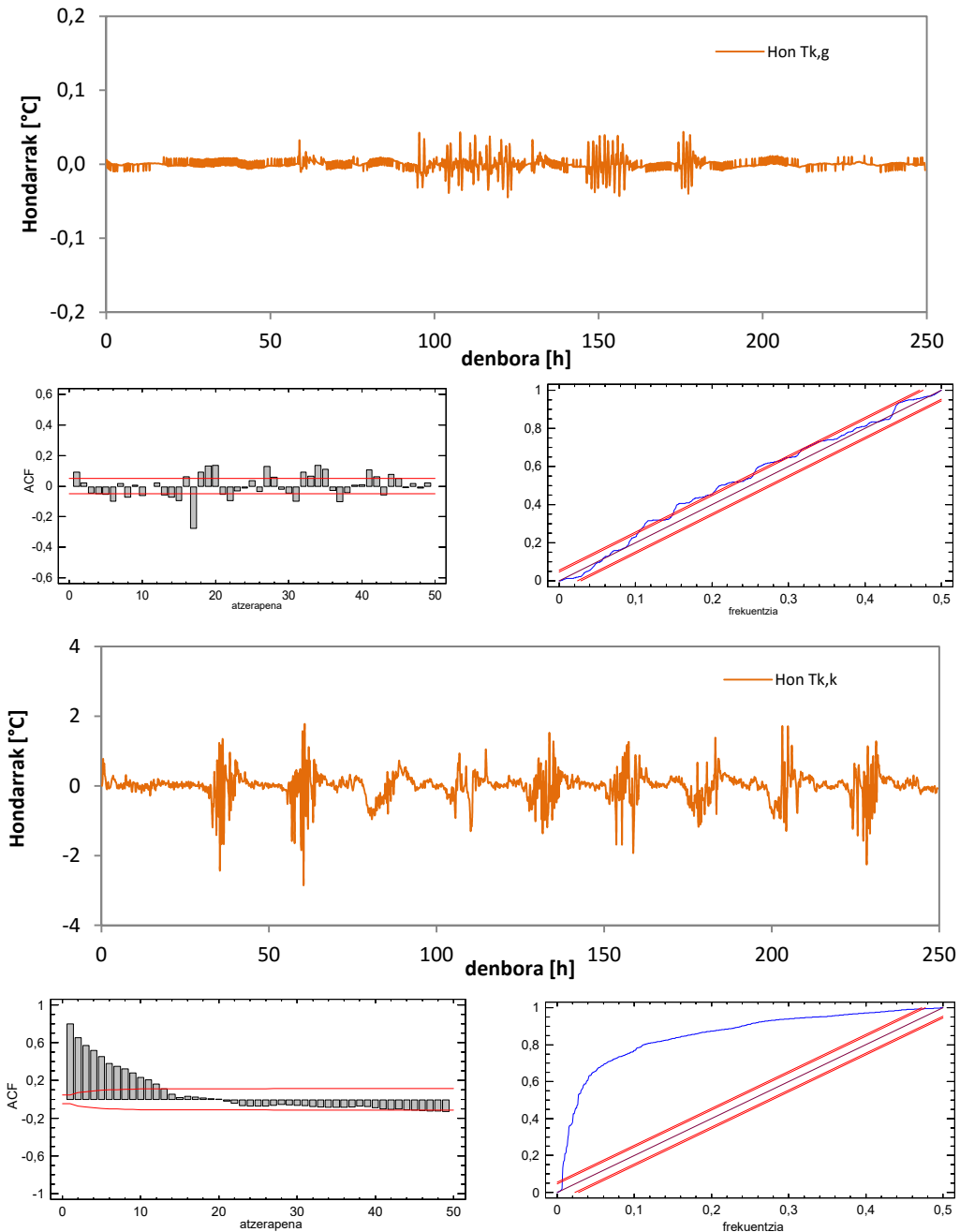
Modelo honetan sarrerak diren aldagaiak: berokuntza potentzia, itxituraren tiles-en fluxua, kanpoko tenperatura, eta azalera bertikalaren gaineko eguzki-erradiazioa,  $[P, Q_{HFS,e}, T_e, G_v]$ . Eta modeloaren helburuak diren aldagaiak: barne aire tenperatura, itxituraren azalera tenperatura, eta kalibrazio hormaren gainazaleko barruko eta kanpoko tenperaturak,  $[T_i, T_{se}, T_{s,c}, T_{c,e}]$ . *ROLBS* errutinarekin adibide bezala jarraituz, 2.57 Irudian eta 2.58 Irudian sarrera-aldagaiak erakusten dira, eta helburu-funtzioak, hurrenez hurren. Kalibrazio hormaren analisirako, gelara berezko parametroen balioak libre uzten dira eta gero kalibrazio prozesutik lortutakoekin konparatzen dira. Honela identifikazio-erremintan doikuntza prozesua ikasitako ezaugarriak zehazteko hobetzen da. Bestalde, hau da gainerako *EGUZKI* zeldaren bitartez lagin karakterizazio entseguak erabiltzen den metodologia. Honela kalibrazio hormaren estudioaren emaitzek garatutako entsegu prozesu guztia egiaztatzea baimentzen dute. 2.59 Irudian gainazaleko tenperaturen hondarren ebaluazioa erakusten da. Gainazaleko barruko tenperaturarako,  $T_{s,c}$ , lortutako hondarrek zarata zuri-patroia daukate, modeloaren eta entseguan zehar neurtutako datuen artean desbideratze oso txikiarekin. Gainazaleko kanpoko tenperaturarako,  $T_{c,e}$ , hondarrek autokorrelazioko patroia argia daukate, analisi zehatzagoa eskatzen duela. Hondar-grafikoan portaera periodikoa garbi ikus daiteke. Autokorrelazio diagramak egiaztatzen du, 20 [h]-ko ordenaren aldizkakotasuneko kide nagusia antzematen den, eta 10 [h]-ko hurbileko aldizkakotasunarekiko beste txikiago bat. Autokorrelazio-koefizienteetako zeinua beste adierazle bat da. Balioak positibo edo negatiboak dira mailakako eran, baina txandaketarik gabe. Honen dio modeloak gainazaleko tenperatura gainestimaten edo gutxiensten duela era errekurtsiboan. Osagai hauek integratutako periodograman ikus daitezke ere, argi desbideratzen dena diagonaleko, behe-maiztasunetako osagai handiagoez. 2.60 Irudian modeloak kalkulaturako aurrean neurtutako tenperatura konparaziozko eran erakusten da. Modeloa neurtutako datuen balio maximoetara ez dela heltzen ikus daiteke, eta balio altuagoak iragartzen ditu tenperatura minimoko periodoetan.



2.56 Irudia – ROLBS errutinaren kalibrazio hormaren estudiorako sarrera aldagaiak



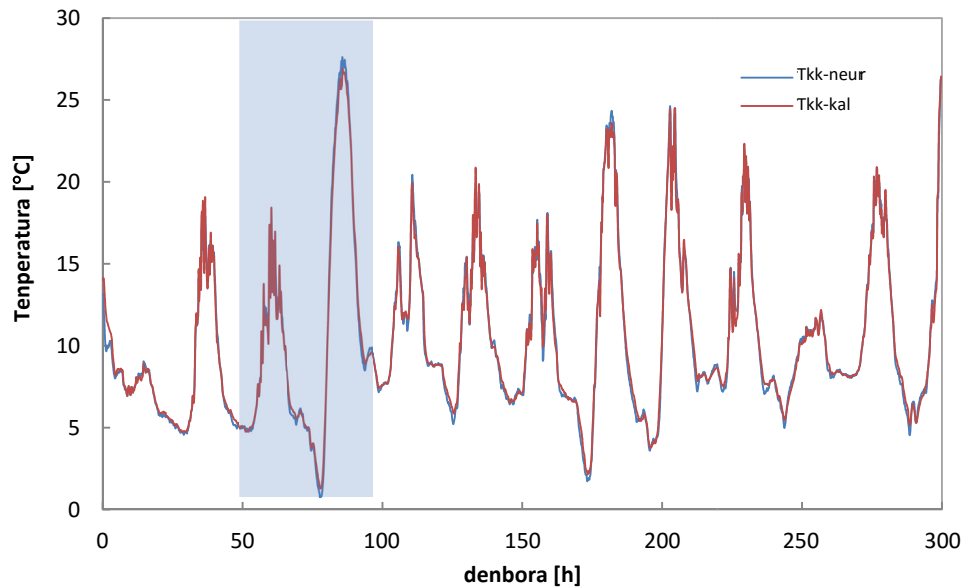
2.57 Irudia – ROLBS errutinaren kalibrazio hormaren estudiorako helburu aldagaiak



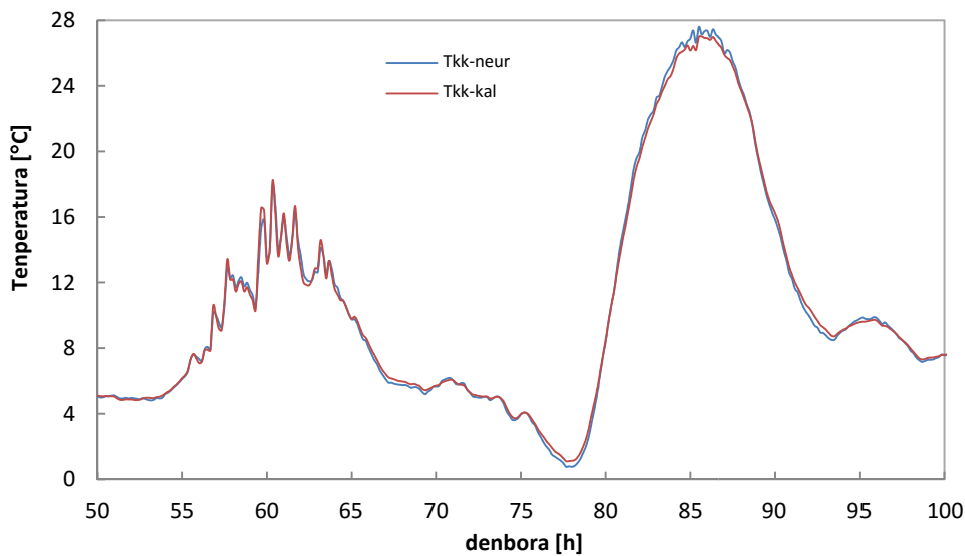
2.58 Irudia – ROLBS errutinaren kalibrazio hormaren gainazaleko tenperaturen hondar analisisia

2.61 Irudian 50 [h]-ko periodo bateko xehetasun gehiagorekin erakusten da. Denbora-itarte honetan tipoa bi egun dauzka, lehena lainotutako egun bati dagokio, eta bigarrena eguzki-eragin altuarekiko egun garbirako. Estima daiteke nola den 50 [h]-etako 70 [h]-etara, lainotutako egunarekin dagoenetara, tartean tenperaturen doikuntza ona doan. Hurrengo tartean, egun garbiari dagokionean, desbideratze maximoak gertatzen diren periodoan da, bat ez etortze hauek gau-puntuetan eta eguzki-irradiantzia maximoko puntuetan gertatuz. Temperatura altuetako akatsa azal daiteke sentsorearen gaineko eguzki-erradiazioaren efektua bezala. Nahiz eta Pt100 zundak, lagineko azalerarekiko kontaktu ona ziurtatzeko, eroankortasun pastaz jarri, eta emisibitate baxuko zinta bat bere azalera jartzen zaie,

zundara berezko beroketa eguzki-hartzeagatik txikiagotzeko, efektu honek ez du lortzen era osoan arintzea, modeloaz egiaztatzen den bezala. Gainberotze hau ez da 1°C-a baino gehiagokoa, hondarren desbideratze maximoetan ikus daitekeen bezala, eta gertatzen da entseguaren iraupen osoaren kontrako denborako periodo motzetan, eta gainera ehuneko txikia irudikatzen du laginaren estudiorako erabilitako gainerako datuei buruz. Bestalde, tenperatura baxuetan, gau-periodoei buruzko, gertatzen diren desbideratzeak azal daitezke gau garbietako uhin luzeko truke radiativoaren bitartez. Laginaren azalera tenperatura eta kanpoko aireko tenperatura konparatzen badira, ikus 2.62 Irudia, azalera kanpoko giroa baino gehiago hozten dela ikusten da. Efektu hauek zuzen daitezke, eta gainazaleko tenperaturen neurri zehaztasuna hobetuta, etorkizuneko aldaketetan eta zeldaren egokitzapenetan.

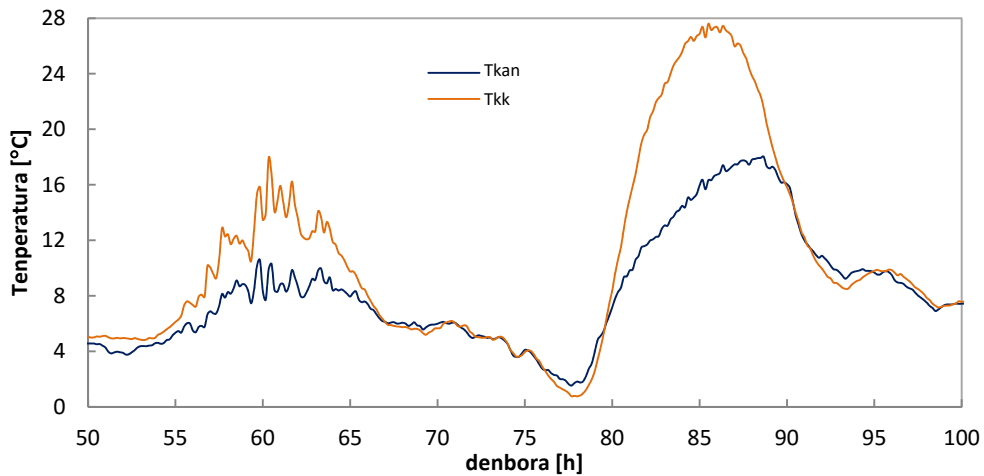


2.59 Irudia – ROLBS errutinarako konparaziozkoa modeloaren eta neurtutako balioen arteko kalibrazio hormaren gainazaleko kanpoko tenperaturako



2.60 Irudia – ROLBS errutinarako kalibrazio harresiaren kanpoko tenperaturaren kalkuluko modeloaren erantzunaren zehetasuna





2.61 Irudia – ROLBS errutinarako aireztatutako giro-temperaturaren eta kalibrazio hormaren gainazaleko kanpoko temperaturaren bilakaera

Zunden gainberotze efektua trata daiteke azalerako temperatura erreala egoki estutzea baimentzen duten modelo egokiez, baina oraingoz lan honen garrantzirik irteten direna. Uhin luze-trukeari dagokionez, neur daiteke zehaztasun pirgeometro bat erabiliz, lagineko azaleratik galdutako bero fluxua neurtzea baimen dezana, eta hura modeloaren analisisan gehiago osagaia bezala sartzea. Planteatutako alderdiengatik, arreta bereziak gainazaleko kanpoko temperaturaren doikuntzetarako prest egon behar da, bere konplexutasunagatik. Doikuntzaren baliotasuna ebaluatzeko era bat gainazaleko temperaturak eraginda zuzenki dauden parametroak analizatzea da. Parametro hauek dira: eguzki-irekitzea,  $A_{Gv}$ , eta kanpoko giroarekiko bero truke koefizientea,  $H_e$ .

$$\begin{aligned}
 H_e &= h_c + h_r \\
 h_c &= 4 + 4v \\
 h_r &= 4\varepsilon\sigma T_m^3
 \end{aligned}
 \tag{2.59}$$

Parametro identifikazio estudioan ROLBS errutinarako  $A_{Gv} = 0,298$ -ko eguzki-irekitze balioa lortzen da. Emaitza hau koherentea da kalibrazio hormaren kanpoko azalera kolore zuriko margotuta dagoela kontuan hartuz, eta erreferentzien arabera<sup>[405]</sup>, tonalitate honekin azalerek uhin-luzeretan motza absortibitate  $0,2 < \varepsilon < 0,5$ -en artean aurkezten dute, zuri garbitik kolore argietara doazen tonalitateetarako. Kanpoko giroarekiko bero truke koefizientearen kasuan,  $H_e = 21,098$  [W/m<sup>2</sup>K]-eko balioa lortzen da. Emaitza hau ebaluatzeko eraikuntzako gainazaleko kanpoko erresistentziaren kalkulurako normalizatutako modelo hartzen du erreferentzia bezala<sup>[19]</sup>, ikus [2.59] ekuazioa. Non  $T_m$  azaleraren eta bere ingurunearen temperatura batez bestekoa den. Modelo simple honetan konbektzio-koefizientea airearen abiaduraren arabera zehazten da, eta erradiazio-koefizientea [2.60] hurbilketaren bitartez lortzen da, zeinek  $e < 0,02\%$ -tatik beherako akatsa laneko ingurune-temperatura mailarako egiten duen.

$$\begin{aligned}
 (T_{sc}^4 - T_e^4) &\cong 4T_m^3 \cdot (T_{sc} - T_e) \\
 e &= \frac{2 \cdot (T_{sc} - T_e)}{T_m^2}
 \end{aligned}
 \tag{2.60}$$

Entsegu periodorako erregistratutako haize-abiadura batezbestekoa de  $a = 2,6$  [m/s]-ko da, eta erradiazio-tenperatura batezbestekoa  $T_m = 282,7$  [K]-eko da.  $\varepsilon = 0,3$ -ko azaleraren emisibitatea hartuz, eguzki-irekizetik lortutako balioen arabera, kanpoko beroko transferentzia koefizienterako  $H_e \approx 16$  [W/m<sup>2</sup>K]-eko estimua lortzen da, beraz modeloan lortutako balioak arrazoizkoak dira. Behin balioak berez gainazaleko tenperaturak eragindako parametroetako ebaluatuta, oso aspektu garrantzitsua bien arteko korrelazioa ebaluatzea da, bi parametro erabat elkartu direnez gero. Modeloarengan lortutako korrelazio-koefizientea  $COR_{H_e-A_{Gv}} = 0,194$  da, unitatetik urrunduta, lortutako balioen arteko interrelazioa ez dagoenak, modelo baliozko hartzen den. Kalibratio-harresi modeloaren ebaluazioan lortutako emaitzak, entseguetan erabilitako ohituretako multzorako, emaitzak baliozkoak bezala hartzea baimentzen du, nahiz eta lehen esandako mugak kontuan hartuz. 2.13 Taulan lortutako azkeneko balioak erakusten dira.

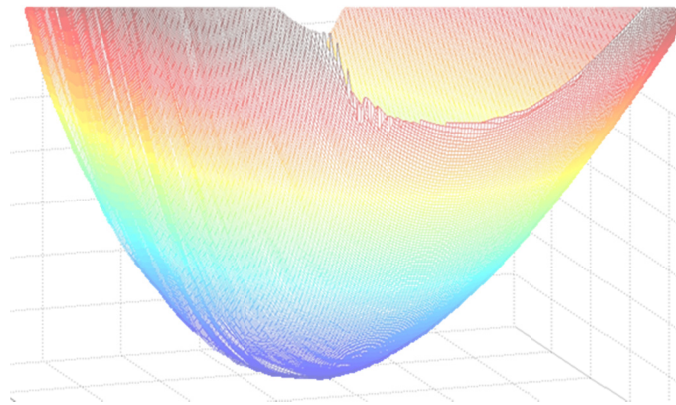
	zentroa		ertza		$A_{Gv}$ [-]	$H_{ce}$ [MJ/K]
	H [W/K]	C [W/m <sup>2</sup> K]	H [MJ/K]	C [MJ/m <sup>2</sup> K]		
PULTSUA	0.215	0.064	0.625	0.266	0.321	19.545
PRBS	0.196	0.084	0.648	0.285	0.265	22.986
ROLBS	0.224	0.063	0.633	0.245	0.298	21.098
media	<b>0.212</b>	<b>0.070</b>	<b>0.635</b>	<b>0.265</b>	<b>0.295</b>	<b>21.210</b>
$\sigma$	0.014	0.012	0.012	0.020	0.028	1.723
erref	0.205	0.076	0.605	0.270		
Des [%]	3.1	-8.0	4.9	-1.8		

2.13 Taula – Kalibratio hormaren karakterizazio estudioaren azkeneko emaitzak

Estudio hau azkeneko pausoa da gelaren kalibratio prozesuan. Egiaztatzen da *PASLINK*-a entseguaren jarraibide orokorrekin, bere aplikazioa eta *EGUZKI*-a zeldan puntuan jartzea, ikasitako probeten ezaugarri termikoak egoki bereiztea baimentzen dutela. Entsegu gelaren baldintza homogeneoek, zeldaren itxiturak trukaturako bero-fluxuen neurketa egokiaek, entsegu-errutinak, eta modeloek eta parametro-identifikazio erremintek, emaitza fidagarriak sortzen dituzte. Kalibratio horman transmitantziaren batezbestekoan desbideratzea % 3tatik beherakoa dela ikusten da, eta nola iruditzen diren entsegu-instalazio guztirako berezko ertz-efektuak egoki. Kapazitate termikoaren kalkulari dagokionez, neurtzeko parametro konplexua, emaitzek % 10etatik beherako desberdintasunak dituzte, barne kalibratio-harresia den bezala bereizteko lagin hain konplexuan, kapazitate termiko gutxi eta isolamendu asko dituegatik. Gainera, entseguak baimentzen du era fidagarrian fatxada soluzioen portaera termikoaren estudioarako funtsezko beste parametro batzuk zehaztea, eguzki-irekitzea eta gainazaleko kanpoko beroko truke koefizientea diren bezala. Nahiz eta kalibratio hormaren estudioak emaitza positiboak eman, oso lagin konplexua izanez, bestalde, bereiztea oso kontrolatutako egoerako helburua da ere. Ezin da eduki gainerako entseguetan kontraste hain fidagarriko informazioa laginak trukaturako bero-fluxuei buruz. Arrazoi honengatik, aireztatutako fatxada lagin entsegu jarraitu baino lehen, *IQ-Test*-a izena emandako trazabilitate-entsegua egiten da, egiaztatzea eta karakterizazio termikoko entseguko metodologia esperimentalaren ziurgabetasuna zehaztasun handiagoarekin definitzea baimentzen duena.

# 3 Kapitulu

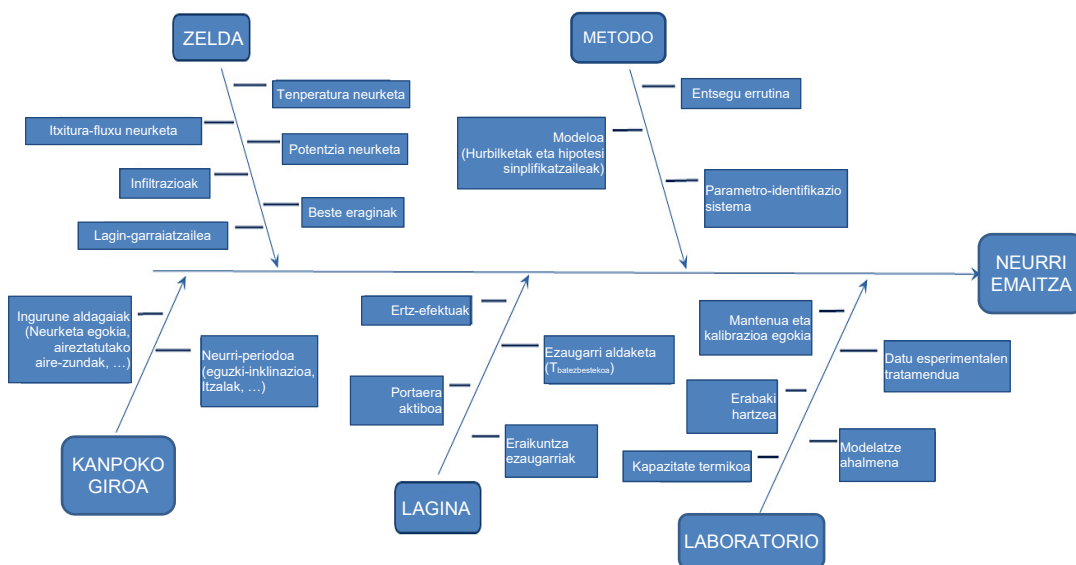
## *IQ-Test trazabilitate entsegua*





### 3.1 IQ-Test trazabilitate entsegua

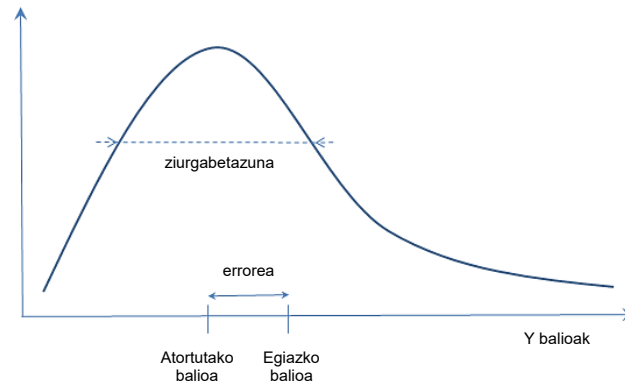
Edozein ikerketa prozesu esperimentaletan, beharrezkoa da entseguko neurketa eta emaitzak ziurgabetasun azterketa bat erabiliz osatzea, horrela, bere baliotasuna eta aplikazio-tartea definitu ahal izango baitira. Ziurgabetasun kontzeptuak emaitzen kalitatea balioesten du, eta funtsezko erreminta da espezifikazio eta prozedura batzuei dagozkien adostasuna adierazteko. Neurketa-prozesuaren azterketak errore-kausa kopuru maximoa identifikatu behar du, hauen balioak, balio-tarte onargarriaren barruan daudela kontrolatuz eta bere efektua emaitzan adieraziz. 3.1 irudian, *PASLINK* prozedurako kausa-efektua diagrama aurkezten da. Diagraman honetan entseguko ziurgabetasun iturriak zeintzuk diren adierazten da.



3.1 Irudia - *PASLINK* entsegu prozeduraren factor analysisa

Entsegu-metodologiarekin lotutako ziurgabetasunaren estimuak bai alderdi teknikoetako bai antolatzaileetako ebaluazioa eskatzen du. Hots, entseguko prozesu teknikoak zehazki definituta egon behar dute eta bere irismenak esperimentuaren eremu guztia hartu behar du bere gain, eta emaitzak egiaztatu behar dira aipaturiko entsegua burutzen duten zentru multzoan. Edozein entsegu prozedurak, baita ere *PASLINK* prozedurak, neurketak egiteko baliabideak behar ditu, zeintzuen ziurgabetasuna kalibrazioaren bitartez mugatzen den<sup>[270,271]</sup>, baina azpiprozesuak ere behar ditu, adibidez parametro-identifikazio metodoak, hauen ziurgabetasunaren definizioa konplexuagoa izanik. Honi, bien arteko interrelazioa gehitu behar zaio: neurketa-aparatu bakoitzaren neurketa-errorea nola esleitzen zaion laginaren propietatearen estimazioaren ziurgabetasunari, estimazio hau identifikazio metodoen bitartez egin denean. Instrumentazioarekin lotutako ziurgabetasunaz gain, kontuan hartu behar da entseguko baldintzek ere eragina dutela ikerketaren bitartez lortu nahi den magnitudearen balioaren gain. Baldintza hauek entsegu-metodoaren parte dira, eta ziurgabetasunari erreferentzia egiterakoan argi eta garbi zehaztuak izan behar dute, emaitza erreproduzigarrien lorpena entsegu-metodoaren definizioagatik baldintzatuta baitago, eta beraz, hobe zenbat eta zehaztuago baldin bada. Arrazoi honengatik, *PASLINK* sareak oso ondo

zehaztutako entsegu-gidaliburuak dauzka, gidaliburu hauek entsegu-emaitzan eragina izan dezaketen alderdi guztiak mugatzen<sup>[2,366,377]</sup>.



3.1 Irudia - Errorearen eta ziurgabetasunaren definizio grafikoa

Entseguaren ziurgabetasuna kalkulatzeko, *GUM*-a gidaliburuak dion bezala<sup>[84,217]</sup>, beharrezkoa da ereduaren deskribapen osoa eta ziurgabetasunean parte hartzen duten osagai guztien kontrola edukitzea errorearen hedapen-ikerketa egin ahal izateko. Honela, gidaliburuaren arabera, lortutako emaitzarekin batera entseguari dagozkion errore sistematiko eta aleatorioak aurkeztu behar dira, ikus [3.1] ekuazioa.

$$Y_{aitortua} = Y_{benetako} + e_{sistematiko} + e_{aleatorio} \quad [3.1]$$

Entseguaren akats sistematikoak kontrolatzeko era hurrengo jardueretan oinarritzen da:

- Instrumentazioaren kalibrazioa
- Infiltrazioen kontrola
- Neurtu gabeko energia trukaketa osagaien balio txikia
- Beste batzuk...

Akats aleatorioko osagaiari dagokionez, aurreikusi ezin daitezkeen espazio-denbora aldaketetatik edo aldaketa estokastikoetatik dator. Osagai hau kontrolatu ahala izateko modu bakar bat dago, behaketak errepikatu. Neurtutako aldagaien ziurgabetasuna mugatu ondoren, sarrera-ziurgabetasun bakoitzaren ekarpena emaitzaren ziurgabetasunean zenbatekoa den zehaztu behar da. Behin neurtutako aldagaien ziurgabetasuna mugatuta, hurrengo pausoa pasatzea da sarrera-ziurgabetasunetako bakoitzeko ekarpena emaitzaren ziurgabetasunean kalkulatzeko. Analisi hau egin ahal izateko, funtzioa [3.2] ezagutzea beharrezkoa da, funtzio honek erlazionatzen baititu sarrerako parametroak eta lortu nahi den emaitza.

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad [3.2]$$

Funtzio hau erabiliz eta Taylor-en garapenaren bidez emaitzaren bariantza estima daiteke, ikus [3.3] ekuazioa.

$$u_c^2 = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n u(x_i, x_j) \quad [3.3]$$



Garapenean, bigarren graduko terminoak baztertzen dira, eta edukia aztertuz, lehen terminoko deribatu partzialek emaitzaren sentikortasun koefizienteak errepresentatzen dituztela lortzen da, eta bigarren terminoak magnitudeen arteko korrelazioa. *PASLINK* entseguan magnitudeak beraien artean independenteak direnez gero, korrelazioei dagozkien kobariantza-terminoak nuluak dira, hortaz, [3.4], Bertan,  $c_i$  koefizienteak sentikortasun-koefiziente bezala definitzen dira.

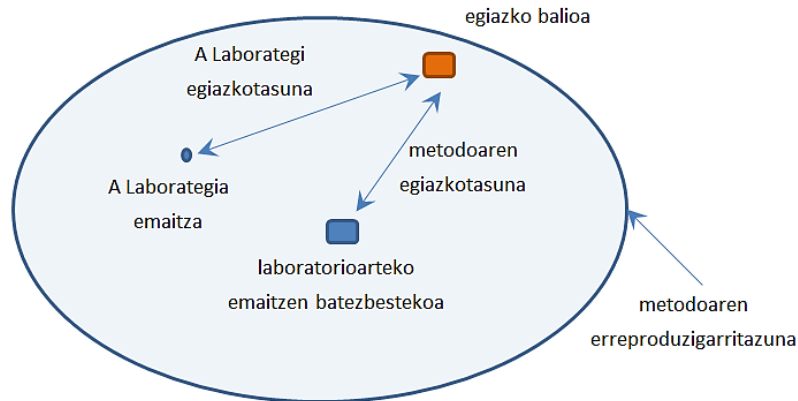
$$u_c^2 = \sum_{i=1}^n c_i^2 u^2(x_i) \quad [3.4]$$

*GUM* gidaliburuaren arabera, entsegu esperimentaletan ziurgabetasun analitikoaren kalkulua konplexua da edo ezinezkoa kasu batzuetan, *PASLINK* prozesuaren kasuan adibidez, [3.2] erlazioa adierazteko beharrezkoa den funtzio espliziturik ez baitago. Kasu honetan bezala, azkeneko emaitza,  $Y_{entsegu}$ , parametro-identifikazio metodoetatik lortzen baita. Bestalde, puntu hau identifikazio-erremintetan ebatzi da. *LORD*-ek sentikortasun koefizienteak,  $c_i$ , zehazten dituen akats hedapen modulu bat erabiltzen du, eta neurketa bakoitzaren ziurgabetasuna identifikatuz,  $u_i$ , azken emaitzaren ziurgabetasunean akatsaren hedapena definitzen du, [3.5] hurbilketa aplikatuz.

$$\Delta Y = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Y}{\Delta x_i} \Delta x_i \quad [3.5]$$

2.3.1.1 atalean esatenenez gero, *LORD* erremintak *Monte-Carlo* modulu bat integratzen du. Modulu honen bidez emaitzaren aldakortasuna,  $\Delta Y$ , estimatzea ahalbidetzen da, sarrerako magnitudeen  $\Delta x_i$  aldaketan baitan. Sarrerako aldaketak modu aleatorioan sortzen direnez, eta emaitzen doiketa egin daiteke aldaketa horien baitan. Metodo hau, nahiz eta fidagarria eta sendoa izan, oso motela da eta kalkulu aldi zabala eskatzen du emaitzaren ziurgabetasun osoa lortzeko. *CTSM* erremintaren kasuan, modelatze sistema estokastikoak berak kontsideratzen du sarrera bakoitzeko ziurgabetasuna, ikus 2.3.1.2 atalea. Modeloaren definizioan, neurketa akatsa osagaia sartzan da, honek Gauss-en banaketa jarraitzen du. Beraz, sarrerako aldagaien ziurgabetasunen efektua kontutan hartzen emaitzaren ziurgabetasunean. Metodologia honek portaera zalu eta azkarra du bere aplikazioan, eta emaitza-kontrastea baimentzen du sarrera aldagai bakoitzaren bariantzaren balioa,  $\sigma_i$ , parametro elkartuaren ziurgabetasunari lotutako bariantza baino txikiagoa dela frogatuz. Entseguaren ziurgabetasun azterketaren garapen esperimentala 3.4 atalean xehetasun gehiagorekin ikus daiteke. Ekipamenduaren ezaugarriez gain, neurketa eta entsegu baldintzek eragina dute lortu nahi den magnitudean. Baldintza hauek neurketaren edo entseguaren parte dira, eta beraz argi eta garbi zehaztu behar dira emandako ziurgabetasunari buruz aritzerakoan. Funtsezkoa da entsegu metodo baten kalitatea definitzea bere doitasunaren balioespenaren bitartez, horretarako neurri-baldintzen efektua kontuan hartuta. Doitasuna definitzeko bi adierazle erabiltzen dira: egitasuna eta zehaztasuna; lehenak, ea metodoak egiazko balioarekiko alborapenik aurkezten duen adierazten du, eta bigarrenak, ea baldintza desberdinetan errepikapenak eginez emaitza konparagarriak lortzen diren (erreproduzigarritasuna). *ISO 5725* arauak dion bezala<sup>[84]</sup>, definitutako protokolo bat jarraituz eta helburu konkretu bat zehaztuz, metodoaren doitasunaren kuantifikazioa laborategi-arteko entsegu bat eginez lortzen da. Entsegu mota honek laborategiaren, entsegu-egilearen, entsegu-ekipamenduen, eguraldiaren,... efektua bereiztea baimentzen du. 3.3 irudian

erakusten denez gero, laborategi-arteko entseguak, ikerketa estatistiko baten bidez, entsegu-metodoaren kalitatea zehaztea ahalmentzen du.



3.2 Irudia – Laborategi-arteko entseguaren ezaugarriak

Metodoaren egitasuna zehazteko beharrezkoa laborategi-arteko entsegua egitea. Laborategi desberdinetan entseguak egiten dira, eta entsegu hauen emaitzak erabiliz batazbesteko balio bat lortzen da, honen eta egiazko balioaren, edo erreferentziako balio baten, arteko konkordantziak definitzen du metodoaren egitasuna. Zehaztasuna berriz, ezarritako baldintza berdinetan egindako entsegu independenteen arteko konkordantziak definitzen du.

ZENTRUA	ARDURADUNA	HERRIALDEA
BBRI	GillesFlamant	Belgika
BRE	Paul Baker	Eskozia
CIEMAT	María José Jiménez	Espainia
CRES	Andreas Androustopoulos	Grezia
EMPA	Hans Simmler	Suitza
FGTUP	Eduardo Maldonado	Portugal
JRC	Hans Bloem	Italia
TNO	Dick van Dijk	Holanda
UoBCottbus	Olaf Gutschker	Alemania
VTT	Ismo Heimonen	Finlandia

3.1 Taula – Laborategi-arteko IQ-Test entseguan zentro parte-hartzaileak

Aurreko guztiagatik, 2000an *PASLINK* sareak laborategi-arteko entsegu bat planteatu zuen, *IQ-Test (Improvement Quality Test)* deritzona<sup>[21]</sup>. Entsegu honetan, 3.1 Taulan adierazitako zentroek parte hartu zuten. Ikerketaren emaitzak dokumentuan argitaratu ziren<sup>[84]</sup>. Laborategi-arteko entseguaren kalitatea aprobetxatuz, eta aireztatutako fatxaden entsegu esperimentalak egiten hasi aurretik, *IQ-Test* entsegua egin da. Entsegu honen bitartez *EGUZKI* gelaxkaren eta, *Termiko Arloaren* instalazioen eta pertsonalaren egokitasuna eta egoera ezagutu eta ebaluatuko da.

## 3.2 Trazabilitate entseguaren metodologia

Laborategi-arteko entsegu kasu guztietan entsegu-osagaia eta prozesua zehazki definitu behar dira. Hau ez bada hala, zehazgabetasun osagai berriak azaltzen bait dira neurketaren emaitzan. Laborategi-arteko entseguetan ohikoa da aztertutako lagina berdina izatea. Lagin hau, laborategi-arteko entseguetan parte hartzen duten zentruetan zehar entsegatzen da. *PASLINK* entseguen kasuan, laginaren tamainu eta ezaugarriengatik, prozedura honek arazo handiak ditu. Hau puntu garrantzitsua izanik, lan-probetak definitzeko orduan kontuan hartu zen. *IQ-Test* entseguaren konfiguraketa, Europa guztian zehar banatutako zentruetan eta behar adina denboraz entsegatu ahal zedin definitu zen. Horretarako, hurrengo puntuak kontsideratu behar dira:

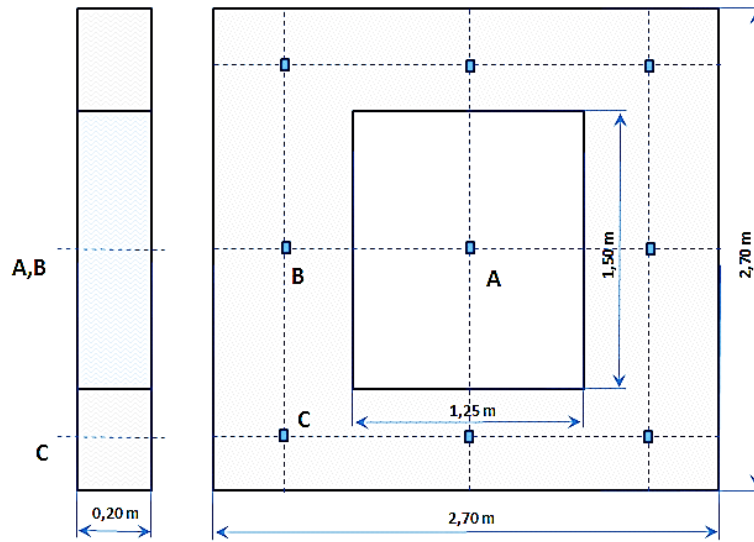
- *PASLINK* taldeko gelaxka bakoitzaren ezaugarri partikularrak, ertz efektuak, lagin-tamaina,...
- ikerketa|estudio-osagai bakoitzaren ezaugarriak|jabetzak erkagarriak zirela ziurtatzea,
- datu esperimentalen kalitatea eta, hauen eta laginaren modeloaren tratamenduan zentro bakoitzak duen ahalmena,
- laginen azterketaren bidez oinarritzko ezaugarrien lorpena, horma opakuko transmitantzia eta leiho-eguzki-faktorea adibidez,
- entsegu|saiakera prozeduren baliotasuna, konfigurazioari eta errutinen iraupenari dagokienez.

Premisa hauekin definitzen dira hurrengo ataletan, bai probeten ezaugarriak, bai entsegu-prozedurak.

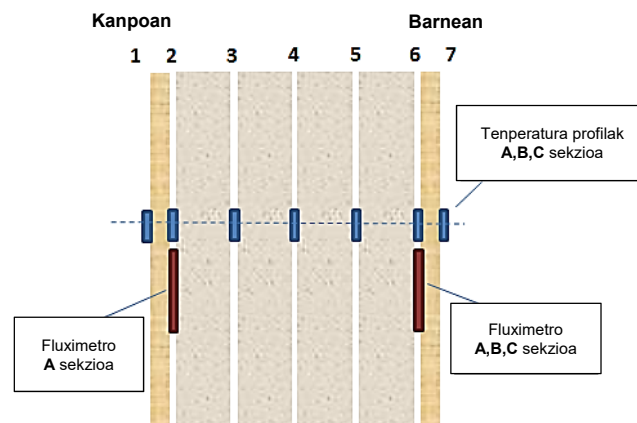
### 3.2.1 Laginaren deskribapena

Entsegu-lagina bi osagaiz eratuta dago. Lehena, horma opako homogeen bat da, honen erdialdea desmuntatu daiteke bigarren elementua kokatzeko, bigarren elementua erreferentziatzeko leiho bat izanik. Lehen osagaiak aurkezten du problema gehien laborategi-arteko entseguaren eskaerak betetzerako orduan, oso konplexua bait da *PASLINK* sarean parte hartzen duten zentruen artean halako tamainako elementuak zirkulatzea. Arrazoi honengatik, zentro bakoitzean eraikitako laginen artean alderkortasunik egon ez dadin konfiguratu da hau. Lehen osagaia beraz modu honetan eratu da: *EPS*-z osatutako nukleo bat ( $\rho = 30 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ ;  $\lambda = 0,033 \text{ [W/mK]}$ ). Isolatzailearen barrualdeko eta kanpokaldeko gainazala  $e = 12 \text{ [mm]}$  lodiera duen zur kontraxapatuz estaltzen da. Kanpokaldeko azken akaberak, kolore zuriko pintura fenolikozkoa izan behar du, pintura honek gainazalaren babesle eta iragaizgarri bezala jokatzen du. Zona zentrolean,  $1,25 \times 1,50 \text{ [m]}$  dimentsioetako pieza desmuntagarria ukan behar du. 3.4 Irudian lehen osagaiaren konfigurazioaren eskema bat erakusten da. Interlaborategi-entseguarako nahitaezko instrumentazio bezala, laginean bi temperatura-profil jartzea eskatzen da. Osagaiaren zentroan kokatutako profil bat, bero transmisioaren dimentsio bakarreko portaera neurtzeko, A profila, eta eratzun perimetrikoan kokatutako B profila, ertz-efektuak aztertu ahal izateko. Temperaturaz gain, laginaren barnealdeko gainazalean bero-fluxua neurtu behar da, kontraxapatuaren eta material isolatzailearen artean. 3.5 Irudian neurri-tresnetako jartze eskema erakusten da. *IQ-Test* entseguaren eskaera minimoa, A eta B temperatura profilak eta 6 geruzari dagokion bero-fluxu zunda barnealdeko

gainazalean instalatzea da. *EGUZKI*-n egindako entseguan temperatura profil bat gehiago instalatu da C puntuan, beheko ezkerreko izkinari dagokiona, zona zentral desmuntagarriarekiko eta zona perimetralarekiko zentratuta. Honetaz gain, bero-fluxu sentsore bat gehiago jarri da, A profileko 2 geruzan. Bero-fluxu sentsore honek, modeloen kontrastea egiteko informazio erabilgarria ematen du. Azkenik, lagineko temperatura-planoak aztertzeke gainazaleko temperatura neurtzeko 6 zunda gehiago jarri dira, 2, 4 eta 6 geruzetan (ikus 3.4 Irudia). Guztira laginean lehenengo osagaien 24 temperatura-zunda eta 4 bero-fluxu sentsore kokatu dira.

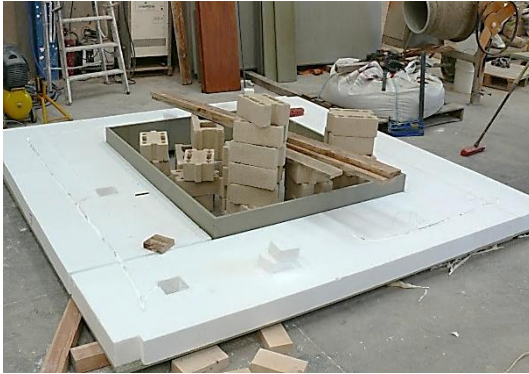


3.3 Irudia - Lehen osagaiaren eraikuntza-eskema

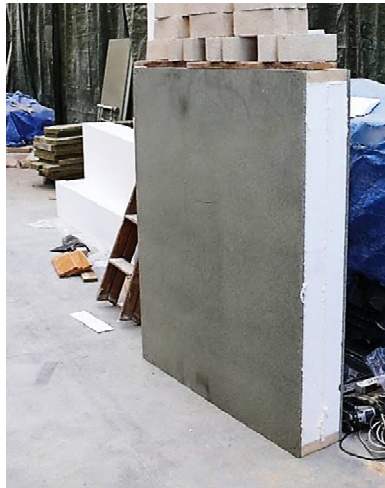


3.4 Irudia - Lehen osagaiko zunda instalazio eskema

3.6 Irudian lehen osagaiaren zati perimetralaren fabrikazio prozesua erakusten da. Nukleoa  $e = 10$  [cm]-ko lodierako EPS xaflez osatu da, kontrajuntura modura jarrita. B eta C neurketa-profilak perimetroko zonetan nola jartzen diren ikus daiteke ezkerreko irudian. 3.6 Irudiaren eskuineko argazkian lagina kontratxapatu-estaldura jarrita ikus daiteke, ondoren pintura zuri babesle geruza eman zaio. 3.7 Irudiko ezkerreko argazkian laginaren zona zentrala erakusten da bere fabrikazio prozesuan zehar, eskuineko irudian berriz, laginaren bi zatiak *EGUZKI* gelaxkan muntatuta erakusten dira.



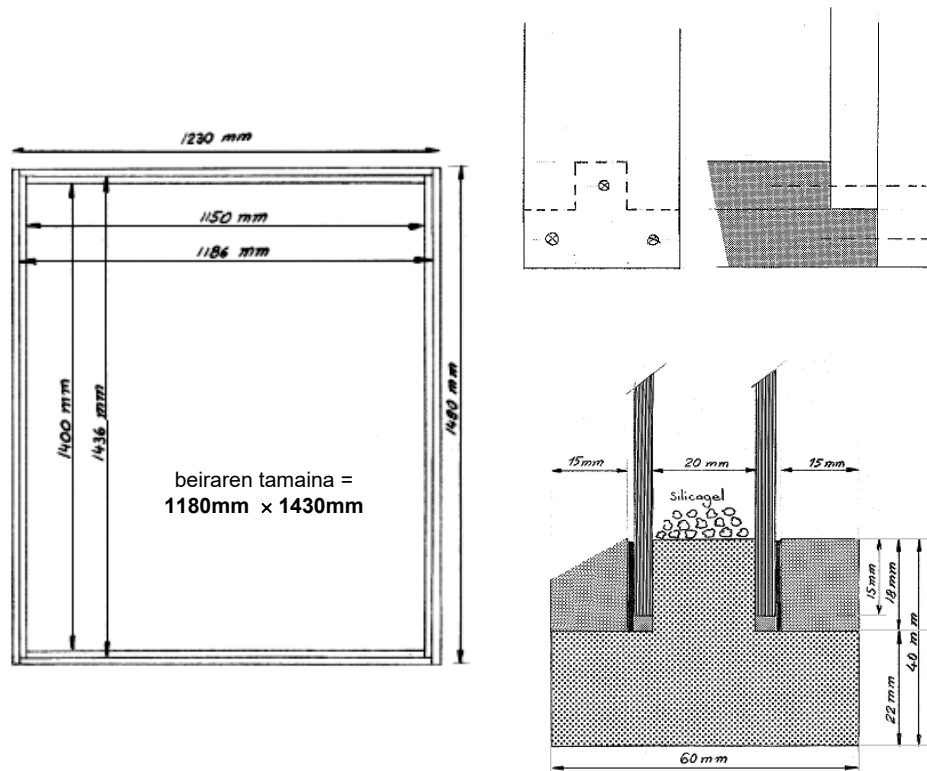
3.5 Irudia – Lehen osagaiaren kanpoaldeko muntaketa, oinarri bezala bigarren osagiarako erabiliko da



3.6 Irudia – Horma opakoaren osagai desmuntagarriaren fabrikazioa, eta EGUZKI gelaxkan lehenengo osagaiaren muntaketa

Bigarren osagaia beira bikoitzeko leiho bat da, beiraren lodiera 4 [mm]-takoa da eta aire-ganberarena 20 [mm]-takoa. Beiraren osatzeko zurezko profil soil bat erabiltzen da 3.8 Irudian laginaren eraikuntza-eskema erakusten da. Aire-ganberan material xurgatzaile bat sartzen da, material honek hezetasuna xurgatzen du laginean kondentsazioa sahiestuz. Beiren eta zurezko profilaren arteko bat-egitea silikonazko kordoiaren bitartez egiten da, eta zurezko moldura bat erabiliz osatzen da. Molduraren kanpokaldeko juntura zigilatzeke bigarren silikonazko kordoi bat erabiltzen da. Laginaren eraikuntzan erabilitako materialen aukeraketa eta laginaren eraikuntza zentro parte-hartzaile bakoitzean egiten da. Laborategi-arteke ikerketan osagai bezala leiho bat erabiltzea konplexua da, lagin guztiek propietate termiko berak edukitzea zaila delako. Laginen arteko aldakortasuna txikiagotzeko helburuarekin, zurezko profil simple bat aukeratu zen eta beirak, *BBRI*-ra (*Belgian Building Research Institute*) bidali ziren<sup>[1]</sup>, bertan propietate termikoak eta eguzki-erradiazioarekiko portaera espektrala neurtzeko *EN 410* arauaren arabera<sup>[21]</sup>, ikus 3.2 Taula.





3.7 Irudia – IQ-Test ikerketari dagokion bigarren osagaiko leihoaren konfigurazioa

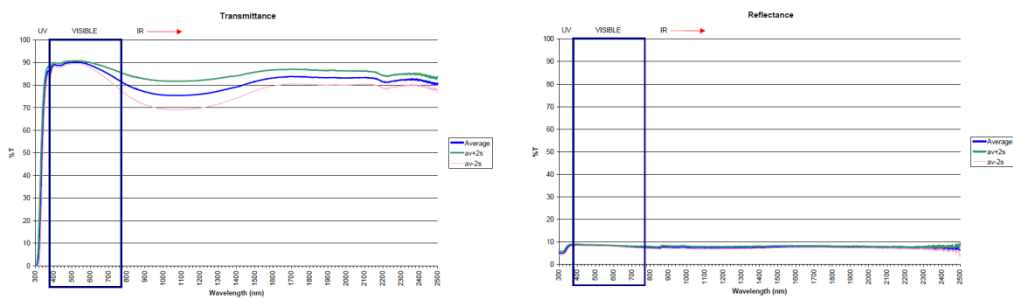
ZENTROA	$\tau_e$ [%]	$\rho_e$ [%]	$\alpha_e$ [%]	$\tau_v$ [%]	$\rho_v$ [%]	$\tau_{uv}$ [%]
BBRI	84.1	8.0	7.9	89.6	8.4	64.3
BRE	81.6	7.8	10.6	89.2	8.3	57.7
CIEMAT	83.0	7.9	9.1	89.3	8.3	59.2
CRES	80.6	7.7	11.7	88.8	8.3	57.1
EMPA	84.4	8.1	7.5	89.8	8.5	61.9
FGTUP	83.0	7.7	9.3	89.7	8.1	59.9
JRC	80.3	7.5	12.2	89.2	8.1	57.7
TNO	83.9	8.0	8.1	89.9	8.4	61.7
UoBCottbus	83.8	7.9	8.3	89.8	8.2	63.3
VTT	84.5	7.9	7.6	90.2	8.3	67.5
Minimo	80.3	7.5	7.5	88.8	8.1	57.1
Maximo	84.5	8.1	12.2	90.2	8.5	67.5
Batezbesteko	<b>82.9</b>	<b>7.9</b>	<b>9.2</b>	<b>89.6</b>	<b>8.3</b>	<b>61.0</b>

3.2 Taula – IQ-Test entseguan parte hartzen duen zentro bakoitzaren leihoaren propietate espektralak, BBRI-ak neurtuak

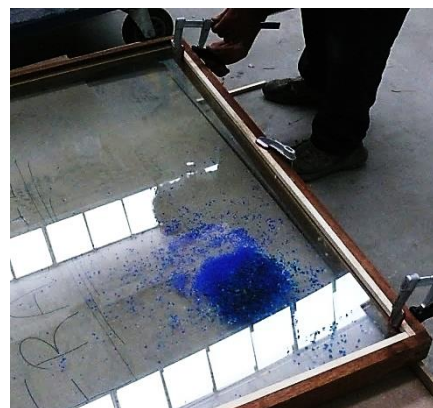
3.2 Taulan propietateen arteko desberdintasun adierazgarriak erakusten dira, batez ere espektru ultramorearen transmisio koefizientean, honen balio minimoa  $\tau_{uv} = 0,571$  da eta CRES-ri dagokio, eta maximoa  $\tau_{uv} = 0,675$  da eta VTT-ri dagokio. Diferentziak txikiagoak dira espektru ikusgarria eta infragorriaren kasuan. Xurgatze eta isladapen koefizienteek balore homogeenak dituzte. Adibide bezala, 3.9 Irudian transmisio eta isladapen koefizienteen batezbesteko kurbak eta  $2\sigma$



tartea erakusten dira beira guztientzat. TNO-k garatutako WIS erremintaren bitartez (*Window Information System*), beira bakoitzak leihoaren eguzki-faktorearen gaineko efektua zein den aztertu zen, orri bikoitzeko konfigurazioaren kasuan, kontutan izanik beira bakoitzaren transmisio propietateen aldakortasuna, hurrengo balio tartea lortu zen:  $g = 0,73$ , JRC-ren kasuan, eta  $g = 0,77$ , VTT-ren kasuan. Ezaugarri hauengatik, eta beste batzuegatik (zentro bakoitzeko entsegu baldintzen menpekoak direnak), bigarren osagai honen entseguren emaitzen ebaluaketa konplexuagoa egiten dute laborategi-arteko azterketa baten kasuan. EGUZKI-a gelan egindako entsegurako JRC-eko leihoa erabili ahal izan da, J.J. Bloem-ek EKKL-ko TA-eko PASLINK gelaxkaren garapenean eskaintako laguntzari esker. 3.10 Irudian leihoaren harrera eta gatz lehorgarrien aldaketaren erakusten da, hauek, zahartzeagatik, beraien propietateak galdu baitzituzten. Beiren zigilatzea eta molduren jartzea ere ikus daiteke.



3.8 Irudia – Transmisio eta isladapen koefizienteen batezbesteko balioak eta  $2\sigma$  tartea zentro bakoitzean IQ-Test entseguan aztertutako beirentzako<sup>(8,9)</sup>

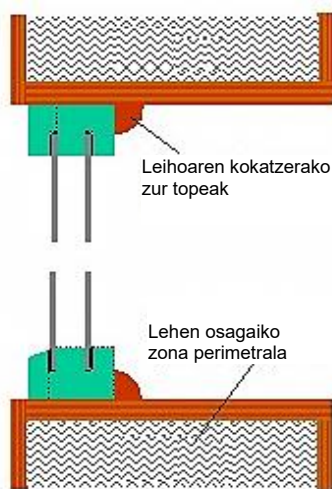


3.9 Irudia – JRC-ko leihoaren harrera, aire-gaberkogatz lehorgarrien aldaketa, zigilatzea eta molduren jartzea



3.10 Irudia – IQ-Test entseguari dagokion lehenengo osagaiaren zona zentralaren desmuntaketa

Behin leihoa egokituta, 3.11 Irudian gelaxkan nola jartzen den erakusten da. Jasotzaile mekanikoa erabiliz, osagai zentrala ateratzen da. Eskuineko irudian oinarrizko osagaia nola geratzen den erakusten da, entsegu gelaren barnekaldetik begiratura. Laborategi-arteke entsegu protokoloaren arabera, leihoa pareta opakuan utzitako zuloaren kanpoko aurpegiaren arrasean jarri behar da, ikus 3.12 Irudia. Honela, zuloak leihoaren gainean egin dezakeen itzala ekiditzen da, eta eguzki-faktorearen neurketaren zehaztasuna hobetu. Baina, bestalde, leihoa modu honetan kokatzeak transmitantzia termikoaren neurketan efektua izan dezake ertz efektu handiagoagatik. Hau, parametro-identifikazio ereduetatik lortutako emaitzak aztertzerako orduan azertu behar da.



3.11 Irudia – Horma opakuko zuloko kanpoko aurpegiaren arrasean leihoaren jartzearen xehetasuna

Barnekaldetik, kolore beltzeko errezel bat osagaitik 20 [cm]-ko distantziara jartzen da, ikus 3.13 Irudia. Honela, tile-en gainazalaren gainean erradizio zuzena ekiditen da. Hau horrela egingo ez balitz, tile-en gainberoketa gertatuko litzateke, eta honek bero fluxuaren neurketan errore osagai berri bat agertzea suposatuko luke. Honetaz gain, tile-en tenperatura handitzearen ondorioz, bero transferentzia konbekzioz gertatzeaz gain erradiazioz gertatzea suposatuko luke, eta beraz neurketa gelaren eredu osatzea konplikatu. Errezelari esker, leihoa zeharkatzen duen erradiazioa guztia neurketa gelan metatzen da, bero konbekzioz trukaturaz inguruarekin.

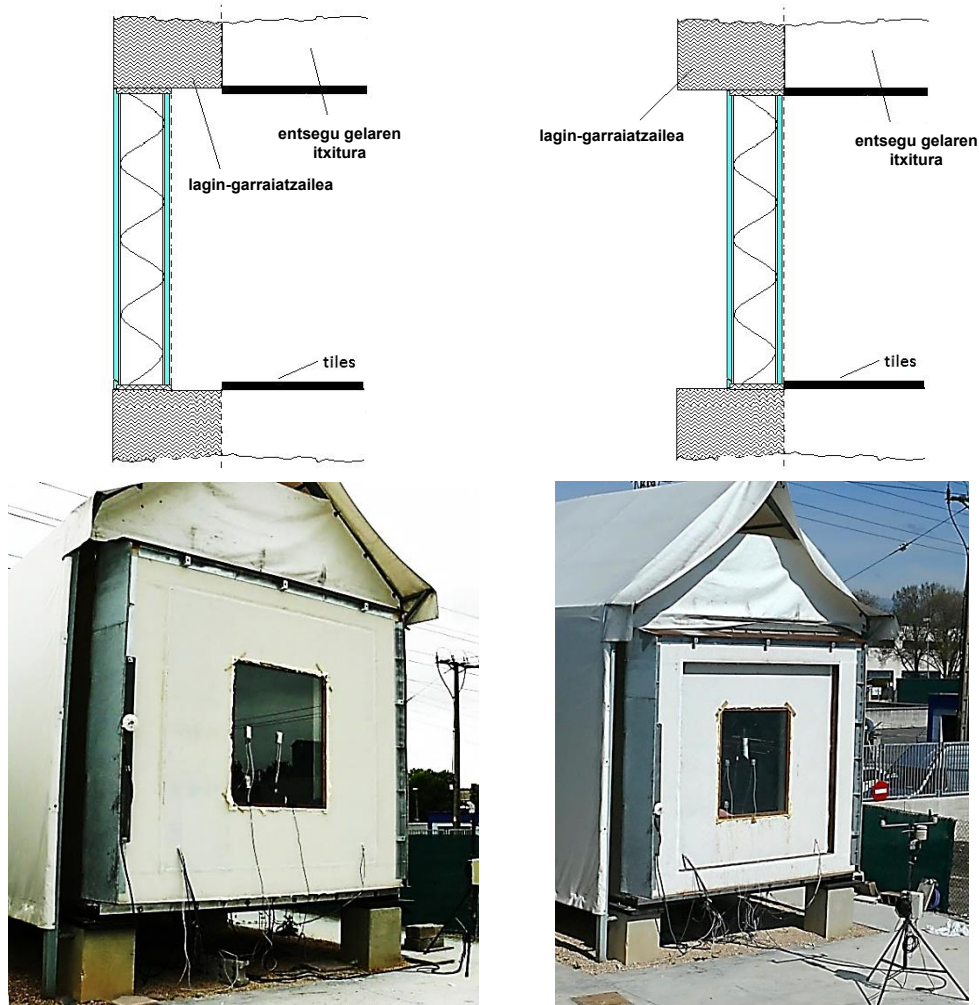


3.12 Irudia – Junturen kanpoko zigilatzea, ezkerrean, eta barruko aurpegian errezelaren, eskuinean

3.14 Irudian entsegu prozesuko laginaren argazkia erakusten da, lagina horma opakua eta leihoa osatuta dago. IQ-Test-aren bidez definitutako prozesuaren arabera bi entsegu burutu dira. Lehenengo entseguan, lehenengo osagaiari dagokion horma opakua ipini da gelaskan, lehenengo osagaia osatzen duen duen hormaren kanpokaldeko gainazalarekiko arrasera. Aukera honek, jatorrizko horman leihoak kokatuz bete beharreko baldintza berdinak betetzen zituen. Modu honetan, lehenengo osagaiak laginaren gainean egin zitezkeen itzalak sahiesten dira, nahiz eta izkin efektuen eragina handitu. Izkin efektuek eragin handiagoa dute emaitzetan, hau 3.5 atalean ikus daiteke. Arrazoi honengatik, bigarren entsegu bat egin da, bigarren entsegu honetan, horma opakua barnekaldeko gainazalarekiko arrasera jarri da. Horrela, izkin efektuen eragina, itzal efektuaren eraginaren konparatuz kuantifikatu ahal izango da.

Behin aztertu beharreko osagaiak definituta, beharrezkoa da entseguren prozedimendua argi eta garbi definitzea, eta zeintzuk diren lortu beharreko emaitzak laborategi-arte azterketa egiteko, eta beraz, PASLINK metodoaren kalitatearen analisia egiteko.





3.13 Irudia – IQ-Test entsegua leihoaren kasuan: leihoa hormaren kanpokaldeko gainazalaren arrasera kokatuta, ezkerraldean; eta barnekaldeko gainazalarekiko arrasera kokatuta, eskuinaldean

### 3.2.2 Entsegu prozedimendua

Horma opakuaz osatutakoa lehenengo osagaiaren entseguaren helburua, bi faktoreren neurketa da:

- dimentsio bakarreko  $U_A$  [W/m<sup>2</sup>K] transmitantziaren balioa lortzea, horretarako gune desmuntagarriaren ardatz zentralean kokatutako fuximetroa erabiliz,
- laginaren  $U_{opaku}$  [W/K] transmitantziaren balio totala lortzea, horretarako neurketa gelari energia balantzea aplikatuz.

$U_A$  dimentsio bakarreko transmitantziaren analisiaren bidez, zentru bakoitzaren ereduaren eraikuntza ahalmena ebaluatzea ahalbidetzen du. Gainera, zentru parte-hartzaile guztietan ezaugarri berdin-berdinak dituzten osagaiak erabiltzen direla egiaztatuta daiteke. Osagaiaren erabateko balioari dagokionez,  $U_{opaku}$  izkin efektuen eragina konparatu ahal izango da gelasken artean. Bigarren osagaiaren entseguari dagokionez, horma opakuaren zentruan kokatuta dagoen leihoari dagokiona, hurrengo emaitzak lortzea da helburua:

- $UA_{totala}$  [W/K] transmitantzia totalaren balioa eta  $gA$  [m<sup>2</sup>] eguzki-irekitzearen balioa, honetarako neurketa gelan energia balantzeta aplikatuz,
- leihoaren transmitantzia termikoaren balioa  $U_L$  [W/m<sup>2</sup>K], izkin-efektua kontuan hartuz.

Horma opakua eratzten duen materialaren transmitantzia ezagutzen dela kontuan hartuz, eta zona zentral desmuntagarri guztian, fluxua dimentsio bakarrekoa dela kontsideratuz, leihoaren transmitantzia [3.6] ekuazioaren bitartez kalkula daiteke.

$$U_L = \frac{UA_{totala} - (U_{opaku}A_{totala} - U_A A)}{A} \quad [3.6]$$

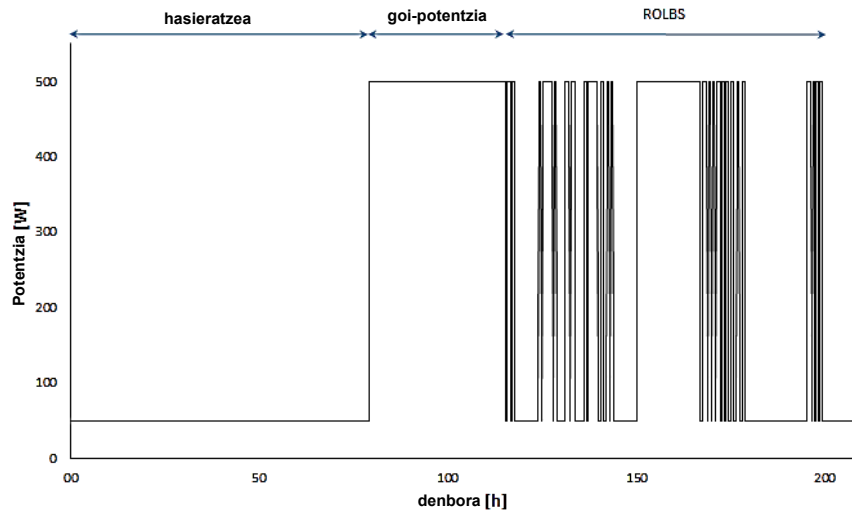
Behin interlaborategi-entseguan ebaluatzen diren parametro desberdinen kalkulu prozedura definituta, beharrezkoa da aipaturiko parametroen ziurgabetasunaren analisi metodoa zehaztea. Lehen pauso bezala, aldagaietako bakoitzeko neurri akatsa mugatzen da, horma opakuko entseguaren kasurako. Egiaztatu beharreko neurri akatsak 3.3 Taula-tan adierazitakoak dira. Bigarren osagaiaren entseguarako neurri-akatsak 3.4 Taulan adierazten dira. Tenperaturaren homogeneousitasuna, eguzki-erradiazioaren efektuagatik, okerragoa izango denez gero kasu honetan, entsegu-gela tenperaturaren neurketan akats handiagoa kontsideratzen da. Neurketa-akatsak mugatuta, kalkulu-parametroen ziurgabetasuna zehazteko, parametro-identifikazio erremintaren bitartez lortutako akats hedapena aplikatzen da, 3.1 atalean adierazi bezala, [3.5] adierazpenaren bitartez.

Aldagaia	Deskribapena	Errorea
Qhfs	Neurketa gelaren itxurak trukatzeko duen bero fluxua (kalibratze-faktorearen bidez zuzendua)	2%
Qhe	Neurketa gelan sartutako potentzia totala	0,3%
Gv	Eguzki-erradiazio bertikal globala osagaiko planoaren gainean	5%
Text	Kanpoko airearen tenperatura, berrilatua	0,5K
Ttr	Neurketa gelaren batezbesteko tenperatura	0,3K
IQAT01	Hormaren barruko gainazaleko tenperatura <i>A profilean</i>	0,5K
IQAT04	Hormaren bitarteko gainazaleko tenperatura <i>A profilean</i>	0,5K
IQAT07	Hormaren kanpoko gainazaleko tenperatura <i>A profilean</i>	0,5K
IQHF_A	Hormaren barruko gainazaleko bero-fluxuaren neurketa <i>A profilean</i>	5%

3.3 Taula- Horma opakuen entseguan neurtutako aldagaien errorea

Aldagaia	Deskribapena	Errorea
Qhfs	Neurketa gelaren itxurak trukatzeko duen bero fluxua (kalibratze-faktorearen bidez zuzendua)	2%
Qhe	Neurketa gelan sartutako potentzia totala	0,3%
Gv	Eguzki-erradiazio bertikal globala osagaiko planoaren gainean	5%
Text	Kanpoko airearen tenperatura, berrilatua	0,5K
Ttr	Neurketa gelaren batezbesteko tenperatura	0,4K

3.4 Taula - Bigarren osagaiaren, perimetro opakuan muntatutako leihoaren, entseguan neurtutako aldagaien errorea



3.14 Irudia – IQ-Test entseguan erabilitako ROLBS errutinaren ezaugarriak

Azkenik, laborategi-arteko azterketa guztia muga ahal izateko, interlaborategiaren eremu guztiak mugatzeko, entsegu-prozedura definitzea faltako litzateke. ROLBS errutina erabiltzea erabakitzen da, hasieratzeko haizegailuaren potentzia bakarrik sartzen da 72 [h]-tan zehar, ondoren erresistentzia elektrikoaren bitartez potentzia konstantea finkatzen da 36 [h]-z, eta azkenik frekuentzia altuko periodo aleatorioa izango genuke 84 [h]-z, ikus 3.14. Entsegutik informazio maximoa lortu eta parametro-identifikazio prozesu optimo bat egiteko baliogarria den errutina bat definitu da, hau guztia, entseguak ahalik eta denbora gutxien iraunez. ROLBS errutinak, beraien konfiguratzeko moduagatik, eraikuntzen itxiturak jasaten dituen oinarritzko eszitazio frekuentziak erreprezentatzen ditu. Frekuentzia hauek tarte logaritmiko uniformeak erabiliz banatuta daude, modu kuasi-aleatorioan ordenatuz. Planteatutako helburua disenatutako errutinaren bidez lortzen den egiaztatzea ahalbidetzen du errutina hau erabiltzeak laborategi-arteko entseguan. Azkenik, berokuntza potentziak neurraketa-gelako segurtasun muga gairiditu ez dezan izan dezakeen balio maximoa kalkulatzeko geratzen da,  $T_{se} = 45 [^{\circ}\text{C}]$  izanik, neurraketa-gelari energia balantzea aplikatzen zaio, [3.7] ekuazioa.

$$P = [(UA + UA_{env}) \cdot (T_{se}^{max} - T_e)] - (gA \cdot G_v) \quad [3.7]$$

$$T_{se}^* = T_e + \frac{(gA \cdot G_v) + P_{vent}}{(UA + UA_{se})} \quad [3.8]$$

Gasteizko urte tipoaren datu klimatikoak erabiliz,  $T_e = 11^{\circ}\text{C}$  dela inguruko batazbesteko tenperatura urte osoa kontuan hartuz, eta  $G_v = 165 [\text{W}/\text{m}^2]$  gainazal bertikalaren gaineko erradizio intzidentea. Kontuan hartuz haizagailuaren potentzia  $P_{vent} = 40 [\text{W}]$  dela, neurraketa-gelako itxituraren transmitantzia termikoa  $UA_{env} = 5,348 [\text{W}/\text{K}]$ , eta osagaien propietateak hurrengoak direla:  $UA = 1,24 [\text{W}/\text{K}]$ , lehenengo osagaiaren kasuan,  $UA = 5,89 [\text{W}/\text{K}]$  y  $gA = 1,2 [\text{m}^2]$ , bigarren osagaiaren kasuan; balio hauek erabiliz,  $P = 225 [\text{W}]$  lortzen da horma opakuen kasuan, eta  $P = 265 [\text{W}]$  leihoaren kasuan. Laborategi-arteko entseguaren kasuan irizpideak bateratzeko asmoarekin,  $P = 250 [\text{W}]$  potentzia erabiltzea adosten da zentru guztien artean bi entseguetan. Behin potentzia definitu ondoren, inguruen arteko



arteko tenperatura diferentziak ( $T_{se} - T_e$ )  $\geq 10^\circ\text{C}$  betetzen duela egiaztatu behar da. Horretarako, haizagailuaren potentzia bakarrik sartuz neurketa-gelan, bertan lortutako litzatekeen tenperatura askea jakin behar da. Tenperatura honen balioa lortzeko, gela honi energia balantzea aplikatuz tenperatura honen balioa lor daiteke, [3.8] ekuazioa.  $T_{se}^* = 32,3^\circ\text{C}$  eta  $T_{se}^* = 17,1^\circ\text{C}$  tenperatura askearen balioak lortzen dira, lehenengo eta bigarren osagaiarentzat hurrenez hurren. Ondorioz, neurketa-gela eta inguruaren arteko tenperatura diferentzia  $21,3 \leq (T_{se} - T_e) \leq 34^\circ\text{C}$  horma opakuarentzat, eta  $6,1 \leq (T_{se} - T_e) \leq 34^\circ\text{C}$  bigarren osagaiarentzat dira. Honek  $\Delta T = 27,7^\circ\text{C}$  eta  $\Delta T_m = 20,1^\circ\text{C}$  batazbesteko tenperatura diferentziak direla esan nahi du, hurrenez hurren. *IQ-Test* laborategi-arteko entseguaren esparrua eta konfigurazioa definitu ondoren, entsegu desberdinetan *EGUZKI* gelaskan lortu datu esperimentalak aurkezten dira jarraian.

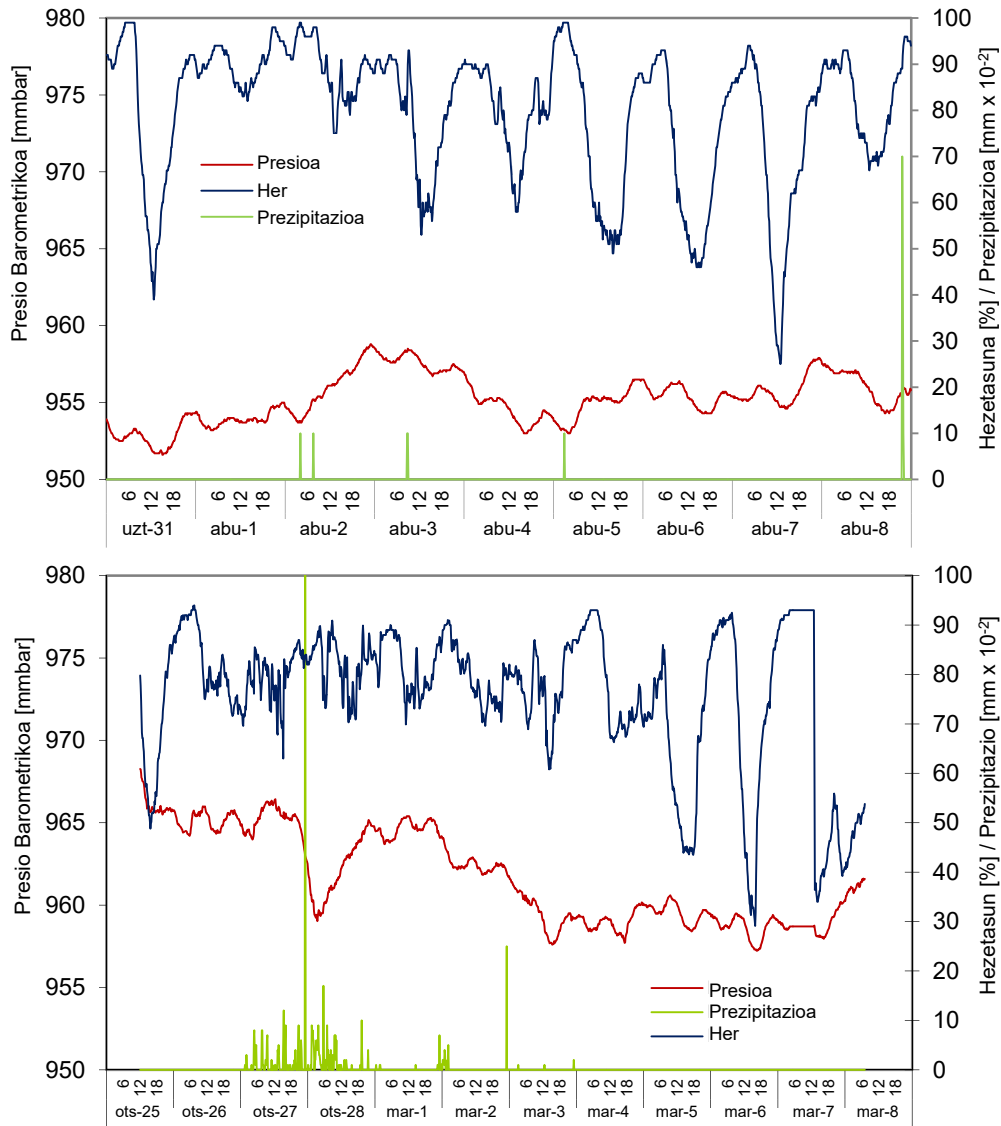
### 3.3 Datu esperimentalak

Beraz, *IQ-Test* bi entsegu oso burutu dira, horma opakuarekin eta leihoarekin. Lehenengo entsegua, horma opakua hormaren kanpo-gainazalarekiko arrasera kokatuz egin da. Entsegu hau 2010ko uztailaren 31 eta abuztuaren 19aren artean egin zen. Lehenengo entsegu honetan lortutako esperientziarekin, entsegua errepikatu zen horma opakua hormaren barneko gainazalaren arrasera kokatuta, horretaz gain neurketa-instrumentazioa handitu zen, horrela, adibidez, errezela eta bigarren osagaiaren artean gelditzen den airearen tenperatura neurtzeko. Bigarren *IQ-Test* azterketa 2011ko otsailaren 25 eta martxoaren 22 bitartean egin zen, azterketa honen bidez baldintza klimatikoen eragina emaitzetan aztertzea ahalbidetzen da, bi muturretako baldintzetan datuak edukitzea lortzen bait da: udan eta neguan. Ondoren, entsegu desberdinetan lortutako datuak aztertzen dira, parametro-identifikazio analisisian balioztatzeko.

#### 3.3.1 Horma opakua

Fase esperimentalean beharrezkoa da entsegua egin den ingurune-baldintzak ebaluatzea, hauek aldakortasun adierazgarria aurkeztu behar dute. Ondoren, gelaskaren funtzionamendu zuzena egiaztatu behar da, neurketa-gelaren parametroen bidez. Eta azkenik, laginaren berezko instrumentazioaren datuak behar dira. 3.16 Irudian eta 3.17 Irudian presio barometrikoa, hezetasun erlatiboa, prezipitazioa, haizearen abiadura, eta eguzki-erradiazioa erakusten dira, bai laginaren gainalazal horizontalarekiko eta bai bertikalarekiko. Bi entsegu-periodoetan ingurune-baldintzek aldaketa zabala jasaten dutela ikus daiteke, eguzki-irradiantzia altuko egunak lainotutako egunekin tartekatuz. Horretaz gain, bi periodoetan gertatzen dira prezipitazioak, nahiz eta adierazgarriagoak izan bigarren periodoan. Euriak, instrumentazioaren neurrian akats gehigarri bat produzi dezakeenez gero, kontuan hartzeko faktorea da. Erradiazioaren gainazal bertikalaren gaineko osagaiaren balioa horizontalaren gainekoa baino txikiagoa dela ikus daiteke, udan zehar burutako entsegua delako, neguan zehar burututako entseguaren kasuan berriz, alderantziz gertatzen da. Beste aldagai garrantzitsu bat, laginaren gainazalaren gainean airearen abiadura da. Abiadura altuek neurketa prozesua konplikatu dezakete eta ziurgabetasuna handitu gainazaleko tenperaturak karakterizatzerakoan, horretaz gain, konbekzio koefizientearengain eragina du. Hasiera batean kontsidera daiteke, nahiz eta neurketa periodoa laburra

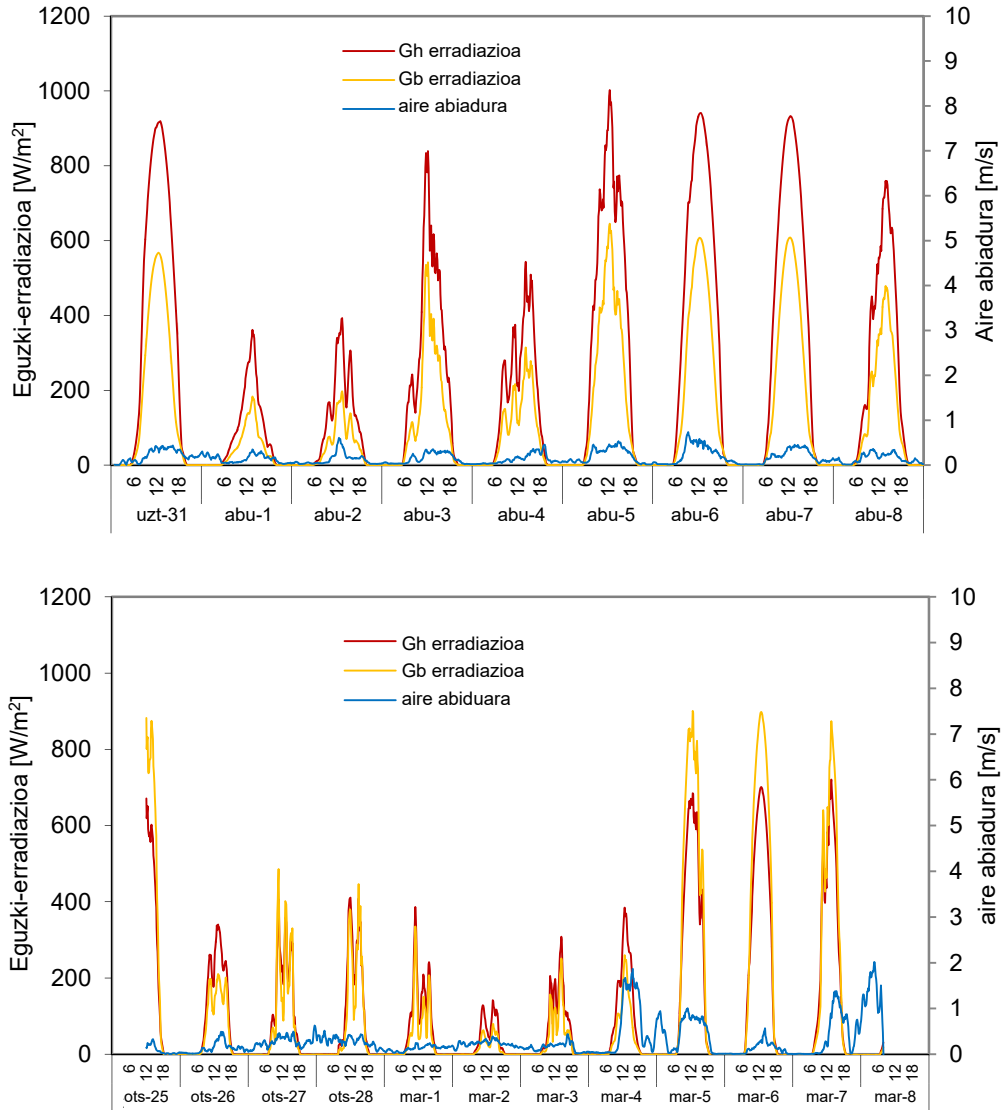
izan, ingurune-baldintzen aldakortasuna handia dela, eta beraz adierazgarria. IQ-Test entseguan lortutako datuak aztertuz frogatzen da baldintza hau modu egokian betetzen dela.



3.15 Irudia – Horma opakua lehenean entseguan zehar ingurune-baldintzak goiko grafikoan, eta bigarren entseguan beheko grafikoan

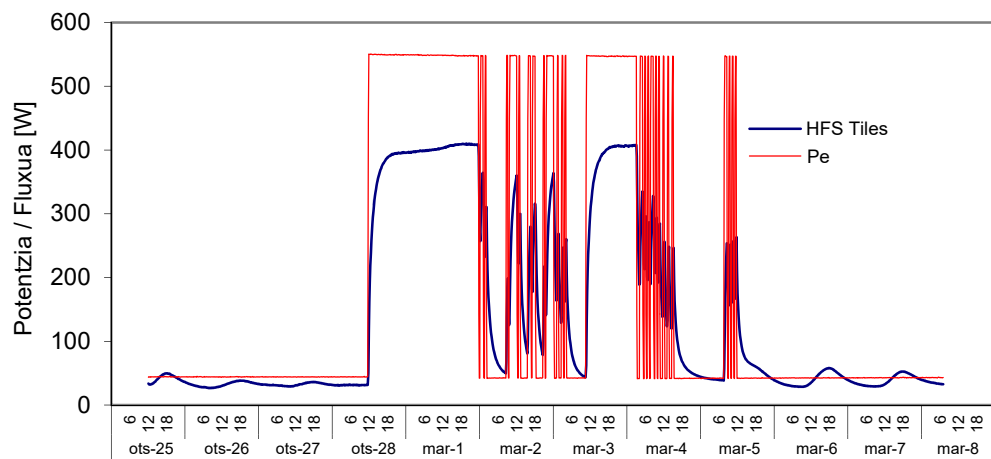
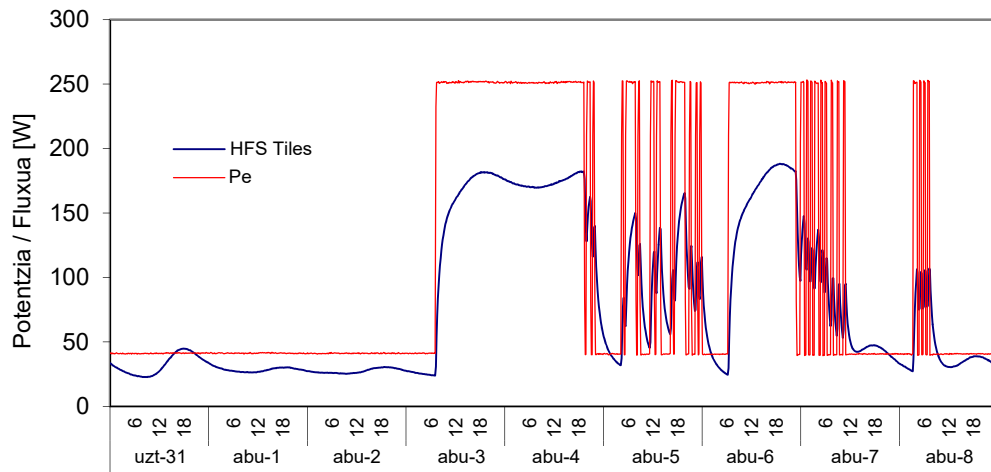
Behin ingurune-baldintzak aztertuta, neurketaren-gelaren portaera ebaluatzen da. Garranziko lehenean puntua, sartutako potentziaren eta itxituraren bero fluxuaren berrikustea da. 3.18 Irudian entsegu bakoitzean neurtutako balioak erakusten dira. Bigarren entseguan zehar 500 [W]-etaraino handitu zen berokuntza potentzia, neguko-baldintzek baimentzen zuteneko gero, horma opakua zeharreko bero fluxua neurketa-gelaren tenperaturako goiko muga ez gainditzeko moduan handituz. Hau da neurketa egoera ideala, neurketa-ziurgabetasunak minimora murrizten dituena. Horma opakua lehenean entseguko emaitzak bigarren entsegukoarekin konparatzeak, tenperatura eta fluxu bajeekin lan egitean, udan eta lagin isolatzaileekin lan egitean, errorea zenbat handitzen den neguko baldintza optimoekin alderatuz jakitea baimenduko du. Hots, bi entsegu hauek,

neurri batean, PASLINK entsegu metodologiaren baliotasuna mugatzea baimentzen dute.

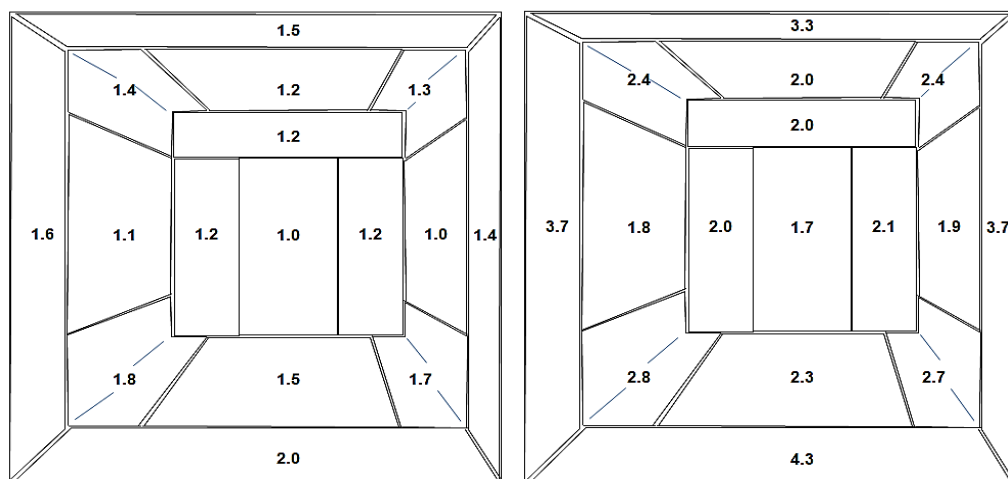


3.16 Irudia - Horma opakua lehenean zehar eguzki-erradiazioa eta airearen abiadura goiko grafikoan, eta bigarren entsegukoak beheko grafikoan

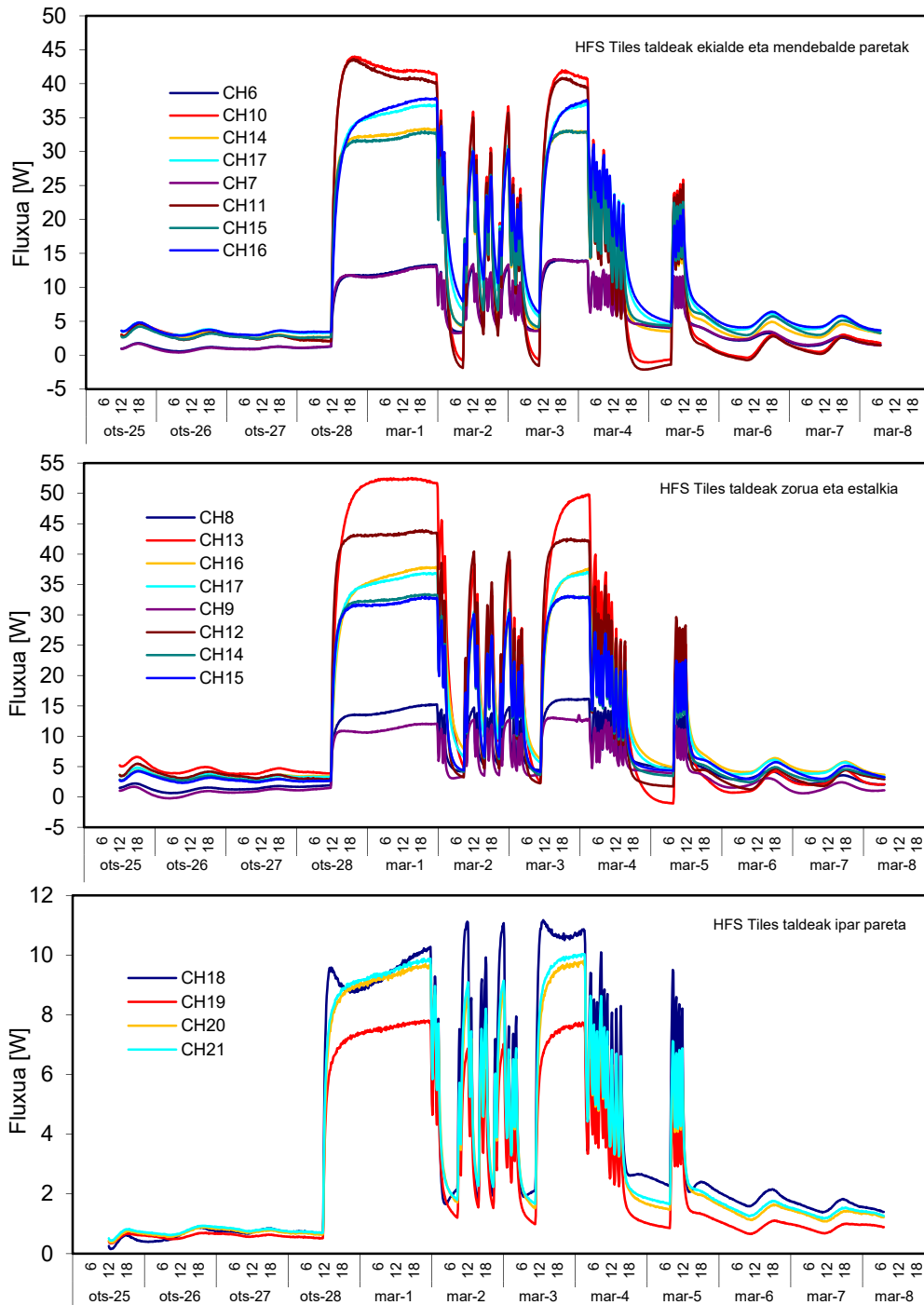
Bi entsegu periodoetan konproba daiteke ingurutzaila zeharkatzen duen bero-fluxu netoa positiboa dela, hau da, neurketa entsegutik beroak ihes egiten du. Honek, parametro-identifikazio prozesua errazten du. Eta entsegu-gelan batezbestekoa energia-balantzea aztertzen bada, lehenean entsegutako energiaren %70,7 ingurutzailan zehar galtzen da, nahiz eta gainazal honen azalera totalaren %89,9 errepresentatu. Bigarren entseguan, itxituratik %76,3 galtzen da. Balio hauek ikusita, ingurutzailan zehar bero-fluxua nola galtzen den modu egokian karakterizatzea oinarritzakoa dela konprabatu daiteke. Eta horma opakua isolamendu altuko lagina dela kontuan hartuz, gelaren itxituraren diseinu egokiarekin, osagaiak energiaren % 30 trukatzeko lor daitezke, azalera osoaren %10 bakarrik errepresentatuz. *Tile*-ak erabiliz itxituran zehar trukatzeko bero-fluxua egiaztatzen, beharrezkoa da *tile* talde bakoitzaren neurketak aztertzea.



3.17 Irudia – Horma opakuaren lehenengo entseguan sartutako potentzia eta itxituran zeharreko fluxua, goiko grafikoan, eta bigarren entseguan, beheko grafikoa



4.18 Irudia –Horma opakuaren lehenengo entseguan neurtutako batzbesteko bero-fluxu dentsitatea tile talde bakoitzean, ezkerrean, eta bigarren entsegua, eskuinaldean



3.20 Irudia – Horma opakuaren bigarren entseguan errejistratutako bero-fluxuak tile talde bakoitzean

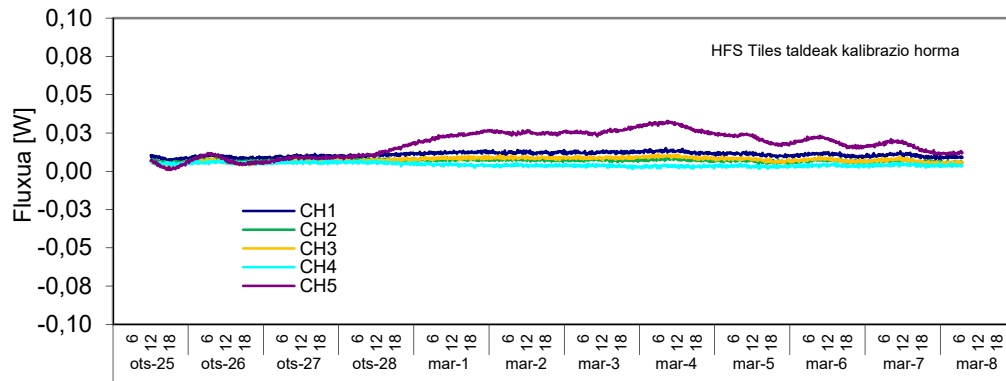
3.19 Irudian, horma opakuaren bi entsegetan tile talde bakoitzak neurtutako batzabesteko fluxuak erakusten dira. Balio txikiak zentruan kokatutako taldeetan ematen dira, bertan fluxu unidimentsionalak neurtzen baitira. Ertzetan kokatutako taldeen kasuan fluxu handiagoak lortzen dira, alboan kokatutako talde zentralek bitarteko balioak neurtzen dituztelarik. Honetaz gain, ikus daiteke iparraldera orientatutako taldeen kasuan fluxuak txikiagoak direla, eta zona honetan, ertz efektuak arbuigarriak dira. Honen kalibrazio prozesuan definitutako lan hipotesia baieztatzen du, ikus 1 Kapituluak. Baita ere ikus daiteke,

bero-fluxu dentsitate handiena laginaren ertzeetako zonetan ematen dela. 3.19 Irudiko eskuinaldeko irudian, bigarren entseguari dagokiona, fluxuek egonkortasun handiagoa erakusten dute, entsegua berokuntza-potentzia handiagoarekin egiten delako lehenengo entseguarekin konparatuz, ezker aldeko irudia. Behin fluxu batezbestekoak koherenteak direla egiaztatuta, hauen bilakaera zuzena dela egiaztatu behar da. 3.20 Irudian adibide bezala, horma opakuko bigarren entseguan *tile* talde bakoitzean erregistratutako fluxuak erakusten dira. Itxiturak trukaturako bero-fluxuaren neurketa zuzena dela egiaztatzeko, beharrezkoa da *tile* talde bakoitzak hurrengo baldintzak betetzen ikuskatzea:

- 10 eta 11 taldeen seinalea antzekoa izatea eta balio handienekoak izatea. Talde hauek, ekialde eta mendebaldeko paretetako zona zentraletan kokatuta daudelako eta gainazal handiena dutelako.
- 16 eta 17 taldeen seinalea antzekoa izatea. Talde hauek zoruko ertz zonei dagozkie.
- 14 eta 15 taldeen seinalea uarreko bikotearen seinalearen antzekoa edo zertxobait txikiagoa. Talde hauek sapaiko ertzaren zonaldean kokatuta daude, eta sapaia baino isolamendu gehiago du.
- 13 taldearen seinaleak tamaina handienekoa izan behar du. Talde hau zoruko zona zentralari dagokio.
- 12 taldearen seinaleak bigarrena izan behar du tamainan. Talde hau estalkiko zona zentralari dagokio.
- 6 eta 7 taldeen seinaleek antzekoak izan behar dute. Talde hauek lagina eusten duen egituraren ertzetan kokatuta daude. Azpimarragarria da, denbora tarte batzuetan, zona honetan fluxuaren norantza aldatzen dela. Honek *tile* sistemaren garrantzia nabarmentzen du, entsegu-gelaren itxituren zehar fluxu erreala balioestea oso konplexua baita.
- 8 eta 9 taldeen seinalea antzeko izatea, baina aurreko bikotea baino diferentzia handiagoarekin. Talde hauek lagina eusten duen egituraren goikaldeko eta behekaldeko ertzei dagozkie. Horretaz gain, 8 taldearen seinaleak 9 taldeko seinalearena baino handiagoa izan behar du isolamenduaren konfigurazio dela eta.
- 20 eta 21 taldeen seinaleak antzekoak izan behar du. Talde hauek iparraldera begira dagoen paretako alboetako ertzetan kokatuta daude.
- 18 taldearen seinalea aurreko taldeekin konparatuz antzekoa izatea, iparraldeko paretan ertz efektua minimoa baita. Talde honek aurkezten duen portaera nahiko partikularra da, entsegu-gelarako sarbideko atearen gainean dagoenez.
- 19 taldearen seinaleak, 20 eta 21 taldeetako seinaleen antzekoak baina txikiagoa izan behar du. Talde honi, ipar-paretako goikaldeko ertza dagokio. Gainazal txikiagoa du.

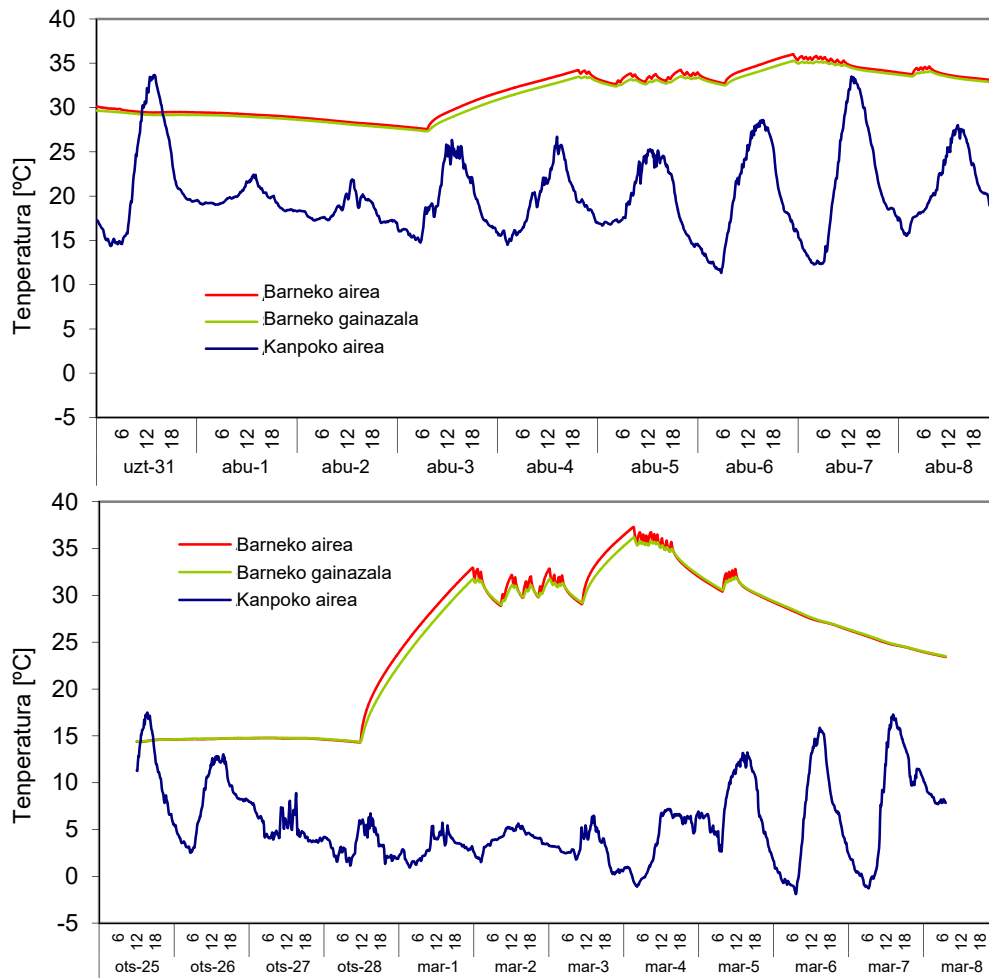
1etik 5etarainoko taldeak kalibrazio hormarekiko deskonektatuta daude, hau hala dela aprobetxatuz, by-pass bat egin zaie neurketa-zarata karakterizatu ahal izateko *tile*-k bero-fluxua neurtzen dutenean. 3.21 Irudian kontrol taldeen neurketak aurkezten dira. Zarata-patroi bat jarraitzen dutela egiaztatzen da. Zarata honek zeroaren inguruan balio aleatorioak hartzen ditu, Hala ere 5 taldearen kasuan desbidazio txiki bat antzematen da, honen arrazoa talde hau berokuntza elementutik gertu dagoela da. Zaratak, 0,05 [W] baino ekarpen txikiagoa du, balio honek itxiturak trukaturako batzbesteko fluxuaren %0,25 suposatzen du. Parametro hau, itxituren zeharreko fluxuaren neurkletaren ziurgabetasuna kalkulaterakoan kontutan hartzen da, eta baita ere ziurgabetasunak azken emaitzetan duen eragina aztertzerakoan.





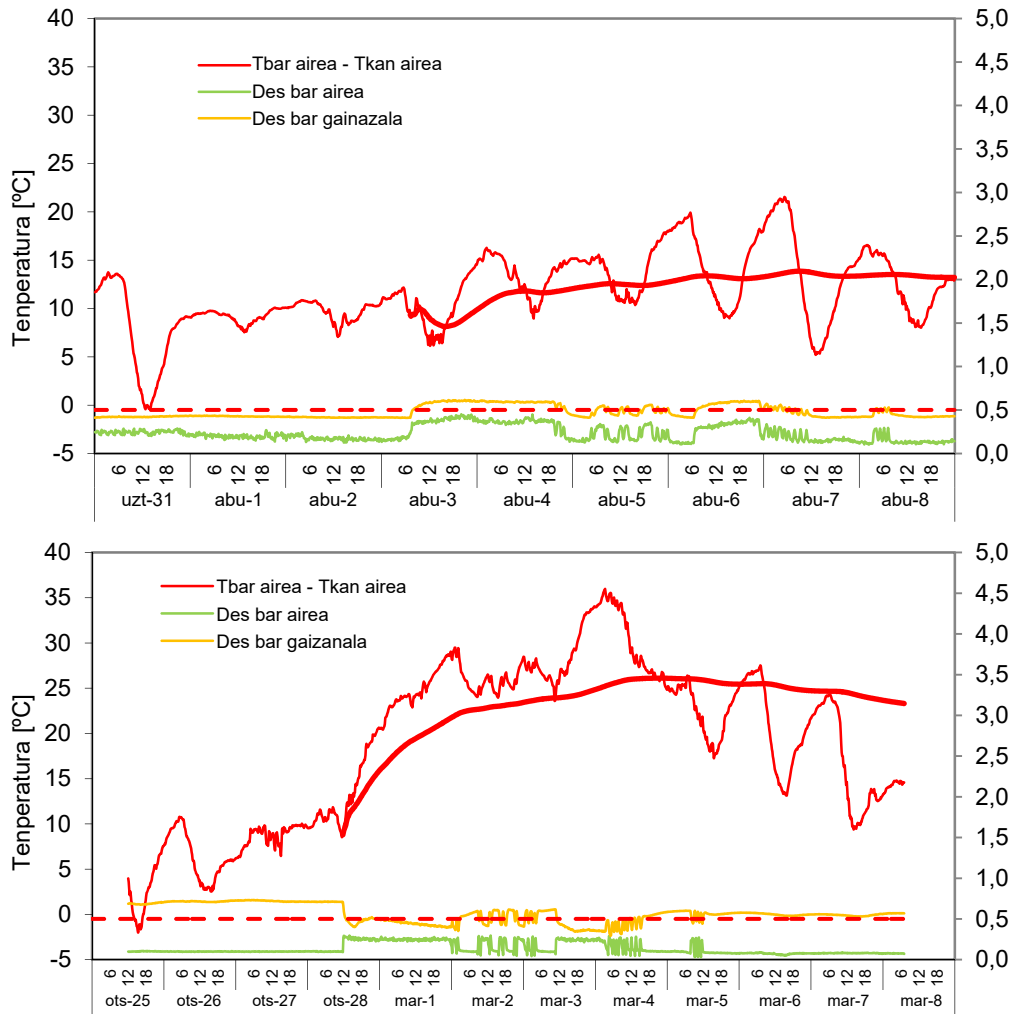
3.191 Irudia – Tile-etan fluxuaren neurketan errejistratutako zarata

Behin neurtutako bero-fluxuak zuzenak direla egiaztatuta, falta da soilik, entsegugelako tenperaturak aztertzea bakarrik falta da gelaskarako planteatutako ereduen hipotesiak mantendu ahal izateko. 3.22 Irudian tenperatura garrantzitsuenen bilakaera erakusten da: airearen batzabesteko tenperatura eta entsegugelako barruko gainazaleko tenperatura alde batetik, eta bestaldetik laginaren aurrean aireztatutako kanpoko tenperatura.



3.22 Irudia – Entsegugelako eta inguruko tenperaturen bilakaera horma opakuaren kasuan

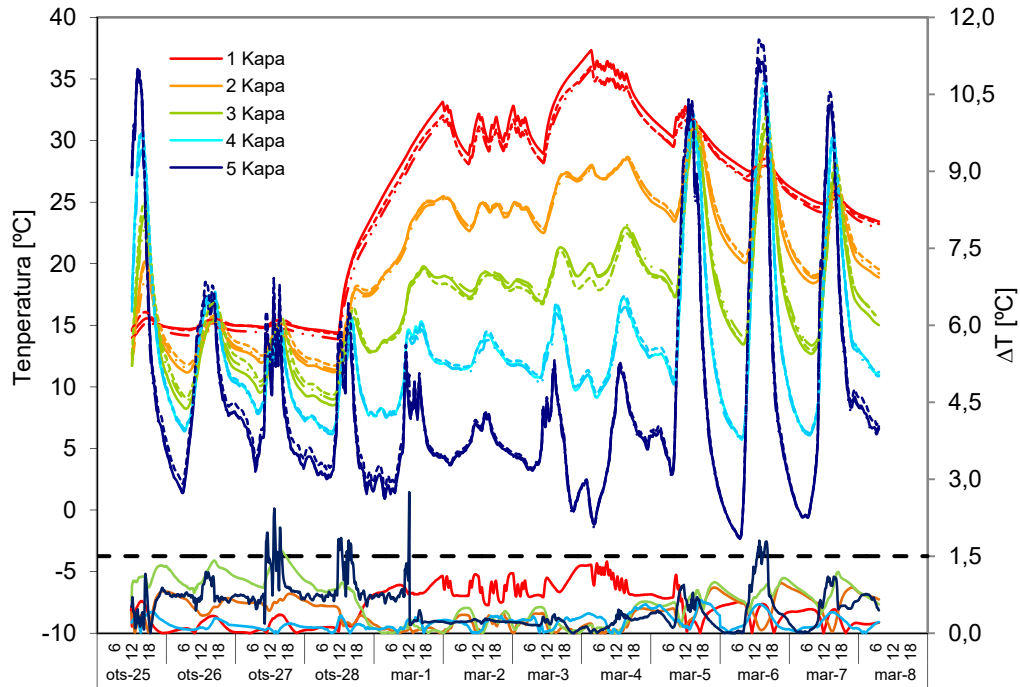
Ereduaren eraikitze faseari begira, barruko tenperaturaren homogeneotasunaren kasuan, beharrezkoa da lan hipotesiak betetzen direla aurrez egiaztatzea. 3.23 Irudian tenperatura hauen balioak erakusten dira. Ikus daiteke 250 [W]eko potentziarekin egindako entseguan zehar batzbesteko tenperatura diferentzia 10°Ckoa dela, 500 [W]eko potentziekin aldiz, batzbesteko tenperatura-saltoa 25°C inguru izatera pasatzen da. Desberdintasun handi honek, bero-fluxu homogeneoagoak eta fidagarriagoak lortzea dakar, eta laginan zehar energia trukaketa handiagoa, honek karakterizazio prozesuaren hobetzea suposatzen du.



3.23 Irudia - Tenperaturen arteko diferentzia eta airearen eta barruko gainazaleko tenperaturen homogeneotasuna

Hala ere, bi kasuetan, entsegu-gelako airearen tenperatura zunda taldeen arteko desberdintasun maximoak ez du 0,5°Cko balio maximoa gainditzen, eta beraz, entsegu-gelako tenperatura uniforme denaren hipotesia onartu daiteke. Gainazal-tenperaturen arteko desberdintasunak handiagoak dira, baina 0,8°Cak ez inoiz gainditzen. Beraz, itxituraren gainazaleko tenperatura uniforme dela kontsideratu daiteke akats adierazgarririk egin gabe. Behin entsegu-gelaren entsegu-baldintzak ebaluatuta, probetaren portaeraren ikerketa egin daiteke. Kasu honetan, probetan sortzen diren tenperaturetako profil desberdinak edukiz, bai zona zentrolean, bai ertz-zonetan, hala nola ere kanpoko gainazaletako fluxu

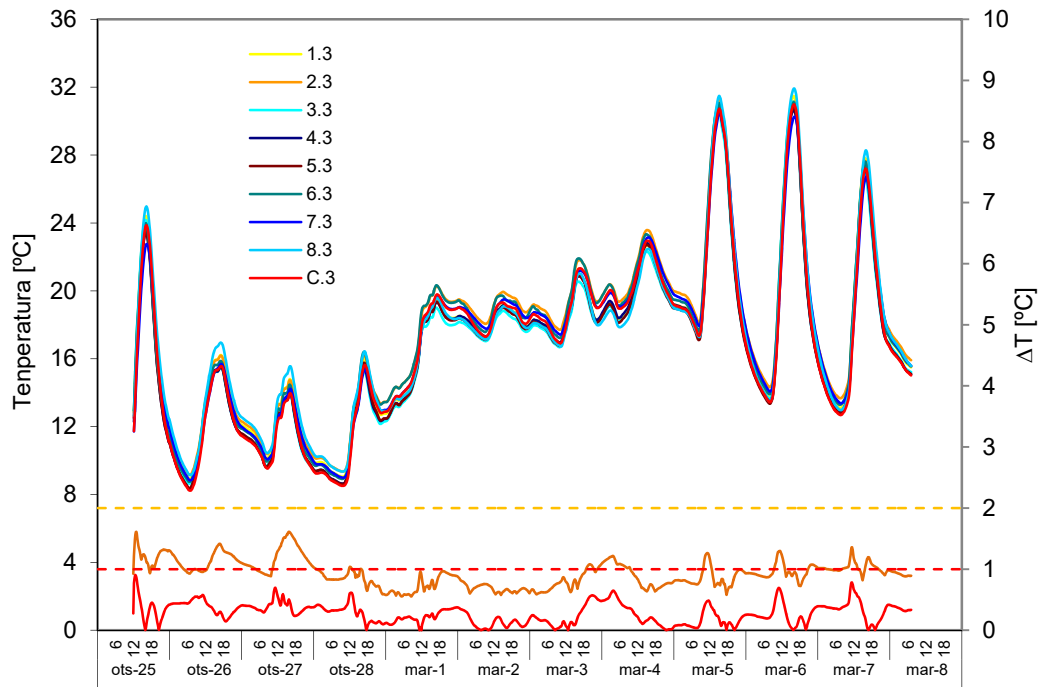
puntualak, ikerketa zehatzagoa izan daiteke, eta horrela, interes handiko informazioa lortu laginak eusten dituen egituraren eragina ezagutzuz laginengan.



3.24 Irudia – Temperatura profilen bilakera horma opakuan, zona zentrolean, lateralean eta beheko ertzean

3.24 Irudian horma opakuan errejistratutako zeharkako hiru temperatura-profilak erakusten dira, profila A, puntu zentralari dagokiona, eta, B profila, perimetro mendebaldeko lateralari dagokiona eta lerro etenez adierazten dena, eta C profila, mendebaldeko beheko ertzari dagokiona, puntu eta marrez osatutako lerroz adierazten dena. Hiru temperatura-profilek bilakaera berdina dutela ikus daiteke probeta lodiera bakoitzaren kasuan. Barnealdeko lehen geruzako temperaturek gelako barneko airearen temperatura jarraitzen dute, ROLBS errutinak definitzen du airearen temperatura, 5 geruzako temperaturek berriz, geruza hau kanpokaldekoena da, eguzki-areira temperatura jarraitzen dute. Gainerako geruzetako temperaturak modu progresiboan mailaktzen dira bi muturren artean, Efektu hau entsegu-periodoaren tarte zentrolean ikusten argi eta garbi, martxoaren 1etik 5era, bertan bero-fluxua dimentsio bakarrekoa da ia, gelaren barrutik kanporantz, eguzkiaren eragina txikia baita eta entsegu-gelako berokuntza sistemak temperatura gradiente handia sortzen baitu probetan zehar. Entseguaren azken zatian, gelaskak modu askean lan egiten duenean, ikus daiteke geruza desberdinetako temperaturen balioak hurbildu egiten direla eguzkiaren eraginez eta urrundu gauean zehar. Batezbeste, geruza bakoitzeko ertz eta lateraleko profilen temperaturak ez dute  $0,5^{\circ}\text{C}$ ko diferentzia gainditzen zona zentralarekin konparatuz. Hala ere, egoera puntualetan diferentziak  $1,5^{\circ}\text{C}$ ko temperatura diferentzia maximoa balio izatera heltzen da. Aldiune bakoitzean profil zentralarekiko diferentziak 3.24 Irudiko behekaldean erakusten dira. Ikus daiteke diferentzia hauek ia nuluak direla berokuntza-sistema aktibatuta dagoen aldietan ROLBS errutina jarraituz. Salbuespen bakarra barruko geruza da, bertan zona zentrolean temperatura handiagoak lortzen dira, hau aireztagailuaren eraginez gertatzen da. Periodo askeetan, eguzkiaren eraginagatik eta honen

bilakaeragatik, zona zentralarekiko diferentzien oszilazio handiagoa lortzen da. Efektu hau 6 geruzako temperaturaren kasuan agertzen da nabarmentasun handienarekin, berokuntza periodoen eragina ikus daiteke, nahiz eta eragina txikia izan.

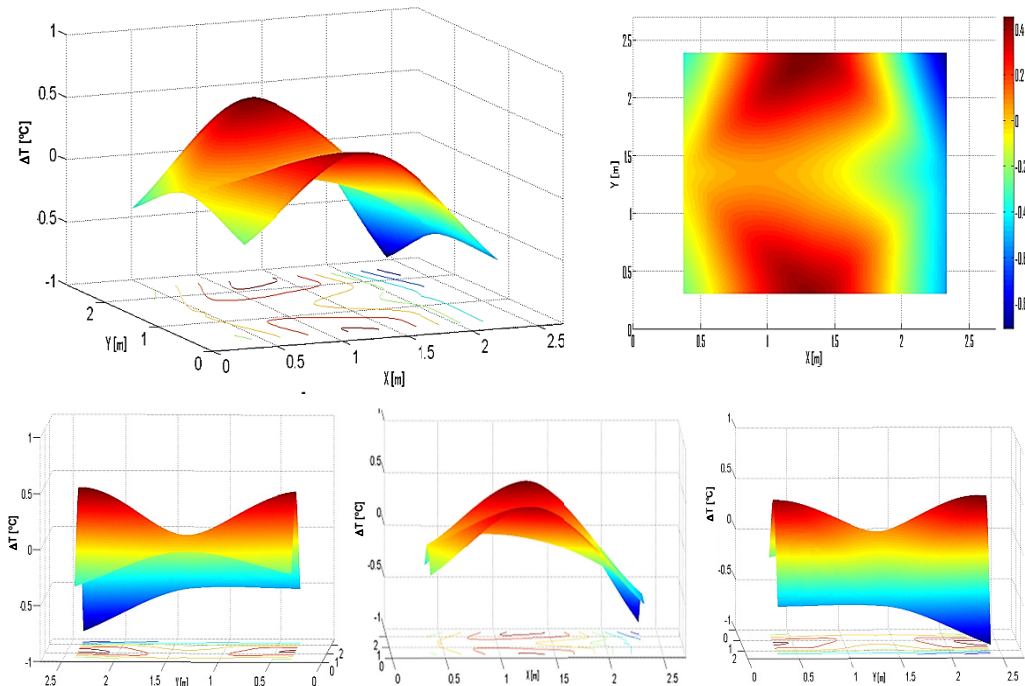


3.25 Irudia - Horma opakuko plano zentralean temperaturen bilakaera

Aurretik esan bezala, IQ-Test-eko probeta opakua probetak eusteko egiturako ertzetako efektua eta plano zentralean temperaturen portaera aztertzeko diseinaturata dago. 3.4 Irudian zona zentralean kokatutako 9 zunden antolamendua erakusten da, eta 3.25 Irudian, zunda hauen bitartez errejistratutako temperaturak. Ikus daiteke, entsegu guztian zehar, temperatura oso homogeneoa dela gainazal guztian. Grafikoko behealdean, gorri, horma opakuaen perimetroko temperatura eta zentruko temperaturaren arteko diferentzia ikus daiteke. Diferentzia hori 1°C baino txikiagoa da uneoro, eta 0,3°C inguruko batazbesteko balioa hartzen du entseguan zehar. Kolore laranja gainazalean neurtutako temperatura guztien artean ematen den temperatura diferentzia maximoa azaltzen da. Ikus daiteke temperatura gradiente maximoen balioak 2°C baino txikiagoak direla eta entseguan zehar batazbeste 0,9°Cko diferentzia dutela.

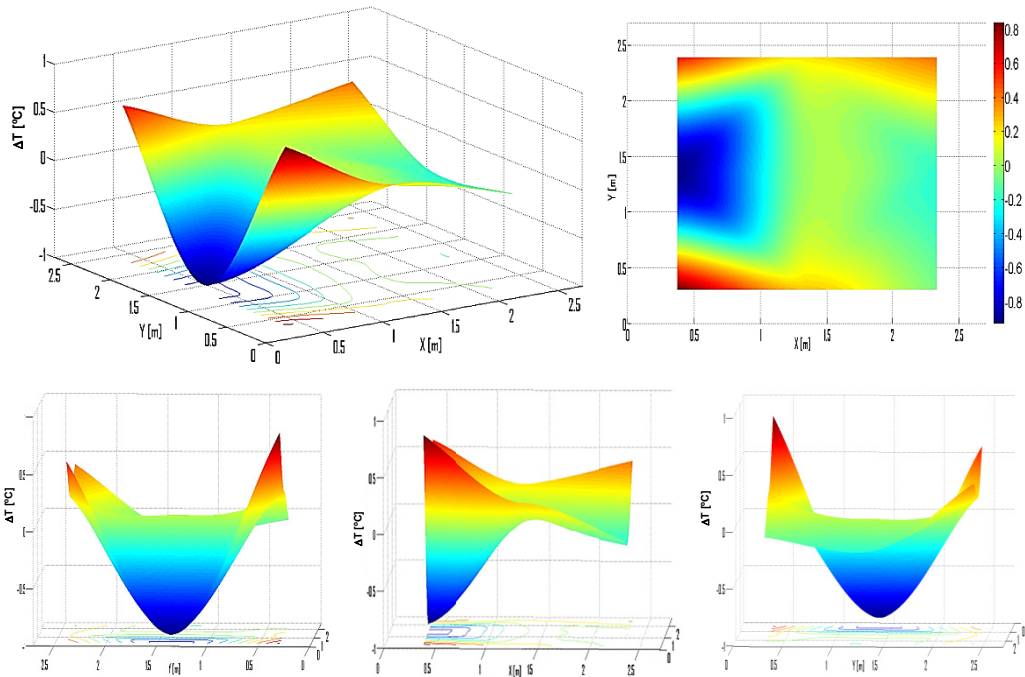
Jarraian, entseguko hiru aldiune adierazgarrietan, laginaren plano zentralako temperatura mapa aztertzen da: berokuntza periodoko aldiune batetan, eta periodo askeko bi aldiunetan, temperatura maximo eta minimoko kasuetan. 3.26 Irudian probetaren portaera ikus daiteke berokuntza periodoan, datuak martxoaren 1eko 18:00 aldiuneari dagozkio, momentu horretan errutina eszitazio maila aplikatzen ari da. XY planoan, lagina hego-ipar norantzan begiratu balitz bezala errepresentatzen da, hots, ezkerraldea,  $x = 0$  [m], mendebaldeko ardatzari dagokio, eta eskuina berriz,  $x = 2,7$  [m], ekialdeko ardatzari. Y ardatzak altuera adierazten du,  $y = 0$  [m]-k behealdeko zona adieraziz eta  $y = 2,7$  [m]-k goikaldekoa. Z ardatzean temperatura zentralarekiko puntu bakoitzeko temperatura adierazten du. Interpolazio kubikoa erabiltzen da temperatura gainazala irudikatzeko.

Berokuntza-errutina aktibatzerakoan, bero-fluxua gelaskaren barrukaldetik kanpokalderantz mantentzen da, temperatura profilen bitartez ikus daitekeen bezala. Hauxe da parametro identifikazio ikasketarako garrantzia gehien duen aldia, eta beraz temperatura planoak lagina eusten duen egituraren efekturik ez izatea garrantzitsua da.



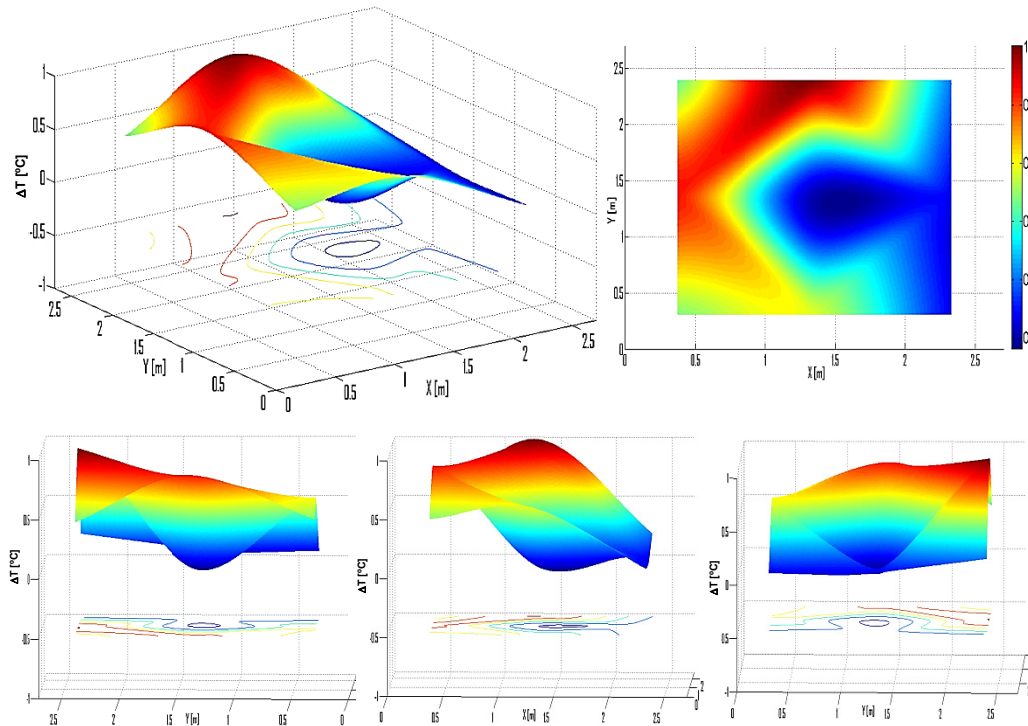
3.26 Irudia – Berokuntza periodoaren aldiune adierazgarri batetarako horma opakuko plano zentralako temperaturak

Kasu honetan, *IQ-Test*-eko horma opakua kasuan, material homogeneoa denez, gainazal temperatura plano eta paraleloak aurkeztu behar lituzke. Adibidean erabilitako aldiunearen kasuan, puntu zentralaren temperaturarekiko batzbesteko diferentzia  $0,44^{\circ}\text{C}$  da, maximoa  $0,92^{\circ}\text{C}$  izanik, ondorioz portaera egokia dela kontsideratzen da. Halere, ertz-efektua ikus daiteke laginean, ikus 3.26 Irudia. Laginaren ertzetako zonek zona zentralak baino temperatura bajuagoak dituzte, diferentzia handiena ekialdeko goikaldeko izkinan ematen da. Eguzkitiko erradiazioaren eta aireztagailuaren eraginez ematen da portaera hau. Lehenengo kasuan, mendebaldeko ardatzak erradiazioa jasotzen du goizeko ordu guztietan, ekialdeko ardatzak berriz itzala jasaten du, gutxiago berotuz. Aireztagailuari dagokionez, hau bero-banaketa handitzen erabiltzen da, laginaren parez pare kokatzen denez, beroketa gune bat sortuz zona zentrolean, eta airearen gelditze egoera ertzetan. Laginak eusteko erabiltzen den egituraren portaeraren ebaluaketa neurketa gelako temperatura libreki aldatzen denean interesgarria da. 3.27 Irudian, martxoaren 6an arratsaldeko 15etan plano zentralako temperaturak erakusten dira. Berokuntza aldiaren lortutako batzbesteko temperatura diferentzia eta diferentzia maximoen antzekoak lortzen dira. Kasu honetan puntu zentralarekiko batzbesteko diferentzia  $0,43^{\circ}\text{C}$  da, eta balio maximoa  $0,91^{\circ}\text{C}$  da, eta mendebaldeko ardatzeko zona zentrolean ematen da. Isoterma mapan ikus daiteke, goiko ezkerreko irudia, temperatura plano oso homogeneoa dela laginaren zona zentrolean, temperatura igoera emanez honen ertzetan, baina gainazal honen azalerara txikia denez gainazal totalarekiko, eragin txikia du. Aireztagailuaren eragina berokuntza aldiaren nulia dela da honen arrazoa.



3.27 Irudia- Neurketa gela libreki aldatzen denean horma opakuko zona zentraleko tenperaturak tenperatura maximoko aldiune batetan

Aldiz, azpimarragarria da mendebaldeko ardatzaren zona zentrolean gertatzen den hozketa, hau jasaten duen itzalagatik da, erradiazio handiko eguna izanik eta egunean aurrera egindako ordua. Eguzkiaren bilakaerak egunak aurre egin ahala laginaren tenperatura eremuan eragin handia du beraz.

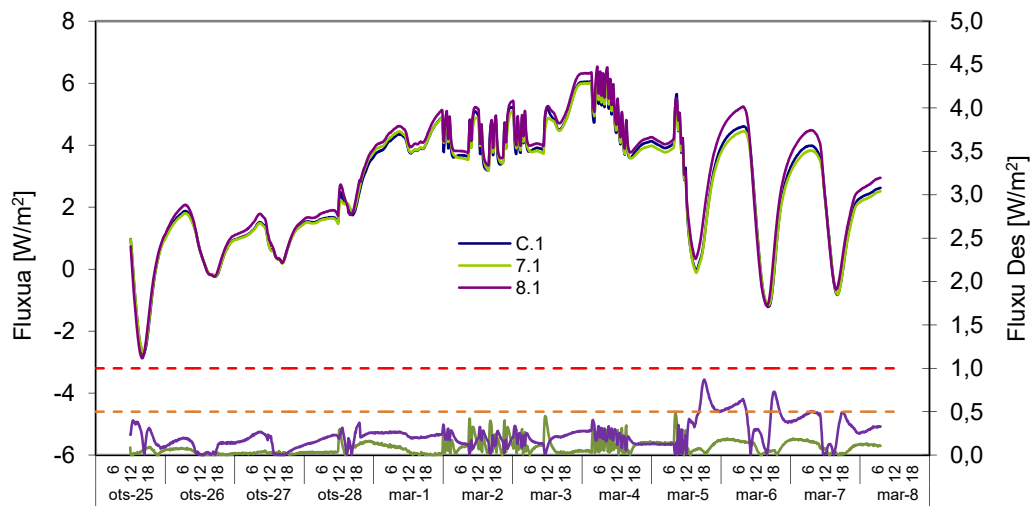


3.28 Irudia - Entsegu-gelaren bilakera askeko periodoan horma opakuko plano zentrolean tenperaturak inguruko tenperatura bajuko aldiune batetan



Eguzkitiko erradiaziorik gabe laginaren portaera ebaluatu ahal izateko, gauez denbora aldiune bat aztertzen da. 3.28 Irudian, martxoaren 7ko gaueko 4etako tenperatura mapa aurkezten da. Argi eta garbi ikusten da zona zentrolean tenperatura putzu bat, espero bezala, ertzetan bero galera handiagoak baidaude. Aireztagailuaren eraginez, tenperatura altueneko zona goikaldeko ertzean ematen da. Hasiera batean, simetria bertikalagatik, lateraletako ertzek tenperatura patroia berdina erakutsi behar luketela pentsa zitekeen, baina ekialdeko ertzean zona zentrolean bezain tenperatura txikiak ditugu. Honen arrazoa, gau honetan izandako tenperatura txikiak da. Gelaskak ura kanporatzeko duen mendebaldeko ekialde inklinazioagatik, uraren kondentsazioa eta ondoren gertatzen den izozketaren ondorioz bero transmisio handiagoa gertatzen da mendebaldeko ardatzean, eta honek azaltzen du 3.28 Irudian ikus daitekeen tenperatura patroia eta plano zentrolean agertzen diren profilak.

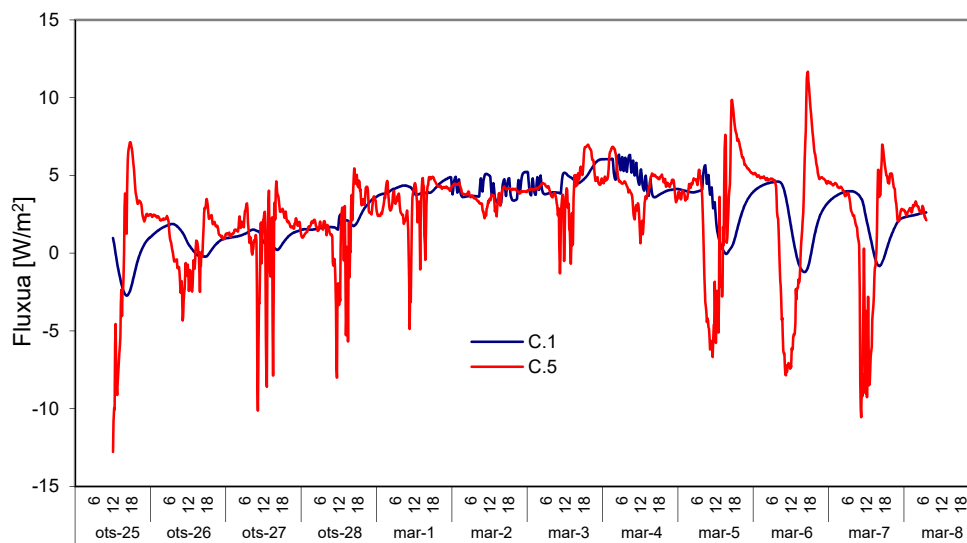
Lagina eusteko erabiltzen den egituraren eragina, laginaren tenperaturen portaeran ebaluatzerakoan, ondoriozta daiteke honen diseinua oso egokia dela. Ertz efektua txikia da eta akotatuta dago, eta beraz ez dago batatzbesteko tenperaturekiko gradua erdi baten desbidazioa baino handiagorik, maximoak gradu bat baino txikiagoak izanik. Laginak eusteko egituraren ertz efektua laginaren gainazala handituz murriztu daiteke, baina honek entsegu-gelaren bolumen handiagoa suposatuko lituzke edo entsegu-gelako itxitura zeharkatuko lukeen bero-fluxu portzentaia handituko luke lagina zeharkatzen duenarekiko, ondorio hauek identifikazio-ereduen analisia zailduko luke. Nahiz eta tenperaturak kontutan izanik emaitzak onak diren, laginaren zona desberdinetan bero-fluxuak aztertzea beharrezkoa da. Horretarako horma opakuaren barrukaldeko aurpegian kokatutako hiru fluximetro erabiltzen dira. Fluximetroak zona zentrolean mendebaldeko ertzean (zona zentrala eta behekaldeko izkina) kokatzen dira. Fluximetro hauen kokapen zehatza 3.4 eta 3.5 Irudietan ikus daiteke. Kanpokaldeko geruzan zona zentrolean fluximetro bat gehiago kokatzen da, fluximetro honek sortuko diren ereduak egiaztatzeko eta erreferentzia bezala balio du, beste helbururik gabe, elementu honek baitu errorerik handiena eguzkitiko erradiazioaren eraginez.



3.29 Irudia – Horma opakuaren barruko aurpegia kokatutako fluximetroen seinalea

Barrukaldeko aurpegian bero-fluxuen seinalea ikus daiteke 3.29 Irudian. Bertan, zona zentroleko eta ertzeko zona zentroleko bero-fluxuak antzeko balioak hartzen

dituztela konproba daiteke, hauen arteko diferentzia  $0,5 \text{ [W/m}^2\text{]}$  baino txikiagoa izanik. Batazbeste, bien arteko diferentzia erlatiboa %3,1 da. Izkina-zonan fluxuak handienak lortzen dira. Izkina-zonan fluxuak handienak dira. Nahiz eta beroketa periodoan zehar, entsegu errutina aktibo dagoenean, desberdintasunek ez dute  $0,5\text{a}$  gainditzen fluxu zentralarekin alderatuz. Hala ere, periodo librean zehar, eta eguzki-eragin garrantzitsuko egunak ematen direnean, desberdintasunak  $1 \text{ [W/m}^2\text{]}$ -ko balioak izatera iristen dira. Entseguko periodo osoan, desberdintasuna erlatiboa batezbestekoa %8,2a da izkina zonaren eta zentru zonaren artean. Ikus daiteke, nahiz eta laginak tenperatura planoetan portaera ona daukan, desberdintasun txiki hauek fluxu-aldaketa garrantzitsuak sortzen dituztela ertz zonetan. Efektu hau izkina zonetan nabarmenagoa ikusten da azaleko fluxu adierazgarria sortuz, eragin garrantzitsuagoa izango duela zenbat eta isolatzaileagoa da lagina. Aspektu hau ikusi ahal izan da jada, aurreko kapituluan garatutako kalibrazio prozesuaren analisian zehar. Erabateko *tiles*-ekin kalibrazio hormaren transmitantzia lortutako balioak talde zentralarekin bakarrik lortuta askoz gehiago ematen zituen. Kalibrazio horma isolamendu askoko elementu bat da, orduan, beraz ertz-efektuek laginaren estudioaren gaineko eragin maximoa dute. *IQ-Test*-aren horma opakua isolamendu altua du ere, baina eraikuntzako entsegu balioetara hurbilagoa dago. Orduan, entsegu laginaren propietate termikoetan erreferentzia bezala ezin hobeki balio du ertz efektuaren ziurgabetasuneko atalase maximoa zehazteko.



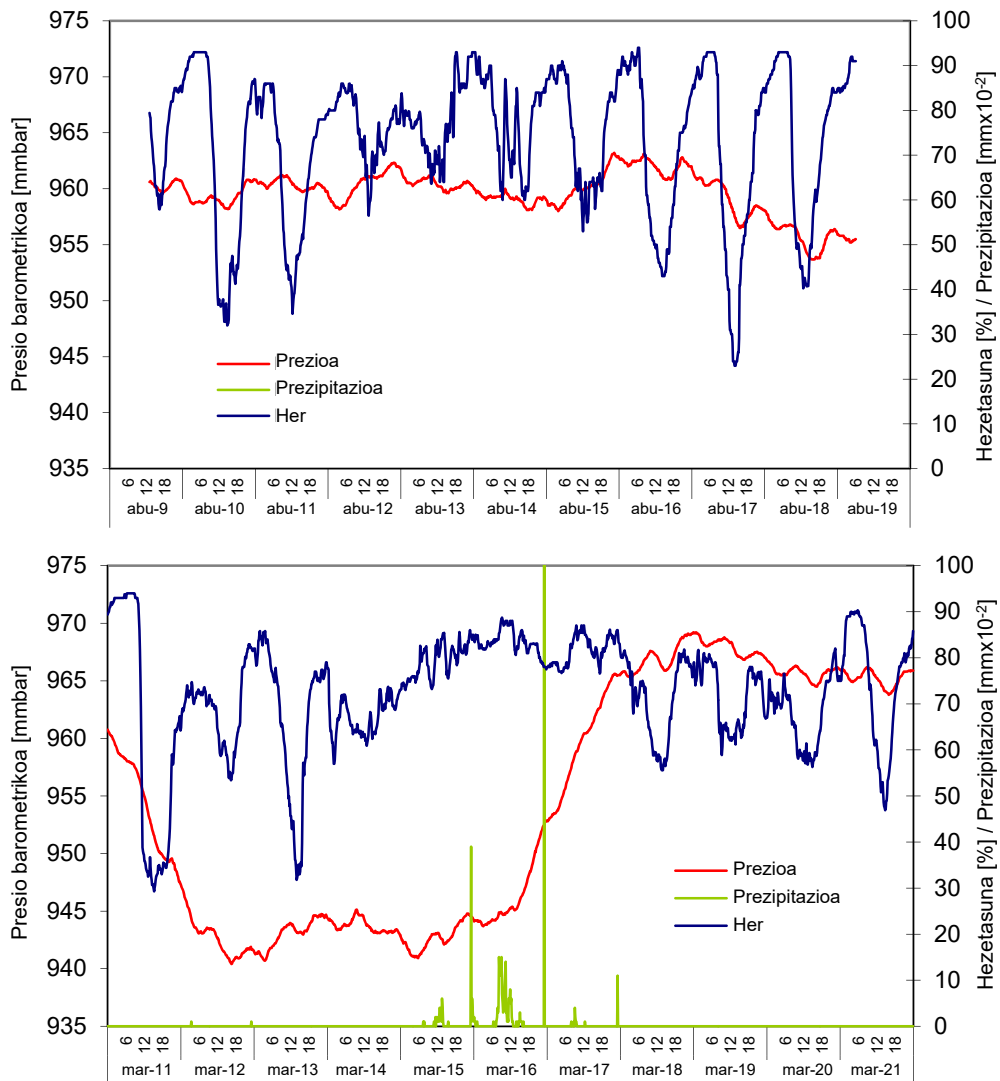
3.30 Irudia –Horma opakuko zona zentralaren bero fluxuak Barruko eta kanpoko aurpegian

Azkenean, 3.30 Irudian horma opakuko ardatz zentrolean neurtutako fluxuetako konparaziozkoa erakusten da barruko eta kanpoko azalerako. Lehen esaten zenez gero, estima daiteke neurtutako seinalean zarata handiagoa sortzen duela eguzkiaren erradiazioak, baina dena dela, balio interesgarri bat da analisian parte hartzeko. Hain zuzen, entsegu-egongelako askeak diren periodoetan zehar, kanpoko azalera zeharkatzen duen bero fluxua ahultzen eta defasatzen den bezala estimatzen da laginaren isolamenduko efektuagatik. Beharrezkoa da *tiles*-en zeinu irizpidea laginaren fluxurako mantentzen dela esatea, hau da, positibo da entsegu-egongelatik irteten denean fluxua eta negatibo sartzen denean. Ikus daiteke ere *ROLBS*-a errutina aktibo dagoen periodoan zehar bi fluxuak banantzen direla, guztiz bereizitako portaera aurkeztuz, irtendako fluxuaren nagusitasuna sortuz laginean zehar, hobetzen duena geroago parametro-identifikazio estudioa.

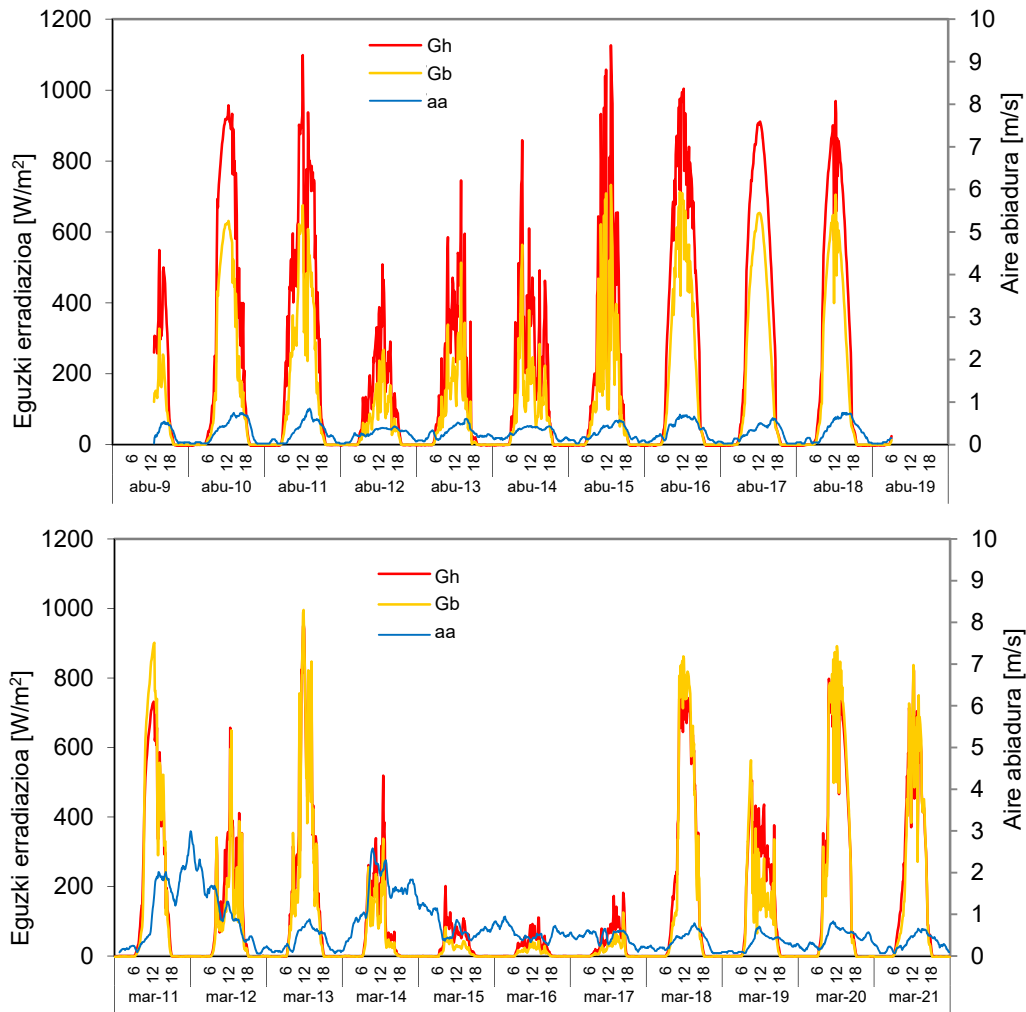
IQ-Test-aren lehen laginari buruzko entseguen datuak analizatu ondoren, hurrengo atalean horma opakutik zona zentrala erretiratu eta bigarren laginaren leihoa jarri ondoren lortutako datu esperimentalak ebaluatzen dira.

### 3.3.2 Leihoa

Aurreko entseguko datuen estudioan egin den moduan, lehendabizi neurriak zein egoeratan egin diren aztertzen da. Gainera, kasu honetan, ingurune klima-kondizioak garrantzi handiagoa dute, era nabarmenean parte hartu baitute emaitzetan. Honekin batera, aire ganbera bat laginean egoterakoan, batezbesteko tenperatura balioak eta beiretako azalaren arteko tenperatura desberdintasuna portaera konbektibo desberdinak dakartzate. Leihoaren entsegua ingurune egoerekiko mendekotasunak, laborategi-arteko parte hartzen duten zentro desberdinen emaitzak zuzenki erkarriak ez izatea egiten du, horma opakuko aurreko entseguren kasuan bezala.

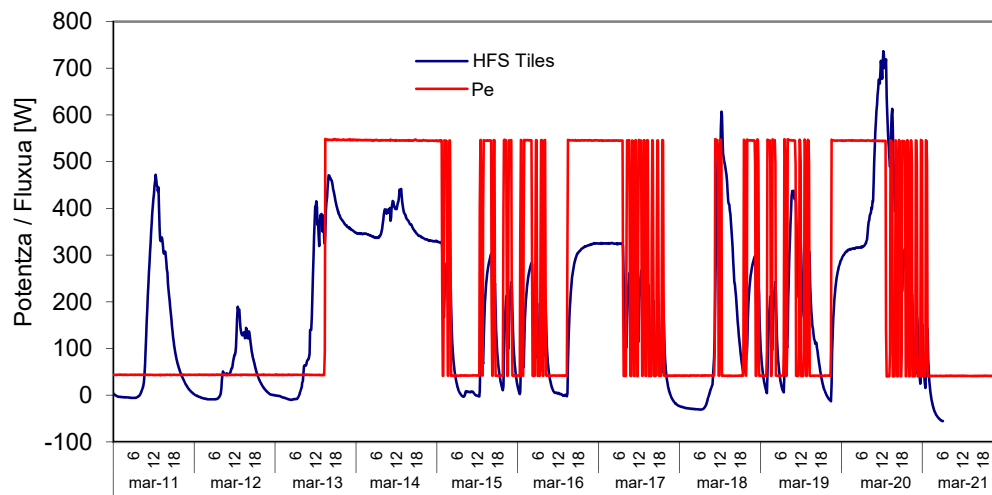
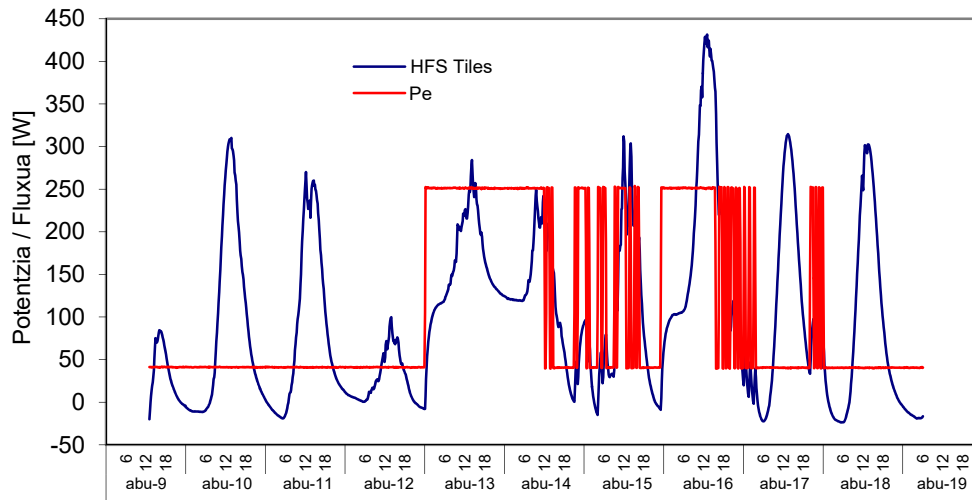


3.31 Irdia - Ingurune clima-kondizioak Leihoko lehen entseguan zehar, goiko grafikoa, eta bigarren entseguan zehar, beheko grafikoa

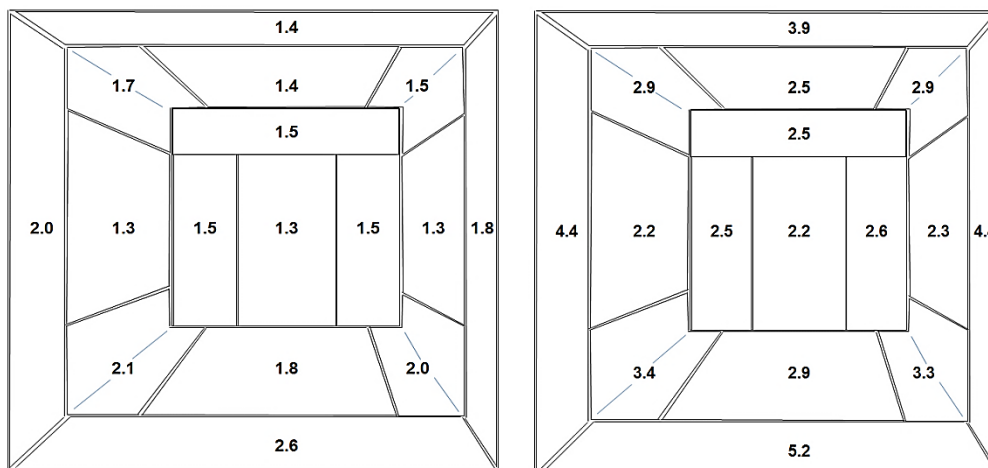


3.32 Irudia – Leihoko lehen entseguan zehar eguzki-erradiazioa eta airearen abiadura, goiko grafikoko, eta bigarren entseguan zehar, beheko grafikoa

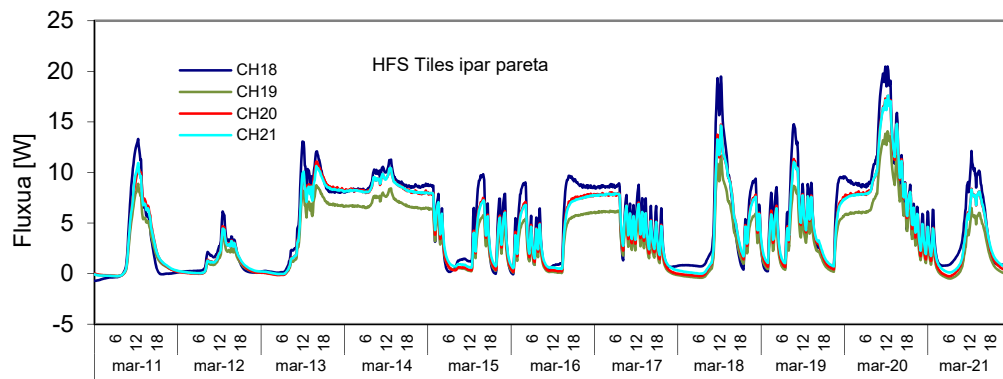
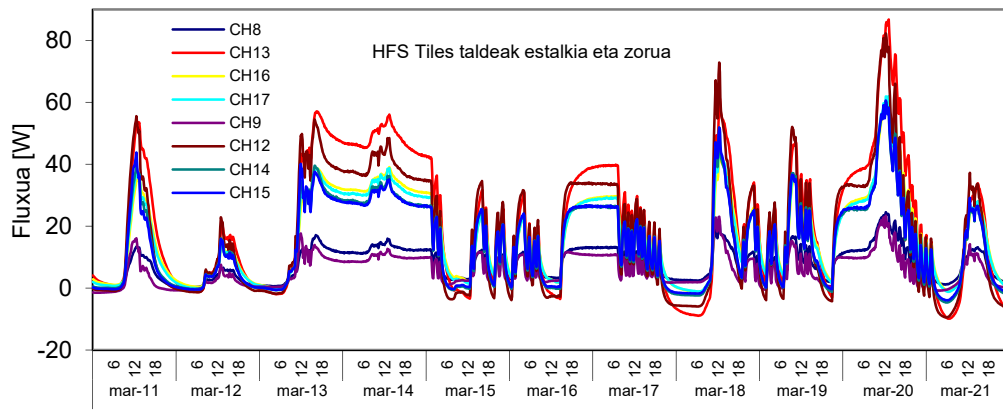
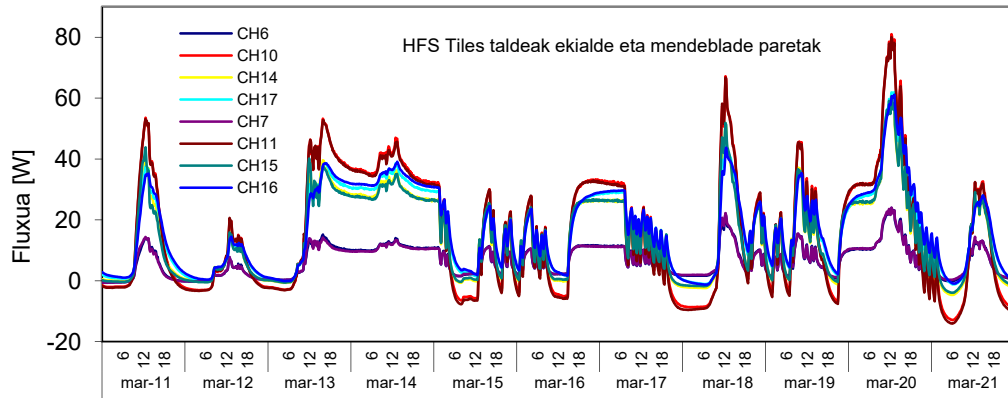
3.5 atalean bero-transmisio mekanismoen estudio zehatzagoa egiten da leihoaren kasurako, *PASLINK* gelan leiho entsegua ziurgabetasun estudioa definitzeko oinarri bezala balio izango duelarik. 3.31 Irudian ikus daiteke leihoko lehen entseguan zehar kanpoko klima-kondizioak portaera homogenea dutela, etengabeko ingurune presio altuekin eta ingurune hezetasunaren aldaketa periodikoekin, eguzki erradiazio zikloari jarraituz. Periodo guztian zehar ez da gertatzen euririk. Ordea, bigarren entseguan zehar, klima-kondizioak askoz aldagarriagoak dira, lehen erdian presio baxu eta euriarekin batera, eta goi-presioa bigarren erdialdean zehar. 3.32 Irudian eguzki erradiazioa eta laginaren aurreko haize abiadura ikus daitezke. Lehen entseguan zehar, udako klima-kondizioekin, eguzki-irradiazio nahiko homogenea lortzen da entseguko hamar egunetan zehar, haize-abiadura baxuekin batera. Bigarren entseguan, erradiazio-kondizioek hiru egun zentral dituzte eguzki-eragin urriarekin, eta haize-kondizio aldagarriaekin, abiadura baxuko eta abiadura handiko egunak tartekatuz. Aldakortasun honek baldintza hobeezin ematen ditu gainazaleko kanpoko konbekzioaren efektuak ebaluatu ahal izateko eta leihoaren transmitantzia eta eguzki-faktorearen banandutako identifikazioa baimentzen du. 3.4.2 atalean entsegu-periodo bakoitzaren kondizioen efektua parametro-identifikazio prozesuan eta lortutako emaitzen kalitatean zehar ikus daiteke.



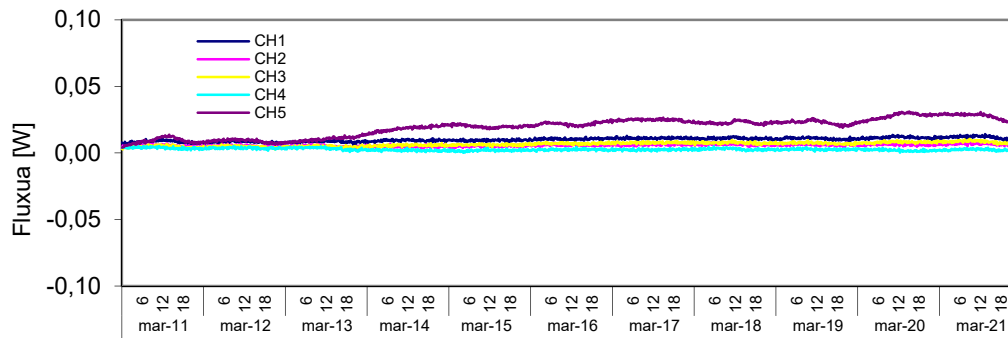
3.33 Irudia – Leihoko lehen entseguan zehar sartutako potentzia eta itxiturako fluxua, goiko grafikoa, eta bigarren entseguan zehar, beheko grafikoa



3.34 Irudia – Leihoko lehen entseguan zehar tiles-etako talde bakoitzeko neurtutako bero fluxuko dentsitatearen batezbesteko balioa, ezkerrean, eta bigarren entseguan, eskuinean



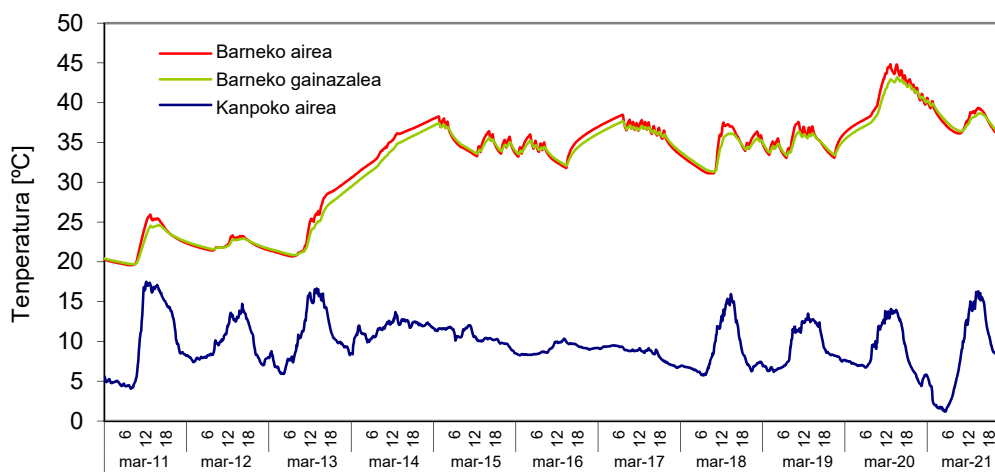
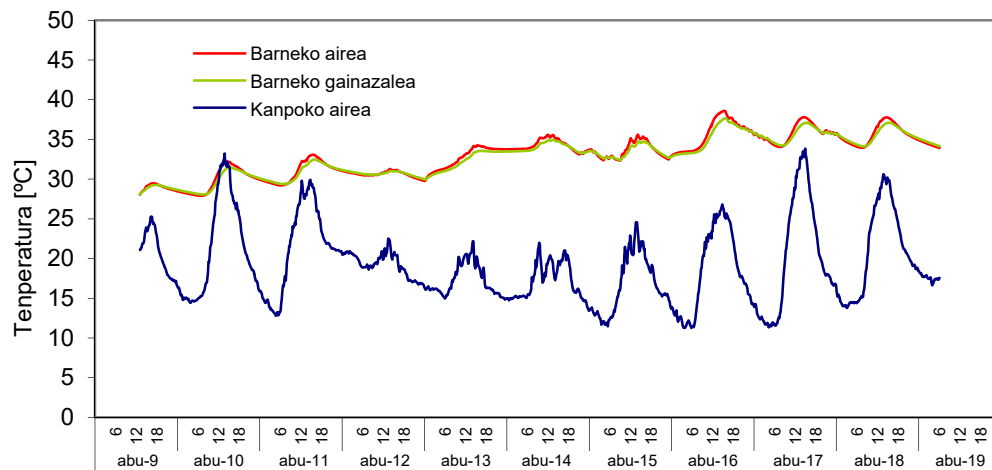
3.35 Irudia – HFS Tile-etako talde bakoitzak erregistratutako bero-fluxuak leihoko bigarren entseguan zehar



3.36 Irudia – Tile-ek leihoko bigarren entseguan zehar erregistratutako fluxuaren neurri zarata

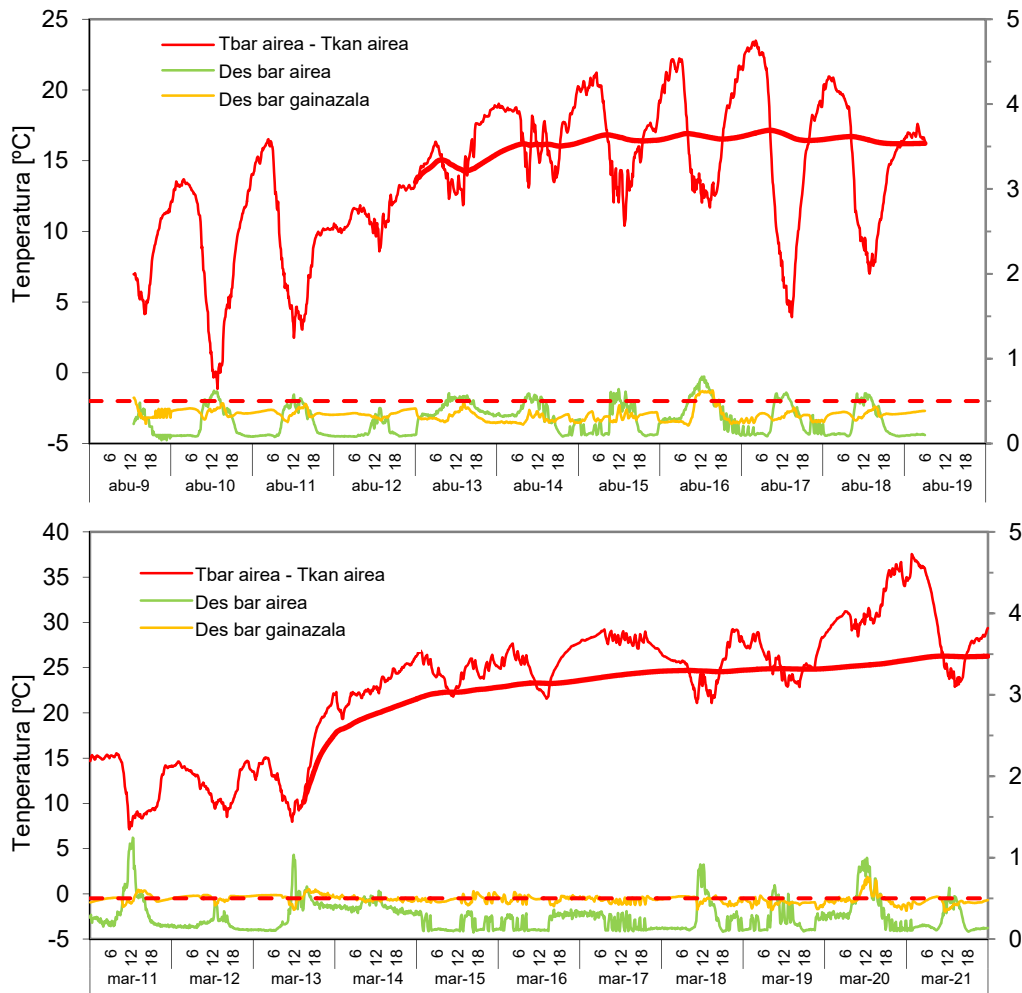


Lehen osagaiaren analisisianegin den bezala, kanpoko kondizioak ebaluatu ondoren entsegu gelaren aldagaiak ikuskatzen dira. 3.33 Irudian ikus daiteke itxitura zeharkatzen duen fluxua horma opakuko entseguan zehar gertatzen zenaren oso desberdina dela, 3.18 Irudian erakusten den moduan. Horma opakuan, eguzki-irabazirik gabe entsegu gela barruan, *tiles*-ek erregistratutako aldiuneko fluxua berokuntza potentzia baino txikiagoa da, eta asaldura rutinari era argian jarraitzen dio, balio negatiboak gertatu gabe, hau da, fluxua beti da kanporako norantza du. Ordea, leihoarekiko osagaiko entseguan zehar, *tile*-n fluxuak berogailuak injektatutako potentzia gainditzen du une askotan, eguzki-irabaziaren existentzia frogatzen duena. Itxituren bero-fluxu negatiboak gertatzen dira ere, nahiz eta entsegu gelako aire tenperatura beti kanpoko tenperatura baino handiagoa izan, 3.37 Irudian ikus daitekeenez. Portaera hau *tile*-n gainazaleko tenperatura handiagotzearen ondorioa da eguzki-irabazia dagoen periodoetan zehar, eta barruko giroranzko ondorengo deskarga. Fluxuaren bilakaera honek leihoaren barruko partean jarri den errezel beltzak egoki jokatzen duela frogatzen du, leihoak transmititutako eguzki-erradiazioa entsegu gelako giroan bero konbektiboan eraldatuz, *tile*-tako azalaretan erradiazio bero-trukea gertatu gabe. Beharrezkoa da esatea, bigarren entseguan zehar, *ROLBS* beroketa-errutinaren asalduraren bigarren partea errepikatzen dela, giroaren barruko baldintzen desakoplamendua ziurtatzeko, egun zentraletan zehar gertatzen den eguzki-erradiazio baxuen ondorioz.



3.37 Irudia – Entsegu gelako eta kanpoko giroko tenperaturako bilakaera leiho entseguan

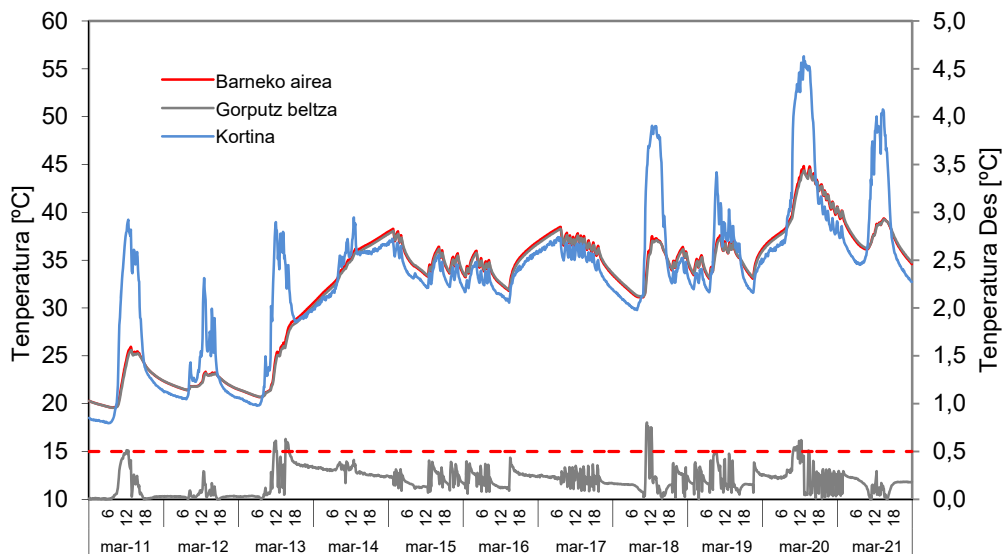
3.34 Irudian entsegu gelaren itxiturako tiles-etako talde bakoitza neurtzen duen fluxuaren batezbestekoa erakusten da. Balioak fluxuei dagozkie azalera unitateko. Nahiz eta, itxiturako azalera zeharkatzen duen erabateko fluxuak bere ezaugarriak eguzki-irabaziaren efektuagatik aldatzen dituen, talde individual bakoitzean erregistratzen diren fluxu batezbestekoek portaera koherentea mantentzen dute. Ertz-fluxuak zentralak baino handiagokoak dira, eta zoruaren fluxua handiena da, paretekin eta estalkiarekin alderatuz. Berriz, ikus daiteke ekialde eta mendebalde orientazioaren arteko fluxu simetria nola mantentzen duen ikus daiteke. Portaera hau egiaztatzen da, ez soilik batz besteko balioetan baizik eta aldiuneko balioetan ere, 3.35 Irudian ikus daitekeen bezala. Talde bikiek portaera erabat simetrikoa dute, bai forman, bai fluxu-balioetan. *Tile*-n seinale elektrikoaren neurri sistemaren zaratak 0,1 [W]-etatik beherako akatsa ematen du, 3.36 Irudian ikus daitekeen bezala. Bertan ikusten da 5garren taldean erregistratutako datuak zarata zuri-portaerarekiko desbideratzea aurkezten duela, horma opakuko entseguetan gertatzen zen bezala, berogailuaren efektuagatik sortua, baina eragin adierazgarririk gabe.



3.38 Irudia – Giroen arteko temperatura desberdintasuna, airearen eta barruko azalaren temperaturen homogeneotasuna, leihoko entseguan

Berokuntza erresistentzia elektrikoan potentzia erdia erabiltzerakoan lehen entseguan zehar, bero-fluxuak txikiagoak dira bigarrean baino, entsegu gelaren barruko giro temperatura bezala, 3.37 Irudian ikus daitekeenez gero. Lehen

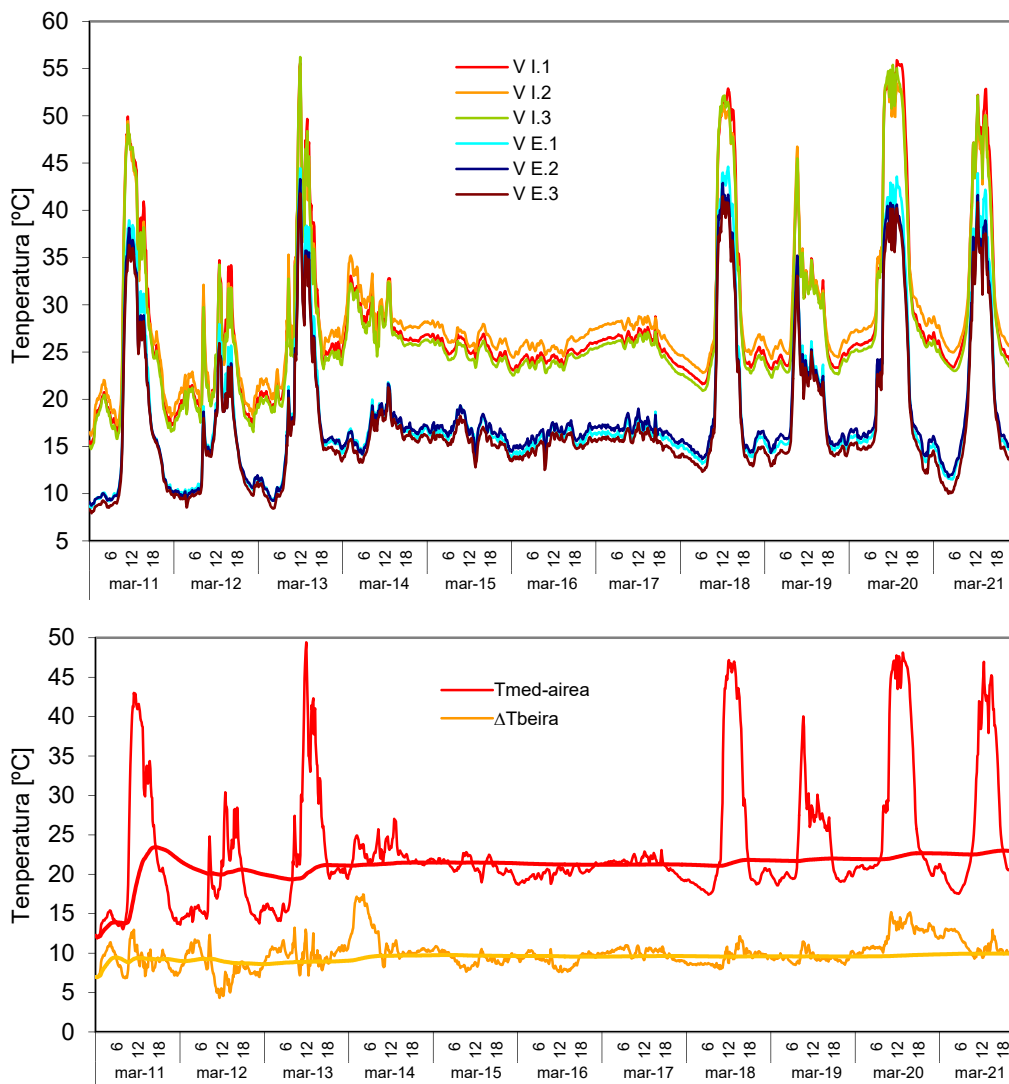
entseguan barneko aire tenperaturak  $40^{\circ}\text{C}$ -era iristen dira, baina bigarren entseguan  $45^{\circ}\text{C}$ -etara hurbiltzen dira, operazioko goiko mugari dagozkiona. Temperatura altu hauek ez ezik berokuntza-potentziara zor dute baita ere eguzki-irabaziei zor zaizkie. Lehen entsegua udan burutzen da, eguzki-osagaiarekin azalera bertikalaren gainean txikiagoa bigarren entseguan baino, udaberria egiten dela. Ikus daiteke barneko aire tenperatura kanpoko giroko tenperaturaren gainetik dagoela entsegu periodo guztian zehar, inisial periodoko une batzuetan ezean, gelak forma librean eboluzionatzen duenean. Puntu garrantzitsua da entsegu gelaren tenperaturen bilakaerak 3.33 Irudian erakutsitako itxituraren fluxuaren neurriak egiaztatzen duela. Fluxuaren noranzkoa alderantzikatzen den periodoetan bat datoz denbora uneekin azalera tenperatura giro tenperatura baino handiagoa den, ikus 3.37 Irudia. Honek eguzki-irabaziaren esistentzia berresten du erradiazio periodoetan zehar, baimentzen duela *tile*-etako azalera irabazi hauetako batzuk metatzea, geroago deskargatzen duela barruko giroko tenperatura jaisten denean. Entseguaren prestazioei dagokionez, lehen entsegurako giroen arteko desberdintasunaren batezbestekoa  $15^{\circ}\text{C}$ -a da, eta  $25^{\circ}\text{C}$ -a baino gehiagokoa da bigarrenerako, 3.38 Irudia.



3.39 Irudia – Giroaren tenperatura ertainaren arteko erkaketa, gorputz beltzeko tenperatura, eta *tile*-etako babes errezelaren eta leihoaren arteko airearen tenperatura IQ-Test-aren bigarren entseguan

Entsegu hauetan, aire-tenperaturen arteko desberdintasunak  $0,5^{\circ}\text{C}$ -en muga gainditzen du batzuetan, batez ere, eguzki-irabazia dagoen uneetan. Baina une hauetan noizbehinkakoak dira, eta bakarrik gertatzen dira bilakaera libreko periodoetan. Berokuntza errutina aktibo dagoen periodoetan zehar, eta batezbestekoak barruko giroaren tenperaturaren homogeneotasun baldintzak betetzen ditu entsegu periodo guztian zehar. Itxituraren azalera tenperaturak mantentzen dira  $0,5^{\circ}\text{C}$ -en ordenako tarte bat barru, aldaketa handiak gertatu gabe entseguan zehar. Entsegu gelako zazpi aire zundek erregistratutako tenperaturaren homogeneotasuna ebaluatzeaz gain, gorputz beltzeko tenperaturaren neurriak egiaztatzea baimentzen du azalaren arteko truke erradiatiboa ez dela gertatzen. Hau beharrezko baldintza bat da aurreko kapituluaren planteatutako modeloen baliotasunerako, 3.39 Irudi ikustea. Truke energetikoa modelizatzeko pentsatu dituzten mekanismoak konbekzioan eta konduktzioan oinarritzen dira, ekuazio linealek zuzendutako biak. Tenperaturetan azalaren arteko desberdintasun nabarmenak gertatzen badira, edo hauen eta

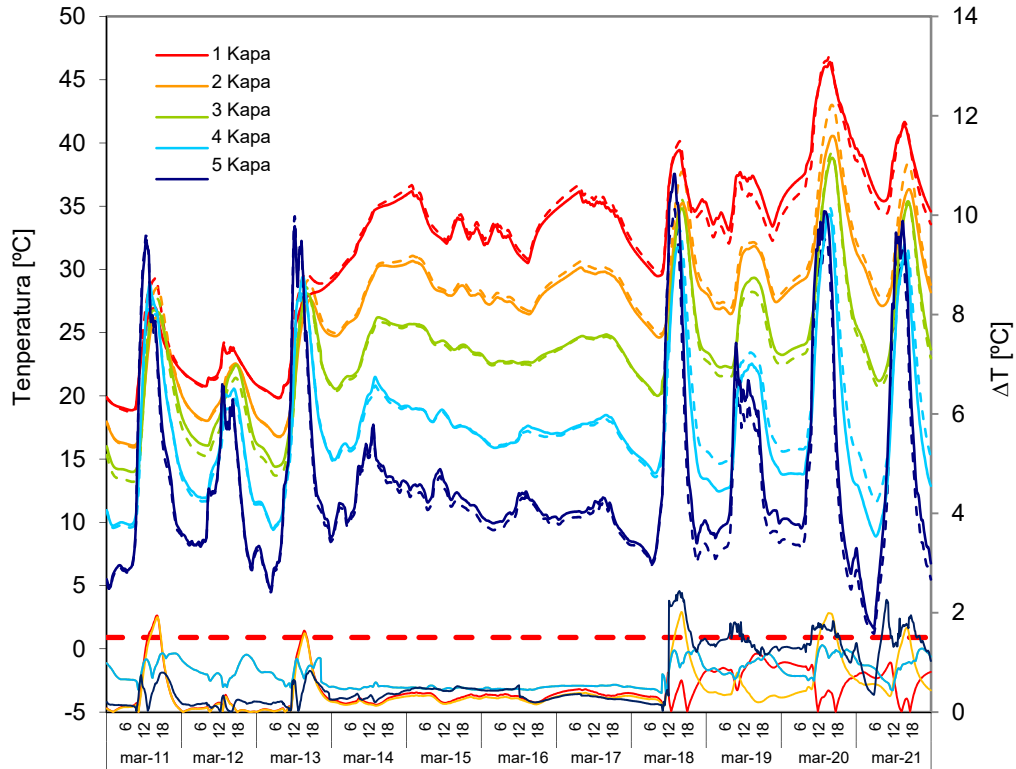
giroaren artean, erradiazioagatik trukea gehitu behar izango litzateke, ekuazio ez linealetara erantzuten dituela<sup>[405]</sup>. Honek entsegu gelako modeloen konplexutasuna handituko luke, eraginkortasuna entseatzen ari den laginaren karakterizazioan txikiagotuz. 3.39 Irudian gorputz beltzeko tenperatura eta giroaren tenperatura batezbestekoa  $0,5^{\circ}\text{C}$ -etatik nola ez den bereizten ikus dezake, une zehatzik ezean. Horregatik pentsa daiteke entsegu gelan jarri den errezelak eguzki-eragineko tiles-etako azalera babesten duela egoki. Gainera, leihoko errezela banantzen duen espazioan airearen tenperatura ikusiz, egiaztatzen da eguzki-erradiazio garaiko uneetan handiagotze garrantzitsuak gertatzen direla,  $15^{\circ}\text{C}$ -en ordenara irits daitezkeen desberdintasunekin entsegu gelako barruko giroaren tenperaturarekin konparatuz.



3.40 Irudia - Leihoaren barruko eta kanpokoko beirako tenperaturako bilakaera, zona zentralerako (.1), mendebala alderako (.2) eta mendebala beheko izkinarako (.3), eta gelako airearen eta beiren arteko tenperatura saltoko batez besteko balioak

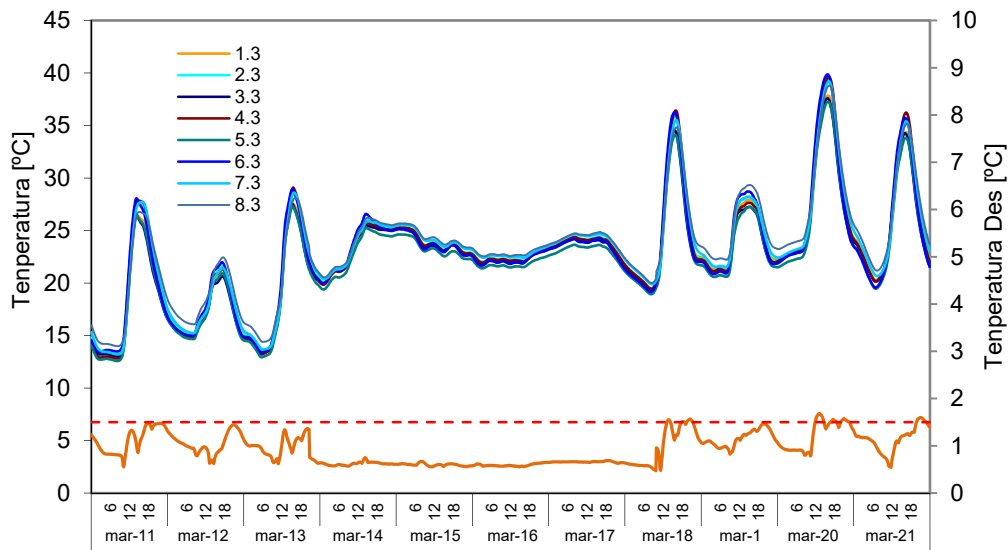
Beras, hasierako planteamendua egoki funtzionatzen ari dela ondorioztatzen da, eta errezelak beira bidez transmititzen den erradiazioa xurgatzen du, errezelak beira bidez transmititzen den erradiazioa hartzen du eta ganberako airea lodierako 20 [cm]-erako gero berotuz, konbekzioagatik transmititzen duela entsegu gelako barruko zonara. Nolanahi ere, baliotasun erreala aurrerago egiaztatzen da,

baliotasun erreala aurrerago egiaztatzen da identifikazioko modeloen eta laborategi-arteko zentro parte-hartzaileen emaitzak konparatzen direnean.



3.41 Irudia – Kapa bakoitzeko temperaturak IO-Test-aren bigarren lagineko perimetraleko eraztunean, lerro etengabeen ekialdeko beheko izkinaren temperatura eta lerro etenean ekialdeko aldearen zentrokoak

Baina leihoaren kasuan, horma opakua ez bezala, beiratzatutako partearen transmitantzia mendean dago ganberan edukitako airearen temperaturako batezbestekoaren, eta beiren arteko temperatura saltoaren. Orduan, bi balioak ukatea beharrezkoa da nahiz eta beira bateko gainazaleko temperatura neurtzeak ziurgabetasun handia du. Arrazoi horrengatik barruko eta kanpoko azaleran jarritako hiru zundez lortutako datua hurbileko balio batzuk ukatea baimentzen du. Aire-ganberaren temperaturak hein handi batean oszilatzen duten balioak aurkezten ditu, 15°C-en ordenaren minimoetatik 50°C-etara heltzen direla maximoak. Baina, entsegu periodoan zehar batez beste, aipaturiko aire-ganberak 22,9°C-ren temperatura bat du. Beiren arteko temperatura saltoak portaera homogeenagoa du, inertzia termikorik gabeko osagai baterako espero zuenez gero 10,0°C-etako batez besteko balioa entseguan zehar hartuz. Behin leihoa analizatuta, laborategi-arteko bigarren osagaiko parte garrantzitsuen, perimetro isolatzailearen portaera ikuskatzen da. Lagin heterogeneoa izaterakoan, bere parteetatiko bakoitzeko ezaugarri termiko oso desberdinekin, zona zentral kondukzio handiarekin eta zona perimetral oso isolatzailea ordez, osagaietako bakoitza eraginda ikus daiteke haien artean. 3.41 Irudian eta 3.42 Irudian eraztun isolatzailearen perimetrotako temperaturaren bilakaera erakusten da. Nola aldatzen den temperatura-eremu leihoaren efektuagatik estima daiteke. Entseguren hasieran, entsegu gelako airearen arteko temperaturetako eta kanpoko giroko desberdintasuna txikia denean, ardatzeko zona zentrolean, B posizioa, eta beheko izkinan temperatura, C posizioa, era berdinean eboluzionatzen dute, ikus 3.41 Irudia.



3.42 Irudia – IQ-Test-a bigarren lagineko eraztun perimetraleko sail zentralako temperatura-eremu

Ordea, beroketa-errutinak sartzen duenean, eta temperatura desberdintasuna handitzen da, profilak banantzen hasten dira, entsegu periodoko azkeneko partean batez ere produzitzen diren tokian uneak aldi berean eguneko eguzki-erradiazio maximoko gau-tenperatura minimoekin. Eraztun-perimetralaren portaera kuantifikatzeko forma zehatzagoa lor daiteke sail zentralako temperatura-eremuaren analisiaren bitartez. 3.42 Irudian erakusten da, temperatura zunda bakoitzaren neurriarekin batera, batez besteko balioari buruz desberdintasun maximoaren. Desberdintasun handien|maximo honek  $0,92^{\circ}\text{C}$ -etako bataz besteko balioa du,  $1,5^{\circ}\text{C}$ -ak gainditzen ez dituzten piko maximoekin kanpoko erradiazioko puntei uneetan. Guztiagatik, pentsa daiteke bigarren osagarriko zona perimetral isolatzaileak, leihoaren efektuarekin ere, era homogeneoan portatzen duela. Egiaztatuta entseguetan lortutako datu esperimentalen baliotasunak, ondoren pasatzen da parametro-identifikazio metodoak ematera IQ-Test-ako entsegu laborategi-arteke bi laginen propietate termikoen xedatzeko.

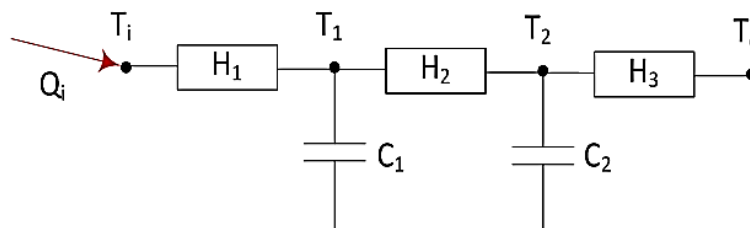
### 3.4 Osagaietako modelo matematikoak

3.2.2 atalean esan den bezala, entsegu prozedura guztiz definituta dago laborategi-arteke eta zorrotzez betetzen behar da zentro parte-hartzaile bakoitzean emaitza erabilgarria lortzeko PASLINK metodologiaren entseguaren ahalmena ebaluatzeko orduan. Lehen puntua horma opakua zehazki karakterizatzeagatik pasatzen da, zona zentralaren portaeraren karakterizazioa, dimentsio bakarreko fluxuarekin, eta ertz efektua azalera betearen karakterizazioarekin bilduz. Lehen puntu hau, nahiz eta errazena hasiera batean, bigarren entseguaren emaitzen zehaztasunaren baldintzatzailea da. Azkenik, zentro guztien maila osora lortutako emaitzen estudioak baimenduko du, ez ezik entsegu-metodologiaren kalitatea, baita ere EGUZKI-a gelaren entsegu kalitatea, ebaluatzea. Analisi hau funtsezkoa da aireztatutako fatxadeen portaera energetikoaren atzeko estudiorako balio duen entsegu-oinarri fidagarria ukan ahal izateko.



### 3.4.1 Horma opakuko modeloa

Zona zentralaren dimentsio bakarreko transmitantzia,  $U_A$ , determinatzeko lehen puntua da, sarrera-funtzio bezala azalera tenperaturak erabiliz, eta funtion objektibo bezala barruko aurpegiaren fluxua. Hartarako bigarren ordena modelo bat erabili da, 3.43 Irudi ikustea, modeloa hark konplexutasun minimoaren konpromisoa zehaztasun maximoaren kontra hobeto betetzea denez gero. Entseguetako bakoitzerako lortutako emaitzak 3.3 Taulan jasotzen dira, eta 3.44 Irudian eta 3.45 Iruditan modeloari sarrera funtzioak erakusten zaizkie eta eta bero-fluxurako doikuntza hondarrak, autokorrelazio-koefizienteen analisiarekin eta beretako integratutako periodogramarekin batera. Lehen entseguan, hondarraren batezbesteko balio txikia bero-fluxuaren doikuntzan kontuan hartuz, 0,17 [W]-etako dela, eta beraren forma, zarata zuri-hipotesia onar daiteke.



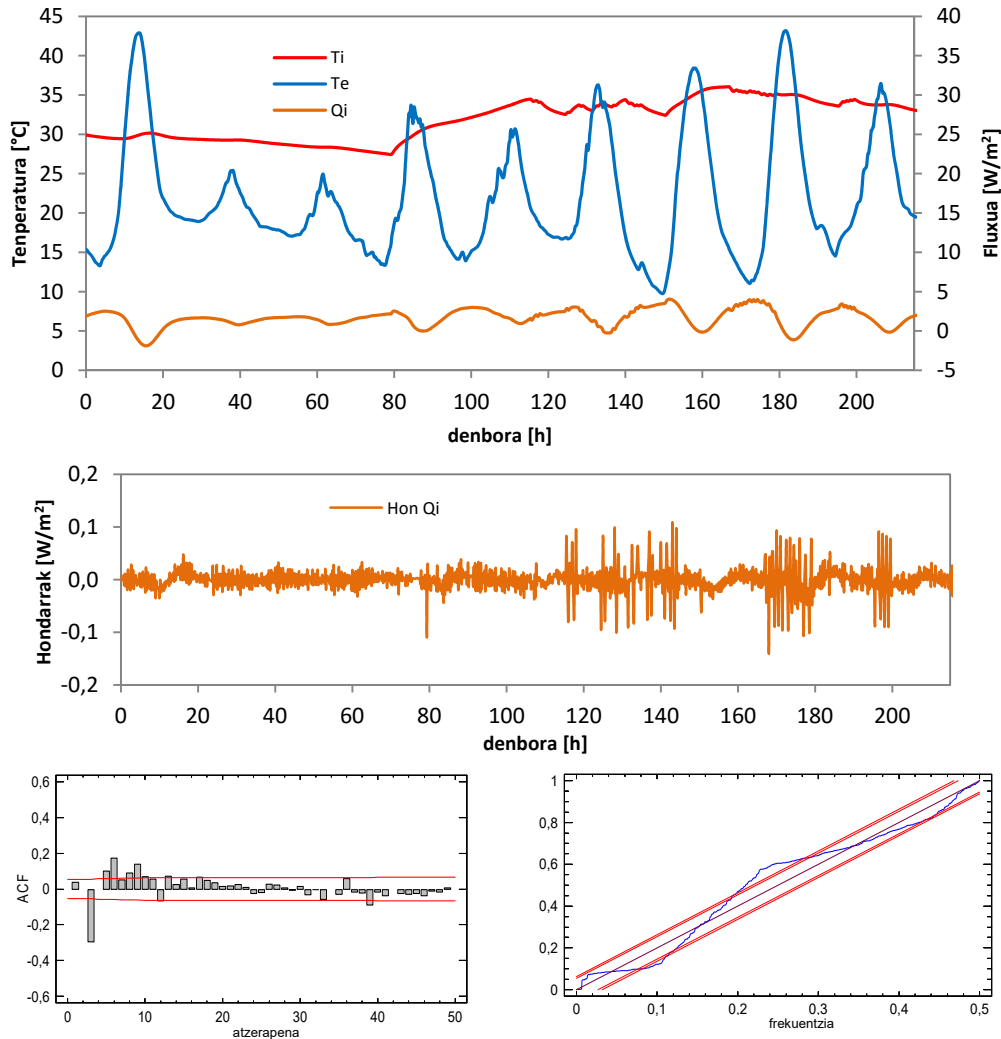
3.43 Irudia- Profil zentralaren transmitantziaren kalkuluan erabilitako bigarren ordenaren modeloa,  $U_A$ , horma opakuan

	$R_A$ [m <sup>2</sup> K/W]	$C_A$ [KJ/m <sup>2</sup> K]	Hondarra [W]
1. entsegua	6,027	7,908	0,17
2. entsegua	6,117	8,090	0,15

3.5 Taula - Profil zentralerako modeloaren emaitzak

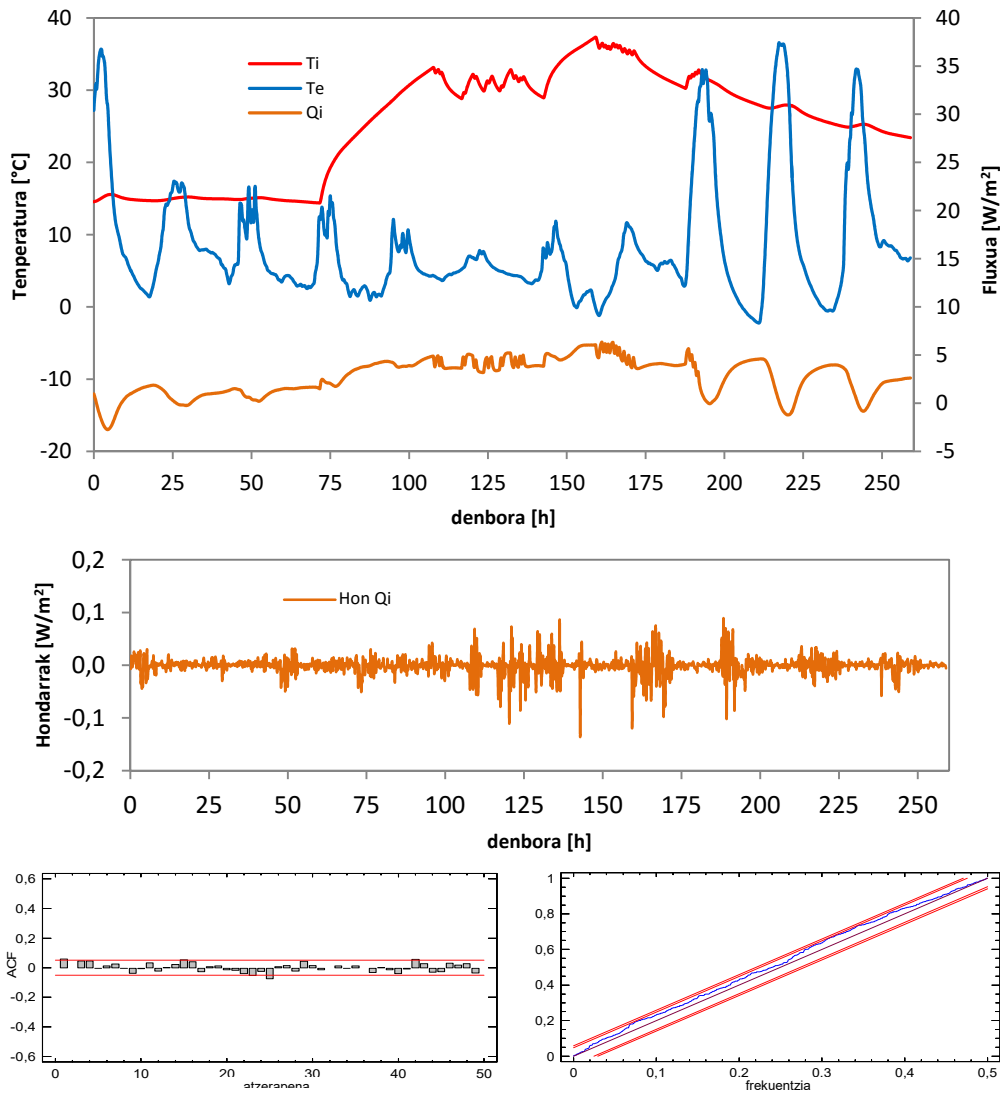
Bigarren entseguetako, lortzen diren emaitzek balio are txikiagoa dute, 0,15 [W]-etako. Ikus daitekeenez gero, giroen arteko tenperatura salto handienak, 25°C-etako ordenaren batz besteko balioarekin lehen entseguko 10°C-en aurreko, hobeko baldintzak lortzea baimentzen du parametro identifikazio estudioan. Ez ezik modelotik lortutako hondarrak txikiagoak dira, baita ere zarata zuri-espectrorako modeloaren doikuntza hobea da lehen entseguan baino. Dena dela, propietate termikoen determinazioan lortutako emaitzak baliokideak dira, baino ez % 1,5etako eta % 2,2tako desberdintasunekin erresistentziako eta kapazitateko balioetan hurrenez hurren. Entsegu-baldintzen efektua emaitzen kalitatean ebaluatzeko forma deskribatzaileagoa kasuetako bakoitzean lortzen den hondar azalera analizatzea da. Aurreko kapituluko 2.3.1 atalean esaten den bezala, parametro-identifikazioko prozesua oinarritzen da funtzio objetiboren minimoko bilaketan determinatzeko aldagaietako tarte baterako. Kasu honetan, bilatzen da horma opakuen erresistentzia eta kapazitate termikoak hobeto irudikatzen dutenak neurtutako fluxua lortzea, lagina menderatuta egon den azalerako tenperaturak azpian. 3.46 Irudian aipaturiko hondar-azalera erakusten da. Lagin homogenea izaterakoan, azalera teorikoak forma ahur eta lisoa izan behar du, minimo bakarrarekin. Estima daitekeenez gero, emaitza esperimenteralak premisa hau betetzen du, baina aipaturiko azalera zimurtasun pixka bat du, entseguaren zarata zor izanda. Zenbat eta handiagoa izan datuen asaldurarik,

instrumentazioaren neurri zarata bezala kausengatik, bero errealeko transmisio prozesuaren kontrako modeloaren desbideratzea, laginaren portaerako entsegu ekipamenduaren eragina, eta abar, azaleraren zimurtasuna handiagoa izango da. Lehen entseguaren kasurako, hondar-azalerak teoriarari hurbila den portaera du, hortaz, entsegu-baldintzak egokitzen dira.



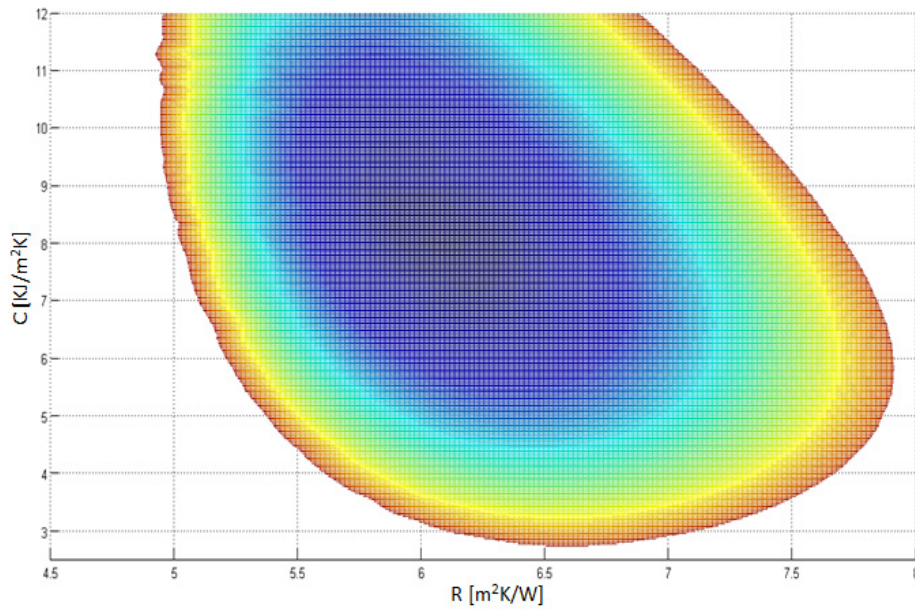
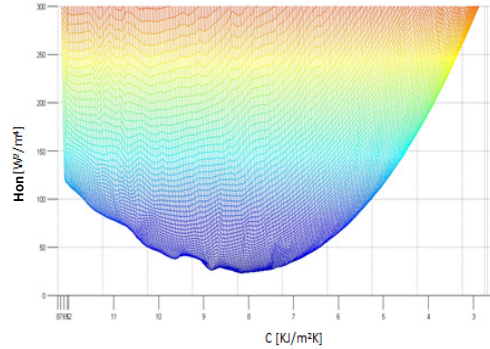
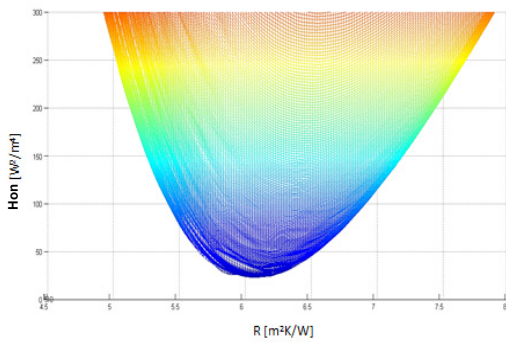
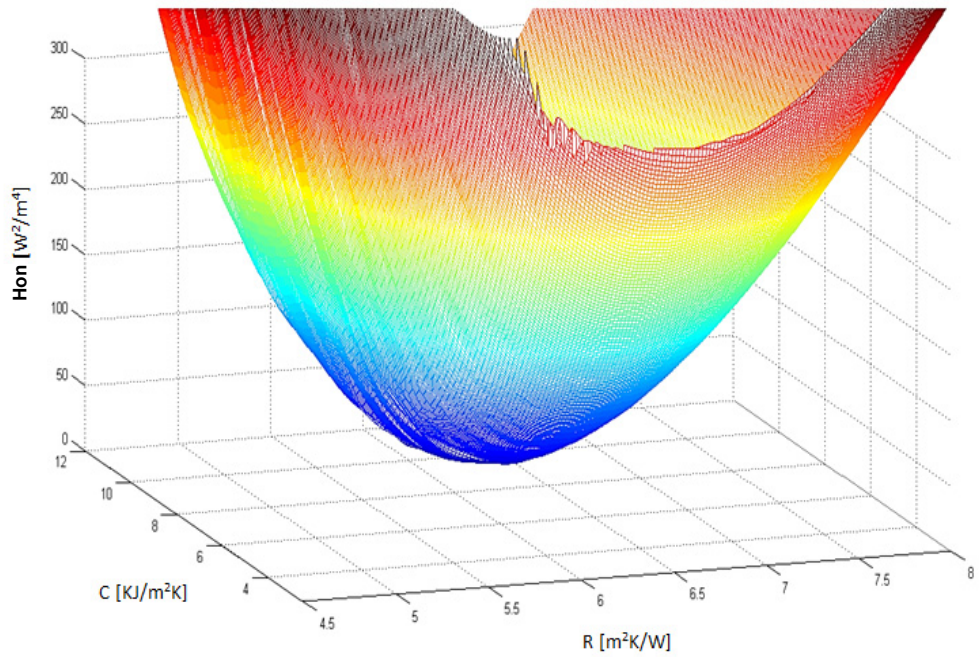
3.44 Irudia – Profil zentrallean,  $U_A$  parametro identifikazio prozesuaren transmitenziako emaitzak, lehen entseguan

Aipaturiko hondar-azalera analizatzeko orduan posible da bere formatik eta ezaugarrietatik ondoriozta daitezkeen hainbat interes puntu nabarmentzea. Lehen ardatzetako bakoitzeko zorrotza edo malda da. 3.46 Irudiaren grafiko zentraltan hondar-azaleraren proiezioak ardatzetako bakoitzean erakusten dira, ezkerrean erresistentzia termikoko ardatzeko proiezioa, eta eskuinera kapazitate ardatzekoa. Erresistentzia termikoko ardatzean azalerako zorrotza zein handia den ikus dezake, balio errealearen kalkulua errazten duena, ziurgabetasuna txikiagotuz. % 95etako konfiantza tarte baterako erresistentzia termikoa % 1,9tatik beherako akatsarekin lortzen da. Kapazitate termikoaren kalkuluak, hala ere, konplexutasun handiagoa du. Kapazitate-ardatzaren gaineko proiezioan ikus daiteke 6 [KJ/m²K]-etatik 10 [KJ/m²K]-etara doazen balioek oso hurbileko hondarra dutela, minimo zehatzik gabe. Kasu honetan, kalkulu akatsa % 15,4tako konfiantza-tarte bererako da. Dena dela, lortutako emaitza zuzena da.



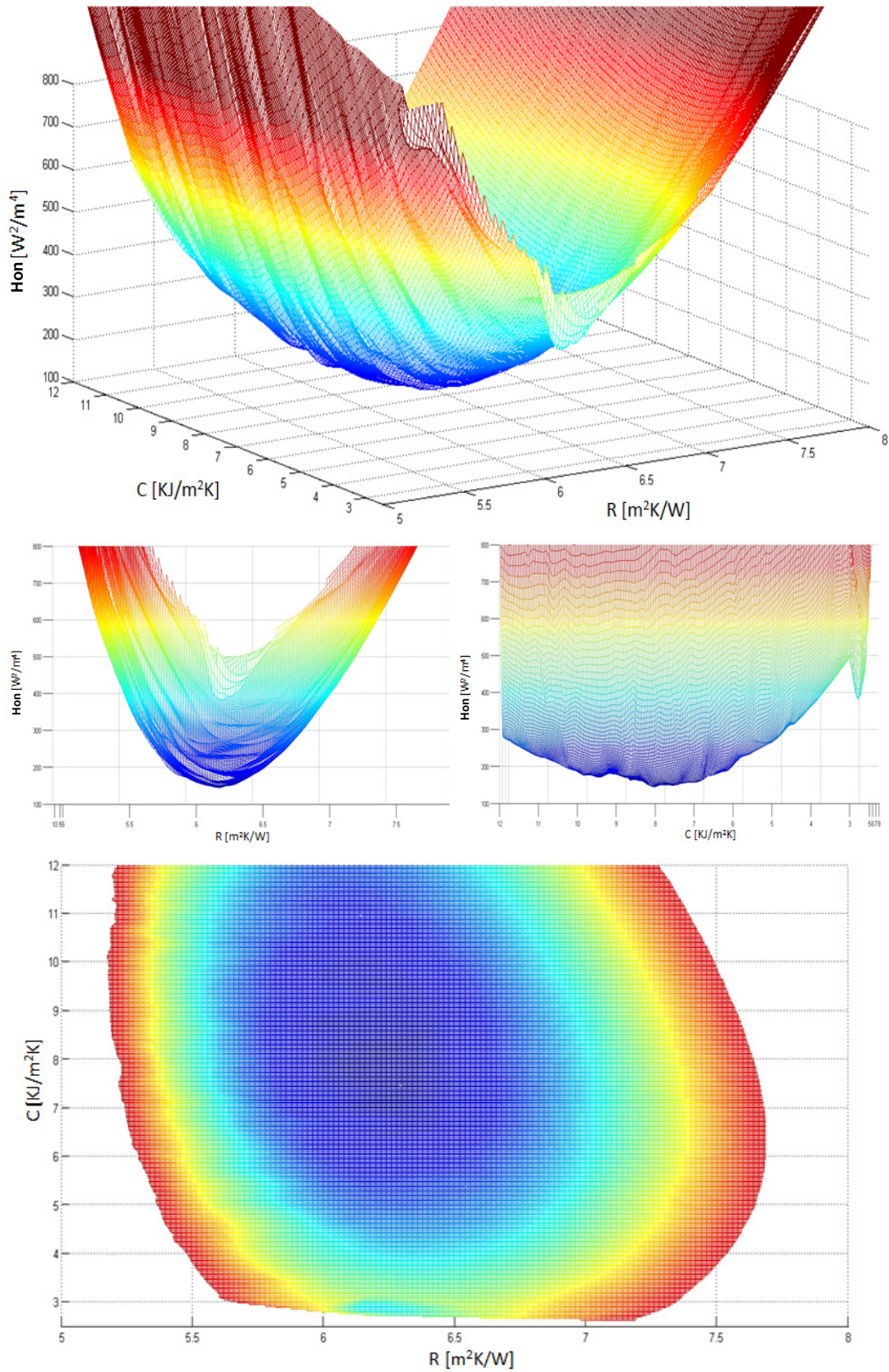
3.45 Irudia – Profil zentrolean,  $U_A$ , parametro identifikazio prozesuaren transmitantziako emaitzak, bigarren entseguan

Portaera hau konstantea da parametro-identifikazio prozesuetan<sup>[12,20]</sup>. Kapazitate termikoaren karakterizazioa konplexua da eta esperientzia eta analisi-erreminta osagarriak, autokorrelazio-koefizienteen ebaluazioa bezala, behar ditu aipaturiko balioak fidagarritasunarekin lortu ahal izateko. Aurreko kapituluan garatzen den moduan, 3.43 Irudiaren modeloaren identifikazio prozesuaren parametroek korrelazioa badute haien artean, kasu honetan transmitantzia-bektorea,  $H_i$ , eta kapazitate-bektoria,  $C_i$ , aldagaien ardatzen gaineko hondar azaleraren proiektzioa eliptiko eta planoaren diagonaletako baten gainean jarrita dago. Kasu honetan, 3.46 Irudiaren azken grafikoan ikus daitekeenez gero, autokorrelazio-efektu hau estimatzen da, nahiz eta aipaturiko koefizienteak ebaluatzen direnean ezin balioa unitatera heltzen den, ikus *B Eranskina* ikustea. 3.47 Irudiko horma opakuko bigarren entsegurako hondar-azalera erakusten da. Kasu honetan, baldintza esperimentalak hobek dira, giroen arteko oso goiko temperaturako salto batekin, handiagoko bero fluxuak lortzea baimentzen duena. Baldintza hauek ezaugarri hobe batzuetan islatu behar dute parametro-identifikazio prozesurako.



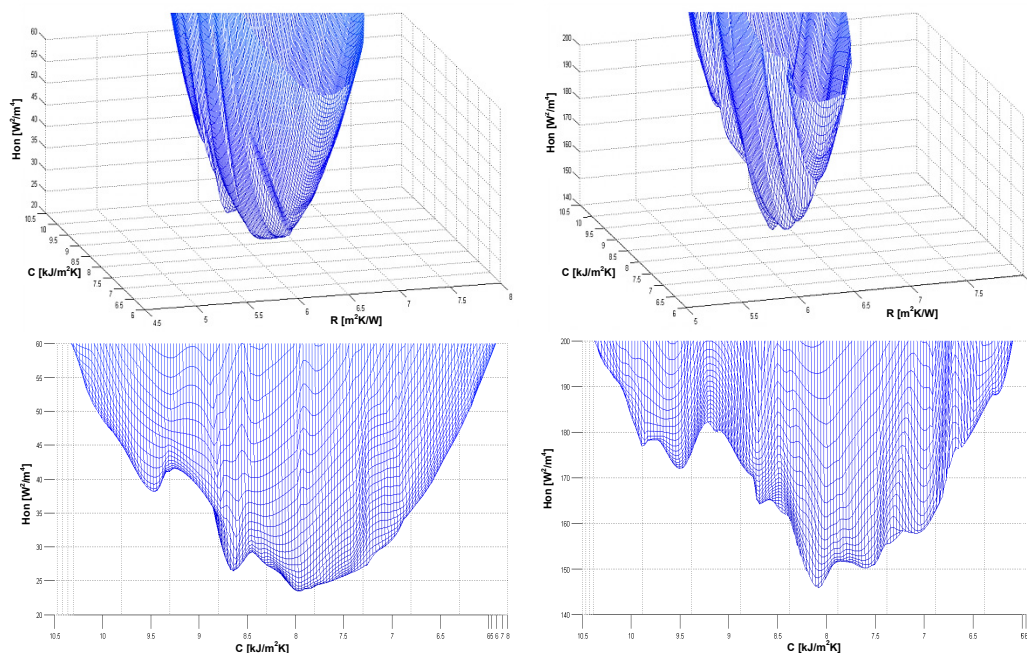
3.46 Irudia – Lehen entseguko  $U_A$  profilerako hondar azalera horma opakuaren parametro-identifikazio prozesuan





3.47 Irudia – Bigarren entseguko  $U_A$  profilerako hondar azalera horma opakuaren parametro-identifikazio prozesuan

Azalerak zimurtasun handiagoa duela ikus daiteke. Hasieran, honek asaldura eta datuetako zarata handiagoa ekarriko lituzke. Baina hondar-ardatza ikusten bada, neurtutako bektorearen eta modeloak kalkulaturako bektorearen arteko desberdintasunaren karratua izaterakoan, modeloaren parametroetako aldaketa txikiek hondarreko aldaketa handiak emaitza dituzte. Parametro-identifikazioari dagokionez, baldintzak aurreko entseguari buruz mantentzen dira. Erresistentzia termikoaren kalkuluak bereizmena gaitasun termikoaren kalkulu baina hobeto aurkezten jarraitzen du. Erresistentzia-balioa % 0,4tako ziurgabetasunarekin lortzen da, kapazitatea % 9,3rekin lortzen da berriz. Ziurgabetasun hauek aurreko entseguan lortzen direnetatik oso beherakoak dira. Eta hondar-azaleraren proiektzioa ikusten bada nola txikiagotu den modeloaren parametroen arteko korrelazioa egiazta daiteke, patroia zirkularra aurkezterakoan ardatzen inklinaziorik Gabe.



3.48 Irudia – Hondar-azaleretako minimo absolutuko zonaren handitutako grafikoa, lehen entsegua ezkerrean eta bigarrena eskuinean

Gogoratu behar da bakarrik akats-balio hauek parametro-identifikazio prozesuaren ziurgabetasuna kuantifikatzen dutela, eta absolutu minimoa hondar-azaleran lortu duena diote, eta hain zorrotza den. Entseguaren azkeneko akatsa lortu behar da ziurgabetasun-hedapen prozesuaren bitartez, instrumentazioaren neurri akatsaren efektua sartuz. Baina hala ere, identifikazio-prozesuaren ziurgabetasuna entseguaren emaitzaren azkeneko akatsaren osagai bat da, eta zenbat eta txikiagoa den osagai bakoitzeko balioa ziurgabetasuneko azkeneko balioa txikiagoa izango da. Desberdintasunak identifikazio-prozesuaren ziurgabetasunetan analizatu ahal izateko, 3.48 Irudian hondar-azalerako minimo absolutuari buruzko zonaren handitutako grafiko bat erakusten da, entsegu bakoitzean. Bigarren entseguan minimo argi bakarra agertzen da, azaleraren zorrotzuekin, berriz lehen entseguan, minimoko zonak hondar-azalerako aldapa txikiagoa du. Gainera, beste minimo lokalek, minimo absolutua inguratzen dutela, goiko hondar balioak aurkezten dituzte argi eta garbi bigarren entseguan, berriz lehen entseguan, oso hurbileko minimo lokal bat agertzen da parametro-identifikazio okerra sor dezakeela errazki. Behin hondar-azalerak analizatuta, entsegu-baldintzen efektua garbi ikusten da emaitzen zehaztasunean, orduan,

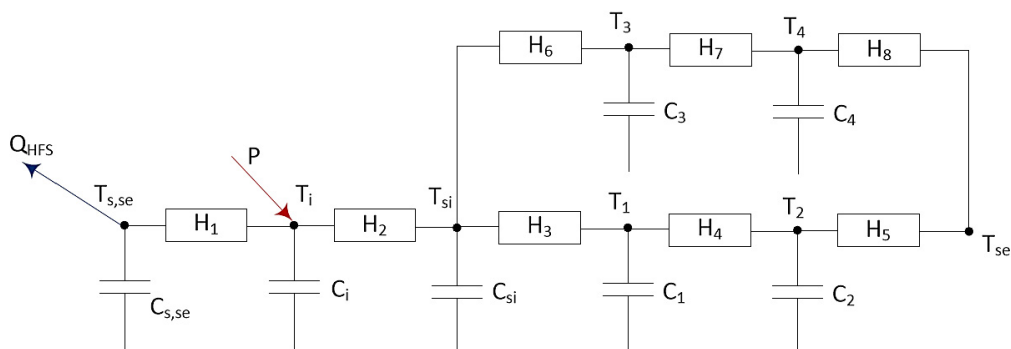


aspektu oso garrantzitsu bat da kontuan hartzea. Ziurgabetasun-hedapena erabili ondoren, [3.5] ekuazioa, entseguan parte hartzen duten tresnetako bakoitzeko neurri akatsa aplikatuz, 1.5 Taula, transmitantziaren kalkulurako ziurgabetasunaren azkeneko emaitzak lortzen dira horma opakuko profil zentralean, [3.4] Taulan erakusten direla.

	$U_A$ [W/m <sup>2</sup> K]	$e_{UA}$ [%]
1. entsegua	0,166	5,3
2. entsegua	0,164	2,9

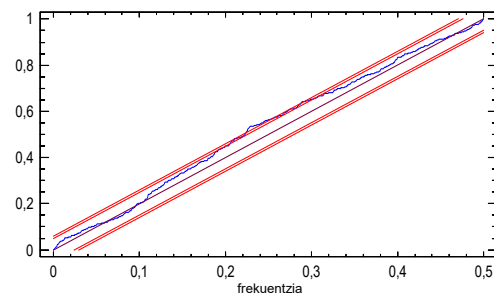
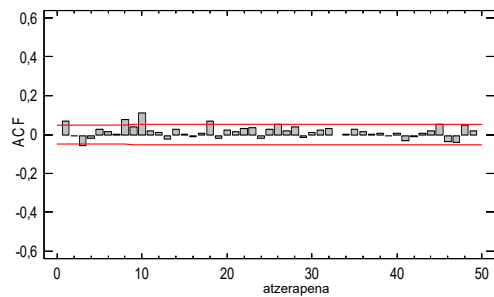
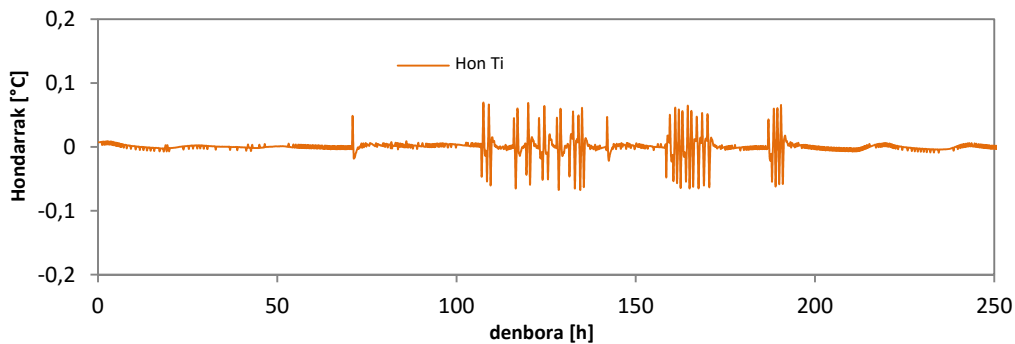
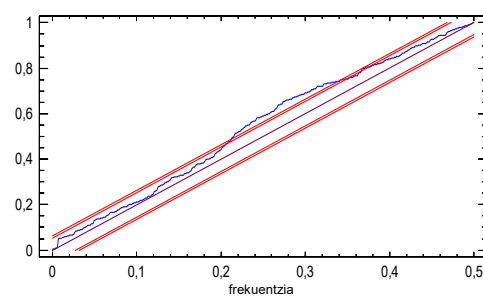
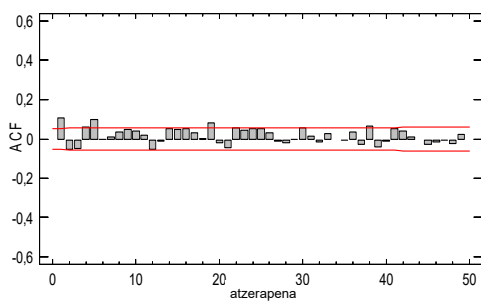
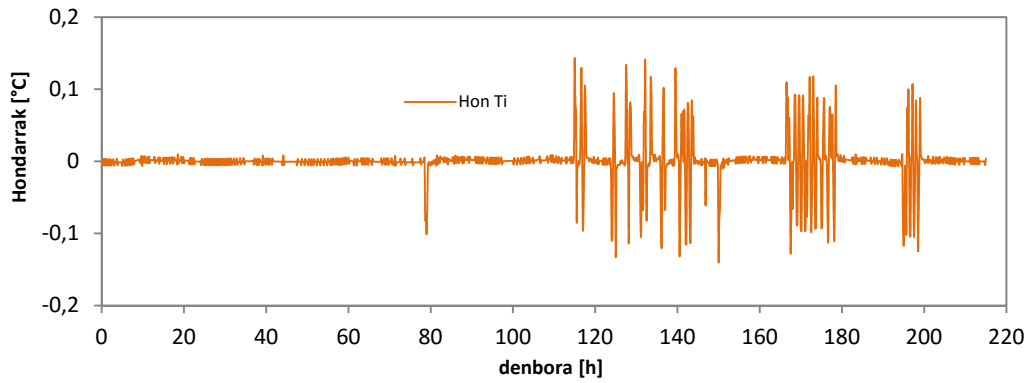
3.4 Taula – Dimentsiobakarreko transmitantziaren azkeneko emaitzak,  $U_A$ , horma opakuko profil zentralean

Behin dimentsiobakarreko fluxuko zonari buruzko horma opakuen transmitantziaren balioa lortuta, laborategi-arteke hurrengo pausoa osagai osoaren transmitantziaren kalkulua da, lagin-garraiatailearen ertz efektuak kontuan hartuz. Kalkulu hau interesgarria da entsegu-ekipamenduaren baldintzen portaera karakterizatzeko. Baina lehenago esan denez gero, horma opakuko bi entseguak ingurune-baldintza desberdinekin egin dira, eta gainera lagin-garraiatailearen eraztun isolatzaileari buruz lerrokatze desberdinekin kokatuz. Lehen entseguan osagaia kanpoko ertzaren arrasean kokatu da, bigarren entseguan berriz, barruko ertzaren arrasean kokatu da. Lehen konfigurazioa hobeezina izango litzateke entsegu-errealizaziorako, aurre-markoren itzalak ebitatuko lirakeenez gero, laginaren gainean sortzen den ertzeko efektua gehiegizkoa ez bada. Analisi hau egin daiteke parametro-identifikazio prozesuaren emaitzen bitartez. Estudiorako 3.49 Irudiaren modeloa erabiltzen da. Modelo honetan horma opakuen portaera irudikatzen da bi konduktantzia-adarren bitartez. Hortaz zona zentralaren portaera kontuan hartzen da, dimentsiobakarreko fluxuarekin, eta zona perimetralaren portaera, lagin-garraiatailearen ertz efektuarekin.



3.49 Irudia – Ertz-efektua irudikatzen duen bi adarreko horma opakuko osoko modeloa

3.50 Irudian hondar-analisia barne-aire-tenperaturarako erakusten da,  $T_i$ , identifikazio-prozesuko funtzio helburu bezala erabilia. Bi modeloek zarata zuriko hondar patroia dutela iritz daiteke, orduan emaitzak baliozkoak bezala hartzen dituen. Nahiz eta, bi emaitzak konparatuz, bigarren entseguko hondarrak lehenekoak baino handiagoak izan dira, hala ere, integratutako peridogramak portaera hobea du.



**3.50 Irudia – Horma opakuko lehen entsegurako, goiko irudiak, eta bigarren entsegurako, beheko irudiak, modeloaren doikuntza**

	$U$ [W/K]	$C$ [MJ/K]	$e_U$ [%]	$e_C$ [%]
<b>1. entsegua</b>	1,830	0,197	2,8	25,8
<b>2. entsegua</b>	1,569	0,183	3,5	13,4

**3.6 Taula – Transmittantzia,  $U$ , eta kapazitate,  $C$ , termikoren emaitzak horma opaku osorako**

3.5 Taulan transmitantzia eta kapazitate termikoaren bi entseguetako lortutako emaitzak jasotzen dira horma opakurako erabateko. Emaitzak analizatuz, konduktantzieta lortutako desberdintasuna nabarmena da. Ertz-efekturik gabe probetaren konduktantzia erreferentzia bezala hartzen bada,  $U_A = 0,164$  [W/m<sup>2</sup>K]-etatik lehenago lortutako dimentsio bakarreko balioa kontuan hartuz, itxarondako balioak izan behar izango luke  $U = 1,186$  [W/m<sup>2</sup>K]-etako,  $S_{lagina} = 7,23$  [m<sup>2</sup>]-etako lagineko azalerarako. Beraz, lehen entseguaren kasuan, ertz-efektuek % 54,3ren laginaren konduktantziaren neurria handitzen dute, eta bigarren entseguaren kasuan, ertz-efektuek % 32,3ren handiagotzea sortzen du. Bi kasuetan oso efektu adierazgarria da azkeneko emaitzan. Oso lagin isolatzailea dela pentsatu behar da ere eta beraz ertz-efektuek eragin handiagoa dute. Ertz-efektuen eraginak analisi zehatzagoa eskatzen du, Ertz-efektuen eraginak analisi zehatzagoa eskatzen du emaitza fidagarriak probeta errealeko entseguetan lortu nahi badira, zeinen ezaugarriak hain ezagun eta homogeenak izan ez daitezzen laborategi-arteako entseguan erabilitako horma opakuen kasuan bezala.

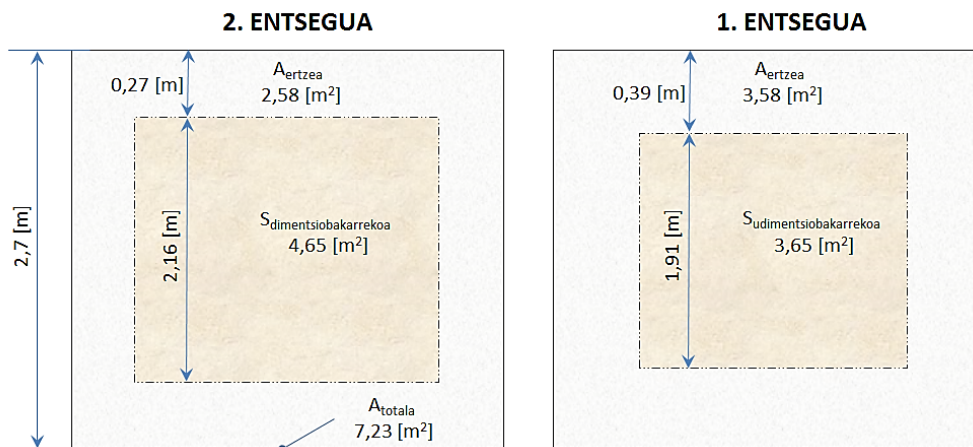
		1 ADARRA	2 ADARRA
1. ENTSEGUA	U [W/K]	0,599	1,231
	C [MJ/K]	0,061	0,136
2. ENTSEGUA	U [W/K]	0,763	0,806
	C [MJ/K]	0,081	0,102

3.7 Taula – 3.49 Irudiaren modeloaren adar bakoitzaren konduktantzia eta kapazitate termiko balioak

Bi entseguetan konduktantzien ziurgabetasunaren balioa 3.5 Taularen emaitzetatik nabarmentzeko beste puntu bat da. Hondar-estudioaren emaitzak ezagututa eta entseguetako bakoitzeko baldintzen arabera, neurriaren ziurgabetasuna bigarren entseguan lehenengoan baino txikiagoa izan zedila espero zuen. Hala ere hau ez da horrela. Hau ondorio da ziurgabetasun absolutuko balioa ordena bereko dela,  $u_U \approx \pm 0,050$  [W/K], behin akats-hedapena kasu bakoitzerako erabilia, eta konduktantzia-balio handiagoa lortzerakoan, eta lehen entseguetako konduktantzia-balio handiagoa lortzerakoan, akats erlatiboa behekoa da. Kapazitate termikoei dagokienez, dimentsiobakarreko entseguan lortutako emaitza erabiliz,  $C_A \approx 8$  [KJ/m<sup>2</sup>K], lagin osorako kalkulaturako balioa  $C = 0,058$  [MJ/K]-etako izango litzateke, modelo osoaren emaitzetatik oso beherakoa. Honek dio laginaren portaera dinamikoan parte hartzen ari dela lagin-garraiatazalea hein handi batean. Kontuan hartu behar da horma opakuko probeta oso arina dela eta, beraz, aipaturiko efektua nabarmenagoa dela. Ziurgabetasunei dagokienez, transmitantziaren kalkuluan lortzen direnak baino oso gehiagokoak dira. Baina dimentsiobakarreko estudioan analizatu den bezala, kapazitate termikoen kalkuluak konplexutasun handiagoa du parametro-identifikazio prozesuan, nahiz eta lortutako balioa fidagarria izan. Emaitzen analisi zehatzagoa eginez, 3.6 Taulan jasotzen dira konduktantzia eta kapazitate balioak entsegu bakoitzerako 3.49 Irudiaren modeloaren adarretako bakoitzean lortutakoak. Abiapuntu bezala bigarren entseguaren emaitzak ikasten dira, honetan entsegu gelaren itxiturak eta laginak artean trukaturako bero-fluxuak kontrolatuago dutenez gero. Lehen pausoa probetako zer azalera duen dimentsiobakarreko fluxuko baldintzarik kalkulatzeko da, eta hura lagin-garraiatazalearen ertz efektuek eraginda ikusten den azalarekin konparatzea. Adar 1ak dimentsio bakarreko fluxuarekin zona irudikatzen duela kontuan hartuz, eta lortutako konduktantzia zentralerako balioa hartuz,  $U_A = 0,164$  [W/m<sup>2</sup>K], ertz-efektuek eraginda ikusten ez den lagineko azalera  $4,65$  [m<sup>2</sup>]-etako izango litzateke.

		1 ADARRA	2 ADARRA
1. ENTSEGUA	U [W/m <sup>2</sup> K]	0,164	0,344
	S <sub>U</sub> [m <sup>2</sup> ]	3,65	3,58
2. ENTSEGUA	U [W/m <sup>2</sup> K]	0,164	0,313
	S <sub>U</sub> [m <sup>2</sup> ]	4,65	2,58

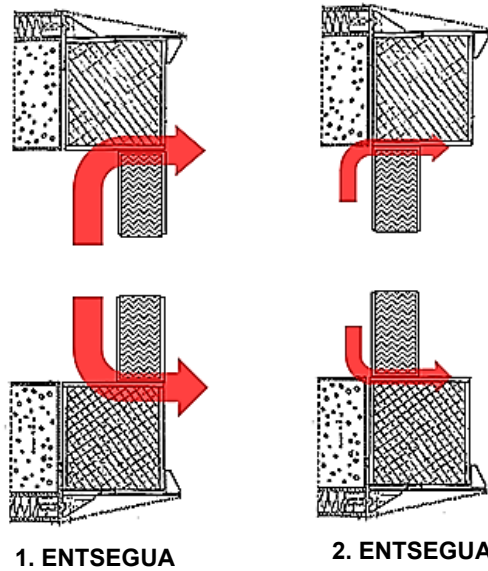
3.8 Taula – Ertzeko efektuaren analisia opakuko laginean



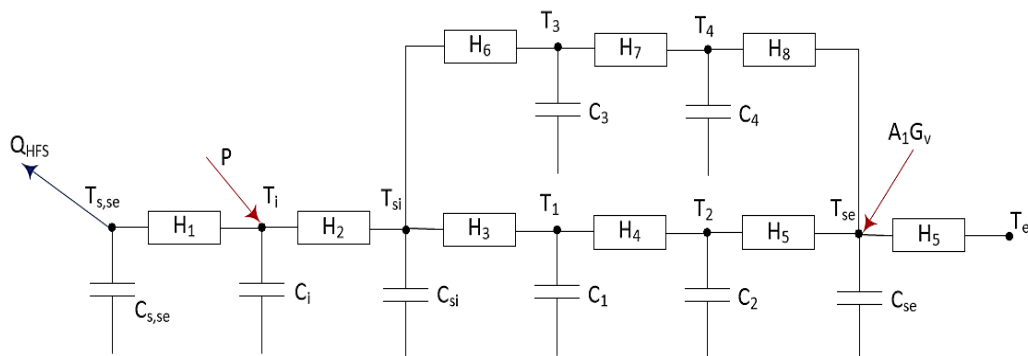
3.51 irudia- Horma opaku osoko modeloaren transmitantzia emaitzak ezagututa ertz efektuetako analisia

Lagina ia simetrikoa denez gero, azalera hau hurbil daiteke 2,16 [m]-etako alde luzera batekiko karratu batera. Laginaren dimentsioak 2,7[m]-etako direnez gero ertz-efektuek eragindako zonak zabalerako 0,27 [m]-etako banda perimetrala estaliko luke. Balio hau bat dator 2 *Kapituluan* egindako gelaren analisisian lortutako emaitzekin, 2.2.2 *atalean*, eta kalibrazio-hormako *multitiles*-ek neurtutako fluxuekin egiaztatuta, 3.3.2 *atalean* jasota. Orduan, ertz-efektuek eragindako azalera 2,58 [m<sup>2</sup>]-etako da. Beraz, zona honetan estimatutako azalera unitateagatiko konduktantzia  $U_{borde} = 0,313$  [W/m<sup>2</sup>K]-ko da. Datuak 3.7 Taulan jasotzen dira, eta 3.51 Irudian azaleretako konparaziozko bat entsegu bakoitzeko fluxuko tipoagatik erakusten da. Analisi hau erabiltzen bada lehen entseguan zehar lortutako emaitzetarako, lortzen da dimentsio bakarreko fluxuarekin estimatutako azalera 3,65 [m<sup>2</sup>]-etara gutxitzen dela. 0,39 [m]-etako ertz efektuaren sakontasun batekin erarako litzatekeena laginean. Eta ertz-zonarako azalera unitateagatik konduktantzia balioa  $U_{borde} = 0,344$  [W/m<sup>2</sup>K]-ko izango litzateke. Ertz-efektuak materialen ezaugarrien eta konfigurazio geometrikoaren funtzioa direla kontuan hartuz, eragindako azaleraren handiagotze hau, lagin eta lagin-garraiatazaille bera izateara, soilik probetaren lerrokatzean aldaketaren ondorio daiteke. Ertz-zonaren azalera unitateagatiko konduktantziaren handiagotzea lehen entseguren konfigurazioan gertatzen trukaturako beroko fluxu errealaren handiagotze bat ari dela lagin eta lagin-garraiatazaille artean bigarren entseguren konfigurazioari buruz erakusten da. Era grafikoan 3.52 Irudian azaltzen denez gero hau lagin-garraiatazailleko perimetroaren ondorio da, 0,2 [m]-etako zabalerarekin, libre geratzen dela lagina eraztun isolatzaileko kanpoko aurpegiarekin lerrokatzen denean. Azalera perimetral honetan zehar trukutzen den bero fluxua ezin da neurtu *tiles*-ak entsegu gelako ertzeraino iristen direnez gero, eta laginak trukutzen duela fluxura gehitzen ari da, erreala baino gehiagoko ertzeko efektuek eragindako

probeta azaleraren estimazioa emaitza bezala emanaz. Lortutako emaitzak ezagututa, lagin-garraiataileko barruko aurpegiaren arrasean lagineko kokapena ertz-efektuak txikiagotzeko egokituena da, baldin itzalezadurarik atzeraemangunetik ez bada gertatzen.



3.52 Irudia – Horma opakuaen entsegu konfigurazio bakoitzerako ertz efektuen portaera



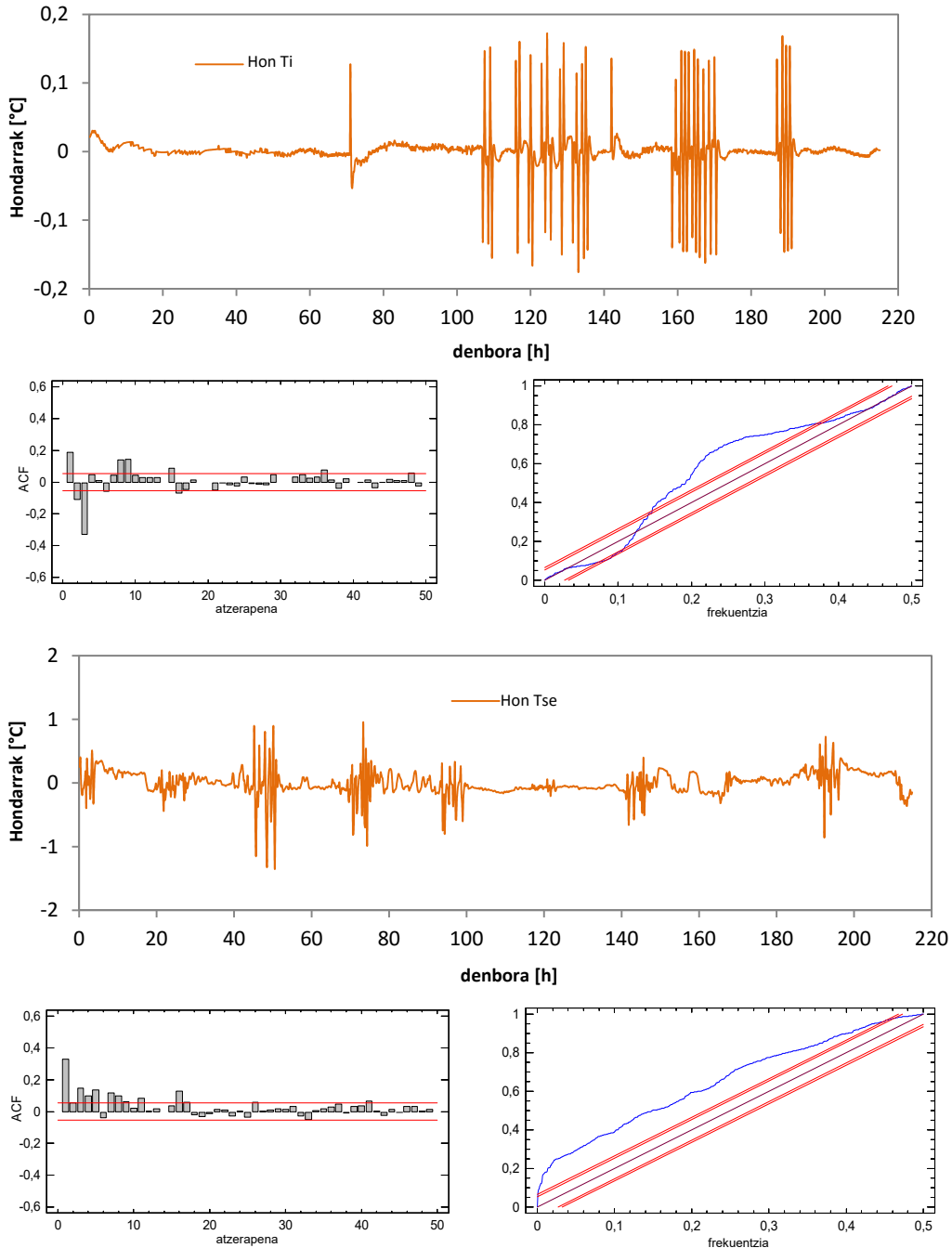
3.53 Irudia – Eguzki-erradiazioa eta kanpoko konbektzioaren interakzioarekiko horma opakuko modelo osoa

	$H_e$ [W/K]	$h_e$ [W/m <sup>2</sup> K]	$A_{Gv}$ [m <sup>2</sup> ]	$A_{Gv}$ [-]
1. ENTSEGUA	121.6	16.82	1.947	0.269
2. ENTSEGUA	101.1	13.98	2.042	0.282

3.10 Taula – Kanpoko giroarekiko horma opakuko azaleraren bero trukearen parametroak

Efektu posible hau ebaluatzeko 3.53 Irudiarenerako horma opakuko modelo handitzen da, eguzki-irekitzea zehaztu ahal izateko moduan. 3.54 Irudian modeloaren doikuntzaren emaitzak bigarren entseguari buruzko datuetarako erakusten dira, adibidez. Kasu honetan, azalerako kanpoko tenperaturak,  $T_{se}$ , asaldura sortzen du barne-aire-tenperaturaren doikuntzan,  $T_i$ , baina baliozko hartzen jarraitzen dezake zarata zuri-patroia. Hala ere, pasatzen zen aurreko kapituluko kalibrazio hormako modeloekin bezala,  $T_{se}$ -ren hondarrek aldizkakotasuna erakusten dute argitazunez, sentsorearen gaineko eguzki-

erradiazioaren efektuagatik, eta uhin luze-trukeagatik, modeloan ez kontuan hartuta. Dena dela, hondar batezbestekoa  $0,4^{\circ}\text{C}$ -etatik beherakoa denez gero doikuntza baliozko har daiteke. Lehen entseguaren kasuan antzeko emaitzak lortzen dira, ikus *BEranskina*.



3.54 Irudia – Bigarren entseguko eguzki-irabaziaren kalkulurako modeloen doikuntza

3.10 Taulan emaitzak interes-parametroetarako erakusten dira. Kanpoko airearekin konbekzio koefizientea da,  $h_e$ , ordena bereko eta entseguetan zehar produzitu diren aire abiaduren arabera. Eguzki-irekitzeari dagokionez,  $A_{Gv}$ , lortutako balioa baliokidea da bi entseguetarako. Zeinengatik laginaren



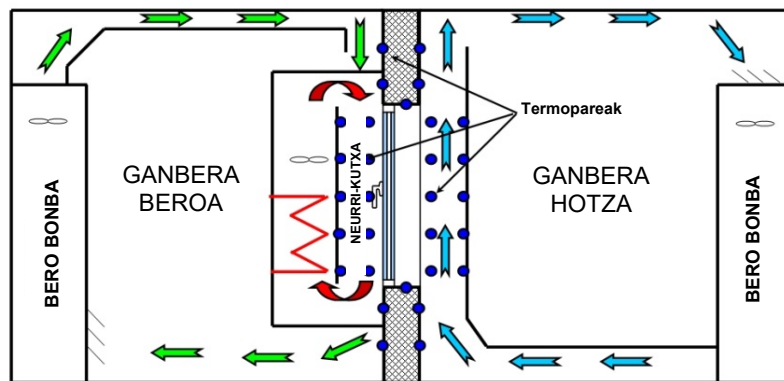
atzeraemanguneak efekturik produzitu eguzki-erradiazio intzidentearikiko laginaren interakzioaren neurriaren gainean ez duen, bi entsegetan. Lortutako emaitzek erabakia lagin-garraiataile sistemaren gaineko laginen kokapen hobeezinari dagokionez hartzea baimentzen dute. Kokapen hobeezin hau, minimizazio ertz-efektuetako eta sombreamiento adierazgarriak produzitzen ez dutena kontuan hartuz, barruko aurpegiarekiko lerrokatutako laginekoa da. Muntaketa hau erabiltzen da *EGUZKI*-a zelulaz egiteko hurrengo entsegetan. Ondoren pasatzen da *IQ-Test*-aren bigarren lagineko entsegua ebaluatzerara.

### 3.4.2 Leihoaren modeloa

Behin horma opakua ebaluatuta bigarren osagarriaren analisia egin daiteke. Kasu honetan *PASLINK* gelan lortutako leihoaren transmitantziaren balioa normalizatutako entseguaren datuekin egiazta daiteke. Ondoren entsegu hau definitzen da laborategitako egoeran, eta geroago entseguaren datu esperimentalak *EGUZKI*-an tratatzen dira.

#### 3.4.2.1 Normalizatutako transmitantzia entsegua

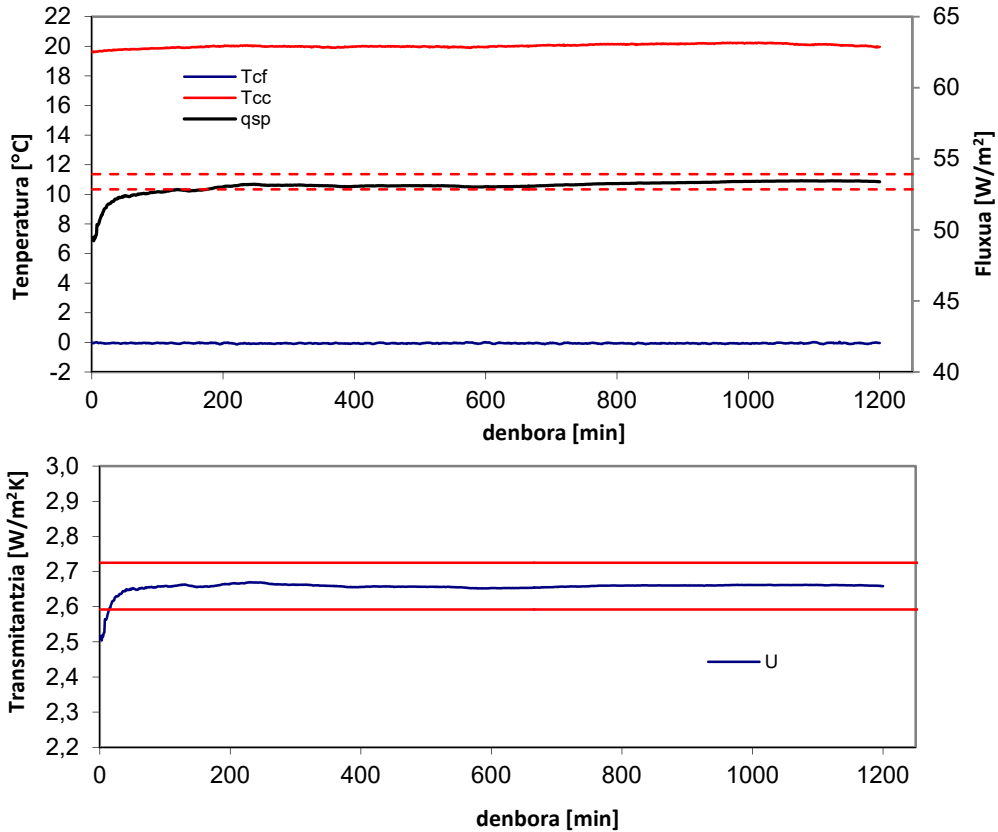
*EKKL*-ko *TA*-ak gordetako kutxa beroko ekipamendu bat daukala esker, *EN ISO 12567-1:2010a*<sup>[405]</sup> entsegu araua betez leihoaren transmitantzia neurtu da entseguak *EGUZKI*-a gelan egin baino lehen. Entsegu-prozesua datza material isolatzaileko perimetroak eratutako armazoi baten gaineko leihoaren jartzean, *EPS*-aren kasu honetan. 1,25x1,50 [m]-etako zulo estandarra daukala bere zentroan. Armazoi hornikuntzan beranduago jartzen da, bi kamera klimatiko bananduz, zeinetan beroak leihorekin trukutzen duen airearen tenperatura eta abiadura kontrolatzen dituen. 3.55 Irudian *IQ-Test*-a leihoko muntaketa armazoiaren eta entsegu ekipamenduko egoera erakusten da. Entsegu prozedurako eskema bat erakusten da ere. Ganbera hotzean kanpoko ingurune-baldintzak erreproduzitzen dituen aireko fluxua sortzen da, tenperatura 0°C-a eta aire abiadura 3 [m/s]-a, 25 [W/m<sup>2</sup>K]-etako konbekzio koefizientea produzitzen duela. Alde beroan isolatutako neurri kutxa bat ukaten da, leihoko azalera eta armazoi isolatzaileko parte perimetrala estaltzen dituela. Kutxa hau barruan haizagailuak eta erresistentzia berotzaileak ukaten dira. Bera barruan, bai erresistentzia elektrikoei buruzko, bai haizagailuen potentzia, sartutako energia guztia  $\pm 0,2\%$ -etatik beherako ziurgabetasunarekin neurtzen da. Neurri-kutxaren barnean etxebizitzetako barnearen baldintzak sortzen dira, 20°C tenperatura eta aireko abiadura baxuak, konbekzio naturalaren ordenako,  $h_{conv} = 7,69$  [W/m<sup>2</sup>K]-etako konbekzio koefizientearekin. Ekipamendua erreferentzia-patroiaren bitartez zuzen kalibratuta dago, armazoi isolatzaileko zonatik trukaturako bero fluxua eta leihoko zona perimetralean produzitzen den ertzeko fluxua ezagutzea baimentzen dituena. Neurri-kutxa babesten duen ganbera beroko airearekin inguratutako hau, entsegu prozeduraren izenaren jatorria, doitzen dituela bere tenperatura eta aireko abiadura neurri-kutxako azalaren zeharreko bero galerak baliogabeak izan daitezela. Honela kutxan sartutako energia guztia trukatu ahal dadin soilik lagina eta bere armazoi bidez. Entsegu-prozedura zehatz dago hortaz ekipamenduari bi giroen arteko bero transmisio prozesu guztiak analizatzen dira, truke konbektiboa, laginean zeharreko kondukzioa, eta azalaren parte-hartzaileen arteko truke erradiatiboa, hortaz entsegu-ziurgabetasuna mugatuta dago eta  $\pm 5,6\%$ -etik beherakoa da.



3.55 Irudia- Leihoko gordetako kutxa beroan normalizatutako entsegua

Emaitzetan fidagarritasun handiagoa lortzeko, entsegu-balioa lortzen da emaitzan parte duten parametroek integratuz denbora-bitarte batean 1000 [min]-a. Bi ganberen giro temperaturek  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ -etik beherako oszilazioa dutenean eta eta leihoa zeharkatzen duen fluxuaren desbideratzea  $\pm 1\%$ -etik beherakoa denean baldintza egonkorretara helduta kontuan hartzen dira. 3.56 Irudian erakusten ditu ganbera hotzeko eta kutxa beroko temperaturak, baita ere leihoa zeharkatzen duen bero fluxua. Ikus daiteke nola, lehen 200 [min]-aren ondoren entsegua hasieratzeko aldi baterakoari buruzkoak, temperaturak konstante dira eta fluxua aurkitzen da entsegu-arauak eskatutako mugaren barruan. Baldintza hauek leihorearen transmitantzia balioaren neurri egonkorra ekartzen dute, berezko entsegu-metodologiaren ziurgabetasun mugaren barruan. 3.11 Taulan *IQ-Test*-a leihorako egin den entsegua baldintzak eta transmitantziaren kalkulurako balio nagusiak jasotzen dira. Hortaz lortzen den azkeneko normalizatutako balioa  $U_v = 2,63 \pm 0,14$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]-eko da,  $R_{c,i} = 0,13$  [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]-etako azalerako barruko erresistentziarekin eta  $R_{c,e} = 0,04$  [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]-etako kanpokoarekin. Laborategi-arteakoari begira, zentro parte-hartzaile bakoitzean lortutako transmitantzia-balioetako multzoa kontuan hartzeaz gain, interesgarria da normalizatutako baldintzen arabera neurtutako balioa ukatea, *PASLINK* entsegua kalitatea kuantifikatzeko orduan erreferentzia garrantzitsu bezala. Gainera, *IQ-Test*aren bigarren osagaiaren konplexutasuna kontuan hartu behar da. Lagina heterogeneoa da, zona perimetral oso isolatzailetik eratuta, eta zona zentrala konduktantzia oso altuarekiko, lodiera eta materiala desberdinekin. Bero transmisio mekanismoaren portaera desberdintasun honi batuta, eguzki-erradiazio transmisioa leihoko parte zeharrargiatik kontuan hartu behar da. Kasu honetan, laborategi bakoitzean eraikitako probetako bakoitzeko ezaugarrien desberdintasun txikiengatik entsegu emaitza dispersioaren ondoan, osagaiaren irudikapen modelo desberdin erabilera gehitu behar da. Beraz, bigarren

osagarriaren emaitzen analisiak *PASLINK* entsegu metodologiaren trazabilitatea era osoan ebaluatzea baimenduko du, prozesuan parte hartzen duten alderdi guztiak hartuz.



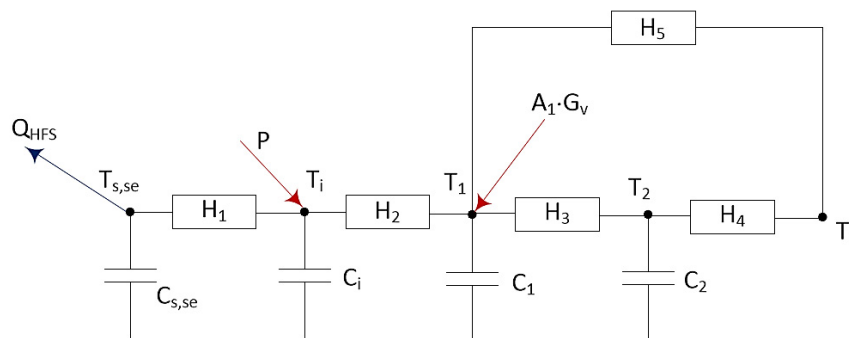
3.56 Irudia – Leihoko babestutako kutxa beroan normalizatutako entsegua

Datuak		Balioa	Ziurgabetasuna
$\theta_{me,sur}$	(inguruko panelaren tenperatura batez beztekoa)	°C	9,8 ± 0,1
$R_{sur}$	(inguruko panelaren erresistentzia)	(m <sup>2</sup> K)/W	5,961 ± 0,002
$\Phi_{in}$	(sartutako potentzia)	W	96,63 ± 0,84
$\Phi_{sur}$	(inguruko panelaren bero fluxua)	W	4,09 ± 0,02
$\Phi_{edge}$	(ertz-zonaren bero fluxua)	W	2,00 ± 0,01
$q_{sp}$	(laginaren bero fluxuaren dentsitatea)	W/m <sup>2</sup>	53,39 ± 0,46
$R_{st}$	(azaleraren guztizko erresistentzia)	(m <sup>2</sup> K)/W	0,166 ± 0,001
$\theta_{n,i}$	(giro-tenperatura beroa)	°C	20,03 ± 0,32
$\theta_{n,e}$	(giro-tenperatura hotza)	°C	-0,06 ± 0,08
$\Delta\theta_c$	(giro-tenperaturaren desberdintasuna)	°C	19,98 ± 0,22
$U_m$	(neurtutako balioa)	W/(m <sup>2</sup> K)	2,658 ± 0,014
$\Delta U_m$	(neurketaren ziurgabetasuna)	W/(m <sup>2</sup> K)	± 0,133
$R_{(s,t),st}$		(m <sup>2</sup> K)/W	0,170
$U_{st}$		W/(m <sup>2</sup> K)	<b>2,628 ± 0,133</b>

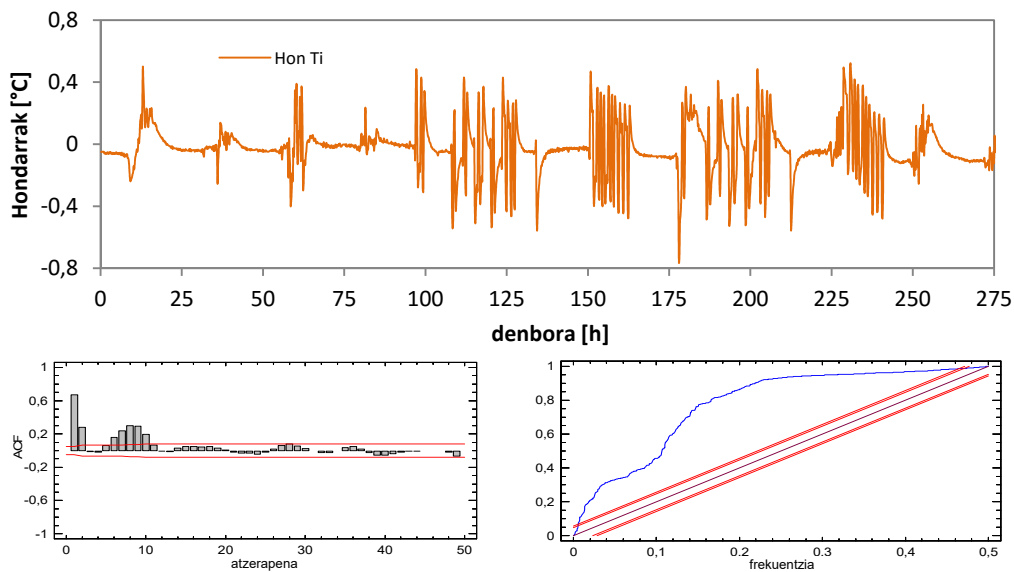
3.11 Taula – Leihoko babestutako kutxa beroko entseguaren baldintzak

### 3.4.2.2 Kanpoko baldintzetako transmitantzia entsegu

3.57 Irudian erakusten da entsegu zentro desberdinetan parametro-identifikazio prozesurako modelo erabiliena. Ahalik eta laginaren ezaugarri zehatzak lehen kontuan hartzen dituen modelo sinpleena da. Bi konduktantzia-adarrek perimetroaren portaera isolatzailea erreproduzitzen dute, bere inertzia termikoarekin batera, eta leihoaren zuzeneko transmitantzia, kapazitate termikorik gabe. Eta eguzki-irabazia entsegu gelako barne-airean kontuan hartzen da ere. Eta eguzki-irabazia entsegu gelako barne-airean kontuan hartzen da ere.

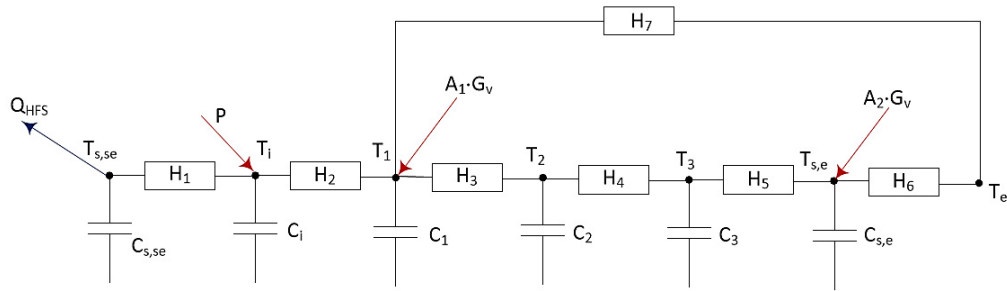


3.57 Irudia – IQ-Test-aren bigarren lagineko modelo sinplea

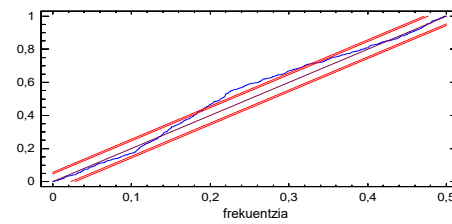
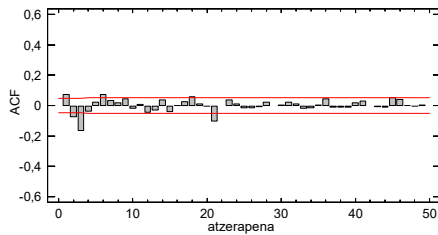
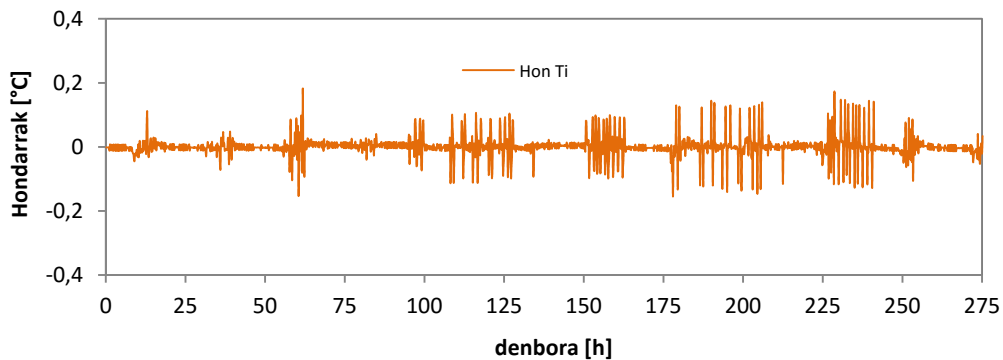


3.58 Irudia – Leihoarekiko laginerako modelo sinplearen hondar estudioa

Zuzeneko erradiazioa *tiles*-en gainean ezabatzeko laginaren barneak jartzen duen errezel beltzogatik, eguzki-irabazia lotzen da barruko temperatura entsegu gelako giroaren tenperatura batezbeztekoaren,  $T_i$ , desberdineko nodo batekin,  $T_1$ . Nodo hau beharrezkoa da bai aire-kapa honen tenperatura bai azalerako konbekzioko koefizientea entsegu gelako girora berezkoen desberdinak izango direnez gero. 3.58 Irudian emaitzak leihoko bigarren entseguaren doikuntzarako erakusten dira, emaitza guztien analisi osoa *B Eranskin*eko xehetasun gehiagorekin ikus daiteke. Hondarrak analizatzen badira egiazta daiteke modeloak bero-transmisio prozesua era osoan hondarrek zarata zuri-patroiarengana egokitze bat erakusten ez dutenez gero ez duela erreproduzitzen.



3.59 Irudia – IQ-Test-aren bigarren lagineko handitutako modeloa



3.60 Irudia – Laginerako leihoarekin handitutako modeloaren hondar estudioa

	Horma osoa			Leihoa			
	Opakua + Leihoa						
	UA [W/K]	UA [W/K]	gA [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> K]	e <sub>U</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	g [-]	e <sub>g</sub> [-]
1. ENTSEGUA	6,95	5,43	1,06	2,89	0,22	0,57	0,06
2. ENTSEGUA	6,48	5,22	1,01	2,78	0,18	0,54	0,05

3.12 Taula – IQ-Test-aren bigarren osagaiko bi entseguen emaitzak

Kanpoko giroarekiko interakzioa modeloan sartzen bada, bai konbekzio-prozesua bai azaleraren gaineko eguzki-erradiazio intzidentea, eta perimetro isolatzailearen bero transmisioa irudikatzen duen adarraren ordena handitzen bada, ikus 3.59 Irudia, hobekuntza nabarmena doikuntzan lortzen da, ikus 3.60 Irudia. Aldaketa hauek erabili dira parte opakua hasierako modeloerengan sinplifikazio handiagoa aurkezten duenagatik. Leihoan zeharreko bero transmisio prozesua, ordea, errazagoa da. Ez dauka inertzia neurgarririk eta, gainera, leiho bateko transmitantzia koefizientean sartutako azalerako erresistentziak kontuan hartzen dira, ordezkaritza egoki sinplifika daiteke konduktantzia bakarrarekin. 3.12 Taulan erakusten dira modeloaz lortutako emaitzak, eta leihorako egindako bi

entseguetan kalkulaturako azkeneko transmitantzia. Horma opakua kasuan bezala, baldintza hobeengatik kalkulu-ziurgabetasunak bigarren entseguan lortuta txikiagoak dira, eta beraz, balio hauek entsegu laborategi-arteakoan erabiliko dira. Behin IQ-Testa prozeduraren entsegu osoak eginda, bai horma opakurako bai leihoko osagairako, eta laborategi-artearen metodologian jasotako neurri-parametroen ziurgabetasunak mugatuta, hauek berean parte hartu zuten gainerako osagaiak lortutako emaitzetako multzoan sartzea falta da.

### 3.5 Trazabilitate entseguaren emaitzak

Emaitza guztietako konparaziozkoak entsegu prozeduraren fidagarritasuna, alde batetik, eta parte-hartzaileen laneko kalitate indibiduala, bestalde, lortzea baimentzen du. Atal honetan aipaturiko analisia egiten da, laborategi-arteakoan estudioen estatistikariek estandarra erabiliz. Azkeneko emaitza entsegu laborategi-arteakoan kalitatearen balioespina da, orokorrean, eta *EGUZKI*-a gelaren portaerako, bereziki.

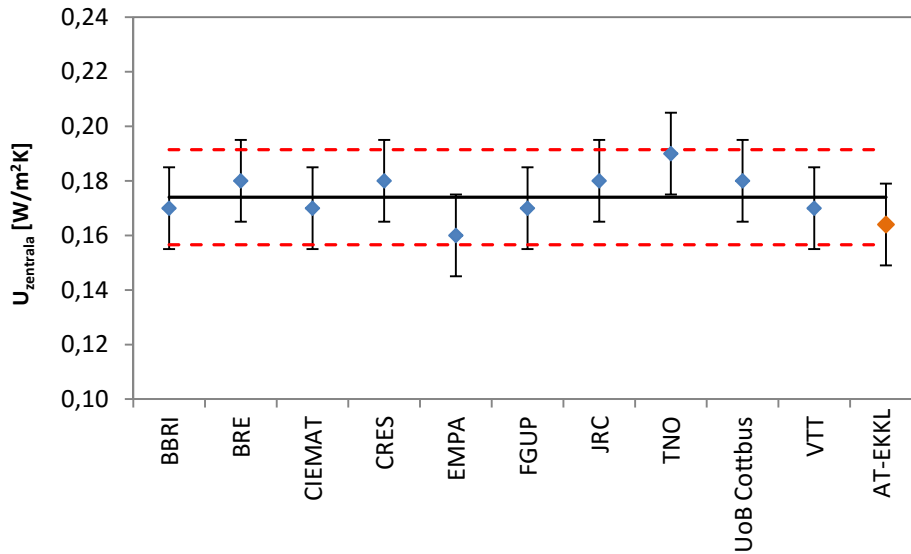
#### 3.5.1 Analisi estatistikoa

Jada esan denez gero, *IQ-Test*-a laborategi-arteakoaren definizioa egin da entseguetako eta lortzeko emaitzetako konplexutasuna handiagotzean izateko moduan, eta horrela emaitzak arazten joatea anomalo baimentzen duten konklusio partzialak lortzen joan ahal izatea. Lehen pausoa datza prozeduraren portaera egiaztatzean emaitza-sakabanatze txikiena sartzen duen probeta erabiliz. 3.3 Taulan parte hartzaile multzoarentzat lortutako emaitzak jasotzen dira, *EGUZKI*-a zeldari buruzko emaitzak nabarmentzen dira itzaleztatzean *EKKL*-ko *TA*-n egindak.

	Horma osoa	$e \pm$	Laginaren area	Horma osoa	$e \pm$	Profil zentrala	$e \pm$
	UA [W/K]	[W/K]	[m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
BBRI	1,28	0,10	6,25	0,20	0,02	0,17	0,01
BRE	1,37	0,19	7,16	0,19	0,03	0,18	0,02
CIEMAT	2,02	0,17	6,13	0,33	0,03	0,17	0,01
CRES	1,59	0,02	7,63	0,21	0,00	0,18	0,01
EMPA	1,06	0,10	6,73	0,16	0,01	0,16	0,01
FGUP	1,12	0,02	6,10	0,18	0,00	0,17	0,01
JRC	4,40	0,34	7,45	0,59	0,05	0,18	0,01
TNO	2,06	0,16	7,58	0,27	0,02	0,19	0,01
UoB Cottbus	1,40	0,10	7,43	0,19	0,01	0,18	0,01
VTT	1,25	0,14	7,32	0,17	0,02	0,17	0,01
TA-EKKL	1,57	0,05	7,23	0,22	0,01	0,16	0,01

3.13 Taula – *IQ-Test*-a lehen osagaiaren emaitzak





3.61 Irudian – Horma opakuko profil zentralaren transmitantziaren emaitzen analisisia

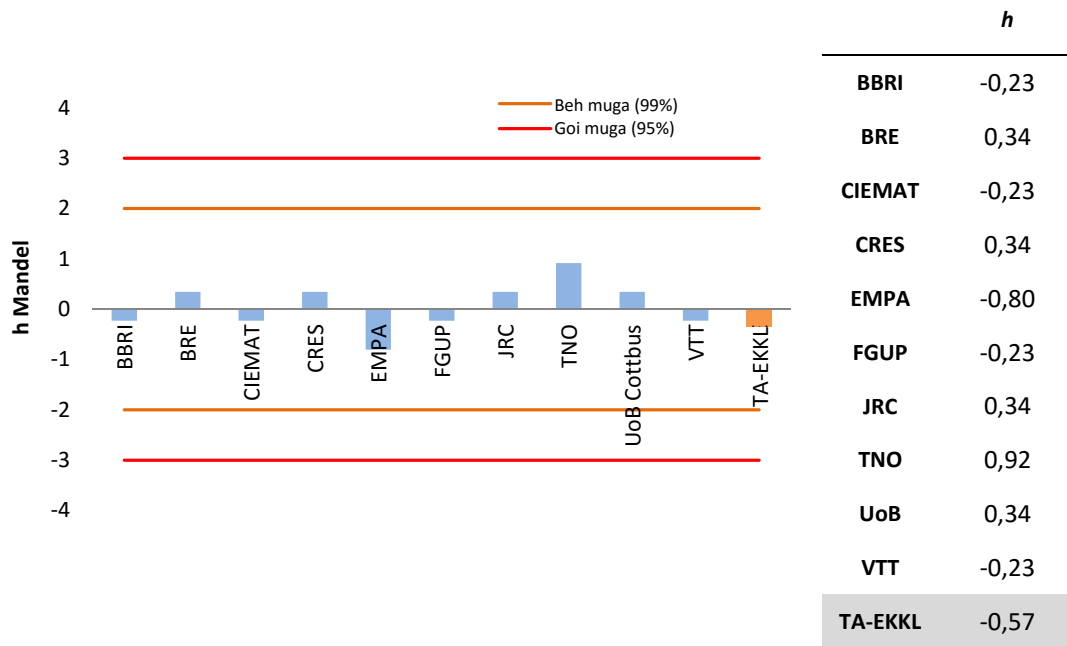
Zentro bakoitzean eraikitako laginak ezaugarri berak dituela egiaztatzeko profil zentralerako lortutako transmitantzia analizatzen da. estudio honetatik parametro-identifikazio erreminten erabileran lehen ebaluazioa lortzen da ere, nahiz eta modelo errazari izan dadila. Emaitza taldearen multzoaren batez besteko balioa  $U_{\text{zentral}} = 0,17 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ -etako da,  $s_U = 0,02 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ -etako desbideratzearekin. 3.61 Irudian emaitza bakoitza batez besteko balio honi buruz erakusten da, emaitzen bariantzari buruzko ziurgabetasun tarteararekin batera. Ikus daitekeenez gero, zentro parte-hartzaile guztiak batez beztera hurbileko aurkitzen dira eta fidagarritasunaren % 95etako bandaren barruan. Laborategi multzotik datorren emaitzen oinarria kuantifikatzeko Mandel-aren  $h$  estatistikaria darabil,  $ISO 5725-a^{[23]}$  araua dion bezala. Estatistikari honek laborategi partikular bakoitzeko emaitza laborategi multzoaren batz besteko balioarekin konparatzea baimentzen du eta definitzen da adierazpen [3.9]-a bezala. Aipaturiko adierazpenean zenbakitzaileak laborategi bakoitzaren desbideratzea,  $x_i$ , kuantifikatzen du osoaren batezbestekoari buruz, eta izendatzaileak balio multzoaren desbideratze estandarra kuantifikatzen du. Balio kritikoa,  $h_{\text{kritikoa}}$ , kalkulatu da [3.10] adierazpenaren bitartez,  $p$  laborategi parte-hartzaileko kopurua den tokian eta  $t$  Student-eko  $t$ -etako balioa da bi isatsetara  $p-2$  askatasun-graduaekin eta kontuan hartutako garrantzi-mailarekin.

$$h = \frac{(x_i - m)}{s_x} \quad [3.9]$$

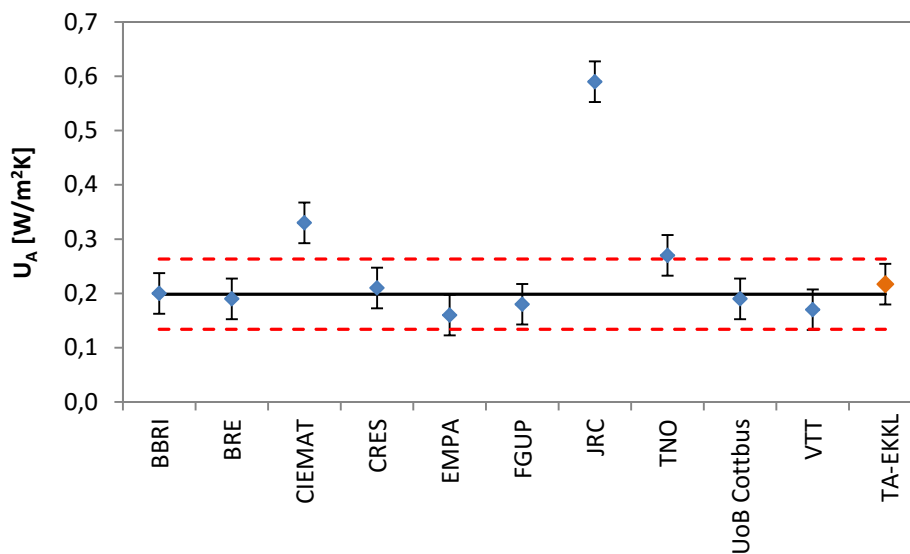
$$h_{\text{kritikoa}} = \frac{(p - 1) \cdot t}{\sqrt{p \cdot (t^2 + p - 2)}} \quad [3.10]$$

Normalean, laborategi-arteko estudioetan hurrengo irizpidea erabil ohi da:  $|h| < 2$  gogobetea (% 99ren fidagarritasuna),  $2 < |h| < 3$  eztabaidagarria, eta  $|h| > 3$  ezgogobetea (% 95ren fidagarritasuna).  $IQ$ -Test-aren kasu partikularrerako 11 parte-hartzaile ukaten dira hortaz balio kritikoa  $h_{\text{kritikoa}} = 2,065$ -tako da  $\alpha = 0,01$ -teko

garrantzi-mailarekin, patroiak ebaluazio-irizpideen estandarera lortzen diren. 3.62 Irudian profil zentralaren transmitantziaren neurrirako lortutako balioen analisiaren emaitzak jasotzen dira. Zentro guztiak gogobeteko baldintzetan daude. Lortutako emaitzak ezagututa irits daiteke horma opakuko laginak ezaugarri homogeneoak dituela laborategi-artekoaren estudioa errealizatorako. Orain geratzen da zelda bakoitzera berezko ezaugarriekin lotutako entsegu-baldintzen erreproduzigarritasuna ebaluatzeagatik. Hartarako laginaren transmitantzia osoa ebaluatzen da. Balio honek biltzen ditu lagin-garraiatazaileraren ertz efektuak eta estudioan zehazten ez diren bero transmisio mekanismoetako multzoa, bezala adibidez aire-infiltrazioak. 3.63 Irudian balio hauen emaitzak erakusten ditu era grafikoa.



3.62 Irudia – Horma opakuko profil zentralaren neurriaren estudio estatistikoa

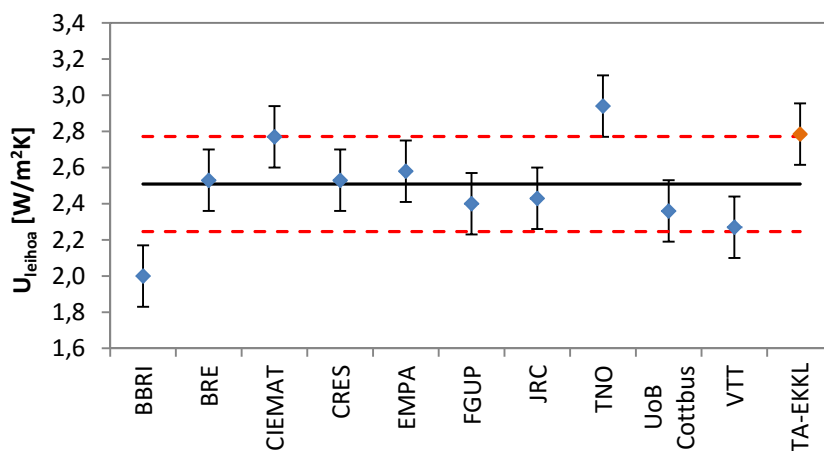


3.63 Irudia – Horma opakuen transmitantzia osoaren emaitzen analisisa

3.63 Irudian balio hauen emaitzak erakusten ditu era grafikoan. JRC-ean lortutako emaitzak nabarmentzen du gaineraketik asko bereizten dela. Desadostasun hau ondorio da zentro honetako entsegu zelda lehen prototipoari dagokiola, azkeneko konfigurazioa definitzeko ondoz ondoko probak egiteko erabili dela ekipamendu frogatzaile bezala. Beraz, gela honen baldintza partikularrengatik, estudioaren multzotik atera daiteke. Honela batez besteko  $U_A=0,20$  [W/m<sup>2</sup>K]-etatik balioa lortzen da  $s_{UA} =0,06$  [W/m<sup>2</sup>K]-etako desbideratzearekin. Honek ekartzen du ertz-efektuetako multzoko eta ez identifikatutako bero-galeretako batz besteko balioa % 14,1etako dela. Eta estima daitekeenez gero, ezaugarri hauek homogeneousak dira entsegu-zeldetako multzorako. Behin IQ-Test-aren lehen entsegua ebaluatuta zentro bakoitzaren portaera baliozkoa dela ondoriozta daiteke, eta horma opakuaren karakterizazio egokia ukaten da, bai bere profil zentralean bai bere multzoan. Honek baimentzen du datu oinarri egoki batzuetatik abiatzea bigarren laginaren hurrengo estudiorako, zeinen emaitzak 3.84 Taulan jasotzen diren.

	Horma osoa		Leihua	Leihua	Leihua	$e \pm$	Leihua	$e \pm$
	Opakua + Leihua							
	UA [W/K]	UA [W/K]						
		UA [W/K]	gA [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	g [-]	[-]	
BBRI	4,70	3,75	0,97	2,00	0,16	0,52	0,08	
BRE	5,74	4,74	1,12	2,53	0,20	0,60	0,08	
CIEMAT	6,89	5,20	1,07	2,77	0,11	0,57	0,02	
CRES	5,94	4,74	0,96	2,53	0,19	0,51	0,03	
EMPA	5,59	4,84	0,98	2,58	0,29	0,53	0,01	
FGUP	5,28	4,50	0,67	2,40	0,06	0,36	0,01	
JRC	8,65	4,55	0,97	2,43	0,16	0,52	0,04	
TNO	7,21	5,51	1,17	2,94	0,20	0,62	0,04	
UoB Cottbus	5,51	4,43	1,02	2,36	0,14	0,54	0,02	
VTT	5,19	4,26	1,06	2,27	0,15	0,57	0,04	
TA-EKKL	6,48	5,22	1,01	2,78	0,18	0,54	0,05	

3.84 Taula – IQ-Test-aren bigarren osagairen emaitzak



3.64 Irudia – Leihoren transmitantziaren emaitzen analisisa

Leihoaren transmitantziaren analisiarekin hasiz, 3.64 Irudian balio-multzoaren portaera erakusten da. Lortutako batez besteko balioa  $U_l = 2,51$  [W/m<sup>2</sup>K]-eko da  $s_{U_l} = 0,26$  [W/m<sup>2</sup>K]-etako desbideratzearekin. Nahiz eta emaitza ia onargarria iruditzen da, orokorrean, zentro-guztizkoa konfiantza-bandaren barruan aurkitzen dagoelako, emaitza-sakabanatzea oso altua da. Balio puntualak analizatzen badira, emaitza-tartea  $U_{l,min} = 2,00$  [W/m<sup>2</sup>K]-etako balio txikienetik  $U_{l,max} = 2,94$  [W/m<sup>2</sup>K]-etako balio handienera, ia goiko unitate bat, doa. Batez besteko balioari buruz % 37,5etako aldaketa tarte bat irudikatzen duena. Sakabanatze handi honek ez du baimentzen h-estatistikariaren balioespen irizpideak erabiltzea. Aurrez, beharrezkoa da zentro desberdinen emaitzen artean sakabanatze garai honen kausak analizatzea eta haiek interlaborategi-analisan kontuan hartzeko haiek kontuan hartzea. Bero-transmisio prozesua leiho-laginean zehar ikasten bada entsegu-baldintzek osagaiaren balioaren gaineko eragin oso adierazgarria dutela lortzen da.  $U_l$ -a bai leihora berezko erresistentzia termikoak bai barruko eta kanpoko azalerako konbekzio-koefizienteek eraginda dago, [3.11] ekuazioa.

$$\frac{1}{U_l} = R_{bk} + R_l + R_{kk} \quad [3.11]$$

Azaleren erresistentziak aire-abiaduraren zuzeneko funtzioa dira. Barruko konbekzioa ez da kontuan hartzen emaitza-sakabanatzearen, hasiera batean, barrukoa bezala entsegu gelako barruko giroak ekipamenduen arteko baldintza homogeneousak dituzenez gero, zeldaren definizioa eta entseguko prozedura estandarren baldintzak eskatzen dituen bezala. Ordea, kanpoko konbekzioa bai efektu adierazgarria aurkezten duela. Azaleraren kanpoko erresistentzia kalkulatzeko [3.12] ekuazioan formako modeloak erabiltzen dira.

$$R_{kk} = \frac{1}{h_{kk}} \quad \begin{aligned} a_{airea} \leq 5[m/s] &\rightarrow h_{kk} = a + b \cdot a_{airea} \\ a_{airea} \geq 5[m/s] &\rightarrow h_{kk} = a \cdot a_{airea}^b \end{aligned} \quad [3.12]$$

Leihora berezko erresistentzia termikoari dagokionez, emaitza-aldakortasuna beiren artean aire-ganberarekin lotutako erresistentziaren funtzioa izango litzateke, batez ere, truke erradiatiboak eta airearen konbekzio mugimenduak eraginda dagoela, ikus [3.13] ekuazioa. Erradiazioagatik bero truke koefizientea,  $h_r$ , hurbildu ohi da [3.14] adierazpenaren bitartez.

$$\Delta R_l = f(R_{ag}) \rightarrow R_{ag} = \frac{1}{h_{er} + h_k} \quad [3.13]$$

$$h_{er} = \frac{4\sigma T_m^3}{\left(\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1\right)} \quad [3.14]$$

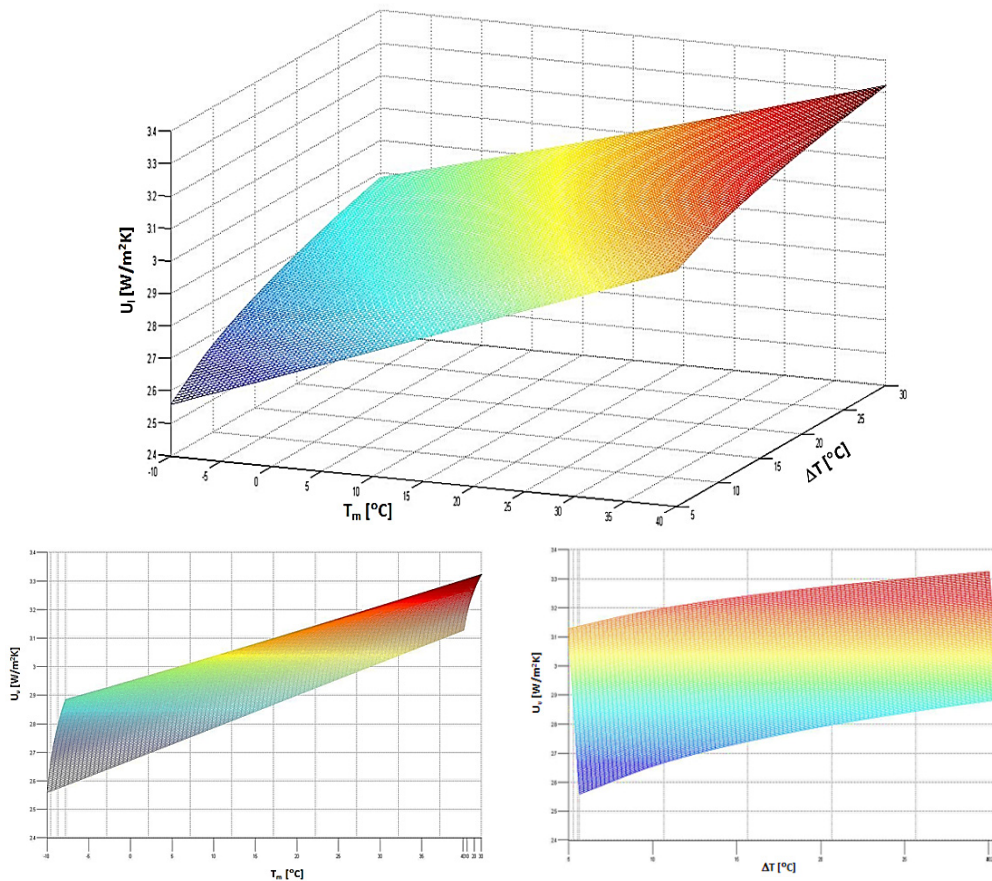
$$h_k = Nu \frac{\lambda}{s} \quad [3.15]$$

$$Nu = A \cdot (Ra)^n \rightarrow Ra = \frac{g e^3 \Delta T}{\nu^2 T_m}$$

Eraikuntzako lan mailarako hurbilketa honekin egiten den akatsa % 0,2tatik beherakoa da. Eta konbekzioagatik trukeko koefizientea,  $h_r$ , *Nusselt*-aren zenbakiaren aplikaziotik lortzen da, berriz *Rayleigh*-aren zenbakiaren funtzioa dela. Leihoaren transmitantzia parte hartzen duten faktoreak ebaluatu ondoren lortzen da ganbera barruaren airearen tenperatura batez besteko, beiren arteko tenperatura desberdintasuneko, eta kanpoko airearen abiaduraren funtzioa dela, oinarrian.

$$U_l = f(T_m, \Delta T, a_{kan}) \quad [3.16]$$

Aldagai hauen mailak entsegu zentro bakoitzerako analizatzen badira lortutako emaitza aldakortasuna deskriba dezaketela ezin hobeto egiaztatzen da. Kanpoko aireko abiaduragatik hasiz, leihoko entseguan zehar ematen diren batez besteko balioak 0,3 [m/s]-etatik 4,3 [m/s]-etaraino doaz. Maila hark sor dezakete  $\Delta U_l = 0,4$  [W/m<sup>2</sup>K]-etaraino transmitantziako aldaketa.



**3.65 Irudia –Batez besteko Aire-ganberaren Batez besteko tenperaturaren,  $T_m$ , eta beiren arteko tenperatura desberdintasunaren,  $\Delta T$ , arabera leihoaren transmitantziaren,  $U_v$ , aldaketaren kalkulia**

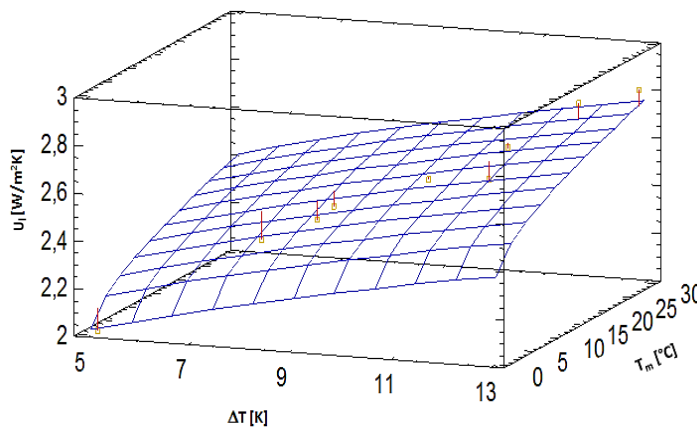
Egindako estudioan ikus daitekeenez gero, entsegu baldintza desberdinek leihoaren transmitantzia balioetan lortutako emaitzetako aldakortasuna azaltzen dute,  $T_m$  eta  $\Delta T$  ardatzei buruz azaleraren proiektioetako bakoitza erakusten duten bezala. Beraz, analisi estatistikoa laborategi-artekoari eman ahal izateko transmitantziari eragiten dioten parametroak begiestea beharrezkoa da. Hots, jada

harresi opakurako erabilitako modelo sinplea ezin da aplikatu, emaitza bakoitza batez besteko balioarekin eta akatsarekin konparatzen den. Leihoaren kasurako, osagai bakoitzak entsegu-aldagaien efektuak begiesten dituen funtzioak akatsa gehituz estimatutako balioa konparatu behar du, ikus [3.17] Irudia. Kasu honetan, tenperaturekin eta aireko kanpoko abiadurarekin leihoaren transmitantzia erlazionatzen duen funtzioa,  $U_l = f(T_m, \Delta T, a_{kan})$ , ez lineala da eta oso zaila da era esplizituan definitzea. Hiru aldagaien efektua doikuntza-koefizienteetako kopuru minimoarekin erreproduzitzea baimentzen duen funtzio sinplea ekuazioan [3.18]-tan definitutakoa da. Funtzioaren koefizienteetako multzoa,  $A_i$ , erregresiboaren bitartez zehazten den prozedura iteratiboa erabiliz. [3.66] Irudian lortutako emaitza erakusten da. Doikuntza-ontasuna  $R^2 = 95,5\%$  da eta modeloak neurtutako balioei buruz lortutako hondarrek ez dute korrelaziorik, funtzioa egokituta kontuan hartzen den. Lortutako doikuntza-azalera [3.65] Irudia eta [3.66] Irudia konparatzerakoan ikus daitekeenez gero jokutzen du korrelazioei buruz itxitako ganbera estandarrean itxarondako konbekzio-prozesurako estimatutako erantzuna bezala. Erakusten den doikuntzako azalera kalkulatu da entsegu datuen,  $a_{kan} = 2,3$  [m/s]-aren batez besteko balioa kanpoko aireko abiaduratzat hartuz, modelo teorikoarengan bezala.

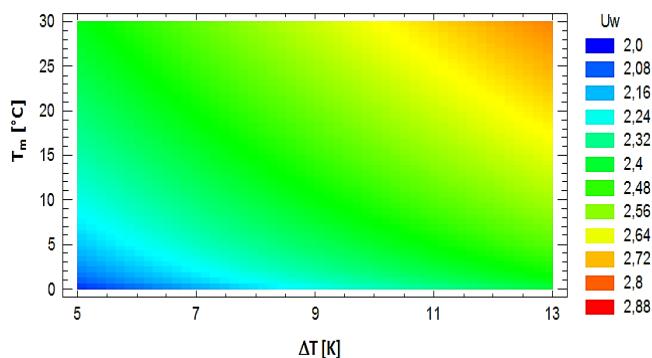
Horma opakua  $y = m + e$  [3.17]

Leihoa  $y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) + e$

$$U_l = A_1 + A_2 \Delta T^{A_3} + A_4 T_m^{A_5} + A_6 v_{ext}^{A_7} \quad [3.18]$$



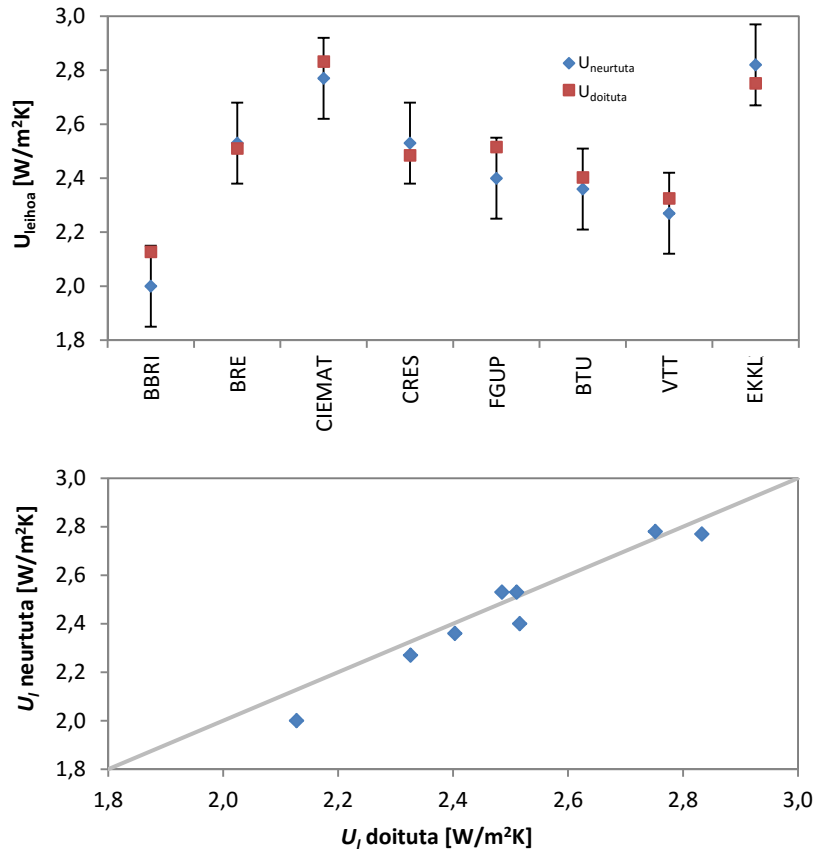
Parametroa	Estimazioa
A1	1,0454
A2	0,253606
A3	0,498781
A4	0,0566495
A5	0,57055
A6	0,270804
A7	0,40672



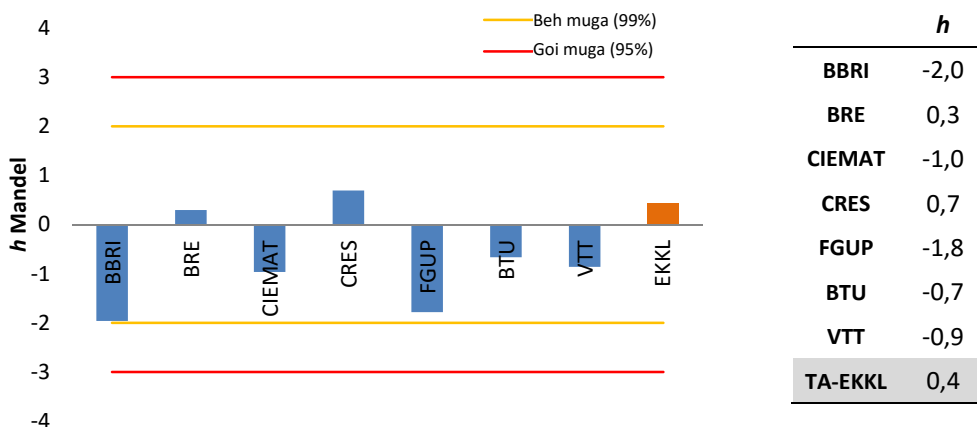
3.66 Irudia - Leihoaren transmitantziaren doikuntza funtzioa,  $U_l$ ,  $v_{ext} = 2,3$  [m/s]-ekin



3.67 Irudian konparaziozko zuzenekoa erakusten da neurtutako balioen eta doikuntza-funtzioa bidez lortutako balioen artean. Kasu guztietan hondarra entseguaren akats ertainetik beherakoa da eta egokitutako balioak neurtutako balioekin bat datoz. Kutxa beroko ekipamenduan egin den normalizatutako entseguko balioarekiko erkaketa doikuntzaren beste baliotasun kontraste bat da.



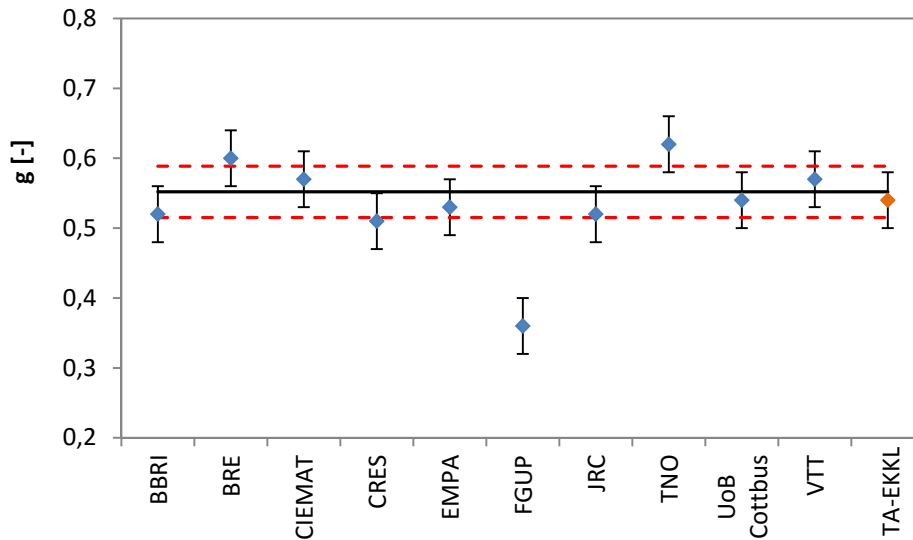
3.67 Irudia – Esperimental eta ezartzeko balioen arteko konparazioa



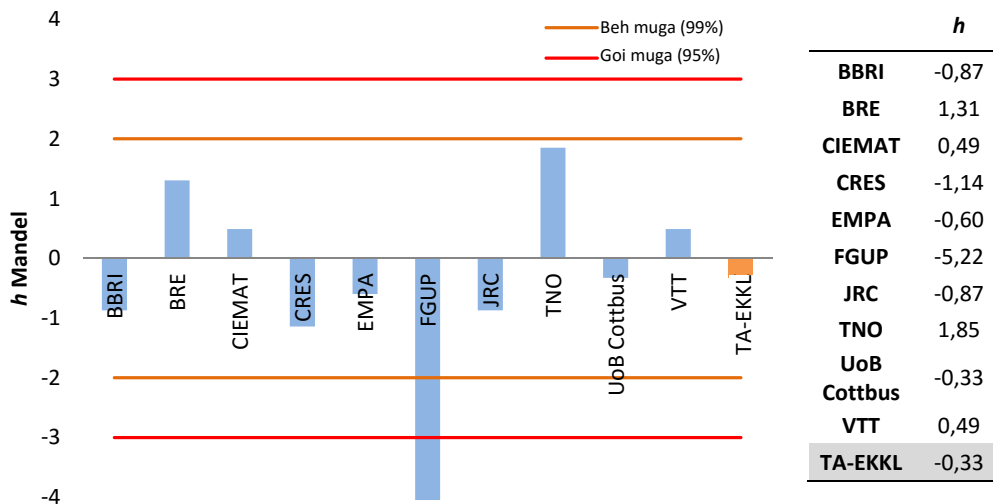
3.68 Iruda – Leihoaren neurriko transmitantziaren estudio estatistikoa

Aurreikusten ezarpen balioa  $U_l = 2,64$  [W/m<sup>2</sup>K] da, soilik  $\Delta U_l = 0,01$  [W/m<sup>2</sup>K]-eko desbideratzea ekartzen duena. Behin leihoaren transmitantziaren neurriari eragiten dioten aldagaien efektuak begietsita laborategi-arteko analisi prozesua

erabili daiteke. Kasu honetan  $h$  Mandel-eren estatistikaria egiten da doikuntza-funtzioaren eta zentro bakoitzeko neurtutako balioen artean lortutako hondarren gainean. 3.68 Irudian emaitzak jasotzen dira. Zentro guztiak aurkitzen dira % 95en fidagarritasun mailaren barruan.



3.69 Irudia – Eguzki-faktorearen emaitzen analisia



3.70 Irudia – Eguzki-faktorearen neurriaren estudio estatistikoa

Askenik, eguzki-faktorearen neurria ebaluatzea falta da. 3.69 Irudian batez bestekoari eta fidagarritasunaren % 95etako bandari buruz zentro bakoitzaren portaera erakusten da. Balioak, edo bere akats-tartea, aurkitzen dira baliotasun mailaren barruan, oso urrun dagoen balio puntualik ezean. Balio hau kalkulutik erretiratu da, eta geroago egiaztatu zenez gero, desbideratzea arazoaren ondorio da entseguan zeharreko eguzki-erradiazioaren neurrian<sup>[27]</sup>. Entsegu multzoan batez besteko balioa  $g = 0,52$ -etako da,  $g_{min} = 0,52$ -ko balio minimotik  $g_{max} = 0,62$ -ko balio maximoraino doan tartearekin, % 18,1en aldaketa batez besteko balioari buruz

irudikatzen duena. Desbideratze estandarra  $s_g = 0,04$ -ko da, %6,7 irudikatzen duena, tamaina-ordena berarekin akats batez besteko baliori buruz,  $e_g = 0,04$ , eta beraz emaitza-multzo oso homogeneoa da. Laborategi-artekoaren emaitza dagokionez, ikus 3.70 Irudia, zentro guztiak gogobeteko baldintzako mailaren barruan aurkitzen dira.

### 3.5.2 Azken balorazioa

Behin IQ-Testa emaitzen analisia bukatuta, entsegu-metodologiaren portaeraren eta *EGUZKI*-a zeldaren erantzunaren zehaztasunari dagokionez azkeneko balioespena, bereziki, egitea posible da. Aipaturiko balioespena hurrengoa da:

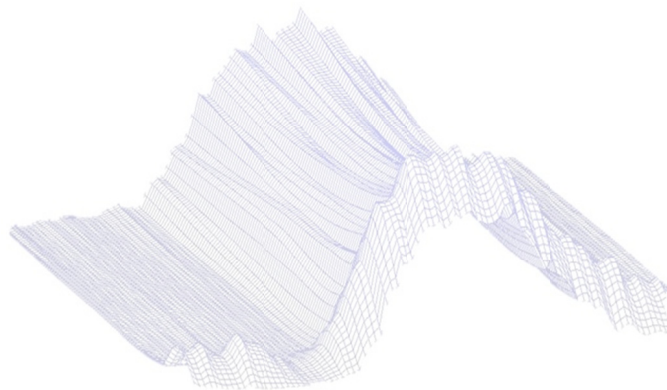
- Diseinua eta definizioa entsegu-zeldako egokitutakoak trazabilitate-ezaugarri egokiak kanpoko baldintzetako entsegu errealizatorako aurkezten dituen ekipamendua ukatea baimentzen du. Ertz-efektuak, laginen tamaina, ez kuantifikatutako osagaiak, etab..., zentroen arteko balio homogeneo batzuk aurkezten dituzte. *PASLINK* zeldak normalizatutako entsegu kalitate estandarrak mantenduz soluzio eraikitzaileko entseguak egiteko ekipamendu egokia izatea erakusten duen.
- Entsegu laborategi-artekorako erabilitako laginak, beren tamiana ekartzen duen arazoekin, laginek entseguaren kalitatearen analisirako baldintza egokiak izan dituzte, ikerketa-osagai bakoitzaren ezaugarriak erkagarriak zirela ziurtatuz.
- Zehaztasuna definitzen duten prozedurei eta tresnen kalibrazioari esker kalitate handia lortzen da entsegu-zentro desberdinen arteko datu esperimentaletan. Halaber, laginetako irudikapen modeloak sinple eta egokiak dira. Baita leiho modeloetan era, konplexutasun handiagoa dutenak.
- Entsegu-prozedurek potentzialtasun handia frogatu dute. Bere konfigurazioari esker lortzen diren datuen informazioa maximizatzen da eta beren iraupena txikiagotzen da.
- Metodologiak frogatu du entsegututako osagaien estudioko oinarritzko ezaugarrien neurri zehaztasun altua, transmitantzia eta eguzki-faktorea diren bezala.

Trazabilitate-entseguak zehaztasuna eta *PASLINK* metodologiaren trazabilitatea kuantifikatzea baimendu du, arrazoi horrengatik neurri-sistema bezala ekipamendu hau aukeratu da. Beste aldetik, *EGUZKI*-a zeldaren prest edukitzea zuzena izan da, eta emaitzak daude zentro-sarearen multzoren barruan, entseguen trazabilitatea ziurtatzen duena. Frogatu da ere laginen modelatzean eta parametro-identifikazio tekniken aplikazioan lortutako esperientzia. Beraz, behin fidagarritasuna ziurtatuta eta entsegu-metodologiaren kalitatea pasatzen da aireztatutako fatxaden karakterizazioko fase esperimentalaren garapenera.



# 4 Kapitulu

## Fatxaden karakterizazio esperimental







## 4.1 Laginen eraikuntza eta instrumentazioa

Aireztatutako fatxada aukera handia dago, Kasu honetan kanpoko aireko errezelarekin fatxada opakuko portaera karakterizatzea interesgarria da. Bere ezaugarri eraikitzaileei esker tipologia honek oso hedatutako aplikazioa du etxebizitzako sektorean, bai eraikuntza berrirako bai birgaitzerako. Fatxada hauek harresi oinarri batez, isolamendu-kapa batez, aireztatutako aire-ganberaz, eta azkeneko itxiera bezala jokatzen duen kanpoko orriaz eratuta daude. Konfigurazio honek abantaila eraikitzaile interesgarriak ditu. Alde batetik, horma oinarriaren egitea sinplifikatzen da, azkeneko kanpoko itxiera ez denez gero eta ez du eskatzen bukatuta oso fina, beraz txikiagotzen da eraikuntza-garaian. Eta beste aldetik, horma oinarriaren gaineko isolatzailearen jartzeak kapa jarraitua izan dadila baimentzen du, zubi termikoko efektuak aurre zutabeetako, forjatutakoetan eta fatxaden arteko topaketa zonetan txikiagotuz. Aireztatutako ganberari dagokionez, bere lodiera aldagarria izan daiteke, 2-3[cm]-etatik 10-15[cm]-etaraino pasatuz, beharren arabera. Gainean, gainera, ganbera barruan haizearen mugimenduak portaera higroskopikoa oso ona ematen du fatxadarako. Kanpoko orriari dagokionez, aldakortasun eraikitzaile handia du, material-kopuru handia erabiltzea baimenduz: harrizkoak, zeramikazkoak, metalezkoak, ..., diseinu arkitektonikoaren ahalmen handia ukatea baimentzen duena.

Aireztatutako fatxadek ematen dituzten aldagaietako multzoak goren unea azaltzen du gaur egun bere aplikazioan. Baina aldagai-multzo horrek portaera energetikoaren karakterizazioa zailtzen du, eta gaur egun ez dauka nahikorik datu experimental trazableak fatxada-mota honen portaera termikoari buruz. Aireko abiadurak eta aireztatutako ganbera barruan konbekzio prozesuko, edo kanpoko orriaren eguzki-erradiazioarekiko interakzioa, adibidez, funtsezko parametroak dira aireztatutako fatxaden portaera eraikinaren itxituraren eskari energetikoan zehazten duten. Bere karakterizazioak entsegu bat eskatzen du kanpoko baldintzetan eta egoera erreal eraikitzaileak erreproduzitzen dituzten laginekin. Hauek dira oraingo lanaren oinarriak eta tesi honen estudio teorikoa osatzen duten entseguetako multzoaren jatorria. Helburua da soluzio eraikitzaile gaur egun eskaintzen diren merkataritza-fatxadak adierazteko eta sektoreko edozein fabrikatzailearen katalogoan aurki dezakeena karakterizatzea. Hartarako hurrengo entsegu-laginak aukeratzen dira:

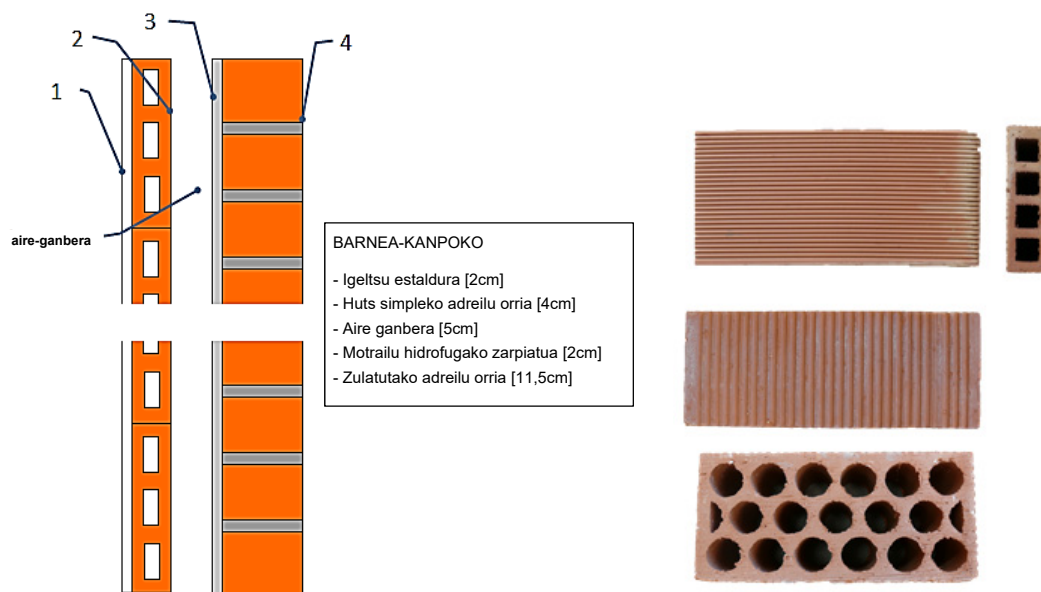
- Oinarrizko horma: estudioaren oinarri bezala erabili dion erreferentziako itxitura da bat bikoitza adreilu-fabrika orria eta bitarteko aire-ganbera. Horma honen gainean hurrengo aireztatutako fatxada sistemak muntaketa egiten da.
- Oinarrizko horma isolamenduarekin: kanpokan isolamenduko zuzeneko sistema ematen dio horma oinarriari, material isolatzaile berarekin aireztatutako fatxadaren enplegatua baino. Horma oinarri honek eta isolatutako hormak, balio izango dute birgaitzeko eraikin sentiberetako isolamendurik gabeko fatxaden eskari energetikoaren erreferentzia, eta *SATE*-a sistemetikiko (*Sistema de Asilameinto Térmico por el Exterior*) isolatutako fatxadak bezala, konparaziozko balioa aireztatutako fatxadetan lortutako emaitzei buruz ukatea baimenduko dutela.
- Aireztatutako fatxada arina: lehen konfigurazioan kanpoko orriko itxiera bezala lodiera txikiko zementu plakak erabiltzen dira. Aire-ganbera lodiera zabaleko da beheko sarrera bakarrarekiko eta goiko irteera bakarreko.
- Aireztatutako fatxada astuna: bigarren konfigurazioan erabiltzen da kanpoko orri astun eta inertzia handiarekin armatutako hormigoi plaka batek eratutakoa. Bi kasuetan aire-mugimendua konbekzio naturalagatik da.

- Industrializatutako fatxada: estudio osagarri bezala fatxada-tipologiarako karakterizazio esperimentalak handitzen da guztiz zehatzen desberdinak diren ezaugarriekin. Hirugarren aireztatutako fatxada lagin honek eraikuntza arina du eta, prefabrikatutako panel sandwicheko barruko euskarriaz, ihartzen ditu galbanizatutako xaflako kanpoko orria, eta aireztatutako ganberan behartutako aire mugimendua. Konfigurazio hau eraikuntza berrirantz orientatuago dago eta kontrol handiagoa eta ustiapen energetiko berriztagarriko ahalera ditu aire-errezelagatiko eguzki-erradiazioetik datorren beroko hartze handiagoari esker, eraikuntzako sektorean garapen-linea berrien adibidea izanez.

Ondoren pasatzen da lagin-multzoaren eraikuntza eta entsegu bakoitzean jarritako neurri instrumentazioa zehaztera.

### 4.1.1 Oinarrizko horma

Oinarrizko horma definitu da ahalik eta hedatuena eraikuntza-sistemaren adierazgarria izateko moduan. Hartarako aire-ganberarekiko orri bikoitzeko harresi bat aukeratu da 90eko hamarkadara arte 70eko hamarkadatik aurrera parke edifikatorioan erabilitako fatxada soluzioaz dagoela, garapen eraikitzaile zabala gertatzen den tokian. 4.1 Irudian eskema eraikitzailea erakusten da.



4.1 Irudia – Oinarrizko horma soluzio eraikitzailea, eta fatxadako orri bakoitzeko eraikuntzan erabilitako bloke zeramikoak

Lagina, barnerako kanpokoko, zulatutako adreilu trinkoko juntura horizontalarekiko lodierako 11,5 [cm]-etako orri batek eta motrailuko bertikal jarraituak, motrailu hidrofugoko enfuskadoko 2 [cm]-etako, aire-ganbera 5 [cm]-etako lodierako, adreilu huts soileko fabrika 4 [cm]-etako juntura horizontalarekiko lodierako eta motrailuko bertikal jarraituko eta estalita 2 [cm]-etako igeltsuko, itxuratuta dago. Adreilu huts soilak 15 [cm]-etako altua, luzerako 30,5 [cm]-etako eta 4 [cm]-etako lodierako neurtutako dimentsioak ditu. Blokeko neurtutako batez besteko pisua 1,924 [kg]-eko da. Zulatutako adreilu trinkoak 10 [cm]-etako altua, luzerako 24 [cm]-etako eta 11,5 [cm]-etako lodierako neurtutako dimentsioak ditu. Eta blokeko neurtutako batez besteko pisua 2,478 [kg]-eko da. 4.2 Irudian erakusten da zulatutako adreilu fabrikako kanpoko

orriko jasodura, junturen kontrolarekiko eta motrailuko barruko estaldurako. 4.3 Irudian adreilu huts simple barruko orriko jasodura azaltzen da, eskuarki *machetón* bezala ezagututa, aire-ganberaren lodieraren eta barruko aurpegiko igeltsuko azkeneko estalduraren kontrolarekin. Ikus daitekeenez gero, *PASLINK* entseguaren diseinuaren helburuetako bat botereari dagokionez betetzen da erabili eraikuntzaren ezaugarri errealak betetzen dituzten laginak. Kasu honetan, probetak irudikatzen dituenetarako fatxada hormak baino prozedura eraikitzaile bera du, bai materialak bai exekuzio-prozesu errealak erreproduzitzen.



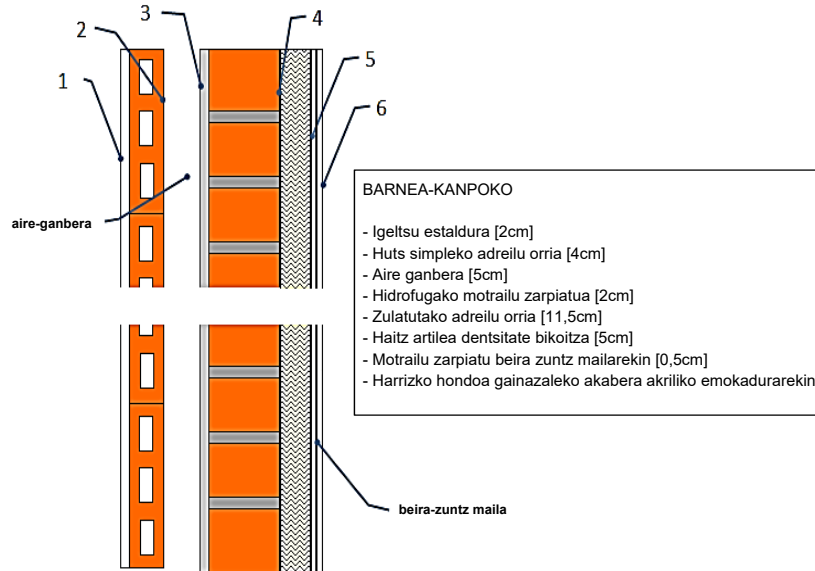
4.2 Irudia – Kanpoko orriko eraikuntza lagin-garraiatailean



4.3 Irudia – Kanpoko orriko eraikuntza, aire-ganberaren lodieraren kontrola eta igeltsuko azkeneko estaldura

Oinarrizko horma aprobetxatuz, entseatzan den hurrengo osagaia horma bat da isolamendu konbentzionalarekin. Hartarako kanpoko aurpegiaren gainean *SATE* bat jartzen da, artile minerala material isolatzaile bezala erabiliz, geroago entseatzan diren aireztatutako fatxaden laginetan isolamendu kapan erabiltzen den material bera. 4.4 Irudian eskema eraikitzailea erakusten da. *SATE*-a sistema datza lodierako 5 [cm]-etako haitz artile panel batzuetan, motrailuaz kolatuta emokadura arina haiek zulatutako

adreilu trinkoko oihalean jartzeko, ikus 4.5 Irudia. Erabilitako panelak aplikazio espezifikoa dira isolamendu-soluzioetako mota honetarako eta bere aplikaziorako aireztatutako fatxadetan, 40 [kg/m<sup>3</sup>]-ko dentsitate nukleo bat eta 100 [kg/m<sup>3</sup>]-ko dentsitateko gainazaleko kapa aurkezten dituenez gero, beharrezko zurruntasuna bere jartzerako ematen diona. Gainera, kontrol-neurri bezala, eroankortasun-entsegu bat EN-ISO 12667-a<sup>[64]</sup> arauaren arabera egiten da. 10°C-etako batez besteko tenperaturarako, eraikuntza-produktuetarako erreferentziako tenperatura, lortutako balioa  $\lambda_{LR} = 0,039 \pm 0,002$  [W/mK]-eko da.



4.4 Irudia – Oinarritzko hormari aplikatutako SATE-aren soluzio eraikitzailea

	MAGNITUDE	EZAUGARRIAK	SENTSORE KOPURUA				
			1 KAPA	2-3 KAPA	4 KAPA	5 KAPA	6 KAPA
OINARRIZKO HORMA	Temperatura	PT100, A mota, 4 hari konexioa	5	5	5		
	Bero-fluxua	Ahlborn FQA-0801-H	3	1			
OINARRIZKO HORMA +SATE	Temperatura	PT100, A mota, 4 hari konexioa	5	5			5
	Temperatura	Termopar T mota			5	5	
	Bero-fluxua	Ahlborn FQA-0801-H	3	1	2	2	

4.1 Taula – Sentsoreak oinarritzko eta isolatutako horman jarrita

Behin plakak jarrita eta lehortuta, indartzeko eta nibelatzeko emokadur bat ematen da beira-zuntzeko mailarekin. Ondoren harrizko hondoa ematen da eta gainazaleko akrilikoko apaingarria emokadurarekin akabera, ikus 4.6 Irudia. Gainazaleko estaldura osoak 0,5 [cm]-ko azkeneko lodiera du. Lagina egoki bereizteko tenperatura eta bero fluxu sentsoreak kapa adierazgarri bakoitzean jartzen dira. 4.1 Irudia eta 4.4 Irudiaren eskemetan kapak oinarritzko hormarako aurkezten dira, guztira lau kapa, barruko eta kanpoko azalera zenbatuz, eta isolamenduarekiko horman, bi kapa gehiago. 4.1 Taulan kapagatiko zundetako kopurua eta bere ezaugarriak erakusten da. Guztira, oinarritzko horman jartzen dira 15 tenperatura-zunda eta 4 bero-fluxu sentsore, eta isolamenduarekiko harresian 25 tenperatura-zunda eta 8 bero-fluxu sentsore.

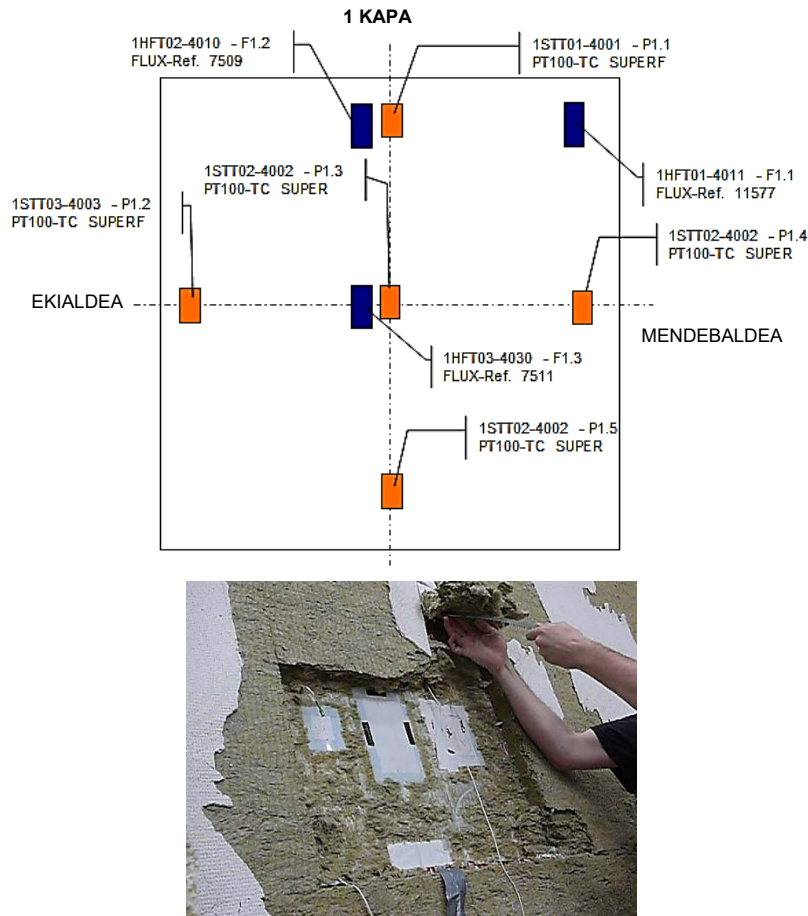




4.5 Irudia – Zulatutako adreilu orriaren gaineko haitz artileko muntaketa



4.6 Irudia – Beira-zuntz-mailako muntaketa indargarri eta nibelazio emokaduran, ezkerreko irudia, eta funtsezko harrizko amaiera bukatuta eta emokadura akrilikoa



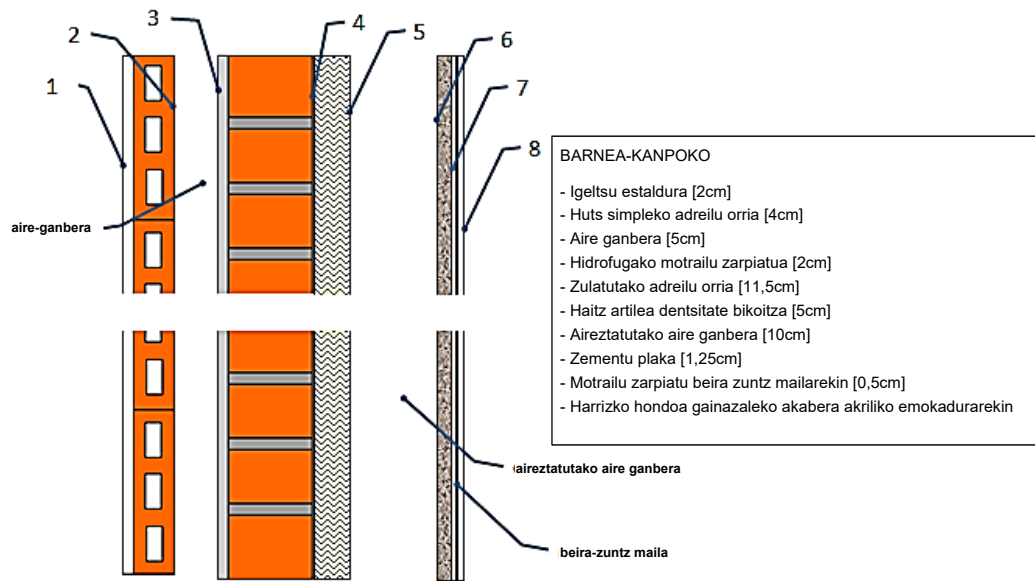
4.7 Irudia – Lagineko barruko aurpegiko zundetako antolamenduaren adibidea, goiko irudia, eta desmuntaketa prozesuan zeharreko 4 kapan kokatutako zundak, beheko irudia

4.7 Irudian zundetako antolamenduaren laginaren gainean adibidea erakusten da, kasu honetan, laginaren barruko azalera, *1 kapa*, entsegu gelako giroarekin kontaktuz. Muntaketako eskema osoak *C Eranskin*eko xehetasun handiagoarekin definitzen dira. Sentsoreetako antolamenduaren helburua lagineko azalera desberdinen batez besteko tenperatura ertaina egoki zehaztea da fatxadako osagaietako bakoitza karakterizatu ahal izateko, eta ganiera, desoreka posibleak tenperatura-gradientean antzeman ahal izatea. Bero-fluxu sentsoreei dagokienez, *tiles*-en neurri nagusirako osagarri bezala erabiltzen dira, *IQ-Test*-a entseguaren kasuan bezala, hortaz, erreferentzia bezala dimentsio-bakarreko fluxua ukan daiteke, lagin-garraiatazile sistemaren ertz efektuak kontraste-neurriarekin kuantifikatu ahal izatea. Ondoren pasatzen da ikasitako aireztatutako fatxada sistemen eraikuntza zehaztera.

#### 4.1.2 Aireztatutako fatxada arina

Behin oinarrizko hormako lagina entseatuta kanpoko aurpegiak jarritako isolamendua erretiratzen da eta aireztatutako fatxada arineko soluzio bat jartzen da. Lagineko eskema eraikitzailea 4.8 Irudian ikus daiteke.

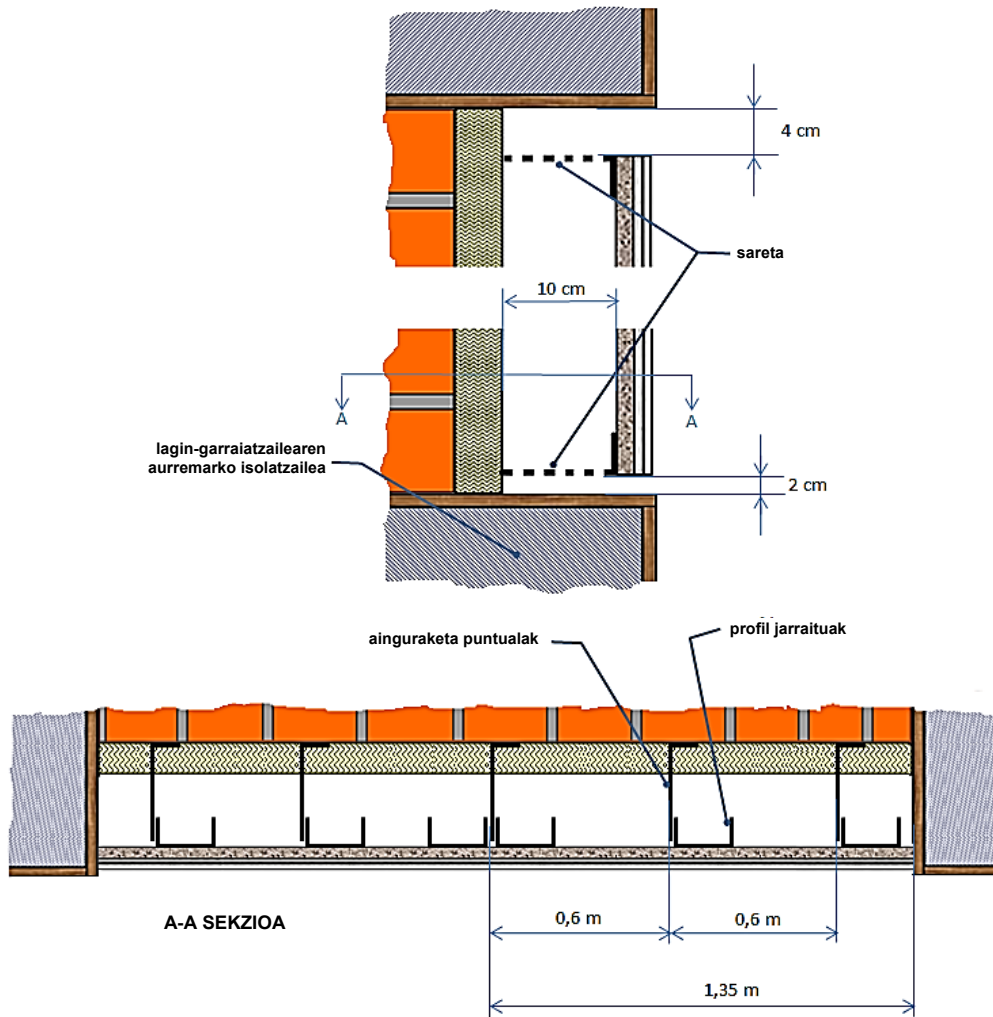




4.8 Irudia – Aireztatutako fatxada arineko soluzio eraikitzailea

Zulatatuko adreilu fabrika orriaren gainean lodierako 5 [cm]-ko haitz artile kapa bat berriro jartzen da, ezaugarri berekin lehen erabilita, gero sortzen da profil-sistema eta ainguraketetako bitartez 10 [cm]-ko lodiera aireztatutako aire-ganbera, eta fatxada ixten da 1,25 [cm]-ko lodiera zementu plaken bitartez eratutako orri arin jarraituarekin, motrailu gehiago beira-zuntz-maila eta emokadura harrizkoa bukatuta sistemarekin errematzen dela kanpokitik. 4.9 Irudian aireztatutako orriaren ainguraketa sistemaren xehetasuna erakusten da. Adreilu-hormaren gainean ainguraketa puntualeko serie bat jartzen da zeinen gainean geroago profil metaliko jarraitu batzuk torlojutzen diren euskarri bezala balio dutela zementu-plaken jartzerako. Konfigurazio honekin saiatzeko da isolamendu-kapako aireztatutako orriaren euskarri sistemari zor izandako zubi termikoak txikiagotzen. 4.10 Irudian euskarri puntualen jartze prozesua erakusten da beren konfigurazioaren xehetasun irudi batekin. 4.11 Irudian haitz-artilearen isolatzeko kaparen jartzea euskarrien efektuaren xehetasunarekin erakusten da. 4.12 Irudian profil jarraituen instalazioa euskarri puntualetarako euslearen xehetasunarekin erakusten da, eta zementu plaken ondorengo jartzea aireztatutako ganberaren azkeneko lodieraren kontrolarekin batera. Juntura-zigilatzearen ondoren, ikus 4.13 Irudia, motrailuko kanpoko akabera beira-zuntz mailarekin ematen da eta gainazaleko errematea harrizko zarpiatua, ikus 4.14 Irudia.

Behin aireztatutako fatxadaren eraikitzailea eta EGUZKI-a zeldako entsegu probetaren eraikuntza prozesuaren soluzio definituta erabilitako instrumentazioa definitzera pasatzen da. Aire-abiadura eta tenperaturako zundetako antolamendurik egokiena aireztatutako ganberako aukeratu ahal izateko, fatxadaren portaera egoki bereiztea baimentzeko moduan, bolumen mugatuko modelo baten bitartez studioa *CFD Fluent*®-erreminta erabiliz egiten da. Lagineko alboko ertzen efektuak arbuiagarriak direla kontuan hartu, aireztatutako ganberaren aire mugimendua 2D modelo baten bitartez irudika daiteke. Modeloaren ezaugarriak 5 Kapituluko 5.2.2 atalean xehetasun handiagoarekin deskribatzen dira. Analisisirako modelo egonkorra erabiltzen da kanpoko aireko 10°C tenperatura, barruko giroko 20°C tenperatura, 300 [W/m<sup>2</sup>] eguzki-erradiazioa, eta barruko konbekzioko koefizienteak eta kanpoko 7,69 [W/m<sup>2</sup>K] eta 25 [W/m<sup>2</sup>K] hurrenez hurren, aukeratuz. 4.15 Irudian modeloak lortutako aire-abiadura bektoreak erakusten dira.



4.9 Irudia – PASLINK aireztatutako fatxada arinari buruzko probetaren xehetasun eraikitzaileak



4.10 Irudia – Adreilu hormaren gaineko ainguraketa puntualen jartzea





4.11 Irudia – Haitz-artilearen jartzea eta isolamendu-kapako ainguraketa puntualen sartzearen xehetasuna



4.12 Irudia – Kanpoko orri arineko muntaketa



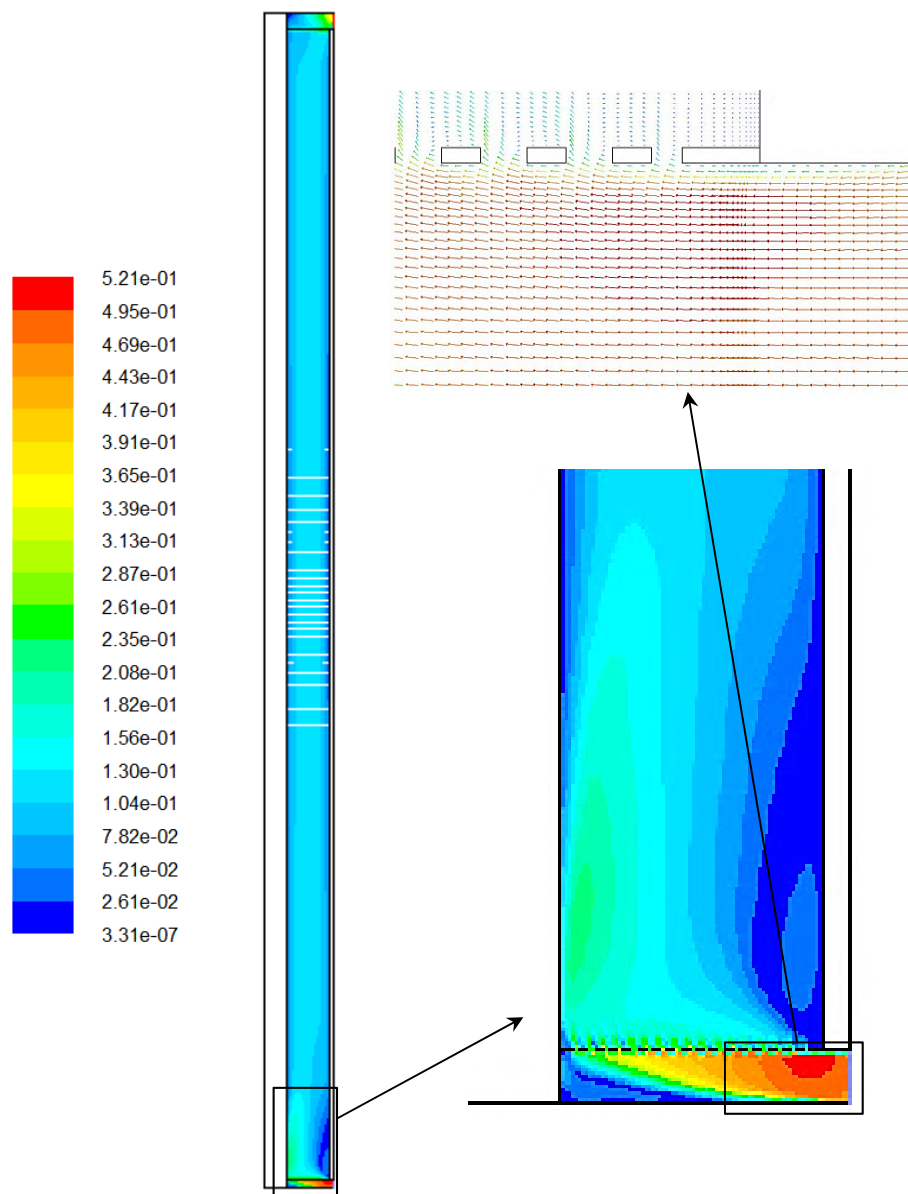


**4.13 Irudia – Kanpoko orriaren juntura zigilatzea eta aire-sarrera xehetasuna**



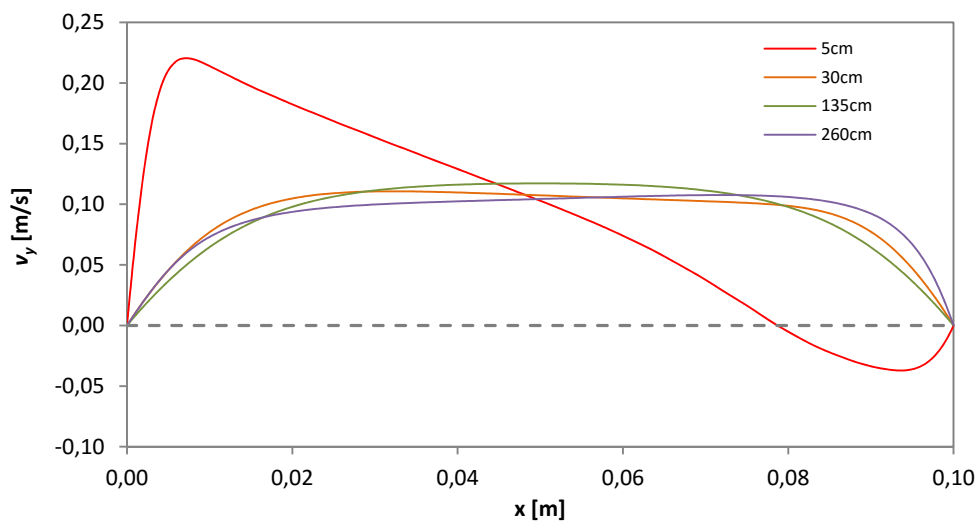
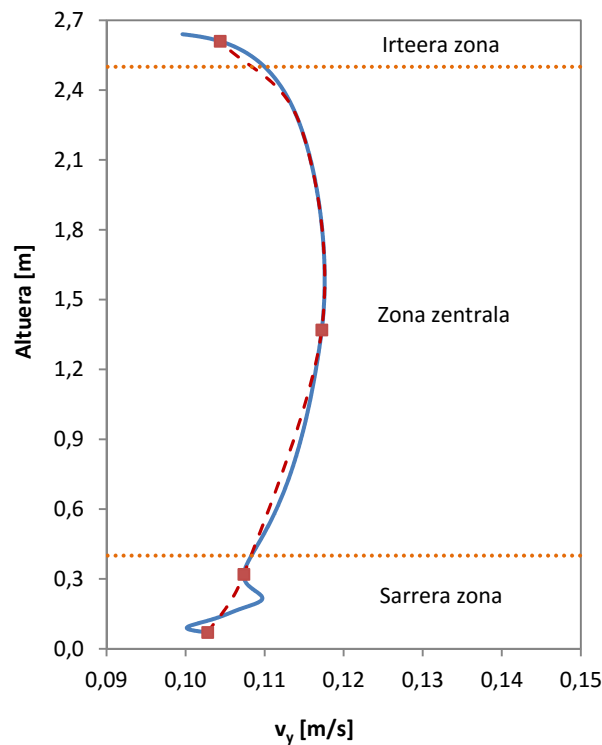
**5.14 Irudia – Azkeneko estaldura motrailu, maila eta emokadura harrizkoarekin**

Modelotik lortzen den lehen emaitza interesgarria ganbera barruan airearen batez besteko abiadura da, 0,1-0,2 [m/s]-ko ordenaren balioak hartzen dituela, zeinagatik zundak jartzeko abiadurako bereizmena eta tarte honetan estaltzen duen neurriko maila aurkeztu behar dituzte. 0,01-1 [m/s]-ko neurri maila duten termoanemómetro-tako modelo aukeratu da, 0,001 [m/s]-ko neurri bereizmenarekin, eta 0,01 [m/s]-ko ziurgabetasunarekin. Sarrera eta irteeraren efektuen garrantzia abiadura-profilaren garapenean beste emaitza interesgarria da. Nola bizkortzen den sarreraren airea eta nola zurrumbilo-zona produzitzen duen zementu-plakatik hurbil ikus daiteke. Sarreraren efektua desagertzen da 30 [cm]-ko ordenaren altuera maximora, zeinetatik aurrera abiadura-profilak fluxu laminarraren portaera logaritmiko tipikoa duen. Abiadura-bektorearen osagai bertikala,  $v_y$ , interes handieneko parametroa da aireztatutako ganbera zeharkatzen duen aireko emaria kalkulatzeko, 4.16 Irudia.



4.15 Irudia - Aireztatutako ganberako CFD-etako modeloengako abiadura bektoreak

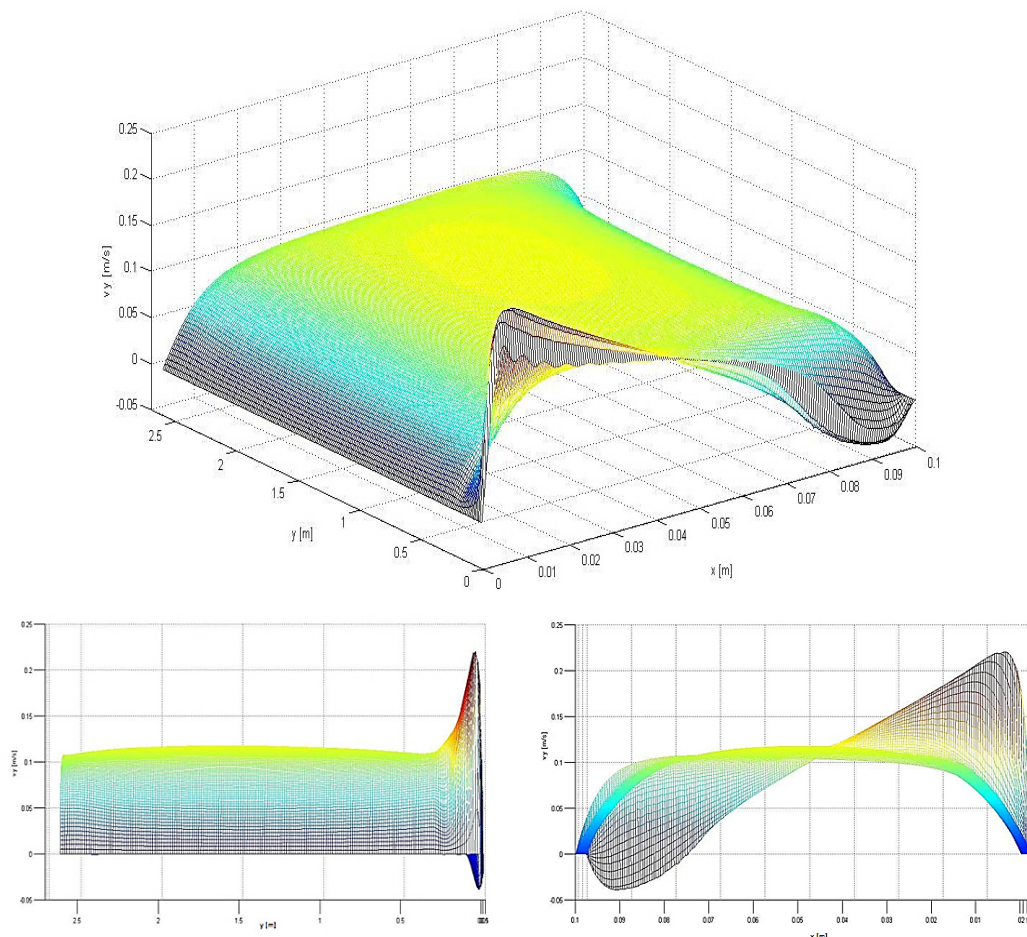
Altuerako profilean argitazunez ikus daiteke sarrera-zona, eta aldaketa handiagoak gertatzen diren tokian denez gero, bi abiadura-zunda aipaturiko zonan jartzea erabakitzen da, sarrera-saretatik 5 [cm]-etara lehena eta bigarrena 30 [cm]-etara. Zona zentralako profila oso homogeneoa denez gero ganberaren altuera erdira zunda bat jartzen da, 135 [cm]-ekin dagoela. Irteera-zonari dagokionez, balaztaketa-efektuaren garrantzia txikiagotzen da 20 [cm]-en saretaren ordenaren arteko distantziara, asaldura txikiagoa sortuz sarrera-zonan baino, berari buruz 5 [cm]-en arteko distantzian beste abiadura-zunda bat jartzen duen, 260 [cm]-ko erabateko altuerarekin dagoela. Lau abiadura-zunda hauetatuz modeloak kalkulaturako profil errealerara egoki gainjartzen den doikuntzako profil bat lortzen da, lerro etenean erakusten dela.



4.16 Irudia – Abiaduraren osagai bertikaleko profilak,  $v_y$ , altueran erdiko puntuan, goiko grafikoa, eta laginean jarritako termoanemómetro-ekiko puntuetako profil horizontala



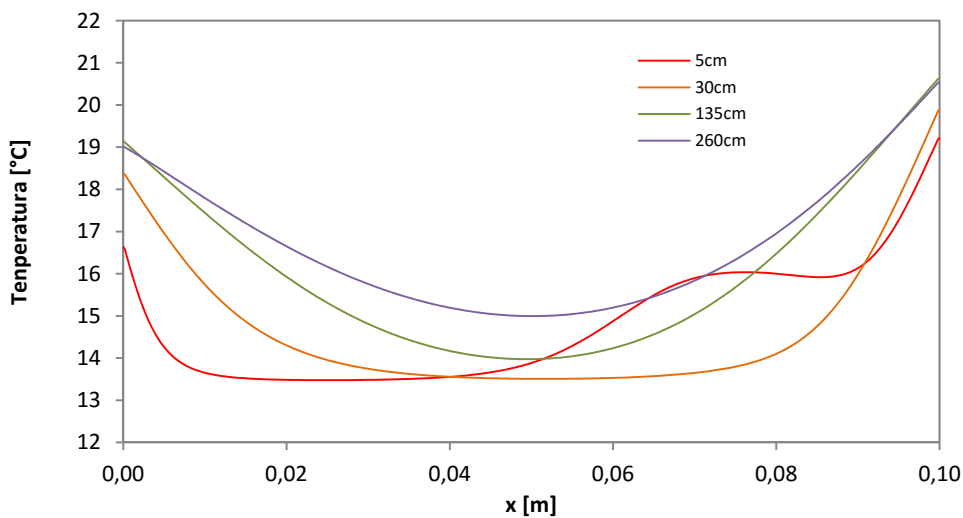
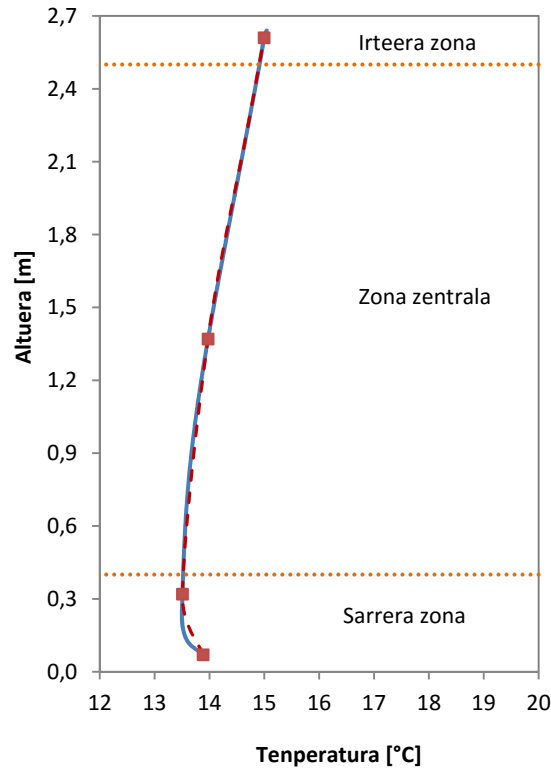
4.16 Irudiaren beheko grafikoan abiadura-profil horizontalak erakusten dira aukeratutako neurri-puntuetako bakoitzeko osagai bertikalerako. Ikus dezake nola beheko puntua sortzen den bortizeak sarreran eragina dagoen, goranzko abiadura-zonarekin eta beheanzko beste zona batekin. Hala ere, hurrengo neurri-puntuan, altuerako 30 [cm]-etara, jada profil homogeneoa da, fatxada guztian zehar errepikatzen dela, profilak gainerako neurri-puntuak erakusten dituztenez gero. Sarreraren efektua eta irteera xehetasun gehiagorekin ebaluatzeko forma abiadura-azalera osoa kalkulatzeko da, ikus 4.17 Irudia. Nola den abiadura-eremua homogeneoa gehienez ikus daiteke. Behin abiadura analizatuta, beharrezkoa da aukeratutako neurri-puntuak egokiak ere direla aire-ganberaren tenperatura eremua bereizteko egiaztatzea. 4.18 Irudian airearen tenperaturaren altuerako profila ganberako ardatz zentrolean eta neurri-puntu bakoitzeko profil horizontaletan azaltzen da. Sarrerako eta irteerako zonaren efektuak ordena beraren garrantzia aurkezten du abiadura-eremuan baino, eta goiko grafikoan estima daitekeenez gero neurri-puntuak tenperatura-profila iruditzea era egokian baimentzen dute. Nola eragiten dion abiadura-bortizeak tenperaturetako profil horizontalari ikus daiteke, beheko grafikoa erakusten duen bezala.



4.17 Irudia – Aireztatutako ganberako abiadura azalera

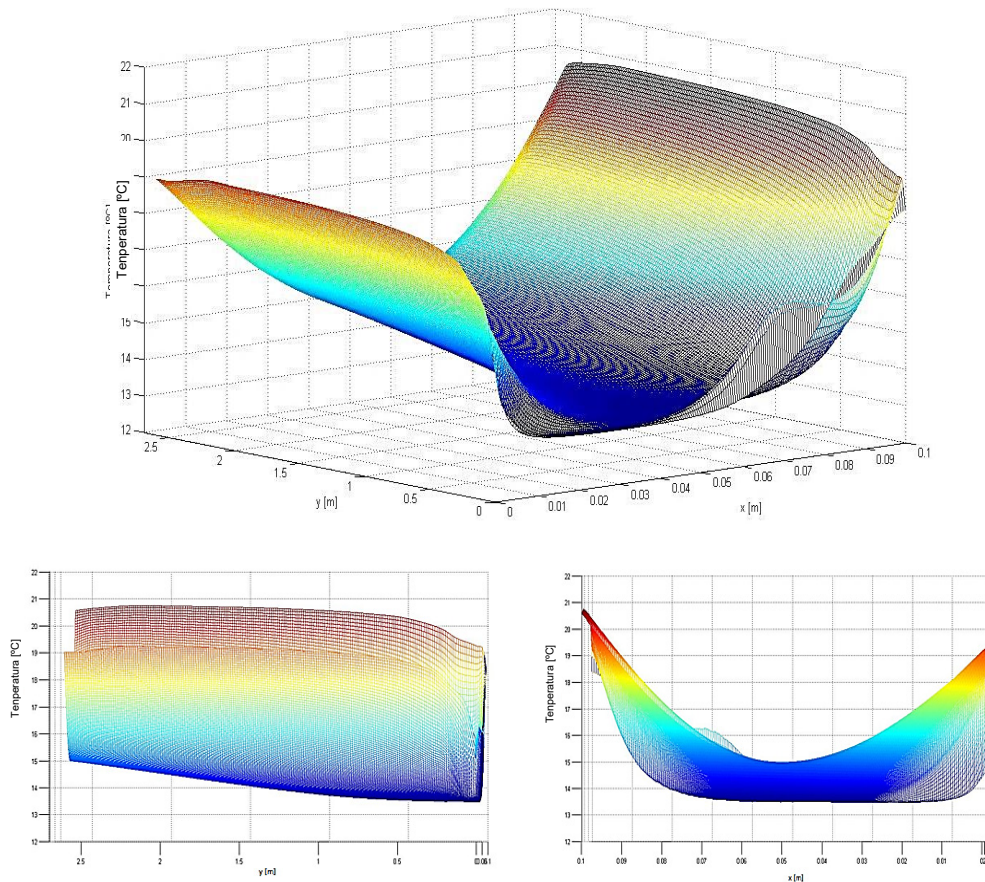
Altuerako 30etara lortzen duen profileen hala ere jada efektu hau desagertu da eta altuerarekiko tenperaturetako muga-kaparen garapena estima daiteke. 4.19 Irudian tenperatura-azalera osoa aire-ganberarako erakusten da. Turbulentziaren eragina airearen tenperaturen gaineko sarreran ikus daiteke eta airearen beroketa

aireztatutako ganberako bi azaleretatik emandako bero fluxuarekin garatzen ari denez gero. 4.2 Taulan azkenik aireztatutako fatxada arinarekiko oinarrizko hormako laginean jarritako instrumentazioko multzoa jasotzen da. Guztira jartzen dira 50 tenperatura zunda, 11 fluximetro eta 4 termoanemometro. Zunda bakoitzaren neurri ezaugarriak 1.3.3 1 Kapituluako 1.3.3.1 atalean jasotzen dira. 4.20 Irudian erakusten da tenperatura eta aireztatutako ganberako aire abiadurako zundetako muntaketako eskema. Planteatu denez gero, CFD-modeloan aire-mugimenduaren portaera termikoa 2D-i hurbil dakiokela kontuan hartzen da, eta beraz mugimendu konbektiboa ikas daiteke zehaztasunaz tenperetako eta abiaduretako profil zentralaren bitartez.



4.18 Irudia – Altueran puntu zentralako tenperatura profilak, goiko grafikoa, eta aukeratutako neurri-puntuetako profil horizontala, beheko grafikoa

Neurri-tresnetako zona sentibera, bai abiadurako bai temperaturako, aire-ganberako ardatz zentrolean kokatzen da, sakontasuneko 5 [cm]-etara. 4.20 Irudian termoanemómetro-en txertatze sakontasunaren kontrolaren irudi bat aireztatutako ganberan erakusten da. Bi temperatura-zunda gehigarri, lagineko alboko ertzetara hurbilak, jartzen dira barruko kapetan muntaketa-eskema berarekin oinarrizko horman baino, temperatura-eremuaren homogeneousuna kontrolatzeko. 4.21 Irudian neurri-zundak aireztatutako ganbera eratzen duten azaleretan jarrita erakusten dira, 5 eta 6 *kapak*. Adibide bezala instrumentazioko muntaketa eskema isolatzaileko azalera ikus daiteke, 5 *kapa*. Zementu-plakako barruko aurpegian muntaketa simetrikoa da. Zundak aldi berean jartzen dira aireztatutako fatxada lagineko kanpoko kapa ixten ari den bezala, eskuinaren irudian ikus daitekeenez gero.



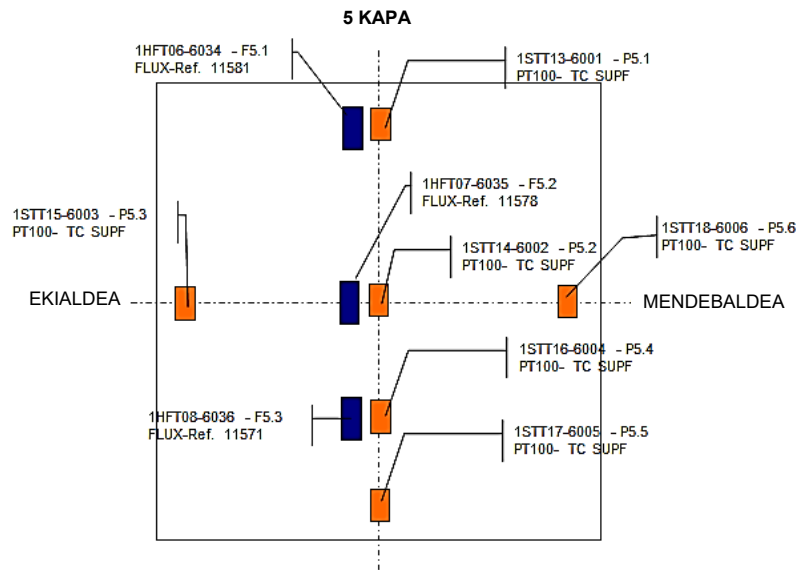
4.19 Irudia – Aireztatutako ganberako temperatura azalera

	MAGNITUDEA	EZAUGARRIAK	SENTSORE KOPURUA						AG
			1 KAPA	2-3 KAPA	4 KAPA	5-6 KAPA	7 KAPA	8 KAPA	
OINARRIZKO HORMA + AFAT	Temperatura	PT100, A mota, 4 hari konexioa	5	5		6		6	6
	Temperatura	Termopar T mota			5		6		
	Bero fluxua	Ahlborn FQA-0801-H	3	1		3			
	Aire-abiadura	Ahlborn FVA-605-TA-1							4

4.2 Taula – Aireztatutako fatxada arineko laginean jarritako sentsoreak



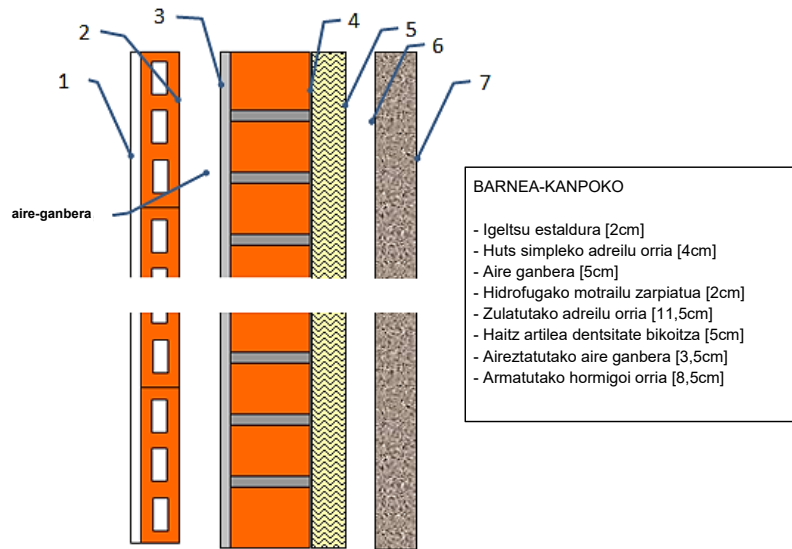




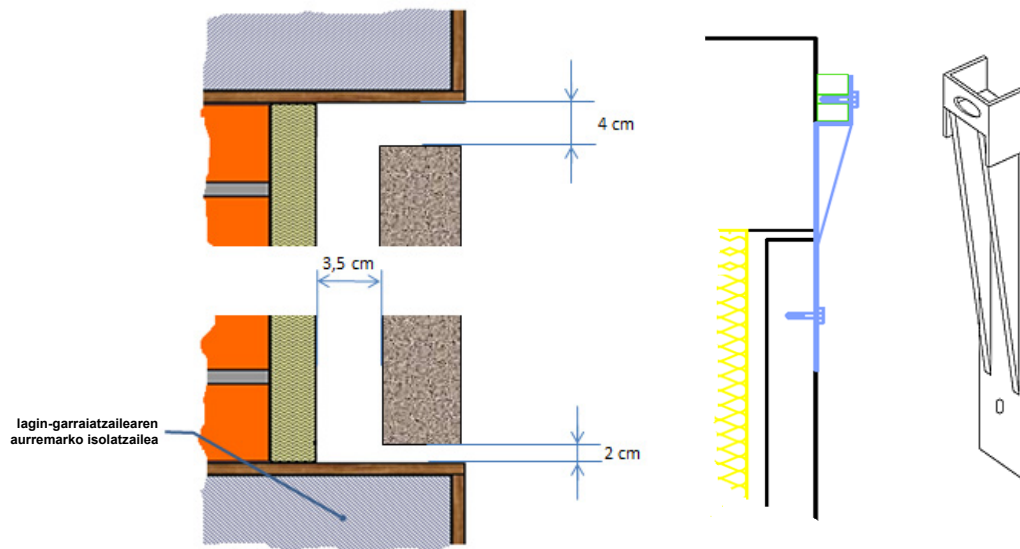
4.21 Irudia – Aireztatutako ganbera eratzten duten azaleretako zundetako antolamenduaren adibidea, goiko irudia, eta sentsoreen instalazioaren xehetasuna, beheko irudia

### 4.1.3 Aireztatutako fatxada astuna

Behin eta hedatuago eraikuntzako sektorean aireztatutako fatxadako soluzioko bateko portaera termikoa ikertuta, inertziako efektua kanpoko orrian begiesten duen aldaera analizatzen da. Hartarako zementu-plakako orri arina ordezkutzen da lodierako 8,5 [cm]-ko armatutako hormigoiko orri astunagatik. Aire-ganberaren zabalera aldatzen den beste parametro bat da. Honela informazioa ukaten da ere aireztatutako ganberan heltzen diren aire abiadura eta emarietako aipaturiko lodieraren efektuari buruz. Parametro hauekin 4.22 Irudian esaten den soluzio eraikitzailea erakusten da. Lagin honen kasuko aspektu garrantzitsua osagai hain astuneko muntaketa sistema nola ebatzi da lagin-garraiatazailan, hormigoi-orria denez gero, laginaren egonkortasuna entseguan zehar ziurtatzeari eta beraren manipulazioko segurtasunari begira. Azkeneko soluzio bezala hiru altzairu-eskuadrako orri astuna esekitzea aukeratu da torlojutzen direla lagin-garraiatazailaren egitura metalikora. 4.23 Irudian probetako eta euskarrietako muntaketa mekanismoko eskema eraikitzailea erakusten da.



4.22 Irudia – Aireztatutako fatxada astuneko soluzio eraikitzailea

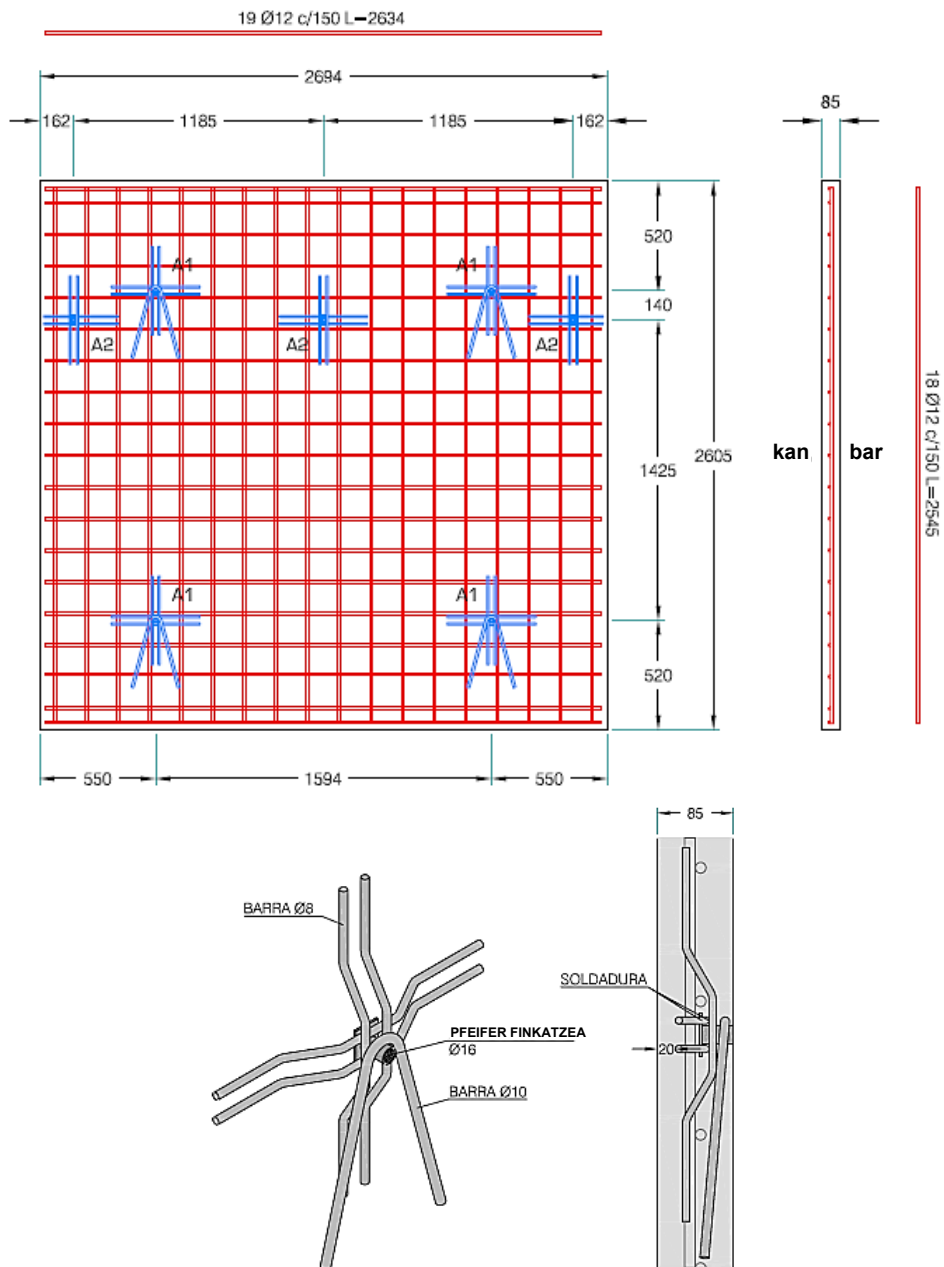


4.23 Irudia – PASLINK aireztatutako fatxada astunari buruzko probetaren xehetasun eraikitzaileak, eta hormigoiko kanpoko orriaren ainguraketa sistema

Armatutako hormigoi orriak 1,2 [Tn]-ko gutxi gorabeherako pisu bat du zeinengatik bere manipulazioa eta muntaketa konplexua da. Probetaren eraikuntza prozesua laborategian errazteko Pfeifer motako ainguraketa jartzen dira. Banatutako lau ainguraketa jartzen dira plakak homogeneouski bere mugimendurako pabiloi-barneko garabi-zubia probeta eraikitzen den tokian, finkapen-pletinak gain lagin-garraiatzalera jarriko diren hiru ainguraketez tokian. 4.24 Irudian erakusten da armaturako antolamenduarekiko hormigoi plakako eta ainguraketa-puntuetak eskema eraikitzailea. 4.25 Irudian erakusten da jarritako barruko azaleraren instrumentazioarekiko hormigoiko plaka eta oinarritzko horma isolamenduarekin. Probetak desiratutako lodierako aire-ganbera bat duela ziurtatzeko 3,5 [cm]eo lau zur tope jartzen dira laguntza gidari bezala balio dutela hormigoi-plakaren jartzerako. 4.26 Irudian hormigoi-orriaren jartze prozesua oinarritzko horman eta metalezko ainguraketak instalazioa erakusten da. Muntaketan zehar lagin aurretik gurutzatutako



bi altzairu-kable ainguratzen dira, segurtasun handiagorako, eskuinaren irudian estima daitekeenez gero. Kanpoko orriko alboko ertzak poliuretano-aparraz zigilatzen dira, hortaz soilik aireztatutako ganberako airea ibil daiteke beheko sarreran eta goiko irteeran zehar. 4.27 Irudian zigilatzea eta sarrera eta irteeraren lodieren kontrolaren xehetasunak probetan lortutakoak erakusten ditu. Behin bukatuta probeta eramaten da lagin garraio orga baten bitartez pabiloitik gelaren gertutasunetara. Eta garabi baten bitartez laginaren jartzea *EGUZKI*-a zeldan bukatzen da. Kontrolatutako baldintzetan eta pabiloi bateko barnean laginetako eraikuntzaren ahalmena *PASLINK* entsegu sistemaren abantaila handietako bat da.



4.24 Irudia – Armatutako hormigoi plakako eta Pfeifer bere manipulaziorako ainguraketetako xehetasun eraikitzaileak



4.25 Irudia – Jarritako neurri instrumentazioarekiko hormigoi orria eta aireztatutako ganberaren eraketarako laguntza topeekiko oinarritzko horma



4.26 Irudia – Hormigoiko kanpoko orriaren muntaketa prozesua

Probeta hain astuneko manipulazioa, hormigoi-orriarekiko aireztatutako fatxadaren kasua denez gero, zailtzen dute hein handi batean bere eraikuntza *in-situ*-an, berezko neurri-ekipamenduaren hondatzearen ondoriozko arriskuarekin. Gainera, muntaketa-armazoi baten gainean lan egiteak parte hartuko duten neurri sentsooren instalazioaren karakterizazio-fasean zehaztasun handiagoa finkatzen du. 4.28 Irudian laginaren jartze prozesua zeldan erakusten da lehen deskribatu dela. 4.29 Irudian fatxada-probetaren azkeneko egoera erakusten da entsegu-periodoa hasteko prest. Gero, probetan jarritako sentsoak konektatzen dira eta azkenean segurtasun-kableak erretiratzen dira. 4.3 Taulan aipaturiko instrumentazioa jasotzen da. Fatxada arinera egindako entseguan zehar eta atzeko modelatze-estudioa lortutako esperientziari esker instrumentazioa moldatzen da erregistratutako datuek edukitako informazioaren kalitatea hobetzeko. 48 sentsoare guttira jartzen dituzte laginean. Entsegu honetan 10 neurri-puntak eratutako termopila bat jartzen da. Laginen barruan 5 punta sekzio bakoitzean kokatzen dira, sarrera eta irtera, aireko zirkulazio azalera guztian zehar banatuta. Sentsoare honetaz neurtzen da bere pasatzerako airea ganberan zehar,  $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$  bereizmenarekin, esperimendatzen duen tenperaturako desberdintasuna. Gainera, kamerako sekzio guztia estaltzerakoan aire-errezelak xurgatutako energiaren

kuantifikazioa hein handi batean handitzen da, aireztatutako fatxadaren estudio termikoko parametro nagusietako bat. Aire-tenperatura zundetako kopurua handitzen da ere lagineko ertzen efektua aireztatutako ganberaren portaeran kuantifikatzeko.



4.27 Irudia Sarrera eta irteerako lodieraren kontrola eta kanpoko plakako aldean zigilatzea



4.28 Irudia- Muntaketa-pabiloitiko laginaren mugimendua eta EGUZKI-a zeldan jartzea



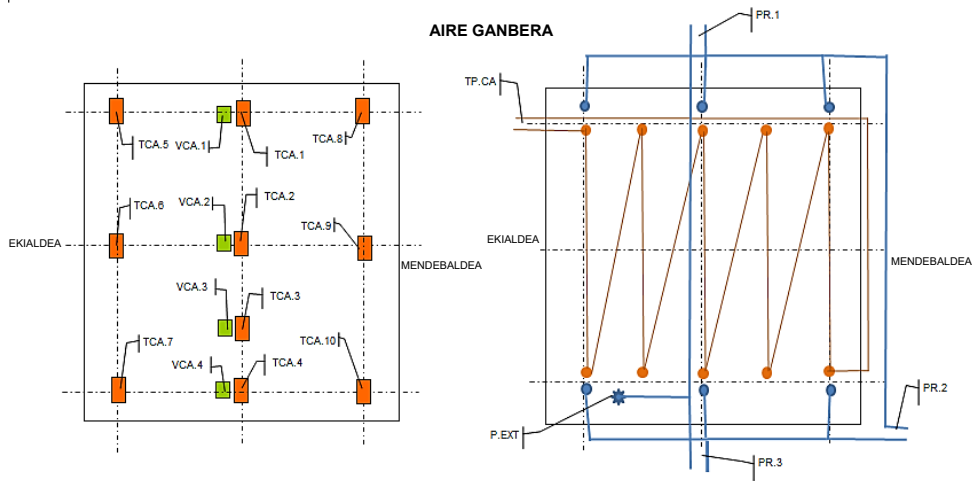


4.29 Irudia - Jarritako instrumentazioaren partearekiko azkeneko probeta

4.30 Irudian aireztatutako ganberako airearen mugimenduaren portaeraren karakterizaziorako jarritako instrumentazioko eskema bat erakusten da. 4.31 Irudian ikus daiteke aire-zundetako eta termopilaren beheko puntuetako xehetasuna, aireztatutako ganberan kokatutak. Bestalde, presio diferentzialeko sentsoreak jartzen dira karga-galerak ganberaren sarreran eta irteeran neurtzeko. Parametro honek pisu garrantzitsua du fatxadaren CFD-etako modeloaren doikuntzan, aireztatutako fatxada arinaren gainean egindako lehen entseguren estudiotik lortutako esperientzia ematen duen bezala. Batezbestekoa presio diferentzialeko balioa lortzeko saileko presioa neurtzen da hiru puntutan, sensorera doan hodi bakarrera konektatzen direna. Gainera, berezko presio-hodiak aprobetxatzen dira presio-galera aireztatutako ganberan zehar neurtzen duen hirugarren sentsorea jartzeko. Aire-abiaduraren neurriari dagokionez, fatxada arineko entseguan erabilitako posizioak eta termoanemómetro-etako kopuruak aire-emariaren garapena altueran bereizteko egokitzea erakutsi dute. Arrazoi honengatik inongo aldaketarik ez da egiten instrumentazioaren aspektu honetan, lau abiadura-sentsoreak eta aireztatutako ganberako beren antolamendu erlatiboa mantenduz. 4.32 Irudian erakusten da aire-abiadura zunden eta presio diferentzialeko neurtzeko malguko xehetasuna. Instrumentazio guztiaren antolamendu zehatza *C Eranskinean* xehetasun gehiagorekin jasotzen da. Behin entsegu-probetak garatuta lortutako datu esperimentalak analizatzera pasatzen da.

	MAGNITUDEA	EZAUGARRIAK	SENDSORE KOPURUA					
			1 KAPA	2-3 KAPA	4 KAPA	5-6 KAPA	AG	7 KAPA
OINARRIZKO HORMA + AFAS	Temperatura	PT100, A mota, 4 hari konexioa	5	5		6	10	5
	Temperatura	Termopar T mota			5			
	Temperatura-Des	Temopila T mota 10 punta					1	
	Bero-fluxua	Ahlborn FQA-0801-H	3	1				
	Aire abiadura	Ahlborn FVA-605-TA-1					4	
	Presio-Des	Ahlborn FD8612DPS/APS					3	

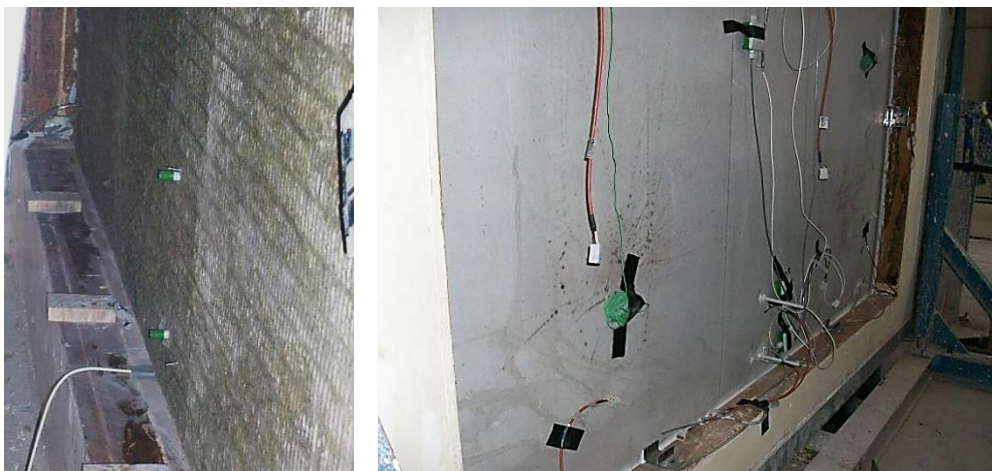
4.3 Taula – Aireztatutako fatxada astuneko probetan jarritako sentsorea



4.30 Irudia - Aireztatutako fatxada astuneko aire-ganberan jarritako instrumentazioa



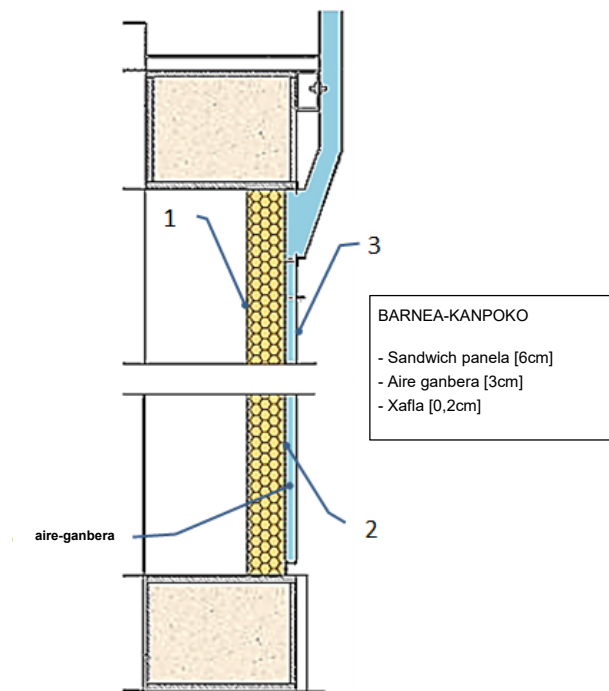
4.31 Irudia - Lagineko barruko aurpegia zundarekin aire-tenperaturako, ezkerre; aireztatutako ganberan jarritako termopila, eskuina



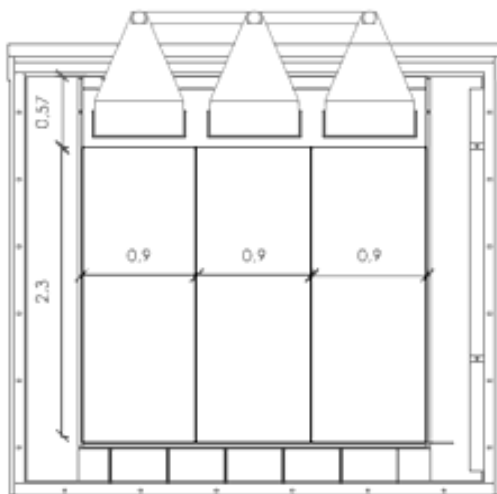
4.32 Irudia - Aireztatutako ganberaren presio eta aire abiadura zundak

#### 4.1.4 Aireztatutako fatxada behartua

Oraingo lanaren parte esperimentalak bukatzeko aireztatutako fatxada behartuaren entsegua egiten da. Analizatutako prototipoa erabat aurrez ikasitako fatxada-soluzioen desberdina da. Kasu honetan, sistema eraikitzailea arin eta industrializable da, hortaz, muntaketa lehorra da eta prefabrikatutako osagaiak darabiltza. Eskema eraikitzailea 4.33 Irudian erakusten da eta datza fatxadaren isolamendu termikoa ematen duen lodierako 6 [cm]-ko poliuretano nukleo batetik eratutako taula sandwich batean eta eta lodierako 2 [cm]-ko galbanizatutako altzairuko xaflek eratuta dagoen kanpoko azala.



4.33 Irudia – Aireztatutako fatxada behartuaren soluzio eraikitzailea



4.34 Irudia – Entsegu-probeta diseinua eta eraikitako lagina





4.35 Irudia – Fatxada behartua lagineko muntaketarako materialak



4.36 Irudia– Panel sandwichetako zubi termikoko hausturaren xehetasuna



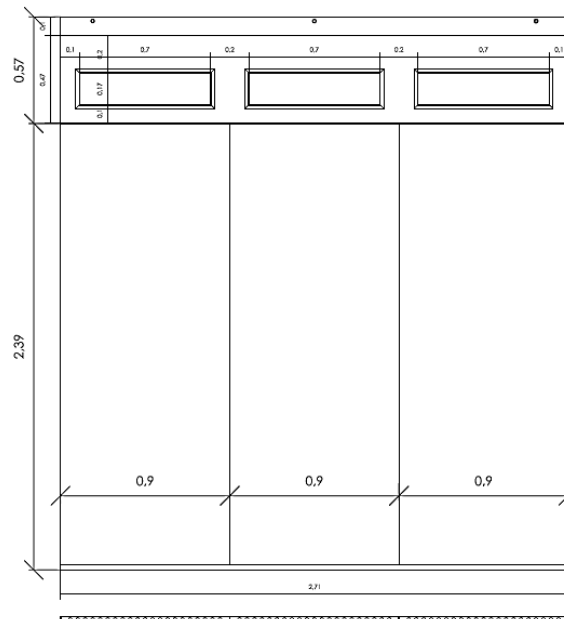
4.37 Irudia – Lagin-garraitzaileko barruko orriko muntaketa

Muntaketa honen helburua geroago edozein eraikin-konfiguraziotara molda daitekeen soluzio modularra ukatea da. Beste desberdintasuna da aireztatutako ganbera barruan aire mugimendua behartzen du kontrolatutako erauzketa mekanikoaren bitartez. Hartarako kokatutako hiru erauzketa-tolba probetako goialdean ukaten dira xurgagailuan bukatzen duen hodi bakarrera konektatzen direla. Diseinua eta jada entsegu lagineko eraikuntza 1 *Kapituluan*, 1.3.2 *atalean*, aurreratzen da. Atal honetan laginaren puntu garrantzitsuak xehetasun gehiagorekin definitzeko aprobetxatzen den, bezala adibidez beheko aire-sarreraren zona eta tolba-konfigurazioarekiko

erauzketako goiko zona. 4.34 Irudian diseinuko hasierako eskema eta amaitutako *PASLINK* zeldan jarritako probeta erakusten da.

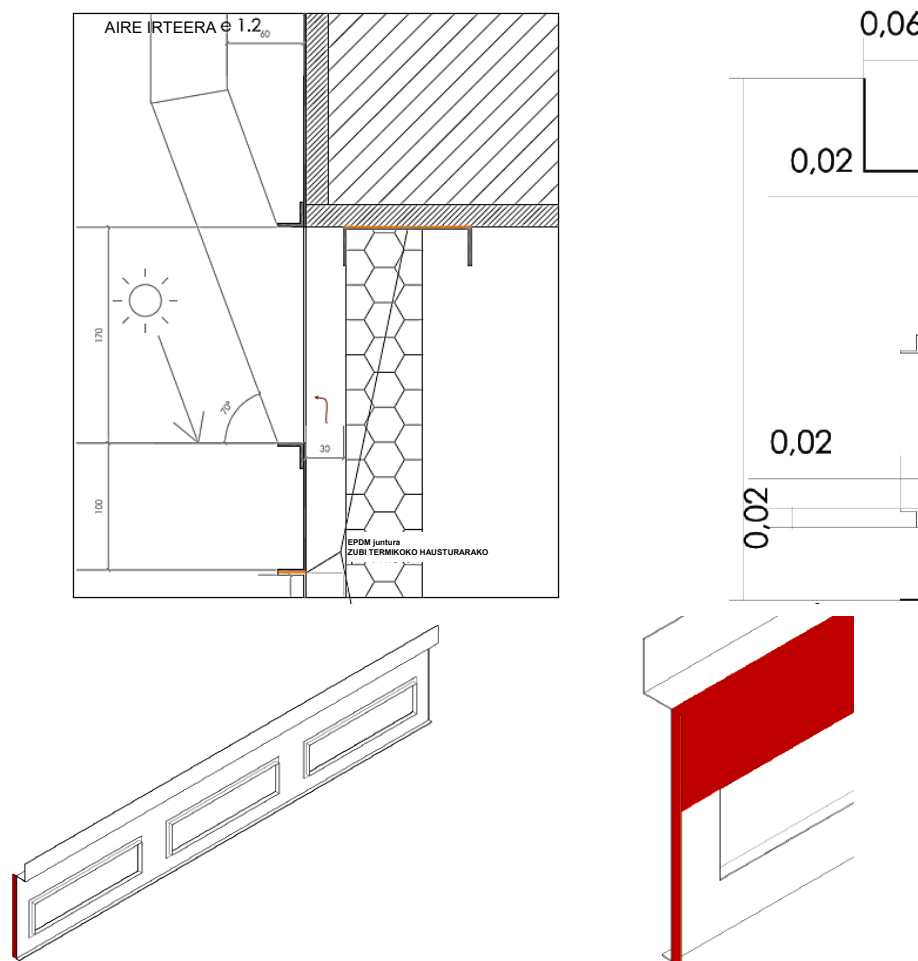


4.38 Irudia – Prestatutako barruko orria eta junta-zigilatzearen xehetasuna



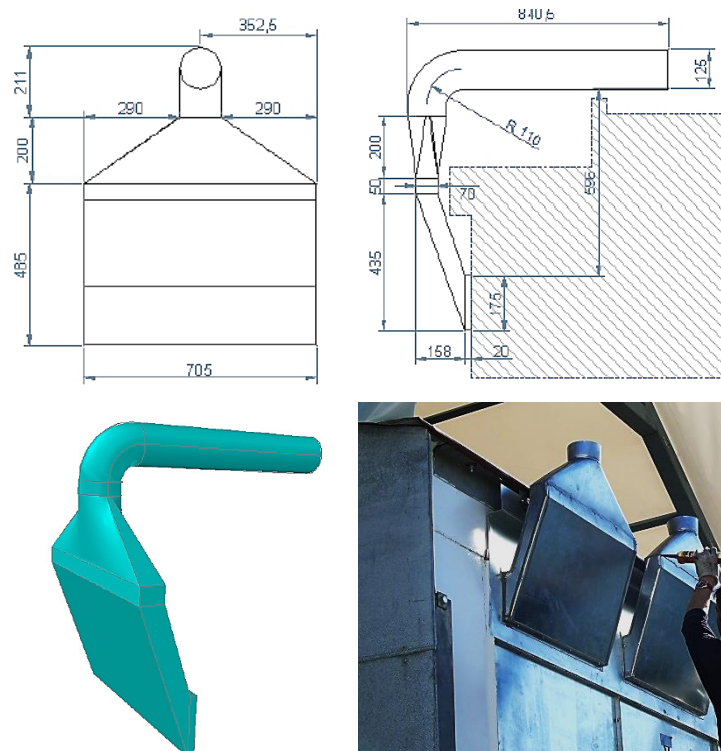
4.39 Irudia – Diseinua eta fatxada behartuaren lagineko kanpoko orriko muntaketa

Fatxada-diseinua oso erraza da eta materialetako kopuru txikia behar du, egiteko muntaketa sistema lehor eta azkarra aurkezteaz gain, jada bezala esan da. 4.35 Irudiaren irudian multzoa erabateko azaltzen da entsegu-lagina osatzen duten materialetako. Lagineko barruko orria konfiguratzeko da hiru panel sandwichen matxiembratutak bitartez gainazaleko xafren artean eta piezen arteko konexio zonetan zubi termikoko hausturarekin, ikus 4.36 Irudia. Panelak kokatzen dira lagin-garraiatzaileko markora jarritako profil batzuen gainean, gida bezala balio dutela muntaketarako, eta material isolatzaileko banda bat zubi termikoko efektuak entsegu gelako giroarekin txikiagotzeko ipintzen den, ikus 4.37 Irudia. Kasu honetan, probeta lagin-garraiatzaileko kanpoko ertzaren arrasean kokatzen da. 4 *Kapituluan* analizatu denez gero, laborategi-arteko estudioan zehar, hau posiziorik aurkakoena da lagin-garraiatzaileko aurremarko isolatzailearen ertz efektuei buruz, baina aireztatutako ganberaren behartutako tiro sistema jartzeko beharagatik aukera eraikitzaile bakarra da. Behin barruko orria guztiz prestatuta junturen eta hermetikotasun ona ziurtatzeko lagineko ertz perimetralesetako zigilatze bat egiten da eta horrela entsegu gelan infiltrazio-baldintzetara heltzea, ikus 4.38 Irudia. Kanpoko orriko muntaketari dagokionez, punturik konplexuena lagineko goialdearen erauzketa sistemaren diseinua da. Aire-geldialdi zonak ebitatu behar direnez gero eta berezko erauzketa-sistemak ez du itzalik bota behar lagineko azaleraren gainean. Kanpoko azalaren juntura zigilatzea beste aspektu garrantzitsu bat da.



4.40 Irudia – Erauzketako goiko xafren diseinua

Aireak ganberako behealdetik sartu behar du eta goialdeak atera eraginkortasun maximoa bero-hartzean lortzeko, hortaz dauden infiltrazio guztiek aipaturiko hartze-eraginkortasuna gutxituko dute, infiltrazio hauek gertatzen badira erauzketara hurbilak diren zonetan eragin gehiago izanez, lagineko azalera ez dabilen eta beraz berorik hartzen ez duen airea izango denez gero. Entseguaren baldintzatzaileak kontuan hartuz, probetako kanpoko orria  $0,9 \times 2,39$  [m]-ko hiru plakaren bitartez konfiguratu da, sarrera-sistema dutela bere behealdean eta konexio bezala erauzketa-sistemari balio dioten hiru zulorekiko erremateko goiko pieza. 4.39 Irudian xehetasun eraikitzailea eta muntaketa-prozesuaren irudi bat erakusten da. Xafla-plakak haien artean torlojutzen dira eta kautxu-banda bat juntura-zona guztietan jartzen da zigilatzea ziurtatzeko. Goiko plaka jartzen da aurremarko metalikoak dituen hariztatutako hiru emeletan. Plaka honen zigilatzea konplexuagoa da, eta geometriaren diseinua egin da portamuestras-sistemako erliebe desberdinak salbatzeko, erauzketa-sekzioak lagineko goialdearekin ezkontzeko moduan, aireko geldialdi zona posibleak aireztatutako ganberan ezabatuz. 4.40 Irudian geometria eta entsegu-gelako probetaren egoera erakusten ditu xehetasunarekin. Kolore laranja kautxu-banda zigilatzerako kokatzen den zonak esaten dira.



4.41 Irudia – Tolben diseinua eta lagineko/erakusgarriko muntaketa

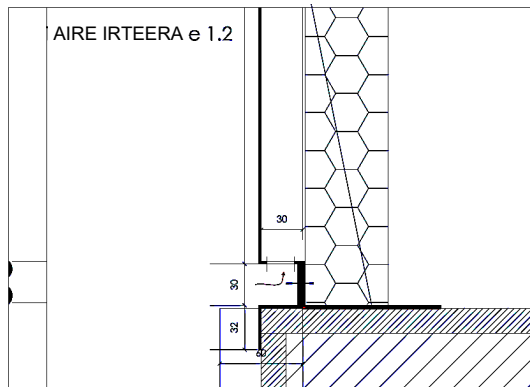
Erauzketa-tolba diseinuari dagokionez, itzalak laginaren gainean saihesteari begira, eguzki-eragin angelu maximoa kalkulatu da eta geometria bererako funtzioan diseinatu da. 4.40 Irudiaren goiko irudian aipaturiko kalkulua erakusten da. 4.41 Irudian tolba-diseinua erakusten da muntaketa-prozesuarekin eta juntura-zigilatzearekin batera. Homogeneotasun ona aire zirkulatzailerako errezelean aireztatutako ganberatik lortzeko hiru erauzketa-tolba jartzen dira, xafla-pieza lagina osatzen dutela bakoitzeko bat. Tolba hauek hiru hoditara konektatzen dira erregulazio-balbula banarekin, hortaz prezioi-galerak erauzketa-zona bakoitzean oreka daitezke, emari berdina haietako bakoitzean lortzeko. Hiru hodiak xurgagailuan bukatzen duen hodi bakarrera konektatzen dira. 4.42 Irudian hiru erauzketa-hodiak erregulazio-balbulekin batera erakusten dira eta xurgagailura konektatutako hodi bakarra. Aire-



sarrera zonari dagokionez diseinua oso erraza da, kanpoko kapako xafletako toles baten bitartez sarrera-sekzioa osatzen da. Honela aire-ganberaren lodiera ziurtatzen da 3 [cm]-arekin lan egitea konplexua denez gero, eta estutze-zonen kasua eman daiteke aire-emaria oztopatu lezaketela.



4.42 Irudia – Aireztatutako ganberaren behartuaren erauzketa sistema



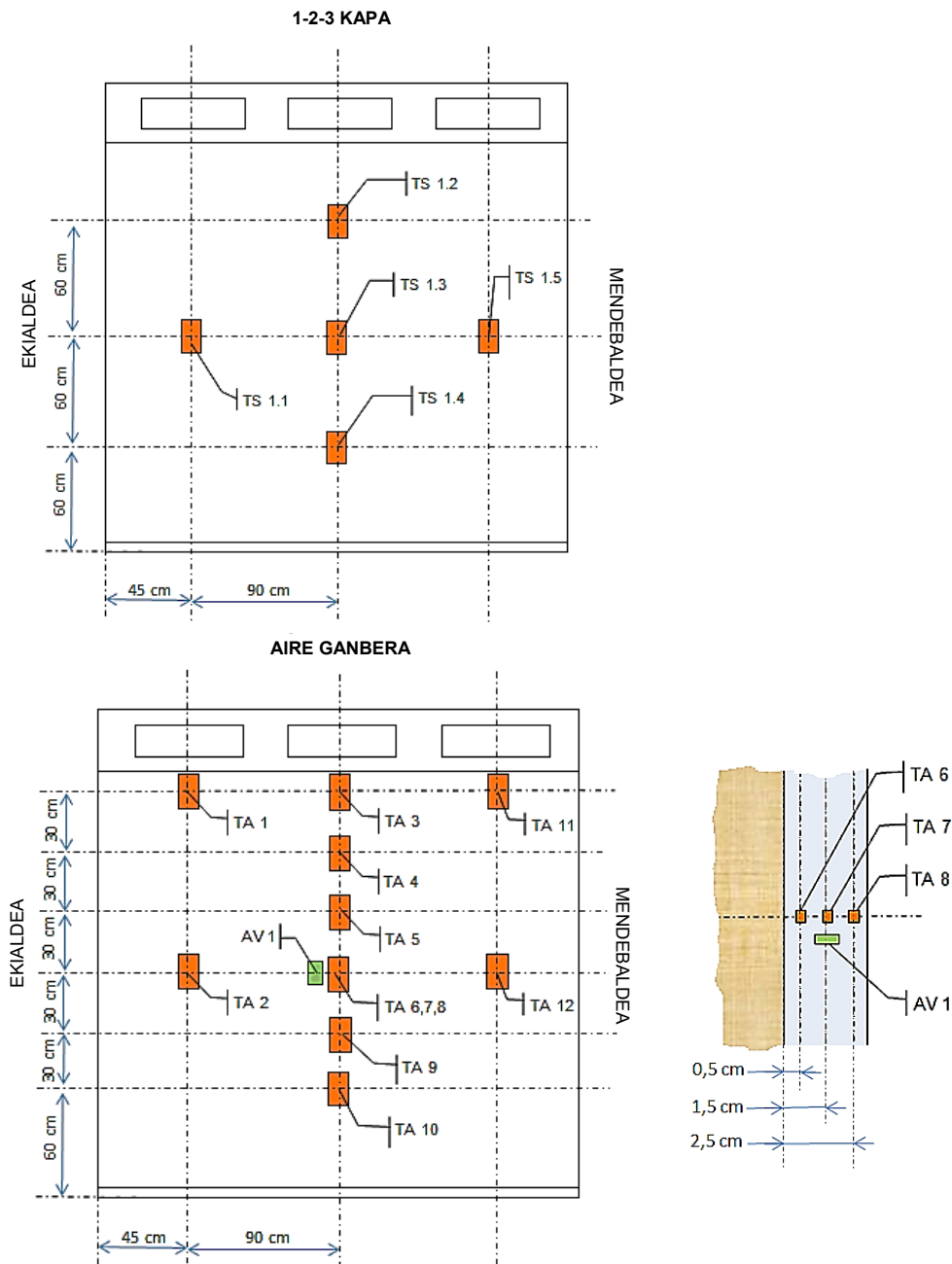
4.43 Irudia – Fatxada behartuaren aireztatutako ganberako sarrera zona



4.44 Irudia – Fatxada behartuaren azkeneko muntaketako prozesua

	MAGNITUDEA	EZAUGARRIAK	SENTORE KOPURUA		
			1-2-3 KAPA	AG	TOBERA
AF BEHARTUTA	Temperatura	PT100, A mota, 4 hari konexioa	5	12	1
	Temperatura-Des	Termopila T mota 10 punta		1	
	Aire abiadura	Ahlborn FVA-605-TA-1		1	
	Aire emokadura	KIMO CP300-HEGAL DEBIMO			1
	Presio-Des	Ahlborn FD8612DPS/APS		3	

4.4 Taula – Aireztatutako fatxada behartuta probetan jarritako sentsoreak



4.45 Irudia Lagineko hiru kapetan eta aire-ganberan temperatura zundetako muntaketa eskema



Konfigurazio honekin ganberaren etengabeko lodiera laginaren altuera guztian ziurtatzen da. Gainera, pasatze-sekzioa xaflan zulatutako zuloen bitartez lortzen da kanpoko elementuko sarrera posiblea ganberan saihesteko. 4.43 Irudian diseinuko eskema eta laginaren eraikuntza prozesuan zehar aireztatutako ganberaren azkeneko egoeraren irudi bat erakusten da. Muntaketa-prozesuari dagokionez, barruko orria eraiki ondoren, kanpoko orria jartzen da pabiloian kokatutako bankadan. Aurrez aireztatutako ganberaren instrumentazio guztia jartzen da. Puntu honetan, lagina garabiaren bitartez jartzen da *PASLINK* zeldan. Behin kanpokoan kokatuta azkeneko akabera egiten da, erauzketa-tolba sistemaren instalazioarekin eta fatxadaren juntura guztien azkeneko zigilatzea, erabateko akabera fidagarria ziurtatzeko. 4.44 Irudian deskribatutako prozesuaren irudietako serie bat erakusten da. Behin lagineko eraikuntza definituta, jarraian jarritako instrumentazioa zehazten da, ikus 4.4 Taula. Guztira 34 zunda laginean jartzen dira. Sistema eraikitzaile erraza izaterakoan, probetan soilik hiru neurri-azalera eta aire-ganbera zehazten dira, ikus 4.43 Irudia, laginaren karakterizazioa hein handi batean sinplifikatzen da.



4.46 irudia - Fatxada behartuaren probetako zunden instalazio prozesua

Kasu honetan, aire-mugimendua era mekanikoan kontrolatzerakoan eta azalera metalikoak izaterakoan, itxaroten da tenperaturak kapa bakoitzeko homogeneousagoa altueran izango direla, eta beraz sentso-re-konfigurazioa aurreko entseguen buruz aldatzen da. Kapa bakoitzean 5 banatutako tenperatura zunda homogeneousoki jartzen dira eta airean 12 zunda tenperatura guztira jartzen dituzte aireztatutako ganberaren portaeraren informazioa handitzeko. 4.45 Irudian aipaturiko zundetako

antolamenduaren xehetasuna erakusten da. Aurreko estudioen emaitzen ondorioz, hurrengo kapituluan zehazten direla, lortzen da tenperatura-profilaren forma erabakigarria dela, bai zeharkako sekzioan bai aireztatutako ganberaren altueran, aire-errezelak irabaziko energia zehazki estimatu ahal izateko. Orduan, inguru zentralean forma esperimentaleko profil esana determinatzea saiatzen da zundak sartzean kameraren sakontasun desberdinerara, gainera, puntuetako neurriko zenbakia handitzen du altueran. Gainerako karakterizazio-parametroak dagokionez, abiaduraren neurrirako bakarrik jartzen da bat zunda aireztatutako kameraren|ganberaren altuera erdian, sistema behartua denez gero eta emari zirkulatzaila ezagutzen denez gero, ikus 4.45 Irudia. Termopilaren bitartez tenperatura saltoaren neurria, presio-galeraren neurriaz gain, zehazki baliteke mantentzen da aireztatutako fatxada astuneko probetan, xehetasuna 4.40 Irudian ikustea. 4.46 Irudian esandako zunden instalazio prozesua erakusten da fatxada behartuaren lagineko eraikuntza zehar. Behin estudioa osatzen duten laginak definituta hurrengo atalean *PASLINK* zeldan egindako entseguetan zehar lortutako datu esperimentalak zehazten dira.

## 4.2 Datu esperimentalak

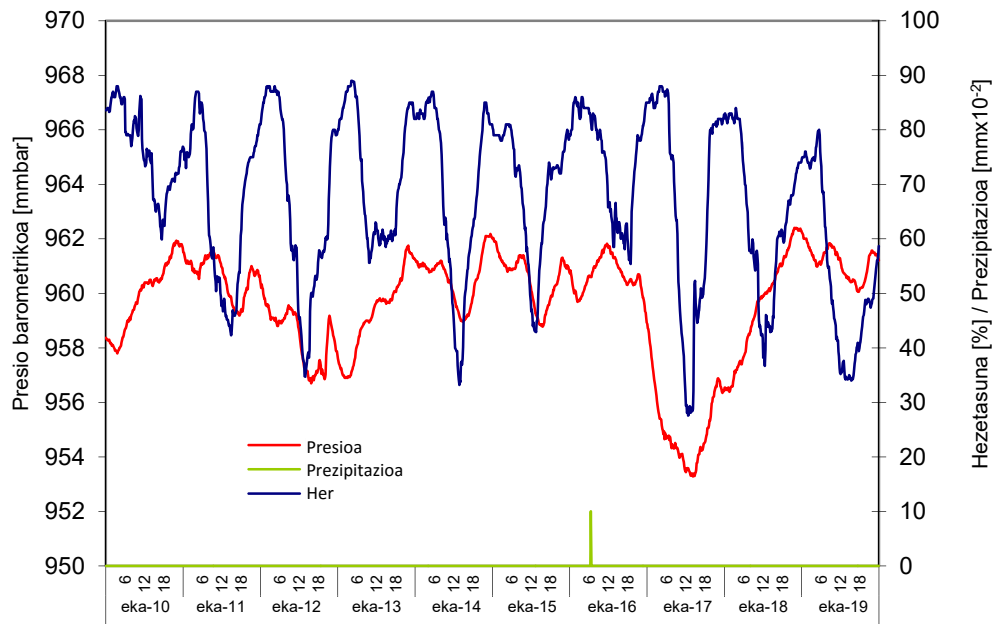
Atal honetan estudioaren parametro nagusiak jasotzen dira, baldintzak entsegu-gelan erakusten dituzten aldagaiak bezala, eta daturik probetetara berezko instrumentazioa adieraztekoenak. Zeinetatik lortzen diren erabateko datuak *C Eranskinean* jasotzen dira. Analisia oinarrizko hormari buruzko datuekin hasten da. Hasieran estudioko probetarik errazena da, baina erreferentziako soluzio eraikitzailea gainerako entseguetarako izateagatik xehetasun berezia eskatzen du bere analisisian eta balidatzean.

### 4.2.1 Oinarrizko horma

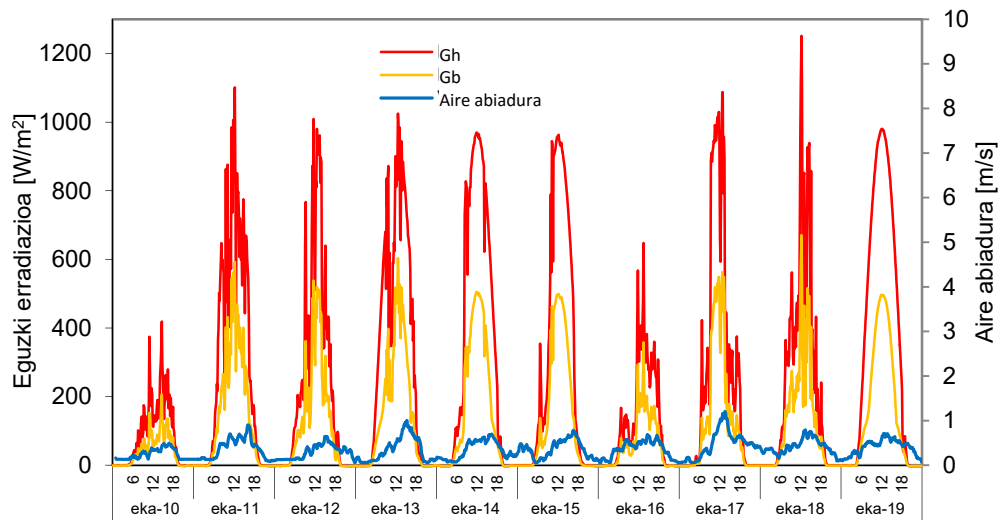
Nahiz eta estudioan konfigurazioa erreferentziatzen duen isolamendurik gabe eta isolamenduarekin bezala kontuan hartu, datu esperimentalen analisirako bi kasuak bi azpiataletan banantzen dira bi laginen portaeraren desberdintasunagatik, ondoren garatzen denez gero.

#### 4.2.1.1 Oinarrizko horma isolamendurik gabe

Kalibrasioko eta trazabilitateko aurreko entseguetan egindako estudioetan bezala kanpoko baldintzak lehenik eta behin analizatzen dira, geroago entsegu-gelaren baldintzak eta azkenik laginera berezko datuak. 5.47 Irudian eta 5.48 Iruditan baldintza meteorologikoak eta eguzki-erradiazioa, hurrenez hurren, erakusten dira. Egundak garbiak lainotutako egunekin tartekatzen dira euriak bakarrik egun batean zehar produzituz. Laginaren aurreko airearen abiadura txikiagotzen da 2 [m/s]-ko baliorik ez gaudituz. 4.49 Irudian beroketa-ohitura eta entsegu gelaren itxiturak trukaturako bero fluxua erakusten da. Kasu honetan nola hartzen duen fluxuak balio negatiborik ikus daiteke. Hau da lagineko erresistentzia termikoa oso txikia delako. Beroketa-sistema aktibo ez dagoen denbora-periodoetan zehar barruko giroa hainbeste hozten da entsegu gelako itxiturako paretek beroa deskargatzen dutela.

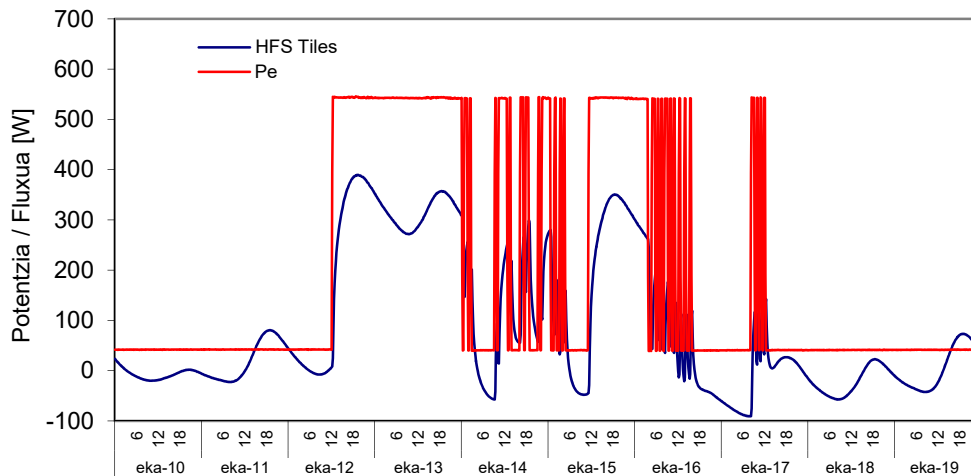


5.47 Irudia – Oinarrizko hormaren entseguan zeharreko ingurune-baldintzak

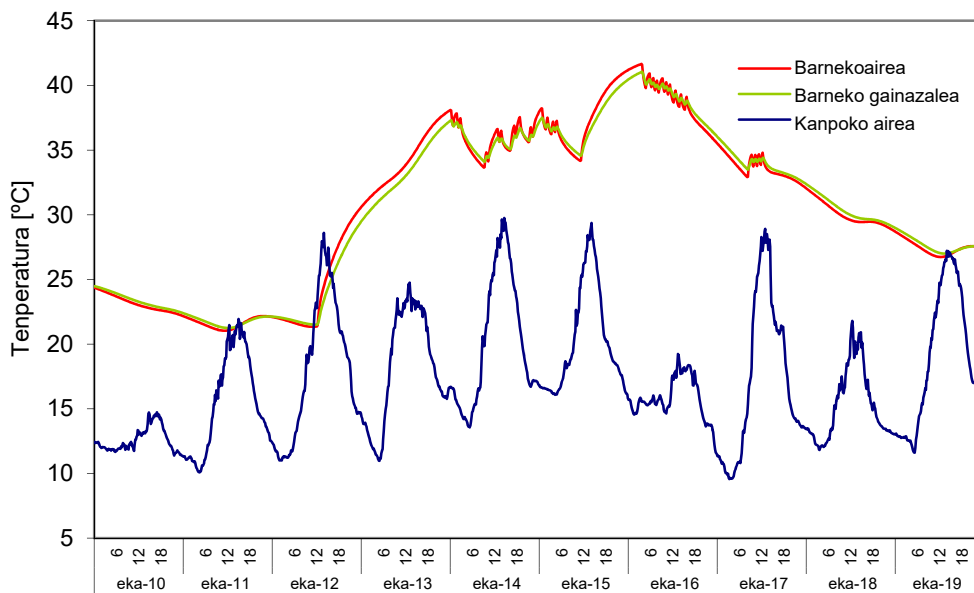


5.48 Irudia – Eguzki-erradiazioa eta haize abiadura oinarrizko hormaren entseguan zehar

Egoera hau egiaztatzen da entsegu gelaren temperaturen bilakaeran, 4.50 Irudia erakusten duenez gero. Beroketarik ez dagoen tartetean *tiles*-etako azaleraren temperaturak airearena gainditzen du. Hozte hau lortzen da kanpoko temperaturak balio baxuetara heltzen direlako gau-periodoetan zehar. Giroen arteko temperaturetako desberdintasun batezbestekoa  $15,2^{\circ}\text{C}$ -a da. Barruko giroaren temperaturen arteko desberdintasun maximoek ez dituzte  $0,5^{\circ}\text{C}$ -ak gainditzen, maximoa hau 4.51 Irudiaren lerro gorri etenak markatuta, homogeneotasun-baldintza betetzen duen. Forma berdineko, itxiturako azalaren temperaturek ere ez dute gehiago  $1^{\circ}\text{C}$ -etako desberdintasunik gainditzen, eta onets daiteke beraz entseguan zeharreko gelaren portaera zuzena dela lagineko analisierako. Behin entsegu gela analizatuta, oinarrizko hormaren laginaren portaera ebaluatzen pasatzen da. 4.52 Irudian azalera batzuk besteko balioak kapa bakoitzerako erakusten dira desberdintasun maximoekin batera.



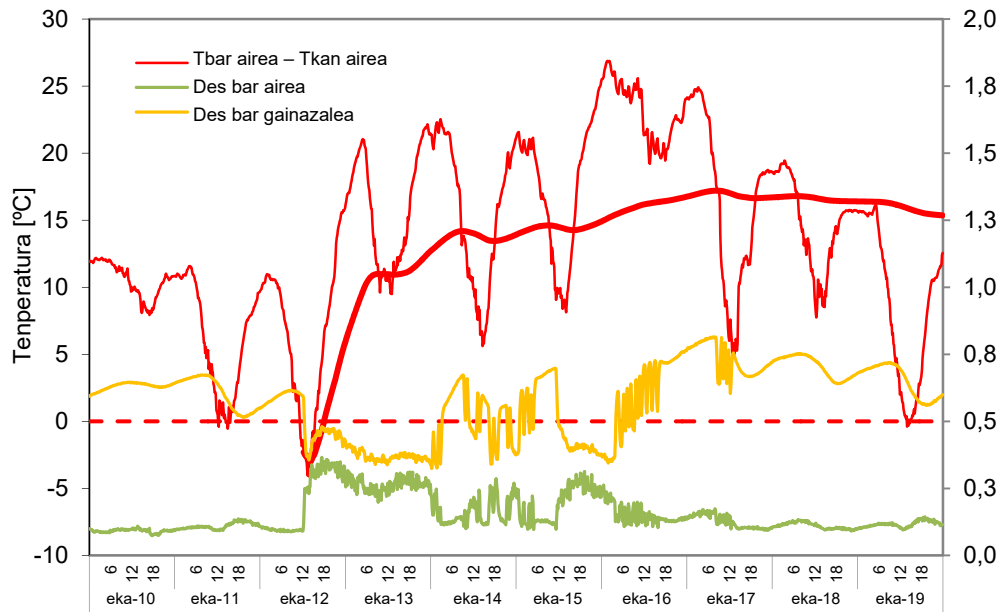
4.49 Irudia – Oinarrizko hormaren sartutako potentzia eta entsegu gelaren itxituraren bero fluxua



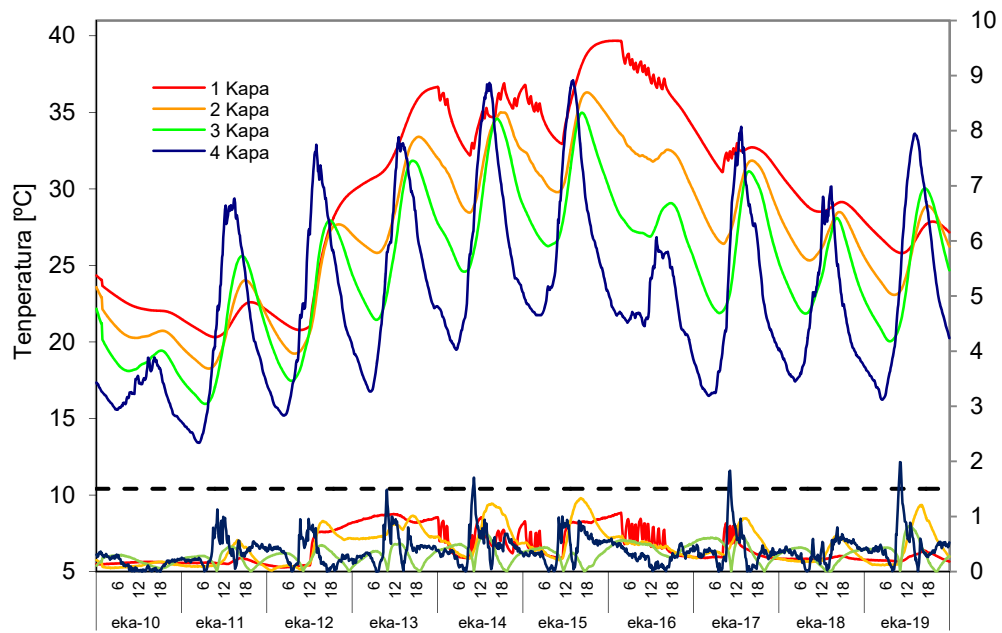
4.50 Irudia – Oinarrizko hormaren ingurune eta entsegu gelaren temperaturak

Ikus dezake nola eboluzionatzen duen entseguaren hasieran zehar, periodo librean zehar, temperatura-uhinak barruko kapetaranzko kapa kanpokoenetik, 4 kapa, beroketa-rutinaren hasieraraino, barruko kapa, 1 kapa, banantzen duen eta barruko giroaren portaerari jarraitzen dioneko unea. Portaera honek baldintza hobekak identifikazio-prozesurako lortzea baimentzen du. Azalera beraren temperaturren arteko desberdintasunak analizatzen badira desberdintasun batezbestekoak  $0,4^{\circ}\text{C}$ -a dira 1 eta 2 kapetarako,  $0,7^{\circ}\text{C}$ -etako 3 kaparako eta  $1,1^{\circ}\text{C}$ -etako 4 kaparako, eta beraz laginaren portaera homogeneoa dela onets daiteke, eta beraz lagin-garraiatazilearen efektua mespretxagarria da. Laginaren temperaturretako portaera neurtutako fluxu puntaletan egiazta dadin, ikus 4.53 Irudia. Periodo libreetan bero-fluxuak barneranzko kanpokoko eboluzionatzen du, berokuntzaren abioraino, produktzen den instante banan banan barruko fluxuko. 2 eta 3 kapetan neurtutako fluxuek oso hurbileko balioak dituzte, 5 [cm]-ko aire-ganbera gehitzen duen erresistentziak bakarrik bananduta daudenez gero. Baina berezitatiko bere neurria interesgarria da adreilu-fabrika orrietako bakoitzaren parametro-identifikazio fidagarriagoa egin ahal izateari begira, eta emaitza laginaren multzoaren estudiotik lortutako balioarekin egiaztatzea, 5 Kapituluako 5.1.1 atalean ikus

daitekeenez gero. 4.54 Irudian zona zentrala eta perimetralerako barruko azalerako fluxuak erakusten dira.

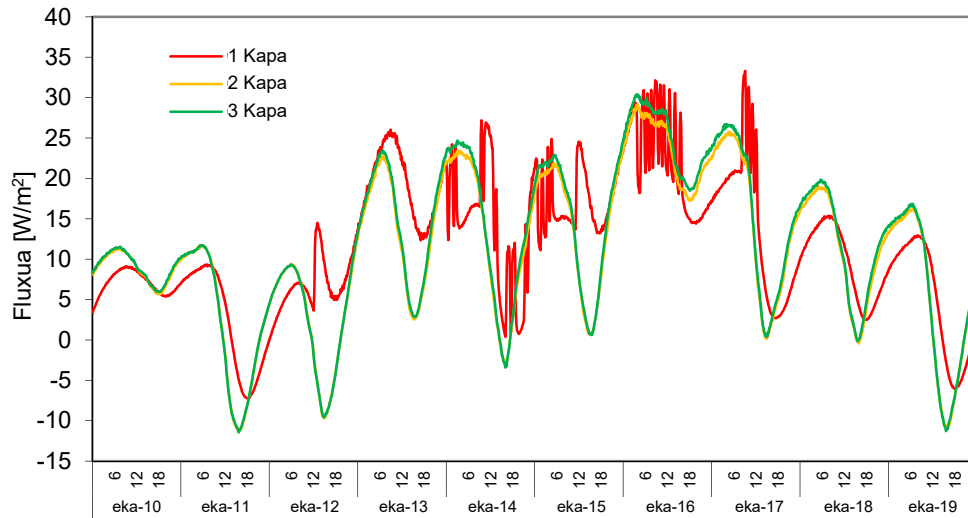


4.51 Irudia – Giroen arteko temperaturetako desberdintasuna eta entsegu gelako baldintzen homogeneotasuna oinarritzko hormarako

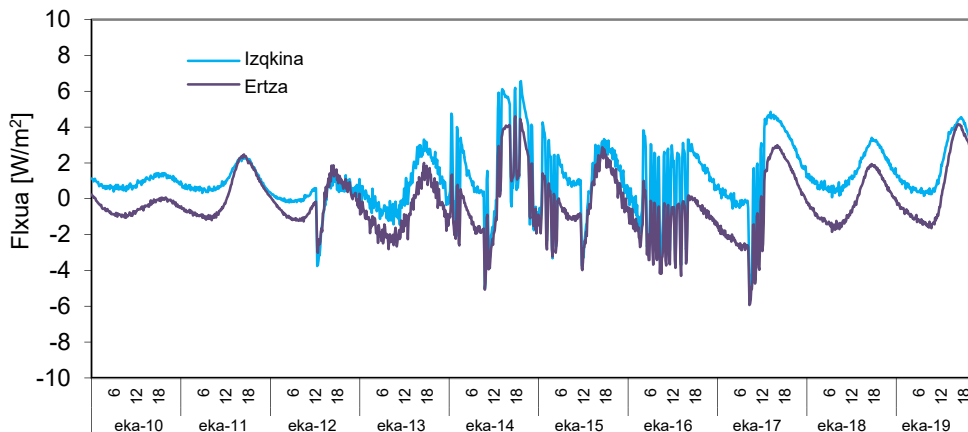
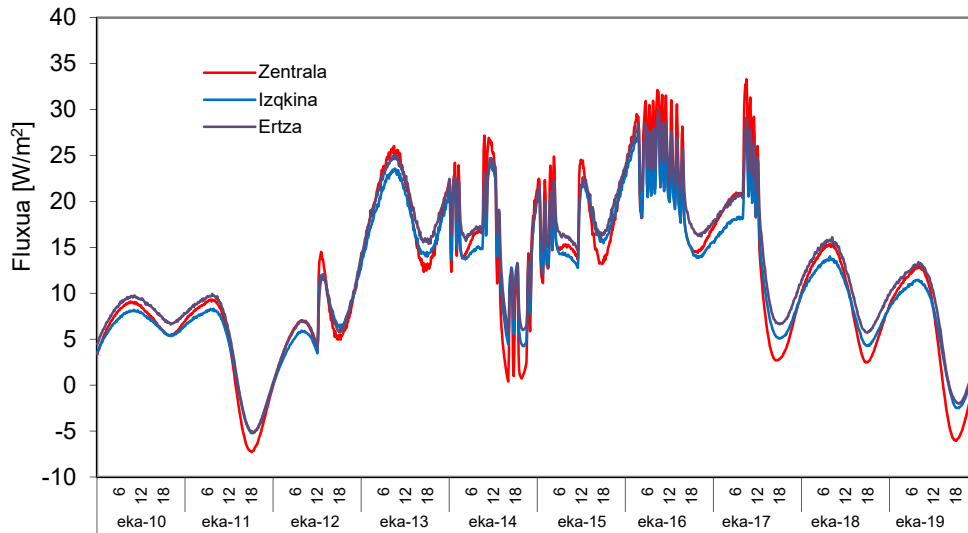


4.52 Irudia – Oinarritzko hormaren laginean temperaturak

Fluxu-balioak oso hurbilekoak direla ikus daiteke. Zona zentraleko fluxu batezbestekoa  $11,8 \text{ [W/m}^2\text{]}$  -eko da eta  $12,5 \text{ [W/m}^2\text{]}$  -eko eta  $11,2 \text{ [W/m}^2\text{]}$  -eko izkina-zonarako eta ertzeorako, hurrenez hurren. Ez bezala kalibrazio-hormaz eta IQ-Testa horma opakuaz gertatzen zen, bi oso isolatzaileak, ertz-efektuek zuten laginak trukaturako fluxuen gaineko eragin oso garrantzitsua tokian. Behin oinarritzko horma entseatuta kanpokoak isolamendu-kaparen jartzea burutzen du eta entsegua errepikatzen da. Horma honek aireztatutako fatxada sistemekiko hormei buruz erreferentzia gisa balio du. Ondoren bigarren entsegu honen emaitza esperimentalak erakusten dira.



4.53 Irudia – Barruko kapetarako lagineko zona zentrallean neurtutako bero-fluxu puntualak

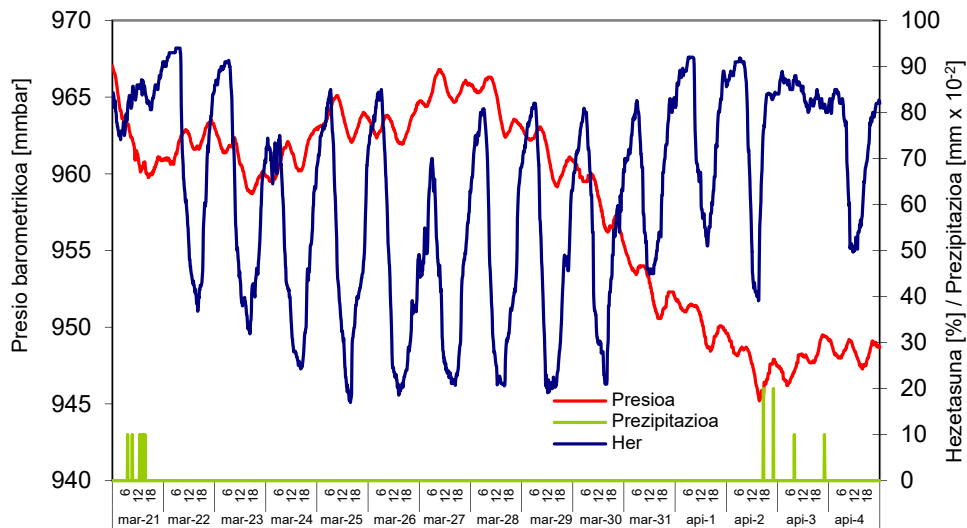


4.54 Irudia – Barruko aurpegiko gainazaleko fluxuak, 1 kapa

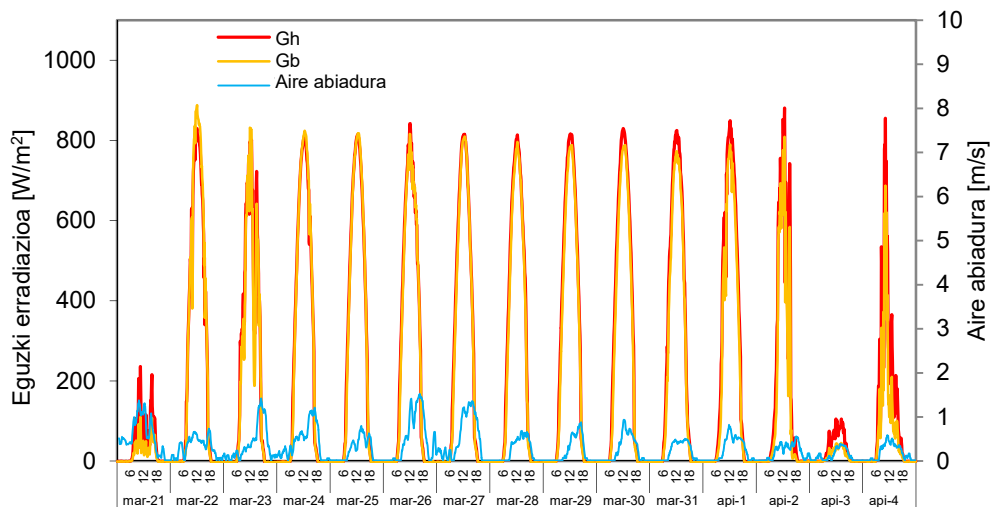


#### 4.2.1.2 Oinarrizko horma isolamenduarekin

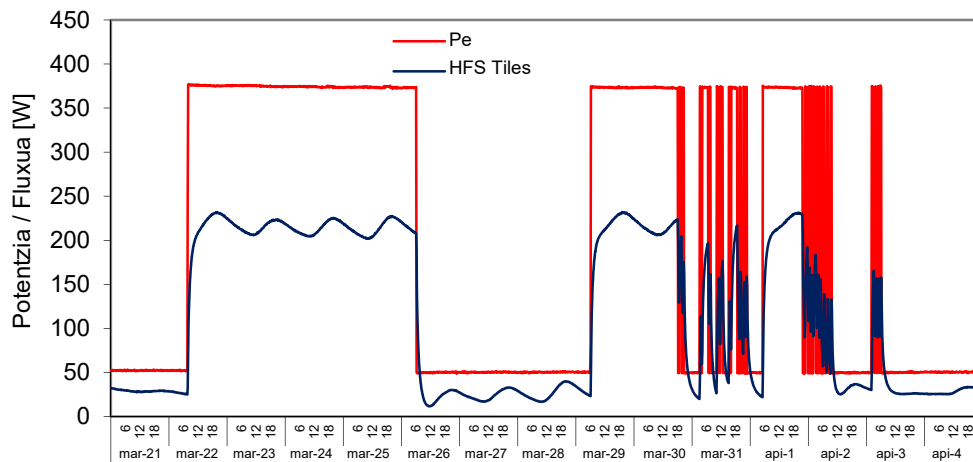
EGUZKI-a zeldako lan kargatik isolamenduarekiko hormaren entsegua bederatz hilabete geroago burutu zen. 4.55 Irudian entseguaren ingurune-baldintzak erakusten dira. Isolatzailearen eta kanpoko motrailuko estalduraren jartzea eraikuntza hezea denez gero, gainera euri-egun batekin bat dator, erabakitzen da lagina lehertzeko lehen beroketa-maila bat egitea eta hura era egokian prestatzea. 4.56 Irudian ikus dezake nola ematen den entseguko periodo zentrolean zehar egun garbirik eguzki-eragin garrantzitsuarekin, eta udaberriko periodoa izaterakoan, plano bertikalaren gaineko erradiazio osagaia plano horizontalaren gaineko osagaia baino ordena bereko da. 4.57 Irudian hasierako mailarekiko entseguko eta geroago sartzen diren ROLBS-etako errutina ikus daiteke. Kasu honetan itxituraren fluxu garbia positiboa da entsegu-periodo guztian zehar hormak isolamendu nahikoa duenez gero. Ingurune-baldintza beroak itxaroten zirelako berogailuaren potentzia nominala 320 [W]-etara txikiagotzen da, isolamendurik gabeko oinarrizko hormaren entseguko 550 [W]-ak erabiliekin konparatuta.



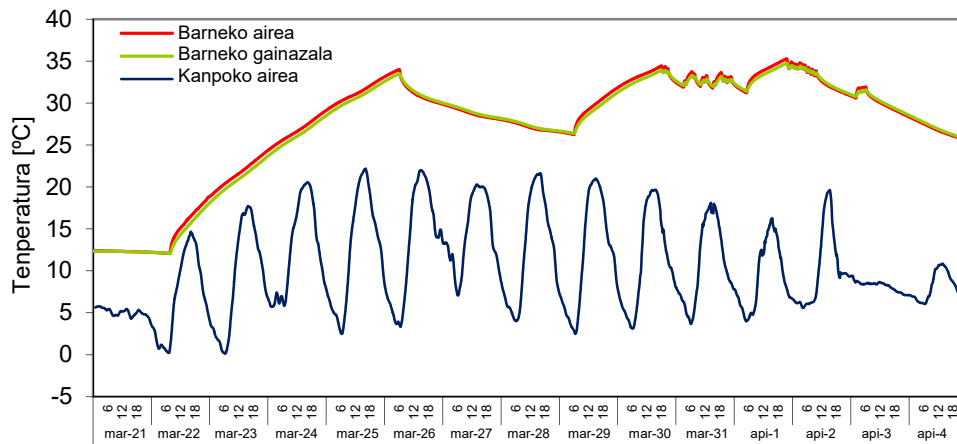
4.55 Irudia – Isolamenduarekiko oinarrizko hormaren entseguan zeharreko ingurune-baldintzak



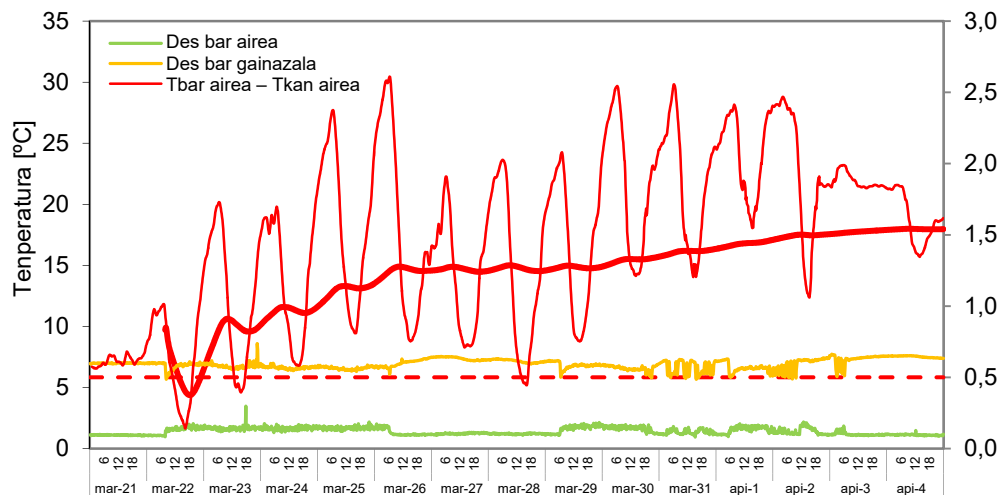
4.56 Irudia – Eguzki-erradiazioa eta haize abiadura isolamenduarekiko oinarrizko hormaren laginaren aurrean



4.57 Irudia – Isolamenduarekiko oinarrizko hormaren entseguan zeharreko beroketa errutina eta itxituraren fluxua



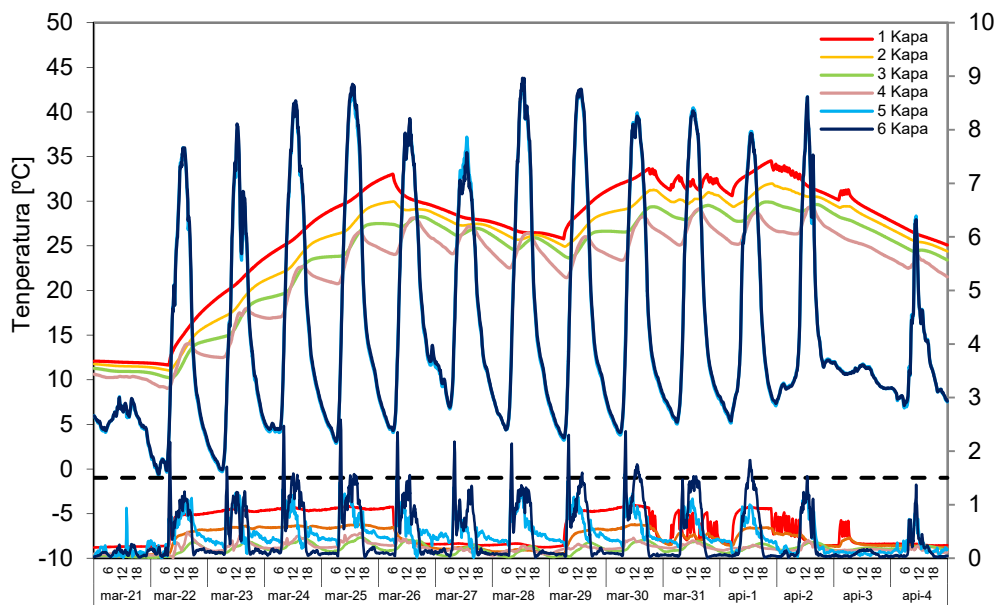
4.58 Irudia – Isolamenduarekiko oinarrizko hormarako entsegu gelaren eta kanpoko giroko tenperaturak



4.59 Irudia – Isolamenduarekiko oinarrizko hormarako giroen arteko tenperatura desberdintasuna eta entsegu gelako baldintzen homogeneotasuna

4.58 Irudian eta 4.59 Irudian entsegu gelaren eta kanpoko giroko tenperaturetako eboluzioa ikus daiteke. Bien arteko desberdintasun batezbestekoa  $18^{\circ}\text{C}$ -a da, entsegu gelako airearen tenperaturen homogeneotasuna argi eta garbi  $0,5^{\circ}\text{C}$  azpitik

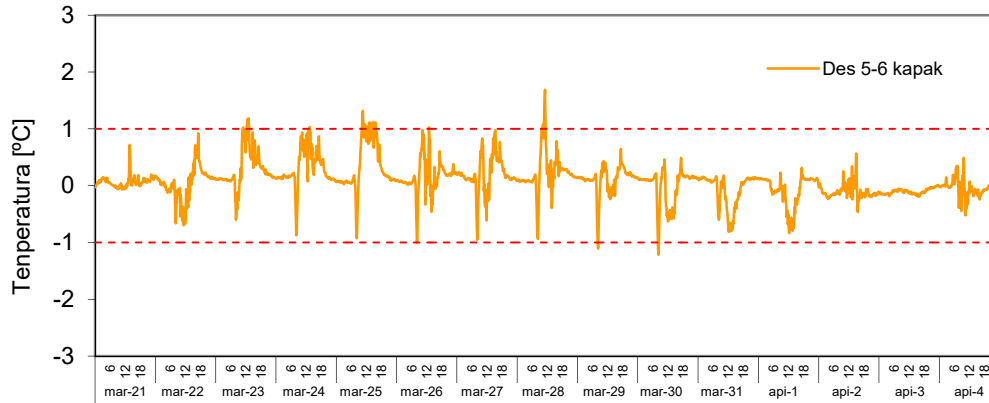
mantenduz. Azalera-tenperaturek oso portaera homogeneoa dute ere, baldintzak isolamendurik gabeko oinarritzko hormaren entseguari buruz hobetuz. 4.60 Irudian tenperaturak lagineko kapa bakoitzean erakusten dira desberdintasun maximoarekin batera. Ikus daiteke nola gaintitzen dituen hormaren gaineko eguzki-erradiazio intzidenteagatik kanpoko azaleraren tenperaturak lagineko barruko aurpegiaren tenperaturak hein handi batean. Isolamenduaren efektua 4 kaparen tenperaturaren eboluzioan ikus daiteke ere, isolatzaileko barruko azalera, egun-gaua 5 kaparen ikusten diren zikloak aurkezten dituela, isolatzaileko kanpoko azalera, motelduago. Ikus daiteke ere nola jarraitzen dion 4 kaparen tenperaturak entsegun gelaren tenperaturaren joerari, eguneko kanpoko aldaketekin batera, eta berean aplikatzen den beroketako errutinara. Entsegu-konfigurazio hau laginaren ezaugarri termikoak zehaztasun handiarekin bereiztea baimentzen duena da parametro-identifikazio erreminten potentzialtasuna maximizatuz, bestela konplexuagoak izango lirartekeela erabiltzea. Kapa bakoitzeko azalera-tenperaturen homogeneotasunari dagokionez egiaztatzen da bataz besteko balioei buruz desberdintasun maximoak txikia da, barneko kapa guztietako  $0,5^{\circ}\text{C}$ -etatik beherakoa, eta balio puntual nahiko garaietara heltzen da soilik kanpoko azalera-tenperaturaren eguzki-eragin maximoa uneetan, baina dena dela onargarriak dira lagin-garraiatazailearen efektua mespretxagarri hartzeko.



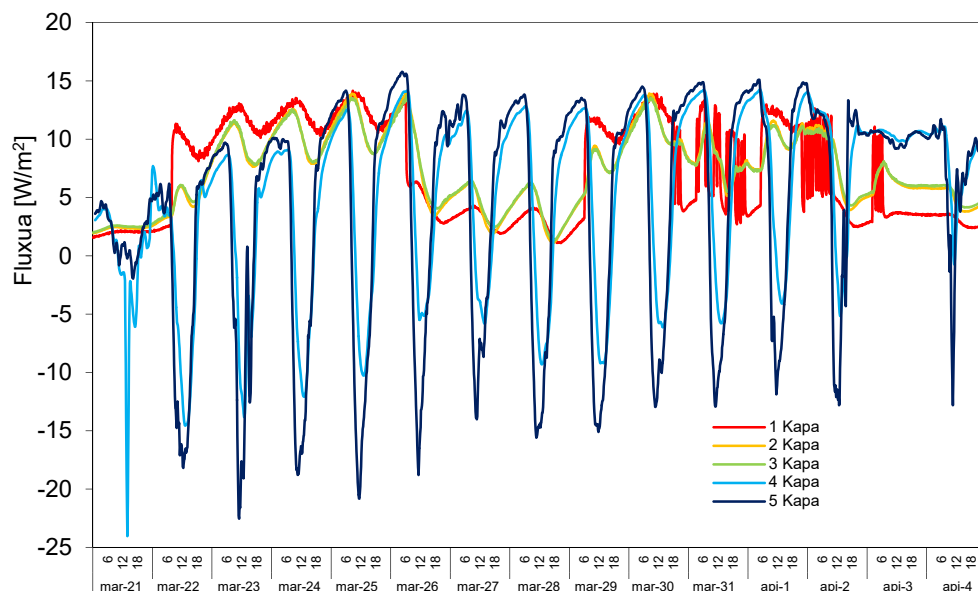
4.60 Irudia – Isolamenduarekiko oinarritzko hormaren kapa bakoitzeko tenperatura batezbestekoa

6 kaparen tenperaturen portaera kontuan hartzeko beste xehetasun interesgarria da, kanpoko azalera, eta 5 kaparena, motrailu-estaldura atzean azalera. Kanpoko estaldura da sorospen-mailarekiko motrailuko  $0,5$  [cm]-ko kapa fina, hortaz erresistentzia termiko nabarmena ez du ematen eta gogogabezia termiko txikia aurkezten du, bi aurpegiaren arteko tenperaturaren neurriak garrantzi gutxi duen laginaren portaera termikoa bereizteko. Baina hala ere baimentzen du akats posiblea laginaren azalera-kanpoko tenperaturaren neurrian balioesteko erreminta bat edukitzea berezko zunden gaineko eguzki-erradiazioaren efektuagatik, estalduraren ezaugarri hauei berei esker. Eta lortzen den emaitza positiboa da, 4.61 Irudian bi kaparen tenperatura batezbestekoaren arteko desberdintasuna erakusten da. Desbideratzeak txikiagotzen direla ikus daiteke, zero inguratuz, eta  $0,3^{\circ}\text{C}$ -etatik beherako batez besteko balioarekin. Probetaren azalera-tenperaturak egoki bereizgarri duela pentsa daitekeen, konbektzio-erradiazioa kanpoko giroarekin laginaren truke termikoaren kalkulua hein handi batean hobetzen duena. Nahiz eta desberdintasun batezbestekoa txikia izan erradiazio-eraginarekiko azalera-

temperaturako neurriaren akatsa  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ -etan estimatzen da, desberdintasun maximoko uneetan produzitzen diren piko puntualak kontuan hartzeko, hortaz ziurgabetasun-maila honetan neurtutako puntuen % 95 edukitzen da.

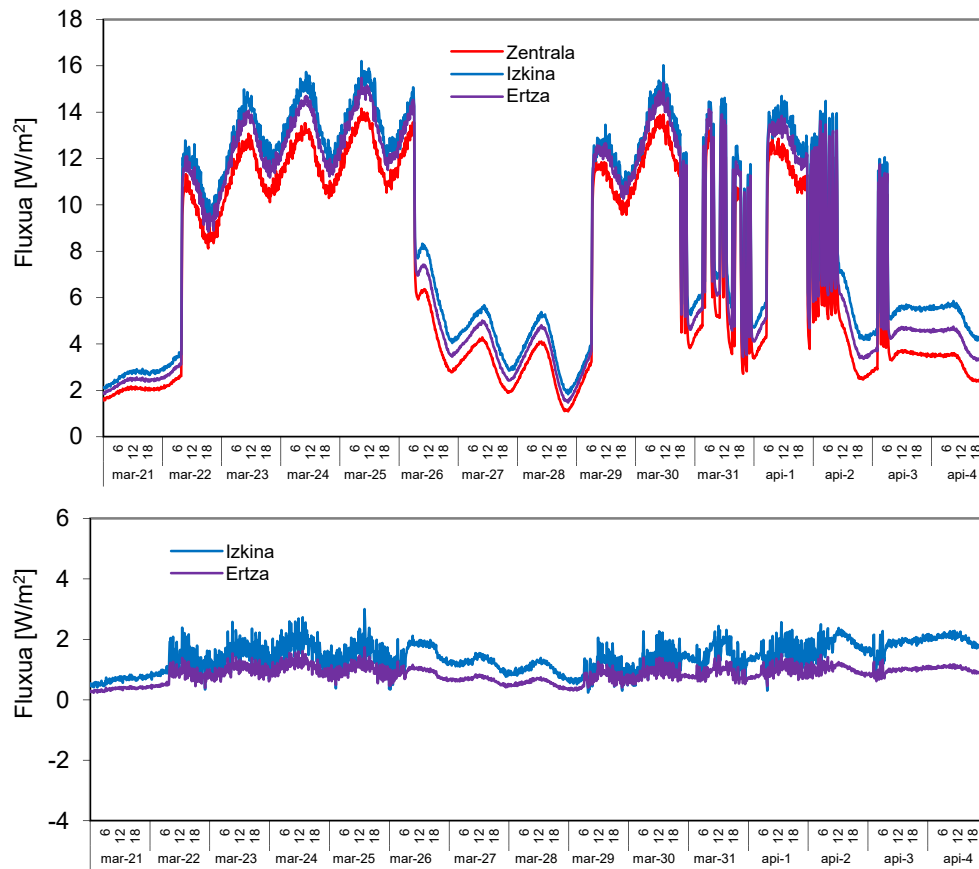


4.61 Irudia – Batezbestekoa temperatura desberdintasuna 5 eta 6 kaparen artean isolamenduarekiko oinarrizko hormaren laginean



4.62 Irudia – Kapatako bakoitzerako isolamenduarekiko lagineko zona zentralerako bero fluxuak

Behin temperaturak analizatuta pasatzen da bero-fluxu neurrien portaera ebaluatzerako lagineko kapa desberdinetan eginda. Probetako zona zentralerako lortutako balioak 4.62 Irudian erakusten dira. Kasu honetan estima daiteke bereizkuntza bero-fluxuen portaeran markatzen duen kapa adreilu huts bikoitzeko kanpoko trenkada dela fatxada-soluziorako inertzia termikoa ematen duen printzipal osagarria izaterakoan. Ikus daiteke isolamendu-kapa produzitzen duen bero fluxuan gutxiagotzea 4 kapako, isolatzaileko barruko aurpegia, eta 5 kapako, kanpoko azalera, fluximetros-ak konparatzerakoan. Baina biek eguzki-erradiazioeko eguneko zikloaren bilakaerari jarraitzen diote, eta adreilu-orri atzean, hala ere, bero-fluxuek jarraitzen diote beroketa-errutinak sortutako asaldurari. Laginaren hasierako baldintzek bero-fluxuei eragiten dietela estima daiteke isolamenduaren eta kanpoko estalduraren jartzeagatik hezetasunaren handiagotzeagatik. Lehen entsegu-egunean zehar 4 kapako bidezko bero fluxu piko batzuk estimatzen ditu difusioagatik lurrin masa mugimendura.



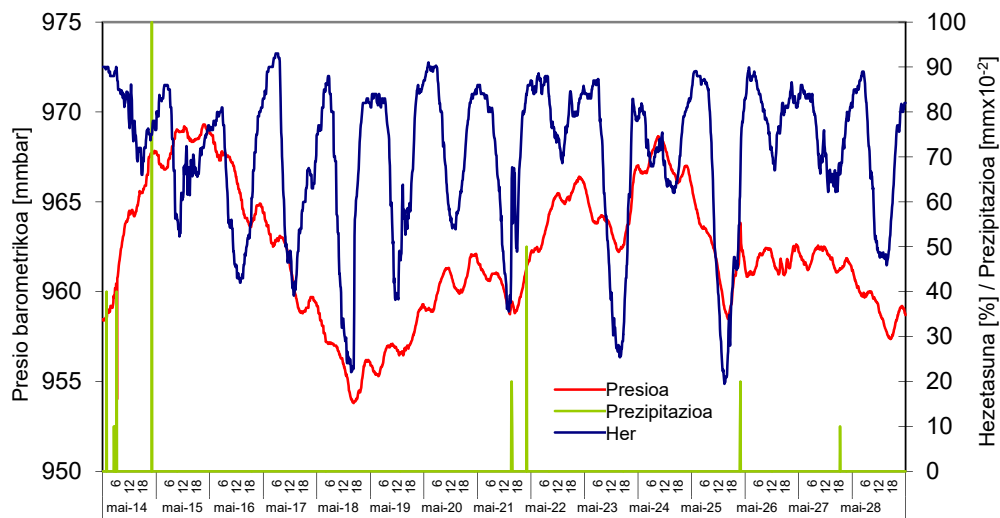
4.63 Irudia – Isolamenduarekiko laginerako barruko aurpegiko azalerako, 1 kapa, fluxuak

Baina aplikatutako beroketa mailari esker nola egokitzen den lagina ikus daiteke, kapa bakoitzaren hezetasan espezifikoa orekatuz, eta bero-fluxuen bilakaera egonkor bilakatzen da. Efektu hau beharrezkoa da parametro-identifikazioa egiteko orduan kontuan hartzea eta egonkortasuna egiaztatzekeo ardura berezia eta emaitzen fidagarritasuna izatea. Isolamenduarekiko oinarrizko hormaren lagineko ertz efektuei dagokienez, 4.63 Irudian fluxuak erakusten dira probetako barruko aurpegiaren ertz eta zentral zonetan. Zona zentraleko fluxu batezbestekoa  $7,1 \text{ [W/m}^2\text{]}$ -a da eta  $8,5 \text{ [W/m}^2\text{]}$ -a eta  $8,0 \text{ [W/m}^2\text{]}$ -a izkina-zonan eta goiko ertzekoan, hurrenez hurren, % 20-tako eta % 12-tako fluxuko handiagotzea irudikatzen duena. Desadostasun hauek isolamendurik gabeko horman baino handiagoak dira, espero zen bezala. Bere efektu erreala zehazten da parametro-identifikazio prozesuan. Behin oinarrizko horma ebaluatuta, bere bi bertsioetan, aireztatutako fatxadetik sistema portaera analizatzera pasatzen da ondoren deskribatzen dela.

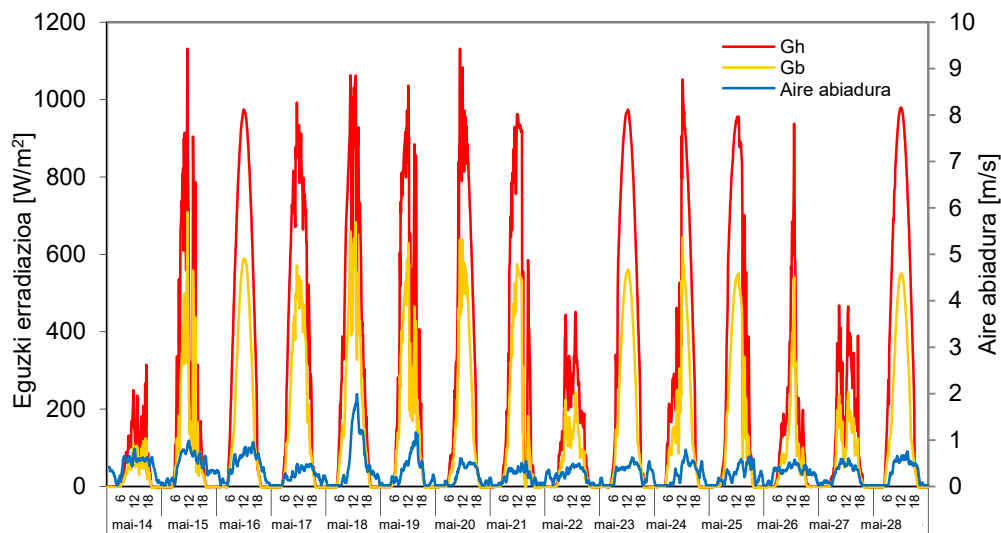
## 4.2.2 Aireztatutako fatxada arina

Aireztatutako fatxada laginen entsegu esperimentalen kasuan bi periodotan banatzen dira, bere konplexutasunagatik. Zeinen datuak aireztatutako ganberaren portaerako modelo matematikoaren definiziorako erabiltzen diren lehen entsegu periodoan eta kontraste eta balidatze bezala erabiltzen den entseguko bigarren periodo batean. Ondoren erakusten dira lehen entsegu periodoan zehar aireztatutako fatxada arineko laginerako lortutako datuak, bigarren periodoari buruzko datuak *C Eranskinen* erakusten dira. 4.64 Irudian ingurune-baldintzak entsegua egitean zehar jasotzen

dira. Ikus daiteke ingurune-baldintzen aldakortasuna oso zabala dela euri garrantzitsuko presentziarekin. 4.65 Irudian eguzki-erradiazioa eta laginaren parean haize abiadura jasotzen dira. Bi aldagai hauek funtsezkoak dira aireztatutako fatxadaren portaeraren estudiorako aire-mugimenduko motorrak aireztatutako ganbera barruan direnez gero. Alde batetik da kanpoko orriaren gaineko eguzki-erradiazio intzidentea mugimenduaren eragilea dela konbekzio naturalagatik eta estudioan analizatzeko osagai nagusia. Bestalde, haize-abiadura handiko uneetan bultzada-efektua flotazio-osagaiari gehitzen dio kanpoko aireko abiaduragatik, estudioko baztertzeko osagaia. Adibidez, maiatzaren 18an batezbestekoa baino haize-abiadura handiagoak produzitzen direla ikus daiteke, portaera desberdina eragin dezakeena eta beraz beharrezkoa da hura matemático-a modelatze fasetik kanporatzea, aurrerago ikusiko denez gero.



4.64 Irudia – Modelatze-periodoan zeharreko aireztatutako fatxada arineko entseguko ingurune baldintzak

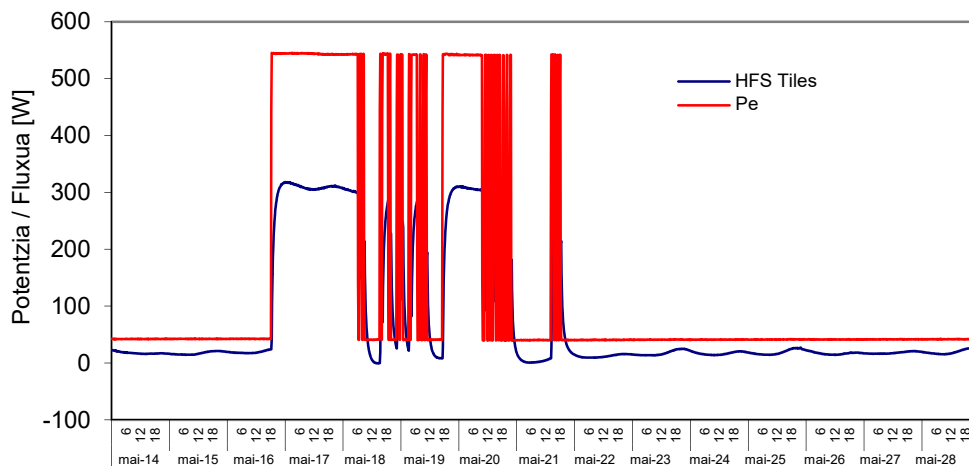


4.65 Irudia – Eguzki-erradiazioa eta haize abiadura aireztatutako fatxada arineko entseguan zehar

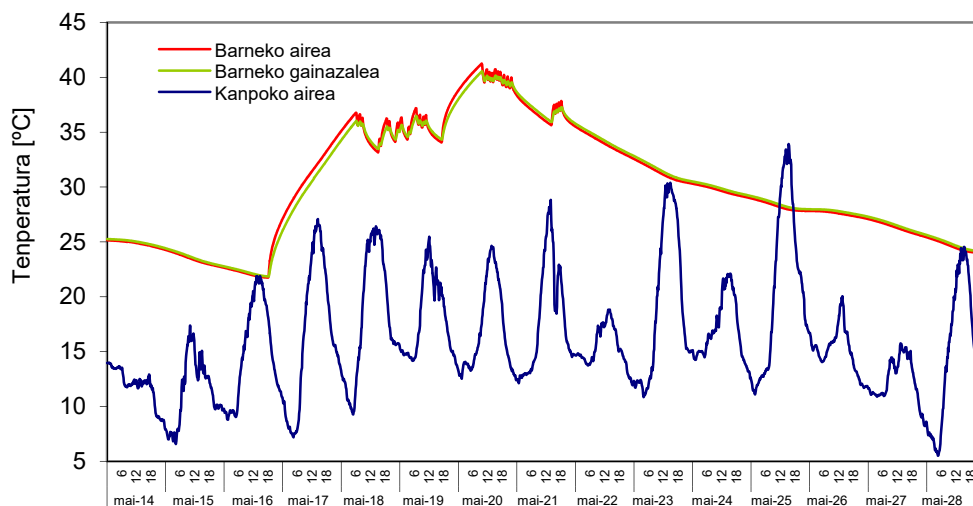
4.66 Irudian beroketako errutina eta itxituraren fluxua erakusten da. Nahiz eta itxituraren bero fluxuaren noranzkoa denbora gehienez positiboa izan, zeinu hau irtendako fluxu baldintzari dagokiola gogoratu behar da, une batzuetan berogailuaren



geldialdiko alderantzikatzen da fluxuaren noranzkoa, fluxu sartune sortuz. Isolatutako homarekin konparatzen bada, eta isolamendu-gradua bi probetetan berdina dela kontuan hartuz, honek aireztatutako fatxada sistemaren hozte efektua dio, geroago modelatze-fasean analizatzen den efektua, 5 *Kapitulua*, eta 6 *Kapituluan* kuantifikatzen dela eraikin-eskalarako konponbide eraikitzaile bakoitzaren eskarien analisisian. 4.67 Irudian kanpoko giroaren eta entsegu gelaren temperaturen bilakaera ikus daiteke. 4.68 Irudian giroen arteko temperatura desberdintasuna 17,9°C-etako batez besteko baliora heltzen dela beroketa-periodorako ikus daiteke, eta amaiera libre periodoan zehar 15°C-en gaintetik mantentzen da. Ikus daiteke ere entsegu gelako aire temperaturen homogeneotasuna oso altua den eta itxituraren azalera temperaturetako desberdintasun maximoak 1°C-etatik beherakoak beti diren.

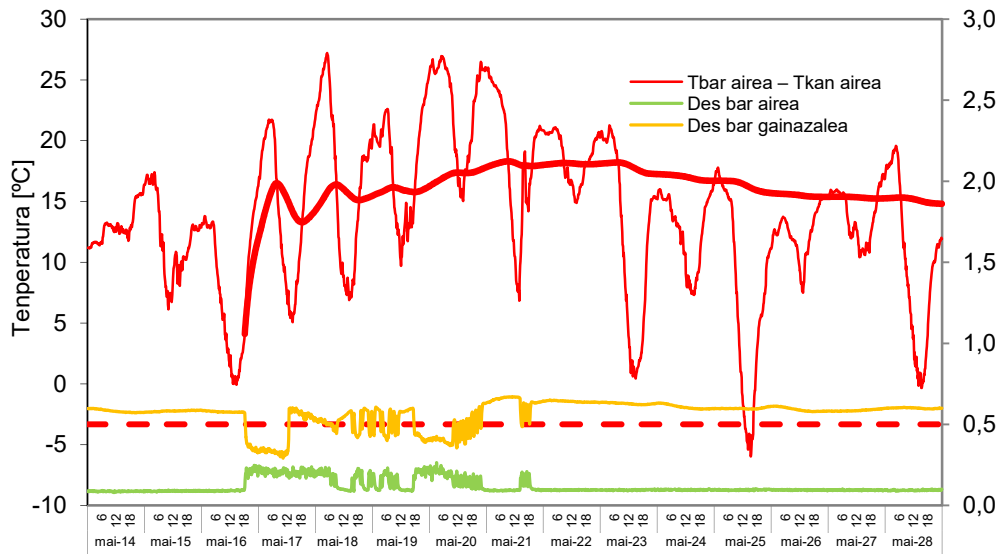


4.66 Irudia – Aireztatutako fatxada arinerako entsegu gelaren itxituraren bero fluxua eta sartutako potentzia

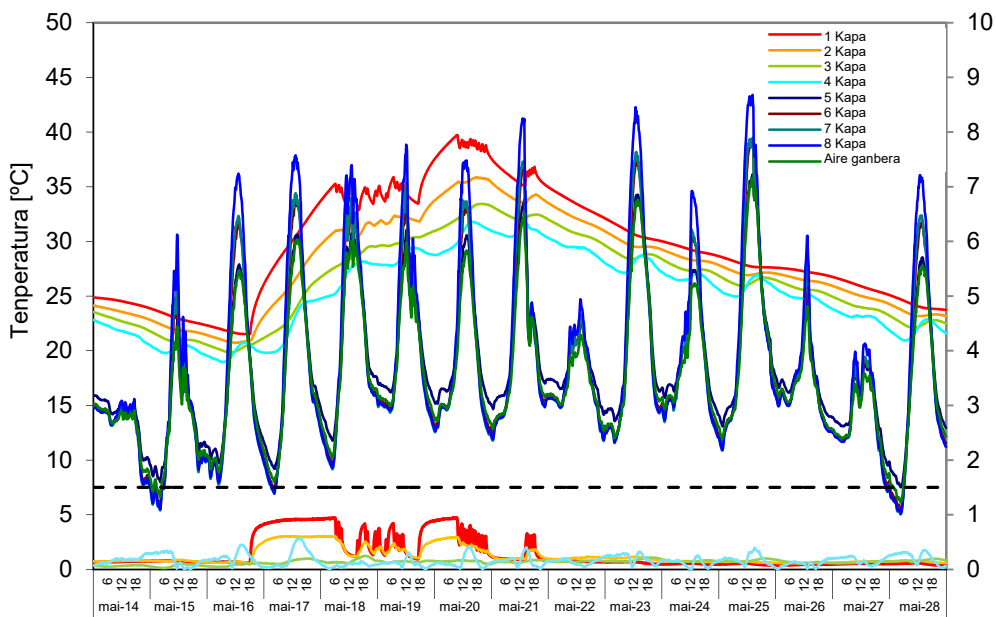


4.67 Irudia – Aireztatutako fatxada arinerako entsegu gelaren eta griko temperaturak

Laginaren portaerari dagokionez, 4.69 Irudian kapa bakoitzaren temperatura batezbestekoak jasotzen dira. Barneko kapen azalera temperatura homogeneotasuna altua dela ikusten da. Análisi hau ez da errepikatzen aireztatutako ganberako azalera, zentzua ez duenez gero aire-mugimenduak temperatura-gradiente sortuko duelako aipaturiko azalera, aurrerago azalera hauen portaeraren análisisi zehatzagoa eta beraren abiadurarekin batera aireko eta entseguan zehar neurtutako fluxu puntaletako egiten da.



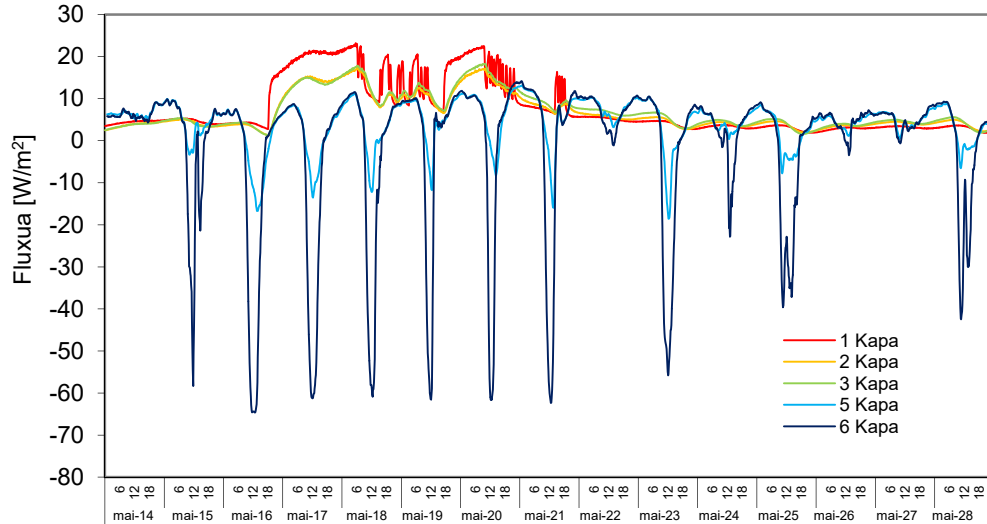
4.68 Irudia – Aireztatutako fatxada arinerako giroen arteko temperatura desberdintasuna eta entsegu gelako baldintzen homogeneotasuna



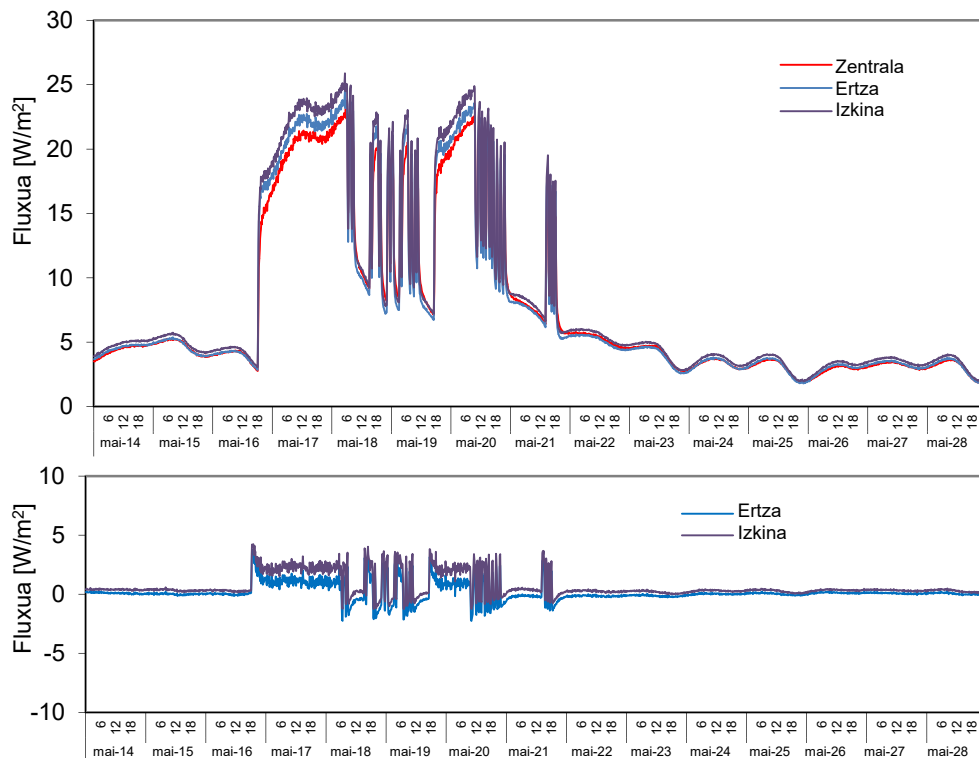
4.69 Irudia – Aireztatutako fatxada arineko laginaren temperaturak

Laginaren bero fluxuei dagokienez, 4.70 Irudian fatxadaren kapa nagusietako zona zentralean jarritako fluximetroen seinaleak jasotzen dira. Bero-fluxu bihurguneetako aspektu garrantzitsua estimatzen da aireztatutako ganberako bero transmisio prozesuan. Ikus daiteke kanpoko orria bero nagusiko fokua den eguzki-erradiazio-orduetan zehar, beroa konbekzioagatik aireztatutako ganberako aireari transmitituz eta erradiazioagatik isolatzaileko azalerara. Portaera hau aireztatutako fatxada arineko modelatze ataleko xehetasun gehiagorekin analizatzen da. Aireztatutako ganberaren portaera xehetasun gehiagorekin analizatzen pasatu baino lehen beharrezkoa da ertz-efektuak egiaztatzea lagineko barruko azaleran jarritako fluximetroen irakurgaien bitartez, ikus 4.71 Irudia. Lagineko zona zentraleko fluxu batezbestekoa  $7,70 \text{ [W/m}^2\text{]}$ -etako da,  $7,85 \text{ [W/m}^2\text{]}$ -etako ertz zonan eta  $8,35 \text{ [W/m}^2\text{]}$ -etako izkina zonan. Honek % 2 eta % 8,6 ekartzen ditu hurrenez hurren. Aireztatutako fatxada arineko laginaren ertz efektuak oinarritzko horman lortutakoak baino

gehiagokoak dira, isolamendua izaterakoan espero zuenez gero, baina isolamenduarekiko oinarrizko hormaren entseguan zehar lortutakoetatik beherakoak dira.

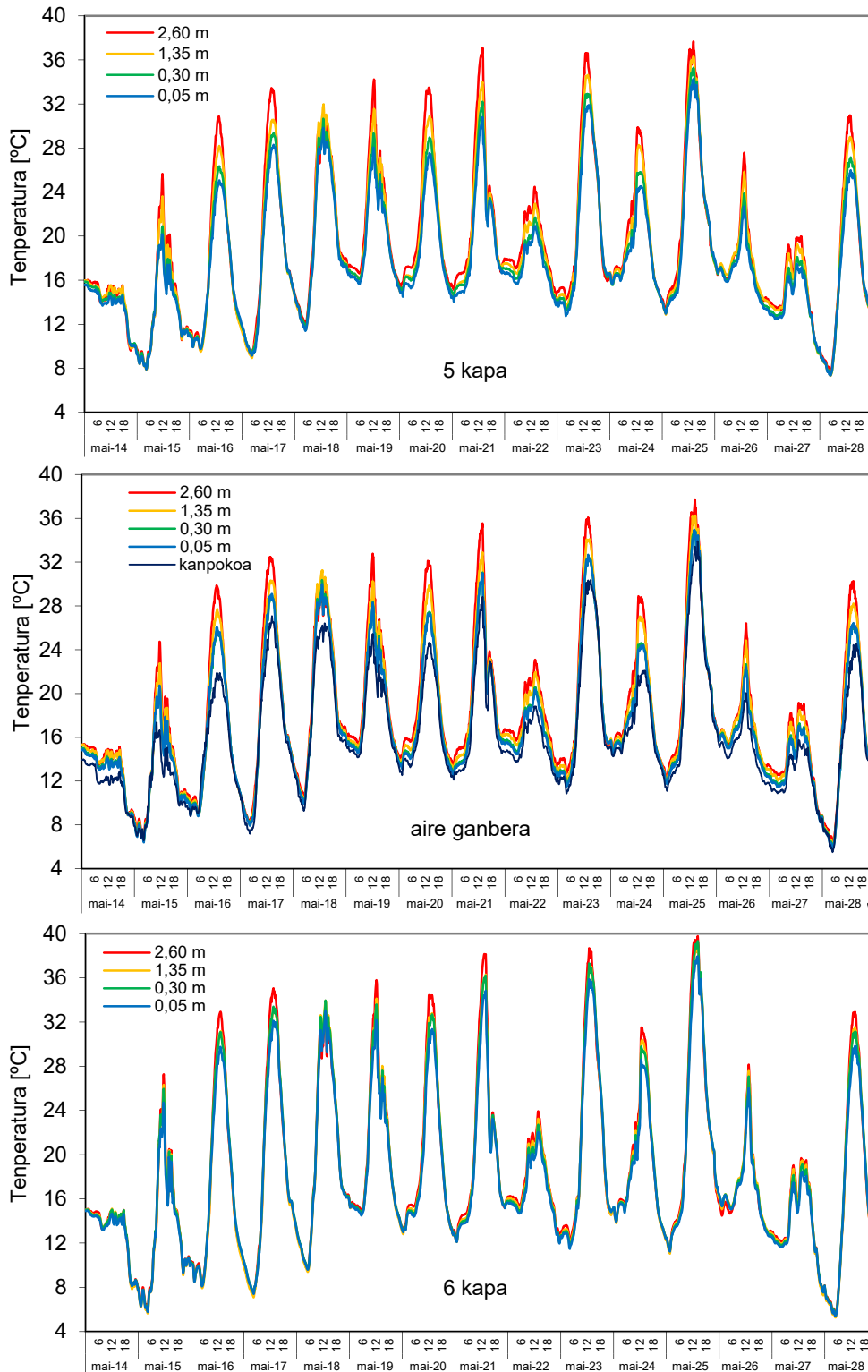


4.70 Irudia – Kapa adierazgarrietako bakoitzerako aireztatutako fatxada arineko zona zentrolean neurtutako bero-fluxu puntualak



4.71 Irudia – Aireztatutako fatxada arineko laginerako barruko aurpegiko azalerako fluxuak, 1 kapa

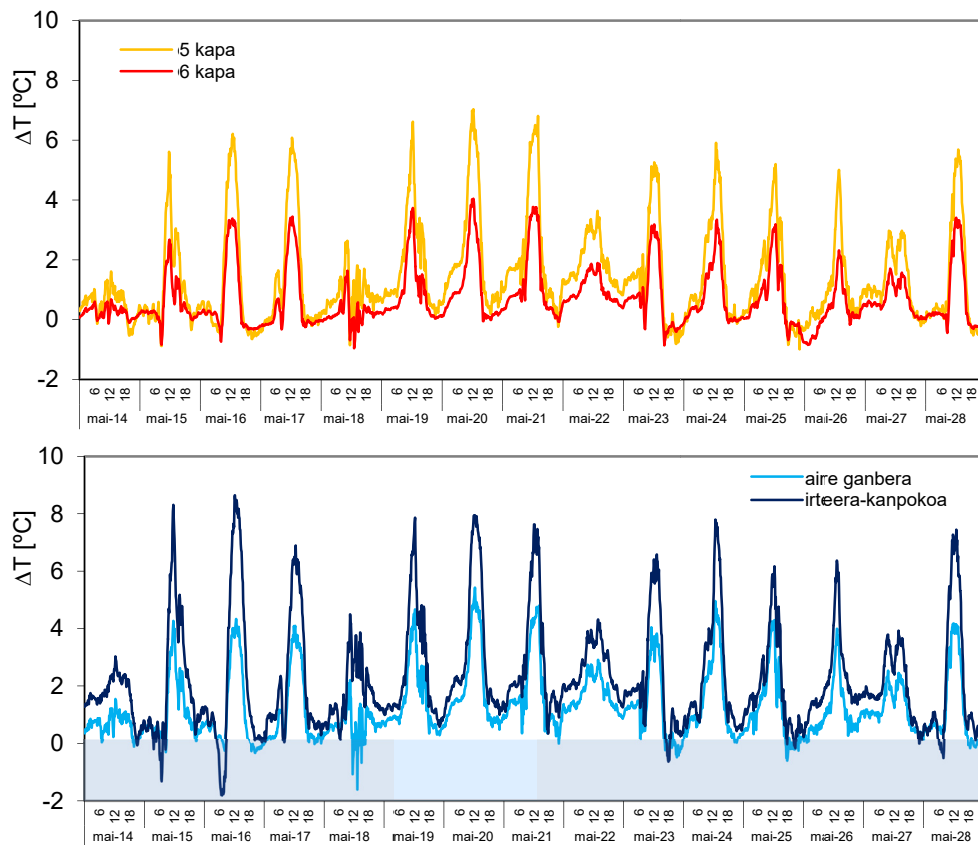
Behin entseguren oinarrizko parametroak ebaluatuta aireztatutako ganberaren portaera analizatzera pasa daiteke, entseguko osagai interesgarriagoa, entsegutako dokumentazio zientifikoa gutxi soluzio eraikitzaileko mota honen portaeraren eskala errealerara denez gero *PASLINK*<sup>[62,66]</sup> entseguren zehaztasun-prestazioekin eta trazabilitatearekin.



4.72 Irudia – Aireztatutako ganberako ardatz zentraleko altueraren arabera temperaturak

4.72 Irudian temperaturren bilakaera altueraren arabera jasotzen da laginaren ardatz zentralerako aireztatutako ganbera osatzen duten azaleretako bakoitzean eta airean. Ikus daiteke eguzki-erradiazioagatik beroketa periodoetan zeharreko bi azaleretan eta airean sortzen den temperatura gradienteak, eta temperaturak bezalako haien artean

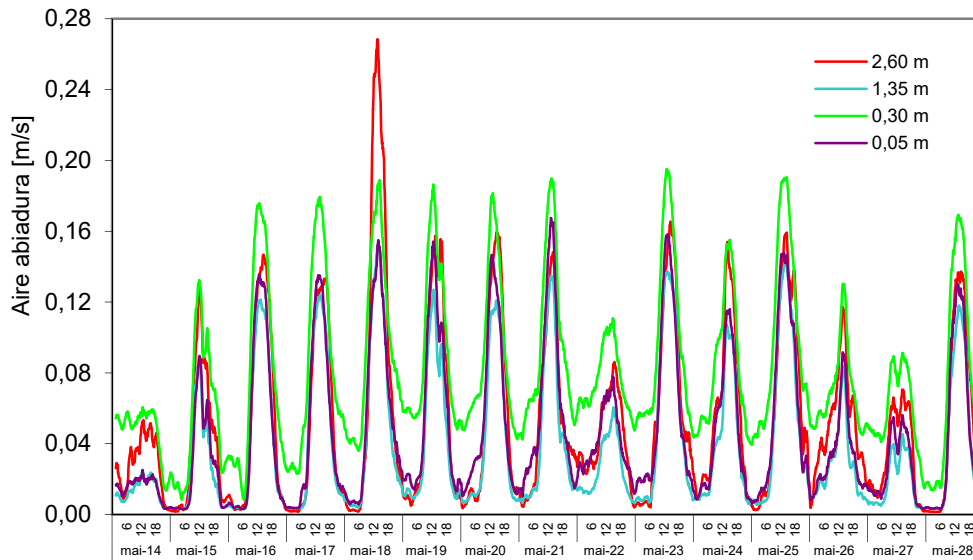
hurbiltzen dira gau-orduetan zehar. 4.73 Irudian temperatura-desberdintasunak jasotzen dira aire-ganberaren beheko puntuaren artean, kokatuta altuerako 0,05 [cm]-etara, eta puntu altuenera, kokatuta altuerakob2,60 [cm]-etara. Nola sortzen diren ganberako barruko azaleran, isolatzaileari buruzkoa, temperatura-gradienterik handienak ikus dezake, 7°C-en ordenaren balioetara heltzen direla. Hala ere, itxierako kanpoko azaleran, material eroale izaterakoan, eta inertzia termikoak gutxi edukiatatik, temperaturek homogeneotasun handiagoa dute, 4°C-en desberdintasun handiagorik ez gaudituz.



4.73 Irudia – Behealdearen eta nagusiaren arteko temperatura desberdintasunak bi azalretarako eta aireztatutako ganberako aire-rako

Aldaketa hauek adierazgarriak dira airearen mugimendu konbektiboaren karakterizazio modeloak aireztatutako ganbera barruan definitzeko. Estudio gehiengoan<sup>[150]</sup> lan-hipotesi nagusietako bat itxuratzen dituzten azalretako temperaturak konstanteak aire-ganbera hartzea da. Hipotesi honek kalkuluak sinplifikatzen ditu hein handi batean, baina trukaturako bero-fluxuen balio errealetan desberdin den estimua sor dezake. Beraz, aspektu hau geroago aireztatutako fatxadarako modelatze atalean analizatzen duen parametroetako bat da. Aireztatutako ganberako aireari dagokionez, 4.73 Irudiaren mendeko grafikoan temperatura-desberdintasuna ere erakusten da goiko puntuaren eta kanpoko giroaren artean. Bigarren bihurgune hau da aire-emariak mugimenduan irabazitako beroa zehazteko erabiltzen dena. Lortzen den temperaturako desberdintasun maximoa 8°C-en ordenako da. Ikus dezake fatxadan zehar mugitzen den bezala airearen beroketa nola den 4°C batzueiko, erabateko saltoaren erdia, aireztatutako ganberako sarrerako beroketaren beste erdia sortuz. Temperatura-desberdintasun bihurguneetan estima daitekeen beste aspektu garrantzitsu bat aire-fluxuaren noranzkoa alderantzikatzen den periodoak dira, goranzko fluxutik beheranzko fluxura pasatuz. 4.73 Irudiaren beheko grafikoan

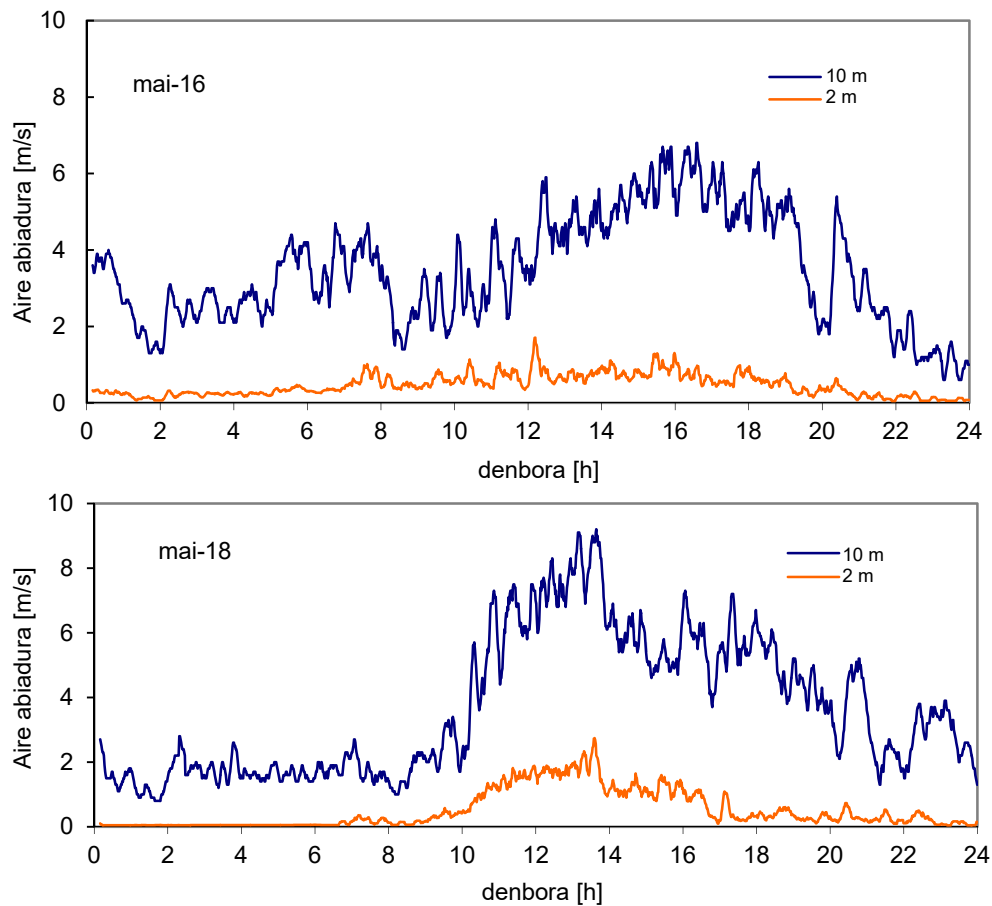
temperatura-saltoa inbertitzen den puntuak erakusten ditu, itzalpeko zonaren bitartez, gehienetan egunsentiko periodoan zehar gertatzen den egoera. Aire-mugimenduaren noranzkoa inbertsio periodo hauetan fatxadaren portaera energetikoan eragin dezakete. Aspektu hau gehiagorekin analizatzen da zehazten du aireztatutako fatxadarako modelatze atalean, 5 Kapituluua.



4.74 Irudia – Altueraren arabera ardatz zentralerako aireztatutako ganberako aire abiadurak

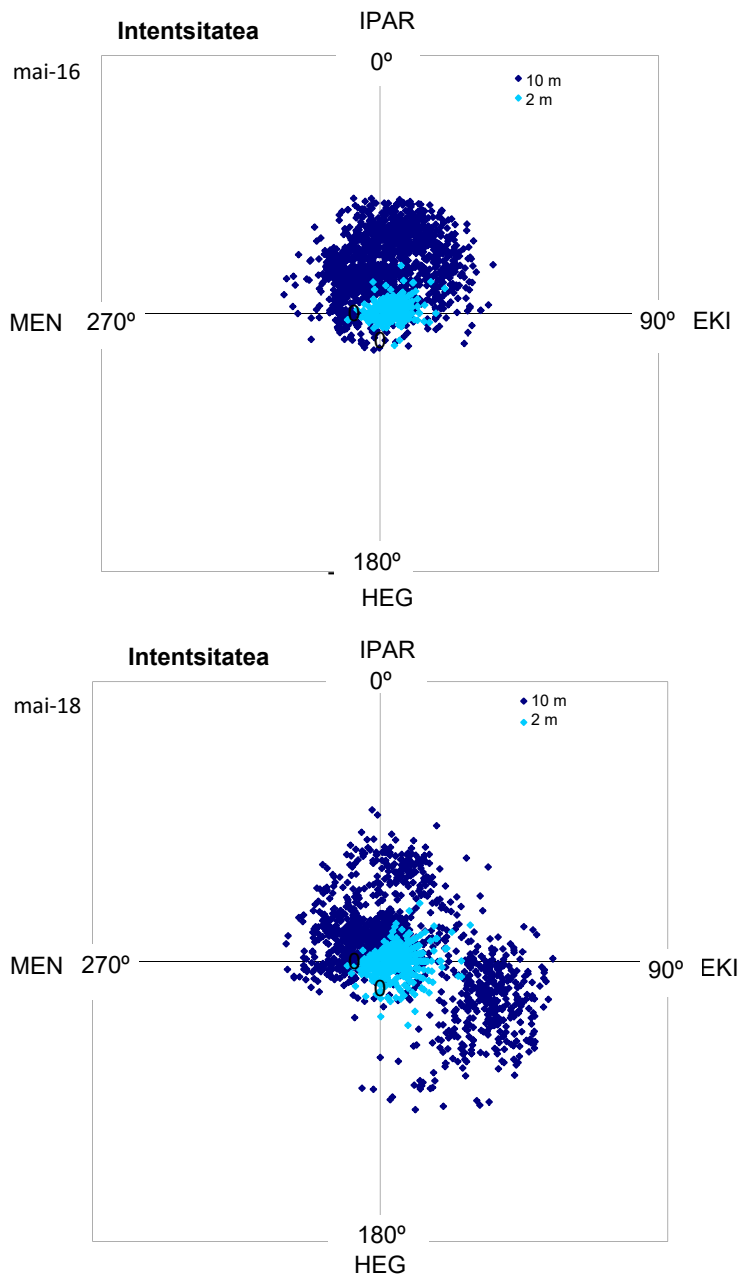
Temperaturekin batera aireztatutako ganbera barruan konbexio prozesuaren karakterizazio egokirako garrantzi handieneko beste parametroa airearen abiadura da. 4.74 Irudian neurriak ardatz zentrolean altuera desberdinetarako lortuta azaltzen dira. Heltzen diren gehienezko abiadurak nahiko txikiak dira, 0,15 [m/s]-aren ordenako, eta flotazio-prozesua garbi ikus daiteke fatxadaren gaineko eguzki-eragin maximoko uneetan. Altuerako 30 [cm]-etarako kokatutako puntuan neurtutako balioak nabarmendu behar dira, neurriak baino gehiagoko abiadurak gainerako altueretan erregistratzen diren tokian. Lagineko CFD-aren bitartez estudioko jada lortzen da zona honetan turbulentsiak produzitzen direla aireztatutako ganberarako airearen sarreraren efektuagatik, abiadurako profil irregularrak bereko sekzioan sor ditzakeena. Egoera honek abiaduraren handiagotzea azal dezake aipaturiko puntuan, abiadura-neurria puntuala dela elkartuta. Fenomeno hau aurrerago, modelatze-fasean, xehetasun gehiagorekin analizatzen da. Estudio-prozesuko puntu garrantzitsua kanpoko aireko abiaduraren efektua da aireztatutako ganbera barruan mugimenduan. 4.74 Irudian nola lortzen den maiatzaren 18an portaera anomaloa gainerako egunei buruz argi eta garbi ikus daiteke, irteera-zonako gehienezko abiadurako punta batez. 4.75 Irudian estazio meteorologikoak erregistratutako kanpoko aireko abiadurak erakusten dira, kokatuta altuerako 10 [m]-etara, eta laginaren kontra kokatutako anemometroaren bitartez, altuerako 2 [m]-etara, tipoa egun baterako, maiatzaren 16an, eta maiatzaren 18rako. Ikus daiteke nola gertatzen den 18an 10 [h]-etatik aurrera kanpoko aireko abiaduraren handiagotze bat, 10 [m/s]-aren ordenaren balio maximoetara helduz, 16arekin konparatuz haize-abiadura homogenea den egun gutzian zehar, gutxi gora behera, 6 [m/s]-a gainditzen ez dituzten balio maximoekin. Nola erregistratzen duen laginaren kontra kokatutako anemometroak oso beheko abiadurarik ikus daiteke ere, *EGUZKI*-a zelda bere kokapenean haizetik babestuta dagoelako. Egoera honengatik lagina haize-abiadura handietara gutxiago menderatuta dago, 4 [m/s]-a ez gaindituz, baina ikus daiteke nola eragiten dien haizearen efektuak oraindik entsegu-probetaren baldintzei hala ere.





4.75 Irudia – Maiatzaren 16an zeharreko kanpoko aireko abiadurak, tipoa haize-efekturik gabeko egun batean, eta maiatzaren 18rako, haize-efektua antzematen den egunean

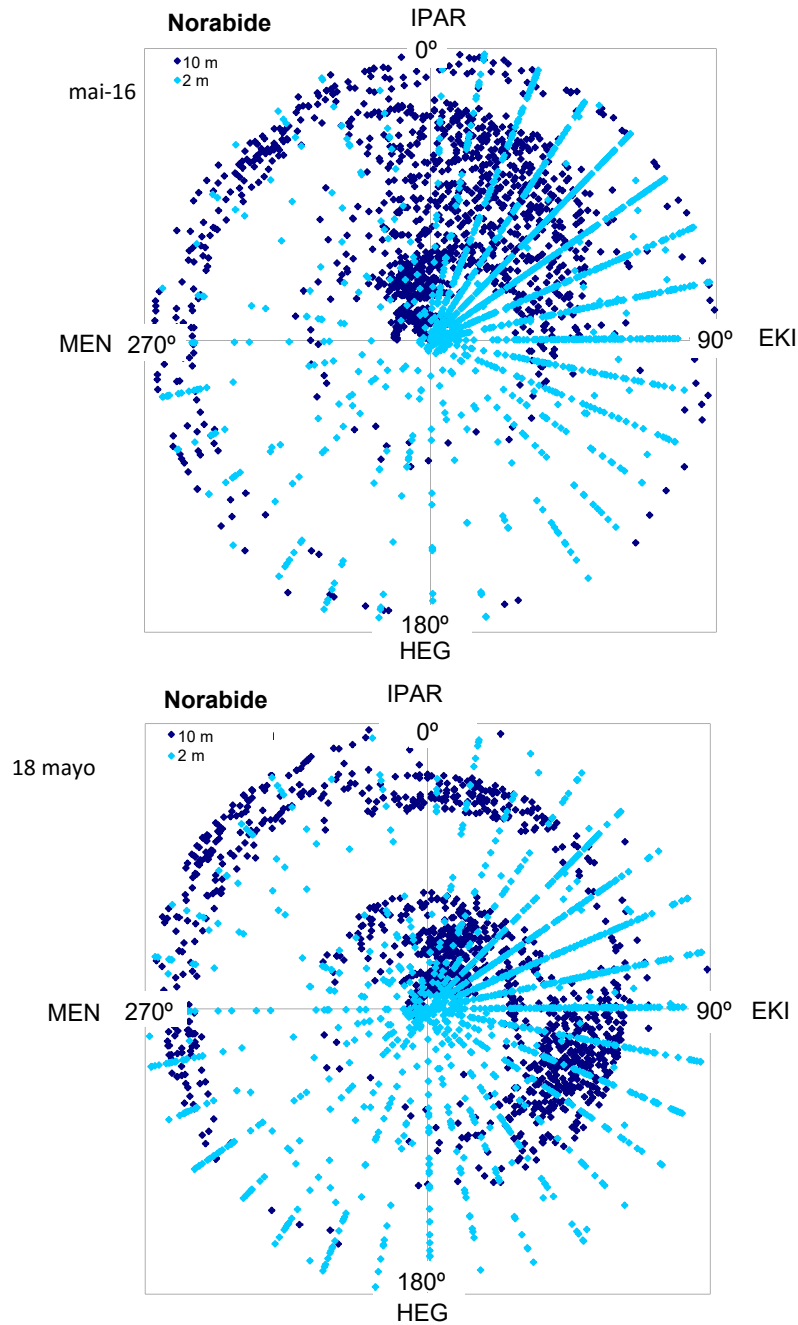
Haize-intentsitateaz gain eragiten dion beste parametroa norabidea da. 4.76 Irudian haize-intentsitatea norabidearen funtzioaz erakusten da. Grafiko honetan jatorriari buruz puntu bakoitzetik bereizteak abiaduraren modulua irudikatzen du une bakoitzean, eta puntua kokatzen da une horretan bereko haize norabideari buruzko koadrantean. 4.77 Irudian haize-norabidea denboran zehar erakusten da, hortaz jatorriaren hurbileko puntuak eguneko hasierako orduetara dagozkie, eta denborak aurrera egiten duen bezala puntuak kiribilean jartzen dira haizearen norabidearen jasotzen duen koadrantearen funtzioaz grafikoan zeharreko anti ordu-zentzuarekin. Honela norabide nagusia egunaren une bakoitzean ezagutzen da. Nola produzitzen den haize-abiaduraren handiagotzea ez soilik estima daiteke baizik gainera hego-ekialdea norabide nagusiarekin gertatzen da. *EGUZKI*-a zeldak hegoa orientazioa duela kontuan hartuz, haize-ezaugarri hauek zuzenki eragiten dute aireztatutako fatxada laginaren portaeran, konbekzio mistoko egoera sortzen denez gero, flotazio efektuari tenperaturagatik, konbekzio naturala, haizearen bultzada, konbekzio behartua, gehitzen dion. 16rako hala ere haize nagusiko norabidea iparra da, lagina erabat apantailatuta dago. Hau ohiko egoera da entseguen garapenean zehar. Ikus daiteke nola pasatzen den maiatzaren 18ko 14h-etatik aurrera norabidea berriro iparra izatera, nahiz eta haize-abiadura handia mantendu, eta nola duten berriro aireztatutako kameran/ganberan erregistratutako abiadurak konbekzio naturaleko patroia. Beraz, konbekzio-modeloen analisisian ez dira kontuan hartu antzeko egoerak gertatzen diren neurri-periodo hauetan, estudio-parametroei hein handi batean eragiten dietenez gero, konbekzio-prozesuak nahasten ari izango litzateke eta, eta estudioaren lehen parte honen helburua konbekzio naturaleko mekanismoaren karakterizazioa da.



4.76 Irudia Intentsitatea eta haize norabidea estazio meteorologikoan, 10 [m], eta laginaren kontran, 2 [m]

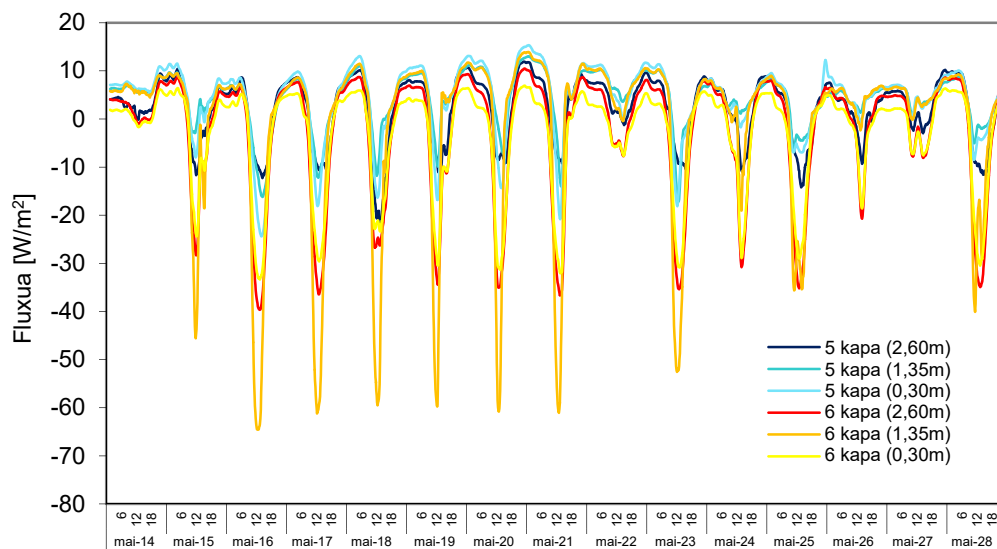
Jada esan da bero-fluxu puntualak erregistratzen direla aireztatutako ganberako azalaretan datu osagarri bezala, nahiz eta neurri hauek analisi zehatza eskatu interes handiko kontraste informazioa lortzea baimentzen dute. 4.78 Irudian lortutako balioak erakusten dira. Zeinu-irizpideari dagokionez, enplegatua mantentzen da entsegu gelaren itxiturako *tiles*-en bero fluxuaren neurrirako, positiboa irtenda eta negatiboa denean bero-fluxua sartune denean. Argi eta garbi ikus daiteke nola den eguzki-erradiazioa dagoenean aireztatutako fatxadaren kanpoko azalera beroko foku nagusia. Azalera hau 6 *kapa*, beroa ganberako aireari, konbekzioaz, hainbeste transmititzen diona da, eta erradiazioaz isolamenduko kanpoko azalerrako, 5 *kapa*. Hau estimatzen da isolatzaileko azalaren gainean ere neurtutako fluxua noranzkoa dela sartuna. Eta abiadurak eta tenperaturak bezala, bero-fluxuak aireztatutako ganberaren altuerarekin eboluzionatzen ari dira. Aireztatutako fatxada arinaren portaera xehetasun

gehiagorekin analizatzeko tipoa egun bat hartzen da, zehazki maiatzaren 16an. Garapena ikasten da lehen planteatutako aldagaien garaian zehar eta airearen portaera ebaluatzen da tenperaturako eta eguzki-erradiazioako ingurune-baldintzen funtzioaz ganbera barruan. 4.79 Irudian eta 4.80 Irudian aireztatutako ganbera osatzen duten azalaren tenperaturen bilakaera erakusten dira, 6 kapa zementuko plaka arineko azalera den, eta 5 kapa isolatzaileko kanpoko azalera den. 4.81 Irudian aireztatutako ganberako airearen tenperaturaren bilakaera erakusten da. Irudi-multzo honen goiko grafikoan kokatutako sentsoare bakoitzak lagineko ardatz zentrolean zehar erregistratutako tenperatura erakusten da.



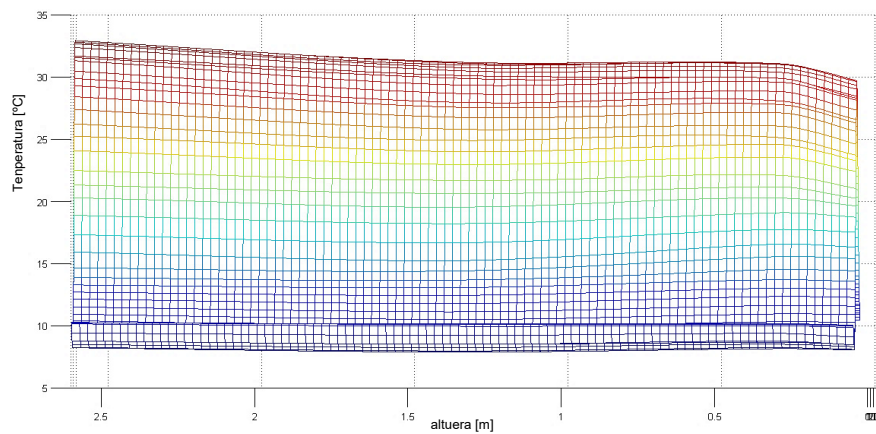
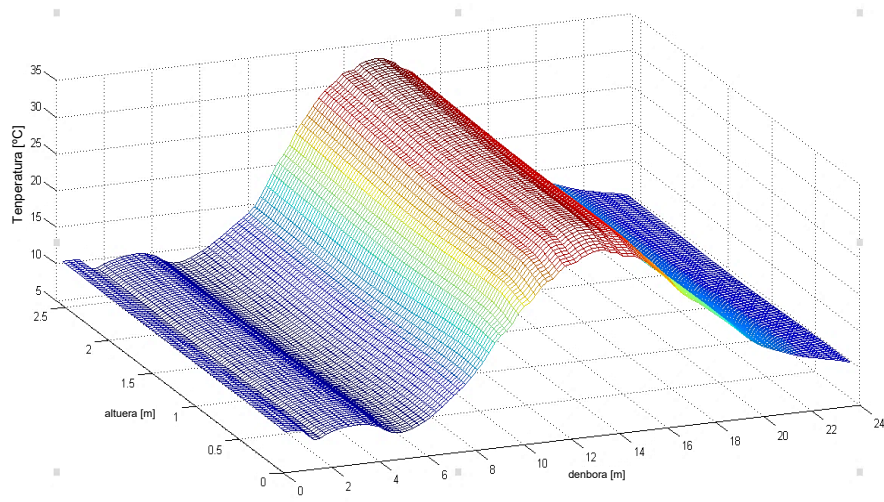
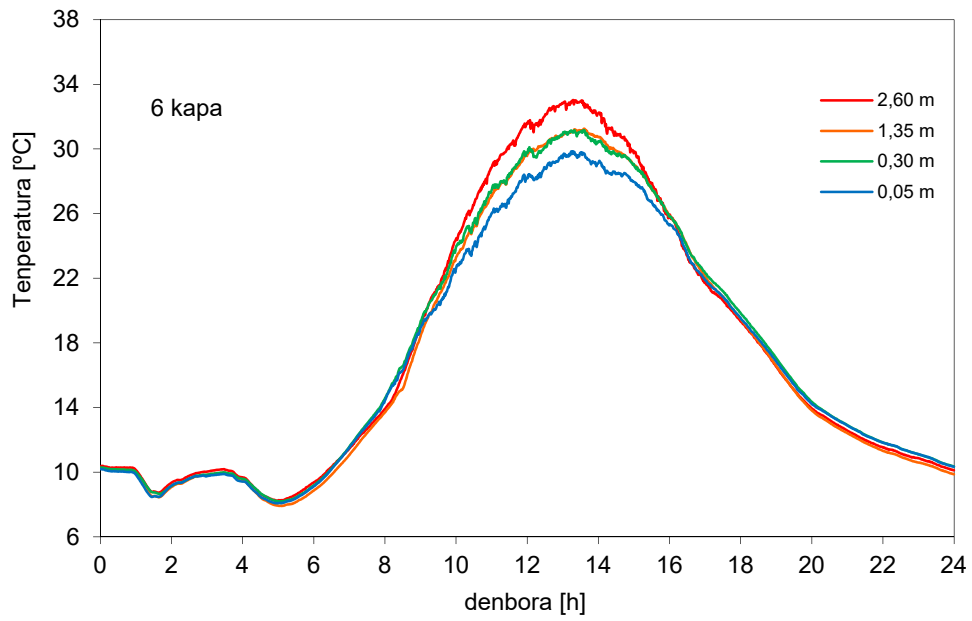
4.77 Irudia – Estazio meteorologikoan neurtutako denboraren funtzioaz haize norabidea, 10 [m], eta laginaren kontra, 2 [m]

Eta beheko irudietan tenperaturako bilakaera azalera denboran zehar erakusten da, aireztatutako ganberaren portaeraren bilakaeraren ideia argiagoa lortzea baimentzen duena. Ikus daiteke nola banantzen diren konbekzio naturaleko prozesua hasten denean tenperatura-profilak altuerarekin, eguzki-eragin orduetan zehar. Zementu-plakaren kasuan, material oso eroale eta inertzia gutxiarekin izaterakoan, tenperatura-gradiente txikia da,  $3,5^{\circ}\text{C}$ -etako bere balio maximoa izanez. Nola desagertzen den aire-sarreraren efektua arinean, behealdean, ikus dezake, eta tenperaturak bilakaera jarraitua erakusten du azalera gehiengan. Tenperatura-gradientearen handiagotze txikia irteeratik hurbil ikusten da, baina tamaina txikiko. Oso zerbait desberdina gertatzen da isolatzaileko zeinen gainean tenperatura-gradienterik handienak gertatzen diren azalera,  $6,3^{\circ}\text{C}$ -etako desberdintasun maximora helduz.

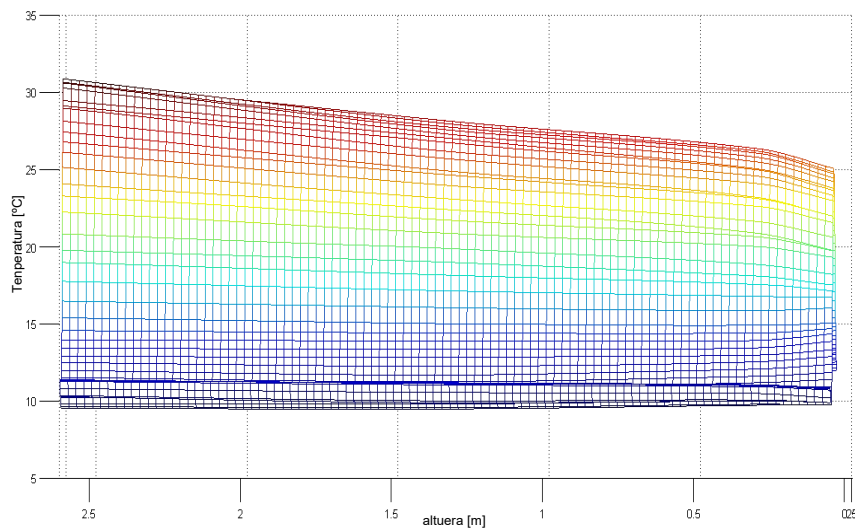
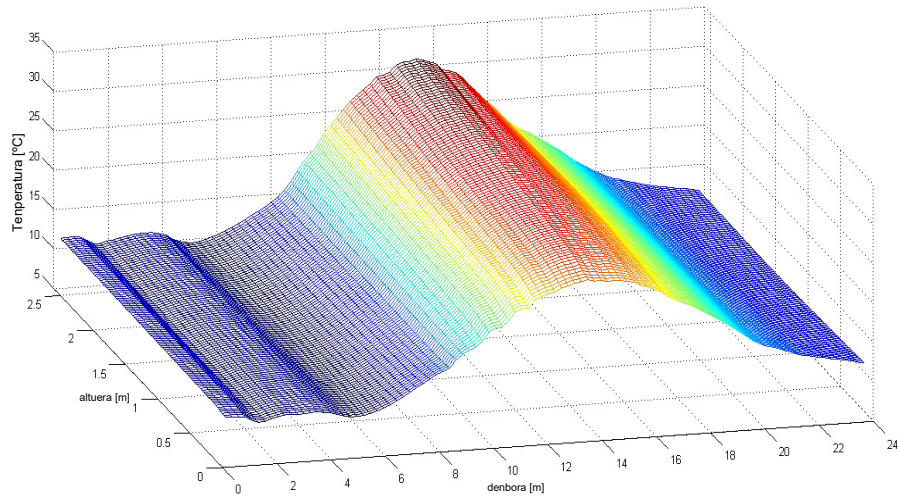
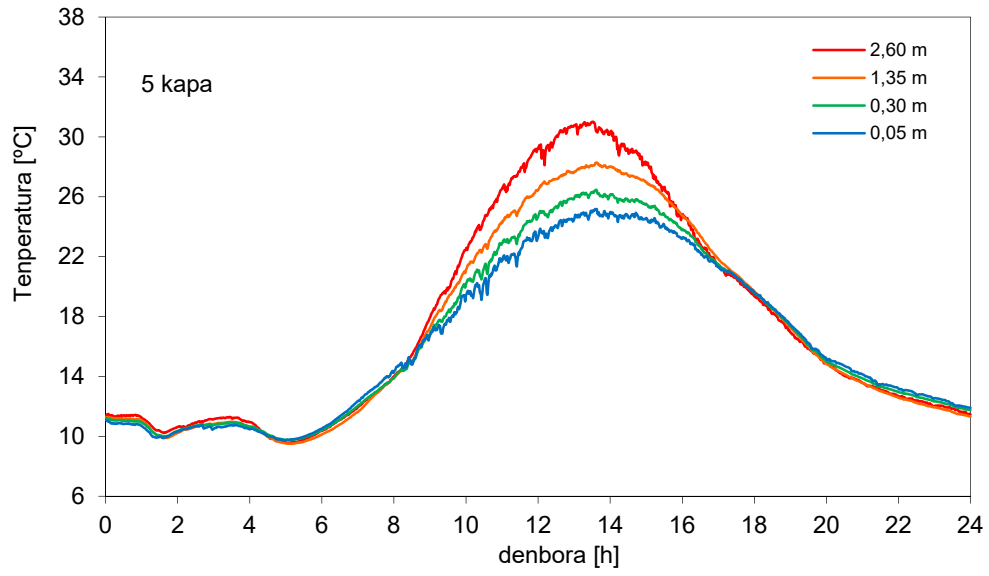


4.78 Irudia – Aireztatutako ganbera altueraren funtzioaz ardatz zentralerako osatzen duten azalaretan neurtutako bero-fluxu puntualak

Sarreraren efektuak altuera metro erdiko gutxiagotan eragiten jarraitzen du, baina gainerako azalera tenperatura-aldaketa adierazgarria da. Gradiente honek hein handi batean eragiten du tenperaturen definizioan zenbaki adimentsionalak konbekzio-prozesuaren estudioan kalkulatzeko. Aspektu hau 5 Kapituluko 5.2.3.1 atalean analizatzen da. Aireztatutako ganbera barruan airearen tenperaturen bilakaerari dagokionez, beroketa-piko bat sarrera-zonan eta gainerako altuerako bilakaera lineala ikus daiteke. Airearen tenperaturak ganbera barruan kanpoko tenperaturaren aurreko konparatzen badira ikus daiteke 5en eta goizeko 8aren artean ganbera barruan airea kanpokoan baino hotzago dagoela, beheanzko aireko fluxua irudikatzen duena. 4.82 Irudian tenperatura-desberdintasuna erakusten da fatxadaren behealdearen eta giko-zonaren artean bi azalaretarako eta ainerako ganberaren irteera puntuko airearen tenperatura desberdintasuna eta kanpoko airea aurrean. Argitasun handiagoarekin ikus daiteke tenperatura-saltorik handiena esperimintatzen duena isolatzaileko azalera dela, airearen gradientera aireztatutako ganbera barruan gehiago hurbiltzen dela. 4.83 Irudian konparaziozkoa erakusten da irteera-tenperatura saltoaren eta kanpoko airearen eguzki-erradiazioari buruz artean. Aireztatutako ganbera barruan tenperatura-saltoak eta airearen abiadura eguzki-erradiaziora jarraitzen duela ikus daiteke, zementu-plakak eratutako kanpoko orriaren inertzia gutxiagotiko desfase txikiarekin. 4.84 Irudian, goiko grafikoan, tenperaturetako zeharkako profila altuera erdira fatxadaren kapa bakoitzerako erakusten da.

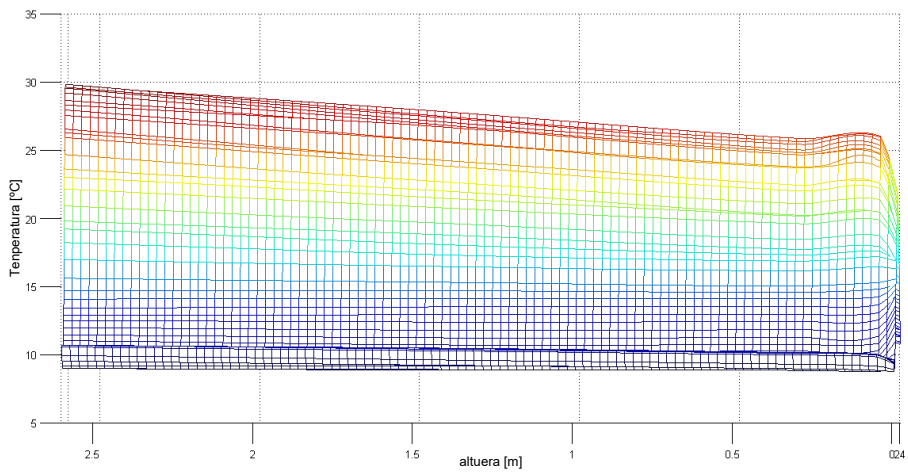
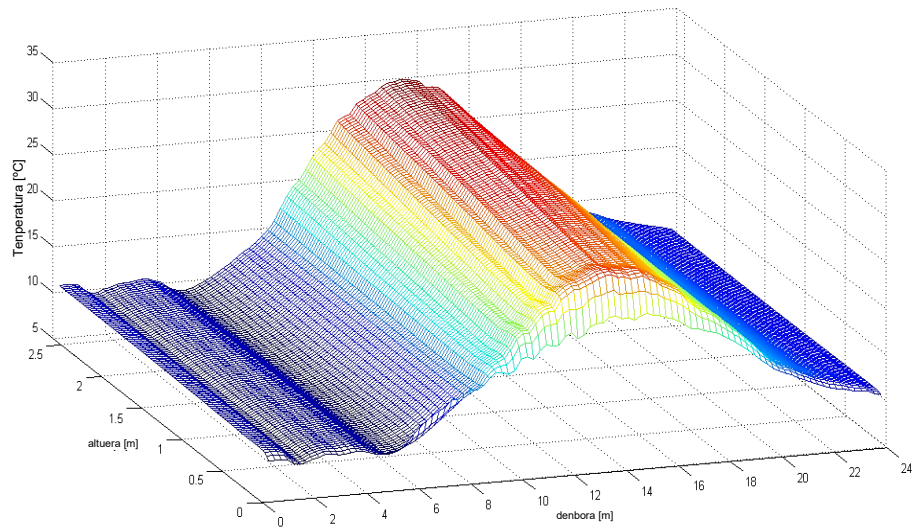
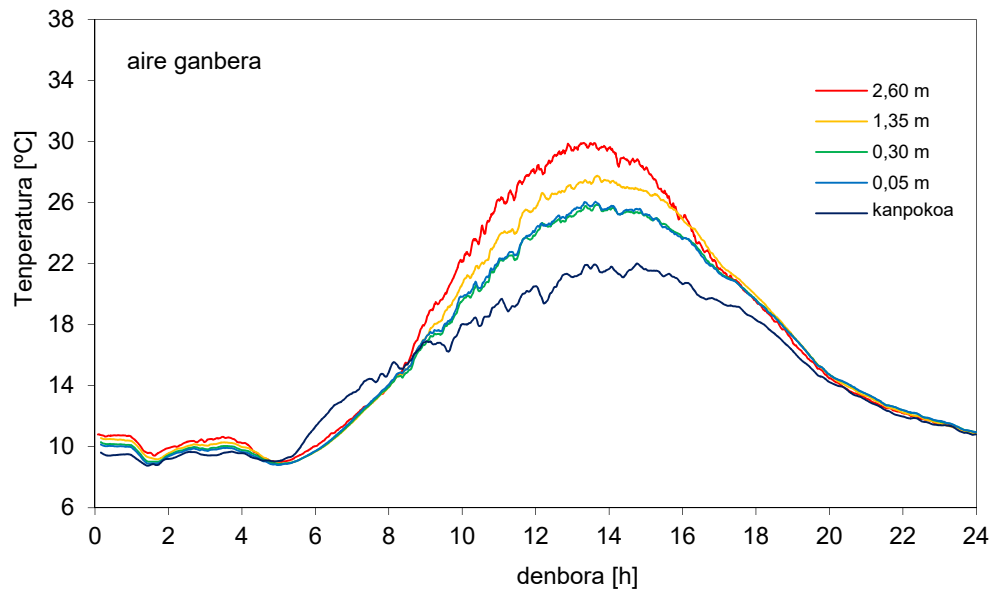


4.79 Irudia – Aireztatutako ganberako kanpoko azalerako temperatura, 6 kapa

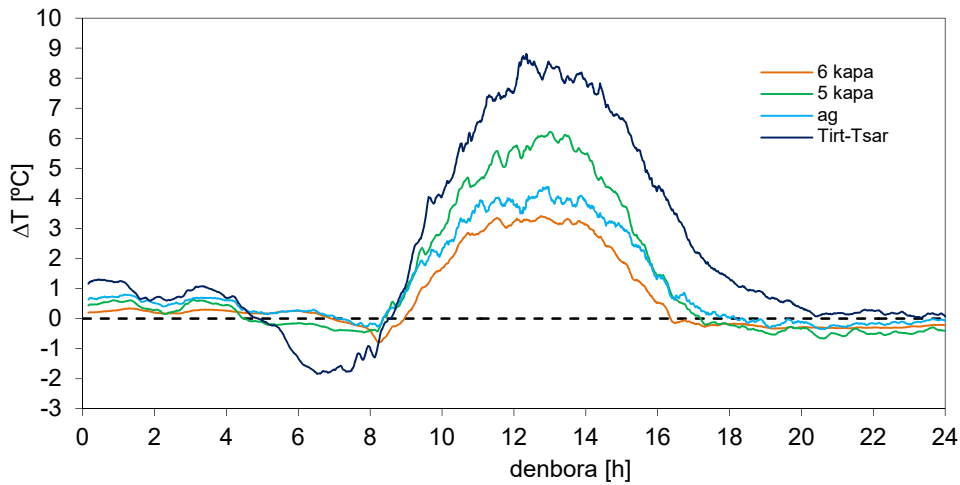


4.80 Irudia – Aireztatutako ganberako barruko azalerako temperatura, 5 kpa

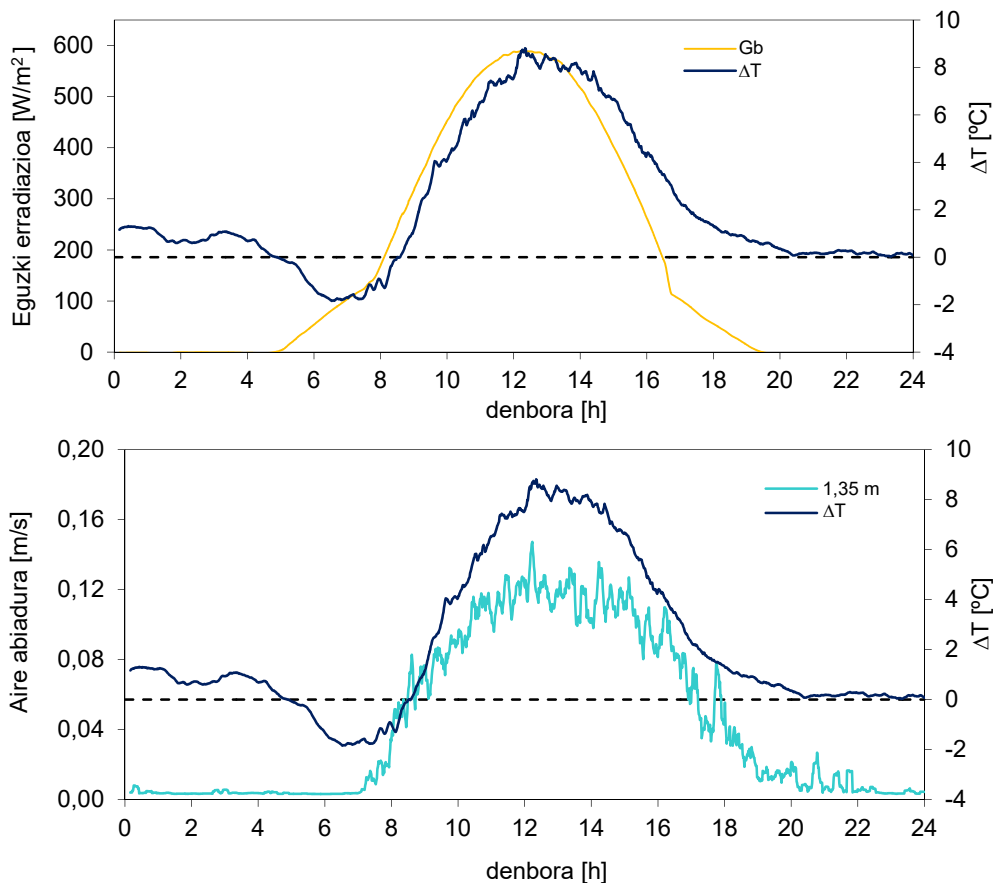




4.81 Irudia - Aireztatutako ganberako airearen temperatura



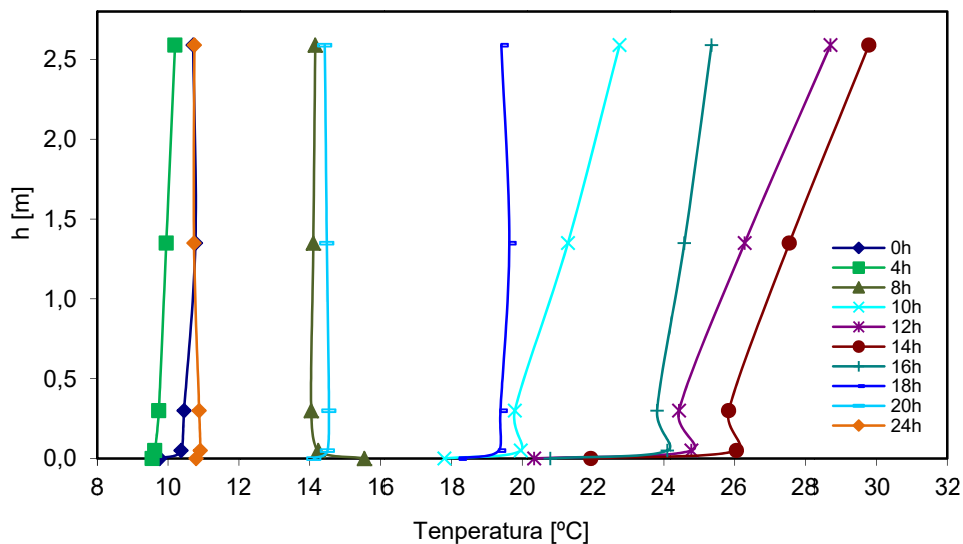
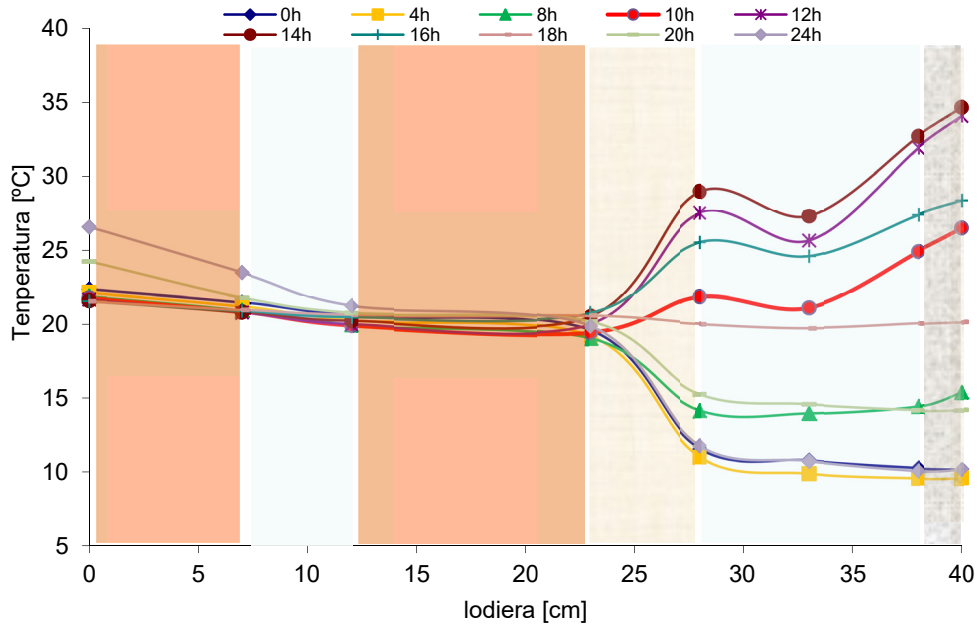
4.82 Irudia - Behealdearen eta goiko-zonaren artean temperatura desberdintasuna aireztatutako ganbera barruan eta kanpoko aireari buruz



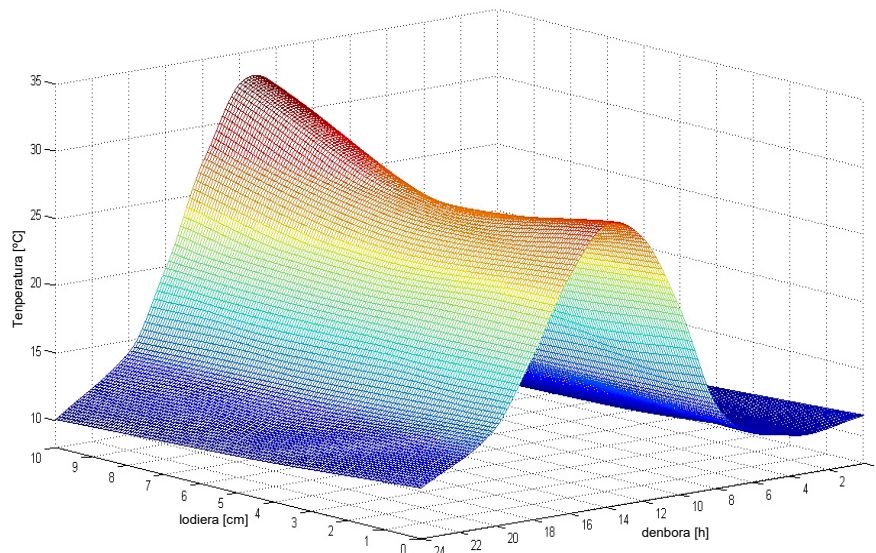
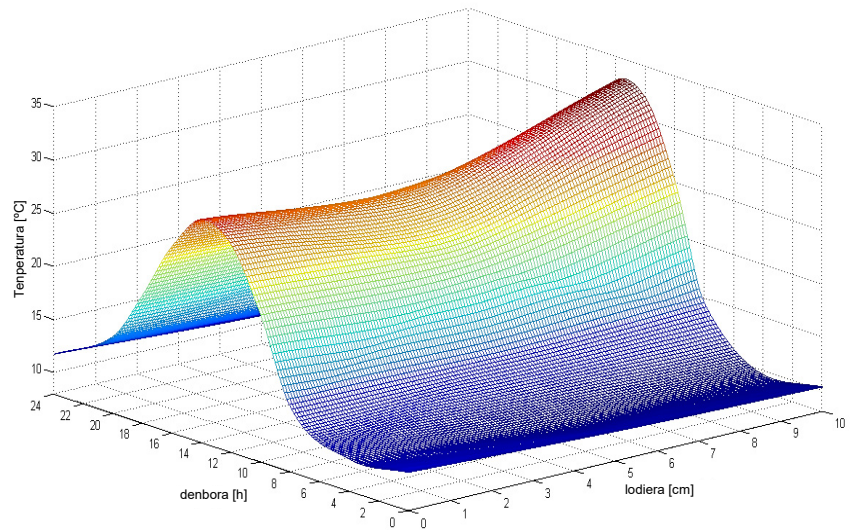
4.83 Irudia - Eguzki-erradiazioaren kontra aireztatutako ganbera barruan airearen temperatura desberdintasunaren bilakaera eta altuera erdirako airearen abiadura

Beheko grafikoan altueraren funtzioaz airearen temperaturaren bilakaera aireztatutako ganbera barruan erakusten da, egunaren une desberdinetarako. Ikus daiteke aireak gau-orduetan zehar, 0h eta 4h-eko kurbak, aireztatutako ganberaren altuera guztian ia temperatura bera duela, eta oso kanpoko airekora hurbila, nahiz eta nahiko goikoa. Zeharkako sekzioan temperatura-profila oso laua da, bai ganberako azalerek bai aireak hurbileko balioak dituzte haien artean. Punturik beroena isolatzaileko azalera

gertatzen da, periodo honetan zehar, gelako barnetik ekiten duen bero fluxuagatik. Egunsentiko orduetan zehar, 9h-etarainoko 5h-etatik, bizkor handitzen hasten da kanpoko airearen temperatura, baina zementu-orriaren inertzia-gatik, aire-ganberaren tenperaturak astiroago eboluzionatzen du, aire-fluxuaren mugimendua denbora-tarte honetan zeharreko beheranzko noranzkoarekin sortzen duena. Egoera hau argi eta garbi ikus daiteke 8h-aren temperatura-profiletan, tenperaturarik altuena zementu-plakakoa izatera pasatzen dela ikusten denean, eta ikusten den kanpoko azalera aire-ganberarekin kontaktuan barruko azalera buruzkoa baino altuagoa dela. 10h-etatik 16h-etaraino doazen kurbeetan aireztatutako ganberan temperatura-profil parabolikoa eraten dela airekoa baino gehiagoko temperatura duten bi azalerekin ikusten da. Zementu-plakakoa beroena izanez beroa trukutzen duela erradiazioagatik isolatzaileko azalarekin eta konbekzioagatik airearekin.



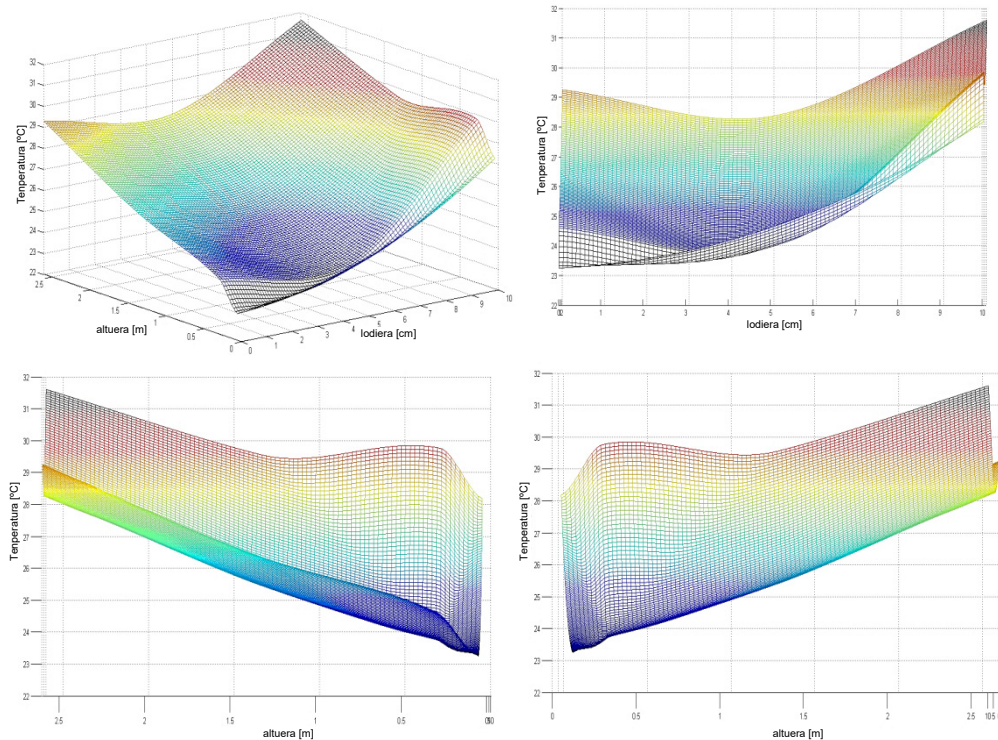
4.84 Irudia – Maiatzaren 16an zeharreko aireztatutako fatxada arineko lagineko temperatura profilak



**4.85 Irudia – Egunean zehar aireztatutako ganberaren puntu zentraleko temperatura profilaren bilakaera**

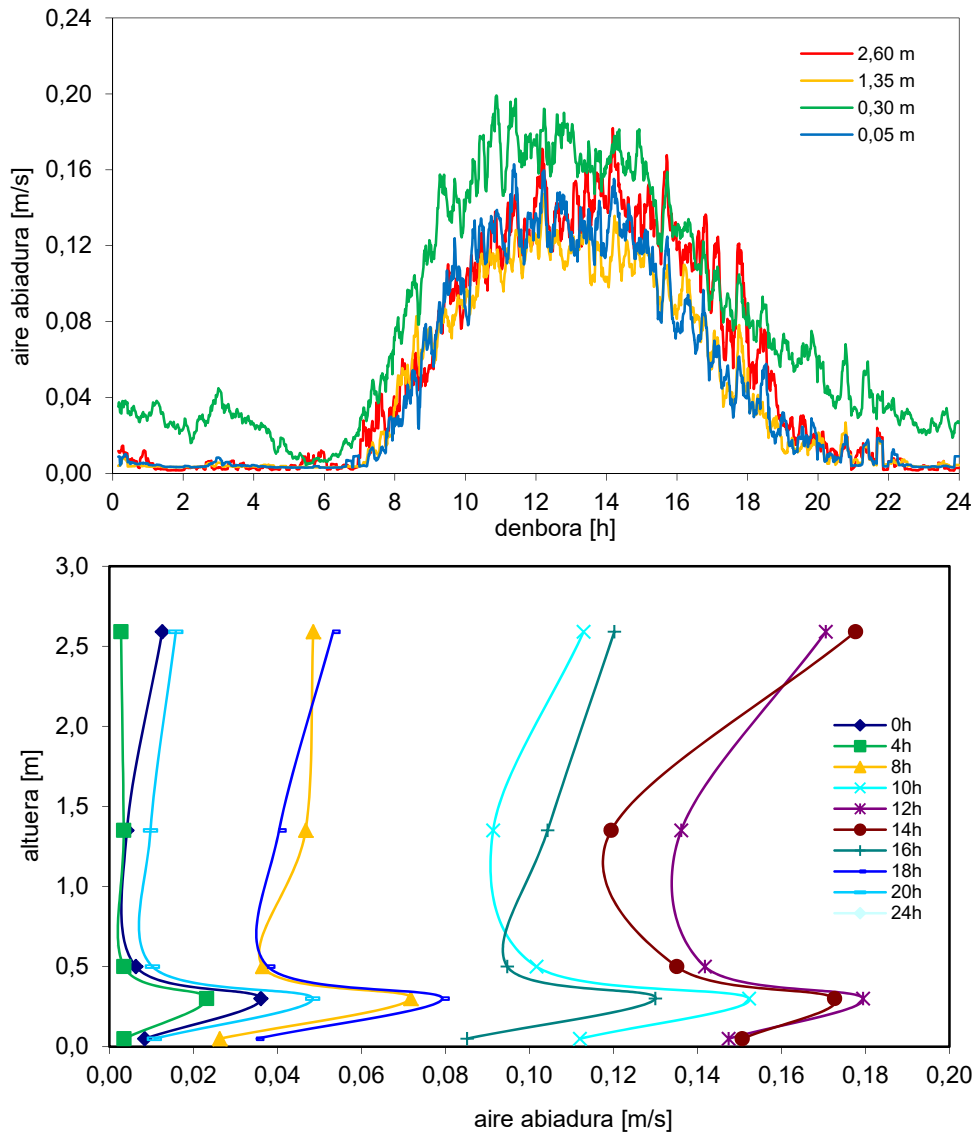
Artilearen tenperatura hormaren barruko tenperaturaren gainera igotzen da jasotako erradiazio energia honi esker, parte barnerantz errotuz eta gainerakoa aireari konbektzioagatik transmitituz. Beraz, aireztatutako fatxadetako ganberako bi azalaren arteko erradiazio mekanismoa funtsezko osagaia da haiek modelizatzeko orduan. Ikus daiteke ere altuerako profiletan aireak aireztatutako ganberaren sarreraren eta irteeraren arteko beroketa lineala esperimendatzen duela. Airearen lekualdatze abiadurarik handienak produzitzen direna periodo honetan zehar da. 18h-etako kurbak eta gerokoak, zeharkakoak eta altueran, tenperatura-profilak lau berrir bilakatzen dira, eta airearen abiadurak aireztatutako ganbera barruan txikiagotzen dira. Aire-ganbera barruan tenperaturen bilakaera hau ikus daiteke garbiago 4.85 Irudian, profila egunean zeharreko altuera erdira erakusten den. 4.86 Irudian zeharkako tenperatura-profilaren bilakaera altueran erakusten da, irteera-sekziorainoko sarreratik, 14h-en denbora unerako aire-ganbera barruan, tenperatura maximoetara heltzen diren unea. Lehen 50 [cm]-etan sarreraren efektua zeharkako profileen nabaritzen dela ikus daiteke. Tarte honetan zementu-azalera tenperaturarik handiena du, aireak jarraituta, eta punturik hotzena den isolatzaileko azalera.





4.86 Irudia - 14h-etarako aireztatutako ganberako altuerako temperatura profilaren bilakaera

Behin sarreraren mugimendu turbulentuaren efektua gaindituta profila paraboliko bilakatzen da airearen puntu zentralerako temperatura minimoarekin. Temperaturak analizatuta pasatzen da airearen abiaduraren portaera aireztatutako ganbera barruan ebaluatzerako, konbektzioan zuzenki koefizienteetan eta emari masiko zirkulatuazilean parte duen parametroa. 4.87 Irudian abiadura-kurbak erakusten dira laginaren altuerako lau neurri puntuetarako, goiko grafikoa, eta egunaren une desberdinetarako profilak, beheko grafikoa. 4.88 Irudian erregistratutako datuen bidez lortutako abiadura-azalera erakusten da, airearen abiaduraren portaeraren ikuspegi argiagoa ematen duela tipoa aukeratutako egunean zehar. Ikus daitekeenez gero aireztatutako ganbera barruan heltzen diren gehieneko abiadurak ez dute 0,2 [m/s]-ko baliorik gainditzen. Sarreraren efektua argi eta garbi markatzen da altuerako 30 [cm]-etarako kokatutako sentsorean lortzen den abiadurako puntan eta nola desagertzen den 50 [cm]-etatik aurrera sarrerak eragindako turbulenzien efektua. Analizatuz abiadura-profilen bilakaera ikus daiteke lehenean zehar gau-orduak, 4h-etarainoko 0h-etatik, airearen mugimenduko goranzko prozesua geldituz doa, oso balio txikiekin, ia balio gabeak, eta etengabeko altuerako profilaz. 8h-etatik aurrera nola handitzen diren abiadura-balioak ikus dezake, baina aireztatutako ganbera barruan airearen azelerazio gutxiarekin. 10h-en eta 16h-en artean abiadurako balio maximoetara heltzen dira eta fluidoaren fatxadaren beheko erdian bizkortzen dela ikusten da, minimora heltzen da zona zentralean, eta azkeneko irteera-partean berriro ere bizkortzen da. 18h-etatik hemendik aurrera abiadura-balioak berriro ere jaisten dira eta profila altueran lautzen da. Aireztatutako ganberako airearen eta azalereen temperatura balioei buruz neurtutako abiaduren erantzuna konparatuz erregistro desberdinen arteko koherentzia lortzen da. Egindako neurriak baliozkoak direla kontuan har daiteke eta aireztatuta fatxadaren portaera konbektiboa oinarri fidagarri bezala balio dute bereizteko garatzera modeloen estudiorako. Azkenik geratuko litzateke bero-fluxuko sentsore puntualei buruzko datuak ikuskatzeagatik.

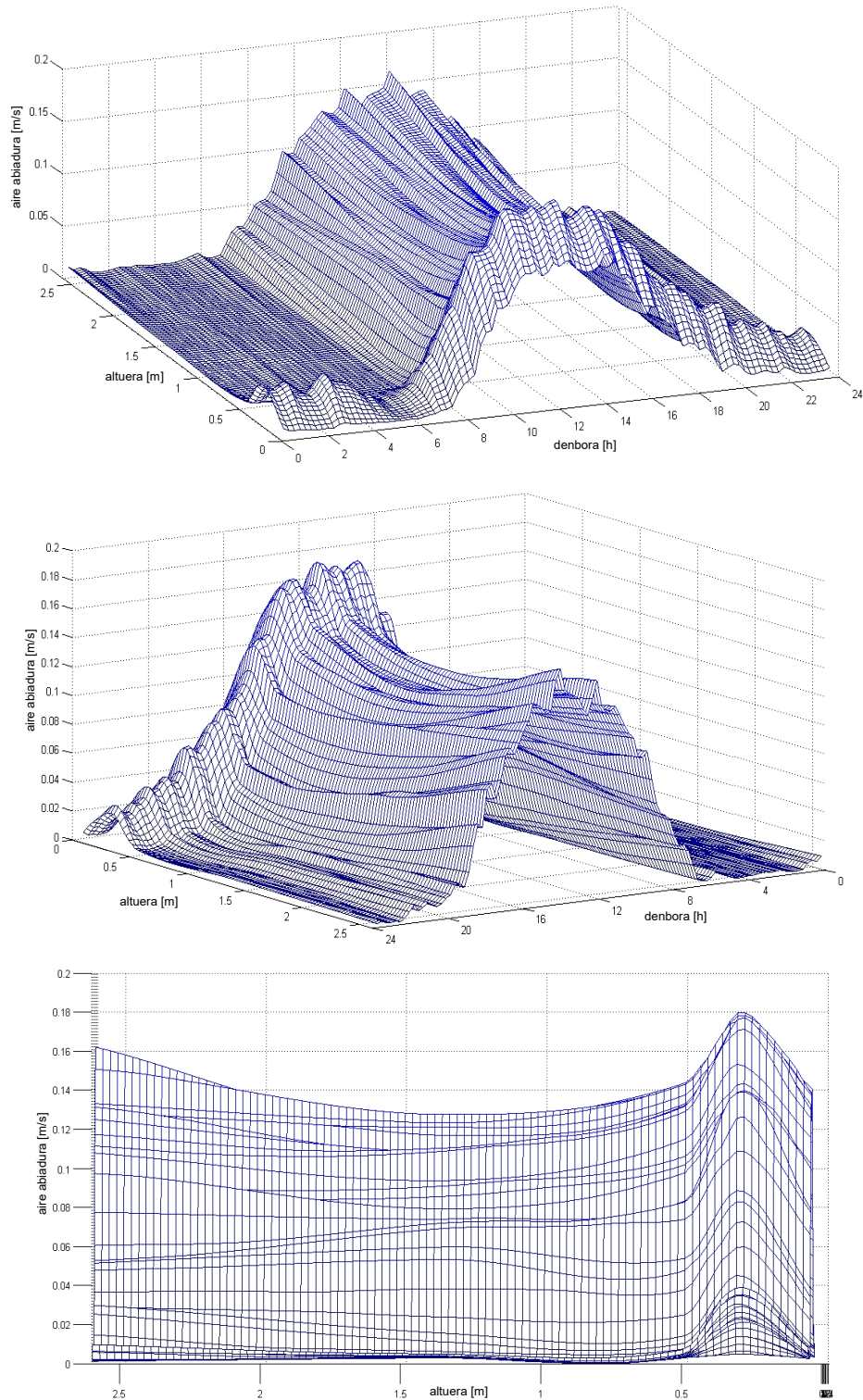


4.87 Irudia - Maiatzaren 16an zeharreko altueraren arabera aireztatutako ganberako airearen abiadura

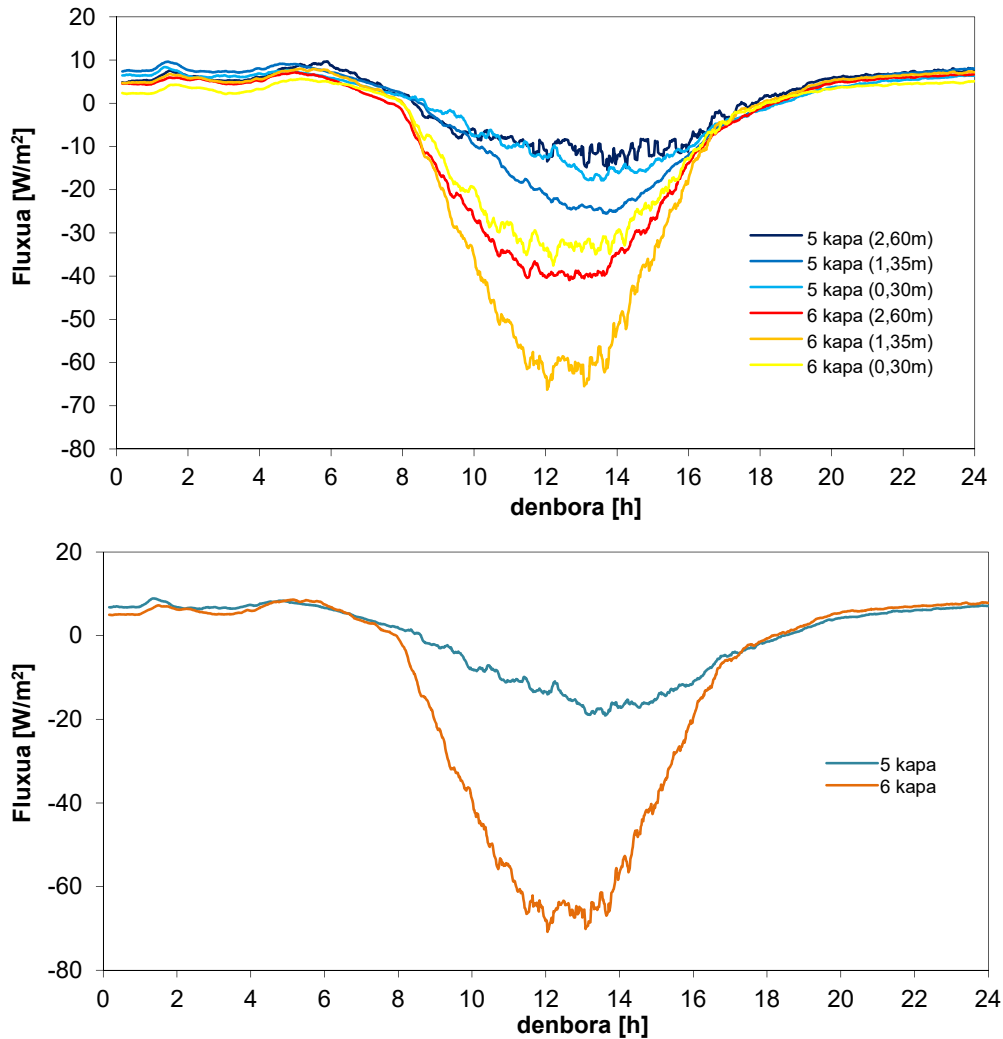
Jada esan da neurri honek ziurgabetasun-gradu altua duela beren kalibrazioak efektu konbektiboa ez duelako kontuan hartzen. Baina hala eta guztiz ere, datuak erabilgarriak izan daitezkeela modeloetatik lortzen diren emaitzak egiaztatzeko kontuan har daiteke. 4.89 Irudian aireztatutako kamerako|ganberako bi azaleretan neurtutako balioak erakusten dira. Ikus daiteke nola gertatzen den aldaketa trukaturako bero fluxuari dagokionez fatxadaren beroketa hasten duenean eguzki-eraginagatiko. Eguzki-eraginik gabeko lehen orduetan zehar fluxua irtengunea da isolatzaileko azalera eta zementu-azalerako sargunea, orduan, aireztatutako ganberako bero fokua isolatzaileko azalera da. Eguzki-beroketarekiko orduetan zehar hala ere noranzkoa alderantzikatzen da, eta zementu-plaka beroko foku igoera izatera pasatzen da. Periodo honetan zehar trukaturako bero fluxuen tamaina oso eguzki-erradiatzioren gabe periodoa baino gehiagokoa da. Altueraren arabera neurtutako balioak analizatuz, lortzen da zona zentralen erregistratutako balioak sarrera-zonan eta irteera-zonan neurtutakoa baino gehiagokoa dela, bi azalretarako. Portaera hau azal daiteke aire mugimenduko sekzio-aldaketa zonetan gertatzen diren desorekengatik eta fluximetro-en neurri zehaztasunari eragiten diotela. Azalera bakoitzean gertatzen den bero trukearen irudi argiagoa edukitzeko 4.89 Irudiaren



beheko grafikoan erabateko fluxuko azaleratik haztatutako estimazioa erakusten da. Kanpoko orria bero nagusiko fokua dela aireztatutako ganberan egiaztatzen eta emaitza koherenteak lortzen dira kapa bakoitzeko eta aireztatutako ganbera barruan aireko tenperatura batezbestekoekin.



4.88 Irudia – Maiatzaren 16rako aireztatutako ganberako altuerako abiadura profilaren bilakaera

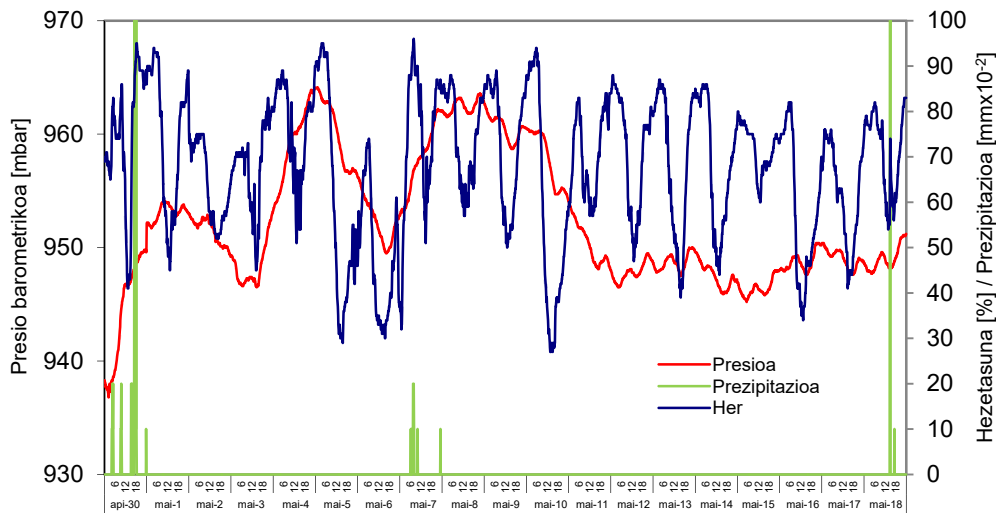


4.89 Irudia - Maiatzaren 16an zehar aireztatutako ganberako azaleretan neurtutako bero fluxua

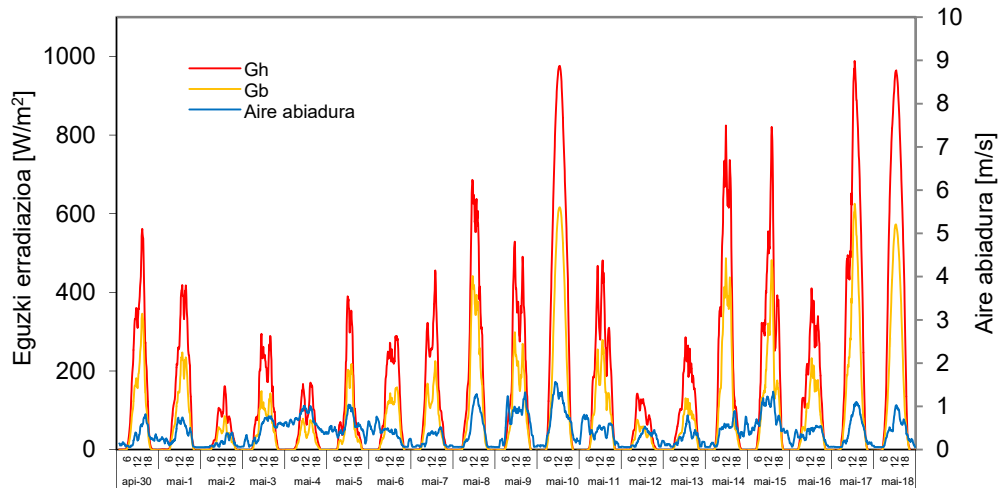
5 Kapituluaren 5.2.3.2 atalean, sentsore hauen baliotasunaren analisi zehatzagoa egiten da aireztatutako fatxada sistemetakoko bero trukearen karakterizazioarako. Behin aireztatutako fatxada arineko entseguren datuak analizatuta hurrengo atalean aireztatutako orri astuneko laginean lortutako emaitzak erakusten dira. Entsegu honek funtsezko informazioa ematen du inertzia termikoaren efektua fatxada-mota honen portaera energetikoan zehazteko.

### 4.2.3 Aireztatutako fatxada astuna

Aurreko kasuan bezala, entsegua bi periodotan banatzen da, haietako bat modeloaren definizioarako erabiltzen da eta beste periodoa kontrastea eta balidatzea bezala. Ondoren modelatze-periodoan zehar lortutako emaitza esperimentalak erakusten dira entsegu gelarako bi beroketa errutinak ematen diren, PRBS-a errutina lehenik eta behin ematen da, eta geroago ROLBS-a errutina aplikatzen da. Honela behe-maiztasuna aprobetxatzen da lagineko izaera inertziala egoki bereiztea baimentzen duela eta geroago goi-maiztasunen kontra portaera probatzen da. 4.90 Irudian eta 4.91 Irudian entsegua egiten den ingurune-baldintzak erakusten dira. Entseguak dirauen 19 egunetan zehar ingurune-baldintzen aldakortasun handia gertatzen da.

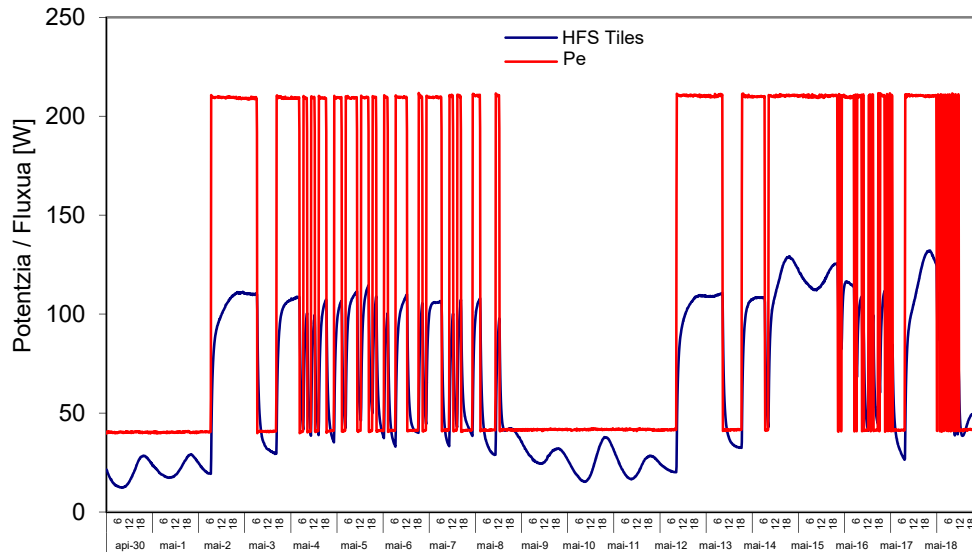


4.90 Irudia – Modelatze-periodorako aireztatutako fatxada astunarako entseguan zeharreko ingurune-baldintzak

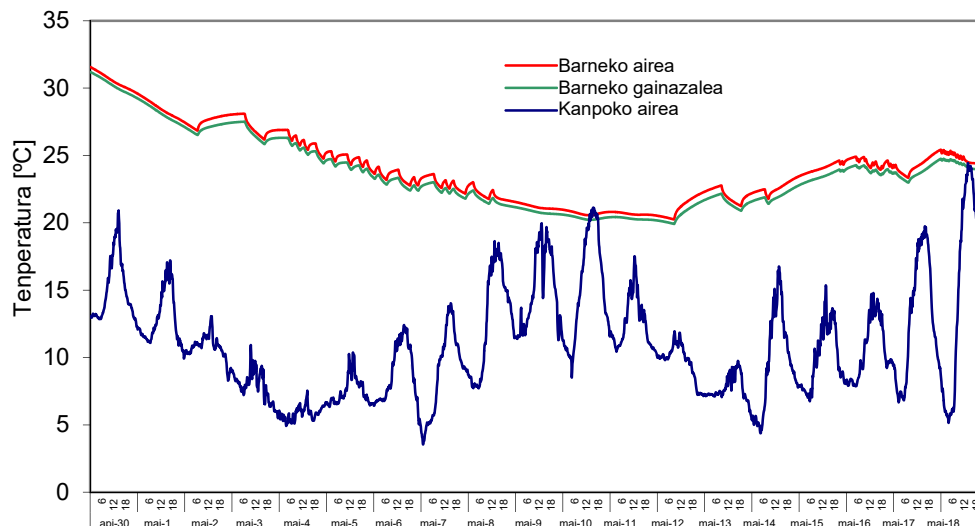


4.91 Irudia – Eguzki-erradiazioa eta haize abiadura aireztatutako fatxada astuneko modelatze entseguan zehar

Lehen parte bat dator presio baxuetako eta tenperaturetako egunekin eta euriekin. Lehen entsegu-egun hauetan zehar eguzki-eragina txikia da eta haize-abiadurak nahiko handiak dira. Ondoren gertatzen dira ingurune-tenperatura igotzen duen egun eguzkitsuko serie bat entsegu periodoa bukatzeko bi ingurune-baldintzak nahasten diren egunekin. 4.92 Irudian itxituraren fluxuaren ondoan entsegu gelan injektatutako asaldura errutina erakusten da. Berokuntza-potentzia 200 [W]-etara txikiagotzea erabakitzen da entsegua ireaupen luzeak zor izanda eta kanpoko ingurune-baldintza oneko aurreikuspen eragatik, gainberotzeak entsegu gelan saihesteko. 4.93 Irudian entsegu gelako eta kanpoko giroko tenperaturak erakusten dira. Bada gelako barnearen tenperatura altua nabarmentzea. Hau ondorio da aurrez lagineko egokitutakotako periodo bat egiten dela. 4.94 Irudian analisia ikus daiteke entsegua tenperatura baldintzen balidatzeko. Giroen arteko desberdintasun batezbestekoa 15°C-en ordenako da eta entsegu gela barruan tenperatura-homogeneotasuna zuzena da, barne aurreko entsegua baldintzak hobetuz, batez ere aire tenperatura-homogeneotasuna berokuntza-potentzia baxuagatik. Aireztatutako fatxada astuneko laginari buruz, 4.95 Irudian tenperatura batezbestekoaren bilakaera probetako kapetako bakoitzean erakusten da.

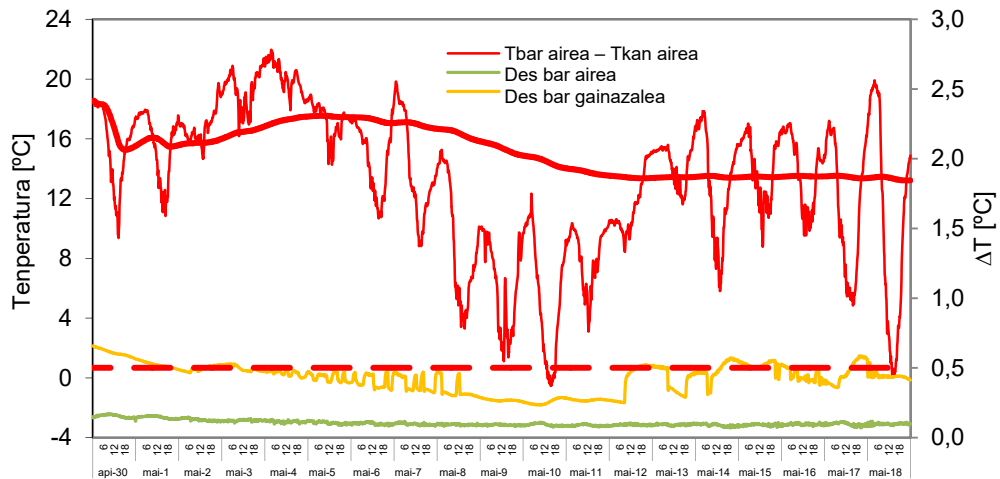


4.92 Irudia – Aireztatutako fatxada astunerako entsegu gelaren sartutako potentzia eta itxituraren bero fluxua

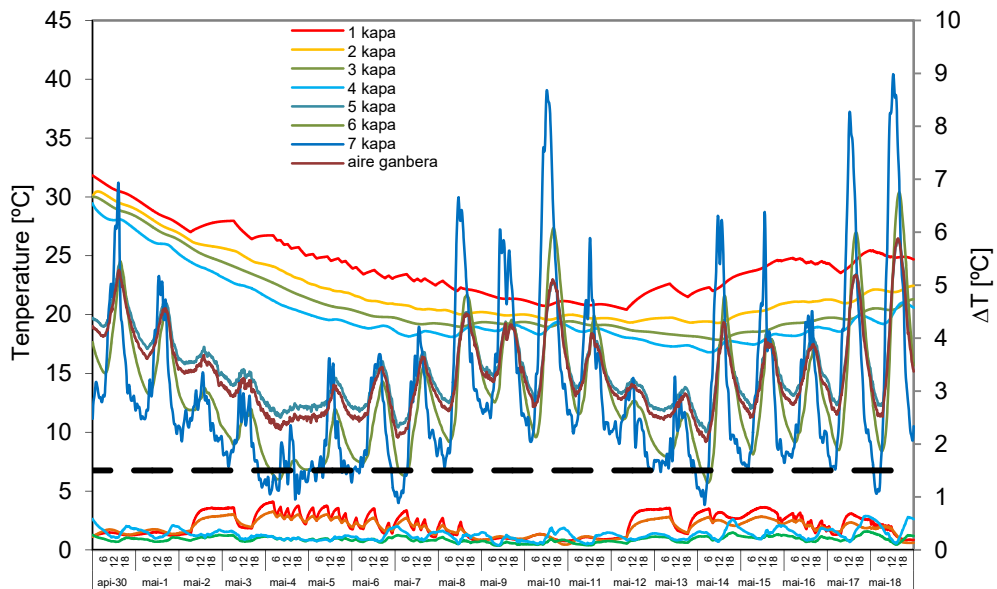


4.93 Irudia – Entsegu gelako eta ingurunea aireztatutako fatxada astunerako temperatura

Aurreko entseguan bezala, horma oinarriaren portaera, isolamendu termiko-kapa atzean, dimentsio bakarreko fluxuko baldintzetara hurbiltzen da, kapa desberdinetako azaleretan zeharreko gradiente termiko txikiekin. Hala ere bai desberdintasun argia aireztatutako ganberaren portaeran ikusten dela. Fatxada arinaren kasuan azaleretako eta aireko tenperaturak hurbilekoak ziren eta kanpoko ingurune-baldintzek primeran jarraitzen zuten. Fatxada astunaren kasuan ikus daiteke 7 kapak, kanpoko azalera, jarraitzen diola eguzki-aria kanpoko asaldurari, baina 6 kapak, aireztatutako orriko barruko azalera, desfasea eta moteltzea ditula inertzia termiko handiagatik. Eta beraz, isolatzaileko eta barne-aireko azalaren temperaturek aipaturiko kaparen tenperaturara jarraitzen dute. Egoera honek portaera termiko desberdinean eragiten du. Hau tipoa eguneko analisiko xehetasun gehiagorekin ikusten da geroago egiten den. Beroko fluxu puntualei dagokienez, fatxada arinaren egindako estudioko, 5.2.3.2 atalean erakusten dela, lortzen da aireztatutako ganberan kokatutako fluximetro-en neurria ikusten dela truke erradiatiboak hein handi batean eraginda.



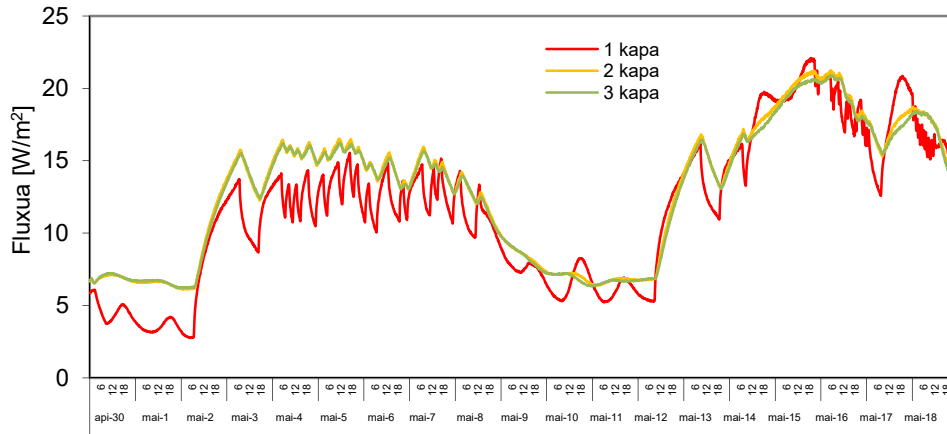
4.94 Irudia – Giroen arteko temperatura desberdintasuna eta homogeneousutasuna baldintzen aireztatutako fatxada astunerako entsegu gelan



4.95 Irudia – Aireztatutako fatxada astuneko laginaren temperaturak

Sentsore hauek ez diote balio erantsia ematen karakterizazio esperimentalari, eta aireztatutako ganberako espazio libre txikiagatik haiek hurrengo entseguetan ez sartzea erabakitzen da. Beraz, horma oinarriko barruko kapei buruzko fluxu puntualak erregistratzen dira soilik. 4.96 Irudian aipaturiko balioak erakusten dira. Oinarrizko horma aurreko beroketako aldi/periodo batetik datorrela ikus daiteke, entseguaren lehen erdian zeharreko barneko azaleretako fluxuak, 2 eta 3 *kapa*, igeltsuko azaleran, 1 *kapa*, baino igoago direnez gero. Geroago portaera gainerako aurreko entseguetakoaren antzekoagoa ikusten da, nahiz eta desfasea bero-fluxuaren transmisioan estimatu, honek aireztatutako orriaren inertiaren beste adibide esperimentalari irudikatzen du. Ertz-efektuak laginean egiaztatzeko 4.97 Irudian fluxu puntualak barruko azaleran, 1 *kapa*, neurtuta azaltzen dira puntu zentrala eta bi ertz-zonetarako. Zona zentrolean neurtutako fluxu batezbestekoa  $11,33 \text{ [W/m}^2\text{]}$ -ko da. Ingurune-baldintzak aireztatutako fatxada arineko entseguan zehar gertatzen direnen antzekoak direla kontuan hartuz, eta giroen arteko temperatura desberdintasuna aireztatutako fatxada astunaren kasuan txikiagoa dela, portaera hoztaileagoa frogatzen du. Ertz-zonari dagokionez, fluxu batezbestekoa  $11,48 \text{ [W/m}^2\text{]}$ -ko da, eta

11,72 [W/m<sup>2</sup>]-ko izkina zonan, % 1,3 eta % 3,4rekin desberdintasunaren, hurrenez hurren dagoena. Hasiera batean, honek ertz-efektuen eragin txikia ekartzen du probetaren portaeran, txikiagoa barne aireztatutako fatxada arinean baino. Behin entsegu-baldintzak baliozkotuta aireztatutako ganberaren portaera ebaluatzerat pasatzen da konparaziozkoa fatxada arineko entseguan zehar lortutako portaerari buruz kontuan hartuz.



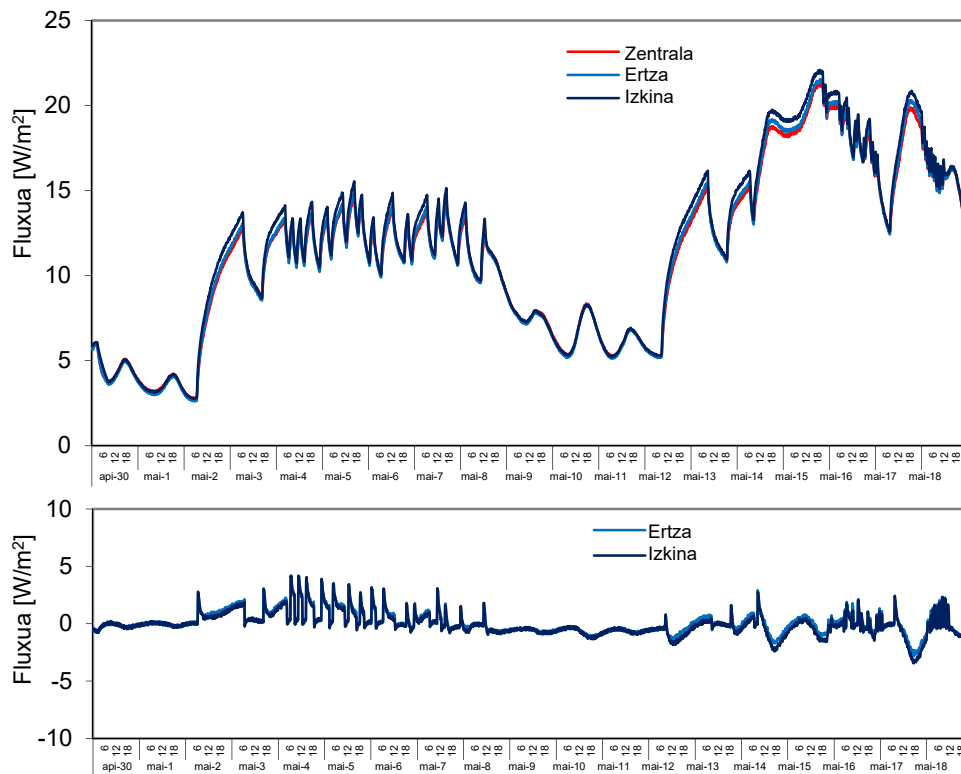
4.96 Irudia – Aireztatutako fatxada astuneko laginaren oinarritzko hormaren zona zentrolean neurtutako bero-fluxu puntualak

4.98 Irudian tenperaturak erakusten dira bi azaleretan eta aireztatutako ganberako airean ardatz zentralerako eta altuera desberdinetara. Aireztatutako ganberaren portaeraren hainbat alderdi fatxada arinean neurtutakoen desberdin ikus daitezke. Batetik, egun-gau zikloak motelduta ikusten dira kanpoko orriaren inertiagatik, 6 kapako grafikoan ikus daitekeenez gero, aireztatutako fatxada arineko kapa berari buruz. Eta moteltze hori eramaten da aireztatutako ganbera barruan airearen eta isolatzaileko barruko azalerako tenperaturetara. Honek aireko eta barruko azalerako portaerari buruz kanpoko azaleraren portaeran desberdintasun handiagoa produzitzen du. Hau kapa bakoitzaren batezbestekoa tenperatura-grafikoetan hobeto estimatzen da. 4.73 Irudian ikus daiteke nola jarraitzen dioten fatxada arinean aireztatutako ganberaren tenperaturek oso portaera berdinari, fatxada astunaren kontra, 4.95 Irudia, isolatzaileko azalerak orri astuneko baina oszilazio gutxiago dituen, eta ganbera barruan airearen portaera isolatzaileko azalerara hormigoiorrikora baino gehiago hurbiltzen da. Efektu hau aire-ganberaren lodierako aldaketagatik sortzen da ere, kanpoko orriaren inertzia termikoagatik gainera.

Bestalde, aireztatutako ganberaren altuerako beroketa desberdina da. Fatxada arinean ikus daiteke nola gainjartzen diren gau-orduetan zehar neurri-puntu guztiak, eta tenperatura-gradienteak nabaritzen dira eguzki-eragin orduetan zehar, eta mailakakoak dira. Hala ere, fatxada astunerako, tenperatura-homogeneizatzerik ez da gertatzen gau-periodoetan zehar, tenperatura-gradienteak altueraren funtzioaz mantentzen dira baizik, handiagoak izanez barne eguneko periodoetan zehar baino. Gainera, ikus daiteke beheko tenperaturak, 0,05 [m] eta 0,30 [m]-etarako kokatutakoak, haien artean hurbiltzen direla, eta salto bat goiko tenperaturei buruz gertatzen da, 1,35 [m] eta 2,60 [m]-etara, haien arteko balio hurbilak aurkezten dituztela ere. Hortaz tenperatura azkarreko aldaketa gertatzen da aireztatutako ganberako sarrera zonan, eta handiagotzea gainerako fatxadan zehar askoz txikiagoa da. Balio maximoak desfasatuta daudela denboran ikus daiteke ere, arratsaldeko orduetarantz heltzen dira, fatxada arinaren kontra, eguerdiko orduetan heltzen ziren. Efektu hau kanpoko orriaren inertzia termikoaren adierazgarria da eta fatxadak trukaturako karga

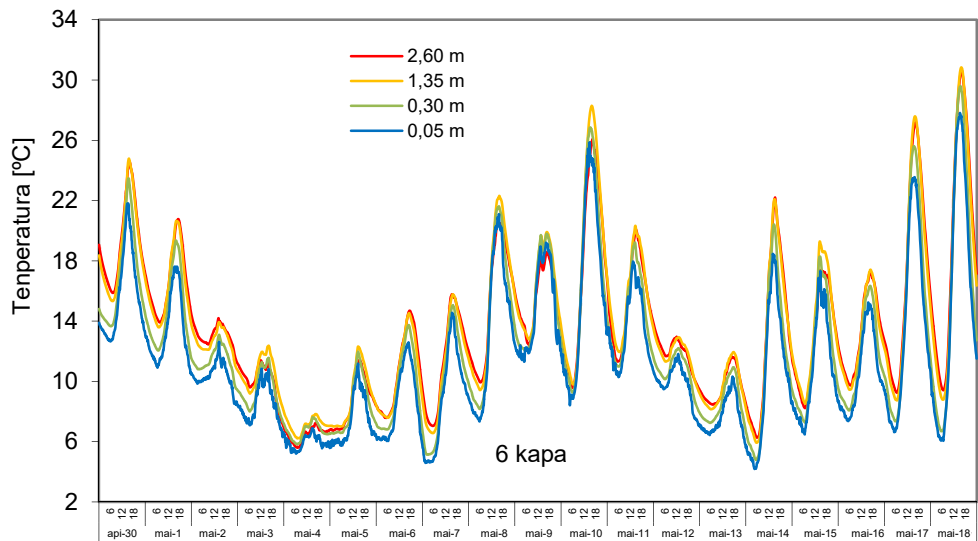
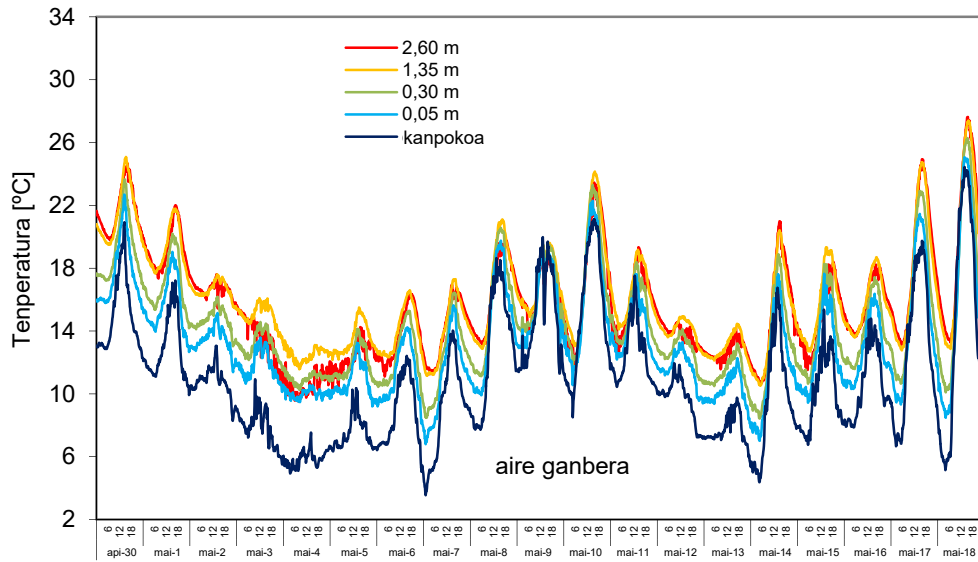
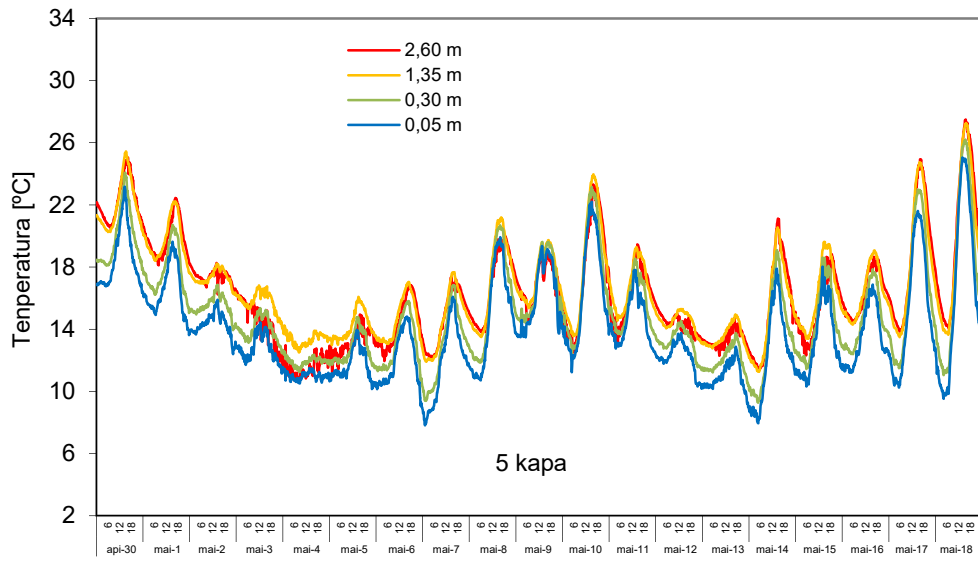


termikoen gaineko eragin garrantzitsua du. 4.99 Irudian aireztatutako ganbera barruan gertatzen diren tenperatura saltoak erakusten dira, azaleretarako eta airerako.

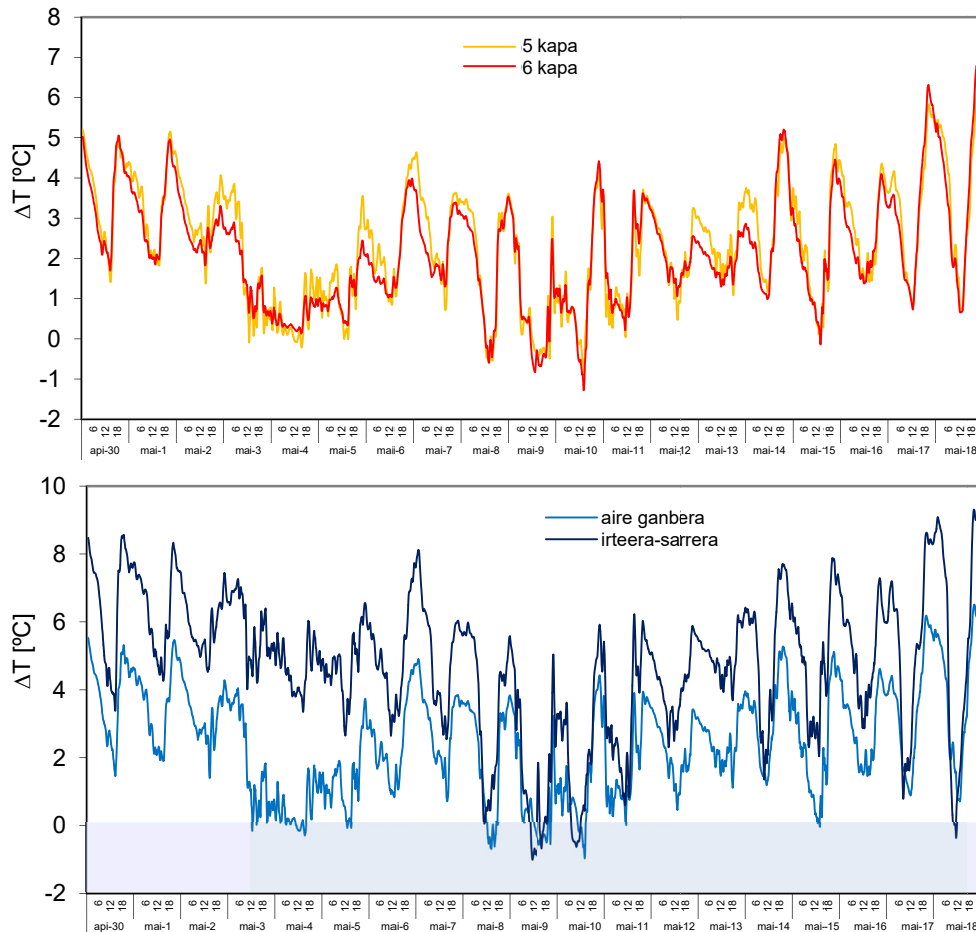


4.97 Irudia – Aireztatutakofatxada astuneko laginerako barruko aurpegiko, 1 hapa, azalerako fluxuak

Tenperatura-salto minimoa denboran zehar mantentzen dela ikus daiteke, eta desberdintasuna artean minimo hau eta balio maximoak txikiagoa da fatxada arinaren kontra, eguzki-erradiaziorik gabeko periodoetan zehar tenperatura-saltorik ez dagoen eta bizkor gradiente maximoetara heltzen dira. Aireztatutako ganbera barruan aireko gradienteari dagokionez, 4.99 Irudiaren beheko grafikoan portaera fatxada arina aurkezten duenetik bereizten dela ikus daiteke. Garbiaren, lagineko goiko-zonaren irteera baldintzen kanpoko ingurune-baldintzetatik, eta zehazki aireztatutako ganbera barruan gertatzen den tenperatura saltoaren arteko bereizkuntza handiagoa gertatzen da. Lortzen da sarrera-zonak efektu garrantzitsua duela airearen beroketan, nahiz eta bere efektua altueran mugatuta dago. Airearen tenperatura saltoen analisitik lortzen den beste interes adierazleari dagokionez, aireztatutako ganbera barruan fluxu inbertsio periodoak, itzalezatzean erakusten dira zerrenda urdinagatik. Ikus daiteke nola, fatxada arinari buruz, zeinean aldizka egunsentiko orduetan zehar produzitzen zuen airearen mugimendu zentzuaren aipaturiko inbertsioa, ia fatxada astuneari egoera hau ez da sortzen, entseguko egun zentraletan izan ezik, ingurune-tenperaturaren jaitsiera garrantzitsua gertatzen den. Entsegu honetan, ardatz zentralaren tenperaturez gain, aire-ganberan jarritako termopilak emandako informazioa edukitzen da. Termopila honek zehazki neurtzen du sarrera-sekzioaren eta irteera-sekzioaren artean gertatzen den tenperatura-salto garbia, eta beraz, hura ardatz zentralako saltoarekin konparatuz lagin-garraiatailearen alboko ertzen efektua aireztatutako fatxada probetaren portaeran kuantifikatzea baimentzen du. 4.100 Irudian konparaziozkoa bi neurrien artean erakusten da. Ikus daiteke tenperatura-saltoa aireztatutako ganbera barruan bereizteko bi baliabideek portaera berdindina ematen dutena, termopilak neurtutako saltoak nahiko behekoak izanez.

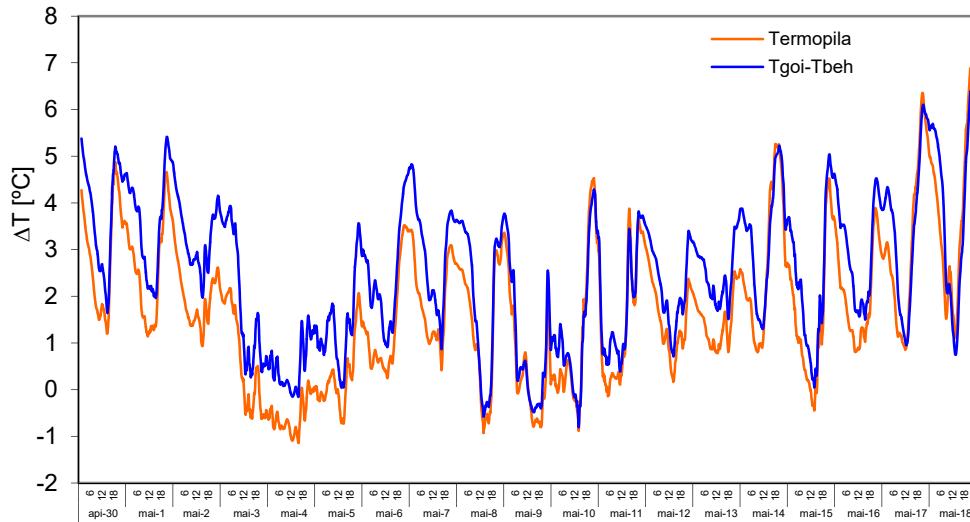


4.98 Irudia – Fatxada astuneko ganbera aireztatutako laginaren ardatz zentralerako altuerako temperatura

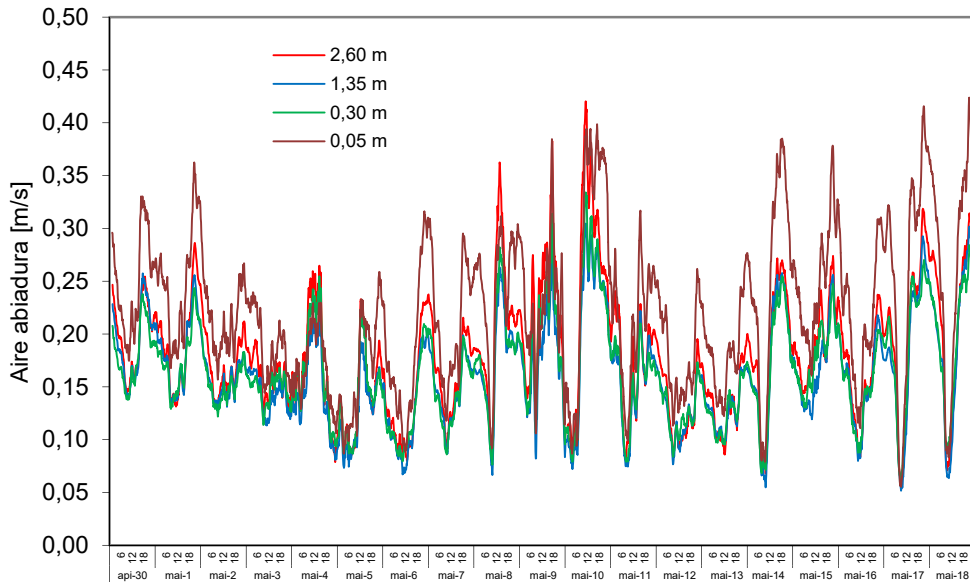


4.99 Irudia – Behealdearen eta goikoaren arteko temperatura desberdintasuna bi azaleretarako eta aireztatutako ganberako airerako fatxada astunean

Portaera honek espero zen, lagineko alboko ertzetan aire-mugimendua txiki ikusten denez gero. Baina bi kurbeen arteko desberdintasun batezbestekoa  $0,77\text{ }^{\circ}\text{C}$  da, eta beraz iritz daiteke probetako ertzak lagineko zona zentralaren portaera konbektiboari ez zaizkiola eragiten ari, eta beraz, entsegua baliozkoa da aireztatutako fatxadaren portaera termikoa bereizteko. Behin temperaturak analizatuta, interes handiko hurrengo parametroa airea aireztatutako ganbera barruan bere mugimenduan heltzen den abiadurak dira. 4.101 Irudian lau termoanemometro presten irakurgaiak fatxada astuneko laginaren gainean erakusten dira. Hainbat aspektu analizatu behar dira aireztatutako bi fatxaden arteko portaerari buruz. Lehena abiadura-balioak dira. Fatxada astunaren kasuan  $0,4\text{ [m/s]}$ -ko ordenaren abiaduretara heltzen dira, fatxada arinean heldutako maximoak tolestean dituzten balioak. Fatxada astuneko aire-ganberak  $3,5\text{ [cm]}$ -ko lodiera duela kontuan hartu behar da, arineko  $10\text{ [cm]}$  kontran, hau faktore garrantzitsua da aireztatutako ganbera barruan abiadura-eremuaren garapenean, eta bereziki, funtsezko faktorea da abiaduraren moduluan. Eta gainera, abiadurako balio baliozkoak ez da gertatzen, fatxada arinean gertatzen bazen bezala, baizik aitzitik, aire-mugimendua aireztatutako ganbera barruan beti dago,  $0,1\text{ [m/s]}$ -ko ordenaren abiadura minimoekin. Analizatzeko bigarren aspektua portaera altueraren arabera da. Abiadura maximoa sarrera-puntuan heltzen da,  $0,05\text{ [m]}$ -etarako kokatutako zundaz dagoen puntu behekoagora, eta gainerako altueretan hurbileko balioak haien artean lortzen dira. Fatxada arin kontran, gehienezko abiadurak produzitzen zuenean apur bat sarreraren ondoren,  $0,30\text{ [m]}$  altueran.

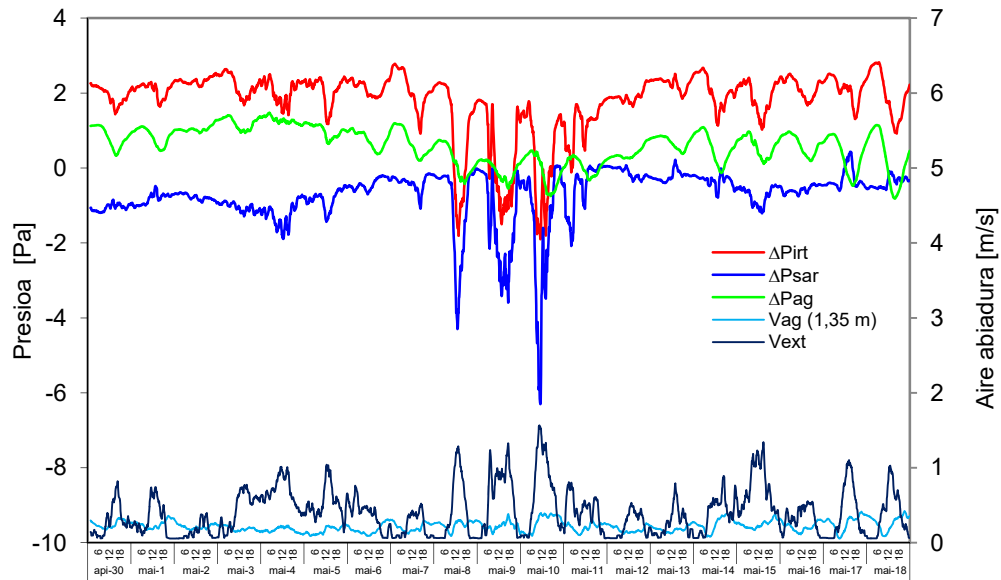


4.100 Irudia – Aireztatutako aire-ganberako termopilak eta lagineko ardatz zentralen jarritako zundek neurtutako temperatura saltoa

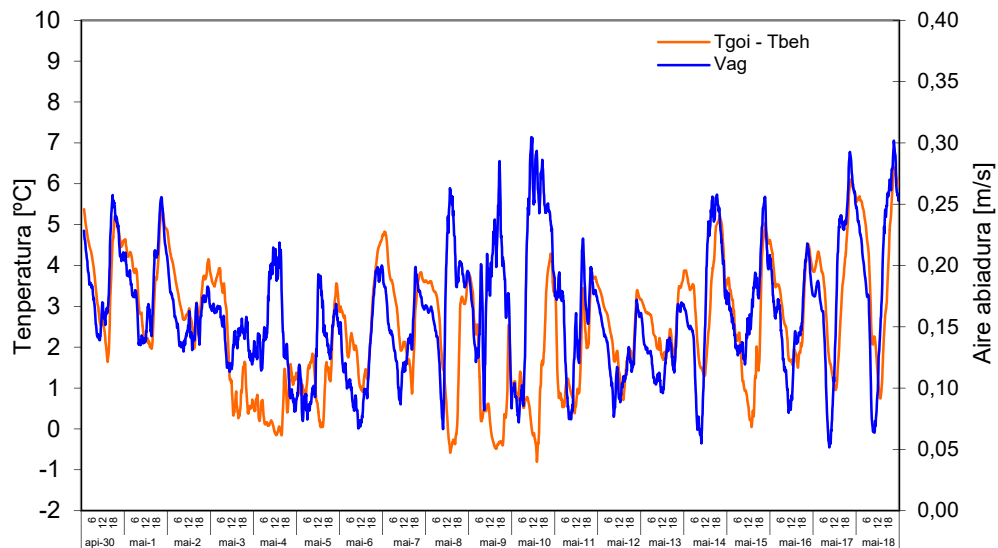


4.101 Irudia – Fatxada astuneko altuerako ardatz zentralerako aireztatutako ganberako aire abiadurak

Portaera hau aireztatutako ganberaren sarrera geometriarekin eta beraren lodierarekin lotuta dago erabat. Eta azkenik, analizatzeko hirugarren aspektua agitazioa da, fatxada arinaren abiadura irakurgaiak seinalean zarata handiagoa dutela suma daiteke, zehazki neurri-tresneriagatik ez den zarata, baizik eta aireztatutako ganbera barruan airearen mugimenduaren aldakortasuneragatik. Hau modelatze-faseko xehetasunarekin analizatzeko aspektua da eta aireztatutako ganbera barruan fluxu tipologiaren estudioan ere, fluxu laminarririk sortzen ari den edo erregimen turbulento baldintzetara heltzen diren zehazteari begira. Bero-truke prozesua aireztatutako ganbera barruan baldintzapean jartzen duena. Fatxada arinaren estudioan bezala, kanpoko haizearen efektua ebaluatzen da aireztatutako ganbera barruan mugimendu konbektiboan, konbektzio-prozesua mistoa den egun haiek estudiotik ateraz. Efektu hauek analizatu ahal izateko entsegu honetan informazio gehiago edukitzen da. 4.102 Irudian presio diferentzialeko probetan jarri diren sentsoeren irakurgaiak erakusten dira.

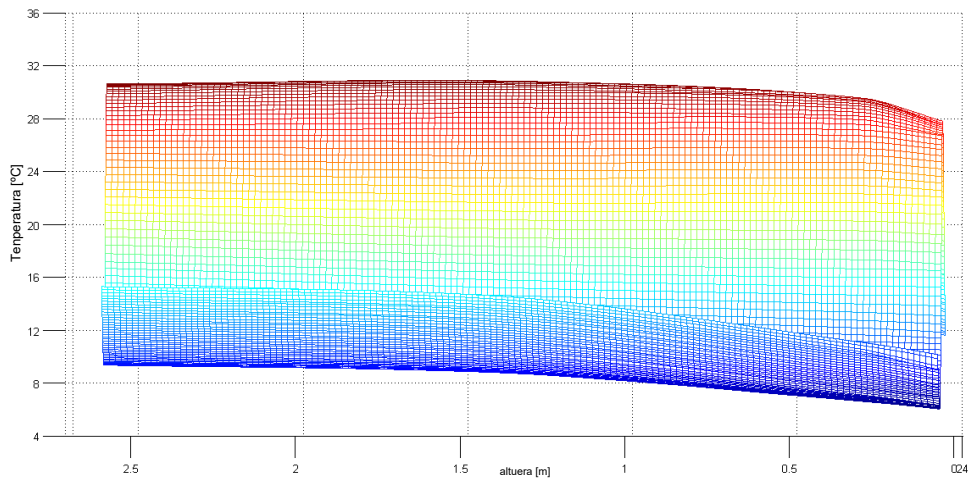
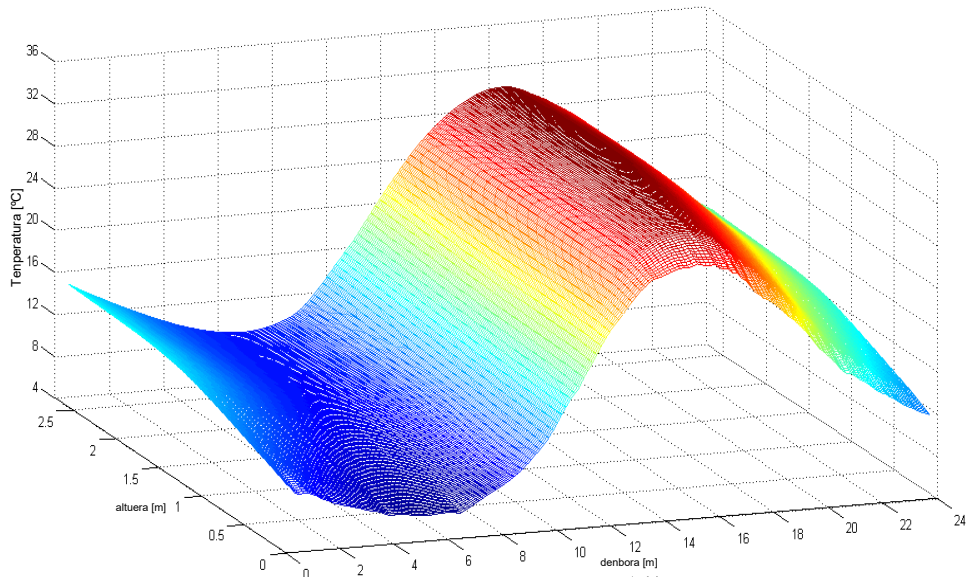
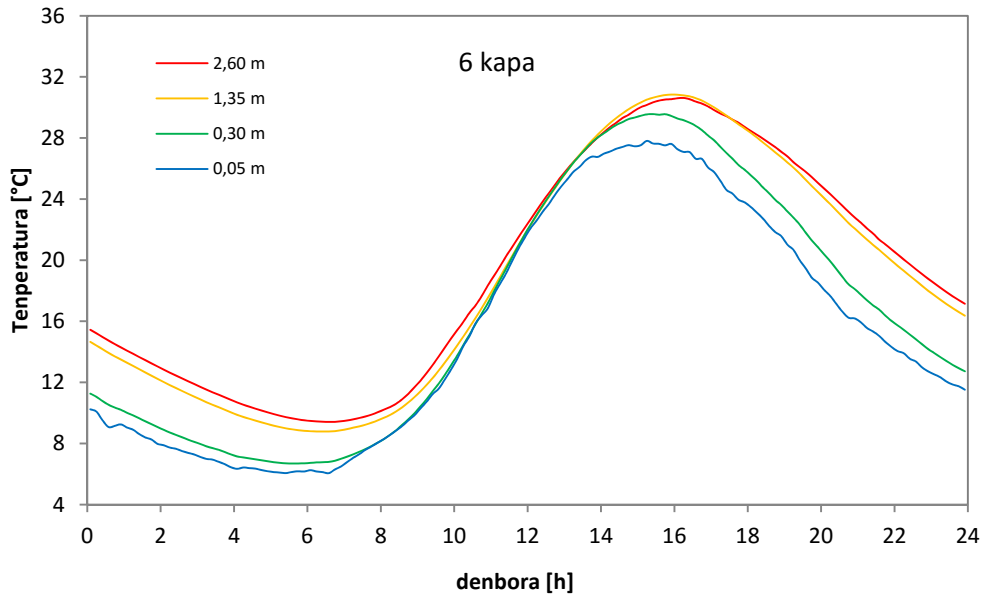


4.102 Irudia – Fatxada astuneko presioko aldaketa eta kanpoko eta aireztatutako ganbera barruan aireko abiadura



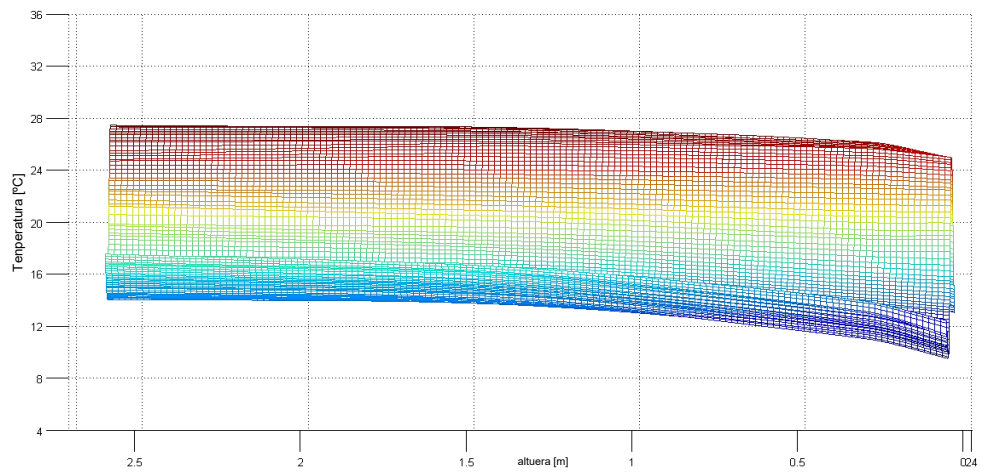
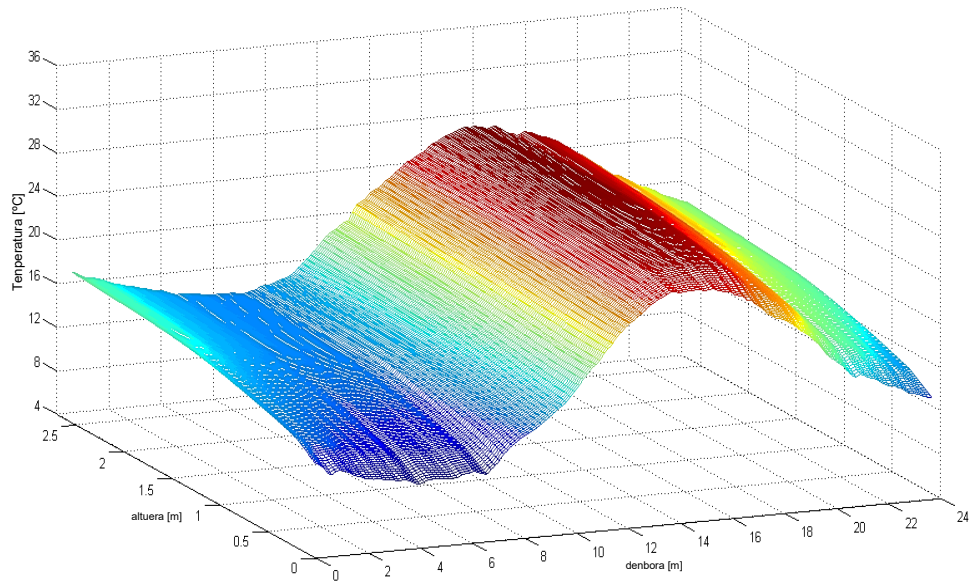
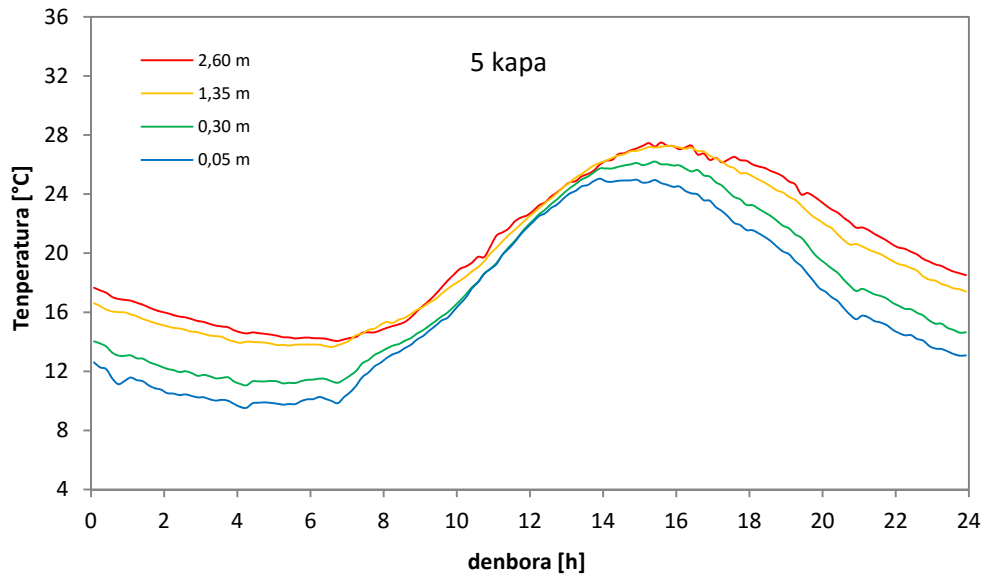
4.103 Irudia – Sarreraren eta irteeraren arteko temperatura saltoa eta aireztatutako ganberaren puntu zentralerako abiadura

Sentsore hauen konfigurazioa 4.30 Irudian erakusten da. Ikus daiteke nola den entseguko egun zentraletan zehar aire-ganberaren portaera guztiz desberdina, maiatzaren 8, 9 eta 10ari buruzkoak. Kanpoko aireko abiadurekin konparatzen bada haize altuko egunekin bat datozela ikus daiteke, eta beraz egun hauetan konbektzio-prozesua mistoa dela ondoriozta daiteke, eta estudio zehatzagoa eskatzen du balio hauek konbektzio naturaleko modeloarentzat erabiltzen diren erabakitzeari begira. Konklusio hauek egiaztatzeko 4.103 Irudian altuerako puntu zentralerako abiadura erakusten da aireztatutako ganberako irteeraren eta sarreraren arteko temperatura saltoari buruz. Hortaz airearen beroketak sortutako flotazio-efektua zuzenki konpara daiteke. Ikus daiteke airearen mugimendua konbektzio naturalagatik den egunetan aireztatutako ganbera barruan airearen abiadurak bestela bezalako eran eboluzionatzen duen temperatura-saltoarekin bezala.

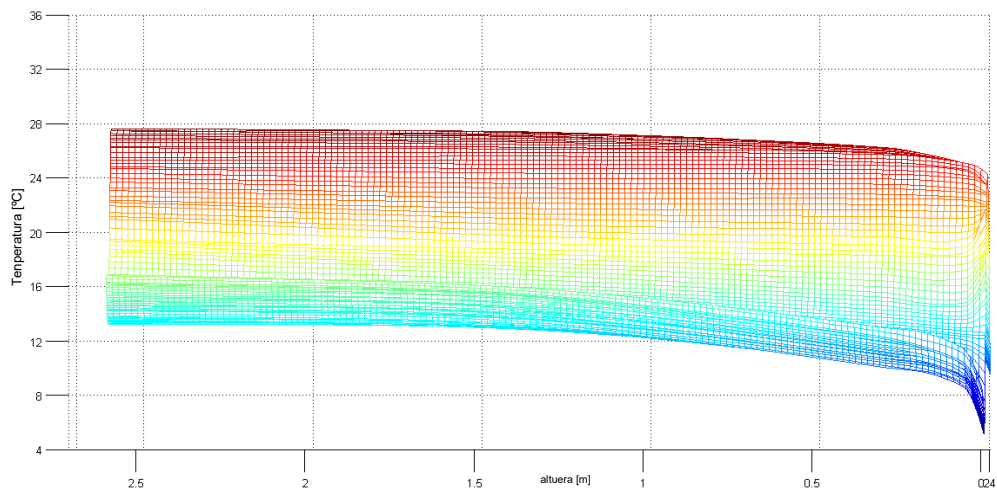
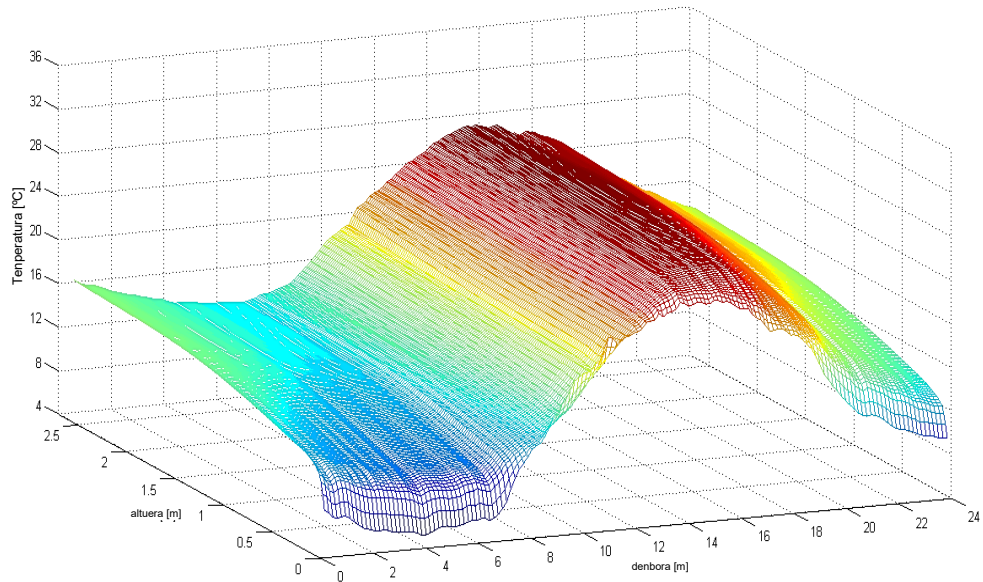
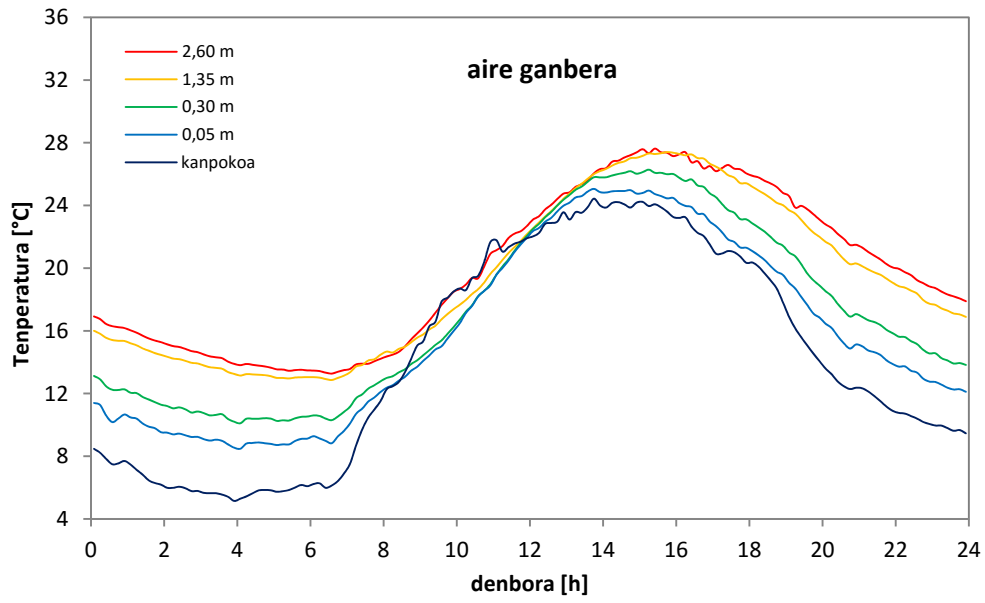


4.104 Irudia – Fatxada astuneko aireztatutako ganberako kanpoko |azalerako, 6 kapa, temperatura



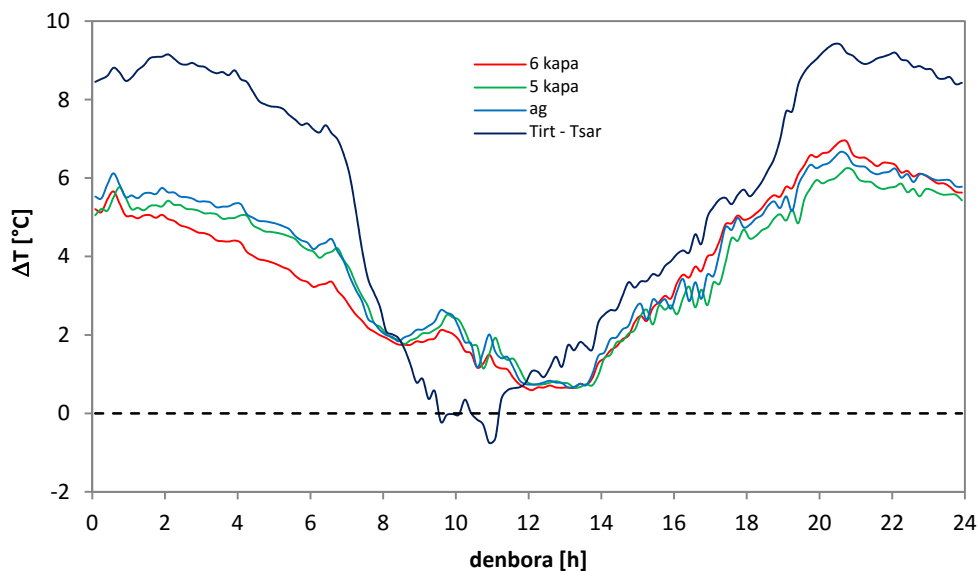


4.105 Irudia – Fatxada astunean aireztatutako ganberako barruko kapako, 5 kapa, temperatura



4.106 Irudia - Fatxada astuneko aireztatutako ganberako airearen temperatura

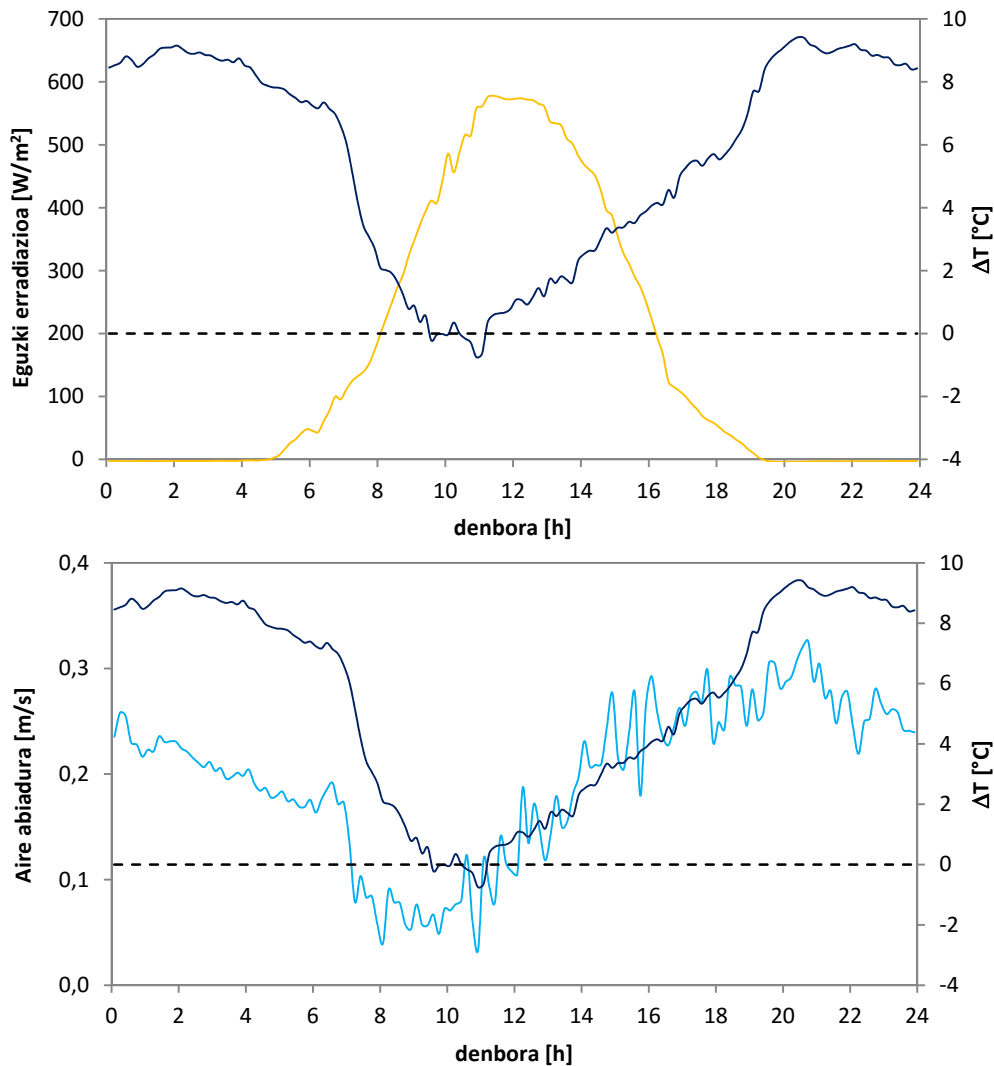
Hala ere kanpoko haizeari zor izandako abiadurako gehitutako kide bat dagoen egunetan aire-abiadurak produzitzen dira temperatura-salto elkartua egon gabe, maiatzaren 3 eta 4 egunetan gertatzen den bezala eta jada aipatutako egunetan, maiatzaren 8, 9 eta 10-ean. Behin datu orokorrak analizatuta, ondoren pasatzen da fatxada astunaren portaera adierazteko tipoa egun bat xehetasun gehiagorekin ikastera. Tipoa egun bezala aukeratzen da maiatzaren 18an ezaugarri adierazgarri batzuk aurkezteagatik. Fatxada arinean bezala, 4.104 Irudia, 4.105 Irudia eta 4.106 Irudian erakusten da aireztatutako ganbera osatzen duten azaleretako temperaturen eta bera barruan airearen temperaturaren bilakaera. Desberdintasunak ikus ditzake argi eta garbi aireztatutako fatxada arinari buruz portaeran. Lehen desberdintasuna, ta fatxadaren portaera termikoaren gaineko eragin handiagoko bada altuera-puntu desberdinetan temperatura bihurguneak bananduta daudela ia egun guztian zehar. Hots, mantenduta dago aireztatutako ganbera barruan temperatura-gradientea. Honek aireko mugimendu jarraitua ekartzen du, aurrerago ikus daitekeena abiadura-neurriak analizatzen direnean. Gertatzen da soilik temperatura-bihurguneak haien artean hurbiltzen diren eta gradientea altueran biltzen den denbora-bitartea, 12h-etatik doala 24h-etaraino.



4.107 Irudia – Fatxada astuneko kanpoko aireari buruz aireztatutako ganberako azaleretako eta aireako temperatura saltoa

Temperaturako salto maximoa 6,3°C, 6,9°C eta 6,7°C-a da, 5 kaparako, 6 kapa eta aireako hurrenez hurren, eta produzitzen da 20:30h-erantz, ehin egunaren balio maximoak gaindituta. Beraz, hormigoiz-azalerako temperatura saltoa barne isolatzailean gertatzen dena baino gehiagokoa da, beraren inertzia altuagatik. Nahiz eta balioak haien artean oso hurbilekoak dira, eta berriz airean gertatzen den saltoaren hurbileko. Aireztatutako ganbera barruan temperatura-saltoaren beste aspektu garrantzitsua, eta portaera bereizten duela fatxada arinari buruz, aipaturiko saltoa gehienez gertatzen dela sarrera-zonan dela. Goiko eta zentraleko zonetan temperaturak oso hurbileko daude haien artean, eta beheko zonaren temperaturetatik bananduta. Ez bezala temperatura-gradientea mailakakoa altuerarekin den fatxada arinean gertatzen zen. Honek ekartzen du aireztatutako ganbera osatzen duten azaleretako etengabeiko temperaturako hipotesia hurbilketa baliozkoagoa izan ahal dadila fatxada arinaren kasuan baino. Eta bi fatxadaren arteko azken aspektu diferentziala bero-uhinaren atzerapena da. Fatxada arinean temperatura-minimora heltzen da 4h-en eta 6h-en artean berriz, fatxada astunean mugitzen da 6h eta 8h-etarantz. Desfase hau maximo-zonara eramaten da ere eta era nabarmenagoan. Fatxada arinean gehieneko

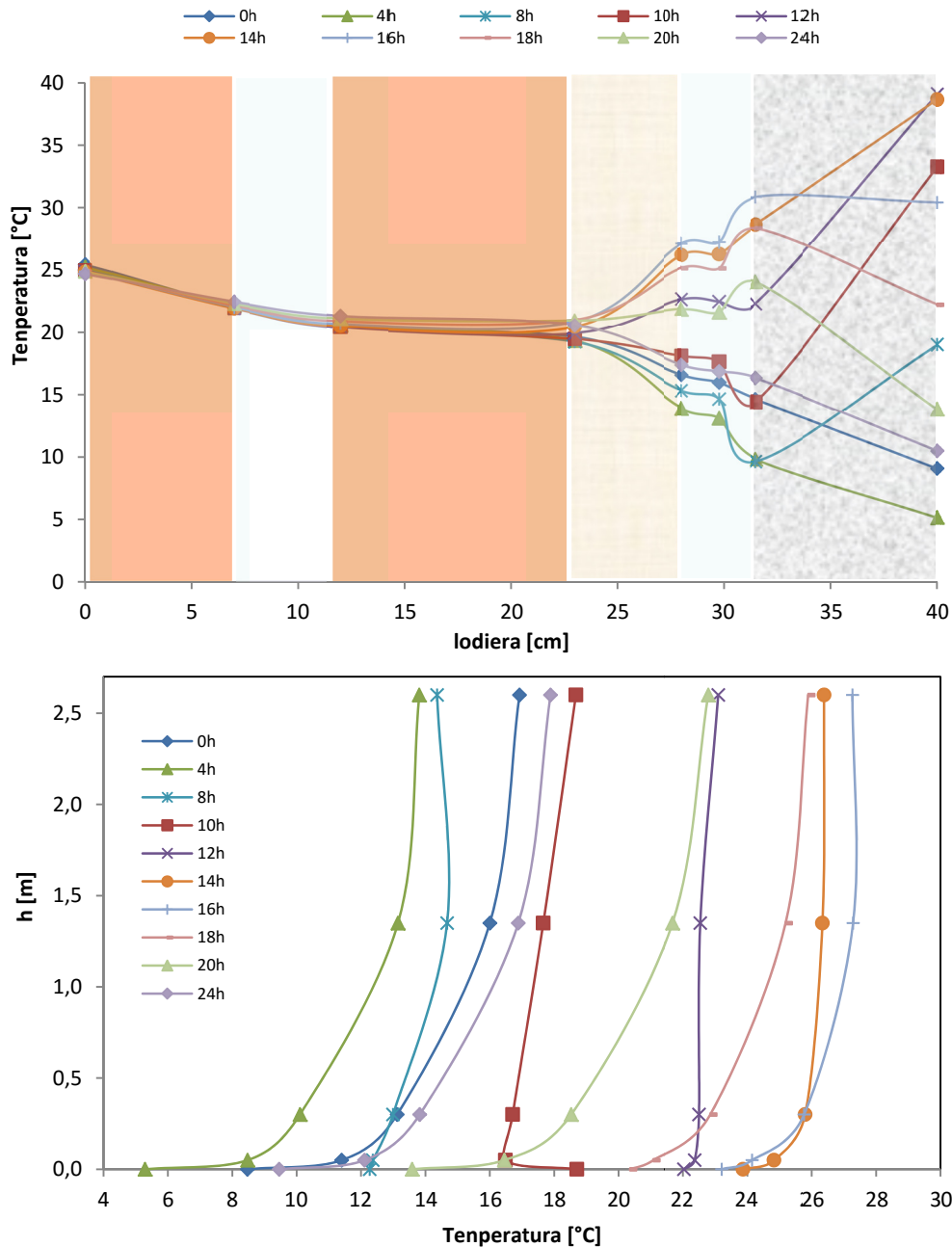
temperaturetara heltzen dira 12h-en eta 14h-en artean berriz, fatxada astunean heltzen da 14h-en eta 16h-en artean. Beraz, ez ezik denboran desfasatzen du baizik gainera gutxiago apuntatuta da eta bere iraupen-tartean handiagoa da. Deskribatutako ezaugarrietako multzo honek efektu garrantzitsua ekartzen du bi fatxaden portaera energetikoan.



4.108 Irudia – Eguzki-erradiazioaren eta airearen abiaduraren kontra aireztatutako ganbera barruan airearen tenperatura saltoaren bilakaera fatxada astunean

4.107 Irudian tenperatura-saltoaren bilakaera erakusten da aireztatutako ganberako goiko eta beheko lekuaren artean. Bai azalerek bai aireak salto positiboa beti dute eta tamaina bereko. Eta nahiz eta aireztatutako ganberako goialdeko airea kanpoko airea baino hotzago dagoen denbora periodo txikia gertatu, 11h-etarantz, aire-emariaren inertsiorik ez da gertatzera heltzen. Hau ondorio da aireztatutako ganberan sartzerakoan airea hozten dela esekitako orriko hormigoi plakako kontaktuaz. Honek oso fatxada arinekoaren itxura desberdina den portaeran ere erakusten da. Airearen tenperatura saltoa eguzki-erradiazio-kanpaiari buruz konparatzen bada bi aireztatutako fatxaden arteko erantzun desberdintasun hau nabarmenagoa da, ikus 4.108 Irudia. Eguzki-eragin pikoak produzitzen da berriz 12h-etarantz abiadura-puntara heltzen da 20h-etarantz, gero kanpoko orriaren inertzia termikoak eguzki-irabaziaren efektua desfasatzen du 8h, flotazio-bultzada arratsaldeko orduetarantz eramanez eta hura gau-orduetan zehar mantenduz, beheko

grafikoan ikus daitekeen bezala, airearen temperatura saltoa aireztatutako ganberaren altuera ertainerako abiadurari buruz erakusten den. 7h-etatik 11h-etaraino doan denbora periodoan izan ezik, aire-mugimendua biltzen den, gainerako egunean 0,2 [m/s] baino gehiagoko abiadurak mantentzen dira, gaueko orduak sartuta, kanpoko airearen tenperaturarik baxuenak ematen diren momentuan, eta beraz fatxadaren efektu hoztailea maximizatzen da.

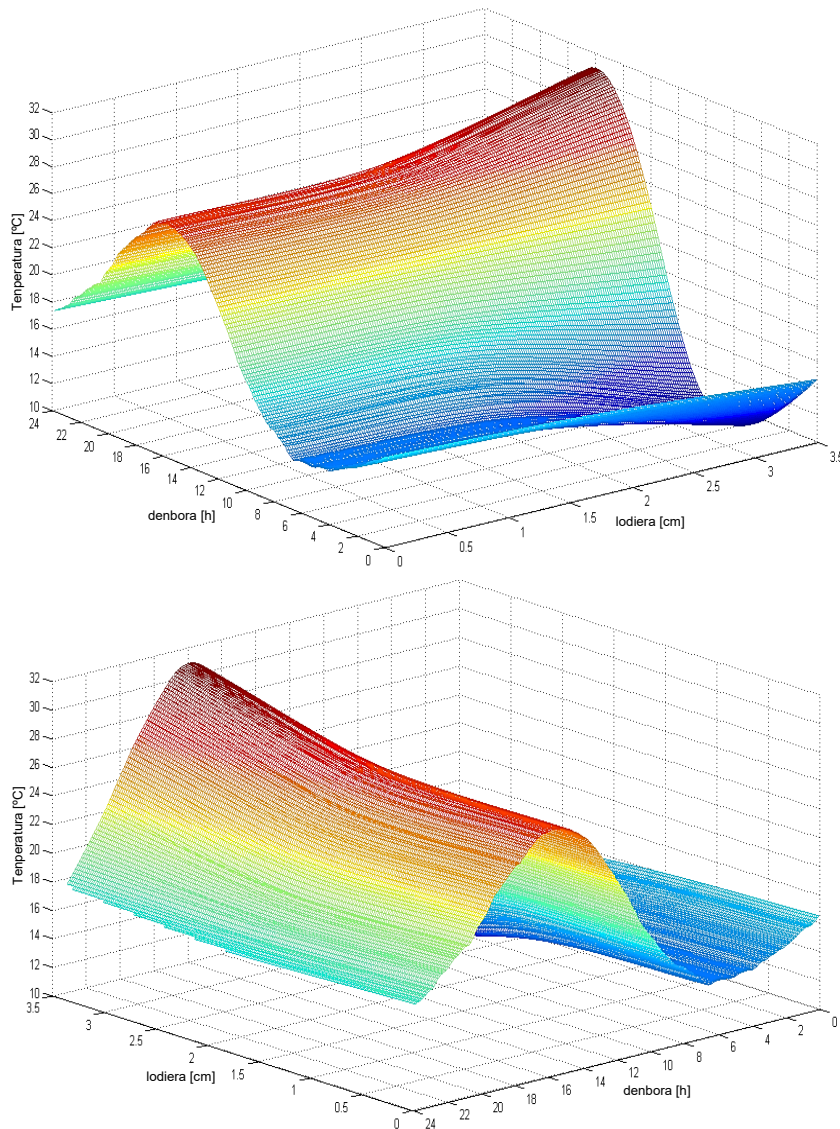


4.109 Irudia – Maiatzaren 18an zehar aireztatutako fatxada astunaren laginaren tenperatura profilak

Efektu hauen ideia argiagoa edukitzeko 4.109 Irudian tenperaturako zeharkako profilak erakusten dira kapa desberdinetarako eta egunean zeharreko denbora une desberdinetan fatxada astuneko laginaren altuera erdira. Beheko grafikoan profil bertikalak une beretako airerako erakusten dira. 0h-ei eta 4h-ei buruzko bihurtuneetan tenperatura minimoa hormigoi-azalera ematen da, isolatzaileko azalera izanez



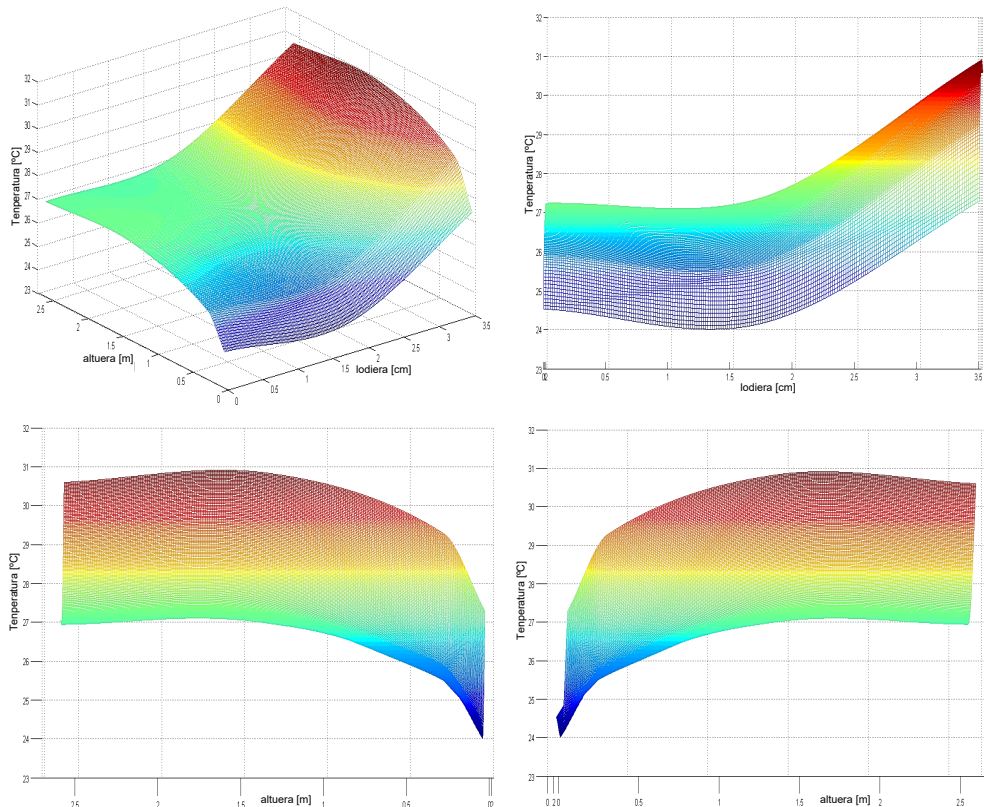
puntua beroagoa. 0h-ei eta 4h-ei buruzko bihurtuneetan tenperatura minimoa hormigoi-azalera ematen da, isolatzaileko azalera izanez puntua beroagoa. Gainera hormigoi-orriko bi aurpegiaren arteko tenperatura saltoa 5°C-etatik beherakoa da. Baina hala ere sarreraren eta ganberako aireako irteeraren arteko gradiente garrantzitsua dago. 12h-etara 8h-etatik profiletan hormigoi-orriko kanpoko azalaren tenperaturaren igoera azkarra gertatzen da, baina bereko barruko aurpegiak aireztatutako ganberaren punturik hotzena izaten jarraitzen du. Gehiago 15°C-etako tenperatura saltoa bat sortzen da hormigoi-orriko bi azalaren artean. Periodo honetan zehar gradientea altueran biltzen da aireako. 14h-etatik aurrera hormigoi-orriko barruko azalera pasatzen du ganbera barruan punturik beroena izatera, eta baldintza hau mantentzen du gainerako denboran, nahiz eta kanpoko aurpegiaren tenperatura bizkor jaitsi. Honek gradientea berriro sortzen du ganberako airean gainerako denboran mantentzen dela. Arreta bakarrik aire-ganberan erdiratuz, 4.110 Irudiaren azalaren tenperatura-profilaren bilakaera erakusten da denboraren arabera laginaren altuera erdira.



4.110 Irudia – Egunean zehar fatxada astunerako aireztatutako ganberaren puntu zentraleko tenperatura profilaren bilakaera

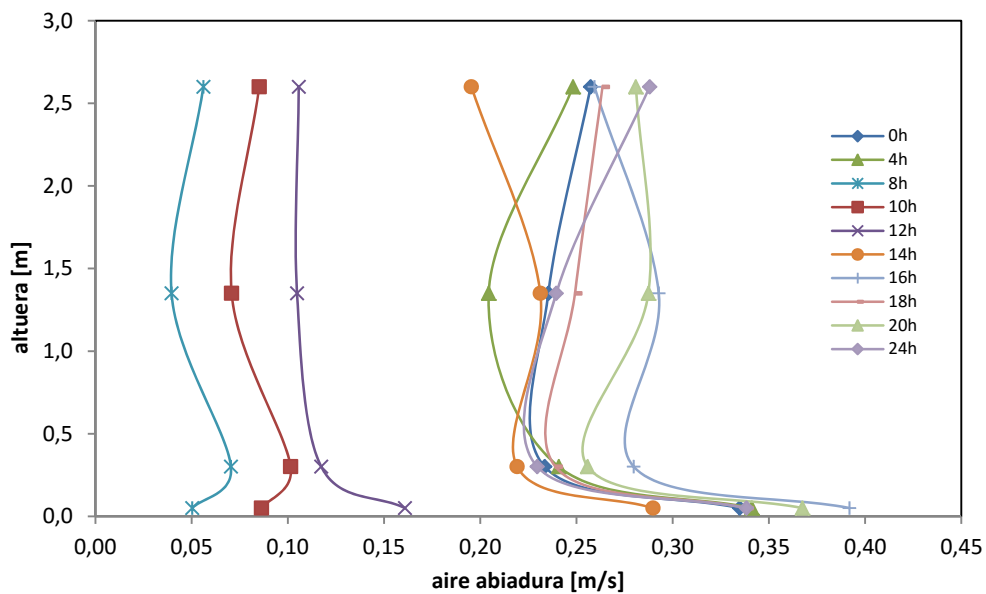
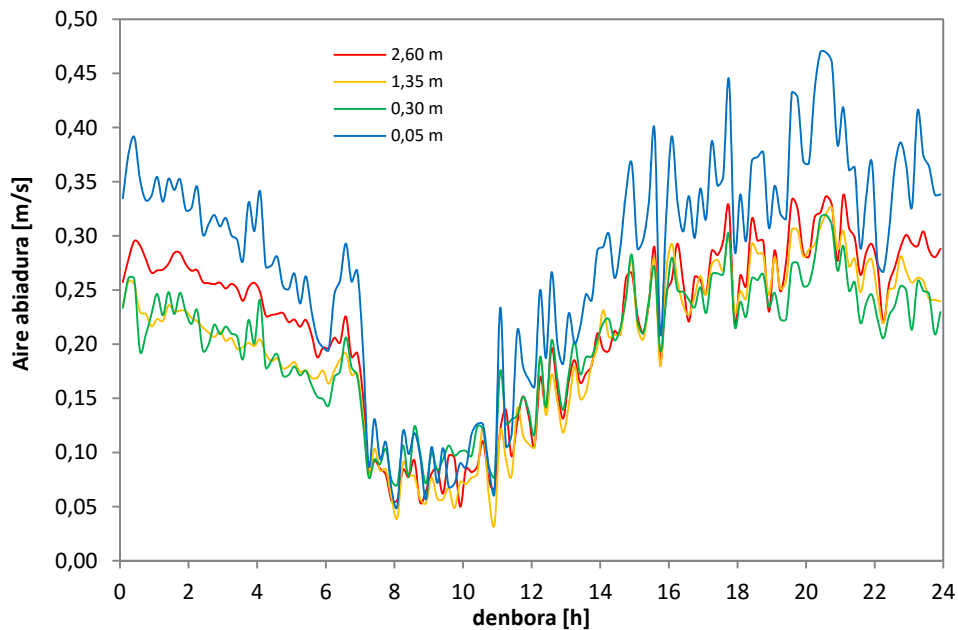


Aipaturiko profilak ez du fatxada arinak zuela forma parabolikoa, baizik eta airearen tenperatura isolatzaileko azaleraren tenperaturara hurbiltzen da gehienez. Tenperatura-maximoen lekualdatzea arratsaldeko orduetarantz ikus daiteke ere eta nola mantentzen duen hormigoi-orrian metatutako beroak tenperatura-gradientea eguneko azkeneko orduetan. Portaera hau oso fatxada arinean ikusten denaren desberdina da, 4.85 Irudiaren azalera portaera simetrikoagoa denbora-ardatzari buruz erakusten duena. Portaeraren analisia aireztatutako ganberaren tenperaturetan osatzeko, 4.111 Irudiaren azalera profila altueran erakusten da emandako unerako, 16h-ei buruzkoa. Hau tenperatura maximoetara heltzen diren unea da. Tenperatura-profilaren forma altueran zehar mantentzen da, hormigoi-azalera balio maximoarekin, airearen tenperatura guzti bizkor gainbehera etorri ganberaren puntu erdian isolatzaileko azalera baliora hurbiltzen dela. Tenperatura-profilaren forma oso fatxada arinean sortzen denaren desberdina da ere, ikus 4.86 Irudia, profilaren forma altuerarekin eboluzionatzen ari dena, eta batez ere ikusten da sarrera-zonan oso eraginda. Ganbera barruan aire abiadurei dagokienez, 4.112 Irudian altueraren arabera lortutako neurriak erakusten dira egunaren une desberdinetako profilekin batera altueran. Fatxada arina ez bezala, airearen azelerazioa eguneko ordu zentraletan zehar gertatzen zena balio maximora helduz, gau-orduetan zehar geldiarazteko fatxada astun barruan airearen mugimendua askoz etengabekoagoa den zeinetan zehar. 7h-etarainoko 0h-etatik 0,2 [m/s]-ko ordenaren abiadura batezbestekoak mantentzen dira, hormigoi-orriak metatutako beroagatik. 7h-en eta 11h-en artean geldialdia gertatzen da ganbera barruan airearen tenperaturak berdintzen direlako kanpoko aireari buruz aireztatutako. 11h-en eta 16h-en artean azelerazioa produzitzen da aireko heltzen dira eta guzti 0,3 [m/s]-aren ordenaren balioak, egunaren amaierara arte mantentzen direla.

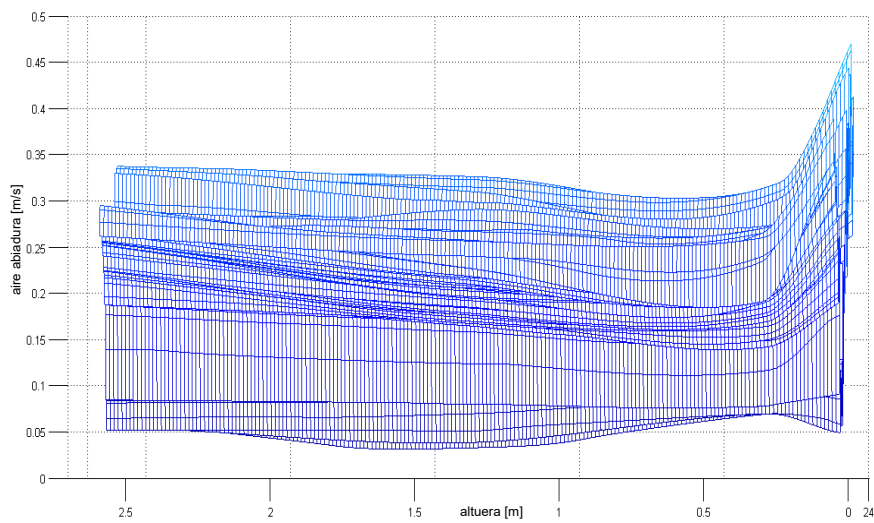
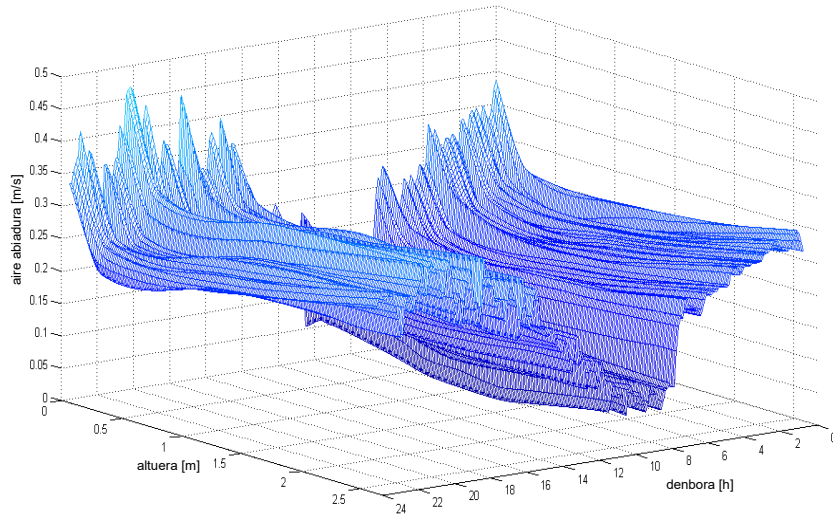
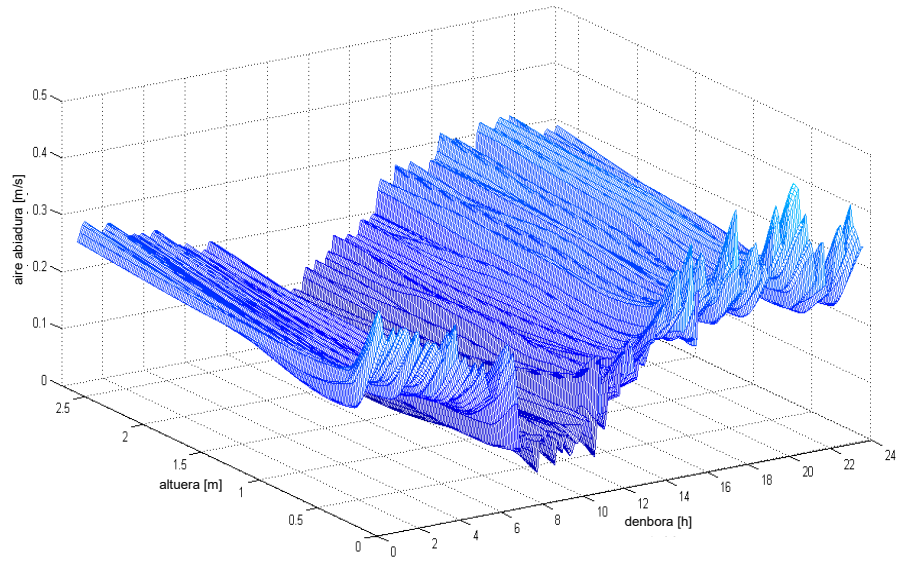


4.111 Irudia – Fatxada astuneko 16h-etarako aireztatutako ganberako altuerako tenperatura profilaren bilakaera

Altuerako profilei dagokienez bi aireztatutako fatxaden arteko portaera oso dibergentea gertatzen da ere. Fatxada arinean 0,30 [m]-etarako maximora heltzen zen berriz, gero berriro ere altuerarekin bizkortzeak abiadura txikiagotzen zuen geroago, fatxada astunean abiadurako puntu maximoa ganberako sarreran gertatzen da, 0,05 [m]-etara, eta geroago abiadura-profila ia jarraitua da, altuerarekiko abiadura adierazteko aldaketarik gabe. Portaera-desberdintasun hau aireztatutako ganberaren sarrera geometriaren konfigurazioak oso eraginda dago. Fatxada astunean hormigoitik esekitako orriaren lodierako 8,5 [cm]-ak sortzen du airea ganberako sarrerara bizkortzen duen ahokoa. Hala ere estutze hau ez dago fatxada arinaren konfigurazioan, zementu-orriaren lodiera baino ez 1,5 [cm]-ko dena eta aireak ganberara sartzen da zuzenki. Ganbera barruan airearen portaeraren irudi argiagoa lor daiteke denborari buruz aireko abiadura azaleran 4.113 Irudian erkutsita.

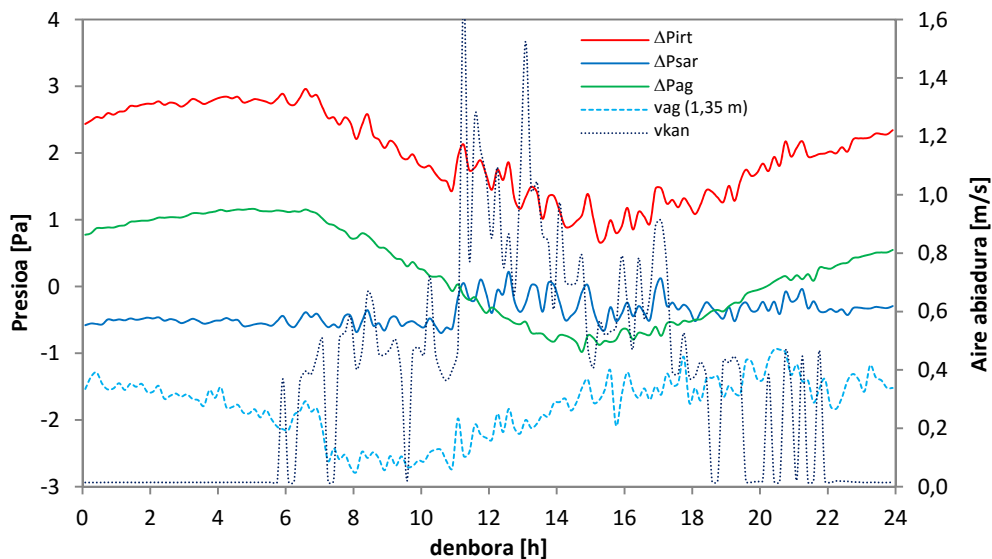


4.112 Irudia – Fatxada astuneko maiatzaren 18an zeharreko altueraren arabera aireztatutako ganbera barruan airearen abiadura



4.113 Irudia - Maiatzaren 16rako aireztatutako ganberako altuerako abiadura profilaren bilakaera

Desberdintasuna argia da fatxada arinaren abiadura azalerarekin, ikus 4.88 Irudia. Behin portaera tenperaturetan eta abiaduretan ebaluatuta fatxadaren analisia osatzen da presio-galera neurriekin. 4.114 Irudian presio diferentzialaren entseguan zehar erregistratzen diren hiru seinaleak erakusten dira. Gogoratu behar da sarrerako presio galera gainerako presioei buruz zeinu negatiboan esanda dagoela portaeraren irudi hobea lortu ahal izateko. Analisia osatzeko kanpoko abiadurako airearen eta abiadurako aireztatutako ganbera barruaren bihurtguneak erakusten dira altuera erdira. Karga-galerek portaera homogenea dutela ikus daiteke, gutxi gorabehera etengabeko abiadura egun guztian zehar egoterakoan espero zuenez gero, azelerazio handirik gabe. Nola sortzen duena kanpoko airearen abiadurak asaldurarik barruko presioetan ikus daiteke ere, baina batzbesteko balioaren gaineko efektu handirik gabe.

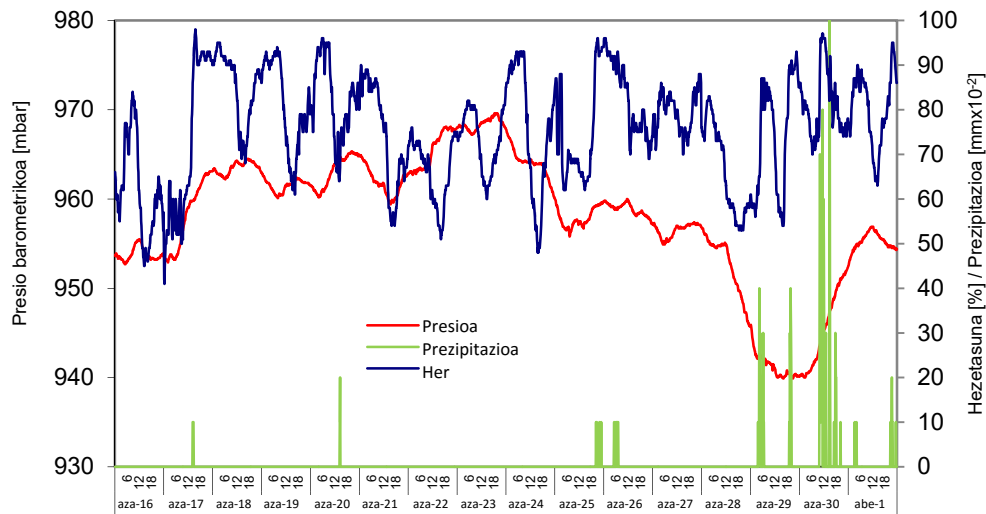


4.114 Irudia Erreferentzia-egunerako aireztatutako ganbera barruan presioen bilakaera

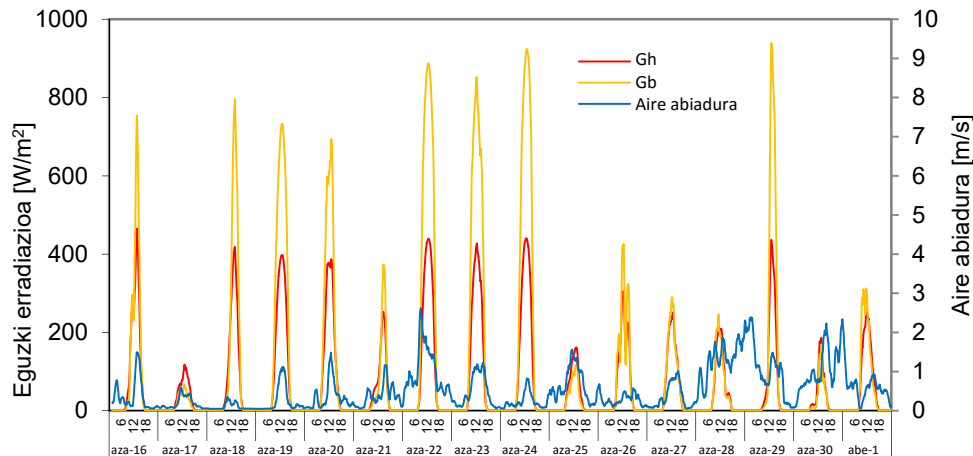
Entseatutako bi laginek aire libreko mugimendua dute, konbekzio naturalagatik. Hau hedatuaren konfigurazioa da eraikuntzako sektorean. Ondoren kontraste bezala fatxada behartua sistemaren entsegua emaitzak erakusten dira, zeinetan aireztatutako ganbera barruan aire mugimenduaren gainean eragiten den.

#### 4.2.4 Aireztatutako fatxada behartua

Entsegu periodoan fatxada behartuaren kasuan azaroaren 16tik urtarrilaren 7raino doa, eta ROLBS-a, PRBS-a eta, PULTSUA errutinak aplikatzen dira era sekuentzian. Periodo guztian zehar 55 [l/s]-ko ordenaren erauzketa emaria, haizagailuak sortuta, behartzen da. Modelatze-tarte bezala erabiltzen da ROLBS-a errutinari buruzkoari, azaroaren 16tik abenduaren 1eraino doala, ainerako entsegua C Eranskinean erakusten da. 4.118 Irudian eta 4.119 Irudian entsegu gelaren barruko baldintzak kanpoko giroko tenperaturari buruz erakusten dira. Entsegu gelako aire eta azalerako tenperaturek homogeneousaldintza egokiak PASLINK entsegua estandarretarako dituzte. Kasu honetan, berokuntza txikiko potentziarekin lan egiterakoan, 220 [W]-ko ordenako, giroen arteko tenperatura saltoak 10°C-etako batz besteko balioa hartzen du asaldura-periodoan zehar, hobezinetik beherako zerbait, baina lagina erresistentzia termiko gutxiagok aurkezterakoan trukaturako fluxua nahikoa da bere identifikazio-erremintzen bitartez karakterizazio egokirako. Behin gelaren baldintzak analizatuta laginera berezko portaera analizatzea pasatzen da.

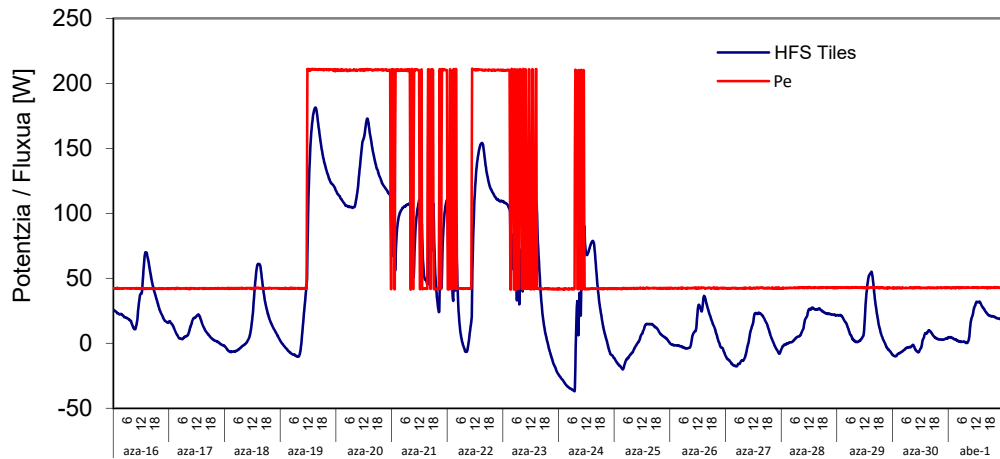


4.115 Irudia – Modelatze-periodoan zehar aireztatutako fatxada behartuaren entseguan zeharreko ingurune-baldintzak

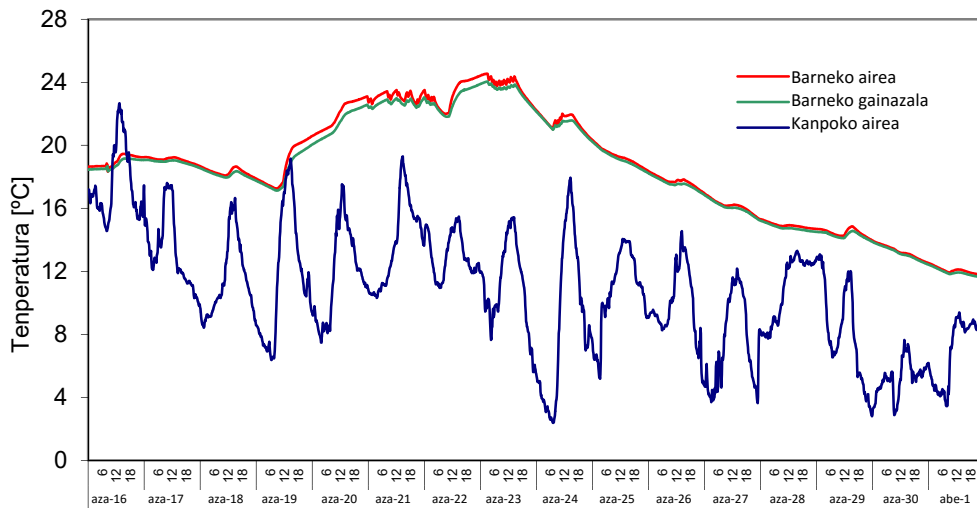


4.116 Irudia – Eguzki-erradiazioa eta aireztatutako fatxada behartutako modelatze entseguan zeharreko haize abiadura

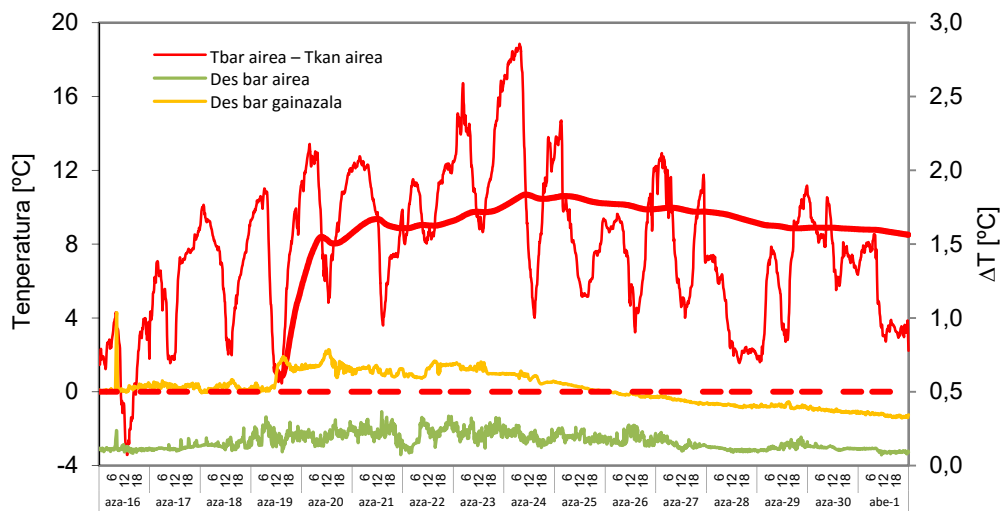
4.120 Irudian probetako kapetako bakoitzeko temperatura batezbestekoak eta aireztatutako aire-ganberaren temperatura jasotzen dira. Temperatura-saltoa ikus daiteke lagineko barruko azaleraren, 1 kapa entsegu gelaren portaerak jarraitzen duela eta temperatura homogeneotasuna aurkezten du 1°C-etatik beherako desberdintasunetik azalera guztian, eta gainerako kapen artean, bere bilakaerak kanpoko baldintzei jarraitzen die eguzki-erradiazio-kanpaira batez ere. Gainerako kapetan bere bilakaerak kanpoko baldintzei jarraitzen die, eguzki-erradiazio-kanpaira batez ere. Aire-ganberari eta osatzen duten bi azalerei dagokienez, neurriko puntu-multzoa erakusten dira 4.121 Irudian. Airearen temperatura beti 2 kaparen temperaturara hurbilekoago dagoela ikus daiteke, panel sandwicheko azalera, xaflako kanpoko orriaren temperaturara baino. Orri hau, 3 kapa, probetaren multzoaren temperatura maximoetara heltzen da, gainerako kapei buruz 20°C-etako gainberotzeekin. Kasu honetan, temperatura-gradienteak mantentzen dira aire-ganberako bi azalretako altueran, panel sandwicheko azalerrako 8°C-etako desberdintasunetara helduz eta kanpoko xaflako 10°C-etako, ikus 4.122 Irudiaren goiko grafikoa. Inertzia gutxiko eta eroankortasun altura materialez itxuratutako lagin bat izateara entseatutako beste aireztatutako fatxada laginetan lortutakoak baino gehiagoko gradienteak gertatzen dira, baina eguzki-eragin uneetan kontzentratuta.



4.117 Irudia – Sartutako potentzia eta aireztatutako fatxada behartutako entsegu gelaren itxituraren bero fluxua

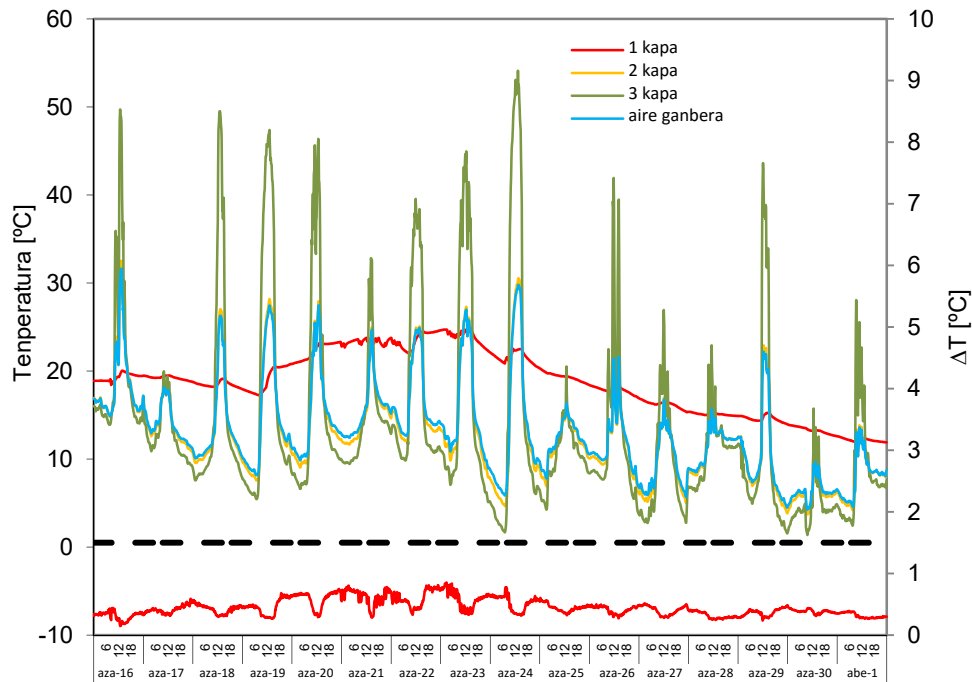


4.118 Irudia – Entsegu gelako eta ingurunea temperatura aireztatutako fatxada behartuan



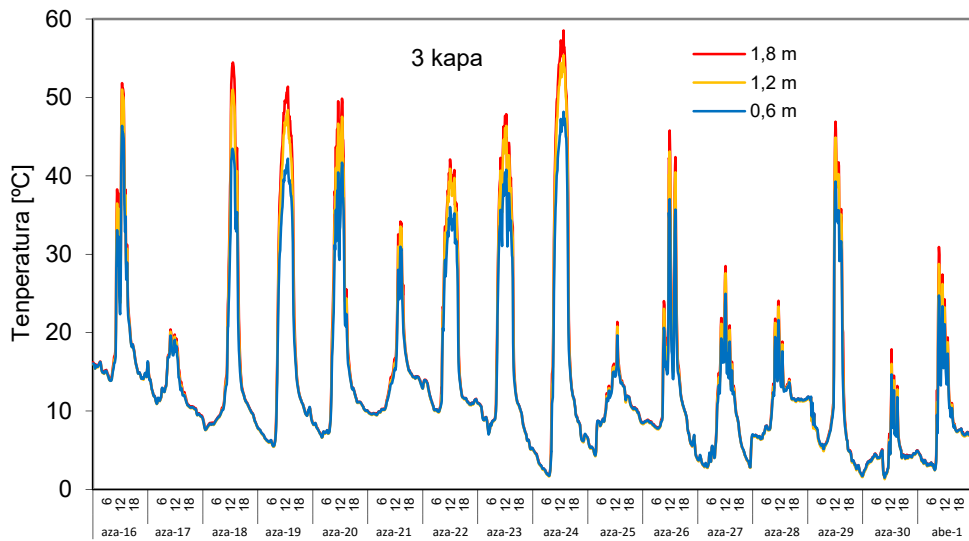
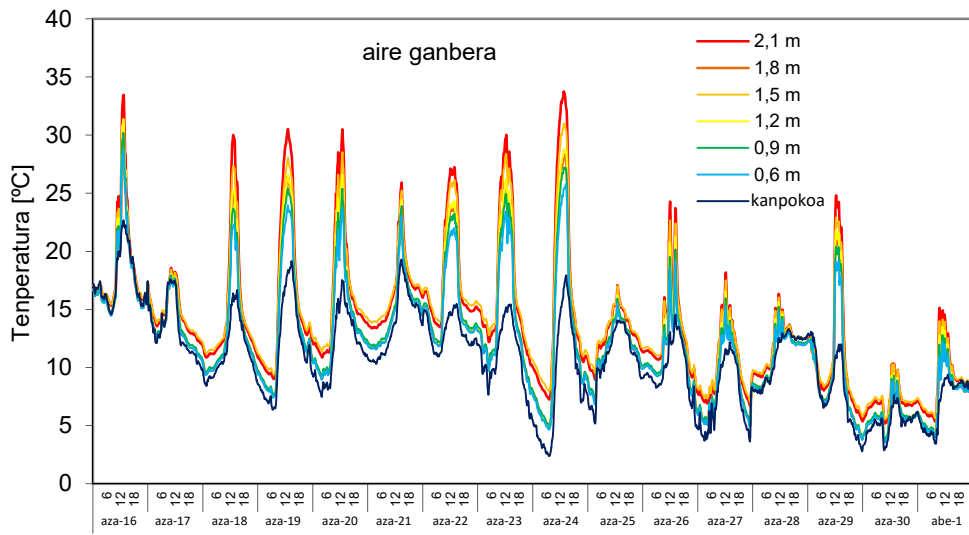
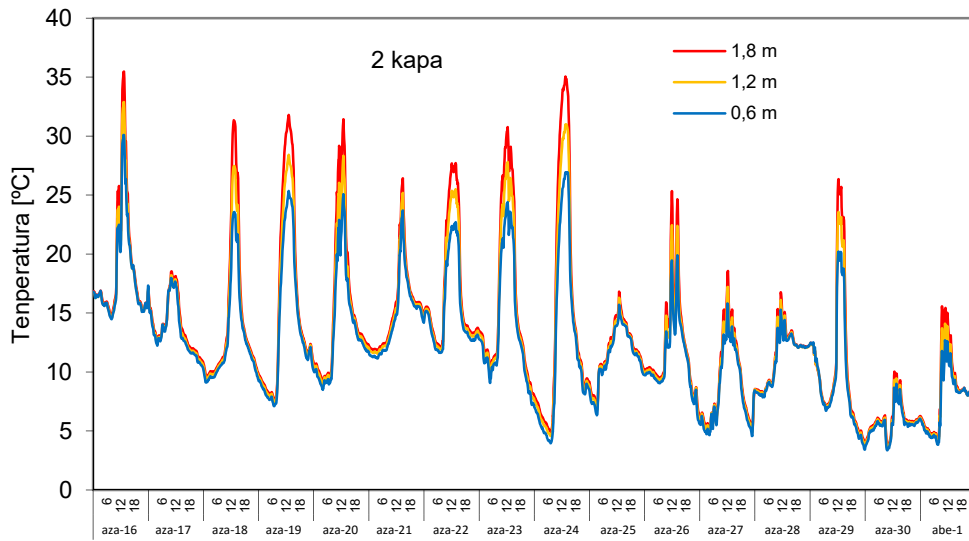
4.119 Irudia – Aireztatutako fatxada behartutako entsegu aretoko giroen arteko temperatura saltoa eta baldintzen homogeneotasuna





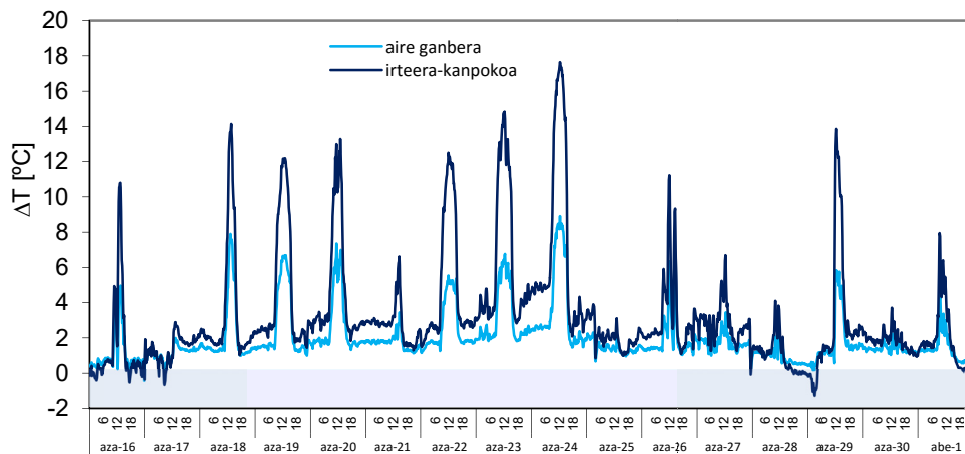
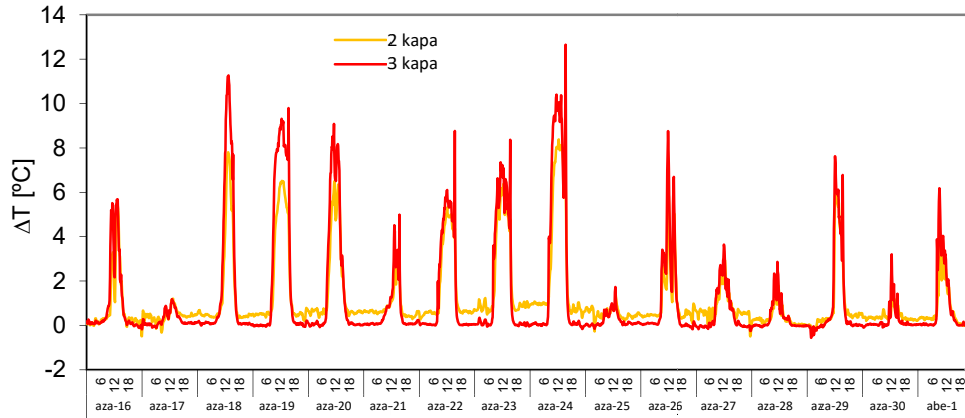
4.120 Irudia – Aireztatutako fatxada behartutako laginaren temperaturak

Gainerako denboran temperatura-homogeneotasuna altua da batean behartutako konbekziora hein handi esker. Aireztatutako ganberako airearen temperaturaren bilakaerari dagokionez, sarreran beroketa handienak gertatzen jarraitzen da, ordenako 10 °C kanpoko aireari buruz temperatura salto batekin eta probetaren altueraren luzerarako aire errezeleko gainerako garapenean zeharreko 8°C-etako handiagotzea baino ez, ikus 4.122 Irudiaren beheko grafikoa. Ikus daiteke ere nola den temperatura-desberdintasuna positiboa beti aireztatutako ganberako goiko zonaren eta beheko zonaren artean errefluxurik gertatzen ez denez gero behartutako mugimenduagatik, begien bistakoa denez gero. Lagineko sekzio horizontaleko temperatura homogeneotasunari dagokionez, 4.123 Irudian erakusten da termopilak neurtutako saltoa kokatutako zundek lagineko ardatz zentrolean neurtutakoari buruz. Bi kurbeen arteko desberdintasunak 2°C-etatik beherakoak dira une guztietan, kontuan har daitekeenagatik lagin-garraiatzaileko ertzen efektua ez dira nabarmenak eta aireztatutako ganberaren portaera hurbiltzen dela bi dimentsioko modeloarentzat egokia den eran. Aire-mugimenduari dagokionez, 4.124 Irudian haizagailuak bultzatutako emaria eta termoanemómetro-ak puntu zentrolean neurtutako abiadura erakusten da. Baldintza nominaletan inposatutako oinarritzko emaria 55 [l/s]-ko da, baina ikusten da eguzki-eragin periodoetan zehar emari-handiagotze bat gertatzen dela, 6 [l/s]-ko ordenako, % 10en handiagotzea irudikatzen duena. Gero behartutako konbekziora gehitzen da konbekzio naturaleko efektu adierazgarria aireztatutako ganbera barruan aire mugimenduan duen osagaia. Abiadurari dagokionez, lortzen den balioa 0,35 [m/s]-ko da,  $\pm 0,05$  [m/s]-ko oszilazio batezbesteko batekin. Aireztatutako ganberan zeharreko aire mugimenduko presio galeraren bilakaerari dagokionez, 4.125 Irudian laginean sarrera-zonarako, laginaren zeharreko, eta irtera-zonarako, produzitzen den presioko desberdintasunak erakusten dira. Sarrerako presio galera ia etengabekoa dela ikusten da eta ganberako zeharrean eta irteeran oszilatzeko konbekzio naturaleko gehitutako osagaiaren arabera. Datu hauen bitartez detekta daiteke hiru egunetan zehar, azaroko 22, 28 eta 29an, kanpoko aireko abiaduraren efektuak aire-mugimenduaren gaineko eragina izan duela fatxada barruan.

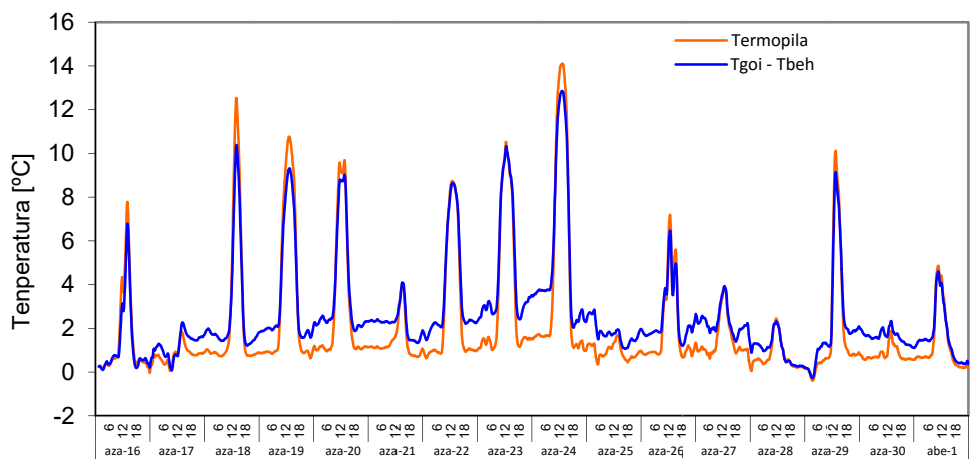


4.121 Irudia – Fatxada behartutako laginean aireztatutako ganberako ardatz zentralako temperatura altueraren arabera

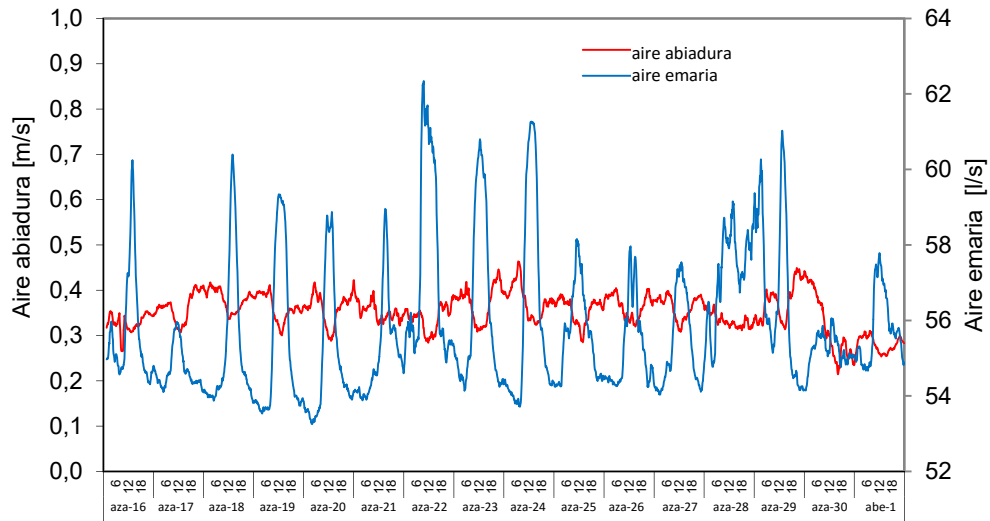
Aireztatutako ganberako haizearen efektu hau 4.126 Irudiaren grafikoko xehetasun gehiagorekin ikus daiteke, ganberako behealdearen eta goialdearen artean temperatura-saltoa konparatzen den aire-emariari buruz. Ikuste da nola diren emari-handiagotze pikoak proportzionalak eta ezin hobeto teilakatzen dira airearen beroketa eraginkorra gertatzen den periodoekin, konbektzio naturalaren efektua, esandako hiru egunetan izan ezik.



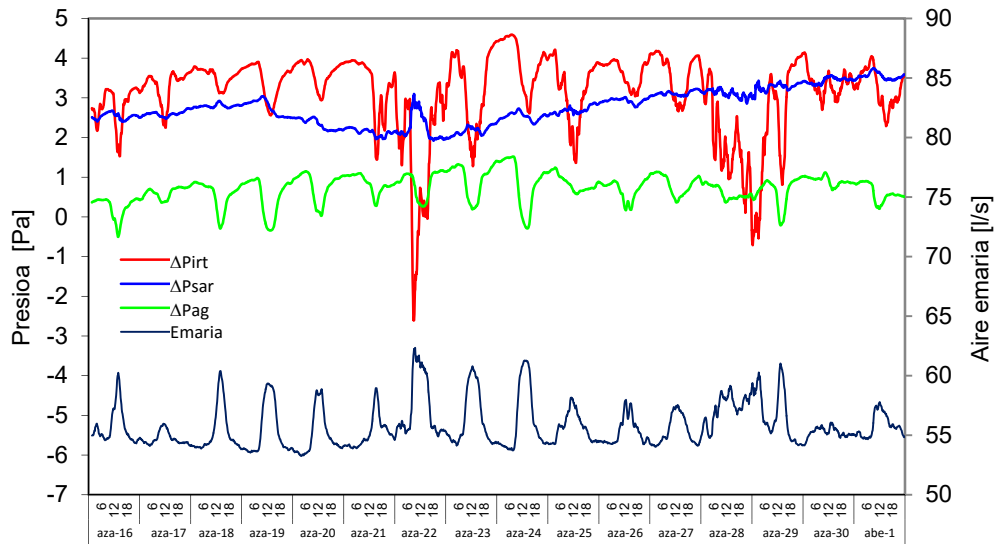
4.122 Irudia – Behealdearen eta giko zonaren arteko temperatura desberdintasuna bi azaleretarako eta ganberako airerako aireztatutako fatxada behartuan



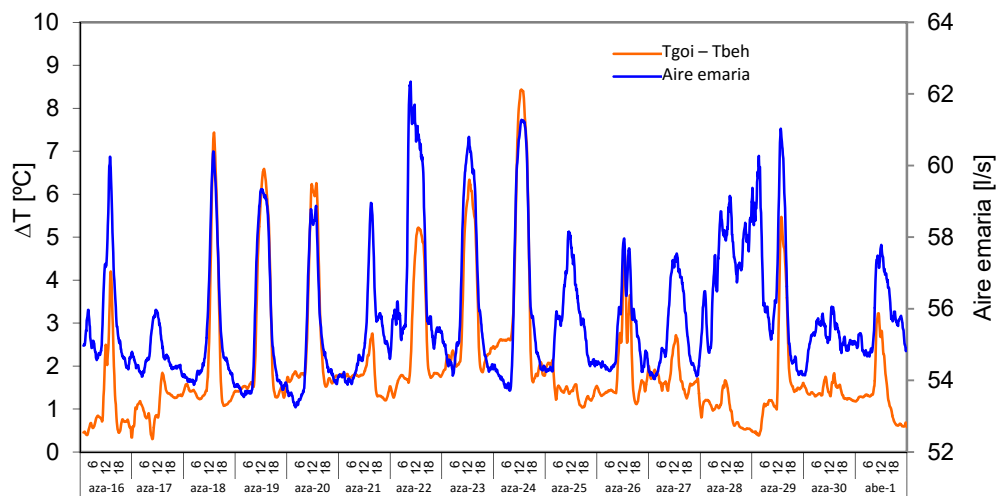
4.123 Irudia – Aireztatutako aire-ganberako termopilak eta lagineko ardatz zentrallean jarritako zundek neurtutako temperatura saltoa



4.124 Irudia – Aireztatutako ganberatiko aire zirkulatuzaileko emaria eta aire-abiadura laginaren puntu zentralean

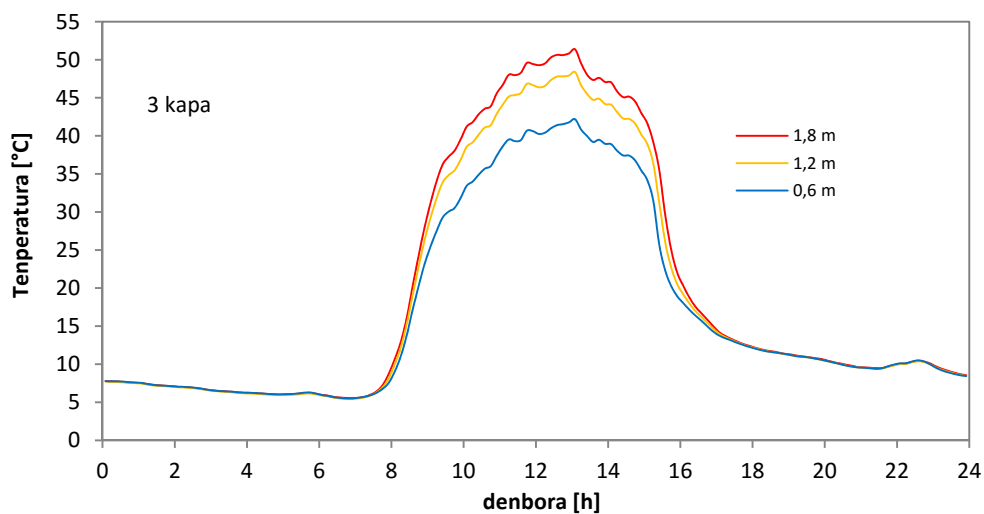
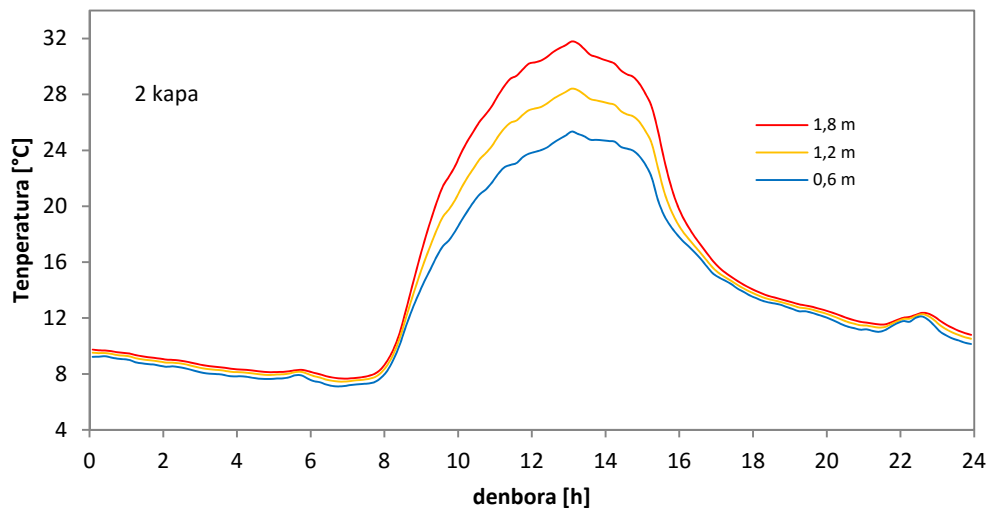


4.125 Irudia – Fatxada behartutako presio galera eta aireztatutako ganberatiko aire zirkulatuzaileko emaria

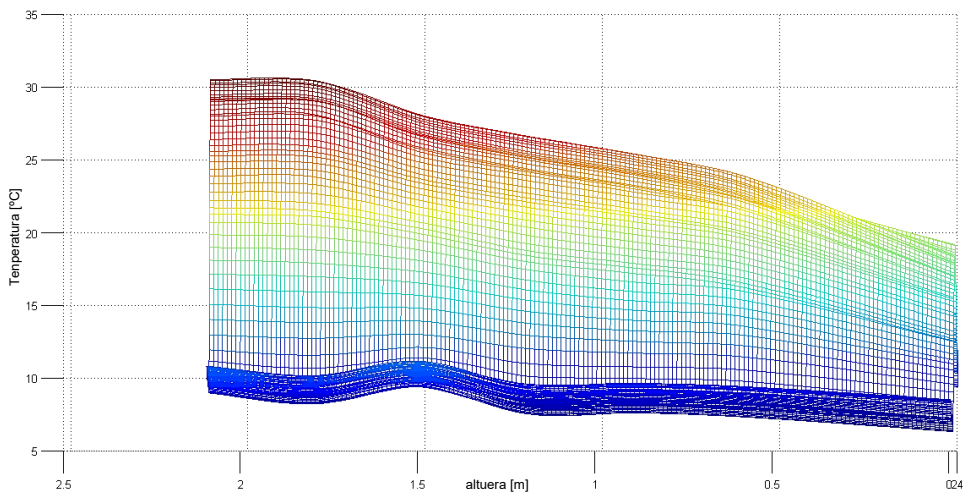
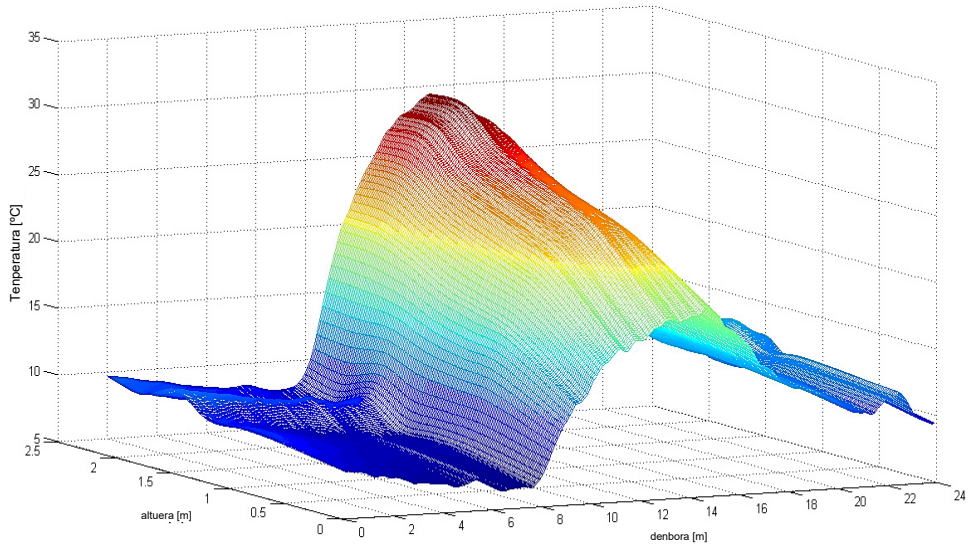
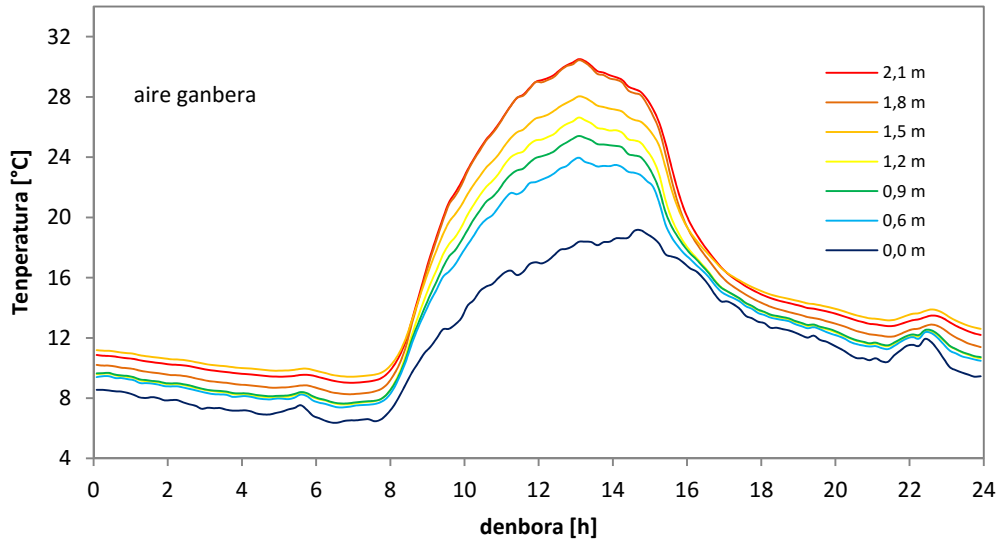


4.126 Irudia – Sarreraren eta irteeraren arteko temperatura saltoa eta aireztatutako ganberako aire zirkulatuzaileko emaria

Hauetan itxarondakoaren emari handiagotze handiagoa gertatzen da eta barne airearen beroketa egon gabe. Behin eta datu orokorrak ebaluatuta, fatxada behartutako portaeraren irudi argiagoa lortzeko egun adierazgarria ikastera xehetasun gehiagorekin pasatzen da kasu honetan azaroaren 19ari buruzkoa. 4.127 Irudian aireztatutako ganbera osatzen duten bi azaleren temperaturak erakusten dira, lagineko ardatz zentralean, eta altuera desberdinetarako. Temperatura-portaera oso desberdina da entseaturako aireztatutako beste bi fatxada-laginei buruz. Lehen, materialen inertzia gutxiagatik, azaleren temperaturak oso homogeneousak dira eguzki-eraginik gabeko periodoetan zehar, eta hala ere, gradiente handiak aurkezten dituzte eguzki-eragin periodoetan zehar. Bi azaleren arteko uhin luzeko truke erradiatiboa beste portaera bereizlea da. Aurreko probetetan azaleren arteko temperatura desberdintasuna nahiko txikia da erradiazioak kanpoko orria jasotzen duen eguzki-irabazia transmititzen duelako barruko azalerara, isolamendu termikoak eratuta, aireztatutako ganberako bi aurpegiaren temperaturak orekatuz. Kasu honetan, kanpoko orria 50°C-en ordenaren temperaturetara heltzen da, barruko orriak ez du 32°C-baliorik gainditzen. Honek uler daiteke bi azalerek duten beste aireztatutako fatxada laginak zituzten beheko emisibitatea, edo islapena handiagoa. Hau bat dator probetako kapa desberdinak itxuratzen dituzten material metalikoen ezaugarriekin.



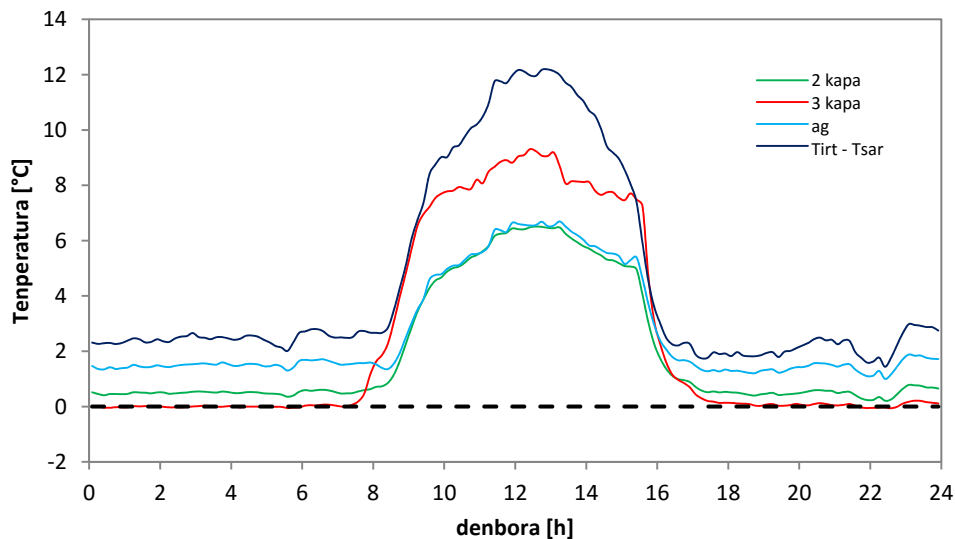
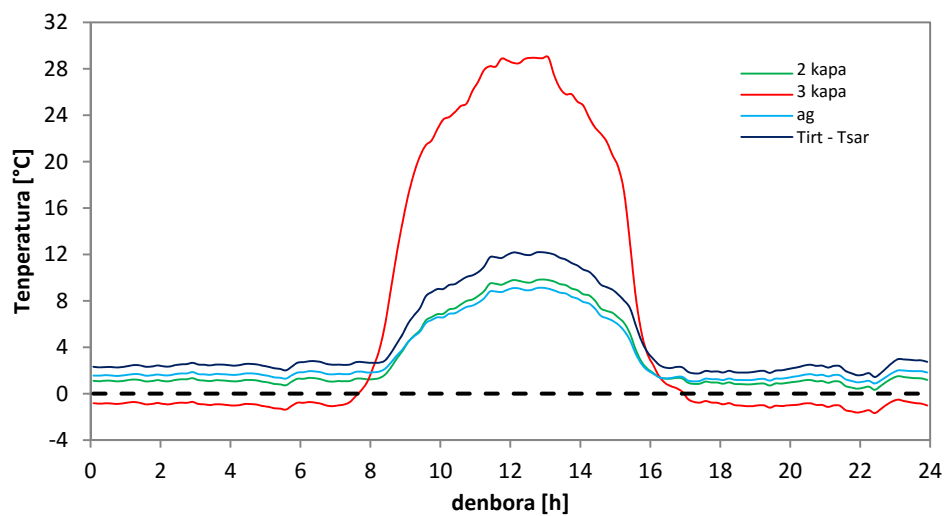
4.127 Irudia - Aireztatutako ganberako kanpoko azalerako temperatura, 3 kapa, barruko azalera, 2 kapa, fatxada behartuta



4.128 Irudia - Aireztatutako fatxada behartutako ganberako airearen temperatura



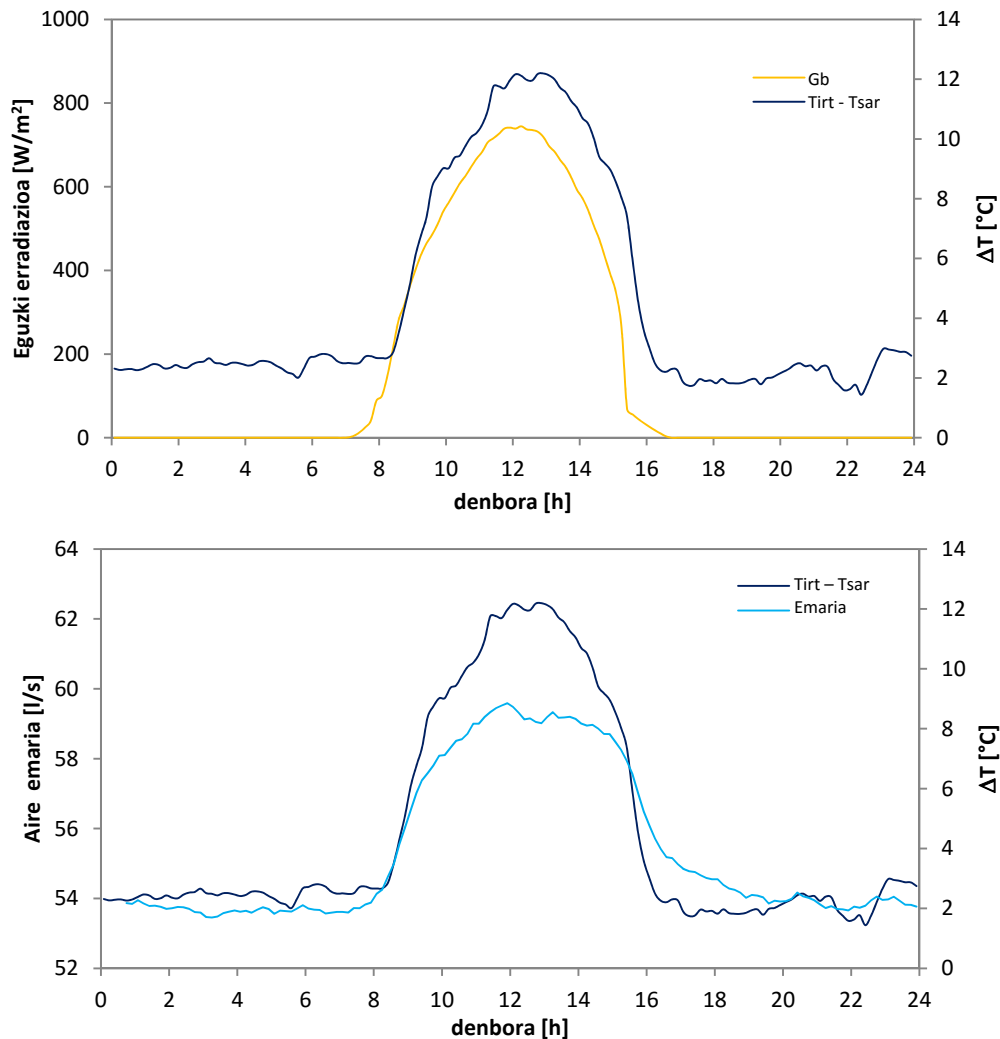
Aireztatutako ganbera barruan airearen tenperaturei buruz, entsegu honetan aurrekoetan baino informazio gehiago edukitzen da altueran zunda handiagotzeari esker. 4.128 Irudian bilakaera erreferentzia-egunean zehar eta denbora-ardatzari buruz azalera erakusten da. Airearen tenperatura barruko azalerarena gehiago hurbiltzen dela ikus daiteke, panel sandwicheko azalera. Airearen beroketaren prozesua hiru zonatan bana daitekeela 4.128 Irudian ikusten da ere, sarrera-zona, lehen 0,5 [m], aireak 5°C-etako gehikuntza azkarra esperimentatzen duen tokian, zona zentrala, 1,5 [m]-etarako 0,5 [m]-aren artean, beste 4°C batzuen gehikuntza lineala gertatzen den tokian, eta azkeneko partea, 2,1 [m]-etarako 1,5 [m]-aren artean, 3°C-tenperaturaren handiagotze zakarra erauzketa-tolben efektuagatik gertatzen den tokian.



4.129 Irudia – Kanpokoari buruz tenperatura saltoa, goiko grafikoa, eta tenperatura gradientea, beheko grafikoa, kapa desberdinetan eta aireztatutako ganberako airean

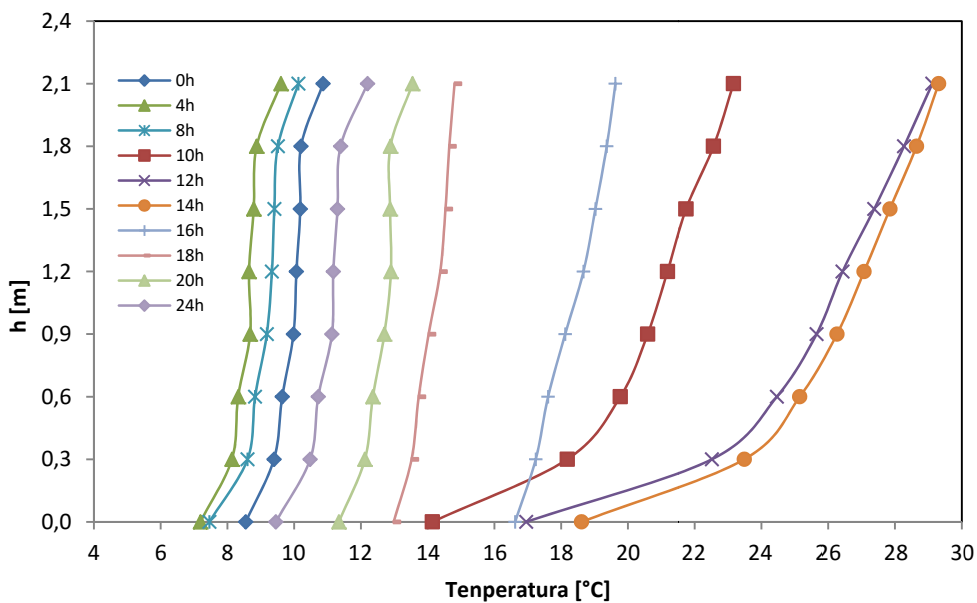
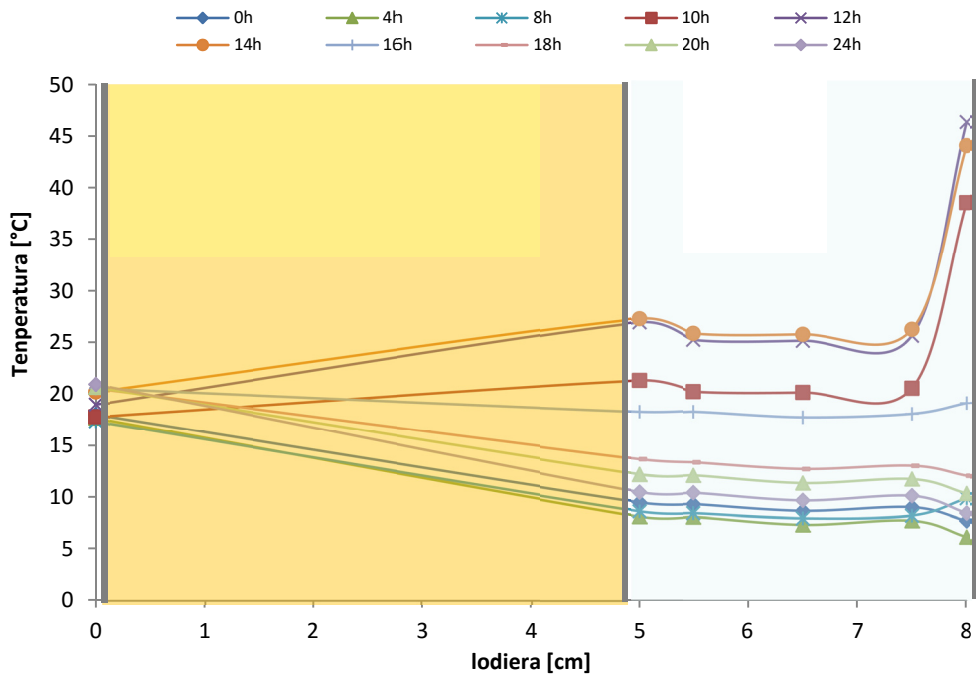
4.129 Irudiaren goiko grafikoa tenperatura-saltoa erakusten da aireztatutako ganberako kapetako bakoitzeko kanpoko aireari buruz. Gradiente hauek garrantzitsuak direla ikus daiteke, hortaz azalera bakoitzaren tenperaturako batez besteko balioetako erabilerak hurbilketa irudika dezake fatxada behartutako modelatze fasean jasotako errore-marjinarekin. Gai hau 5 Kapituluko xehetasun gehiagorekin analizatzen da. 4.130 Irudian erlazioa erakusten da probetaren gaineko eguzki-erradiazio intzidenteari buruz airearen tenperatura saltoaren artean eta

aireztatutako ganberatiko aire zirkulatzailerako emariari buruz ere. Eguzki-erradiazioa airearen beroketako motorra dela garbi ikus daiteke, eta aipaturiko beroketa erradiazio-kanpaiari produzitzen zaiola aldibereko eran, eta apur bat desfasetzen dela denboran probetan metatutako bero erresidualagatik, baina desfase hau materialen inertzia gutxiagatik oso txikia izanez. Emari zirkulatzailerari dagokionez, ikusten du nola teilatzen den haizagailuak bultzatutako balio oinarriari buruz handiagotzea flotazio efektuarekin zuzenki konbekzio naturalagatik.



4.130 Irudia - Eguzki-erradiazioaren kontrako aireztatutako ganberan airearen temperatura saltoaren bilakaera eta airearen emaria fatxada behartuan

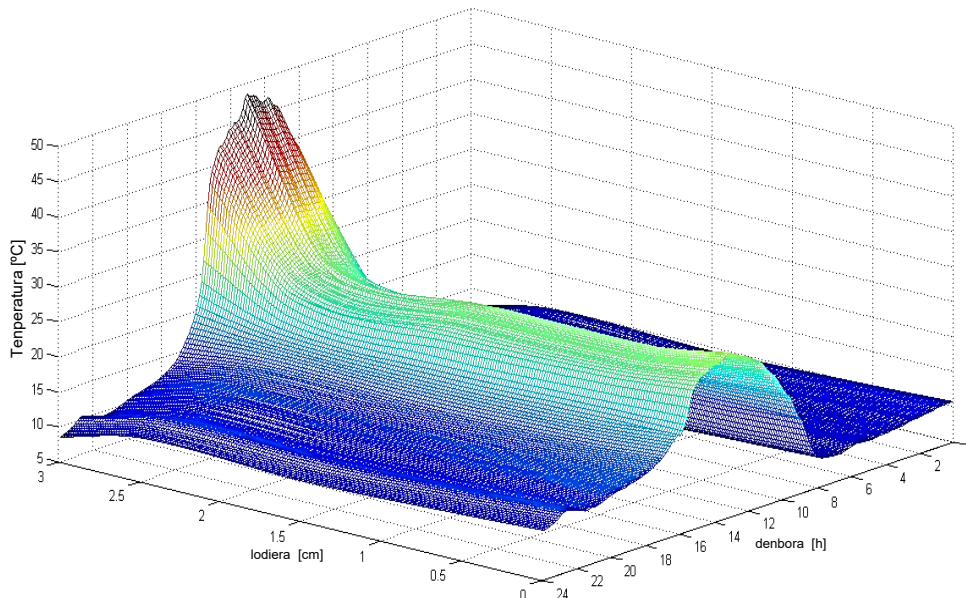
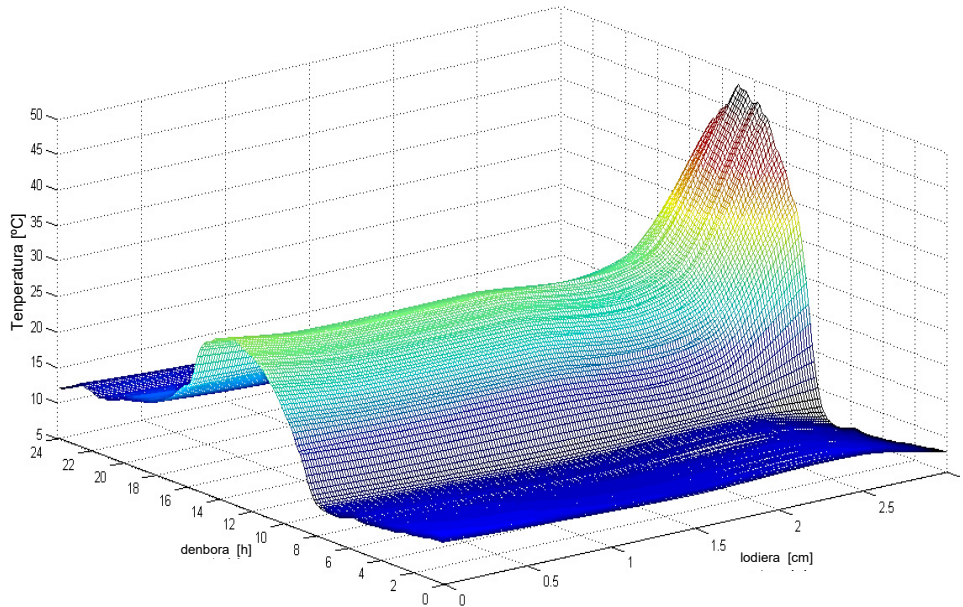
4.131 Irudian temperaturako zeharkako profilak puntu zentrolean eta ganberaren lodieraren ardatz zentraleko airearen temperaturaren altuerako profila erakusten dira. Bilakaera analizatzen bada denborari buruz aire-ganberako zeharkako temperatura-profileko, ikus 4.132 Irudia, ikus daiteke, aurreko irudian erakutsitako une puntualekin batera, kanpoko orria soilik heldutako temperatura maximoek eragiten diotela 0,5 [cm]-etarako lodiera aire txikiagoko orri bati aireztatutako ganbera barruan. Profil-forma honek efektu garrantzitsua du espermentalki aireztatutako ganberako sailaren temperaturako balio eraginkorrari buruz neurtutako temperaturen arteko erlazioaren gainean.



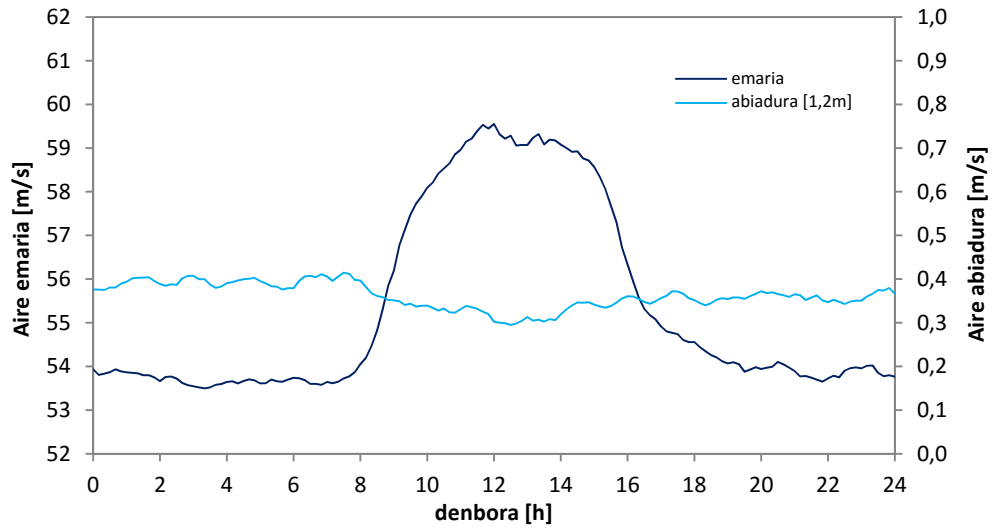
4.131 Irudia – Azaroaren 19an ireztatutako fatxada behartutako lagineko temperatura profilak

Kapa mugen arteko korrelazio termikoagatik eta kapa muga hidrodinamikoagatik, abiadura eraginkorraren erlazioaren arteko efektu baliokidea gertatzen da ere puntu zentrolean neurtutako abiadurari buruz. Efektu hau 4.133 Irudian argi eta garbiago ikus daiteke, emari zirkulatzaila konparatzen denean aireztatutako ganberaren puntu zentroleko abiadura neurriarekin. Emari-handiagotzea ez da ikusten ganberaren puntu zentroleko abiadura zirkulatzailaren handiagotze batean irudikatuta, handiagotze honek gainazaleko azelerazioa fatxadaren kanpoko xaflaren hurbiltasunean bihurtzen duenez gero. Beraz, aireztatutako fatxada sistemen portaeraren analisi termikoak datu esperimentalen estudio matematiko zabalagoa eskatzen du. 5 Kapituluako 5.2.2 atalean garatzen dena bezalako estudioa aireztatutako fatxada arinaren kasurako. Azkenik,

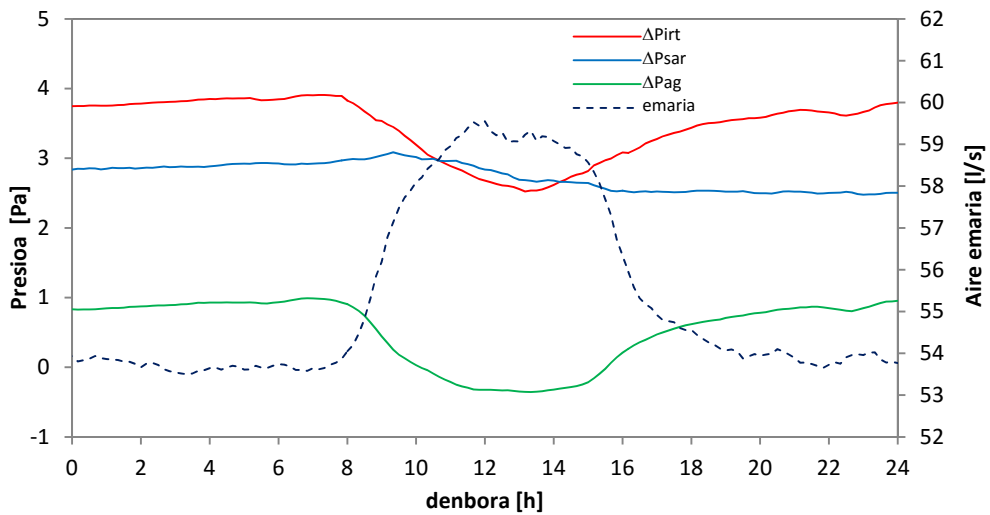
4.134 Irudian aireztatutako ganberaren portaera erakusten da emari|ondasun zirkulatzailerari buruz airearen mugimenduko presio galerei dagokienez. Sarrera-zonako presio galera etengabeko mantentzen dela ikus daiteke, baina hala ere probetaren altueran zeharreko zirkulazioko galerak, eta irteera-zonan, ikusten dira konbekzio naturaleko osagaiak eraginda, eta emariaren handiagotzeko bere efektua. Behin eta egindako entseguetako multzoaren datu esperimentalak ebaluatuta, hurrengo kapituluan aireztatutako fatxada natural arineko probetaren estudio zehatza egiten da. Soluzio eraikitzaile hau da eraikuntzako sektorean aplikazio handiagoa aurkezten duena, bai eraikuntza berrirako bai birgaitze-sistemetarako.



4.132 Irudia – Fatxada behartutako azaroaren 19an zehar aireztatutako ganberaren puntu zentralerako tenperatura profilaren bilakaera



4.133 Irudia – Caudal y velocidad del aire dentro de la cámara ventilada a lo largo del día 19 de noviembre en la fachada forzada



4.134 Irudia – Aireztatutako ganbera barruan presioen bilakaera eta airearen azaroaren 19an zehar fatxada behartuan





# Capítulo 5

## Modelos matemáticos





## 5.1 Modelo del muro base

Como primera fase, en el *apartado 5.1*, se estudia el muro base aplicando la metodología *PASLINK*, para lo cual se emplea un modelo de parámetros concentrados. Este paso es fundamental, ya que la caracterización adecuada del muro base permitirá posteriormente determinar los flujos que las superficies interiores intercambian con la cámara de aire en las fachadas ventiladas. Este primer paso también permite evaluar la capacidad de la celda de ensayos y las herramientas de identificación de parámetros, para caracterizar soluciones constructivas heterogéneas, ya que en los ensayos de calibración y de trazabilidad se emplean muros homogéneos. Una vez que se conoce con precisión el comportamiento de los muros base se pasa a estudiar el comportamiento de la fachada ventilada, *apartado 5.2*. El estudio se centra en la solución de fachada ventilada natural ligera y se inicia con el modelado de la muestra de ensayo mediante una herramienta de volúmenes finitos. Este estudio es necesario para complementar los datos experimentales del ensayo, *apartado 5.2.2*. Y se finaliza con un modelo de convección natural de la cámara ventilada y un modelo de parámetros concentrados de la solución completa, *apartado 5.2.3*. Estos modelos se implementarán posteriormente, en el *Capítulo 6*, en un modelo final a escala de edificio que permitirá analizar la repercusión de los sistemas de fachada ventilada en la demanda energética de las viviendas.

### 5.1.1 Modelo del muro base sin aislamiento

Para determinar el modelo del muro base se aplica la metodología seguida en el ensayo de calibración y en el ensayo de trazabilidad *IQ-Test*. Hay que tener en cuenta la complejidad de la muestra, ya que en este caso está formada por varias capas con propiedades térmicas muy diferentes. Primero se calcula las propiedades de la probeta a través de las sondas situadas en el centro de la muestra, de forma que se puede considerar válida la hipótesis de flujo unidimensional. A continuación, se determina el valor total de la probeta junto con los efectos de borde del sistema de portamuestras. En la Figura 5.1 se muestra el modelo empleado para el flujo central de la muestra.

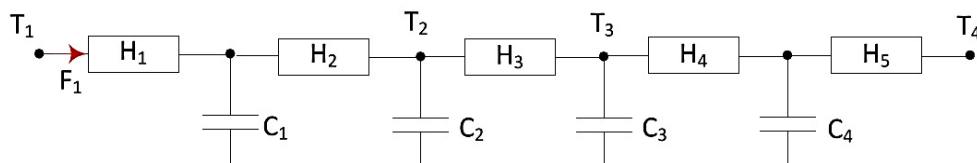


Figura 5.1 – Modelo flujo unidimensional del muro base sin aislamiento

CAPA	[m <sup>2</sup> K/W]	e [%]	CAPA	[MJ/m <sup>2</sup> K]	e [%]
R <sub>tab</sub>	0,175	2,9	C <sub>tab</sub>	0,049	1,8
R <sub>ca</sub>	0,187	1,7	C <sub>perf</sub>	0,157	13,9
R <sub>perf</sub>	0,152	18,0	<b>C<sub>total</sub></b>	<b>0,207</b>	<b>11,0</b>
<b>R<sub>total</sub></b>	<b>0,514</b>	<b>6,9</b>			

Tabla 5.1 –Propiedades de cada capa del modelo unidimensional de muro base

Se busca obtener el modelo más sencillo que permita conocer las propiedades térmicas individuales de cada capa, ya que en los posteriores estudios de las fachadas activas es necesario conocer los flujos en cada superficie para poder analizar el comportamiento de la cámara ventilada. Entre los nodos con temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  se representa el tabique interior (*tab*), entre  $T_2$  y  $T_3$  la cámara de aire estanca (*ca*), y entre  $T_3$  y  $T_4$  el tabique exterior (*perf*). En la Tabla 5.1 se recogen los resultados obtenidos para las propiedades térmicas de cada una de las capas que conforman el muro base, y los valores totales del mismo. También se indican las incertidumbres finales de los resultados, teniendo en cuenta la componente de error del proceso de identificación de parámetro junto con los errores del proceso de ensayo, más la componente obtenida mediante la propagación de incertidumbres de los errores de medida de la instrumentación. Las ecuaciones del modelo, los resultados parciales, y el análisis de validación mediante el estudio de residuos, se recoge con detalle en el Anexo D.

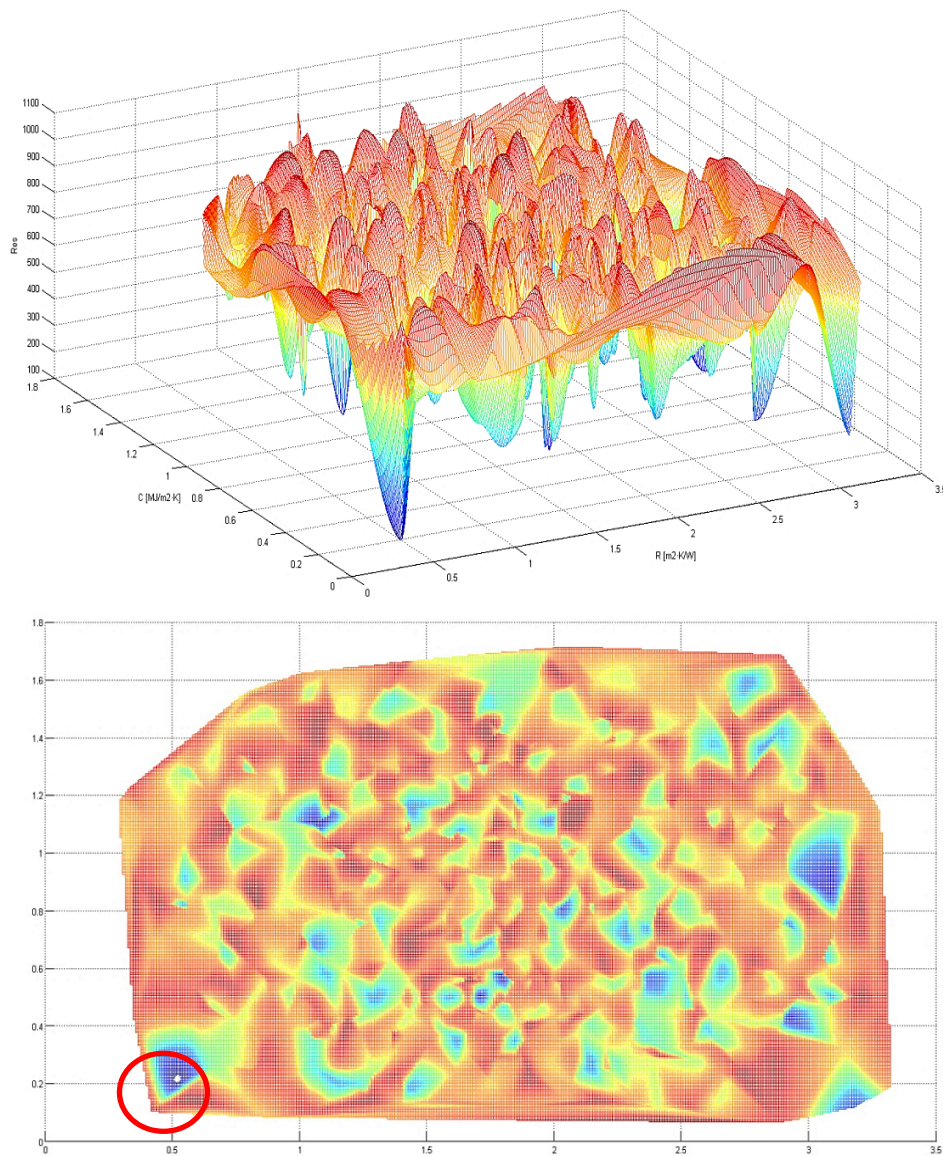


Figura 5.2 – Superficie de residuos en el proceso de identificación de parámetros del muro base

En resumen, se puede concluir que los valores de propiedades térmicas obtenidos son próximos a los valores normalizados<sup>[32]</sup>, pero con ciertas diferencias. Se obtienen capacidades térmicas más altas y resistencias más pequeñas, esto es debido al efecto de las juntas de mortero de agarre, que penetra en las cavidades de aire de los bloques. La medida de dichas propiedades con precisión, gracias al ensayo, permite obtener una mayor calidad en la determinación de los flujos de calor que se intercambian. Antes de dar el siguiente paso en el modelado del muro base, es necesario analizar con más detalle el proceso de identificación de parámetros. Hasta el momento las muestras estudiadas mediante la metodología *PASLINK* eran relativamente sencillas, ya que estaban constituidas por un material características homogéneas. En este caso, la muestra dispone de diferentes capas de características dispares, lo que complica el proceso de identificación. Para dar una idea de lo expuesto, en la Figura 5.2 se muestra la superficie de residuos para los valores totales de resistencia y capacidad térmica de la muestra, en un rango amplio de dichas variables. Las diferencias son claras si se compara con la superficie de residuos obtenida para el muro opaco del ensayo de *IQ-Test*, ver apartado 3.4.1, del Capítulo 3.

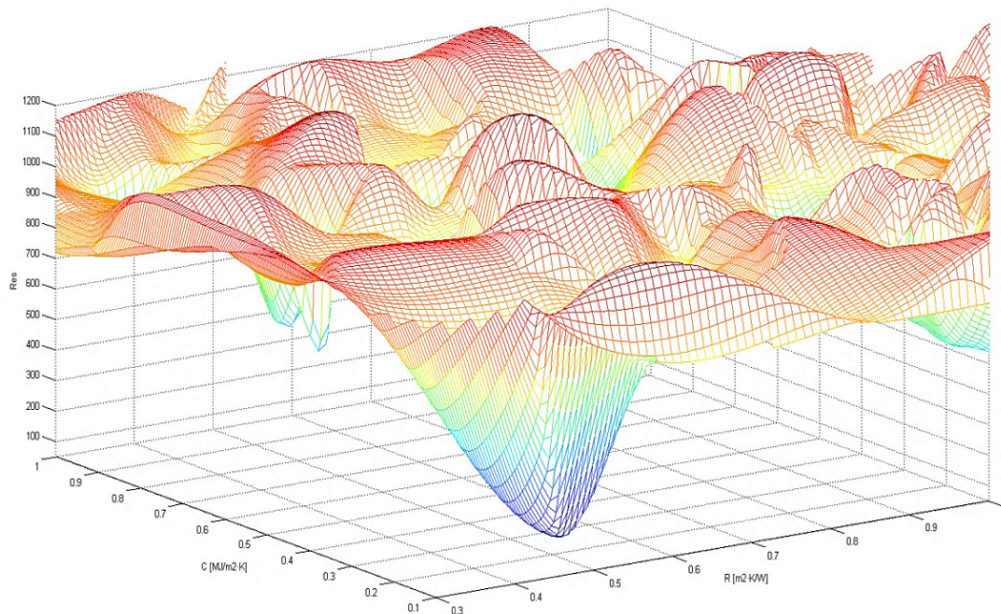


Figura 5.3 – Superficie de residuos acotada, proceso de identificación de parámetros del muro base

La resistencia térmica va desde  $R_{total} \in [0-3,5]$  [ $m^2K/W$ ] y la capacidad térmica  $C_{total} \in [0-2]$  [ $MJ/m^2K$ ]. Se puede ver cómo en la superficie de residuos hay un gran número de valles, pero sólo uno presenta un mínimo absoluto, remarcado por un círculo rojo en la figura, situado en el entorno de  $R_{total} \approx 0,5$  [ $m^2K/W$ ] y  $C_{total} \approx 0,2$  [ $MJ/m^2K$ ]. La imagen de residuos demuestra la gran importancia de disponer de un método de identificación de parámetros muy robusto, que permita detectar el punto real con fiabilidad. En este aspecto, el trabajar con las dos herramientas de identificación definidas en el Capítulo 3 es un gran apoyo. El *LORD* presentan una gran fiabilidad en la detección de mínimos absolutos gracias a la robustez de los dos métodos que emplea, *Downhill Simplex* y *Monte Carlo*, y una vez acotado dicho mínimo, el *CTSM* presenta una gran precisión en la determinación de los parámetros gracias a la potencialidad del análisis estadístico. Si se reduce la superficie de búsqueda acotando el rango de las propiedades térmicas a unos valores más razonables para las características de la muestra, como se puede ver en la Figura 5.3, el mínimo absoluto pasa a ser único. Esta calidad de resultados se debe a las elevadas prestaciones de



ensayo que aporta la metodología *PASLINK*, sumadas a las características de la celda *EGUZZI*. El empleo de la rutina de ensayo que maximiza la información recogida en los datos medidos y una celda de ensayo que reduce al mínimo su influencia sobre la muestra, permiten obtener precisiones de ensayo en condiciones exteriores del mismo orden que los métodos en condiciones de laboratorio, como es el caso de la caja caliente guardada.

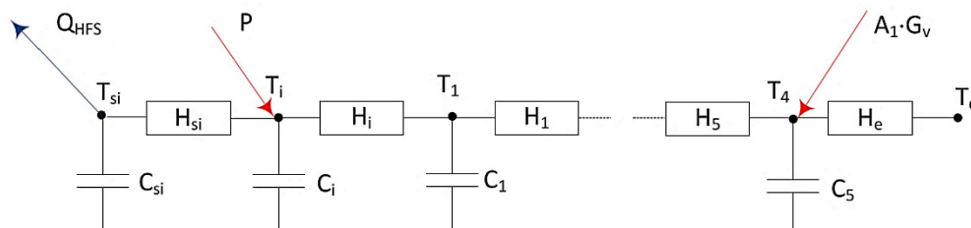


Figura 5.4 – Modelo flujo completo del muro base sin aislamiento

CAPA	[m <sup>2</sup> K/W]	e [%]	CAPA	[MJ/m <sup>2</sup> K]	e [%]
R <sub>tab</sub>	0,168	4,3	C <sub>tab</sub>	0,045	6,3
R <sub>ca</sub>	0,185	2,8	C <sub>perf</sub>	0,162	3,9
R <sub>perf</sub>	0,144	1,0	<b>C<sub>total</sub></b>	<b>0,208</b>	<b>4,4</b>
<b>R<sub>total</sub></b>	<b>0,496</b>	<b>2,8</b>			

Tabla 5.2 –Propiedades del modelo de celda completo para el muro base

Una vez realizado el estudio unidimensional, el siguiente paso es ampliar el modelo a la celda completa. Dicho modelo se muestra en la Figura 5.4 y consiste en el modelo de muro base definido en la Figura 5.1 más la interacción con la sala de ensayos y la interacción con las condiciones exteriores, temperatura ventilada y radiación solar sobre la superficie vertical. En la Tabla 5.2 se recogen los valores obtenidos para las propiedades térmicas de cada capa del muro base en el modelo de celda completa, junto con las incertidumbres finales obtenidas tras aplicar la propagación de errores de las variables de ensayo. Las diferencias respecto al modelo de flujo unidimensional son de  $R_{total} = 3,4\%$  y de  $C_{total} = 0,4\%$ . En cuanto a la resistencia térmica, el valor inferior obtenido en el modelo de celda completa se debe a los efectos de borde de la muestra. Si se estima su efecto mediante el factor lineal de borde se obtiene un valor de  $\psi_{mb} = 0,012$  [W/mK]. El valor final de resistencia térmica se podría ajustar más si se emplea un modelo con dos ramas para representar el muro base. Pero teniendo en cuenta que las diferencias entre ambos resultados son inferiores a la incertidumbre de cálculo se considera válido. En cuanto a la capacidad térmica, el valor es equivalente.

Una vez comparados los valores de las propiedades térmicas, el siguiente aspecto en importancia son las incertidumbres de dichos valores. Aquí es donde destaca el potencial del ensayo *PASLINK*. Las incertidumbres de medida se reducen a la mitad respecto al estudio unidimensional. Esto se debe a las prestaciones globales de la metodología de ensayo. Por un lado, la celda no solo no enmascara a la muestra sino que potencia su comportamiento durante el periodo de ensayo, aportando una precisión elevada en la medida de los flujos de calor intercambiados durante el ensayo. Y por otro lado, la rutina de excitación de la sala de ensayos junto con el potencial de las herramientas de identificación de parámetros permite resaltar la función objetivo. Es decir, si nos fijamos en la superficie de residuos de la Figura 5.2, el modelo ampliado



a la celda completa genera un mínimo en el punto correspondientes a las propiedades térmicas de la muestra más diferenciado del resto de mínimos del rango de identificación. Este es uno de los principales aspectos de desarrollo del presente trabajo y que permite disponer de una base de medida de gran precisión para la posterior caracterización del comportamiento térmico de los sistemas de fachadas ventiladas. Para terminar de definir el modelo, quedan por analizar las propiedades exteriores. De la identificación se obtiene una apertura solar para la superficie de mortero de revestimiento de  $A_1 = 0,803 \pm 0,094$  y un coeficiente superficial de convección de  $h_e = 23,7 \pm 2,8$  [W/m<sup>2</sup>K]. Los valores obtenidos son coherentes con los esperados para las características de la muestra y las condiciones de ensayo de la celda. Un punto importante es que estas dos propiedades presentan una elevada correlación en el estudio usual de identificación de parámetros; sin embargo, en el modelo obtenido dicho coeficiente de correlación es de  $\zeta_{COR} = 0,026$ , muy alejado de la unidad. Esto demuestra la eficiencia de desacople de las condiciones de la sala de ensayo respecto a las condiciones del ambiente exterior.

### 5.1.2 Modelo del muro base con aislamiento

Una vez caracterizado el muro base, se repite el proceso de estudio para el muro con aislamiento. Primero se determinan las propiedades mediante las medidas unidimensionales, y para ello se amplía el modelo de la Figura 5.1. Se aumenta el orden y se añaden dos conductancias, entre los nodos con temperaturas  $T_4$  y  $T_6$ , que representa la capa de aislamiento por el exterior, ver Figura 5.5. Además, se suma a la función objetivo la temperatura de la capa intermedia entre muro y aislamiento,  $T_4$ . En el Anexo D se muestran los resultados completos del modelo y el análisis de residuos. En la Tabla 5.3 se recogen los valores obtenidos por el modelo unidimensional para cada capa de la probeta, junto con las incertidumbres totales de ensayo. Los valores de las capas del muro concuerdan perfectamente con los resultados del ensayo previo del muro base sin aislamiento.

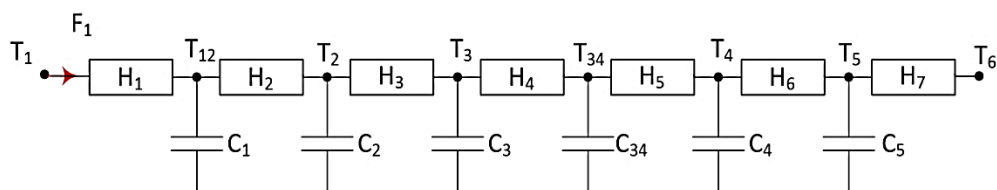


Figura 5.5 – Modelo flujo unidimensional del muro base con aislamiento

CAPA	[m <sup>2</sup> K/W]	e [%]	CAPA	[MJ/m <sup>2</sup> K]	e [%]
$R_{tab}$	0,176	3,2	$C_{tab}$	0,049	12,1
$R_{ca}$	0,184	5,1	$C_{perf}$	0,156	8,2
$R_{perf}$	0,155	3,3	$C_{SATE}$	0,009	30,5
$R_{SATE}$	1,350	5,2	<b><math>C_{total}</math></b>	<b>0,214</b>	<b>9,6</b>
<b><math>R_{total}</math></b>	<b>1,864</b>	<b>4,8</b>			

Tabla 5.3 – Propiedades del modelo unidimensional para el muro base con aislamiento

La conductividad media de la capa de aislamiento obtenida es de  $\lambda_{SATE} = 0,041$  [W/mK], muy próxima al valor de conductividad de la lana mineral obtenida en el ensayo de

norma,  $\lambda_{LM} = 0,039$  [W/mK]. La diferencia es asumible, teniendo en cuenta que en el sistema SATE el espesor de mortero de revestimiento,  $e_{reves} = 0,5$  [cm], no aporta prácticamente resistencia térmica al conjunto de la capa de aislamiento. También hay que tener en cuenta que la conductividad del aislante crece con la temperatura. Un aspecto interesante es que las incertidumbres de ensayo son más reducidas que en el muro base sin aislamiento. Esto se debe a las características de la muestra. En el caso del muro base, todas las capas presentaban unas propiedades térmicas muy similares. Sin embargo, en el segundo ensayo, la capa de aislamiento presenta una resistencia muy superior al resto de capas, y una inercia muy reducida. Esta disparidad de propiedades ayuda a la unicidad de resultados del proceso de identificación. Una vez determinadas las propiedades de referencia de la muestra se pasa a estudiar el modelo de celda completa para estimar los efectos de borde. En la Figura 5.6 se muestra el esquema del modelo empleado. Los resultados del proceso de identificación se recogen en la Tabla 5.4. Como en el caso anterior, en el Anexo D se muestran los resultados completos del modelo y el análisis de residuos.

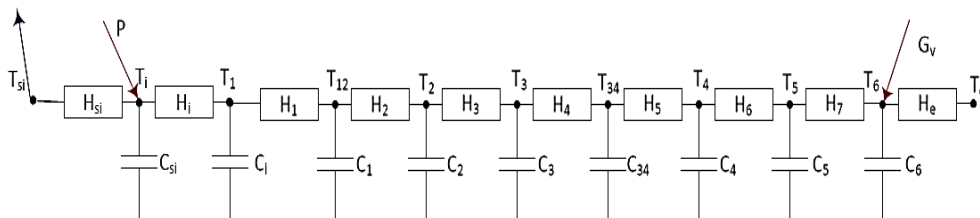


Figura 5.6 – Modelo de celda para el muro base con aislamiento exterior

CAPA	[m <sup>2</sup> K/W]	e [%]	CAPA	[MJ/m <sup>2</sup> K]	e [%]
R <sub>tab</sub>	0.177	8.9	C <sub>tab</sub>	0.049	10.7
R <sub>ca</sub>	0.183	5.5	C <sub>perf</sub>	0.160	6.2
R <sub>perf</sub>	0.159	11.1	C <sub>SATE</sub>	0.009	15.9
R <sub>SATE</sub>	1.271	2.0	<b>C<sub>total</sub></b>	<b>0.218</b>	<b>7.6</b>
<b>R<sub>total</sub></b>	<b>1.790</b>	<b>3.8</b>			

Tabla 5.4 – Propiedades térmicas por capa del modelo de celda para el muro base con aislamiento

Se puede ver que el modelo de celda reduce el error de los resultados, como sucedía en los casos anteriores. En cuanto a los efectos de borde del sistema de portaprobetas, la diferencia con los valores del modelo unidimensional, son de un 4% inferior en la resistencia térmica y 2% superior en la capacidad térmica. Como es de esperar, la zona de borde aumenta el flujo intercambiado por la probeta, por lo que se obtienen valores inferiores de resistencia térmica y la estructura del portamuestras aporta algo de inercia térmica al modelo. Pero las diferencias son reducidas, y dentro del rango de incertidumbre del ensayo, por lo que se puede dar por válido el modelo. Para finalizar el proceso de definición del modelo de muro base con aislamiento, queda por determinar la apertura solar y el coeficiente de convección exterior. Para ello se define un modelo equivalente al de la Figura 5.4. El valor que se obtienen para la apertura solar de la superficie exterior de mortero del SATE es de  $A_1 = 0,817 \pm 0,080$  y el coeficiente de intercambio de calor con el ambiente exterior es  $h_e = 27,0 \pm 3,0$  [W/m<sup>2</sup>K]. Los valores son muy parecidos a los que se obtenían en el caso del muro base sin aislamiento, como era de esperar, ya que el mortero final de revestimiento es el mismo para ambas probetas. Y las incertidumbres finales de ambos parámetros también son similares, en

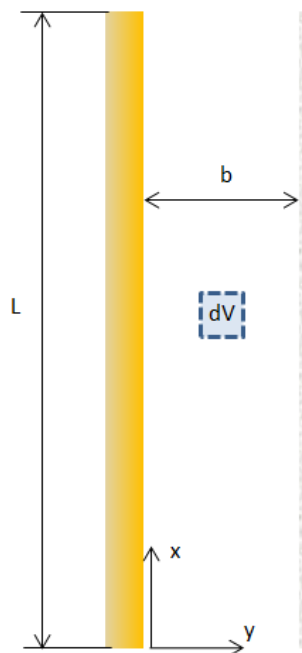
este caso son del 9,8% y 11,2% respectivamente. En el Anexo D se muestra el proceso de cálculo de estos parámetros.

## 5.2 Modelo de la fachada ventilada de tiro natural

Una vez caracterizado adecuadamente el muro base ya se dispone de la herramienta necesaria para conocer los flujos de calor que se intercambian en la fachada ventilada. En este apartado se desarrollan y contrastan los modelos de convección natural que representan el comportamiento térmico del sistema de fachada ventilada evaluada experimentalmente. Como primer paso se realiza un repaso bibliográfico de las correlaciones más aplicadas en el ámbito de la convección natural entre placas planas. Posteriormente se desarrolla un modelo de CFD de la fachada ventilada que se ajusta con los datos experimentales y que se emplea para obtener los coeficientes de corrección de las medidas puntuales a los valores equivalentes de sección para los perfiles de temperatura y velocidad. Una vez obtenidos dichos coeficientes se puede realizar una análisis de la validez de las correlaciones de convección disonibles para predecir el comportamiento real de la fachada.

### 5.2.1 Modelos convencionales

Para representar el comportamiento de aire dentro de la cámara ventilada de las fachadas se considera que el movimiento es bidimensional, en altura, eje x, y anchura de la cámara, eje y, despreciando las componentes perpendiculares, eje z, ver Figura 5.7.



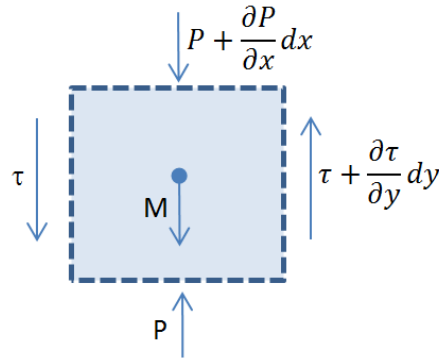
$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{1}{\rho} \frac{dP}{dx} - g \quad [5.1]$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$$

Figura 5.7 – Ecuaciones de convección natural en la cámara ventilada

De esta forma, el sistema de ecuaciones completas, en coordenadas cartesianas, para el caso de convección natural es el indicado en [5.1]. La primera ecuación corresponde a la conservación de la masa, la segunda a la conservación de la cantidad de movimiento, y la tercera a la conservación de la energía. La ecuación de conservación del movimiento es la que tiene mayor relevancia, ya que es la que define el régimen de flujo que se produce en el proceso de convección.



[5.2]

$$F_x = \left( \frac{\partial \tau}{\partial y} dy \right) dx - \left( \frac{\partial P}{\partial x} dx \right) dy - (\rho g) dx dy$$

$$F_y = \left( \frac{\partial \tau}{\partial x} dx \right) dy - \left( \frac{\partial P}{\partial y} dy \right) dx = 0$$

Figura 5.8 – Balance de fuerzas sobre el  $dm$  del aire en la cámara ventilada

Para obtener la forma definida anteriormente se considera que la componente principal del movimiento del aire es ascendente y que las velocidades en la dirección perpendicular a las superficies de la fachada, eje  $y$ , son muy pequeñas,  $v \ll u$ , y por tanto se pueden despreciar los esfuerzos en dicha dirección. De esta forma, el balance de fuerzas que actúa sobre el elemento diferencial de masa de aire,  $dm$ , dentro de la cámara ventilada, es el que se muestra en [5.2], de la Figura 5.8. En el eje  $x$ , también se consideran despreciables los esfuerzos normales a la superficie superior e inferior del  $dm$ , de forma que sólo participan en el balance la variación de presión, el peso, y los esfuerzos cortantes. El término de variación de presión y peso de la ecuación se puede expresar como una variación de densidades, tomando como referencia las condiciones ambientales fuera de la cámara ventilada,  $P_\infty, T_\infty$  y considerando que la variación de presión en altura se aproxima a la variación de presiones hidrostáticas, [5.3].

$$P(x) = P_\infty(x) \rightarrow \frac{\partial P}{\partial x} = -\rho_\infty g$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = v \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + (\rho_\infty - \rho) g$$

[5.3]

Considerando el fluido como incomprensible y newtoniano, se puede aplicar las ecuaciones de gas perfecto para expresar la diferencia de densidades como diferencia de temperaturas mediante el coeficiente de expansión volumétrica, aproximando las diferenciales mediante diferencias finitas, [5.4].

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_P \approx -\frac{1}{\rho} \frac{\Delta P}{\Delta T} = -\frac{1}{\rho} \frac{(\rho_\infty - \rho)}{(T_\infty - T)} \quad [5.4]$$

Este planteamiento del término de esfuerzos permite obtener una formulación de la ecuación de cantidad de movimiento, denominada aproximación de *Boussinesq*, muy útil para su posterior resolución, ver [5.5], dando resultados precisos para el rango de trabajo de temperaturas del presente estudio.

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + g\beta(T - T_\infty) \quad [5.5]$$

Si se define la ecuación de forma adimensional, realizando el cambio de variables que se indica en [5.6], donde se puede tomar como longitud característica el espesor de la cámara de aire,  $b$ , o la altura de la misma,  $L$ . La ecuación de cantidad de movimiento queda de la forma [5.7], donde todos los efectos de la convección natural se engloban en el término de *Grashof*, [5.8], que relaciona los esfuerzos de flotación con las fuerzas viscosas.

$$\begin{aligned} x' &= \frac{x}{L_c} & y' &= \frac{y}{L_c} \\ u' &= \frac{u}{V} & v' &= \frac{v}{V} \\ T' &= \frac{T - T_\infty}{T_s - T_\infty} & V &= Re_{L_c} \frac{\nu}{L_c} \end{aligned} \quad [5.6]$$

$$u' \frac{\partial u'}{\partial x'} + v' \frac{\partial v'}{\partial y'} = \frac{1}{Re_{L_c}} \frac{\partial^2 u'}{\partial y'^2} + \left[ \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_c^3}{\nu^2} \right] \frac{T'}{Re_{L_c}^2} \quad [5.7]$$

$$\begin{aligned} Gr_{L_c} &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_c^3}{\nu^2} \\ Re_{L_c} &= \frac{v \cdot L_c}{\nu} \end{aligned} \quad [5.8]$$

El número de  $Gr$  permite determinar el tipo de flujo que se produce dentro de la cámara ventilada, siendo el valor crítico de transición entre flujo laminar y turbulento del orden de  $Gr \approx 10^9$ , y a su vez, permite determinar si el movimiento se produce puramente por convección natural o existen componentes de convección forzada, [5.9]. Para simplificar el estudio de transmisión de calor, es interesante poder aplicar la ley de enfriamiento de *Newton*, de forma que el calor absorbido por el aire en la cámara ventilada se pueda expresar en función de las temperaturas de las superficies y del aire exterior, ecuación [5.10].

$$\begin{aligned}\frac{Gr_{L_c}}{Re_{L_c}^2} &\gg 1 \rightarrow \text{convección natural pura} \\ \frac{Gr_{L_c}}{Re_{L_c}^2} &\approx 1 \rightarrow \text{convección mixta} \\ \frac{Gr_{L_c}}{Re_{L_c}^2} &\ll 1 \rightarrow \text{convección forzada pura}\end{aligned}\quad [5.9]$$

Como dicho flujo de calor se produce en la zona de contacto con las superficies, en esa zona el aire no tiene velocidad, y por tanto la transmisión de calor se produce por conducción, [5.11], de forma que si se aplica esta condición de contorno al problema se obtiene la expresión [5.12] para el coeficiente de convección.

$$q = h(T_s - T_\infty) \quad [5.10]$$

$$q = -\lambda_a \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0} \quad [5.11]$$

$$h = -\frac{\lambda_a \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0}}{(T_s - T_\infty)} \quad [5.12]$$

Si esta relación se expresa de forma adimensional se obtiene la expresión [5.13] donde aparece el número adimensional de *Nusselt*, [5.14], que representa el gradiente adimensional de temperaturas dentro del fluido.

$$\left( \frac{\partial T'}{\partial x'} \right)_{x'=0} = -\frac{hL_c}{\lambda_a} \quad [5.13]$$

$$Nu = \frac{hL_c}{\lambda_a} \quad [5.14]$$

El número de *Nusselt* juega un papel fundamental, ya que permite desarrollar la función que relaciona el coeficiente de convección en relación a los parámetros que caracterizan el proceso de transmisión de calor, [5.15]. Si se busca expresar el coeficiente de convección como un producto de las variables asociadas, elevadas a un exponente, ecuación [5.16], dichos exponentes deben cumplir la coherencia adimensional.

$$h = f(\lambda_a, \rho, \mu, c_p, V, L_c) \quad [5.15]$$

$$h = cte \cdot \lambda_a^x \cdot \rho^y \cdot \mu^z \cdot c_p^n \cdot V^m \cdot L_c^r \quad [5.16]$$



Como el problema está sobredimensionado, se dejan los exponentes  $n$  y  $m$  como parámetros, de forma que se obtiene la expresión [5.17]. Teniendo en cuenta la aproximación planteada para la variación de densidad con la temperatura en el proceso de convección natural, se obtiene finalmente la relación [5.18].

$$h = cte \cdot \frac{\lambda_a}{L_c} \cdot \left[ \frac{\mu c_p}{\lambda_a} \right]^n \left[ \frac{\rho V L_c}{\mu} \right]^m \quad [5.17]$$

$$Nu = cte [Pr]^n [Gr]^m \quad [5.18]$$

Este resultado concuerda con los criterios del análisis dimensional, ya que se disponen de siete magnitudes físicas de las cuales cuatro son dimensionalmente independientes, por lo tanto, la ecuación puede expresarse como relación entre tres números adimensionales que engloban dichas magnitudes. Si no se le asocia una forma determinada a la ecuación que relaciona el coeficiente de convección, se puede plantear que el problema de convección natural queda definido de la forma [5.19], y para simplificar, si se emplea el número de *Raileigh* que se obtiene del producto de  $Gr$  y  $Pr$ , ecuación [5.20], el modelo de convección natural queda de la forma [5.21].

$$Nu = f(Gr, Pr) \quad [5.19]$$

$$Ra = Gr \cdot Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_c^3}{\nu\alpha} \quad [5.20]$$

$$Nu = f(Ra) \quad [5.21]$$

Existe amplia documentación sobre estudios experimentales de convección natural en placas planas paralelas, en condiciones de laboratorio<sup>[150]</sup>. El modelo más empleado para el caso de placas planas y régimen laminar es el planteado por *Bar-Cohen* y *Rohsenow*<sup>[193,194]</sup>. Este modelo está revisado y ajustado, más recientemente, por *Olsson*<sup>[84,85]</sup>, y se define mediante las ecuaciones indicadas en [5.22], donde se emplea el número de  $Ra$  modificado  $Ra'_b = Ra_b/H$ . En este modelo el valor del  $Nu$  medio en la cámara de aire se obtiene de la composición de la zona en desarrollo del fluido,  $Nu_p$ , y de la zona con flujo completamente desarrollado,  $Nu_{fd}$ .

$$Nu_b = \left[ (Nu_{fd})^{-1.3} + (Nu_p)^{-1.3} \right]^{-1/1.3}$$

$$Nu_{fd} = \frac{Ra'_b}{24}$$

$$Nu_p = cC_l (Ra'_b)^{1/4} \cdot f \quad [5.22]$$

$$C_l = \frac{0.671}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}}$$

$$f = 1 + (Ra'_b)^{-0.4}$$

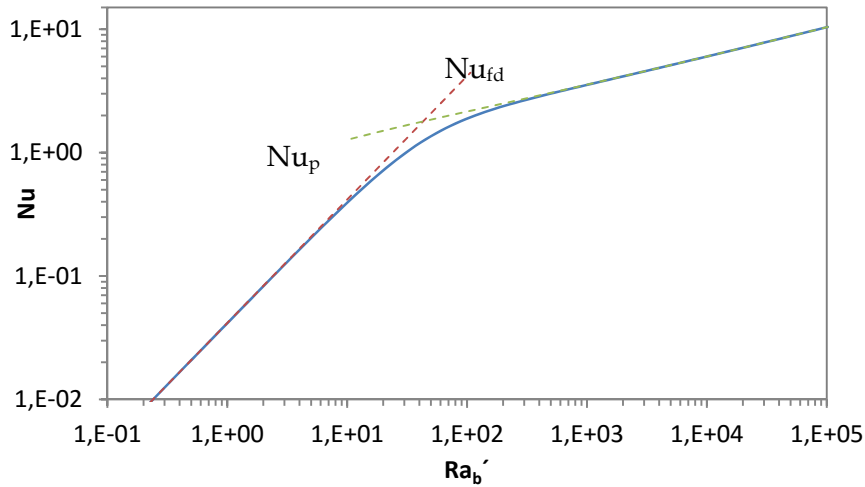


Figura 5.9 – Valores de  $Nu$  para el caso de placas isotermas

En la zona de entrada, las superficies que conforman la cámara de aire se comportan a convección como si fueran placas libres, ya que el espesor de las capas límites de temperatura y velocidad no se ven afectadas por la presencia de la otra superficie. La zona de flujo en desarrollo presentará mayor influencia en el valor final de  $Nu$ , cuanto mayor sea el espesor,  $b$ , de la cámara de aire. En la zona de flujo completamente desarrollado el cálculo de valor de  $Nu$  se simplifica en gran medida. La curva de  $Nu$  que se obtiene para un rango de  $Ra_b' < 1 \cdot 10^5$  se muestra en la Figura 5.9. La correlación [5.22] se obtiene del estudio de placas isotermas y simétricas, y el coeficiente  $c$  del término correspondiente al  $Nu_p$  toma los valores de  $c = 1,32$  ó  $c = 1,20$ ; ambos valores presentan un buen ajuste con diferentes datos experimentales disponibles. Y toma el valor de  $c = 1,00$  para el caso de placas aisladas térmicamente. El efecto de este coeficiente se muestra en la Figura 5.10.

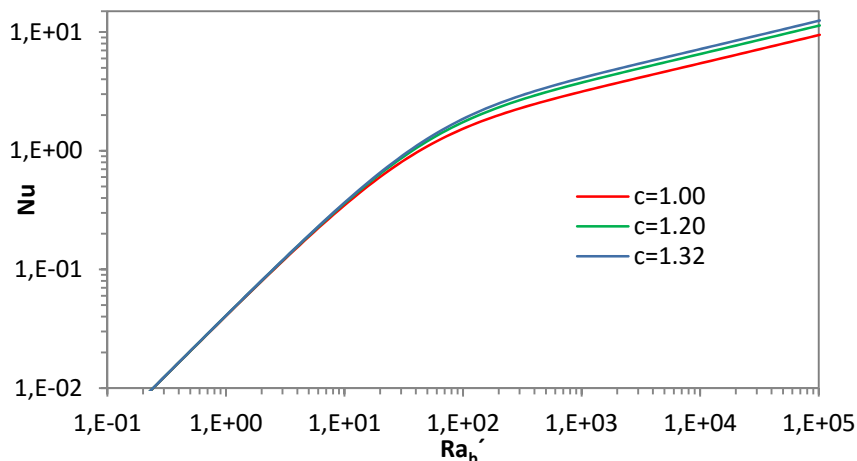


Figura 5.10 –  $Nu$  para el caso de placas isotermas con diferentes valores de coeficiente de ajuste  $c$

La hipótesis de temperatura uniforme y simétrica permite resolver las ecuaciones de convección y simplificar el estudio experimental, pero no se cumple en las condiciones reales de las fachadas ventiladas. Manteniendo la simplificación de temperatura uniforme, existen correlaciones para el caso de valores asimétricos para las dos

superficies. La correlación más precisa en este caso es la [5.23], determinada también por *Bar-Cohen* y *Rohsenow*<sup>[33]</sup>, y aplicable para el caso en el que una de las superficies se comporta de forma adiabática.

$$Nu_b = \left[ \frac{144}{(Ra'_b)^2} + \frac{2.873}{(Ra'_b)^{1/2}} \right]^{-1/2} \quad [5.23]$$

Otra hipótesis simplificativa que permite resolver el sistema de ecuaciones del proceso de convección es suponer una distribución de flujo de calor uniforme en las superficies. En este caso, la correlación que plantea *Rohsenow*<sup>[26,27]</sup> es la indicada en [5.24], donde se pueden tomar los valores de  $c = 1.15$  y  $c = 1.07$ , y  $c = 1$  correspondería al valor asintótico correspondiente al caso de placas aisladas. En este caso el número de  $Ra''$  se define según [5.25].

$$Nu_b = \left[ (Nu_{fd})^{-3.5} + (Nu_p)^{-3.5} \right]^{-1/3.5}$$

$$Nu_{fd} = 0.29(Ra''_b)^{1/2} \quad [5.24]$$

$$Nu_p = cH_l(Ra''_b)^{1/5}$$

$$H_l = \frac{6}{5} \cdot \left( \frac{Pr}{4 + 9\sqrt{Pr} + 10Pr} \right)^{1/5}$$

$$Ra''_b = \frac{g\beta q_s b^4}{\nu\alpha\lambda(H/b)} \quad [5.25]$$

Y para el caso de flujo asimétrico la correlación de  $Nu$ <sup>[62,66]</sup> se ajusta a la mostrada en [5.26]. En esta expresión el valor  $Nu$  se define respecto a la temperatura de las superficies a media altura del canal, como se indica en [5.27].

$$Nu_{b,T_{H/2}} = \left[ \frac{12}{Ra''_b} + \frac{1.88}{(Ra''_b)^{2/5}} \right]^{-1/2} \quad [5.26]$$

$$Nu_{b,T_{H/2}} = \frac{q_s}{T_{H/2} - T_\infty} \frac{b}{\lambda} \quad [5.27]$$

En la Figura 5.11 se muestra la comparativa entre el conjunto de correlaciones planteadas anteriormente para ambas hipótesis, temperatura o flujo uniforme, y para los casos de comportamiento simétrico de ambas superficies o condiciones asimétricas. Se puede observar que la mayor diferencia en los valores de  $Nu$  se producen para  $Ra$  bajos. Estos valores de referencia se comparan más adelante con los resultados experimentales de la fachada ensayada. Para definir de forma completa el proceso de transmisión de calor dentro de la cámara ventilada es necesario conocer también el caudal de aire que se produce en el proceso de convección natural. De forma análoga a las correlaciones que se definen para obtener el coeficiente de convección  $h$  a través del valor de  $Nu$  se puede determinar el caudal másico  $m$  a través del número de  $Re$ .

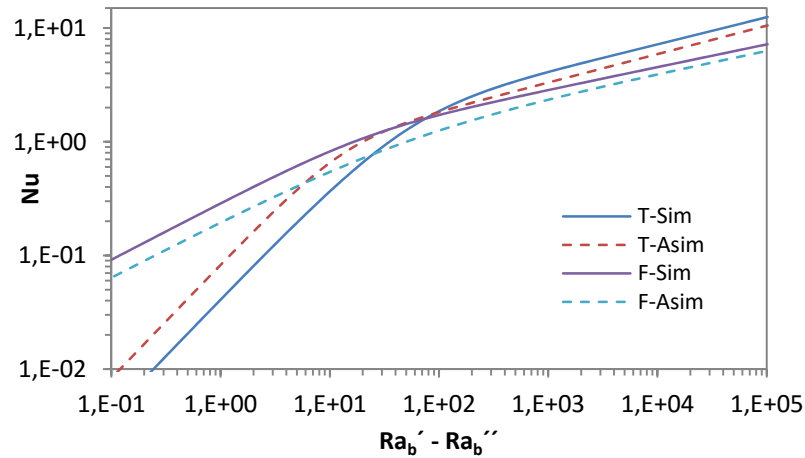


Figura 5.11 –Nu para hipótesis de temperatura y flujo uniforme y para condiciones simétricas y asimétricas

En el caso de flujo completamente desarrollado, la caída de presión dentro de la cámara de aire se ajusta a las ecuaciones convencionales de pérdida de carga en conductos mediante un coeficiente de fricción, ecuación [5.28], donde  $f_{ap}$  es el coeficiente de fricción aparente de Darcy. Esta caída de presión debe estar equilibrada con las fuerzas de flotación debidas a la convección natural, que si se sigue empleando la aproximación de Boussinesq, se puede expresar de la forma [5.29], para el caso de temperatura uniforme y simétrica en las superficies de la cámara ventilada.

$$\Delta p = f_{ap} \frac{H}{4b^3 \rho} \dot{m}^2 \quad [5.28]$$

$$\Delta p = \rho g \beta H (T_s - T_\infty) \quad [5.29]$$

Si se combinan ambas ecuaciones, [5.28] y [5.29], y se expresa el resultado de forma adimensional se obtiene la correlación buscada, [5.30]. Donde el término de fricción es función de  $Re$  y de la longitud del flujo  $x^+$  desarrollado según la expresión [5.31].

$$\frac{\dot{m}}{\rho \alpha} = \left( \frac{4Ra_b' Pr}{f_{ap}} (H/b) \right)^{1/2} \quad [5.30]$$

$$\frac{f_{ap} Re}{4} = \frac{3.44}{(x^+)^{1/2}} \frac{24 + 0.674/(4x^+) - 3.44/(x^+)^{1/2}}{1 + 2.9 \cdot 10^{-5} (x^+)^{-2}} \quad [5.31]$$

$$x^+ = \frac{H/2b}{Re}$$

Para el caso de flujo en desarrollo, el término de caudal se obtiene del análisis de semejanza del proceso de convección en placa plana. El caudal circulante es función del perfil de velocidades que se forma en la capa límite y del espesor de dicha capa. Las correlaciones adimensionales de estos dos términos tienen la forma indicada en [5.32].

$$v \propto \frac{\alpha}{H} Pr^{1/2} (Ra'_H)^{1/2} \quad [5.32]$$

$$\delta_v \propto H Pr^{-1/4} (Ra'_H)^{-1/4}$$

Combinando ambas ecuaciones y reemplazando el número de  $Ra_H$  por el de  $Ra_b$ , se obtiene la correlación [5.33].

$$\frac{\dot{m}}{\rho \alpha} \propto (Ra'_b)^{1/4} Pr^{1/4} (H/b) \quad [5.33]$$

Combinando las ecuaciones [5.30] y [5.33] se obtiene la expresión final [5.34], donde la ecuación se ajusta a los datos experimentales disponibles<sup>[66,17,81,82,139,263,334,345]</sup>. En el caso de la determinación del caudal circulante, la correlación presenta una forma implícita mediante la resolución conjunta de la pareja de ecuaciones [5.31] y [5.34]. Pero la solución de dicho sistema de ecuaciones es sencilla y se alcanza rápidamente mediante un proceso iterativo. Para flujo uniforme y simétrico se obtiene la expresión ajustada [5.35].

$$Re = \frac{2}{Pr} \left( \frac{1}{\left( \frac{4Ra'_b Pr}{f_{ap}} \left( \frac{H}{b} \right) \right)^{0.81/2}} + \frac{1}{(6.6(Ra'_b)^{1/4} Pr^{1/4} \left( \frac{H}{b} \right))^{0.81}} \right)^{-\frac{1}{0.81}} \quad [5.34]$$

$$Re = \frac{2}{Pr} \left( \frac{1}{\left( \frac{4Ra'_b Pr}{f_{ap}} (H/b) \right)^{2.4/3}} + \frac{1}{(1.5(Ra'_b)^{1/5} Pr^{1/5} (H/b))^{2.4}} \right)^{-1/2.4} \quad [5.35]$$

En las correlaciones anteriores, el término de variación de presión en la cámara ventilada sólo tiene en cuenta el empuje por flotación y las pérdidas internas por fricción. Otra formulación del flujo inducido por convección natural es la indicada por *Brinkworth*<sup>[67,95, 304,320]</sup>. En el caso real del funcionamiento de las fachadas ventiladas, al término de empuje por flotación se le debe sumar el efecto del viento, de forma que la diferencia de presión tota en la cámara sería la indicada en [5.36]. Además, el término de flotación,  $\Delta p_f$ , se modifica respecto a la expresión [5.29], introduciendo el efecto del perfil de temperaturas mediante el parámetro  $S$ , que representa el gradiente en altura, y que toma valores entre  $0 < S \leq 1$ .

$$\Delta p = \Delta p_f + \Delta p_v$$

$$\Delta p_f = \rho g \beta H S (T_{sal} - T_{\infty}) \quad [5.36]$$

$$\Delta p_v = C_{ent} \left( \frac{\rho g V_{ent}^2}{2} \right) - C_{sal} \left( \frac{\rho g V_{sal}^2}{2} \right)$$

Por otro lado, en el término de pérdidas de carga que se oponen a las componentes de empuje, además del término de fricción que se generan en el desarrollo del movimiento de aire a lo largo de la cámara ventilada, se debería tener en cuenta las pérdidas debidas a la geometría de entrada y salida de dicha cámara. De esta forma el término de pérdidas de carga queda de la forma [5.37].

$$\Delta p = \Delta p_{fr} + \Delta p_h$$

$$\Delta p_{fr} = f_{ap} \left( \frac{H}{2b} \right) \frac{\rho u^2}{2} \quad [5.37]$$

$$\Delta p_h = \left( \sum k_h \right) \frac{\rho u^2}{2}$$

Si se igualan ambos términos de presión, ecuaciones [5.36] y [5.37], y se expresa en forma adimensional se obtiene la expresión [5.38] donde el factor  $A$  corresponde al término de flotación, y el factor  $B$  es el término de los efectos del viento, [5.39].

$$A(x^+)^3 + B(x^+)^2 - 0.5 \left[ (f_{ap} Re_b) x^+ + \sum k_h \right] = 0 \quad [5.38]$$

$$A = \frac{2SGr_{qs}}{Pr}$$

$$Gr_{qs} = \frac{g\beta q_s (2b)^5}{H\nu^2 \lambda} \quad [5.39]$$

$$B = \frac{\Delta p_V (2b)^4}{\rho \nu^2 H^2}$$

Si se toma la relación simplificada para determinar las pérdidas por fricción, válida para el caso de flujo laminar, y se toma los valores de  $S = 0.5$  y  $\sum k_h = 1$ , se obtiene la expresión [5.41].

$$f_{ap} Re_b = 96 + 0.674/x^+ \quad [5.40]$$

$$\frac{Gr_{qs}}{0.71} (x^+)^3 - 48x^+ - 0.837 = 0 \quad [5.41]$$

Si se determina el caudal másico obtenido por las diferentes correlaciones definidas se obtiene el resultado mostrado en la Figura 5.12. Para el caso de condiciones asimétricas no existen correlaciones validadas. Una vez evaluadas las diferentes correlaciones que existen para el cálculo del comportamiento térmico de flujos laminares entre placas planas, se puede concluir que existe una divergencia importante entre los resultados que se obtienen en función de la hipótesis de trabajo que se adopten, ya se considere temperatura superficial o flujo uniforme en las superficies que conforman la cámara ventilada, y si se suponen condiciones simétricas o asimétricas. Además, hay que tener en cuenta que en el caso de las correlaciones para el cálculo del caudal se deben presuponer ciertos coeficientes, como por ejemplo, los correspondientes a las pérdidas



de carga, lo que hace que los valores estimados se puedan alejar del comportamiento real de la fachada. Por tanto, en el apartado 5.2.3.1 se van a comparar los datos experimentales con los modelos teóricos para evaluar su precisión y ajustarlos al comportamiento real de los prototipos de fachadas ventiladas. Pero antes es necesario completar los datos experimentales con un modelo de volúmenes finitos que se desarrolla en el siguiente apartado.

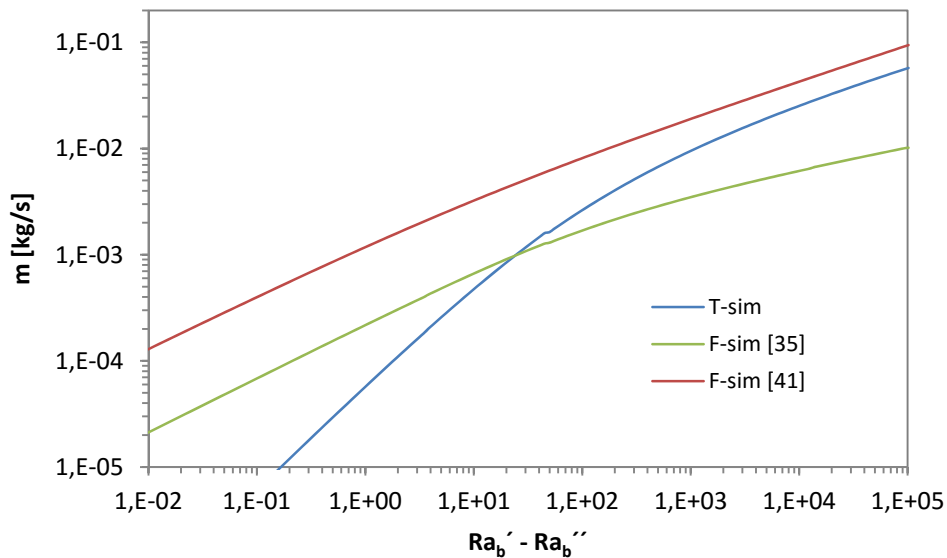


Figura 5.12 –Caudal másico para las hipótesis de temperatura y flujo uniforme y condiciones simétricas

## 5.2.2 Modelos CFD probeta de fachada ventilada

Debido a que los datos experimentales están limitados por la posibilidad y fiabilidad de instalación de las sondas en la muestra, los resultados obtenidos se van a complementar con un modelo de volúmenes finitos que permita conocer los parámetros necesarios para caracterizar el comportamiento térmico de la cámara ventilada. Los datos registrados de temperatura y velocidad del aire corresponden a medidas puntuales, cuando los modelos de ventilación necesitan valores integrados de los perfiles. El modelo de volúmenes finitos se emplea para obtener los factores de corrección de dichos parámetros. Este cálculo es una de las aportaciones científicas del presente trabajo de tesis. El modelo se realiza en la herramienta *Fluent*®. El número de elementos que conforman la malla, en dichos modelos, es determinante en la calidad de los resultados que se obtienen. Pero a su vez, el esfuerzo computacional se dispara si este número es muy elevado y más si el cálculo se realiza de forma dinámica. Se ha definido una malla de características variables, la densidad de elementos es mayor, y el tamaño de estos es menor, en las zonas próximas a las superficies en la entrada y salida de la cámara ventilada y en la proximidad a las superficies. De forma que se tiene una buena definición en las zonas de capa límite y en las zonas en las que se produce una variación rápida de las variables físicas. En la Tabla 5.5 se recogen las características de la malla definida para la fachada ventilada en estudio. Se ha llevado a cabo un estudio de sensibilidad del tamaño de malla para obtener el tamaño más pequeño que no modifica los resultados<sup>[34]</sup>.

#### Malla FV-LIGERA

<b>Elementos</b>	166.907
<b>Tamaño [mm]</b>	0,2 a 5
<b>Boundary layer</b>	0,2/1,2/10
<b>Equi Angle Skew [0-0,1]</b>	100%
<b>Aspect Ratio [1-5]</b>	93,1%

Tabla 5.5 – Características de la malla del modelo de volúmenes finitos para la fachada ventilada ligera

En la Figura 5.13 se muestran los detalles de la malla correspondiente al modelo de la fachada ventilada ligera desarrollado. Como se puede ver en la imagen, los modelos son 2D y contemplan la capa de aislante, la cámara de aire y la hoja exterior. Se imponen como condiciones de contorno la temperatura en la cara interior del aislante y la temperatura de aire exterior, junto con la radiación solar sobre la superficie vertical. En la Tabla 5.6 se recogen las características de la parte matemática del modelo. Para validar los resultados se simulan cinco días correspondientes al periodo de ensayos en la celda *PASLINK*; para el caso de la fachada ligera bajo estudio, se toma el intervalo que va del 15 al 19 de mayo.

#### Datos simulación

<b>Flotación</b>	Boussinesq
<b>Turbulencia</b>	Laminar
<b>Radiación</b>	DO
<b>Time step [seg]</b>	600
<b>Tiempo simulado [h]</b>	120
<b>Iteraciones</b>	720

Tabla 5.6 – Características del modelo de volúmenes finitos en la tipología de fachada ventilada ligera

A continuación se muestran los resultados obtenidos por los modelos de volúmenes finitos respecto a las medidas experimentales registradas durante los ensayos. En la Tabla 5.7 se recogen los errores medios absolutos para cada temperatura y para la velocidad de aire en cada capa de la cámara ventilada y en cada punto de medida en la muestra.

#### Error Abs Velocidad [m/s]

		Altura [m]			
		0,05	0,30	1,35	2,60
<b>FV-L</b>		0,02	0,03	0,02	0,04

#### Error Abs Temperatura [°C]

		Altura [m]			
Capa		0,05	0,30	1,35	2,60
<b>FV-L</b>	<b>5</b>	1,0	0,8	0,8	0,9
	<b>ca</b>	0,4	0,5	0,8	0,9
	<b>6</b>	0,9	0,9	0,9	1,4

Tabla 5.7 – Error absoluto del modelo de volúmenes finitos en la tipología de fachada ventilada ligera

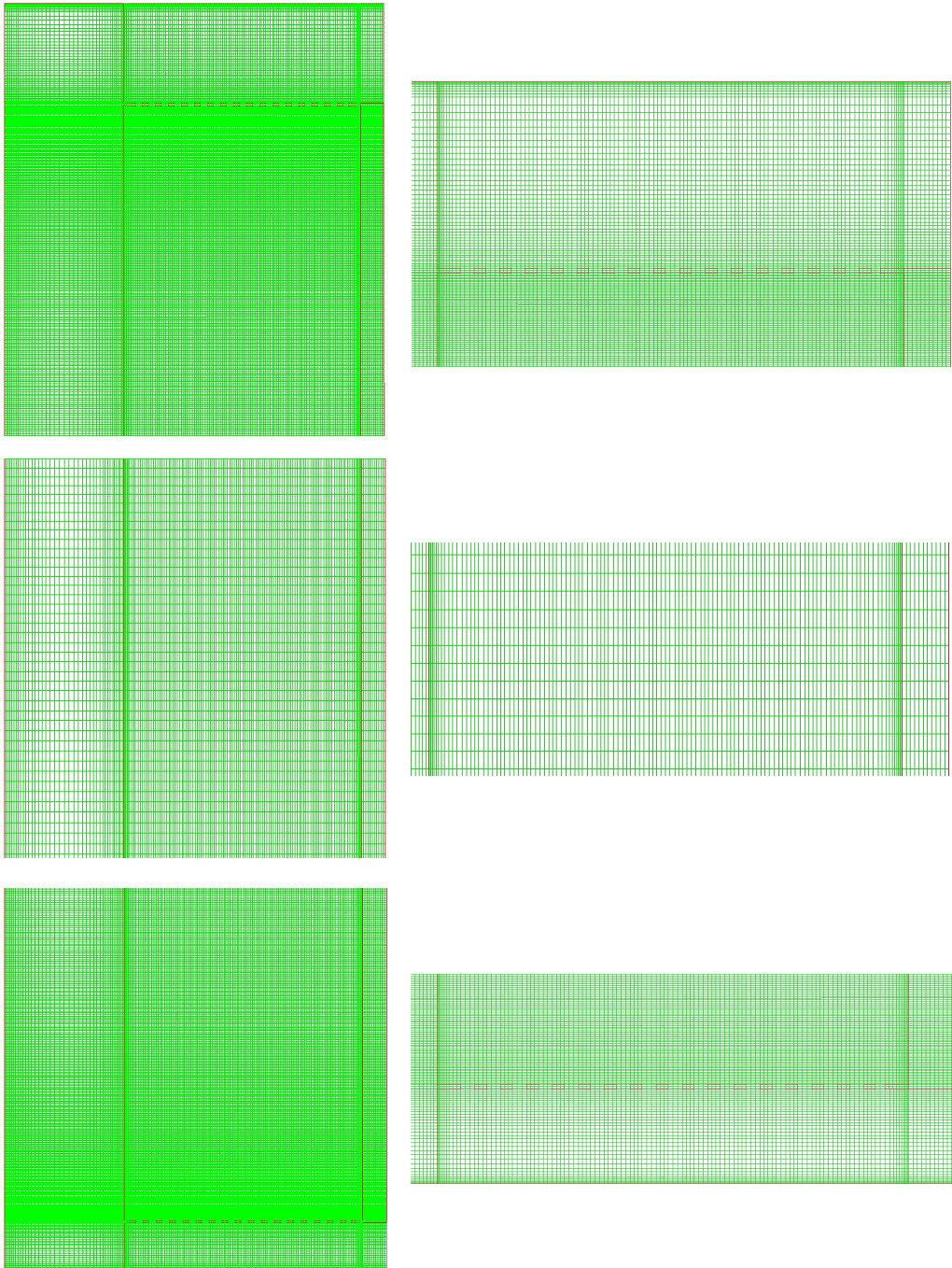


Figura 5.13 –Definición de la malla del modelo de volúmenes finitos de la fachada ventilada ligera

En el caso de las velocidades, el error de los modelos es inferior a  $e_{abs} < 0,05$  [m/s], y para las temperaturas el error es inferior a  $e_{abs} < 1$  [°C], por lo que se puede considerar que el modelo es válido para el estudio. En la Figura 5.14 y Figura 5.15 se puede ver, como ejemplo, la comparativa en las temperaturas y velocidad en la cámara ventilada en el punto central, altura 1,35 [m]. La comparación en el resto de puntos de medida de la muestra se recoge en el Anexo D.

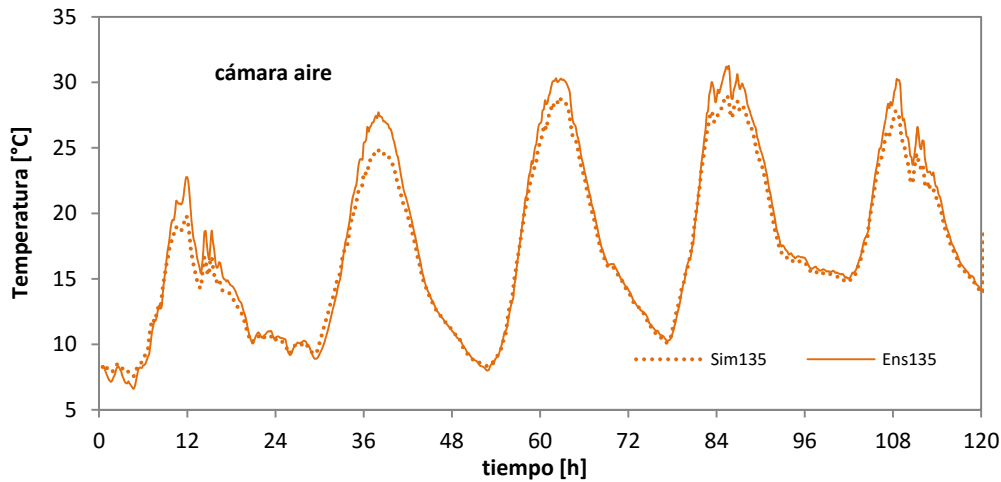


Figura 5.14 – Validación del modelo de volúmenes finitos para la fachada ventilada ligera

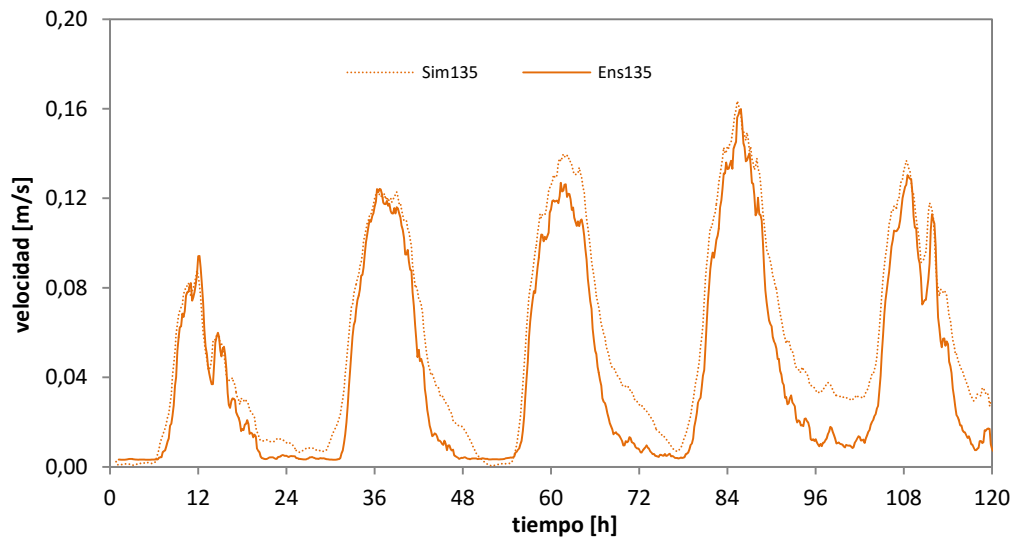


Figura 5.15 – Validación del modelo de volúmenes finitos para la fachada ventilada ligera

En los modelos de *CFD* se suele imponer como condiciones de contorno en las secciones de entrada y salida una presión diferencial nula. Pero esta definición no da como resultado el mejor ajuste respecto a los datos experimentales. En el modelo final se emplea una curva de diferencia de presión cúbica en función de la velocidad de aire dentro de la cámara ventilada. Los valores de presión mínima y máxima óptimos de dicha función se obtienen mediante un análisis paramétrico, minimizando el residuo. Estos resultados muestran la importancia de disponer de las medidas de presión en el ensayo de fachadas ventiladas, por lo que en los siguientes ensayos se introduce esta medida en la fase experimental. Una vez validados los modelos de volúmenes finitos se puede pasar a realizar un estudio más completo del comportamiento de las dos fachadas ventiladas. Como ejemplo se analizan con detalle cuatro instantes de tiempo, dos durante el periodo de calentamiento y dos durante el periodo de enfriamiento de la hoja exterior de la fachada ventilada, que dan una imagen clara de la evolución de la cámara. En la Figura 5.16 se muestra el campo de temperaturas y de velocidades que se generan en la fachada para el instante  $t = 60$  [h], que corresponde con las 11:40 [h] del mediodía, y  $t = 66$  [h], que corresponde con las 17:40 [h] de la tarde. En la Figura 5.17 se recogen los instantes  $t = 72$  [h], que corresponde con las 23:40 [h] de la noche, y  $t = 78$  [h], que corresponde con las 5:40 [h] de la madrugada.

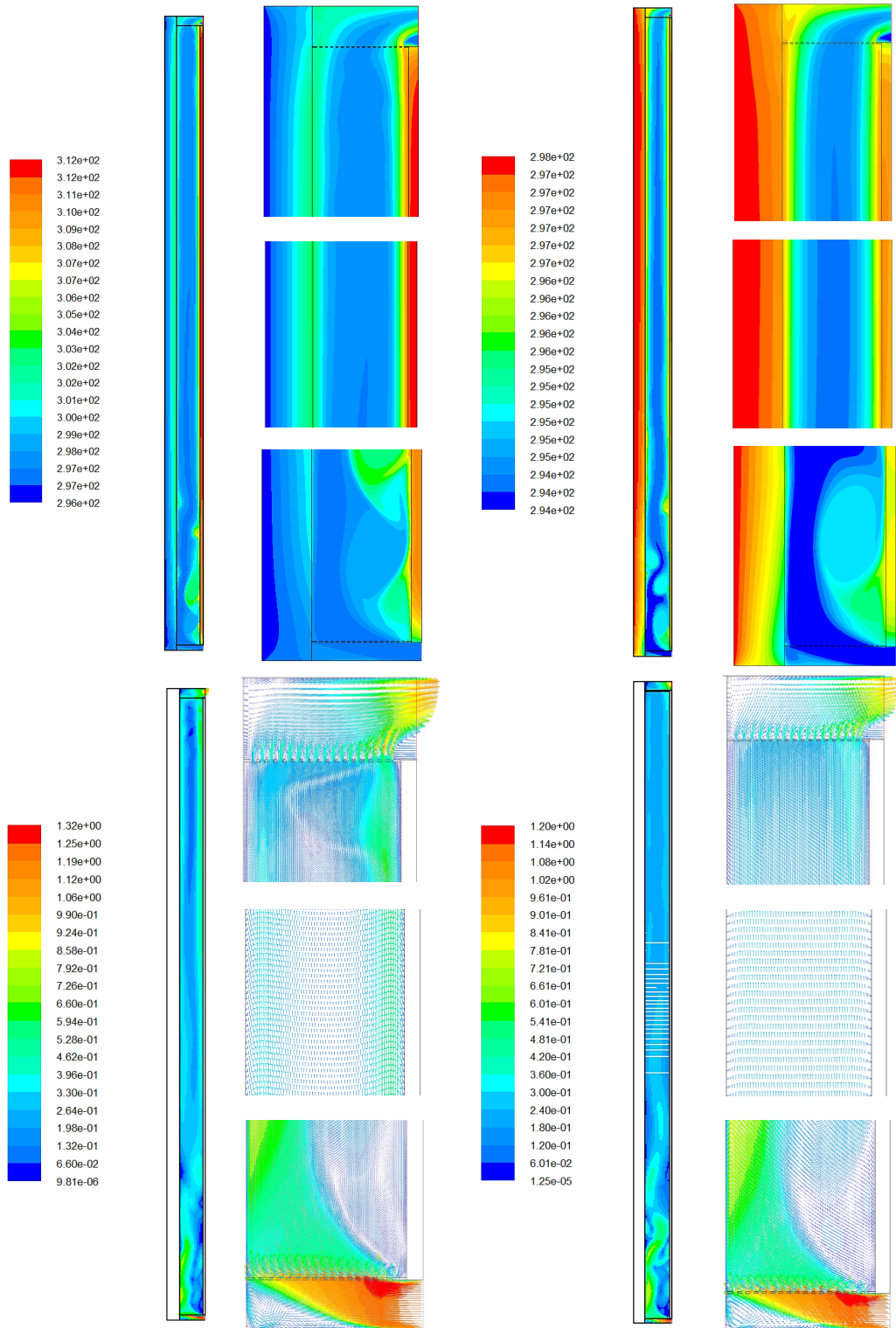


Figura 5.16 – Campo temperaturas y velocidades para instantes de tiempo  $t=60$  [h], izquierda, y  $t=66$  [h], derecha



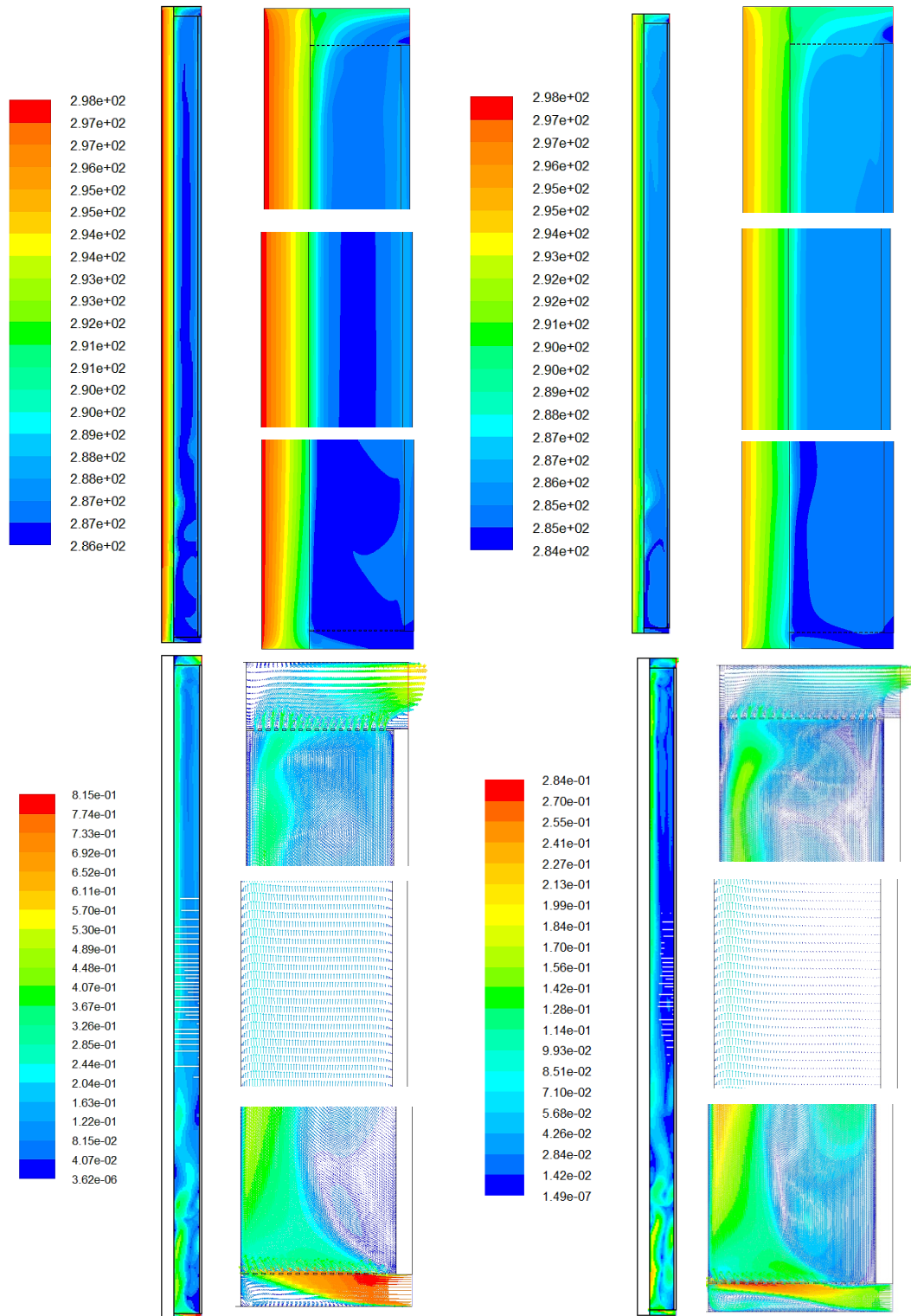


Figura 5.17 – Campo temperaturas y velocidades para instantes de tiempo  $t=72$  [h], izquierda, y  $t=78$  [h], derecha



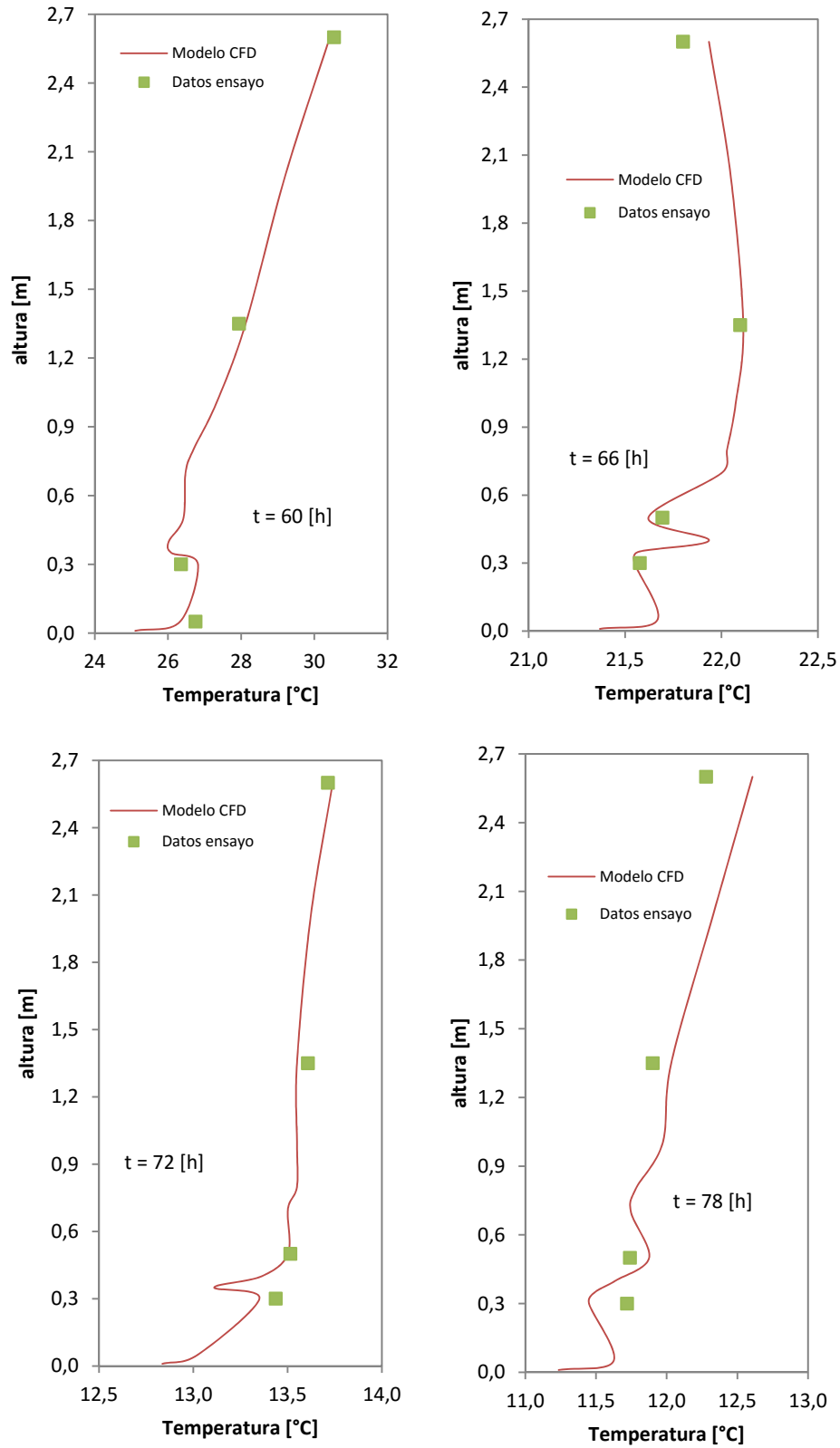


Figura 5.18 – Comparativa entre el modelo de CFD y los datos experimentales para la temperatura

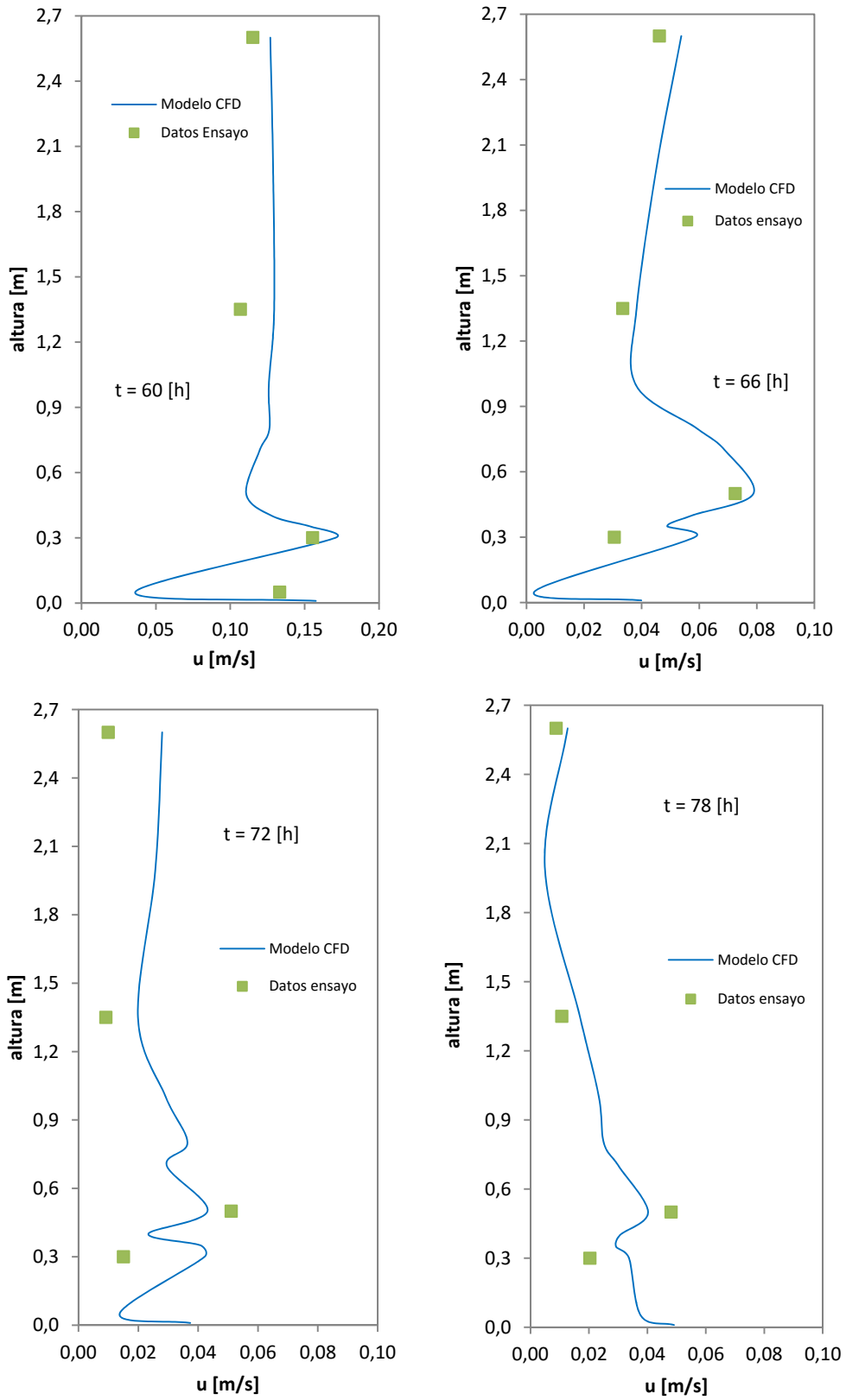


Figura 5.19 – Comparativa el modelo de CFD y datos experimentales para componente vertical de velocidad

En la Figura 5.18 y Figura 5.19 se realiza una comparativa de los perfiles verticales en el eje central de la cámara ventilada obtenidos por el modelo de *CFD* respecto a los puntos de medida del ensayo. Una vez validado el modelo de *CFD*, se pasa a estudiar los perfiles horizontales de temperatura en cada una de las alturas medidas, de forma que se puede determinar los factores de corrección de los datos experimentales para calcular posteriormente la temperatura equivalente en cada sección, ver Figura 5.20. Para la determinación del caudal efectivo circulante por la cámara ventilada, se emplea la medida a media altura, 1,35 [m], donde no existen efectos de distorsión producidos por la entrada y la salida. En este plano se determina el factor de corrección del perfil de velocidades respecto a la medida realizada por la sonda en el eje central de la cámara. Los perfiles de velocidad que se obtienen para los distintos instantes de tiempo se muestran en la Figura 5.21. Para completar el análisis se muestra también los perfiles de temperatura en dichos instantes de tiempo, extraídos de la Figura 5.20.

tiempo [h]	$T_{ext}$ [°C]	$T_{ca}$ [°C]	$T_{c5}$ [°C]	$T_{c6}$ [°C]	$U_{135}$ [m/s]	$\Gamma$	$f_{va}$
60	24,04	27,90	28,52	32,26	0,107	0,859	1,327
66	21,04	21,79	22,13	22,00	0,033	-0,392	1,063
72	13,07	13,57	14,69	13,04	0,009	-1,472	1,212
78	11,99	11,91	13,09	11,37	0,011	-1,461	1,227

Tabla 5.8 – Factores de corrección de la velocidad en la cámara ventilada

En la Tabla 5.8 se recogen, como ejemplo, las condiciones de temperatura y velocidad que se dan en los cuatro instantes de tiempo que se están analizando. En la columna  $f_{va}$  se indica el factor de corrección de la velocidad medida respecto a la velocidad eficiente, obtenida de integrar el perfil de velocidades en toda la sección de la cámara ventilada. En el Anexo D se incluye la tabla completa de todos los resultados disponibles, que se corresponden con 60 instantes de tiempo, obtenidos de analizar los datos cada dos horas en los cinco días en los que se ha realizado la simulación en *CFD*. Se puede observar cómo la forma de los perfiles de velocidad en la cámara ventilada tienen una correlación directa con la forma de los perfiles de temperatura. Para poder asociar dicho efecto se define el factor  $\Gamma$ , ecuación [5.42], que engloba el efecto de las temperaturas medias de ambas superficies de la cámara,  $T_{c5}$  y  $T_{c6}$ . Además, el factor tiene en cuenta cuál de dichas superficies es la más caliente, a través del signo. Y por último se utiliza el dato de la temperatura exterior,  $T_{ext}$ , que afecta directamente en la temperatura que alcanzará el aire dentro de la cámara.

$$\Gamma = \frac{T_{c6} - T_{c5}}{[\max(T_{c6} - T_{c5}) - T_{ext}]} \quad [5.42]$$

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	Var. Comp.	%
TOTAL (CORRECTED)	0,635218	59			
$\Gamma$	0,635168	58	0,0109512	0,0107225	99,54
ERROR	0,00005	1	0,00005	0,00005	0,46

Tabla 5.9 – Análisis de componentes de varianza para el factor  $f_{va}$

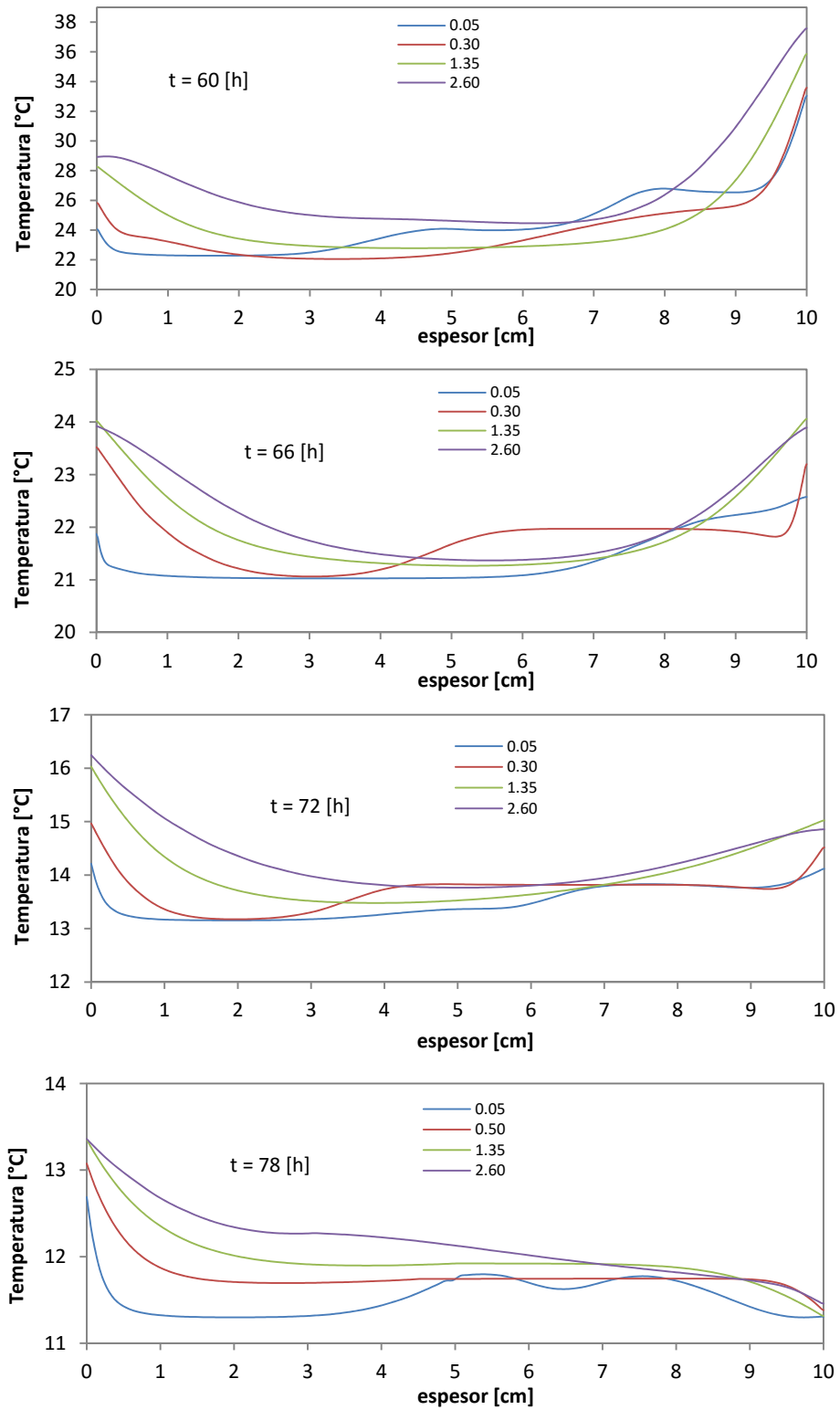


Figura 5.20 – Perfiles horizontales de temperatura

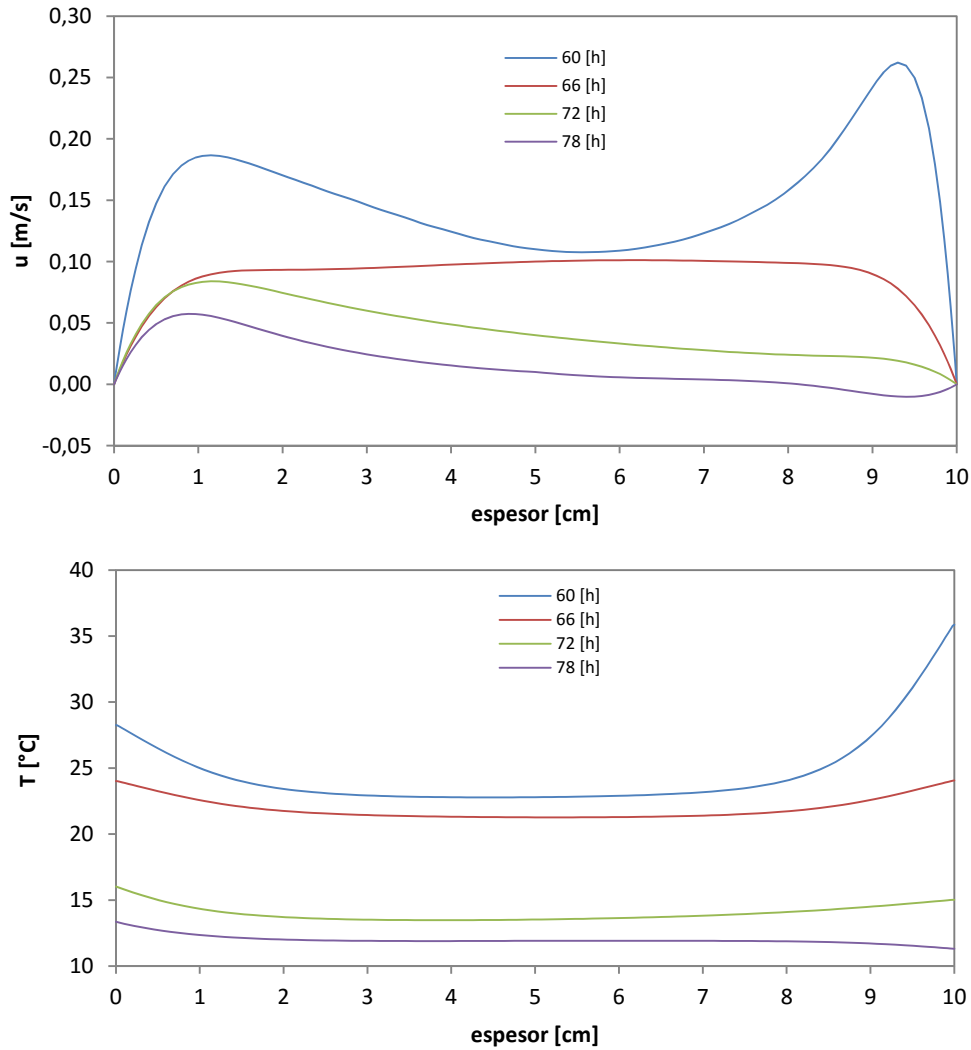


Figura 5.21 – Perfiles horizontales la componente vertical de la velocidad a la altura de 1,35 [m] para los distintos instantes de tiempo y comparativa con el perfil de temperaturas correspondiente

Ahora es necesario verificar si el factor definido es suficiente para explicar los diferentes factores de corrección  $f_{va}$ , o si por el contrario, existe alguna otra componente que afecte a dicho factor, como podría ser la propia magnitud de la velocidad dentro de la cámara. Para ello se realiza un análisis de varianza, ver tabla Tabla 5.9, y se obtiene que el factor definido explica en un 99,5% la variabilidad del factor  $f_{va}$ . Por lo que dicho parámetro se puede emplear para determinar el factor de corrección de la velocidad medida en el ensayo, en el cálculo del caudal circulante por la cámara ventilada. La ecuación que mejor se ajusta a los factores obtenidos del estudio es una gaussiana modificada exponencialmente, ver ecuación [5.43], que presenta una bondad de ajuste de  $R^2 = 0,942$ .

$$f_{va}(I) = 1,669 - 0,982e^{-(0,661 + \frac{\Gamma}{2,219})} \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}} dy \quad [5.43]$$

$$z = 2,293 + \frac{\Gamma}{0,604}$$

Donde el término integral se puede expresar de forma sencilla en relación a la función de error gaussiano, ecuación [5.44], que se encuentra implementada en un gran número de herramientas de cálculo, por lo que se simplifica su integración en los modelos matemáticos.

$$\int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}} dy = \frac{\operatorname{erf}\left(\frac{z}{\sqrt{2}}\right) + 1}{2} \quad [5.44]$$

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-y^2} dy$$

En la Figura 5.22 se muestra la función indicada junto a la banda de error del  $\pm 5\%$ , y los puntos obtenidos del estudio. La incertidumbre de cálculo del coeficiente de corrección de la ecuación de ajuste, respecto a los valores de cálculo, inferior a  $e_{f_{va}} < 1,5\%$ .

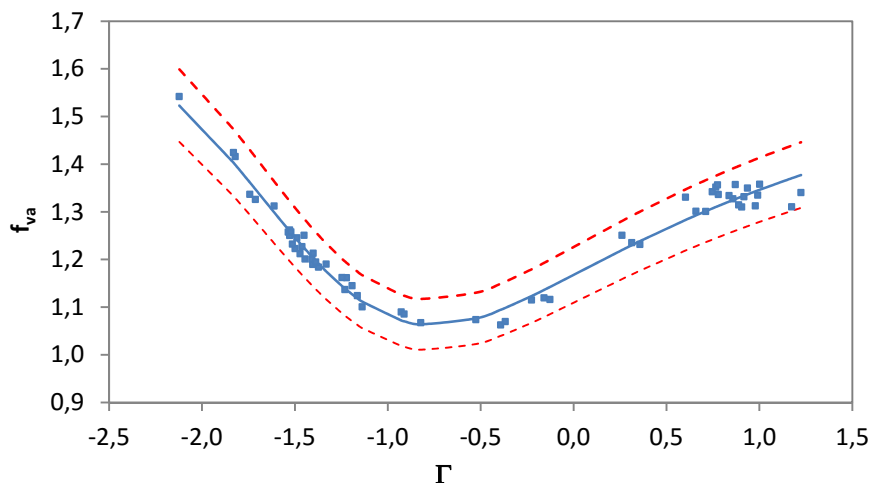


Figura 5.22 – Ecuación de correlación para el factor  $f_{va}$  en función del ratio de temperaturas  $\Gamma$

En el caso de los perfiles de temperatura, se comprueba que la relación entre la temperatura eficiente respecto a la temperatura medida en el punto central,  $f_{Ta}$ , no depende de la forma del perfil, sólo de la posición en altura. En la Figura 5.23 se muestran los factores de corrección para cada uno de las posiciones de medida. Se puede tomar como válido un factor constante para cada altura, ya que la dispersión de puntos es reducida. Esta dispersión es más alta en el punto correspondiente a 0,30 [m] debido a la agitación del caudal de aire que se produce en la zona de entrada, pero aun así, el factor constante sigue siendo representativo. El error medio que se comete es inferior al 1,5%, siendo el error puntual máximo del 4%. Se puede apreciar que el factor de corrección de la temperatura es mayor con la altura en la cámara ventilada. Si se analiza esta relación se obtiene que dicho factor se ajusta de forma exacta a una ecuación exponencial, [5.45], con una bondad de ajuste de  $R^2 = 0.99$ , como se muestra en la gráfica inferior de la Figura 5.23.

$$f_{Ta}(y) = 1,069 - 0,0638e^{-1,864y} \quad [5.45]$$



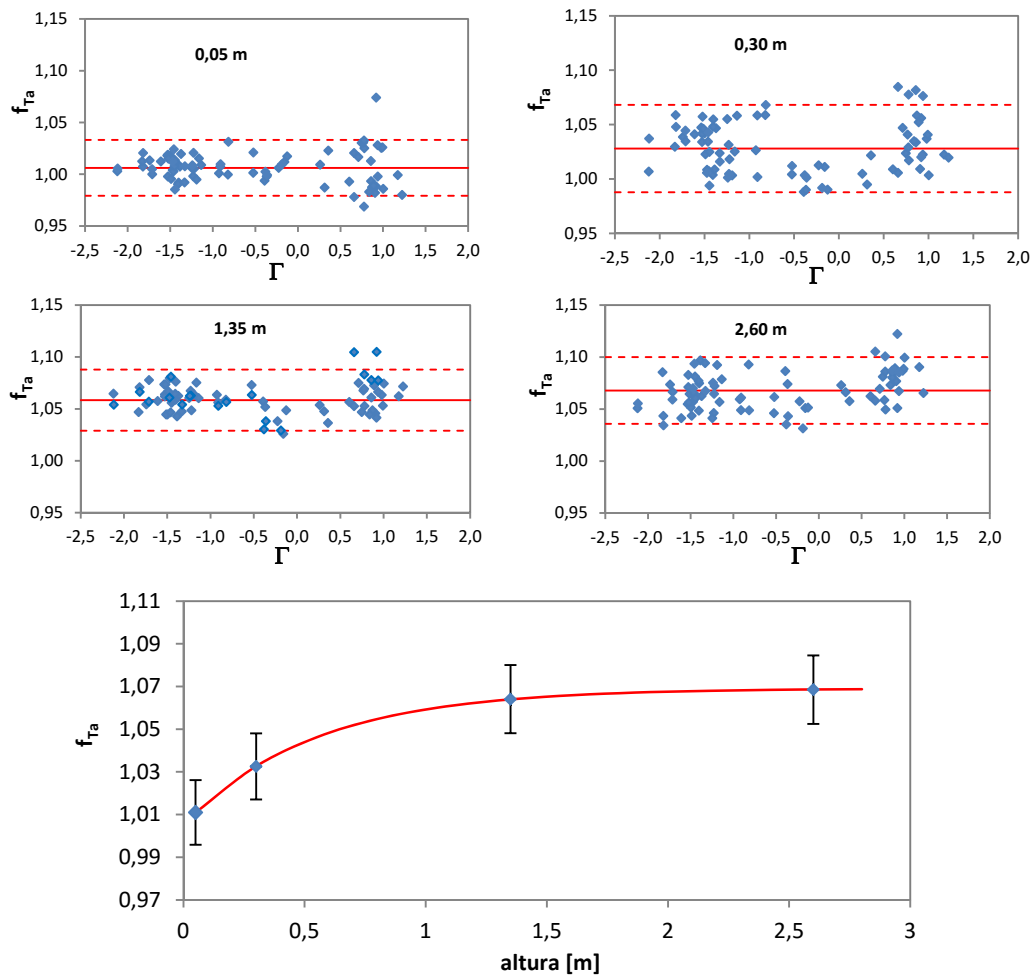


Figura 5.23 – Factor  $f_{Ta}$  en función de la altura en la cámara ventilada

Una vez que se conoce la relación entre los valores medidos de temperatura y velocidad con los valores efectivos, y con los flujos de calor obtenidos de modelo de celda *PASLINK*, ya se dispone de las herramientas necesarias para poder abordar el análisis del intercambio de calor en la cámara ventilada de la fachada.

## 5.2.3 Modelo experimental de fachada ventilada

El primer paso consiste en estudiar la ganancia de calor de la cortina de aire, comparando el comportamiento con las correlaciones estándar y verificar su validez. Y posteriormente, discriminar los flujos de calor intercambiados por cada una de las superficies de la cámara, para poder conocer con mayor precisión la repercusión de la fachada ventilada en la demanda energética de los edificios.

### 5.2.3.1 Modelo de convección

El calor absorbido por la cámara de aire se obtiene según la ecuación [5.46], donde se aplican los factores de corrección obtenidos para la velocidad y la temperatura. Donde el caudal circulante por la cámara ventilada se calcula a través de la velocidad y

condiciones del aire a media altura de la fachada, 1,35 [m], se considera la temperatura de salida la correspondiente a la altura de 2,60 [m], y para la temperatura de entrada se toma el valor de las condiciones del ambiente exterior. En la Figura 5.24 se muestran los resultados obtenidos.

$$Q_{ca} = \dot{m}_a \cdot c_p(T_a) \cdot [f_{Ta}(y) \cdot T_a^{260} - T_{ext}] \quad [5.46]$$

$$\dot{m}_a = f_{va}(\Gamma) \cdot v_a^{135} \cdot S \cdot \rho_a(T_a^{135})$$

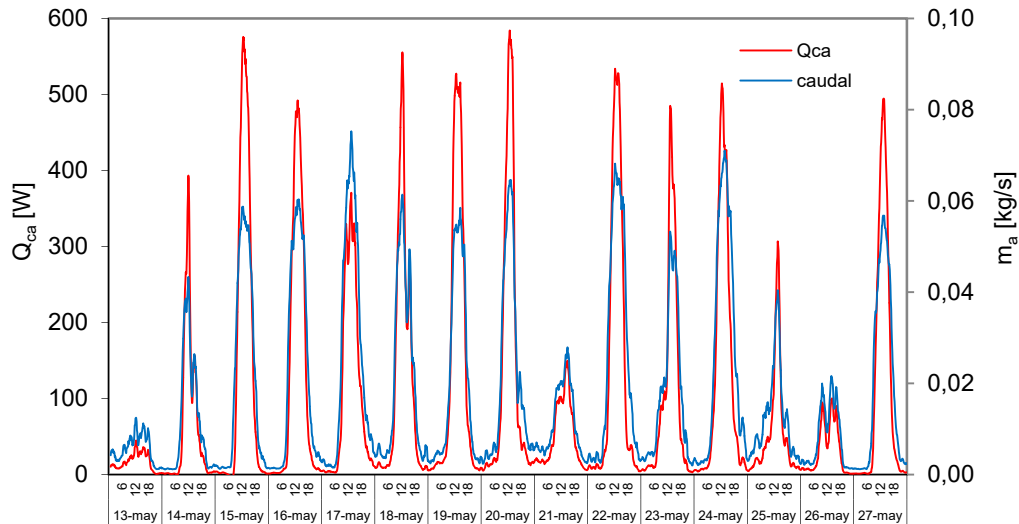


Figura 5.24 – Caudal de aire y calor absorbido en la cámara ventilada

Si se aplica la ecuación [5.10], tomando la temperatura de superficie como se indica en [5.47], se obtiene el coeficiente de convección para el aire, mostrado en la gráfica de la Figura 5.25.

$$T_s = \frac{\bar{T}_{c6} + \bar{T}_{c5}}{2} \quad [5.47]$$

$$h_{ca} = \frac{Q_{ca}}{S \cdot (T_s - T_{ext})}$$

A través de la ecuación [5.14] se obtiene el número de *Nusselt*,  $Nu_b$ , en cada instante de tiempo, empleando como longitud característica el espesor de la cámara de aire ventilada, ver Figura 5.26. Como ya se ha comentado, en todo ensayo experimental los resultados no tienen mucha validez si no van acompañados del estudio de incertidumbres asociado. Para ello se aplica la expresión de propagación de incertidumbres, ver [4.3]. Como ejemplo se muestra en la ecuación [5.48] el cálculo de la incertidumbre de medida del caudal de aire. En este cálculo se desprecian los términos de correlación, ya que se supone válida la hipótesis de variables independientes, y tampoco se tiene en cuenta el error en el cálculo de las propiedades del aire, ya que es muy inferior al error de las variables de medida.

$$u_{m_a}^2 = \left(\frac{\partial m_a}{\partial f_{va}}\right)^2 u_{f_{va}}^2 + \left(\frac{\partial m_a}{\partial v_a}\right)^2 u_{v_a}^2 + \left(\frac{\partial m_a}{\partial S}\right)^2 u_S^2 \quad [5.48]$$

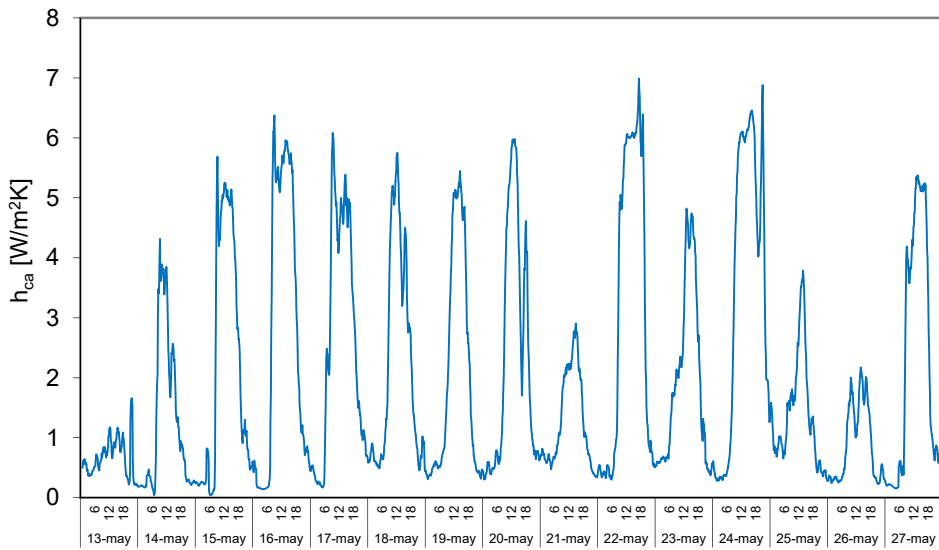


Figura 5.25 – Coeficiente de convección para el aire de la cámara ventilada

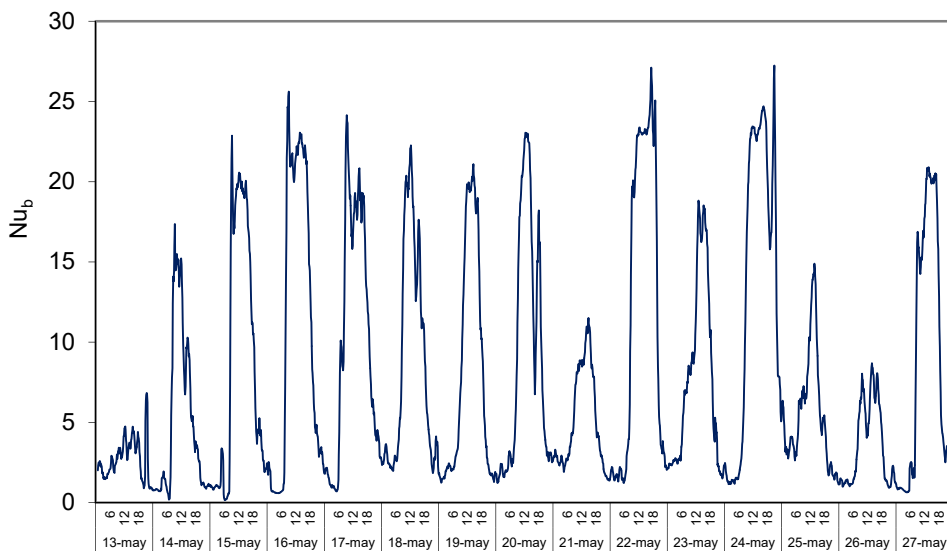


Figura 5.26 –  $Nu_b$  en el proceso de convección en el periodo de ensayo

En la Tabla 5.10 se recoge el error de cada una de las variables participantes. Los errores de las sondas se obtienen de la precisión de los instrumentos empleados en el ensayo junto con la incertidumbre de calibración. En cuanto a los factores de corrección, el error se estima de la dispersión de resultados obtenidos en el modelo numérico. Y en cuanto a la temperatura de superficie, el error se obtiene de ensayos previos realizados en el laboratorio, y tiene en cuenta el efecto de la resistencia de contacto de la colocación de las sondas y del efecto de la radiación sobre las mismas. Determinados los errores de cada una de las variables se aplica la expresión de propagación a todo el periodo de ensayo, calculando la incertidumbre del parámetro en estudio para cada instante, empleando como valor de referencia la incertidumbre media para todo el periodo. De esta forma se obtienen los resultados indicados en la Tabla 5.11. Los rangos obtenidos para las incertidumbres de medida son de un orden de magnitud aceptable y acotadas para obtener resultados viables del estudio.

variable	$u_i$
$f_{va}$	1,5 [%]
$v_a$	0,01 [m/s]
$S$	0,01 [m]
$f_{Ta}$	1,5 [%]
$T_{sal}$	0,2 [°C]
$T_{ext}$	0,5 [°C]
$T_p$	1 [°C]

Tabla 5.10 – Errores de medida de las variables de ensayo y cálculo

	$u_i$ [%]
$m_a$	5,6
$Q_{ca}$	6,6
$h_{ca}$	12,8
$Nu_b$	15,2

Tabla 5.11 - Incertidumbres de los parámetros de convección

Una vez analizado el periodo de ensayo completo, para ver con más detalle el proceso, en la Figura 5.27 se muestra la evolución de los parámetros analizados para un día tipo.

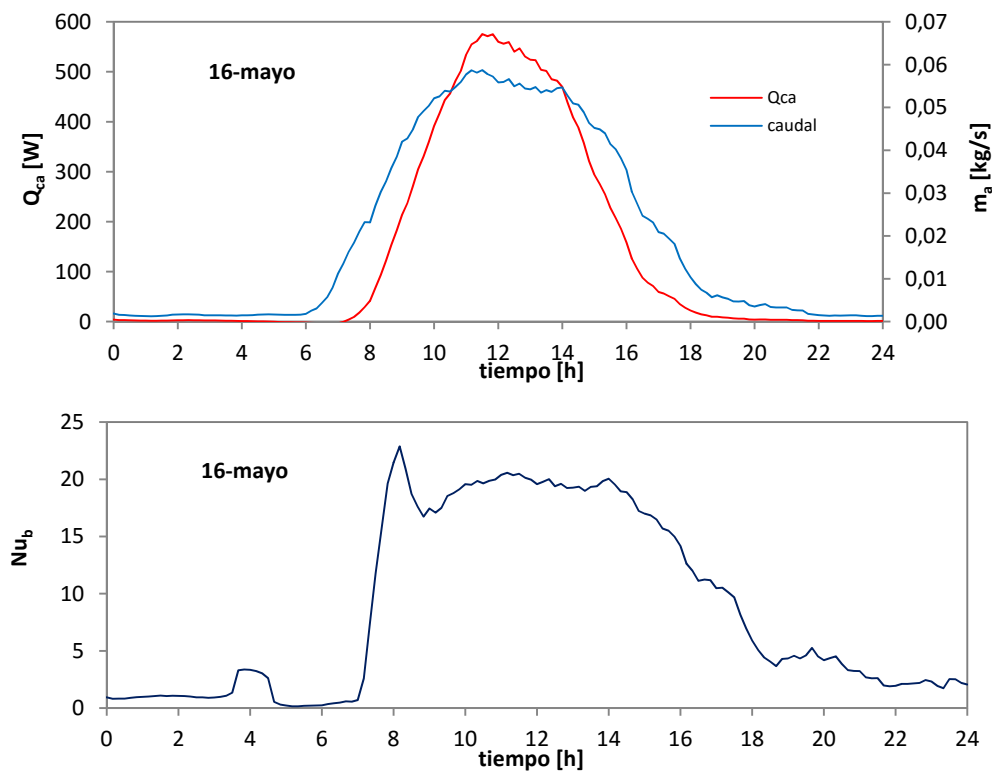


Figura 5.27 – Parámetros del proceso de convección en la cámara ventilada para el día 16 de mayo

Se puede ver que la cortina de aire de un paño de fachada de una superficie de  $7,07 \text{ [m}^2\text{]}$ , como la superficie que tiene la muestra, es capaz de absorber potencias,  $Q_{ca}$ , del orden de los  $500 \text{ [W]}$ , en los momentos de máxima radiación solar, con un total de energía absorbida a lo largo del día de  $3,3 \text{ [kWh]}$ . Estas potencias se asemejan a las demandas de ventilación de una vivienda estándar para la zona climática como la correspondiente a Vitoria-Gasteiz. Esto demuestra la potencialidad de aprovechamiento de las fachadas activas en la reducción de la demanda energética de los edificios de una forma renovable. Pero para poder utilizar esta capacidad de captación solar de las fachadas ventiladas es necesario disponer de modelos matemáticos que sean capaces de representar su comportamiento térmico de forma adecuada. En la fase de proyecto de un edificio, se puede calcular el comportamiento de la envolvente, con herramientas como *TRNSYS*, y su conexión con los sistemas de climatización, se puede llegar a diseñar edificios de consumo casi nulo. Este es el objetivo final del presente trabajo. Por tanto, es necesario comprobar si los modelos estándar de convección en placas planas son válidos para representar adecuadamente dicho comportamiento térmico en las soluciones reales de construcción.

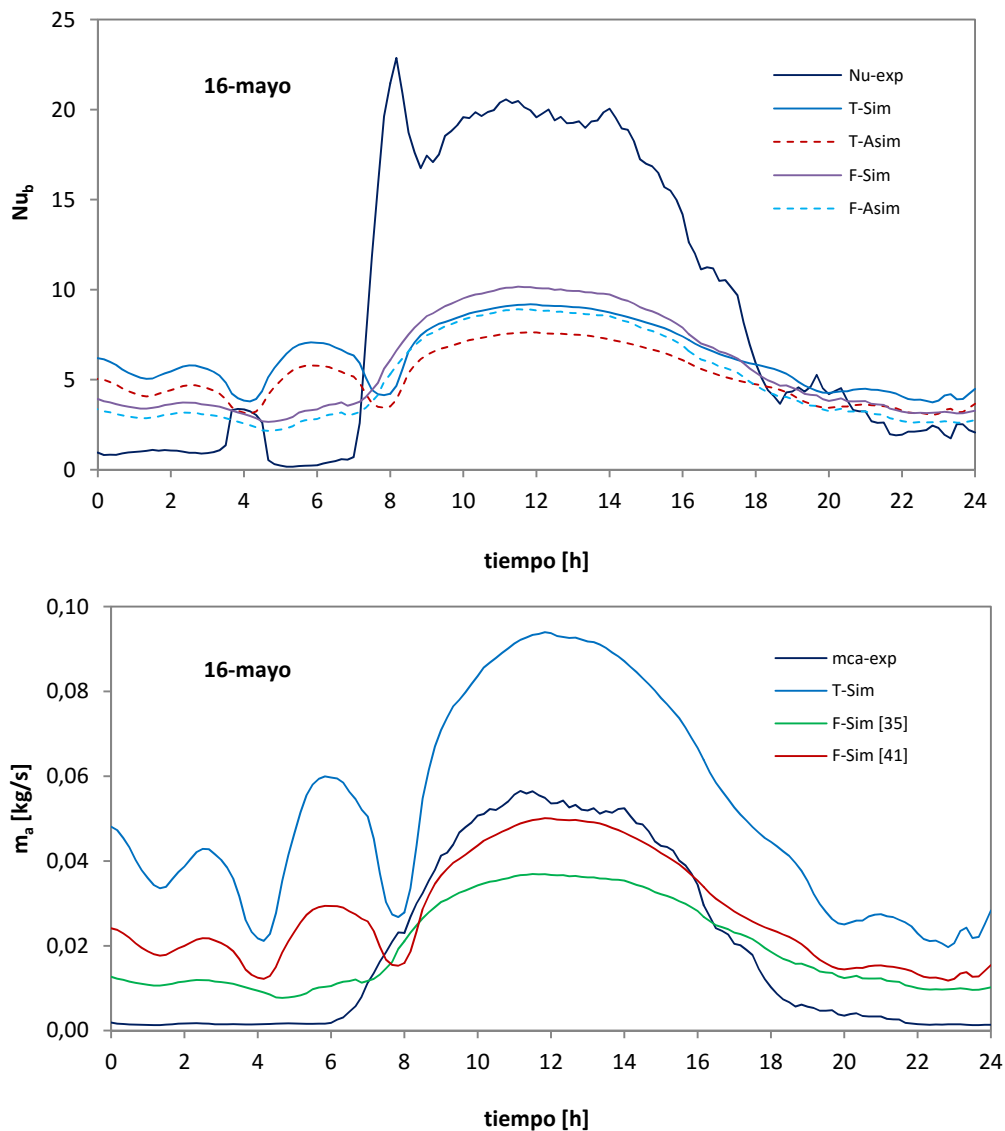


Figura 5.28 – Comparativa de los datos experimentales para el número de Nusselt,  $Nu_b$ , y el caudal de aire,  $m_{ca}$ , respecto a los modelos convencionales

En la Figura 5.28 se muestra la comparativa de los modelos presentados en el apartado 5.2.1 con los resultados experimentales. Se puede ver cómo los modelos estándar subestiman el coeficiente de convección, tanto para la hipótesis de temperatura constante como para la hipótesis de flujo constante. Una explicación de estas diferencias puede radicar en las características constructivas de la muestra. Los perfiles de montaje de la hoja exterior, que se sitúan en el interior de la cámara de aire, se comportan como aletas de disipación de calor, facilitando la transferencia entre las superficies que conforman la cámara ventilada y el aire que circula a través de la misma. En cuanto al caudal de aire circulante, el modelo de temperatura constante sobreestima en gran medida dicho caudal, ajustándose de mejor forma los modelos de flujo constante, pero cometiendo un error medio superior al  $e_{ma} > 50\%$ .

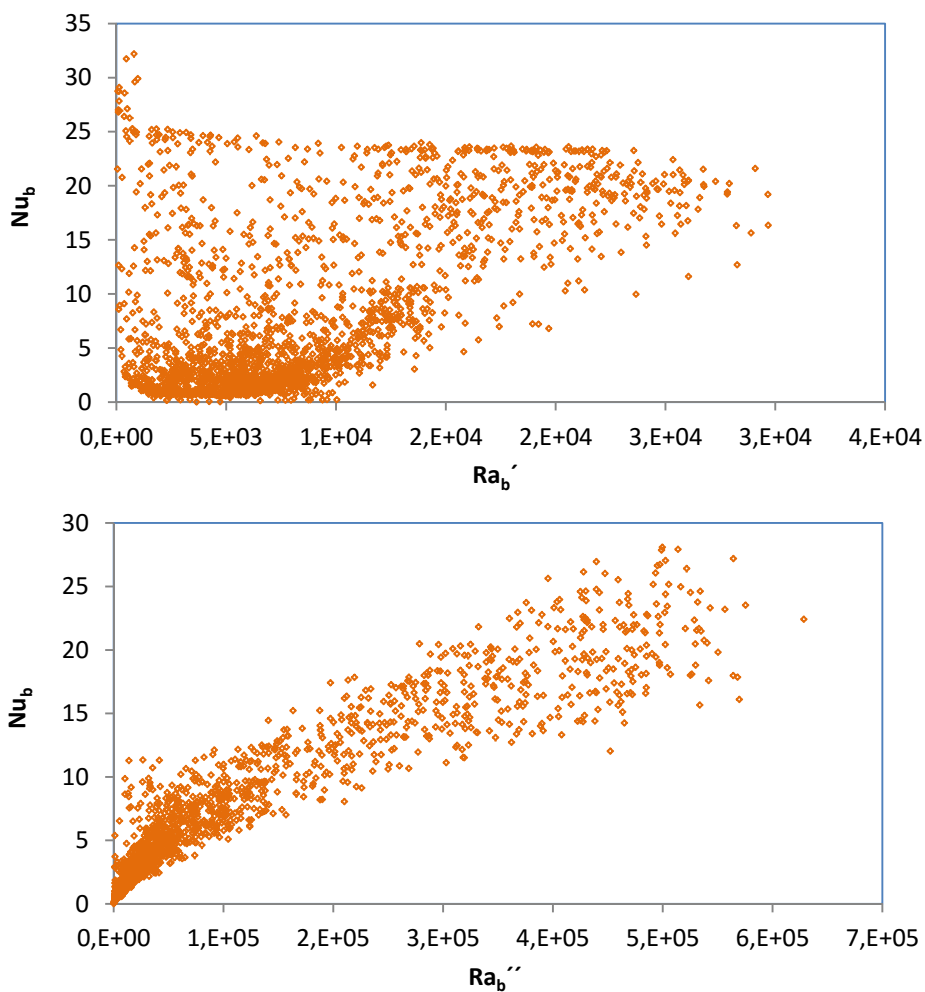


Figura 5.29 – Relación entre el número de Raileigh y el número de Nusselt para la hipótesis de temperatura constante,  $Ra_b'$ , y flujo de calor constante,  $Ra_b''$ .

Por tanto, es necesario obtener un modelo experimental que se ajuste de forma más adecuada al comportamiento real de la fachada ventilada. En los modelos estándar de convección, el número de  $Nu_b$  es función del número de  $Ra_b$ . Si se grafica ambos coeficientes para cada instante de medida durante el periodo de ensayo se obtiene el resultado mostrado en la Figura 5.29. Se puede observar claramente que la hipótesis de temperatura constante no es válida para el caso real de la probeta. Sin embargo, la



hipótesis de flujo constante sí que presenta un patrón de correlación claro, además, con una forma potencial, como era de esperar.

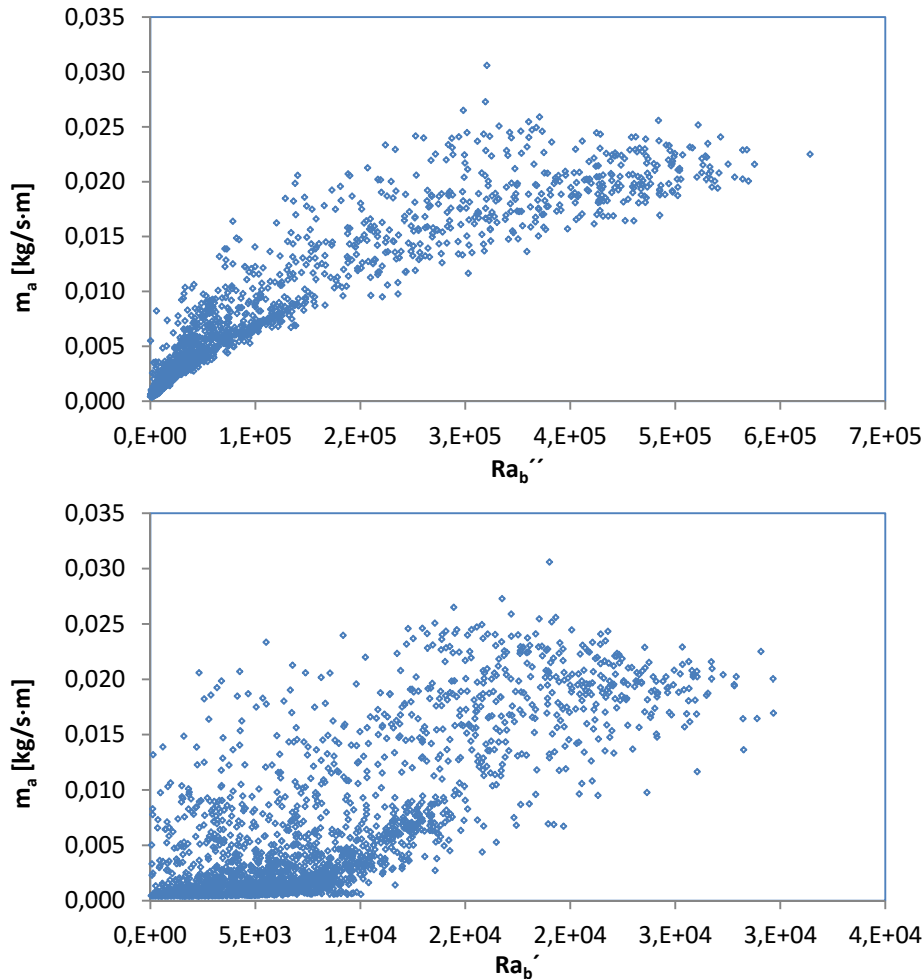


Figura 5.30 – Relación entre el número de Raileigh y el caudal de aire,  $m_a$ , para la hipótesis de temperatura constante,  $Ra_b'$ , y flujo de calor constante,  $Ra_b''$

Si además, se analiza la relación entre el número de  $Ra_b$  y el caudal circulante en la cámara ventilada, para ambas hipótesis, ver Figura 5.30, se obtiene el mismo comportamiento. Por tanto, está claro que el modelo experimental a definir debe basarse en la hipótesis de flujo superficial constante. Pero antes, es necesario entender por qué se dan estos resultados, cuando usualmente se suele emplear con mayor frecuencia la hipótesis de temperatura constante.

En la Figura 5.31 se estudian los saltos de temperatura que se generan a lo largo del día de referencia que se ha seleccionado anteriormente. Se puede observar cómo el salto de temperaturas entre la media de las superficies y el aire exterior,  $T_w - T_{ext}$ , evoluciona entre el salto de temperaturas de la cara del aislante,  $T_5 - T_{ext}$ , y entre el salto de temperaturas de la hoja exterior,  $T_6 - T_{ext}$ . Durante las horas de radiación solar es la superficie exterior la que presenta mayores temperaturas y durante el resto de tiempo es la superficie de aislante. Sin embargo, en todo momento el salto de temperaturas entre la salida del aire de la cámara ventilada y la temperatura del aire exterior,  $T_{sal} - T_{ext}$ , es siempre mayor que el mayor salto de temperaturas de cualquiera de la superficie más caliente. Esto se debe a que el gradiente de temperaturas, respecto a la altura, en

las superficies de la cámara ventilada es suficientemente elevado como para que no sea aplicable la hipótesis de temperatura constante.

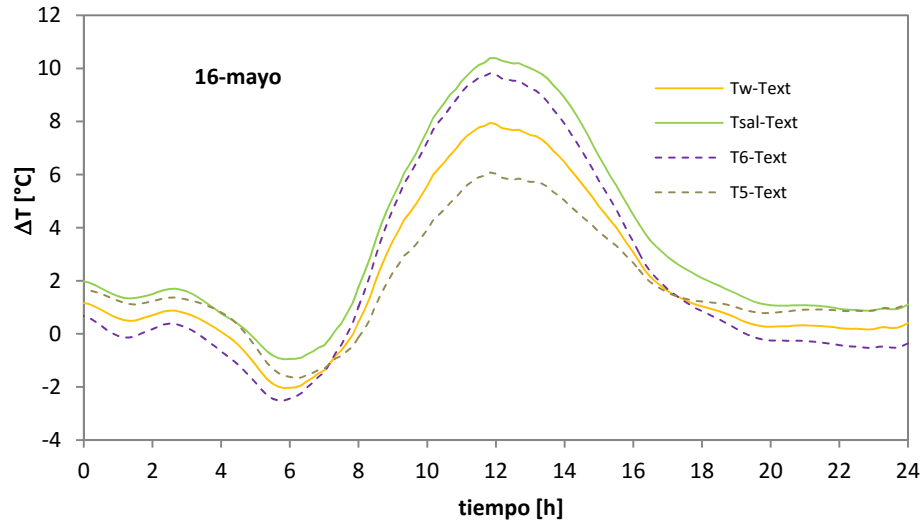


Figura 5.31 – Evolución del salto de temperatura del aire entre la entrada y salida de la cámara ventilada respecto al salto de temperaturas entre las superficies

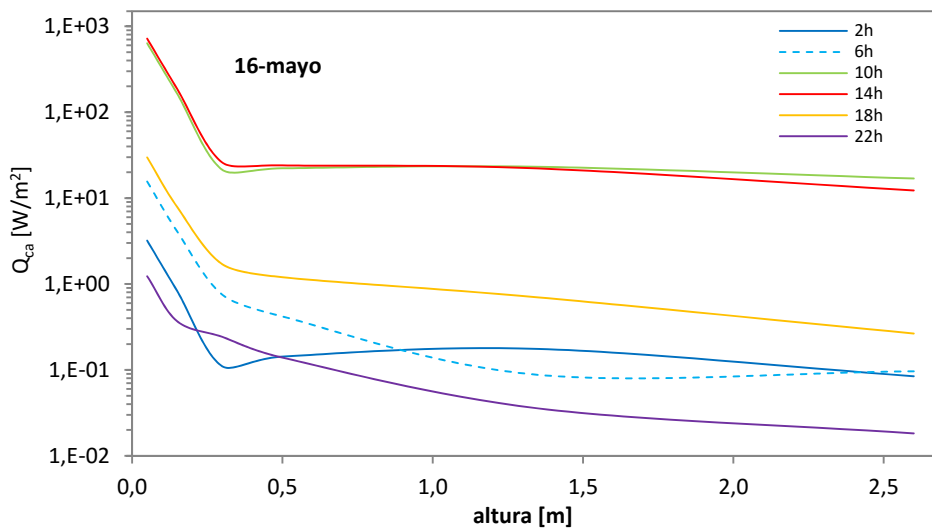


Figura 5.32 – Evolución del flujo de calor intercambiado en la cámara ventilada en función de la altura para diferentes instantes de tiempo

En cambio, si se analiza el flujo de calor intercambiado por unidad de superficie, se observa que el comportamiento se aproxima a la hipótesis de flujo constante. En la Figura 5.32 se muestran los perfiles de flujo de calor en función de la altura para diferentes instantes de tiempo del día de referencia. Se observa cómo el flujo a lo largo de la muestra es prácticamente constante, salvo en la zona de entrada de la cámara ventilada, donde se produce un intercambio mayor debido a las turbulencias en dicha zona, como se puede ver en los resultados del modelo de CFD, mostrados en el apartado 5.2.3. En la Figura 5.32 el perfil de flujo de calor correspondiente a las 6h, está en línea discontinua, ya que en este instante el aire de la cámara ventilada es el que cede calor a las superficies de la muestra.

$$Nu_b = \left[ (Nu_{fd})^{1,4 \cdot n} + (Nu_p)^{1,05 \cdot n} \right]^n$$

$$Nu_{fd} = \frac{(Ra_b'')^{0,637}}{212}$$

$$Nu_p = 0,94 \cdot (Ra_b'')^f$$

$$f = -0,64 + 0,75 \cdot (Ra_b'')^{1/85}$$

$$n = 1,5$$
[5.49]

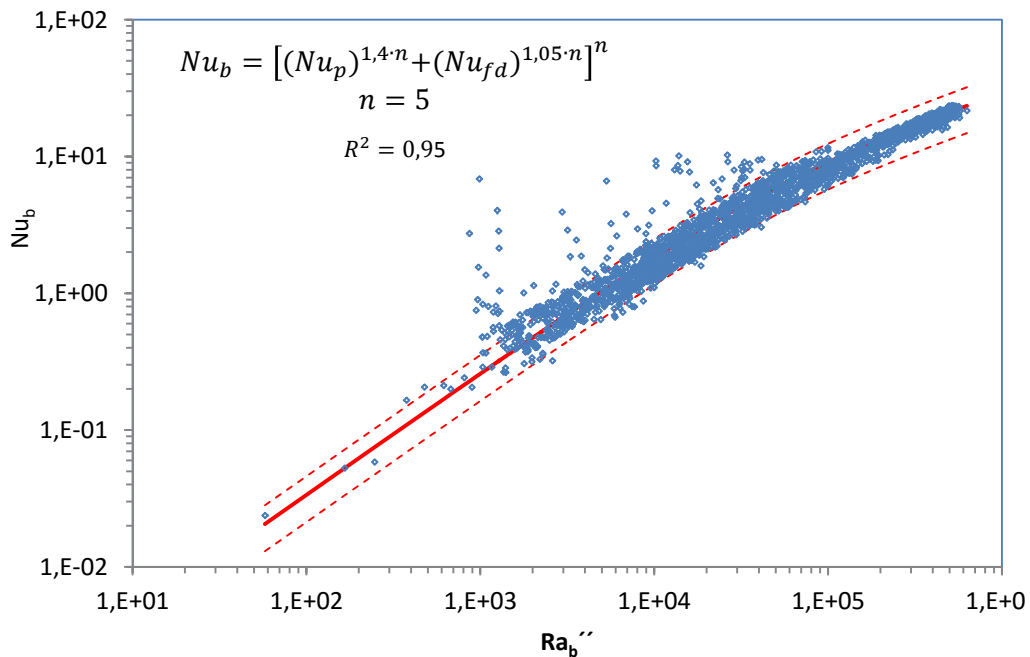


Figura 5.33 – Modelo experimental de convección en la probeta de ensayo de fachada ventilada ligera

Es decir, se produce una inversión del sentido de movimiento del aire de la cámara ventilada. Una vez seleccionada la hipótesis de flujo constante como la más válida, se pasa a obtener las expresiones que permitan determinar el coeficiente de convección y el caudal circulante en la cámara ventilada. Para el  $Nu_b$  se obtiene la relación mostrada en la ecuación [5.49], que presenta un error medio de estimación de  $e_{Nu_b} = 9,2\%$ . Este error es inferior a la incertidumbre de medida del ensayo,  $u_{Nu_b} = 15,2\%$ , recogida en la Tabla 5.1. Por lo que la precisión de ajuste se puede considerar como válida. En la Figura 5.33 se muestra la precisión de ajuste del modelo de convección a los datos experimentales, junto con las bandas de error de estimación.

En el caso del caudal circulante por la fachada ventilada, se ha obtenido un modelo que relaciona directamente dicho caudal con  $Ra_b''$ . Esto simplifica su aplicación en herramientas de cálculo a escala de edificio, ya que se evita la necesidad de resolver el sistema de ecuaciones implícitas de los modelos estándar. El modelo final obtenido se muestra en la ecuación [5.50], donde el caudal se expresa por unidad de longitud de sección de fachada,  $m_a$  [kg/s·m]. El modelo presenta un error medio de estimación de  $e_{m_a} = 5,4\%$ . Este error es del mismo orden que la incertidumbre de medida del caudal realizada durante el ensayo,  $u_{m_a} = 5,6\%$ . Por tanto, también se puede considerar como

válida la bondad del ajuste obtenida. En la Figura 5.34 se muestra la precisión de ajuste del modelo del caudal a los datos experimentales junto con las bandas de error de estimación.

$$m_a = 0,081 \cdot (Ra_b'')^f \quad [5.50]$$

$$f = -7,55 \cdot (Ra_b'')^{-0,327}$$

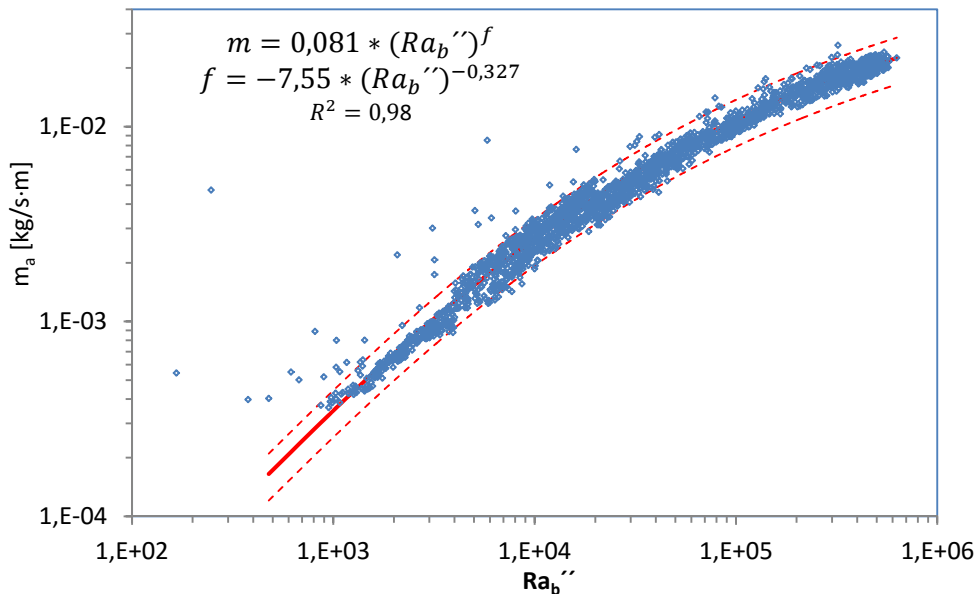


Figura 5.34 – Modelo experimental caudal de aire circulante en la probeta de fachada ventilada ligera

En el proceso de ajuste de los modelos se han eliminado los datos experimentales afectados por el viento exterior. Para ello no se han incluido en el proceso de ajuste los instantes de tiempo en los que la velocidad de viento fuese superior a  $v_{ext} > 6$  [m/s]. Estos puntos eliminados representan un porcentaje inferior al 15% del total del periodo de ensayo. Para poder ver con mayor claridad la validez del modelo de convección experimental obtenido, en la Figura 5.35 se muestra los valores de  $Nu_b$  y  $m_a$  experimentales y los valores estimados respecto al eje de tiempo. Se puede observar el buen comportamiento del modelo, salvo en los periodos de efecto exterior del viento. Para ver con más detalle el ajuste del modelo, en la Figura 5.36 se muestra la comparativa para el día de referencia seleccionado anteriormente, en el cual el efecto del viento exterior es despreciable. Para finalizar la validación del modelo de convección, se compara con los datos experimentales del segundo periodo de ensayo realizado en la celda PASLINK. Los datos de dicho ensayo se recogen con más detalle en el Anexo C. En la Figura 5.37 se muestra los resultados del comportamiento del modelo para el número  $Nu_b$  y para el caudal de aire,  $m_a$ . Los errores medios que se obtienen en la estimación es de  $e_{Nub} = 6,6\%$  y  $e_{ma} = 2,6\%$ . Ambos se encuentran dentro del rango de incertidumbre determinado anteriormente. En el cálculo de error se han eliminado los instantes de tiempo en los que la velocidad de viento exterior es elevada, con el mismo criterio que el empleado en el desarrollo del modelo. El efecto del viento en el periodo de contraste representa un 19,3% del total de puntos. Para ver con más detalle la precisión del modelo se muestra un día tipo, en este caso el correspondiente al 1 de junio, ver Figura 5.38. Una vez estudiado el proceso de convección respecto al comportamiento del aire dentro de la cámara ventilada, el siguiente paso es

discriminar el reparto de cargas térmicas entre cada una de la superficies que conforman la fachada. De esta forma, se puede determinar con mayor precisión el efecto del comportamiento activo en la demanda de un edificio. Para llevar a cabo este análisis se aplica un modelo de identificación de parámetros.

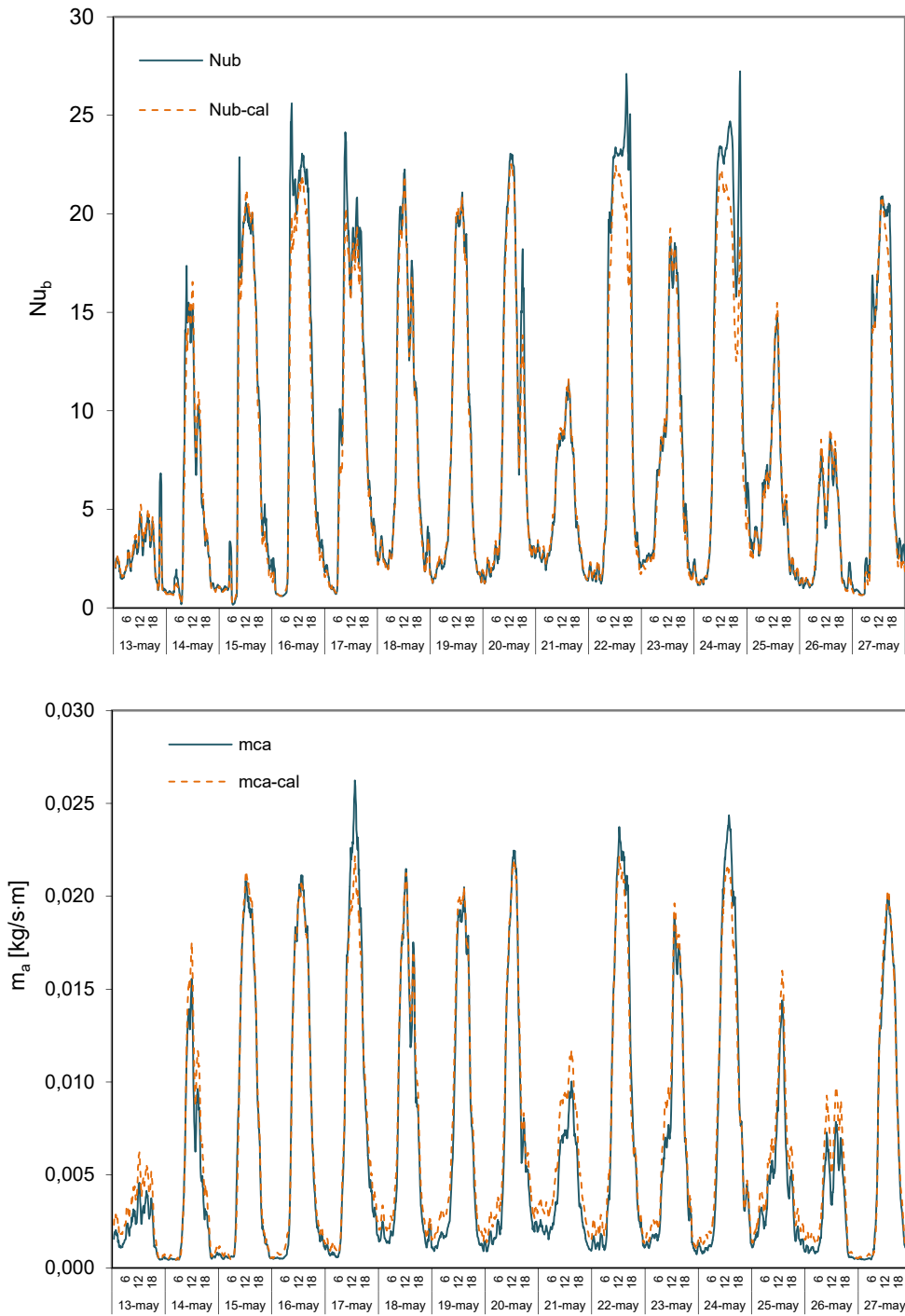


Figura 5.35 – Comparativa entre los datos experimentales y el modelo para el periodo de ensayo

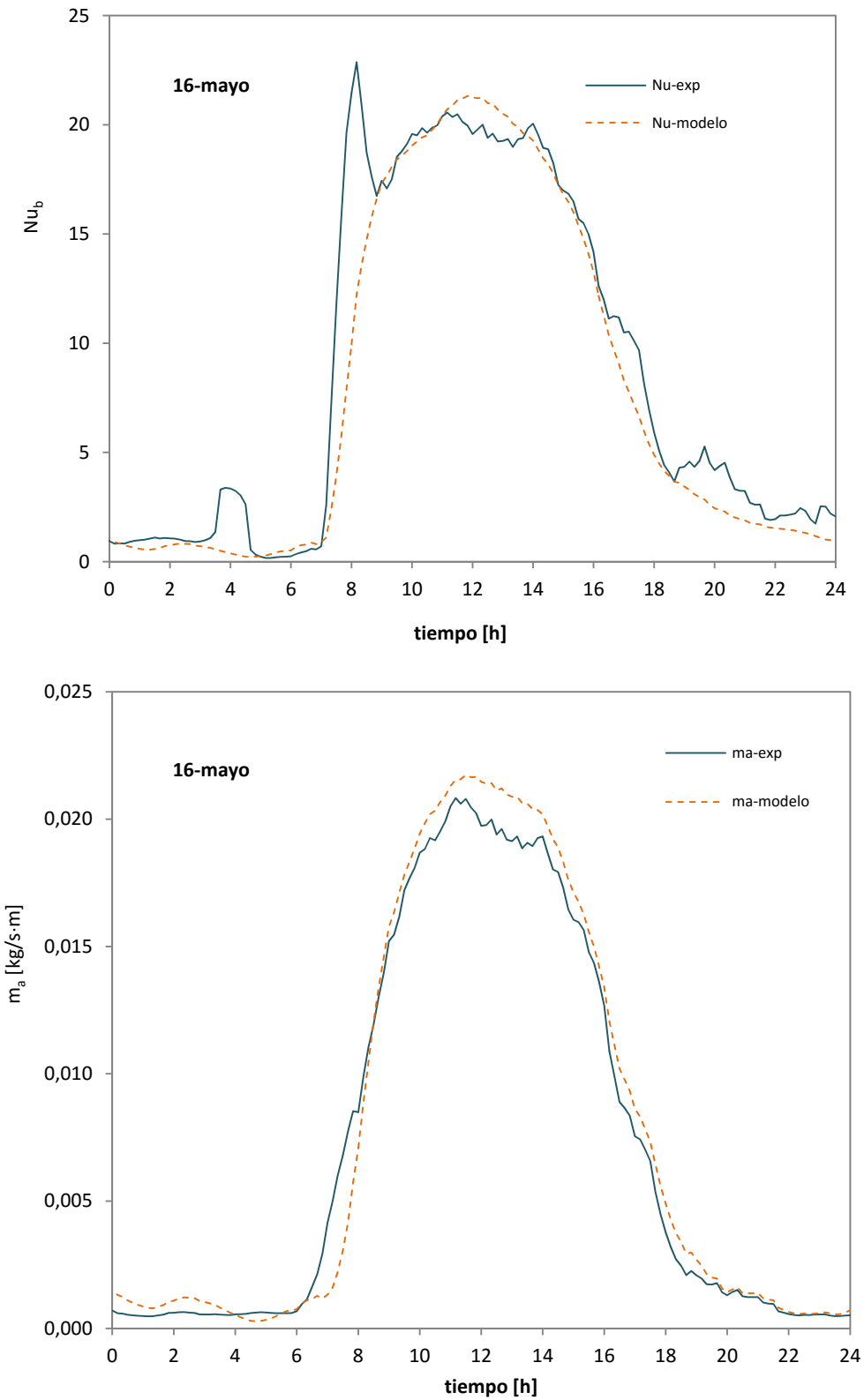


Figura 5.36 – Comparativa entre los datos experimentales y el modelo para el día de referencia



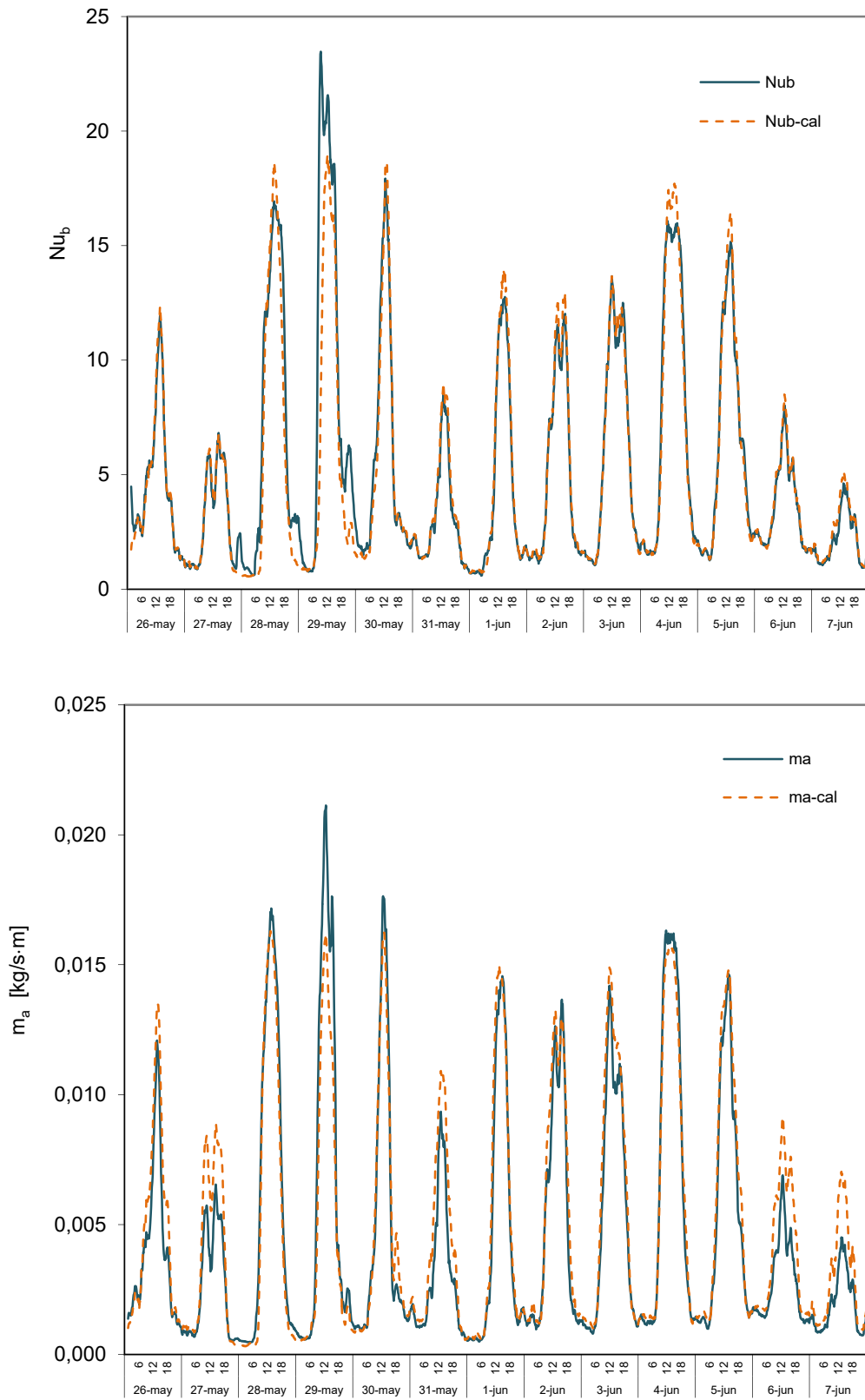


Figura 5.37 – Comparativa entre los datos experimentales y el modelo para el periodo de contraste

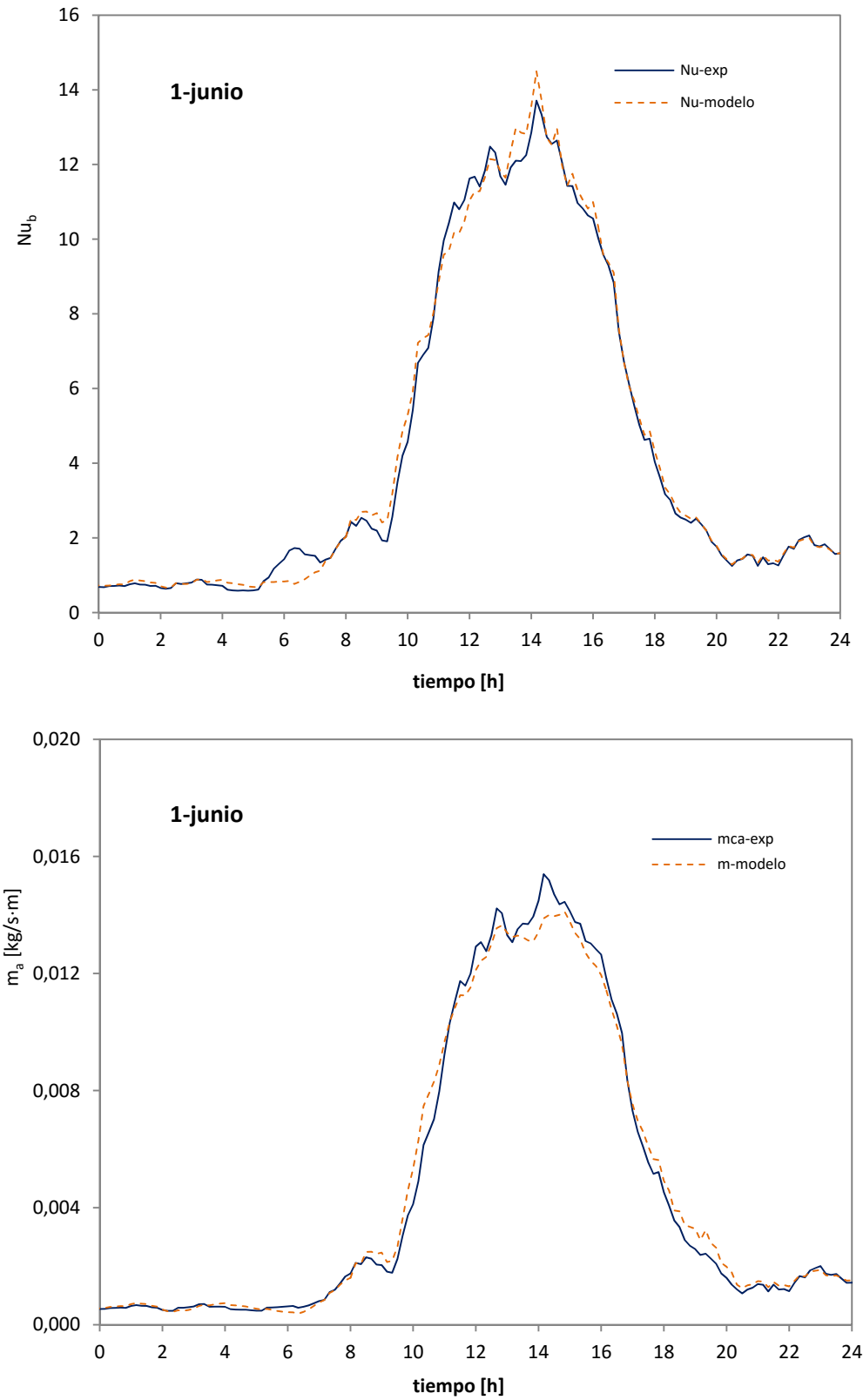


Figura 5.38 – Comparativa entre los datos experimentales de contraste y el modelo para el día 1 de junio

### 5.2.3.2 Modelo de parámetros concentrados

Para representar el comportamiento de la cámara ventilada, al modelo del muro base con aislamiento, definido en la Figura 5.6, se le añaden las transmitancias de la cámara de aire y de la hoja exterior de cemento, como se muestra en la Figura 5.39. La cámara de aire está representada entre los nodos 5 y 6, manteniendo la nomenclatura de las capas en la probeta de ensayo, ver Figura 4.8. Como datos de temperatura se emplean los valores medios de cada una de las capas. Se aplica esta aproximación ya que el modelo posterior a escala de edificio definido en *TRNSYS*, trabaja con valores medios en cada uno de los paños definidos en las fachadas, tanto para las superficies como para el aire de la cámara ventilada. Por tanto, el modelo de parámetros concentrados tiene que representar esta condición.

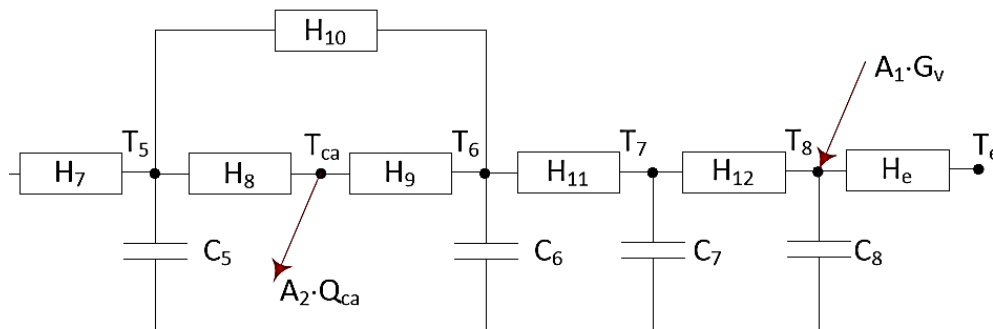


Figura 5.39 – Modelo de celda para el muro base con la fachada ventilada ligera

En cuanto al proceso de transmisión de calor en la cámara ventilada, la convección entre ambas superficies y el aire se modela mediante dos conductancias,  $H_8$  y  $H_9$ . Y el intercambio de calor por radiación entre superficies se modela mediante la conductancia  $H_{10}$ . Las conductancias de convección se asocian a la velocidad en la cámara de aire mediante una expresión lineal, [5.51]. Esta aproximación se toma como válida a partir de los resultados experimentales obtenidos.

$$H_i = a_i + b_i \cdot v_{ca} \quad i = 10,11 \quad [5.51]$$

Si se compara el coeficiente de convección medio del aire en la cámara ventilada respecto a la velocidad eficiente en el punto situado a la altura media de la probeta, se obtiene el resultado mostrado en la Figura 5.40. Por tanto, se considera que la aproximación lineal es aplicable también para el proceso de convección en cada una de las superficies de la cámara ventilada. Esta hipótesis se valida también con el análisis de los residuos de las variables objetivo del modelo. En cuanto al mecanismo de transmisión de calor por radiación, si se considera válida la hipótesis de superficies paralelas semi-infinitas, el flujo de calor por unidad de superficie intercambiado entre las capas 5 y 6 de la muestra de ensayo,  $q_{rad56}$ , se obtiene mediante la expresión [5.52].

$$q_{rad56} = \frac{\sigma(T_6^4 - T_5^4)}{\frac{1}{\epsilon_6} + \frac{1}{\epsilon_5} - 1} \quad [W/m^2] \quad [5.52]$$

Para poder introducir en el modelo de parámetros concentrados el intercambio radiativo, la diferencia de potencias a la cuarta de las temperaturas superficiales se

puede expresar, mediante el desarrollo en serie, como se muestra en la ecuación [5.53]. Donde el término  $T_m$  corresponde a la temperatura media de ambas superficies, definida en la ecuación [5.47], expresada en unidades de grados Kelvin. El error que se comete con esta aproximación, en el rango de temperaturas de trabajo, es inferior al  $e < 0,01\%$ .

$$(T_6^4 - T_5^4) \cong 4 \cdot T_m^3 \cdot (T_6 - T_5) \quad [5.53]$$

$$e = \frac{2 \cdot (T_6 - T_5)}{T_m^2} < 0,01\%$$

Si además, se considera que las emisividades de ambas superficies, para el espectro infrarrojo, son similares, el intercambio de calor por radiación se puede expresar según [5.54].

$$Q_{rad56} = H_{rad56} \cdot (T_6 - T_5)$$

$$H_{10-12} = H_{rad56} = P_0 \cdot \frac{4 \cdot \sigma \cdot S \cdot T_m^3}{\frac{2}{\epsilon} - 1} \quad [5.54]$$

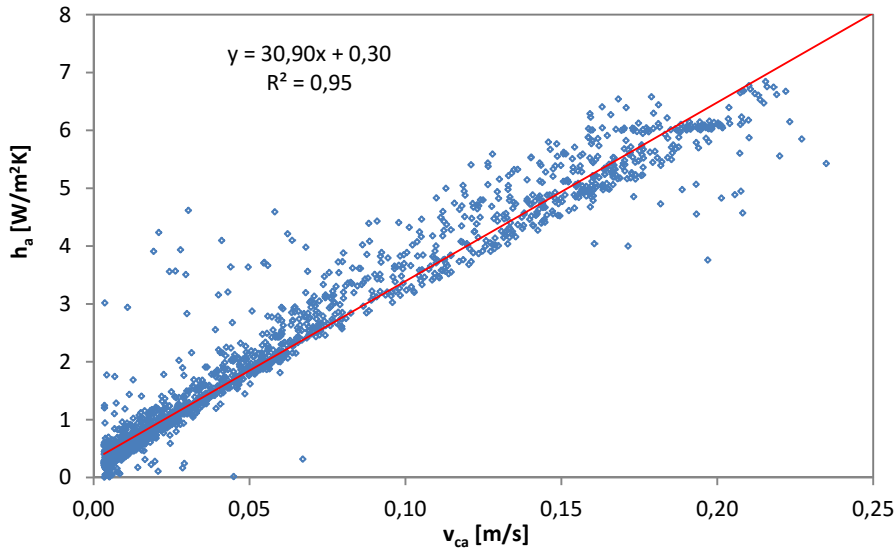


Figura 5.40 – Validación de la aproximación lineal entre el coeficiente de convección,  $h_a$ , y la velocidad del aire,  $v_{ca}$ , en la cámara ventilada

La conductancia de radiación,  $H_{rad56}$ , se calcula para cada instante del ensayo tomando como base una emisividad de  $\epsilon = 0,8$ , y se corrige con un término  $P_0$ , que se define como una variable más de ajuste en el proceso de identificación. En la Tabla 5.12 se recogen los resultados obtenidos en el modelo para la cámara de aire ventilada, junto con su incertidumbre. El resto de resultados y la validación del modelo se muestran con más detalle en el Anexo D. A continuación se analizan los resultados que se han obtenido para la parte de la cámara ventilada de la muestra. En lo referente a la capa de aislamiento, la resistencia térmica del aislante formado por lana de roca,  $R_{LR}$ , presenta una disminución del 11,7% respecto al sistema SATE directo estudiado en el apartado 5.1.2. Esta reducción se debe a los puentes térmicos del sistema de anclaje de la perfilaría que sirve de sujeción de las placas de cemento exteriores. Aunque el

sistema de montaje está diseñado para minimizar estos puentes térmicos, se puede apreciar cómo sus efectos siguen existiendo y representan una reducción de la eficiencia del aislamiento, a tener en cuenta en todo proyecto que emplee soluciones de envolvente en base a fachadas ventiladas.

	<i>parámetro</i>	<i>valor</i>	<i>unidades</i>	<i>u<sub>i</sub> [%]</i>
<i>aislante</i>	$R_{LR}$	1,132	$m^2K/W$	3,1
	$h_{c5}$	$1,81+131,46 \cdot v_{ca}$	$W/m^2K$	13,5
<i>cámara</i>	$h_{c6}$	$3,92+108,54 \cdot v_{ca}$	$W/m^2K$	5,7
	<i>aire</i>	$P_0(H_{rad56})$	-	14,4
	$A(Q_{ca})$	1,067	-	5,4
<i>placa</i>	$R_{p-c}$	0,059	$m^2K/W$	12,1
<i>cemento</i>	$C_{p-c}$	0,023	$MJ/m^2K$	22,3
<i>exterior</i>	$h_{ext}$	24,52	$W/m^2K$	9,8
	$A(G_v)$	0,821	-	8,7

Tabla 5.12 – Resultados del modelo de parámetros concentrados de la cámara de aire de la fachada ventilada ligera

En cuanto a los parámetros de la cámara de aire, en la Figura 5.41 se muestra, como ejemplo, la evolución de los coeficientes de convección de cada una de las superficies para el día tipo de referencia. Los valores mínimos de dicho coeficiente son de  $h_{c5-min} = 2,23 [W/m^2K]$  y  $h_{c6-min} = 4,27 [W/m^2K]$ . Según normativa y referencias internacionales<sup>[52,53,87,141,320,354]</sup>, el coeficiente de convección en cámaras estancas semi-infinitas es de  $h_c = 1,25 [W/m^2K]$ . Este valor sería el límite inferior de dicho coeficiente para la cámara ventilada, siendo casi el doble para la superficie del aislante, y más del triple para la superficie de la placa de cemento. A esta diferencia de valores del coeficiente de convección hay que sumar el sentido de movimiento del aire.

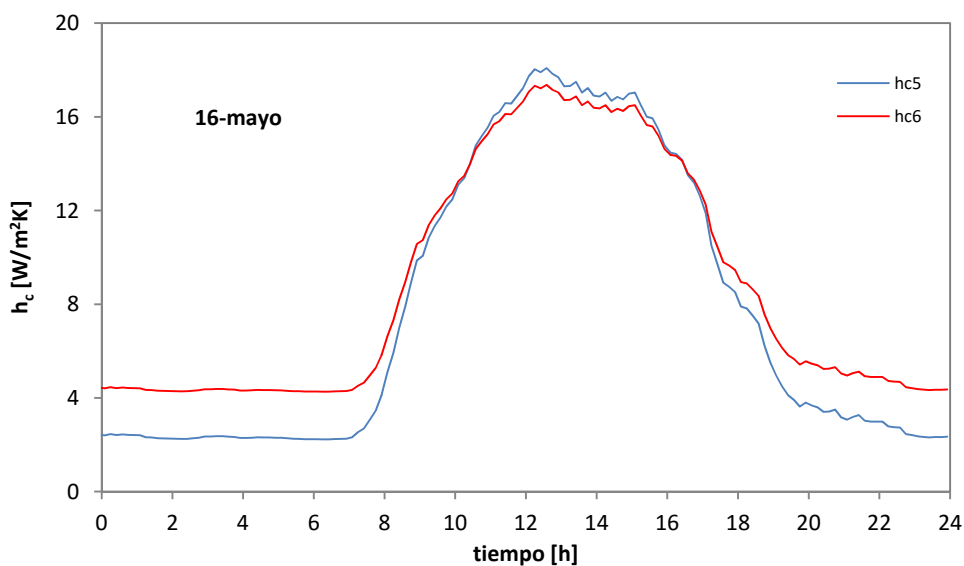


Figura 5.41 – Evolución de los coeficientes de convección en las dos superficies de la cámara ventilada para el día de referencia

En la superficie del aislante, el flujo es ascendente, ya que es la superficie la que presenta mayor temperatura que el aire, y sin embargo, en la proximidad a la placa de cemento el sentido de movimiento es descendente, ya que es el aire el que cede calor. Los valores máximos que se obtiene para la convección son de  $h_{c5-max} = 19,50$  [W/m<sup>2</sup>K] y  $h_{c6-max} = 18,53$  [W/m<sup>2</sup>K], próximos entre sí. En cuanto al intercambio de calor por radiación, la transmitancia  $H_{rad56}$  se obtenía tomando como referencia una emisividad media de las superficies que conforman la cámara de  $\varepsilon = 0,8$ . Aplicando el coeficiente de corrección obtenido en el modelo de parámetros concentrado, el resultado final de emisividad media entre superficies es de  $\varepsilon = 0,84$ . Por último, se ha introducido un factor de corrección del calor absorbido por la cámara de aire,  $A$  ( $Q_{ca}$ ), que permite mejorar el ajuste del modelo, y que tiene en cuenta el error de medida de dicha variable. El resultado indica un flujo medio mayor al medido en un 6,7%, teniendo en cuenta que la incertidumbre de medida es del 6,6%, ver Tabala 5.11, el resultado es válido.

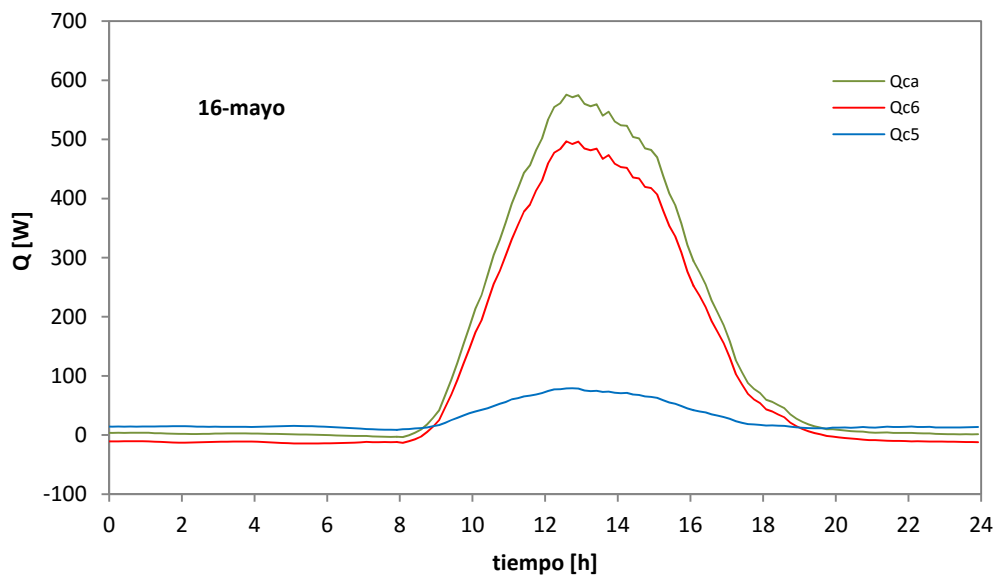


Figura 5.42 – Calor aportado al aire de la cámara ventilada por cada una de las superficies que la conforman

Una vez contrastado el modelo de la fachada ventilada, éste se puede aplicar para analizar el comportamiento térmico de la cámara ventilada y su repercusión en la demanda energética de las viviendas y en el posible aprovechamiento del calor de la cortina de aire. En la Figura 5.42 se muestra el reparto de calor aportado a la cámara de aire ventilada por cada una de las superficies que la configuran. Se ve claramente, que la superficie exterior, correspondiente a la hoja de cemento, se comporta como principal foco de calor, aportando un 84% del calor cedido a la cámara de aire. Por tanto, la superficie del aislante aporta el 16% restante. En la Figura 5.43 se muestra el reparto de flujos de calor para cada una de las superficies. Se toma como criterio de signos flujos positivos cuando son cedidos por la superficie, y flujos de calor negativos cuando están entrando en la superficie. La superficie 6, correspondiente a la hoja exterior de cemento, actúa como emisor entre las 8h y las 19.30h, el resto de tiempo recibe energía del aire y de la radiación de la superficie del aislante. En cuanto a los mecanismos de transferencia de calor, el 74,1% lo intercambia por convección con el aire y el 25,9% restante los intercambia por radiación. En la superficie 5, correspondiente al aislante, durante este mismo periodo de tiempo, el flujo de calor mayoritario es la radiación que recibe de la superficie de cemento. De esta energía incidente, el 74,4% la cede por convección al aire de la cámara ventilada, y el 25,6%



restante lo transmite hacia el interior del muro por conducción. El resto del tiempo, durante el amanecer y el anochecer, la superficie del aislante es el principal foco de calor, cediendo por radiación a la superficie más fría del cemento el 65,8% de la energía que pierde y el restante 34,2% al aire mediante convección.

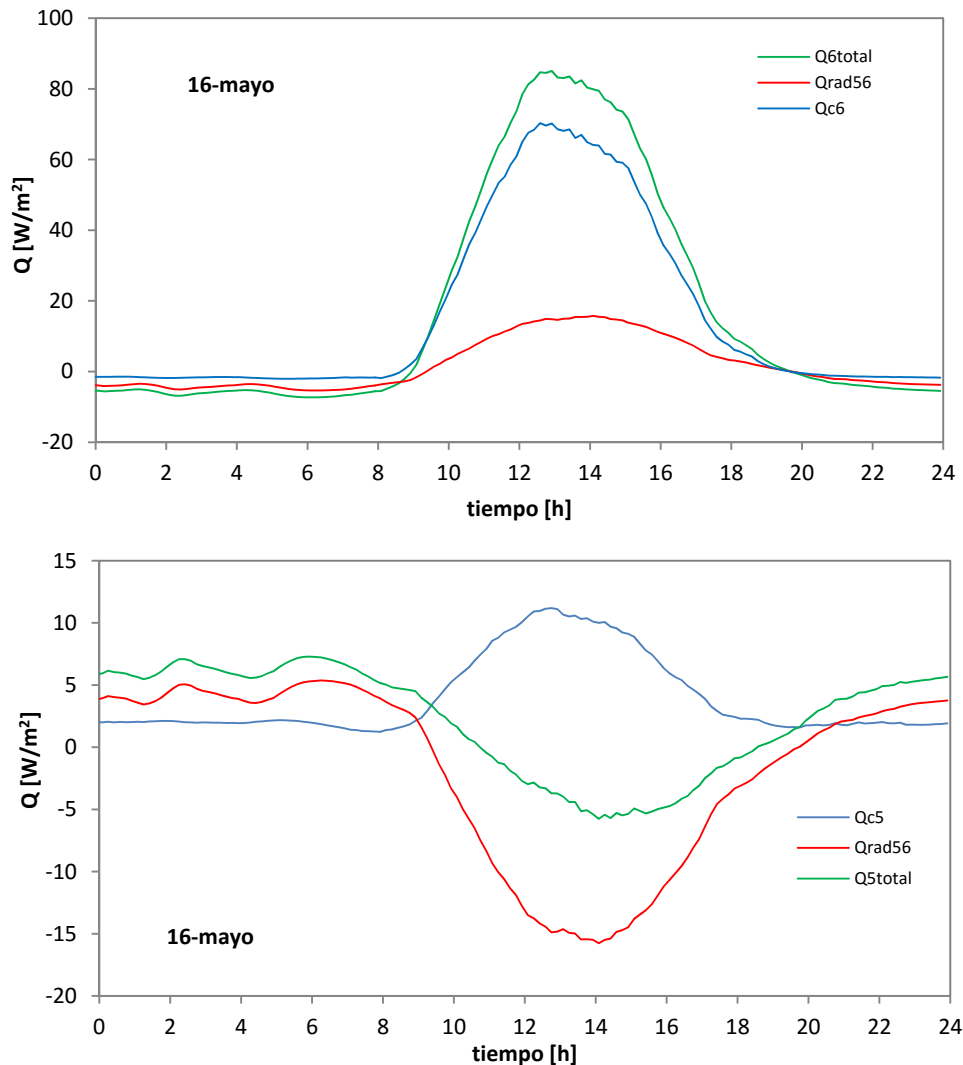


Figura 5.43 – Calor aportado al aire de la cámara ventilada por cada una de las superficies que la conforman

Queda por comparar los flujos calculados por el modelo con los flujos medidos mediante los fluxímetros instalados en la probeta, analizados en el apartado 4.2.2 del Capítulo 4. En la Figura 5.44 se muestra en azul los flujos de convección obtenidos por el modelo y en rojo los valores medidos. Se puede ver que el flujo se ajusta bien durante los periodos en los que no hay incidencia solar, pero se desvía durante las horas centrales del día. En el caso de la superficie de cemento el flujo medido es inferior al estimado por el modelo, y en la superficie del aislante se produce el efecto inverso, el flujo medido es superior al obtenido por el modelo. Este comportamiento parece indicar que el intercambio radiativo entre ambas superficies es el causante de las divergencias entre los valores calculados respecto a los valores medidos. Para comprobar este planteamiento en la *capa 6* se resta al flujo de convección el calor cedido por radiación, línea azul discontinua, y se obtiene que ambas curvas se solapan. En el caso de la *capa 5*, al flujo de convección se le suma el flujo de radiación, y se

obtienen los mismos resultados. Esto implica que el propio sensor de flujo de calor se está enfriando por radiación en la *capa 6* y por tanto mide un flujo inferior al real, y en el caso de la *capa 5* la radiación incidente sobrecalienta el sensor generando una señal aumentada del flujo convectivo medido. Por tanto, los sensores de flujo de calor empleados en el ensayo, miden una mezcla de mecanismos de transmisión de calor solapados, lo que implica que su utilización directa en la caracterización de muestras sea poco fiable, siempre que no se acompañen de un estudio completo a nivel de celda.

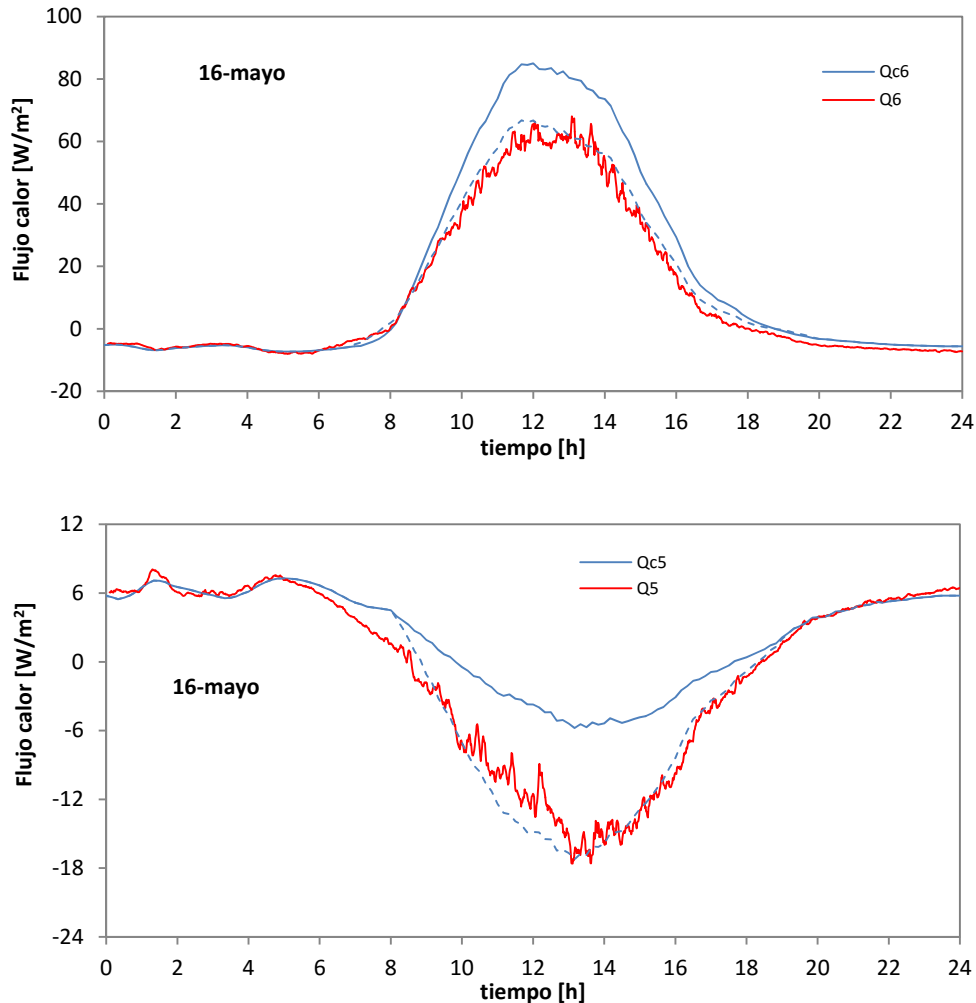


Figura 5.44 – Comparativa del modelo de cámara ventilada con los sensores de flujo instalados en la probeta de fachada ventilada ligera

En este caso han servido para verificar la validez del modelo de convección, que no sólo explica el proceso global de intercambio de calor en la cámara ventilada de la muestra, sino que además, explica con precisión todos los datos experimentales registrados. A la luz de los resultados obtenidos para los sensores de flujo de calor, y debido al reducido espacio disponibles en las cámaras ventiladas del resto de muestras de fachada ventilada, se decide no incluirlos entre la instrumentación óptima para la caracterización experimental de las probetas en el ensayo. Tras el análisis de los resultados obtenidos del comportamiento térmico de la fachada ventilada ligera, se puede concluir que se trata de una solución de envolvente con efecto refrigerante. Si se compara el flujo de calor total en la superficie del aislante, el 54,4% del calor intercambiado es de pérdidas y el, 45,6% restante es de ganancias. Por tanto, más de la

mitad del día tipo la fachada está cediendo calor, siendo un día con temperaturas exteriores no muy bajas y con una incidencia solar importante. Pero por otro lado, el calor absorbido por la cámara de aire se transforma en una energía con un potencial de aprovechamiento nuevo, ya que al disponer de un fluido caloportador, esta energía se puede redireccionar a los sistemas de climatización del edificio. En el día tipo, la cámara de aire recoge un 16,6% de la energía solar incidente, ver Figura 5.45, y en el periodo de ensayo la media de dicha eficiencia de captación es del 11%. No es una eficiencia muy alta, pero es una potencia que aporta la fachada sin encarecer de ninguna forma el coste constructivo. De ahí el potencial de aprovechamiento de un calor que en principio no se tiene en cuenta en ningún aspecto de diseño del edificio.

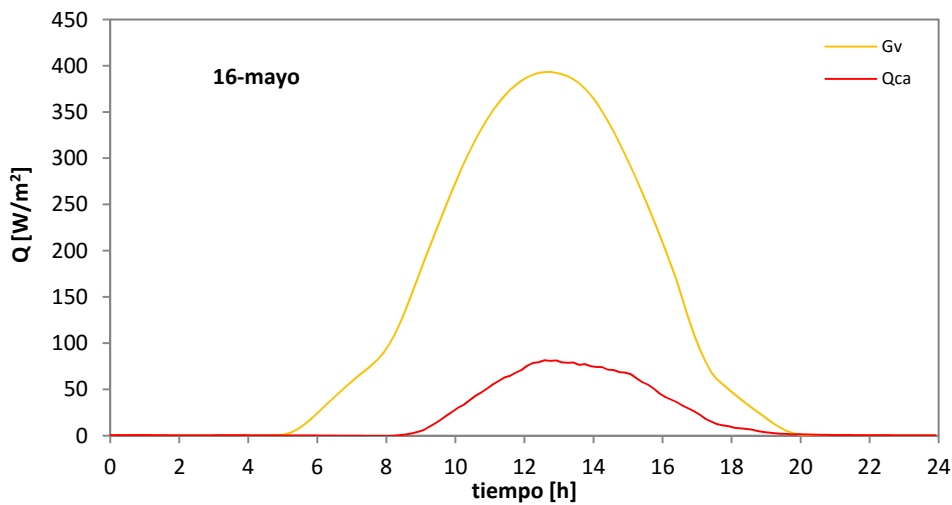


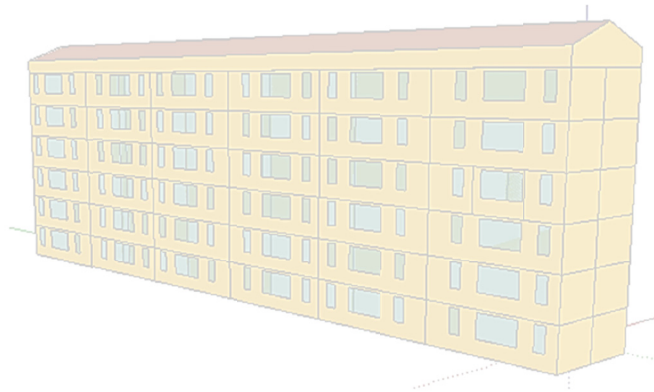
Figura 5.45 – Calor absorbido por la cortina de aire respecto a la radiación solar incidente sobre la fachada ventilada ligera

Toda la valoración energética realizada anteriormente se restringe a una superficie de envolvente reducida, la propia de la muestra ensayada en la celda *PASLNIK*. Falta dar el paso a escala de edificio y ver las potencialidades reales y estimar el comportamiento energético de estas soluciones de fachadas activas. Este paso se puede dar gracias a los modelos de la cámara de aire desarrollados en este apartado y que se implementan en la herramienta de simulación energética de edificios *TRNSYS* que se desarrolla en el siguiente capítulo del presente trabajo.



# Capítulo 6

## Modelo a escala de vivienda







## 6.1 Modelo del edificio

En el presente capítulo se finaliza el trabajo alcanzando el objetivo final de trasladar los resultados del modelo de fachada ventilada obtenido a través de datos del ensayo en la celda *PASLINK*, a la escala de edificio. Para ello, se emplea la herramienta de cálculo *TRNSYS*, software de referencia internacional en el análisis de los mecanismos físicos de transmisión de calor en edificación. El estudio se aplica a un edificio de referencia empleado en trabajos previos del grupo *ENEDI*<sup>[129,328]</sup>. Se trata de una tipología de edificio muy representativa de las soluciones constructivas durante el periodo del desarrollismo constructivo que va de la década de los 50 a los 90, en el Pas Vasco. En el *apartado 6.1* se definen las características del modelo de edificio, tanto para las condiciones originales como con el estado final rehabilitado, tras modificar la envolvente empleando el sistema de fachada ventilada ligera. Posteriormente, en el *apartado 6.2* se analizan los resultados del modelo, comparando las demandas del edificio inicial respecto a las obtenidas tras aplicar los dos sistemas de aislamiento analizados en los ensayos, *SATE* y fachada ventilada. Las demandas del edificio base permiten obtener una imagen representativa del comportamiento térmico del parque edificatorio sin rehabilitar y la potencialidad de ahorro energético si se actúa adecuadamente sobre el mismo. Los resultados obtenidos de los modelos de edificio rehabilitado permiten obtener información sobre el alcance final de las obras de aislamiento térmico en la reducción de consumos de energía en el sector de la edificación y la potencialidad de aplicación de los sistemas de fachada ventilada.

### 6.1.1 Características constructivas

El edificio seleccionado para el estudio consiste en un bloque real de viviendas, construido en 1960, con una configuración de planta rectangular, con una anchura de 53 [m] y un fondo de 7 [m] aproximadamente, y una superficie construida por planta alrededor de 371 [m<sup>2</sup>]. Dispone de planta baja para viviendas, otras cinco plantas de viviendas y planta bajo cubierta. Se trata de una tipología y una construcción habitual en edificación residencial en las ciudades de España que en torno a mediados de *siglo XX* vivieron la nueva revolución industrial y el consiguiente incremento de población. En la Figura 6.1 se muestran imágenes del entorno donde se ubica el edificio, fotografía superior, y de la fachada sur del edificio descrito, fotografía inferior.

La distribución de las viviendas se estructura en tres núcleos de escaleras con dos viviendas por planta en cada núcleo, sumando un total de 36 viviendas. Las viviendas son pasantes, con tres habitaciones que dan a la fachada oeste y con salón, cocina y baño que dan a la fachada este. En la Figura 6.2 se muestra una imagen con mayor detalle del alzado de la fachada este, y el plano de planta con distribución de las viviendas y los núcleos comunes de escalera.

En cuanto a la cubierta, ésta se conforma a dos aguas, con los faldones desaguando cada uno hacia una de las fachadas principales, este y oeste. En la Figura 6.3 se muestra el modelo final del edificio definido para el cálculo en *TRNSYS* a través de la plataforma *SketchUp*. Aprovechando la configuración de estancias se definen dos zonas térmicas por vivienda, una que engloba los dormitorios y otra que engloba la cocina, salón y baños. Esta configuración permite, a su vez, discriminar los diferentes patrones de uso día-noche, y el aprovechamiento solar por las distintas orientaciones, de forma que se puede determinar con mayor precisión las demandas energéticas reales del edificio. Las

zonas comunes de escalera se definen como zonas térmicas aparte, ya que presentan condiciones de uso diferentes.



Figura 6.1 – Edificio seleccionado para el estudio de demandas, detalle de la ubicación, superior, y detalle de la fachada este, inferior

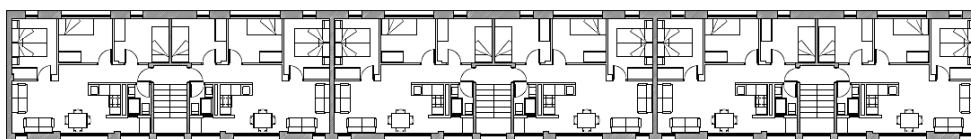


Figura 6.2 – Distribución de las viviendas en el edificio

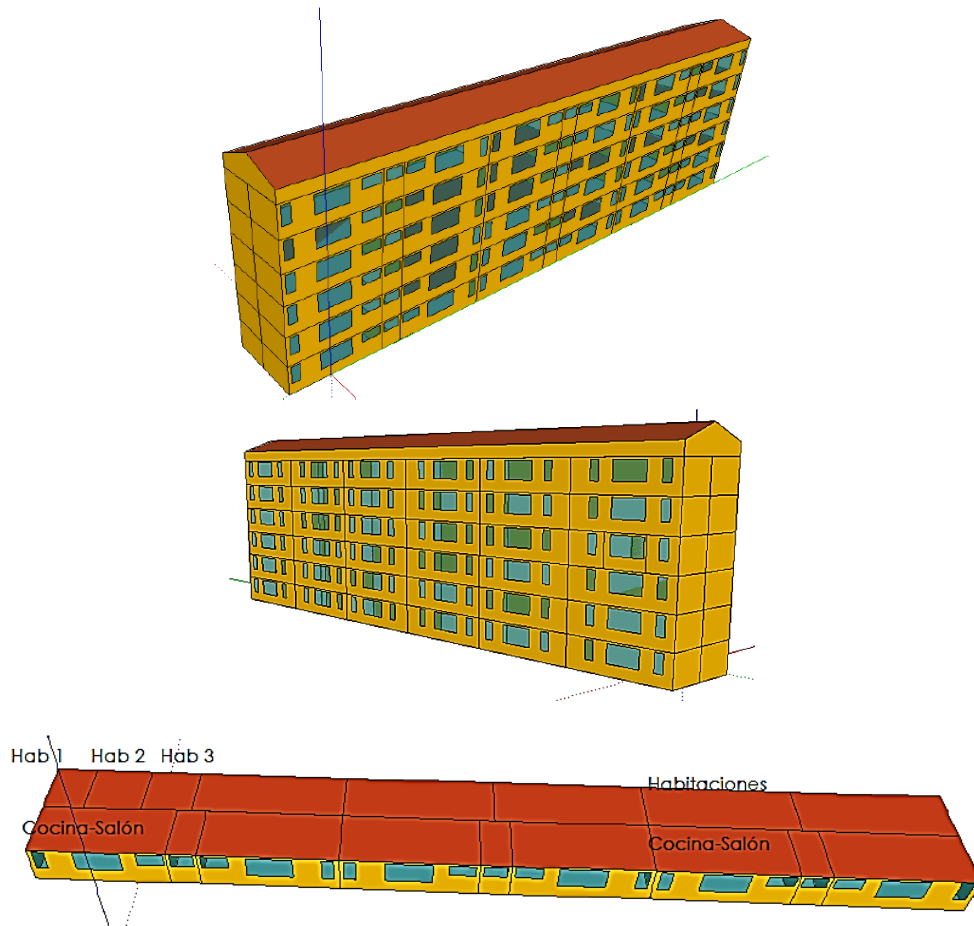


Figura 6.3 – Modelo del edificio y definición de los espacios en planta, detalle de la vivienda de referencia

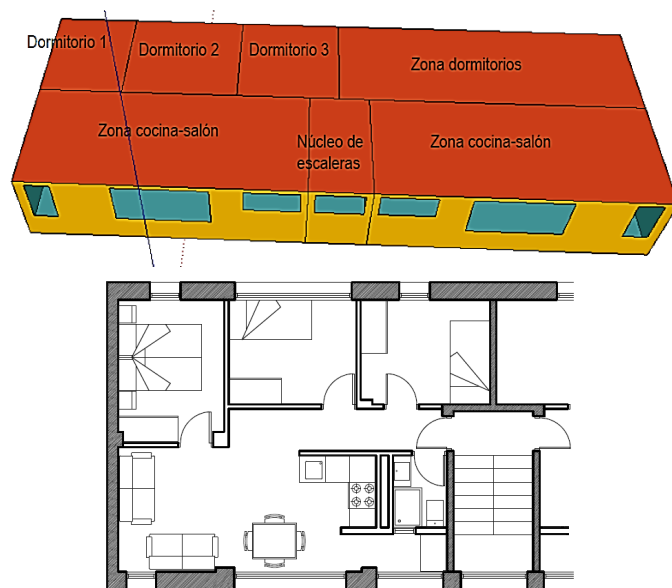


Figura 6.4 – Modelo de la vivienda de referencia

Para completar el estudio, una de las viviendas se analiza con mayor detalle, diferenciando cada una de las estancias como zona térmica en el modelo. Se selecciona como vivienda de referencia la correspondiente a la planta cuarta con la esquina sur, ver Figura 6.4, con una superficie útil de 57,82 [m<sup>2</sup>]. Una vez desarrollado el modelo geométrico del edificio y su zonificación, a continuación se pasa a definir las características térmicas de los cerramientos.

### 6.1.1.1 Edificio sin rehabilitar

De acuerdo a la época en la que se construyó el edificio objeto, su sistema constructivo es sencillo y realizado con recursos ajustados. En la Figura 6.5 se muestra la sección constructiva en toda la altura del edificio. En la Tabla 6.1 se recogen los datos exactos con los que se alimenta el modelo, ordenados según se sitúan las diferentes capas constructivamente desde el interior hacia el exterior. Los datos de las características de los elementos constructivos se obtienen de los ensayos realizados en los capítulos anteriores, y en el caso de los elementos no caracterizados, proceden del *Catálogo de Elementos Constructivos del CTE, Código Técnico Edificación*.

<b>Fachada</b>	<b>e [mm]</b>	<b><math>\lambda</math> [W/mk]</b>	<b>R [m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b><math>\rho</math> [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>C<sub>p</sub> [J/kgK]</b>
mortero cemento	10	0,35	0,028	625	1000
LHS	45	0,445	0,101	1000	1000
cámara aire	30		0,176	1,225	1007
LHD	105	0,555	0,189	920	1000
mortero cemento	10	0,35	0,028	625	1000

<b>Cubierta</b>	<b>e [mm]</b>	<b><math>\lambda</math> [W/mk]</b>	<b>R [m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b><math>\rho</math> [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>C<sub>p</sub> [J/kgK]</b>
mortero cemento	10	0,35	0,028	625	1000
LHS	45	0,445	0,101	1000	1000
mortero cemento	10	0,35	0,028	625	1000
cámara aire	40		0,08	1,225	1007
teja cerámica	10	1	0,246	2000	800

<b>Forjado</b>	<b>e [mm]</b>	<b><math>\lambda</math> [W/mk]</b>	<b>R [m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b><math>\rho</math> [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>C<sub>p</sub> [J/kgK]</b>
parquet	10	0,13	0,077	500	1000
cámara aire	10		0,151	1,225	1007
forjado	250	1,32	0,189	1330	1000
yeso	10	0,3	0,033	750	1000

<b>Ventana</b>	<b>Vidrio</b>	<b>U<sub>v</sub> [W /m<sup>2</sup>K]</b>	<b>Marco</b>	<b>U<sub>M</sub> [W /m<sup>2</sup>K]</b>
	simple 4 mm	5,80	aluminio sin rotura PT	5,7

Tabla 6.1 –Propiedades térmicas de la envolvente del edificio sin rehabilitar

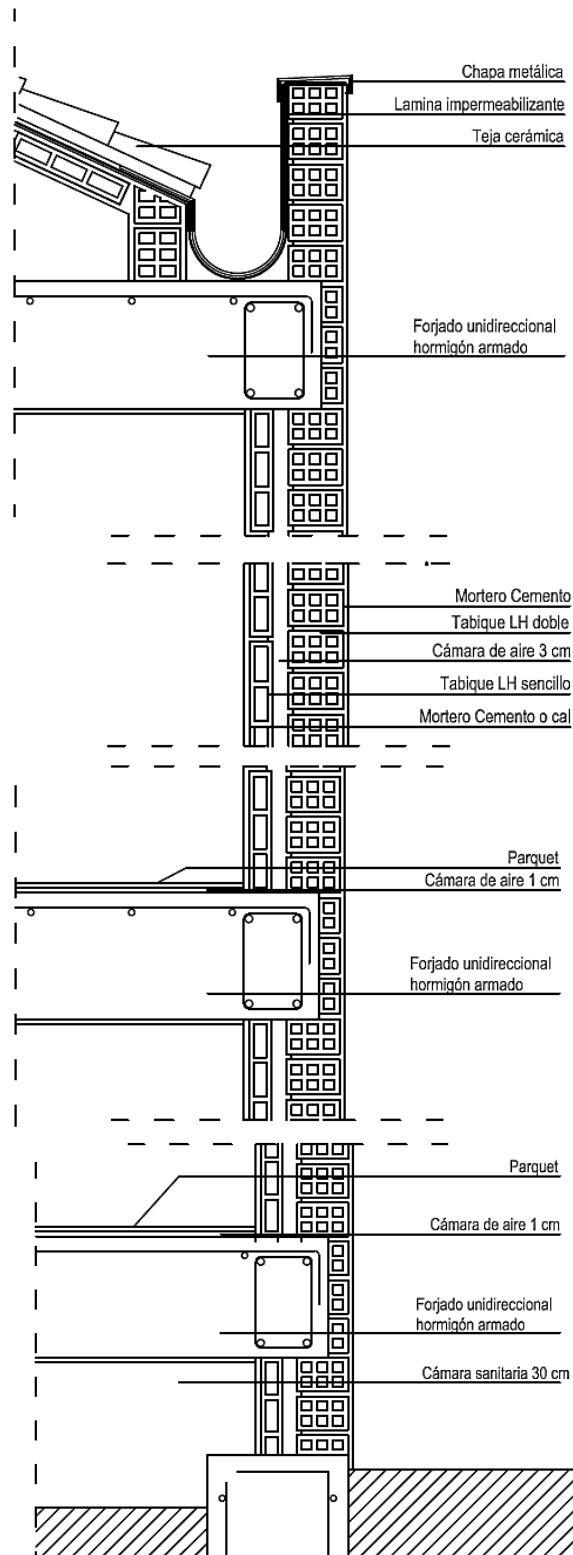


Figura 6.5 – Sección constructiva de la envolvente original del edificio

Por tanto, los datos del ensayo se emplean para la definición de las propiedades térmicas del modelo de edificio. Lo que permite obtener unos resultados más fiables

del estudio de demandas. Para la parte semitransparente de la envolvente, se considera un mismo tipo de ventana para todo el edificio. La configuración de las mismas es de marco de aluminio, vidrio monolítico de 4 [mm] y con factor solar de  $g = 0,68$ .

### 6.1.1.2 Edificio rehabilitado

Como solución de rehabilitación se actúa sobre la fachada, cubierta y ventanas. En la Figura 6.6 se muestran los detalles de la solución de rehabilitación planteada. El forjado inferior no se modifica, debido a que dicho forjado está en contacto con una cámara sanitaria, superficie inferior, y con vivienda en su cara superior. Rehabilitar este forjado en un proyecto al uso será complicado, y el objetivo del estudio es reproducir con la mayor fiabilidad las condiciones reales. En la Tabla 6.2 se recogen las propiedades térmicas de los componentes que configuran el sistema de rehabilitación. En la fachada se aplica el sistema ventilado analizado en el capítulo anterior. Para rehabilitar la cubierta se plantea un techo suspendido y en cuanto a las ventanas, el tipo de ventana simulado es de carpintera de PVC y de vidrio doble bajo emisivo, con factor solar de  $g = 0,53$ .

Fachada	e [mm]	$\lambda$ [W/mk]	R [m <sup>2</sup> K/W]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$C_p$ [J/kgK]
lana mineral	100	0,044	2,727	60	860
placa cemento	15	0,254	0,059	1533	1000

Cubierta	e [mm]	$\lambda$ [W/mk]	R [m <sup>2</sup> K/W]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$C_p$ [J/kgK]
placa yeso	15	0,3	0,050	750	1000
lana mineral	80	0,035	2,286	50	1000
paneles zinc	1	110	-	7200	400
cámara aire	40		0,08	1,225	1007
teja cerámica	10	1	0,246	2000	800

Ventana	Vidrio	$U_v$ [W /m <sup>2</sup> K]	Marco	$U_M$ [W /m <sup>2</sup> K]
	doble bajo emisivo 4/9/6	2,26	PVC dos cámaras	2,20

Tabla 6.2 –Propiedades térmicas del sistema de rehabilitación

U [W/m <sup>2</sup> K]		
	Edif Original	Edif Rehab
Fachada	1,45	0,35
Cubierta	2,94	0,35
Ventanas	5,77	2,24

Tabla 6.3 –Transmitancias de la envolvente original y rehabilitada



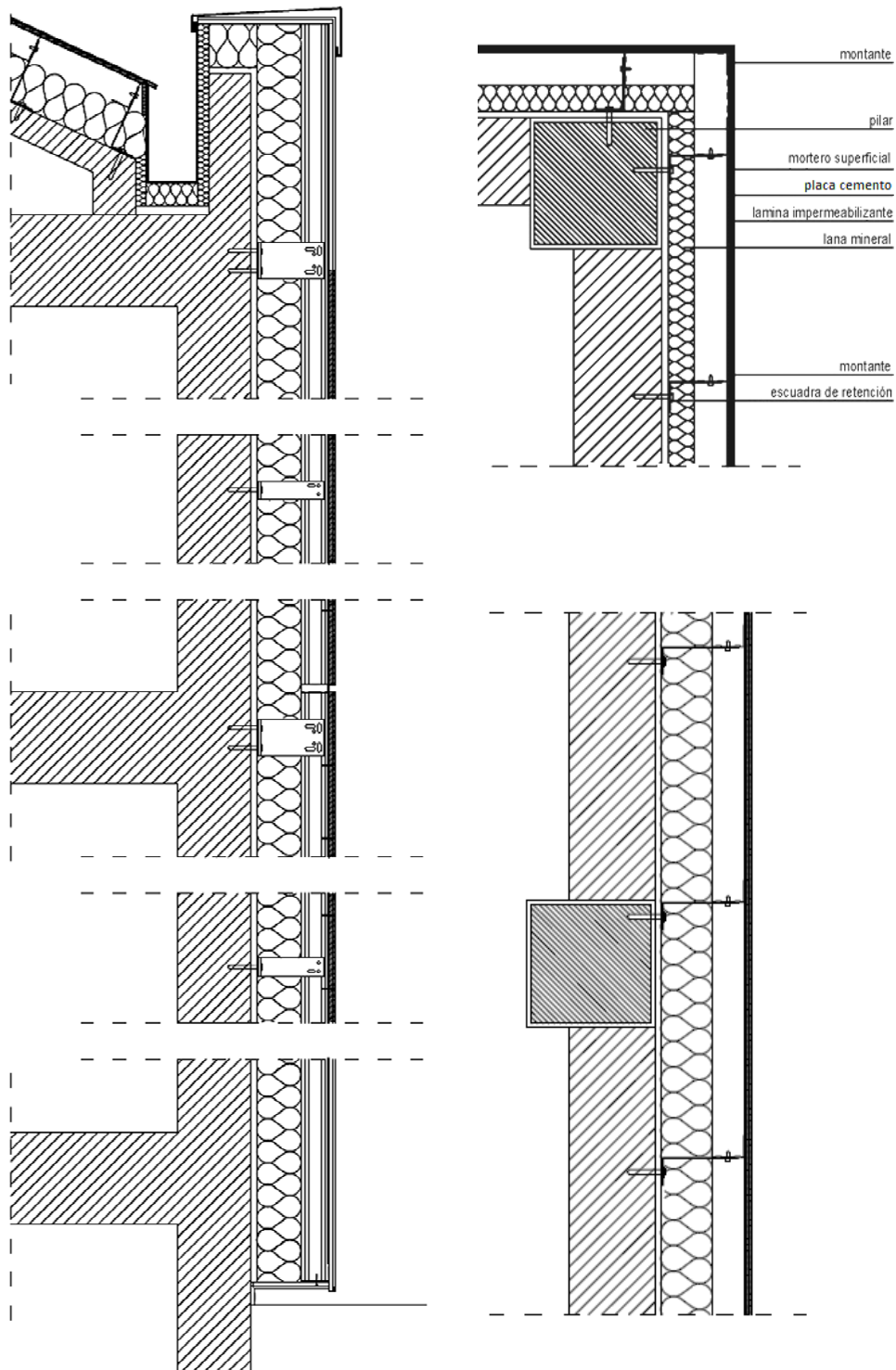


Figura 6.6 – Sección constructiva de la envolvente rehabilitada

En cuanto la solución de rehabilitación con SATE directo, el sistema constructivo es equivalente al mostrado en la Figura 6. para la fachada ventilada, pero sin la estructura de soporte de la hoja exterior y con el remate de mortero y acabado superficial de 0,5 [cm] de espesor. En la Tabla 6.3 se recoge un resumen de la comparativa de

transmitancias finales entre el edificio original y las soluciones de rehabilitación. En la determinación de las transmitancias se ha aplicado la norma *EN-ISO 6946*<sup>[304]</sup> para el cálculo de las resistencias superficiales interiores y exteriores de los diferentes cerramientos.

## 6.1.2 Capacidades térmicas de los espacios, ventilación y cargas internas

Para que el cálculo de las demandas del estudio sea representativo es necesario definir adecuadamente las capacidades térmicas de los espacios, ya que afectan al comportamiento en régimen dinámico, la ventilación, que representa un porcentaje importante del consumo de energía en climatización, y por último caracterizar las cargas internas del uso. El objetivo es obtener unos resultados lo más representativos posibles. A continuación se definen estos tres componentes del estudio energético del edificio. Como referencia se toma las indicaciones de la normativa nacional para la certificación energética de edificios de uso residencial. En lo relativo a las capacidades térmicas de los espacios se tienen en cuenta los elementos del edificio que no son parte de la envolvente, como la tabiquería interior, estructura, mobiliario, o el aire mismo. En la Tabla 6.4 se recogen los datos de inercia de los espacios introducidos para la simulación.

		Zona Térmica	Vol [m <sup>3</sup> ]	Capacidad [kJ/K]
<b>Aire</b>	<b>Modelo General</b>	Viv. Zona Noche	72,8	88,7
		Viv. Zona Día	71,8	87,4
		Escalera	15,8	19,2
	<b>Vivienda Referencia</b>	Bajo cubierta	589	717,6
		Salón-Cocina	71,8	87,4
		Habitación 1	20	24,4
		Habitación 2	28	34,1
		Habitación 3	24,8	30,2
		Zona Térmica	Vol [m <sup>3</sup> ]	Capacidad [kJ/K]
<b>Tabiquería Interior</b>	<b>Modelo General</b>	Viv. Zona Noche	1,9	2053
		Viv. Zona Día	1,1	1172,5
	<b>Vivienda Referencia</b>	Salón-Cocina	1,09	1172,5
		Habitación 1	0,52	564,3
		Habitación 2	0,73	789,7
		Habitación 3	0,65	699,4
		Zona Térmica	Vol [m <sup>3</sup> ]	Capacidad [kJ/K]
<b>Estructura Interior</b>	<b>Modelo General</b>	Viv. Zona Noche	0,09	94,8
		Viv. Zona Día	0,09	94,8
	<b>Vivienda Referencia</b>	Salón-Cocina	0,09	94,8
		Habitación 1	0,03	31,6
		Habitación 2	0,03	31,6
		Habitación 3	0,03	31,6

Tabla 6.4 –Inercia de los espacios interiores

En el caso de la tabiquería interior se considera un espesor de particiones de 7 [cm], que tiene en cuenta el espesor del ladrillo hueco simple y los revestimientos de yeso en ambas caras. La densidad media de esta solución constructiva es de  $Tab_{Int} = 1200 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ , y el calor específico de  $c_p = 900 \text{ [J/kgK]}$ . La altura entre forjados es de 2,5 [m], y la longitud total de particiones se obtiene sobre plano, ver Figura 6.2. Para el caso de la estructura interior se considera un espesor de 9 [cm], configuradas por hormigón armado con  $\rho_{EstInt} = 2300 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ , y el calor específico de  $c_p = 1000 \text{ [J/kgK]}$ . Las capacidades térmicas totales de los espacios internos de las viviendas se han ponderado con un coeficiente de mayoración de  $mob = 1,1$  debido a la presencia de una densidad de ocupación de mobiliario en la vivienda de  $mob = 45 \text{ [kg/m}^2\text{]}$ . De esta forma, los valores totales de capacidad térmica por espacios quedan de la forma recogida en la Tabla 6.5.

		Zona Térmica	Capacidad Térmica [kJ/K]
<b>Espacios Interiores</b>	<b>Modelo General</b>	Viv. Zona Noche	2460,5
		Viv. Zona Día	1490,1
		Escalera	19,2
		Bajo cubierta	717,6
	<b>Vivienda Referencia</b>	Salón-Cocina	87,4
		Habitación 1	456,4
		Habitación 2	638,9
		Habitación 3	1637,2

Tabla 6.5 –Inercia total ponderada de los espacios interiores

		Días	Franja horaria	Cargas Internas [kJ/hm <sup>2</sup> ]
<b>Ocupación</b>	Lunes- Viernes		00.00 – 07.00	12,64
			07.00 – 15.00	3,17
			15.00 – 23.00	6,34
			23.00- 24.00	12,64
	Sábado- Domingo	00.00-24.00	12,64	
<b>Iluminación</b>	Lunes – Domingo		00.00 – 07.00	0,00
			07.00 – 09.00	4,75
			09.00 – 18.00	0,00
			18.00 – 23.00	4,75
			23.00 – 24.00	0,00
<b>Equipos</b>	Lunes- Domingo		00.00 – 07.00	1,23
			07.00 – 09.00	4,95
			09.00 – 18.00	1,23
			18.00 – 23.00	4,95
			23.00 – 24.00	1,23

Tabla 6.6 –Ganancias internas en las viviendas

El siguiente punto en la definición del modelo de edificio son las cargas internas. La ocupación de personas en los espacios, la iluminación artificial y los equipos, electrodomésticos, ordenadores y otros elementos, aportan ganancias térmicas a los espacios de la vivienda, favoreciendo la reducción de la demanda de calefacción. Estas

ganancias internas se han definido según una programación horaria y basándose en lo que podrá ser un uso habitual de una vivienda en la que vive una familia de 4 personas. Estos valores de cargas internas afectan a cada espacio definido en función de su superficie. Los valores definidos en la simulación se recogen en la Tabla 6.6. La definición final en el modelo de TRNSYS se muestra en la Figura 6.7.

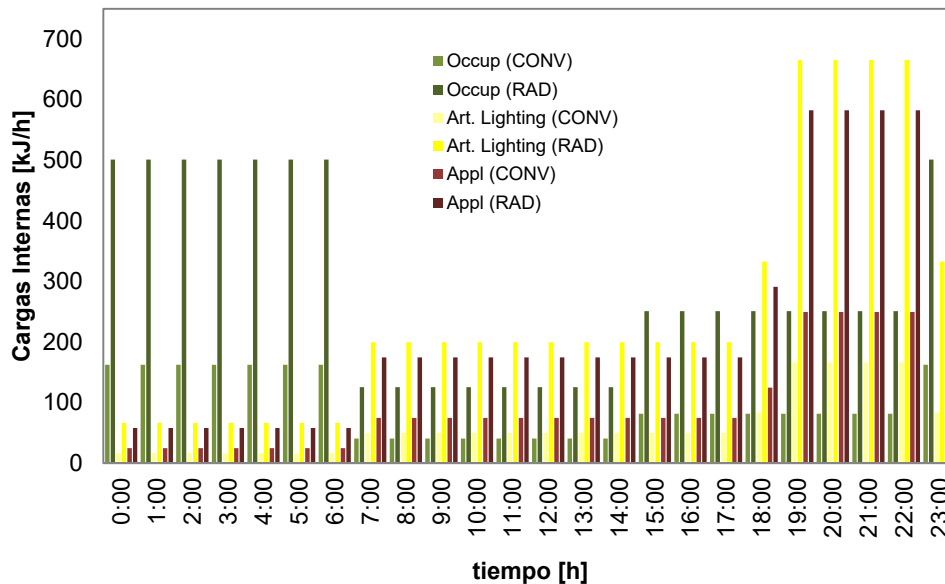


Figura 6.7 – Entrada TRNSYS de las ganancias internas en las viviendas

En cuanto a la ventilación, se ha considerado únicamente la ventilación natural, ya que en edificios con deficiencias y con necesidad de rehabilitación energética como es el caso de este edificio de referencia, en general, no existe la ventilación forzada. Y la ventilación natural se produce tanto de huecos de aire, como infiltraciones. La ventilación es necesaria para proporcionar un microclima aceptable en el espacio habitado, obteniéndose así el confort térmico y calidad óptima del aire interior.

Zona	Infiltraciones [ren/h]		
Vivienda	0,6		
Escalera	0,9		

Zona	Periodo	Franja horaria	Ventilación [ren/h]
Vivienda	Invierno	00.00 – 07.00	0
		07.00 – 08.00	1
		08.00 – 00.00	0
	Verano	00.00 – 07.00	4
		07.00 – 08.00	4
		08.00 – 00.00	0

Tabla 6.7 – Definición de las infiltraciones y ventilación en el modelo de edificio

Periodo	Temp Consigna [°C]				
	1-7	8	9-15	16-23	24
Enero a Mayo	17	20	20	20	17
Junio a Septiembre	27	-	-	25	27
Octubre a Diciembre	17	20	20	20	17

Tabla 6.8 –Temperaturas de consignas y perfiles de aplicación

Sin embargo, la ventilación y las infiltraciones favorecen la refrigeración de los espacios de la vivienda y repercuten considerablemente en la demanda de calefacción. Las infiltraciones generan una renovación continua, no controlada, del aire en la vivienda. El valor de referencia es de 0,24 [ren/h], este valor que puede ser válido para edificios rehabilitados con buenos acabados. Sin embargo, se considera que no se asemeja a la realidad y por ello, los valores que se han definido para la simulación son los indicados en la Tabla 6.7. Estos valores se han definido en base a la experiencia adquirida de ensayos de puerta ventilador<sup>[129]</sup> y ensayos de gases trazadores<sup>[328]</sup> realizados en viviendas de estas tipologías en el AT del LCCE. Para definir las condiciones de ventilación se ha optado un perfil diario de valores de ventilación propuesto por el código técnico, y que intenta reproducir el uso normal y racional de la ventilación en la vivienda. Por último, queda por definir los perfiles de confort, es decir, las temperaturas de consigna y los intervalos temporales de aplicación. Estos perfiles son los correspondientes a la normativa de certificación y se indican en la Tabla 6.8.

### 6.1.3 Modelo del edificio con fachada ventilada

Una vez definido el edificio base, a continuación se detallan las modificaciones introducidas para el modelado del sistema de fachada ventilada. Estas modificaciones se pueden dividir en dos partes. La primera corresponde con la incorporación de la cámara de aire ventilada, definida para poder introducir el modelo desarrollado en el capítulo anterior. Y la segunda modificación se aplica para poder reproducir con exactitud los efectos en la demanda energética de los puentes térmicos que introduce los anclajes del sistema constructivo propio de la fachada ventilada. Hay varias formas de introducir una fachada ventilada en TRNSYS, desde emplear *types* propios del software, como definir uno propio que realice todo el cálculo de transmisión de calor. En este caso se opta por una solución más directa y que aprovecha al máximo la gran capacidad de cálculo del software, sobre todo en la caracterización del intercambio de calor con el ambiente exterior, como por ejemplo, el intercambio de radiación tanto de onda corta como de onda larga, el intercambio por convección... Para ello, la cámara de aire se representa como una zona térmica más del edificio. Esta nueva zona se define como adyacente a las zonas térmicas del edificio original, ver Figura 6.8. Para conectar la fachada ventilada con la envolvente del edificio original, la superficie entre las zonas térmicas interiores y la cámara ventilada se define como muro adyacente, y se compone de las capas que conforman la fachada, desde la capa más interior hasta la superficie en contacto con el aire de la cámara. Como ejemplo de esta definición, en la Figura 6.8 se muestra el esquema de la fachada oeste del edificio. Con el índice 1 se muestra el muro adyacente definido, que contempla el muro original más la capa de aislamiento, el marcador 2 corresponde con la nueva superficie final exterior formada por el panel de cemento, la zona 3 corresponde con la cámara de aire ventilada, los indicadores 4 a 9 son las zonas térmicas del interior del edificio para las diferentes plantas, y el 10 representa el espacio bajo cubierta no climatizado. Esta misma configuración se repite para todas las fachadas y las correspondientes zonas térmicas

asociadas. Una vez definido el modelo de fachada ventilada, en el Figura 6.9 se muestra el esquema de operación del proceso de cálculo de las demandas del edificio.

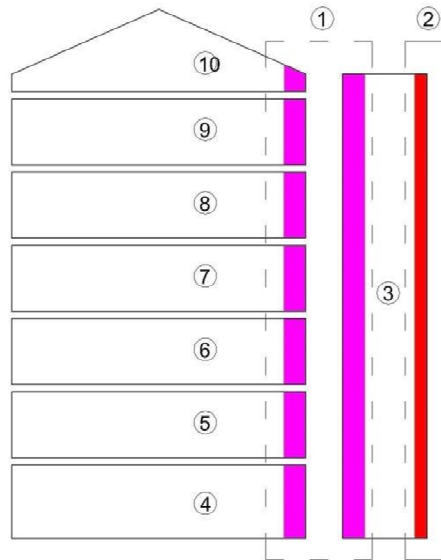


Figura 6.8 – Modelo en TRNSYS de la cámara ventilada

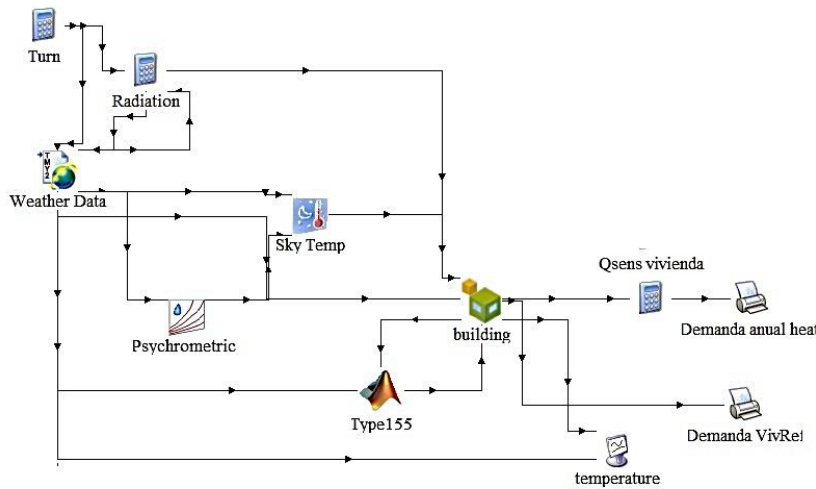


Figura 6.9 – Esquema de bloques y proceso de simulación en el modelo de TRNSYS del edificio con fachada ventilada

Para poder introducir en el edificio el modelo de fachada ventilada obtenido en el capítulo anterior, se ha desarrollado una rutina de cálculo en *MATLAB* que se introduce mediante un *type* externo que se conecta al diagrama de flujo de *TRNSYS*. De forma que en cada intervalo de cálculo,  $time\ step = 1\ [h]$ , el *type* del edificio se alimenta de las condiciones exteriores del fichero climático y de la salida del *type* de *MATLAB*, que consiste en el caudal de aire circulante por la cámara ventilada y el coeficiente de convección en cada una de las superficies que conforman la misma. Para obtener los parámetros de la cámara ventilada, el *type* de *MATLAB* recoge los datos de temperaturas superficiales y flujos de calor en cada capa durante el *time step* anterior y la temperatura exterior en ese mismo instante, que sirven como entrada a los modelos de  $h_{ca}$  y  $m_a$ .



Además del componente de fachada ventilada, principal modificación del modelo a escala de edificio, se decide completar el mismo con el efecto de los puentes térmicos debidos al sistema de anclaje de la hoja exterior. En los ensayos realizados de la probeta de fachada ventilada en la *PASLINK*, se detecta la reducción de la resistencia térmica de la capa de aislamiento debido a dichos anclajes. Por tanto, se considera necesario introducir estos efectos en el modelo de edificio para poder obtener unos resultados de demanda lo más representativos del sistema de aislamiento bajo estudio, además de caracterizar el efecto de la cámara ventilada. Las tipologías de puentes térmicos consideradas son cinco, todos ellos situados en el encuentro de la fachada con la estructura del edificio, y consisten en:

- frente de forjado,
- encuentro de fachada con solera,
- encuentro de fachada con cubierta,
- frentes de pilar tanto en zona central como en esquina.

Para introducir dichos efectos de puentes térmicos se aplica la herramienta del muro equivalente<sup>[129]</sup>. Esta herramienta permite caracterizar con mayor precisión la repercusión en la demanda del edificio de los puentes térmicos, respecto a factor lineal de borde,  $\Psi_{PT}$ , empleado usualmente en su caracterización<sup>[97]</sup>, ya que permite representar el comportamiento dinámico de los mismos. La necesidad de aplicar esta metodología se debe a que los programas que realizan cálculos a escala de edificio sólo consideran transmisión de calor mediante flujo unidimensional. Sin embargo, en los puentes térmicos, donde la composición de los cerramientos no es homogénea, el flujo de calor se produce en más de una dimensión. Debida a esta limitación de los programas informáticos de simulación de edificios, existe la necesidad de representar el *PT* mediante un cerramiento homogéneo equivalente y trasladar este nuevo cerramiento al modelo del edificio, sustituyendo el cerramiento original en la superficie correspondiente. El método del muro equivalente se basa en calcular un muro multi-capa homogéneo de flujo de calor unidimensional que tiene el mismo comportamiento térmico dinámico que el puente térmico que se está estudiando y con la misma superficie en fachada que la afectada, ver Figura 6.10.

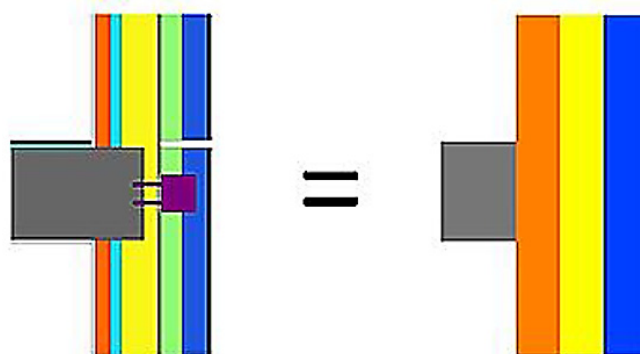


Figura 6.10 – Representación de un puente térmico mediante el muro equivalente

Como ejemplo, a continuación se muestra el procedimiento de cálculo para la tipología de puente térmico debido al encuentro del frente de forjado con la fachada. El primer paso consiste en determinar el área de influencia del efecto bidimensional en el flujo de calor. Mediante un modelo de volúmenes finitos, definido en *Fluent*®, se lleva a cabo un cálculo estacionario con un gradiente de temperatura de 20 [°C] como se especifica

en la norma ISO 10211<sup>[206,291]</sup>. Mediante esta simulación se obtiene el perfil de temperaturas y flujos de calor bidimensional y se determina el factor de borde  $\psi_{PT}$ . Se define el límite de la superficie afectada por el efecto de puente térmico como la distancia al eje de simetría del modelo, en la que el flujo de calor y la temperatura en la superficie interior son un 99% del valor en la zona con condiciones unidimensionales. Siguiendo con el ejemplo de la Figura 6.10, a continuación se muestra el análisis del encuentro entre frente de forjado y fachada. En la Figura 6.11 se puede ver el modelo de estudio para los puentes térmicos exigido por la norma, con unas dimensiones de 1 [m] desde el eje de simetría hasta las condiciones de contorno. Se muestran los perfiles de temperatura que se obtienen para la superficie interior. Siendo el valor del efecto de borde calculado mediante el factor de transmitancia lineal de  $\psi_{PT} = 0,57$  [W/mK]. Una vez determinadas las distancias de efecto del puente térmico se define un nuevo modelo del mismo ajustado a dichas dimensiones, como se muestra en la Figura 6.12, verificándose que se obtiene el mismo valor para el factor de transmitancia lineal.

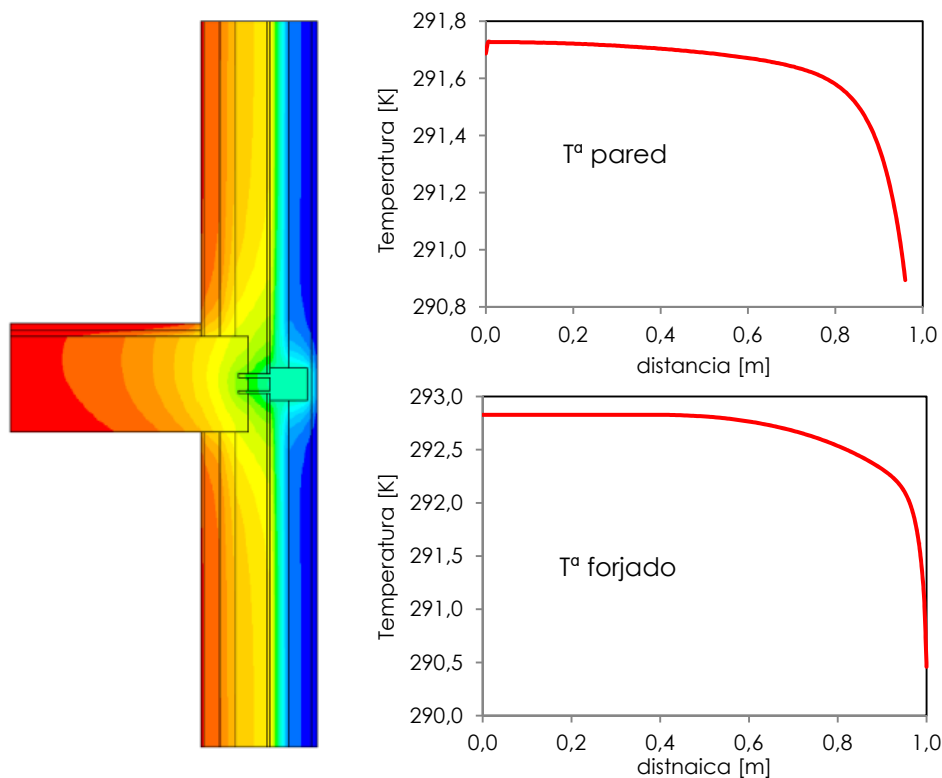


Figura 6.11 – Perfiles de temperatura en el puente térmico de frente de forjado

El siguiente paso es calcular el cerramiento equivalente unidimensional. Para ello, se vuelve a simular el modelo ajustado, pero en este caso en régimen dinámico. Así, se caracteriza el comportamiento térmico dinámico del puente térmico. En esta simulación la temperatura interior se mantiene fija a 20 °C. Y la exterior, en cambio, es variable. La temperatura exterior se reproduce con una onda de temperatura, ver Figura 6.13, que tiene una duración de 216 [h], tiempo muy superior al de respuesta de cualquier puente térmico estudiado. Dicha onda está compuesta de una serie de frecuencias, que contemplan las de mayor repercusión en el comportamiento energético del puente térmico, con frecuencia de 24 [h] y 12 [h], así como frecuencias más cortas, de 5 [h] y 2 [h], representativas de periodos puntuales de arranque de los sistemas de climatización, y de periodos más largos como 48 [h] y 72 [h], para representar la evolución dinámica de días soleados y días nublados. También se

generan variaciones muy amplias de temperatura para cubrir todo el espectro de condiciones bajo las que pueden estar evolucionando los componentes de la envolvente del edificio.

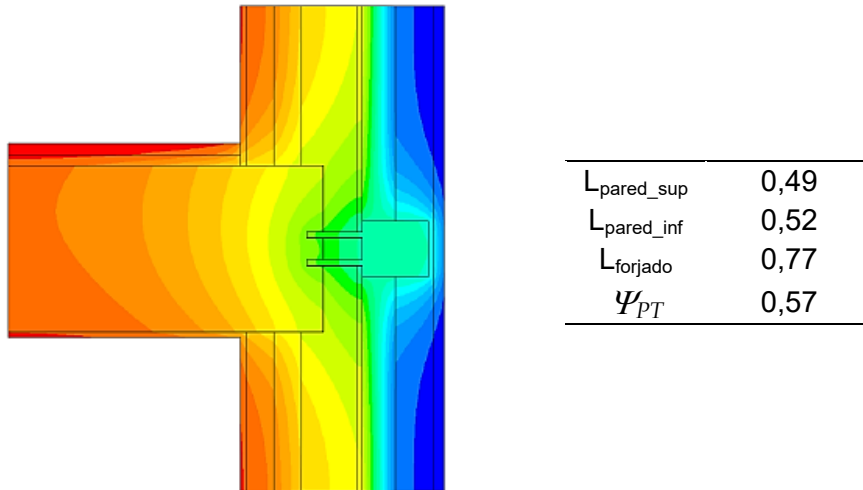


Figura 6.12 – Modelo ajustado del puente térmico para el frente de forjado

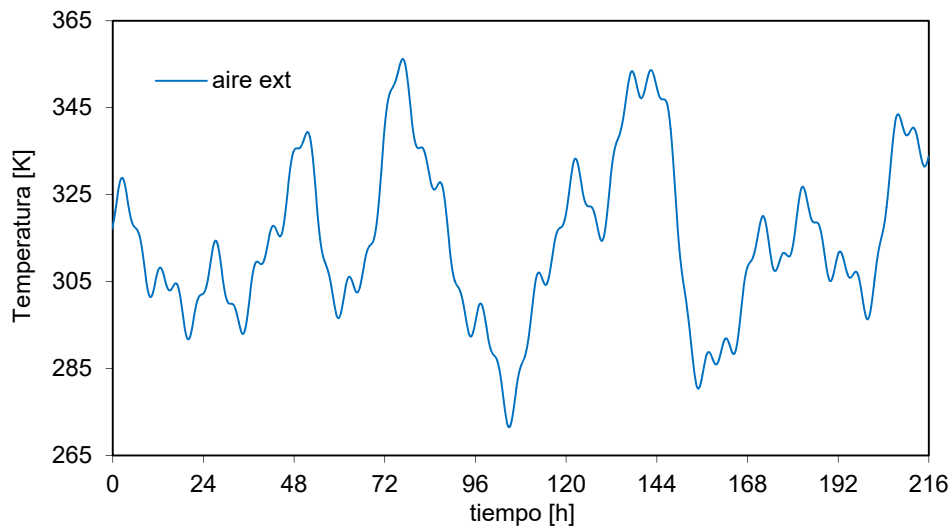


Figura 6.13 – Temperatura exterior en el estudio dinámico del puente térmico

Como salida del modelo se obtiene el flujo de calor interior, temperatura superficial interior y la temperatura superficial exterior. Sabiendo estos datos, el comportamiento térmico dinámico del puente térmico queda caracterizado. Y el siguiente paso es obtener un cerramiento equivalente que tenga la misma respuesta ante la misma excitación. Para ello se emplea un modelo de parámetros concentrados formado por tres capas que, a su vez, se componen de tres capacidades y cuatro conductancias, ver Figura 6.14. En la identificación de parámetros se emplean como funciones de entrada las temperaturas de aire interior y exterior, y como funciones objetivo las salidas del estudio dinámico, es decir, las temperaturas superficiales y el flujo de calor en la cara interior. En la Figura 6.15 se muestran los resultados del proceso de identificación de parámetros en el ajuste de las funciones objetivo respecto a los valores de referencia obtenidos del modelo del puente térmico.

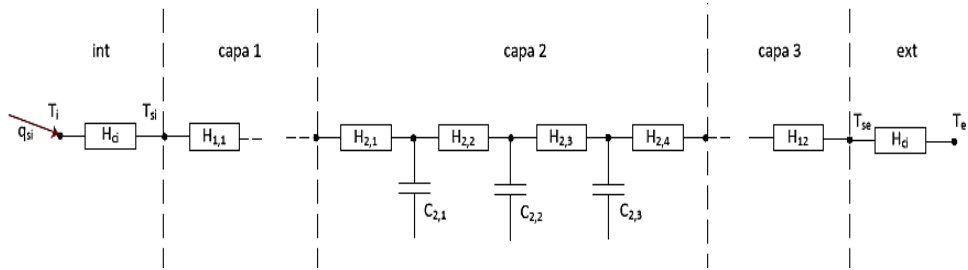


Figura 6.14 – Modelo de parámetros concentrados para el muro unidimensional

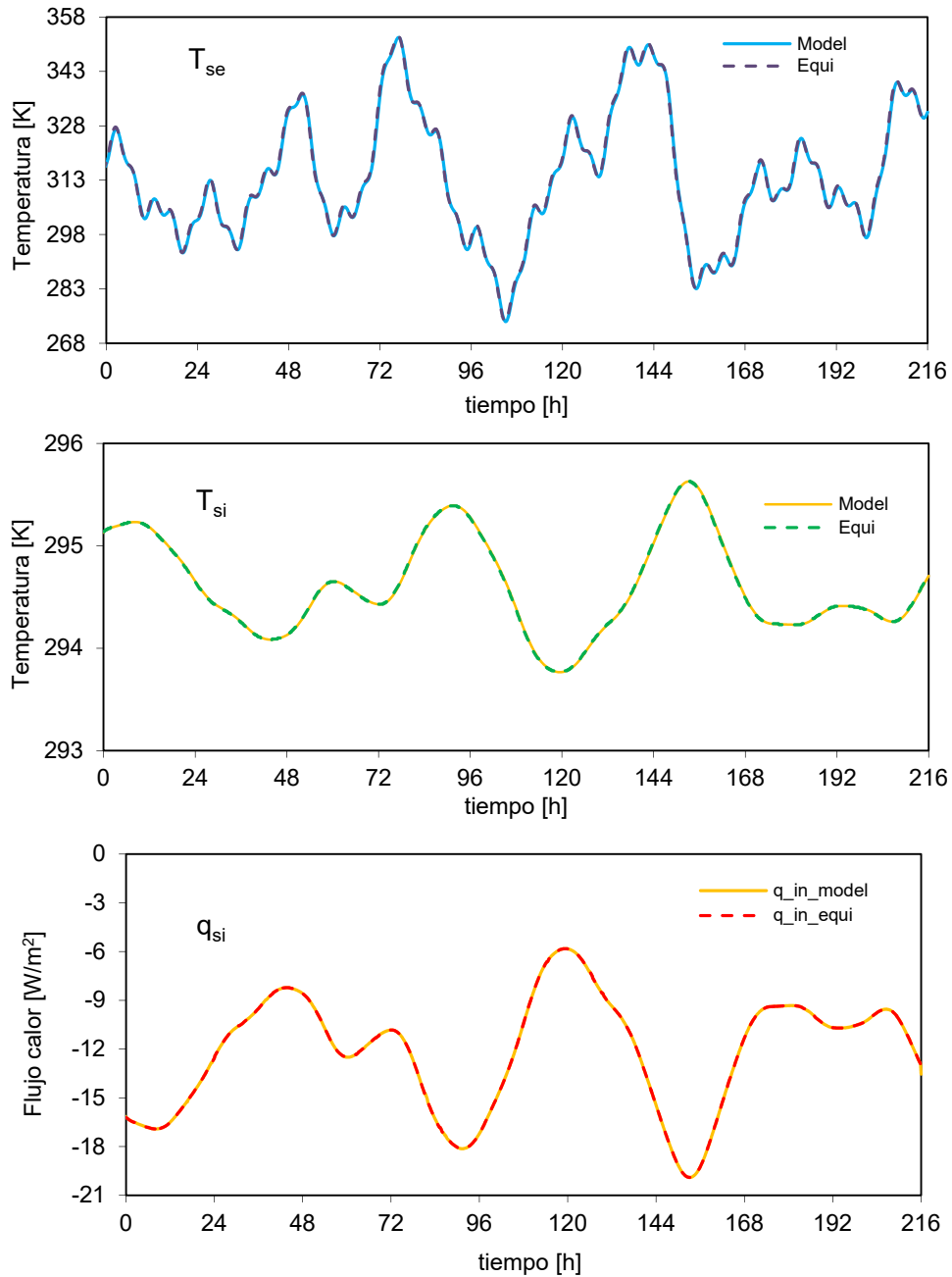


Figura 6.15 – Comparativa del comportamiento del muro equivalente respecto al modelo de puente térmico en régimen dinámico

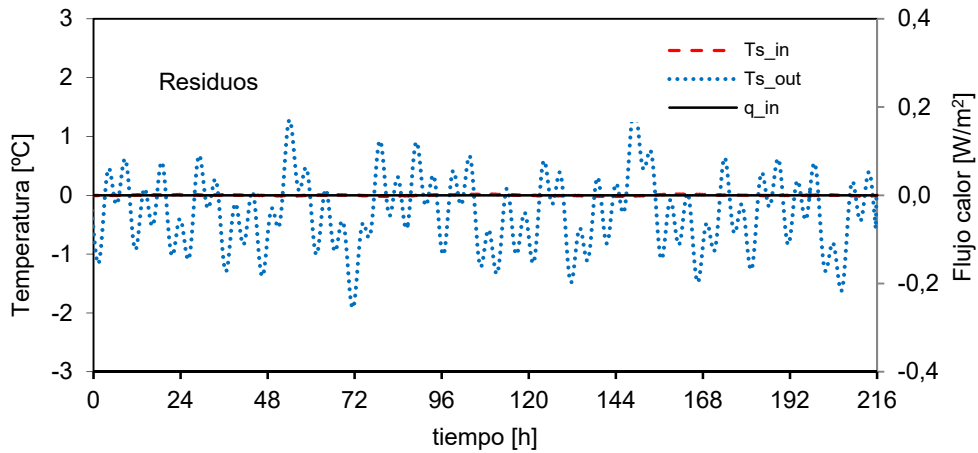


Figura 6.16 – Residuos del modelo de pared equivalente

Para poder analizar con más detalle la precisión del modelo de muro equivalente respecto al comportamiento real del puente térmico, en la Figura 6.16 se muestran los residuos para cada función objetivo. El proceso definido anteriormente se repite para la zona del frente de forjado en la que no se sitúan anclajes de fijación de los perfiles. Y los resultados finales de capa del modelo se ponderan por el número de anclajes por metro lineal.

	espesor [m]	$R_t$ [m <sup>2</sup> K/W]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c_p$ [J/kgK]
capa 1	0,107	0,508	0,211	0,37	1000
capa 2	0,107	0,935	0,114	2260,08	1000
capa 3	0,107	0,605	61,06	0,605	1000

Tabla 6.9 –Características capas del cerramiento equivalente para el frente de forjado (interior-exterior)

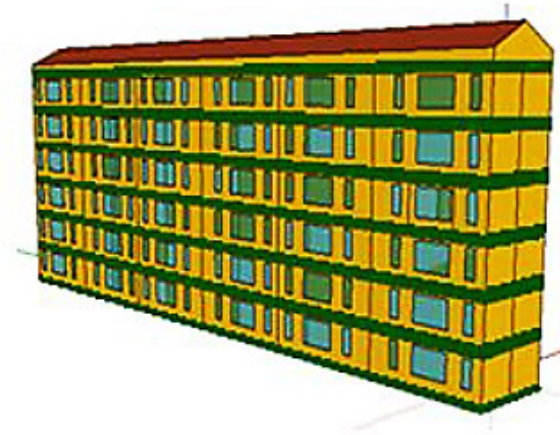


Figura 6.17 – Modelo de edificio en TRNSYS con la incorporación del muro equivalente para caracterizar el efecto de puente térmico en el frente de forjado

De esta forma se obtiene el resultado del muro equivalente unidimensional mostrado en la Tabla 6.9, empleando el mismo espesor para cada capa, de forma que el espesor final del muro equivalente sea el mismo que el de la fachada a sustituir, en este caso el correspondiente al sistema de fachada rehabilitada.

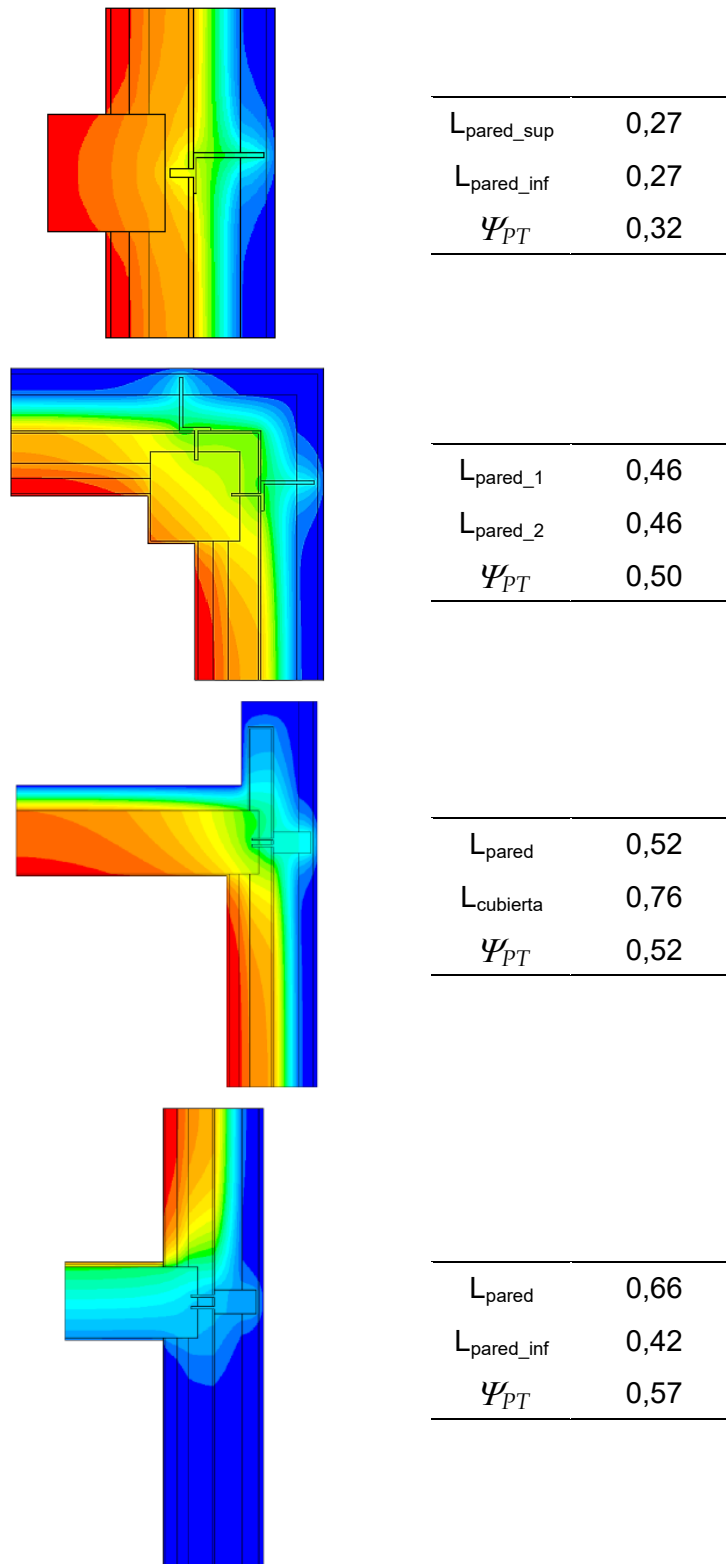


Figura 6.18 – Modelo ajustado del resto de puentes térmicos

Aunque el procedimiento del muro equivalente es costoso de calcular, simplifica en gran medida el cálculo posterior a escala de edificio. En la Figura 6.17 se muestra la



incorporación al modelo de edificio del efecto del puente térmico del frente de forjado. El procedimiento se repite para el resto de puentes térmicos definidos. En la Figura 6.18 se muestran los modelos de volúmenes finitos del resto de puentes térmicos estudiados, para las zonas con anclaje. Y en la Tabala 6.10 se recogen los datos de las propiedades térmicas de los muros equivalentes que se obtienen de ponderar con las zonas sin anclajes, que posteriormente se emplean para alimentar los datos del modelo a escala de edificio. Una vez definido el modelo a escala de edificio en el siguiente apartado se analizan los resultados de la demanda para el conjunto de casos analizados y se evalúa el potencial energético del sistema de fachada ventilada.

		espesor [m]	$R_t$ [ $m^2K/W$ ]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c_p$ [J/kgK]
pilar-fachada	capa 1	0,107	0,006	17,8	0,37	1000
	capa 2	0,107	0,166	0,645	0,37	1000
	capa 3	0,107	2,357	0,045	1158	1000
pilar-esquina	capa 1	0,107	0,115	0,930	4431	1000
	capa 2	0,107	0,166	0,645	300,5	1000
	capa 3	0,107	0,648	0,165	142,6	1000
cubierta-fachada	capa 1	0,107	0,326	0,328	3947	1000
	capa 2	0,107	0,166	0,645	994	1000
	capa 3	0,107	1,012	0,106	0,37	1000
solera-fachada	capa 1	0,107	0,037	2,892	3761	1000
	capa 2	0,107	0,166	0,645	0,37	1000
	capa 3	0,107	0,415	0,258	629,2	1000

Tabla 6.10 –Características capas de los muros equivalentes para el conjunto de puentes térmicos analizados

## 6.2 Resultados

Para el análisis del comportamiento energético a escala de edificio se realizan cuatro estudios:

- El primero consiste en determinar la demanda de climatización del edificio base, sin rehabilitar, que sirve de referencia y permite cuantificar el comportamiento del parque edificatorio con condiciones similares.
- El segundo estudio se realiza con un sistema de aislamiento directo. En este caso se discrimina el efecto del aislamiento de fachada opaca, el correspondiente al cambio de las ventanas, y la parta de demanda asociada a la

- ventilación. Este segundo estudio permite obtener la reducción de demanda alcanzable con los sistemas usuales de rehabilitación.
- El tercer estudio se base en el análisis del comportamiento del sistema de fachada ventilada, que se compara con el sistema de aislamiento directo, y además, se cuantifica el potencial energético de aprovechamiento de la cámara ventilada.
  - El cuarto estudio consiste en analizar el comportamiento del sistema de fachada ventilada pero con la cámara estanca, que permite obtener una comparativa directa del efecto de la cámara activa.

El estudio se basa en el análisis de la demanda de las zonas climatizadas del edificio. No se obtienen los consumos finales, ya que éstos van asociados al rendimiento de los equipos de climatización, lo que introduce una variable no acotada en el estudio. Sin embargo, la demanda es un parámetro estrictamente asociada a las características del edificio y a la zona climática, por lo que sirve como referencia estándar de estudio. Por último, como condiciones climáticas se ha seleccionado la zona más exigente en demanda de calefacción, *zona E1* según el CTE, escogiendo una ciudad, Burgos, que además presenta una incidencia solar representativa, de forma que se pueda obtener resultados adecuados para valorar el potencial energético de los sistemas activos. La aplicación de los sistemas de fachada ventilada usualmente van ligados a climas cálidos<sup>[291]</sup>, con sistemas constructivos no usuales. Lo que se pretende en esta tesis es remarcar su competitividad energética en climas fríos, mediante el aprovechamiento del calor para la ventilación, por ejemplo, sin modificar los sistemas constructivos.

## 6.2.1 Demanda del edificio sin rehabilitar

Como base del estudio es necesario conocer el comportamiento energético del edificio sin rehabilitar. Para ello se realiza el estudio de un año tipo, el cual se obtiene de la base estadística de *Meteonorm*. De esta forma se realiza la simulación obteniendo los datos de la demanda de calefacción calculados en un intervalo de 1 [h].

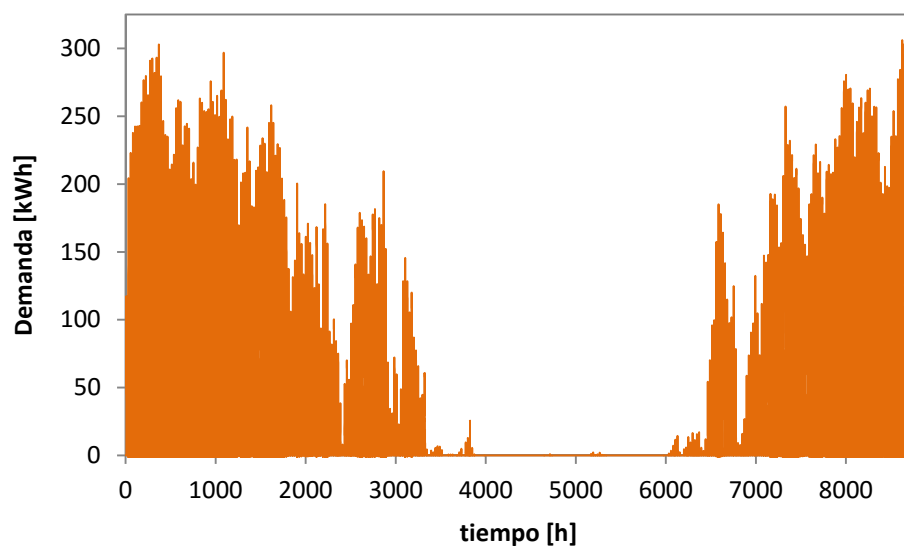


Figura 6.19 – Demanda de calefacción para el edificio completo

		DEMANDAS ANUALES [kWh/m <sup>2</sup> ]							
		Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3			
		A	B	A	B	A	B		
		<b>SUELO</b>							
<b>SUR</b>	Piso 1	125,9	111,9	111,5	111,5	112,0	129,6	<b>NORTE</b>	
	Piso 2	119,6	102,4	102,1	102,1	102,6	123,9		
	Piso 3	113,5	97,5	97,1	97,1	97,6	118,4		
	Piso 4	115,4	97,1	96,9	96,9	97,4	118,2		
	Piso 5	116,5	100,7	100,3	100,3	100,8	121,4		
	Piso 6	162,4	146,6	146,3	146,3	146,7	166,5		
		<b>CUBIERTA</b>							

Tabla 6.11 –Demandas anuales de calefacción para el edificio sin rehabilitar

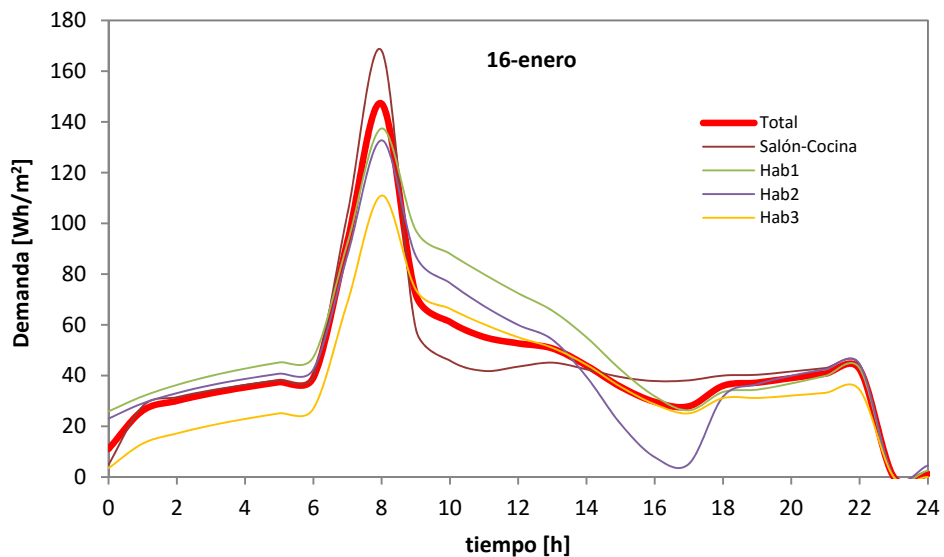
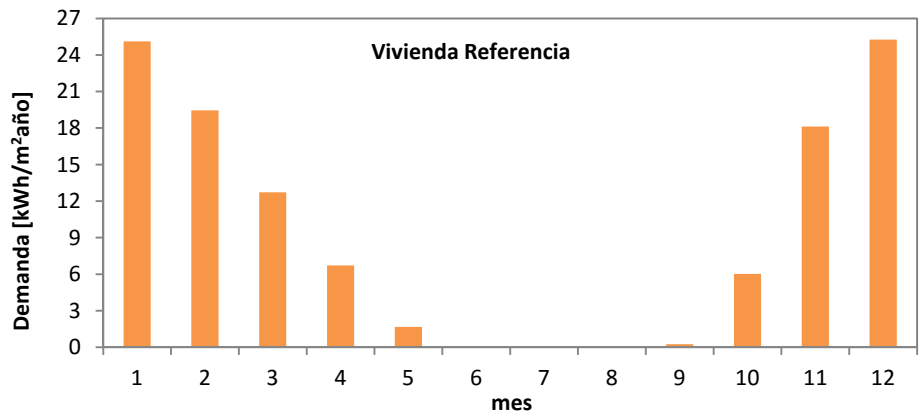


Figura 6.20 – Demanda mensual calefacción vivienda de referencia, y comportamiento para un día tipo

En la Figura 6.19 se muestran la demanda de calefacción obtenida del cálculo para el edificio completo. La demanda total anual es de 240,1 [MWh/año]; este valor permite

hacerse una idea del consumo de energía en edificios sin rehabilitar para zonas frías. Transformando el valor obtenido por superficie de vivienda se obtiene que la demanda total del edificio es de 115,4 [kWh/m<sup>2</sup>año]. Esta es una referencia de energía más empleada en la edificación. El valor obtenido se aleja mucho del límite normativo de 40 [kWh/m<sup>2</sup>año], exigido por la normativa nacional para la zona climática en estudio. Además, hay que tener en cuenta que este límite también considera la demanda de ACS. Los resultados obtenidos se alejan aún más de los estándares de edificios de consumo casi nulo, que rondan los 10-20 [kWh/m<sup>2</sup>año]. Para analizar con más detalle el comportamiento del edificio, en la Tabla 6.11 se muestran los resultados para cada una de las viviendas, en función de su posición dentro del bloque y de su orientación. Se puede ver cómo hay una gran variación entre las demandas entre viviendas, desde la más desfavorable, situada bajo cubierta y en orientación norte, que presenta una demanda 44,3% mayor que la media, hasta las viviendas entreplanta con una demanda del 16% inferior a la media.

Como se puede ver en la gráfica inferior de la Figura 6.20, la punta máxima de demanda se produce a las 8h de la mañana, cuando se imponen los 20°C de confort en el ambiente, alcanzando valores del orden de 150 [Wh/m<sup>2</sup>]. Esta punta de demanda se estabiliza en 2 [h] y durante las horas centrales del día, desde las 9h hasta las 23h, la demanda media es del orden de 45 [Wh/m<sup>2</sup>]. A partir de las 23h el ambiente de la vivienda evoluciona de forma libre, de ahí que la demanda se anule. Sin embargo se puede ver cómo en menos de 2 [h] la temperatura del ambiente interior alcanza el límite inferior de 17°C, y durante todo el periodo nocturno, desde la 1h hasta las 7h es necesario volver a aportar calor para evitar el enfriamiento excesivo, siendo la demanda media durante este periodo del orden de los 34 [Wh/m<sup>2</sup>]. También se puede ver que la orientación de las diferentes estancias repercute en la demanda horaria. Durante el amanecer el salón-cocina presente la menor demanda, ya que tiene orientación este; sin embargo, durante las horas del atardecer son las habitaciones las que presentan menor demanda, ya que tienen orientación oeste.

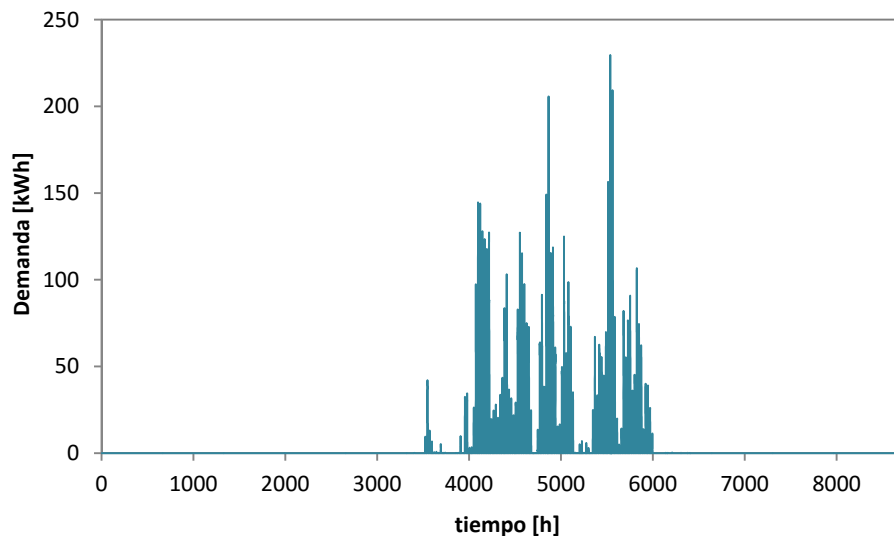


Figura 6.21 – Demanda de refrigeración para el edificio completo

Una vez evaluada la demanda de calefacción, se pasa a estudiar la demanda de refrigeración. Aunque en la zona climática de trabajo no existen grandes exigencias de refrigeración, es interesante conocer también este aspecto, ya que en el análisis del edificio rehabilitado sí se pueden producir demandas representativas si el aislamiento

es importante, dando lugar a sobrecalentamientos en las viviendas, lo que conllevaría un consumo real de energía por parte de los usuarios durante los periodos estivales. En la Figura 6.21 se muestra el perfil de demanda de refrigeración obtenido del modelo.

		DEMANDAS ANUALES [kWh/m <sup>2</sup> ]							
		Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3			
		A	B	A	B	A	B		
		<b>SUELO</b>							
<b>SUR</b>	Piso 1	2,3	2,2	2,2	2,2	2,2	2,1	<b>NORTE</b>	
	Piso 2	9,0	9,5	9,5	9,5	9,5	8,3		
	Piso 3	10,8	11,7	11,8	11,8	11,7	10,3		
	Piso 4	12,6	12,1	12,2	12,2	12,1	10,6		
	Piso 5	11,3	12,3	12,3	12,3	12,2	10,8		
	Piso 6	12,0	12,6	12,6	12,6	12,6	11,4		
		<b>CUBIERTA</b>							

Tabla 6.12 –Demandas anuales de refrigeración para el edificio sin rehabilitar

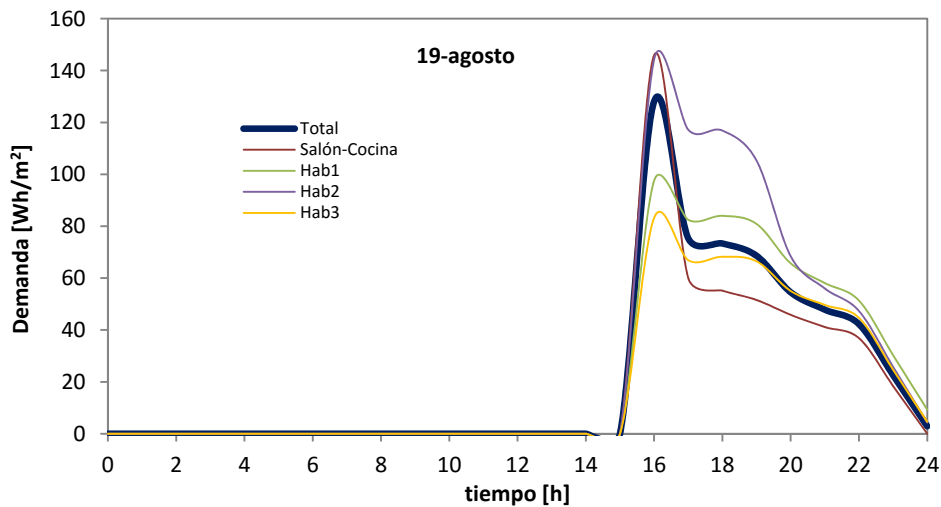
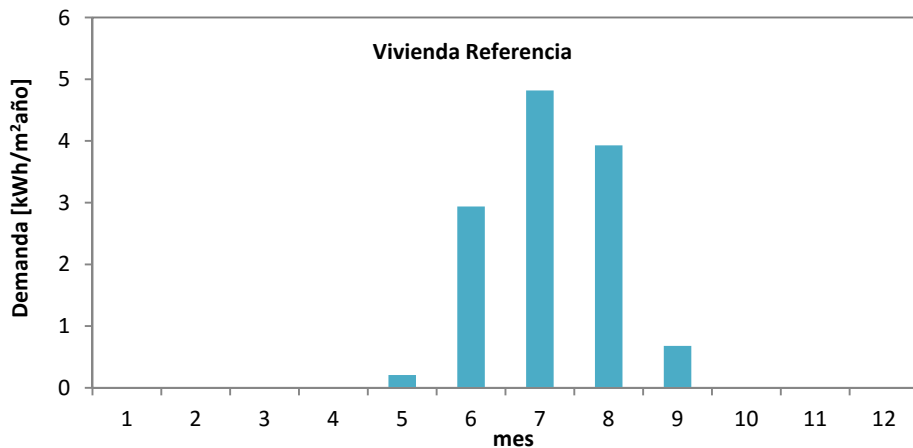


Figura 6.22 – Demanda mensual refrigeración vivienda de referencia, y comportamiento para un día tipo

La demanda total de refrigeración del edificio es de 20,4 [MWh]. Si se compara con la de calefacción es 12 veces inferior, de ahí que en la normativa nacional no existan exigencias de limitación para la zona climática bajo estudio. En cuanto a la distribución de dicha demanda por vivienda y por unidad de superficie, en la Tabla 6.12 se muestran los resultados, siendo la demanda media de 9,8 [kWh/m<sup>2</sup>año]. En este caso el patrón de comportamiento es el inverso al que se obtiene en calefacción. Las viviendas con mayor componente de envolvente presentan menores demandas, en especial las situadas en planta baja, al estar en contacto más cercano con el terreno que impone unas temperaturas de contorno más bajas que las que están en contacto con el ambiente exterior. En este caso, la vivienda de referencia se encuentra en el grupo de viviendas con demanda más alta, debido a su situación y orientación. Por tanto, permite evaluar el umbral superior de sobrecalentamientos en el periodo estival y aporta mejor criterio a la hora del análisis más detallado. Al igual que con el análisis de la demanda de calefacción, en la Figura 6.22 se muestra la demanda de refrigeración integrada por mes, y la evolución de dicha demanda, por estancias, en un día tipo que, en este caso, se corresponde con el 19 de agosto. La demanda para dicho día es de 29,8 [kWh]. El valor por unidad de superficie es de 0,52 [kWh/m<sup>2</sup>]. En este caso la punta máxima de demanda se produce hacia las 16h, alcanzando valores de 128 [Wh/m<sup>2</sup>], decreciendo paulatinamente hasta anularse a las 24h, con un valor medio de demanda durante este periodo de 60,3 [Wh/m<sup>2</sup>]. Los valores punta y medios son similares a los que se producen durante el periodo de calefacción, la gran diferencia es el intervalo de tiempo en el que se dan estas demandas. Durante el periodo de calefacción la demanda se mantiene a lo largo de todo el día; sin embargo en refrigeración, la demanda se restringe a las horas de la tarde únicamente. Una vez determinado el comportamiento energético del edificio sin aislamiento se dispone de una base de referencia para evaluar la eficacia de los diferentes sistemas de rehabilitación, que se desarrollan a continuación.

## 6.2.2 Demanda del edificio rehabilitado

Como primer paso, se analiza la mejora energética obtenida con los sistemas pasivos de aislamiento, es decir, los SATEs directos. Y posteriormente se compara con el comportamiento de los sistemas basados en fachadas ventiladas ligeras, cuantificando la potencialidad del aprovechamiento de la cámara de aire activa.

### 6.2.2.1 Demanda con aislamiento directo

En la Figura 6.23 se muestra la comparativa entre la demanda del edificio con aislamiento térmico mediante un sistema SATE respecto al edificio sin rehabilitar. La nueva demanda anual de calefacción para el edificio completo es de 82,5 [MWh], lo que representa una reducción del 65,6%. En unidades de superficie la demanda se reduce a 39,6 [kWh/m<sup>2</sup>año]. Como se ha indicado, el valor límite de demanda impuesto por la normativa vigente, es de 40 [kWh/m<sup>2</sup>año], luego para cumplir las exigencias normativas sería necesaria una cobertura de la demanda de ACS totalmente renovable. En la Tabla 6.13 se muestran los resultados para cada una de las viviendas. En este caso las viviendas con mayores demandas corresponden a las viviendas del *Piso 1*, cuya envolvente térmica presenta el forjado inferior, sobre el cual no se ha actuado introduciendo aislamiento. Si no se tiene en cuenta estas viviendas la demanda media se reduce a 36,9 [kWh/m<sup>2</sup>año].



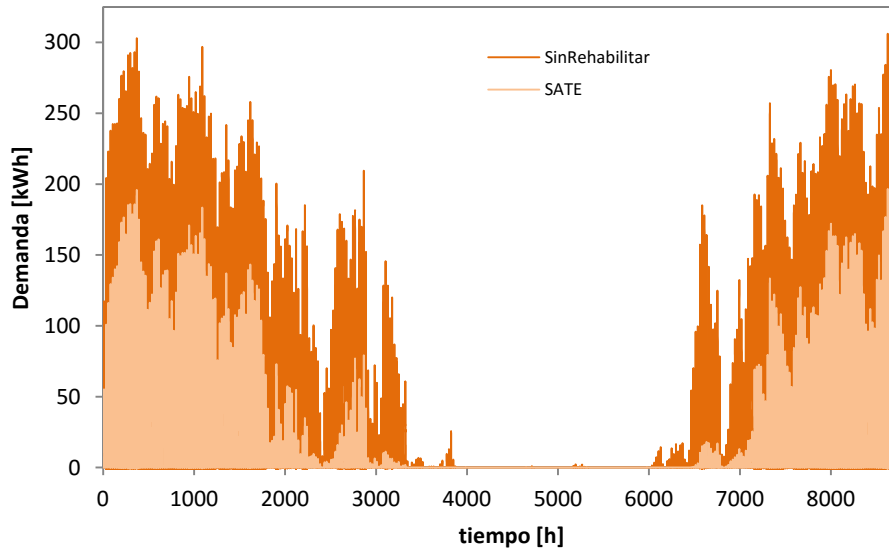


Figura 6.23 – Demanda de calefacción para el edificio completo con aislamiento directo SATE respecto al edificio sin rehabilitar

		DEMANDAS ANUALES [kWh/m <sup>2</sup> ]							
		Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3			
		A	B	A	B	A	B		
<b>SUELO</b>									
<b>SUR</b>	Piso 1	54.08	52.66	52.56	52.56	52.68	55.41	<b>NORTE</b>	
	Piso 2	38.25	35.76	35.66	35.66	35.79	38.86		
	Piso 3	34.37	32.17	32.14	32.15	32.26	35.11		
	Piso 4	34.77	31.92	31.89	31.89	32.00	34.82		
	Piso 5	35.57	33.44	33.35	33.35	33.46	36.25		
	Piso 6	49.06	46.87	46.79	46.79	46.88	49.54		
<b>CUBIERTA</b>									

Tabla 6.13 –Demandas anuales de refrigeración para el edificio sin rehabilitar

Como se puede ver en los resultados, la actuación de rehabilitación reduce las discrepancias existentes entre viviendas, siendo la diferencia respecto al valor medio inferior al 8% para el total de las viviendas, exceptuando las situadas bajo cubierta, y las ya mencionadas de la primera planta. Para la vivienda de referencia, en la Figura 6.24 se muestra la comparativa de los valores mensuales y la evolución para el día tipo. Si se analiza el patrón de demandas de la vivienda tipo en el edificio con aislamiento respecto al edificio original, las diferencias de comportamiento son importantes. Por un lado, la punta de demanda que se produce a las 8h se reduce a valores de 91,8 [Wh/m<sup>2</sup>], lo que representa un 40% inferior. Y durante el periodo central del día, entre las 9h y las 23h, la demanda media pasa a ser de 19,2 [Wh/m<sup>2</sup>], lo que implica una reducción del 57,2%. Durante las horas nocturnas, en las que el ambiente evoluciona de forma libre, no se alcanza la temperatura mínima de control, por lo que no se produce demanda alguna de calor. Este perfil de demanda en vivienda, no solo representa una reducción de los valores energéticos, sino que simplifica el control de operación de las instalaciones térmicas, con un funcionamiento más homogéneo permitiendo alcanzar

mejores rendimientos estacionales y con la consiguiente reducción de consumos de energía primaria.

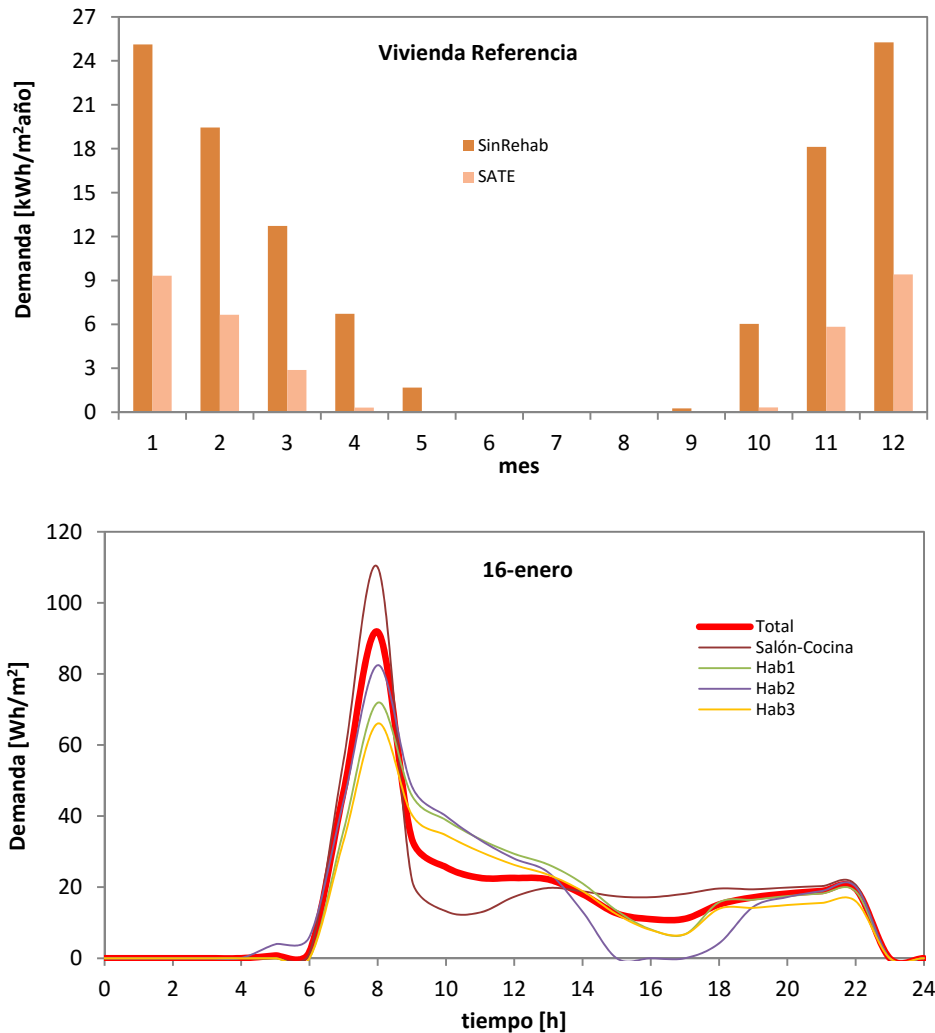


Figura 6.24 – Demanda mensual de calefacción de la vivienda de referencia con SATE respecto a la vivienda sin aislar, y comportamiento para un día tipo

Una vez valorado el edificio con aislamiento directo, antes de pasar a evaluar el comportamiento del sistema de fachada ventilada, es interesante determinar el efecto de los diferentes componentes sobre la demanda. Por un lado la repercusión del aislamiento de la parte opaca, por otro, el cambio en la transmitancia de las ventanas, y por último, la repercusión de la renovación de aire. Este análisis se realiza directamente sobre la vivienda de referencia. En la Figura 6.25 se muestra la comparativa de la demanda en calefacción en función de las componentes de la envolvente térmica. El efecto del aislamiento de fachada, sin cambio de ventanas, representa una reducción de demanda del 43,2%. Este valor es simplemente una referencia, ya que en la realidad no se podría realizar únicamente una actuación sobre la envolvente opaca, la normativa exige cumplir los requisitos totales de limitación de la demanda siempre que se modifique más de un 25% de la envolvente térmica, lo cual exigiría el cambio de las ventanas de forma simultánea. De ahí la razón de que se realice este cambio en la solución de rehabilitación del presente estudio. Pero el analizar por separado la componente opaca, permite ver el efecto del aislamiento térmico, y su necesidad de

para reducir las demandas de climatización. En cuanto al efecto del cambio de ventanas, la reducción es del 26,7%. Este cambio, por sí mismo, sí que puede darse. Ya que el cambio de ventanas puede realizarse de forma paulatina, sin alcanzar los porcentajes de envolvente que exigen el cumplimiento del código técnico.

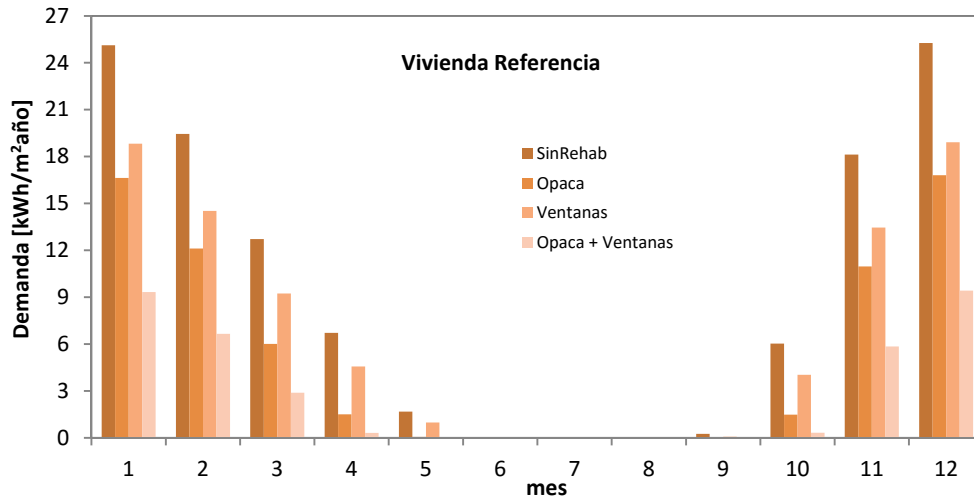


Figura 6.25 – Comparativa de la demanda de calefacción para cada elemento de la rehabilitación

	DEMANDA [kWh/m <sup>2</sup> ]												Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<b>Sin Rehabilitar</b>	25,1	19,4	12,7	6,7	1,7	0,0	0,0	0,0	0,3	6,0	18,1	25,3	<b>115,4</b>
<b>Env. Opaca</b>	16,6	12,1	6,0	1,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	11,0	16,8	<b>65,56</b>
<b>Ventanas</b>	18,8	14,5	9,2	4,6	1,0	0,0	0,0	0,0	0,1	4,0	13,5	18,9	<b>84,6</b>
<b>Rehab Integral</b>	9,3	6,7	2,9	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	5,8	9,4	<b>34,8</b>

Tabla 6.14 –Demandas de calefacción para cada elemento de la rehabilitación

En este caso, las prestaciones térmicas de la tipología de ventana seleccionada no son muy exigentes, de forma que su repercusión en la demanda no es elevada. De hecho, se ha seleccionado la ventana que cumple los requisitos normativos de forma ajustada. Por tanto el margen de mejora en este punto es muy elevado, y el porcentaje no es representativo del resto de actuaciones de rehabilitación. Sin embargo, en el presente estudio, el objetivo principal es evaluar el comportamiento del sistema de fachada activa respecto a las envolventes pasivas, y por tanto, se busca reducir los efectos del resto de componentes que podría enmascarar dicha comparativa. Para la vivienda de referencia, la actuación global alcanza una reducción de la demanda del 70%. El resultado demuestra la necesidad de actuaciones globales para alcanzar resultados óptimos a escala de edificio. En la Tabla 6.14 se recogen los datos exactos de demandas de calefacción por mes para la vivienda tipo y las diferentes componentes analizadas. Una vez evaluado el aporte de cada elemento de la envolvente térmica del edificio a la demanda, queda por evaluar el efecto de la ventilación. En la Figura 6.26 se muestra el reparto de demanda de calefacción por cada mes en la parte correspondiente a pérdidas por la envolvente y la debida a la renovación del aire. La demanda total debida a ventilación es de 15,5 [kWh/m<sup>2</sup>], lo que representa un 44,6% del total de la energía demandada para la climatización. El porcentaje es importante, y muestra cómo una vez que el aislamiento de la envolvente es elevado, el componente de la demanda que corresponde a ventilación comienza a cobrar una repercusión importante. Para

entender mejor la evolución de la demanda, en la gráfica inferior de la Figura 6.26 se muestra la curva de energía cedida por renovación de aire para el día tipo. Esta energía participa de la demanda durante el periodo en el que se imponen las condiciones de confort de las zonas climatizadas. En el día tipo seleccionado la demanda total es de 409,5 [Wh/m<sup>2</sup>], de la cual 169,4 [Wh/m<sup>2</sup>], un 41,4%, corresponden a ventilación. Se puede ver cómo durante el periodo central del día, las pérdidas por renovación de aire es el elemento más representativo de la demanda.

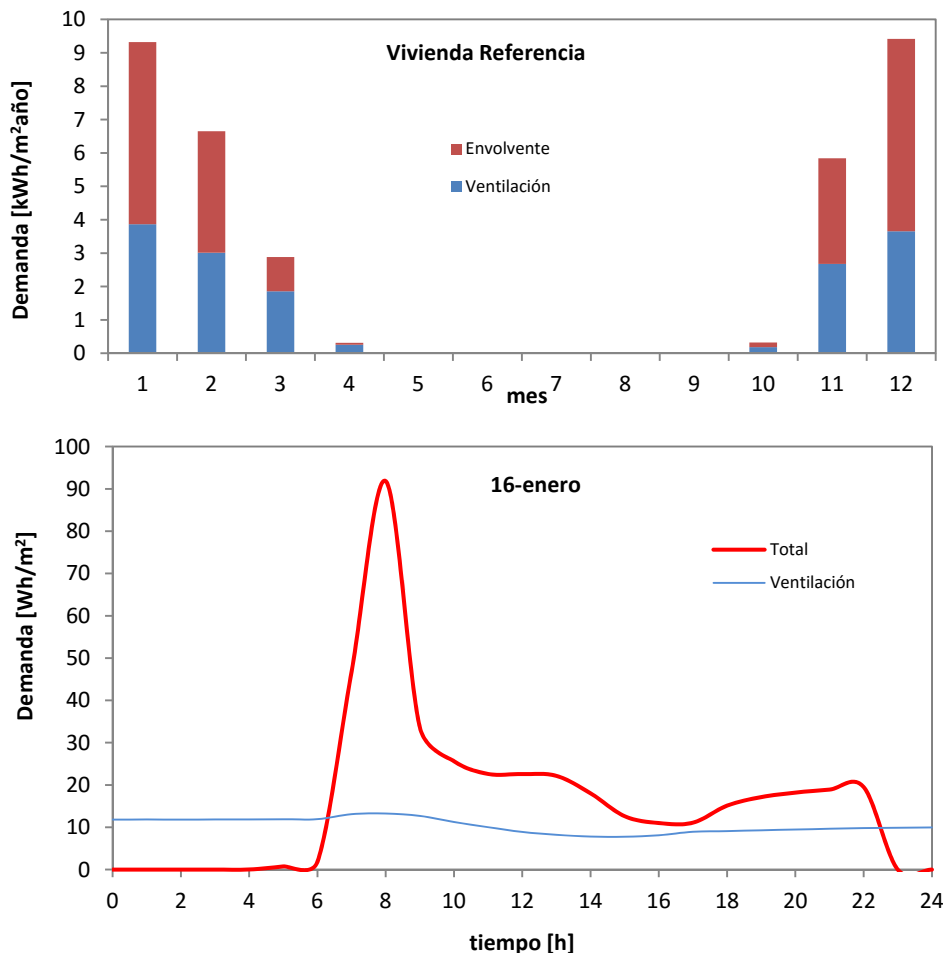


Figura 6.26 – Reparto demandas vivienda referencia con aislamiento y comportamiento para el día tipo

En base a los resultados obtenidos, y cuantificando la importancia de las pérdidas de calor debidas a renovación de aire de las viviendas, el sistema de fachada ventilada presenta un potencial de aprovechamiento importante. La cortina de aire que recorre la cámara ventilada permite disponer de un fluido caloportador que recoge el calor absorbido por la hoja exterior, durante los periodos de incidencia solar, y permite introducirlo en la vivienda con una reducción de la demanda. Este potencial se pierde en los sistemas pasivos. En el siguiente apartado se cuantifica el alcance de dicho potencial. Pero antes de evaluar el sistema de fachada ventilada queda por analizar la repercusión en la demanda de refrigeración del aislamiento. En la Figura 6.27 se muestra dicha demanda para el edificio completo, que pasa a ser de 48,1 [MWh]. En este caso, la demanda de refrigeración es más del doble que para el edificio original, en concreto un 57,6% mayor. Y ya no está tan alejada de la demanda de calefacción, ya que es prácticamente la mitad, un 41,7%, por lo que pasa a tener un peso representativo en los consumos de energía del edificio.

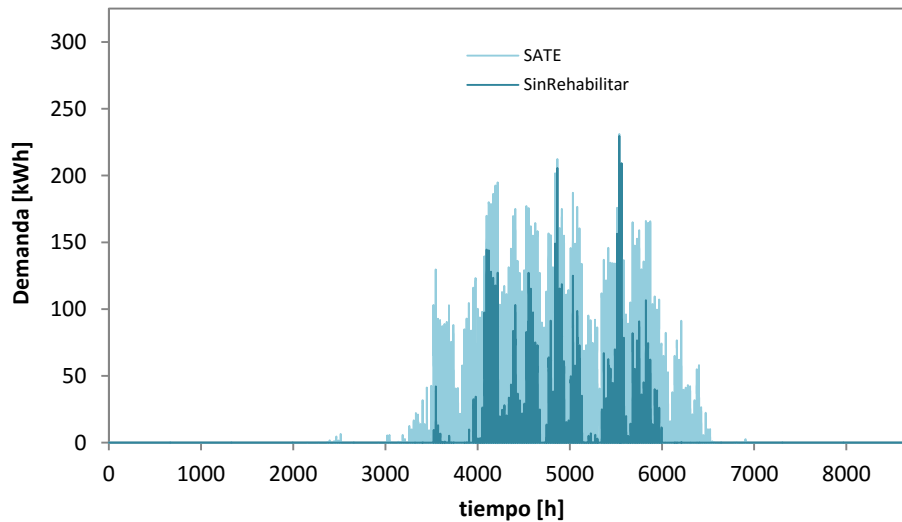


Figura 6.27 – Demanda de refrigeración para el edificio completo con aislamiento

		DEMANDAS ANUALES [kWh/m <sup>2</sup> ]							
		Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3			
		A	B	A	B	A	B		
		<b>SUELO</b>							
<b>SUR</b>	Piso 1	3.22	3.27	3.23	3.24	3.35	1.87	<b>NORTE</b>	
	Piso 2	21.12	21.89	21.93	21.92	21.81	21.84		
	Piso 3	27.36	28.35	28.41	28.38	27.86	27.43		
	Piso 4	28.67	29.71	29.78	29.76	29.58	26.73		
	Piso 5	28.59	29.58	29.64	29.64	29.59	29.13		
	Piso 6	26.88	27.67	27.70	27.70	27.68	27.14		
		<b>CUBIERTA</b>							

Tabla 6.15 –Demandas anuales de refrigeración para el edificio con aislamiento

Este es un resultado típico en edificios con un grado de aislamiento importante, en los que se pueden generar problemas de sobrecalentamiento en los periodos estivales. Exigen una atención especial, como la integración de sistemas de sombreado para evitar excesivas ganancias solares que los edificios originalmente no presentaban, como es el caso del edificio que se emplea como base del estudio. Como sucede con el edificio sin rehabilitar, las viviendas en planta baja son las que presentan los mínimos de demanda. Y la vivienda de referencia se encuentra en el grupo de viviendas con demanda más alta. En la Figura 6.28 se muestra la demanda de refrigeración integrada por mes y la evolución de dicha demanda, por estancias, para el día tipo. La demanda para dicho día es de 24,7 [kWh]. El valor por unidad de superficie es de 0,43 [kWh/m<sup>2</sup>]. Con la envolvente aislada la demanda se retrasa hacia las 18h, alcanzando valores de 75,2 [Wh/m<sup>2</sup>]. Sin embargo esta punta no se reduce rápidamente como en el edificio sin rehabilitar; en cambio la demanda se mantiene elevada hasta las 20h, para comenzar a descender de forma más apreciable durante las horas finales del día, aunque manteniendo valores de demanda importantes. En las curvas de demanda por estancia, destaca ver cómo la *habitación 2* presenta la mayor demanda con diferencia. Esto se debe a que está orientada hacia el oeste, y presenta una superficie de ventana

importante, de forma que recibe bastante incidencia solar durante las horas de la tarde, lo que conlleva altas temperaturas del ambiente exterior.

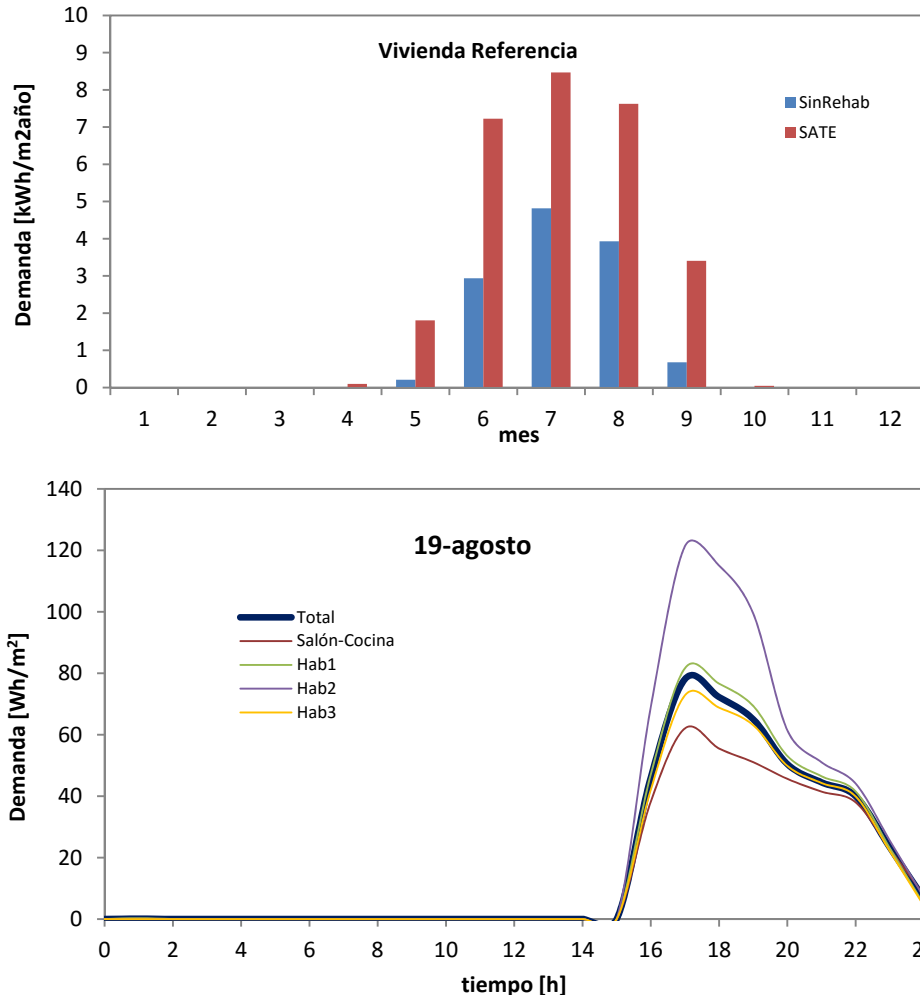


Figura 6.28 – Demanda mensual de refrigeración de la vivienda de referencia, y comportamiento para un día tipo en el edificio con aislamiento

Una vez analizado el comportamiento del edificio con aislamiento pasivo, en el siguiente apartado se compara con la respuesta de la envolvente activa y se analiza el potencial de aprovechamiento de la cámara de aire ventilada.

### 6.2.2.2 Demanda con fachada ventilada

En la Figura 6.29 se muestra la comparativa entre la demanda del edificio con fachada ventilada respecto al edificio sin rehabilitar. La nueva demanda anual de calefacción para el edificio completo es de 91,3 [MWh], lo que representa una reducción del 62%. Respecto al edificio con aislamiento SATE, se produce un aumento de la demanda de calefacción del 10,6%, que equivale a 8,8 [MWh], lo que muestra el efecto refrigerante del sistema de fachada ventilada que se observa en los ensayos experimentales. En unidades de superficie, la demanda pasa a ser de 43,4 [kWh/m²año].



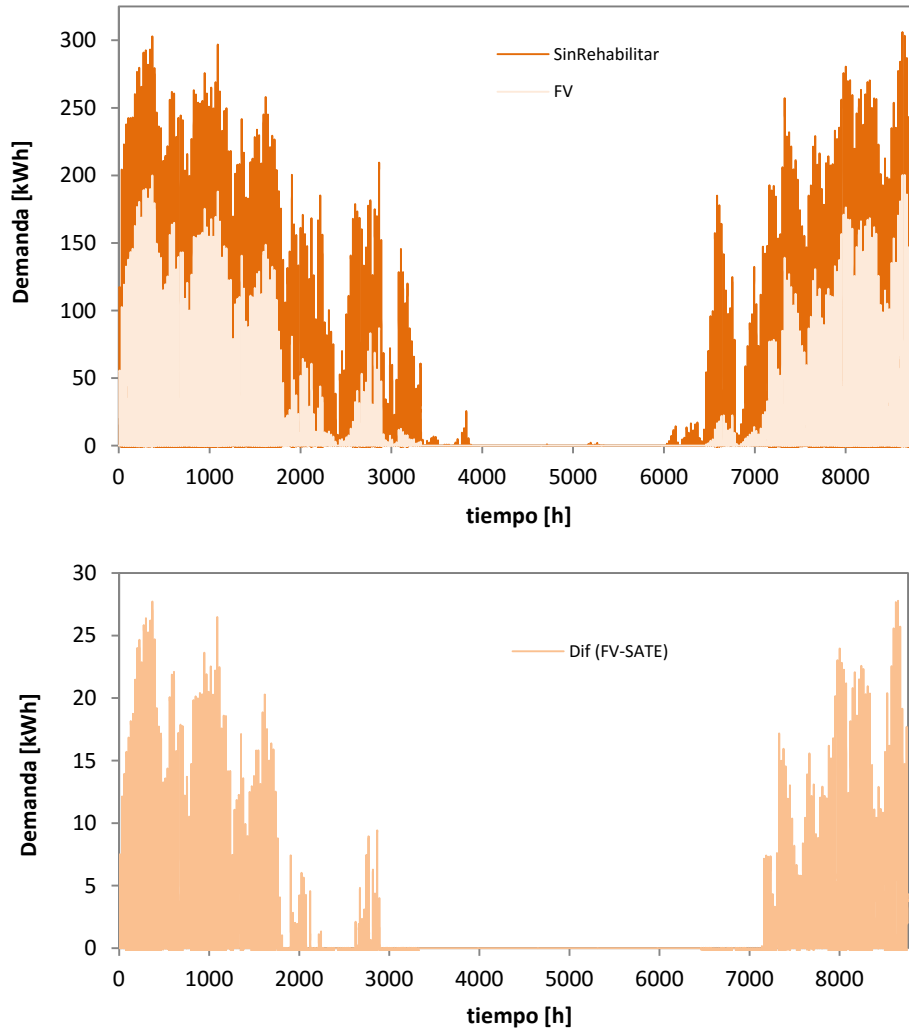


Figura 6.29 – Demanda de calefacción para el edificio completo con fachada ventilada respecto al edificio sin rehabilitar y diferencia de demanda respecto al edificio con aislamiento SATE

DEMANDAS ANUALES [kWh/m <sup>2</sup> ]							
		Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3	
		A	B	A	B	A	B
		<b>SUELO</b>					
<b>SUR</b>	Piso 1	59.33	56.74	56.57	56.56	56.72	60.31
	Piso 2	42.71	39.00	38.85	38.85	39.01	42.95
	Piso 3	38.54	35.17	35.09	35.09	35.23	38.94
	Piso 4	38.99	34.88	34.82	34.82	34.96	38.63
	Piso 5	39.83	36.55	36.42	36.42	36.56	40.20
	Piso 6	54.70	51.39	51.27	51.27	51.39	54.85
		<b>CUBIERTA</b>					
		<b>NORTE</b>					

Tabla 6.16 – Demandas anuales de calefacción para el edificio con fachada ventilada

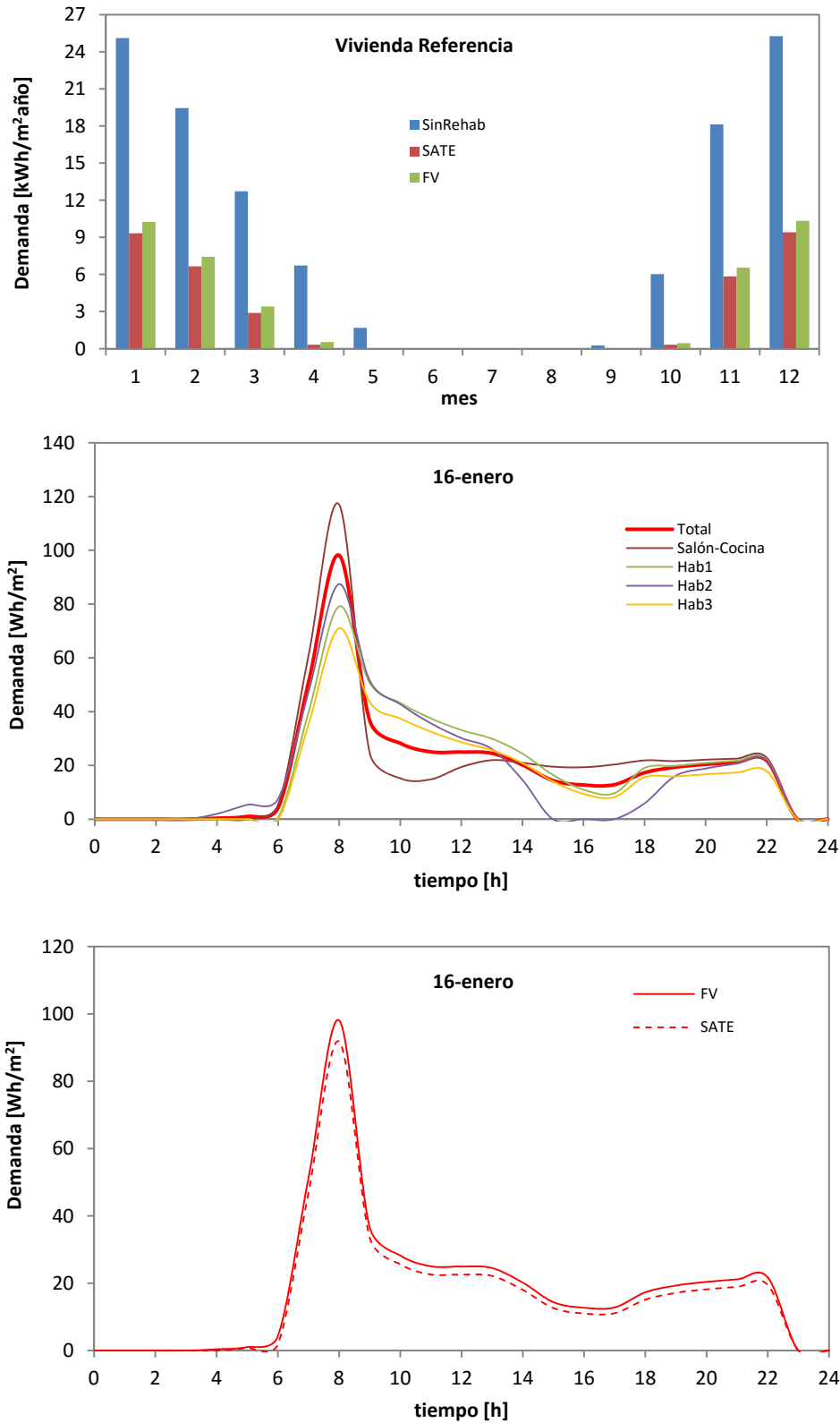


Figura 6.30 – Demanda mensual de calefacción de la vivienda de referencia con fachada ventilada respecto a la vivienda sin aislar y la vivienda aislamiento SATE, y comportamiento para un día tipo

DEMANDA [kWh/m <sup>2</sup> ]													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Sin Rehabilitar	25,1	19,4	12,7	6,7	1,7	0,0	0,0	0,0	0,3	6,0	18,1	25,3	115,4
SATE	9,3	6,7	2,9	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	5,8	9,4	34,8
FV	10,3	7,4	3,4	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	6,5	10,3	39,0

Tabla 6.17 –Demandas de calefacción en la vivienda tipo

En este caso, para el mismo espesor de aislamiento térmico, no se cumple el límite de demanda normativo, ya que se superan los 40 [kWh/m<sup>2</sup>año] exigidos. Para evaluar con mayor detalle el comportamiento de los dos sistemas de rehabilitación, en la gráfica inferior de la Figura 6.30 se muestra la diferencia de demandas entre ambos. Con esta configuración las diferencias son más acentuadas durante los periodos de primavera y otoño, debido a la geometría y orientación del edificio, que presenta mayor superficie de fachada con disposición este-oeste. Con otras geometrías la diferencia de demanda podría ser mayor incluso. Otra forma de evaluar el efecto refrigerante del sistema de fachada ventilada es determinar el espesor de aislamiento directo con el que se obtendría la misma demanda total. Este espesor es del orden de los 6 [cm]; por tanto, el efecto refrigerante equivale a perder 4 [cm] eficientes de los 10 [cm] instalados. En cuanto a la distribución de demandas por viviendas, en la Tabla 6.16 se muestran los resultados. Aunque las viviendas con mayores demandas siguen correspondiendo a las situadas en el *Piso 1*, las viviendas bajo cubierta también presentan valores elevados. Para la vivienda de referencia, en la Figura 6.30 se muestra la comparativa de los valores mensuales y la evolución para el día tipo. En la Tabala 6.17 se recogen los datos exactos. En la gráfica inferior de la Figura 6.30 se puede ver cómo la demanda del sistema de fachada ventilada es siempre superior a la del sistema con aislamiento directo.

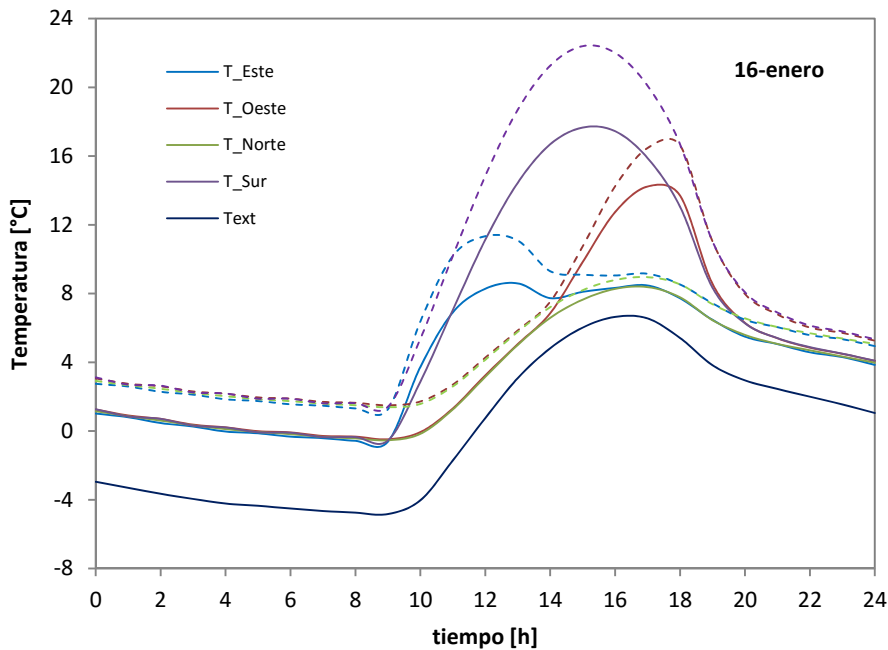


Figura 6.31 – Temperaturas medias en la cámara de aire en la fachada ventilada, líneas continuas, y en la fachada con SATE, líneas discontinuas

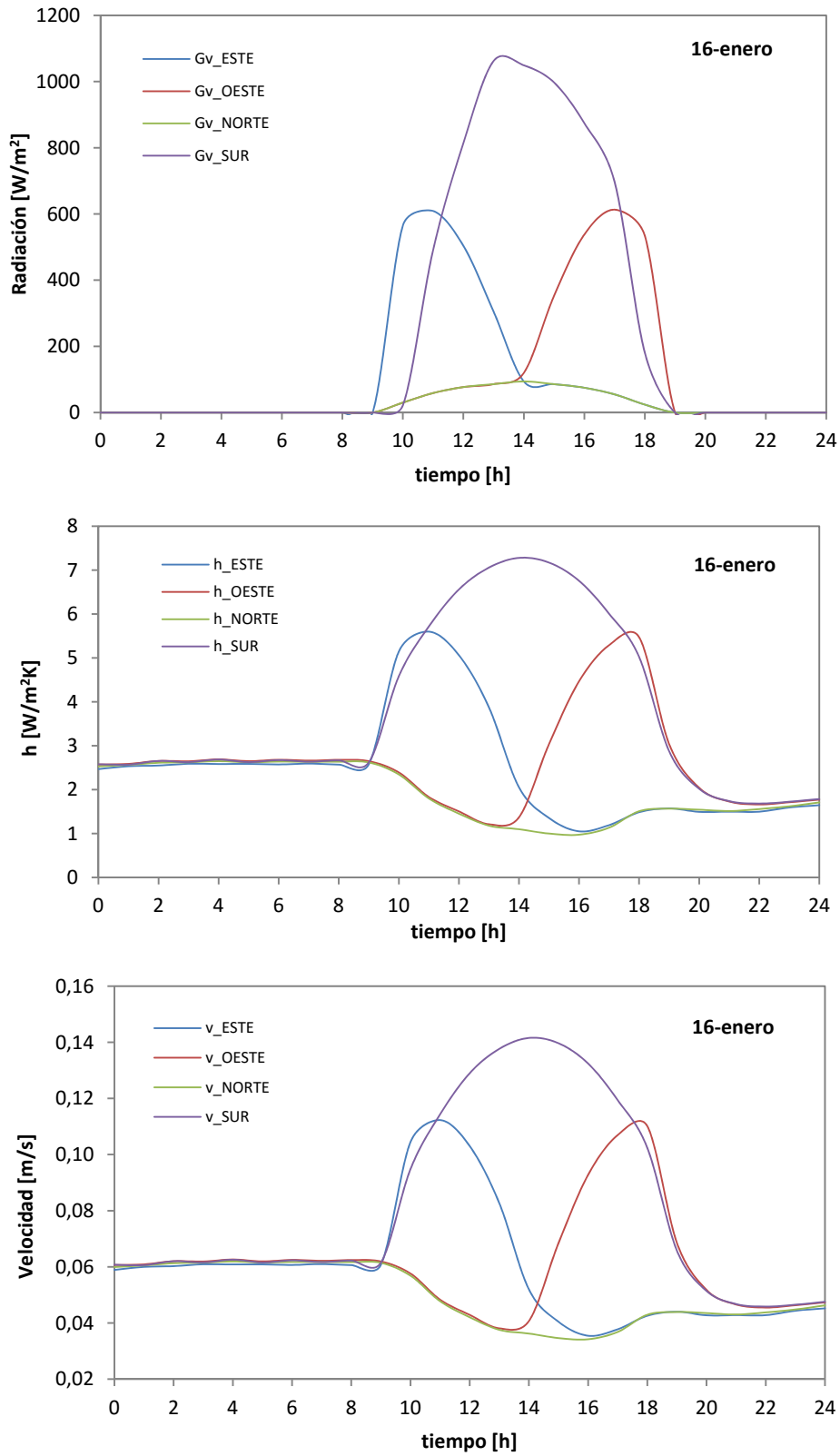


Figura 6.32 – Incidencia solar sobre superficie vertical, coeficientes de convección y velocidades en la cámara ventilada para cada orientación

Para entender mejor esta diferencia de demandas entre los dos tipos de sistemas de rehabilitación, en la Figura 6.31 se muestra las temperaturas medias de la cámara de aire para el día tipo. Estas temperaturas corresponden a cada una de las orientaciones. Se puede ver que las temperaturas son siempre inferiores para la fachada ventilada, con valores de 2°C menos durante el periodo nocturno, lo que implica mayores pérdidas a través de la envolvente, y de hasta 5°C, como es el caso de la fachada sur, durante el periodo de incidencia solar, lo que representa menores ganancias solares.

16-ene					
	ESTE	OESTE	NORTE	SUR	
<b>Qca</b>	112.0	121.5	94.5	332.7	[Wh/m <sup>2</sup> ]
	106.8	115.9	11.9	41.9	[kWh]
<b>Gv</b>	4.8	5.0	16.1	5.4	%

Tabla 6.18 –Calor absorbido en cada fachada para el día tipo

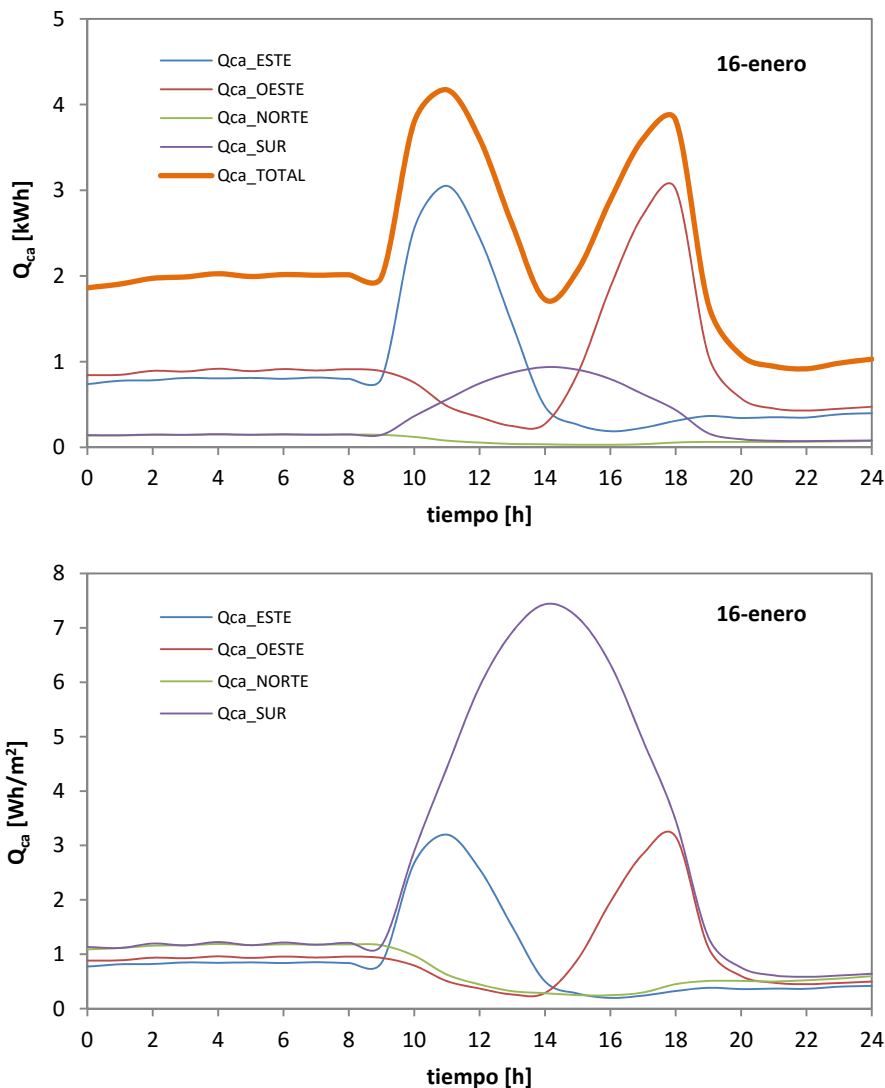


Figura 6.33 – Calor total absorbido en cada fachada del edificio, gráfica superior, y por unidad de superficie, gráfica inferior, en el día tipo

En cuanto al resto de parámetros de comportamiento de la fachada ventilada, en la Figura 6.32 se muestran los coeficientes de convección y las velocidades de aire en relación a la incidencia solar sobre superficie vertical, en cada una de las orientaciones. Como se obtiene en el estudio experimental de la probeta de fachada ventilada ligera, el proceso de convección dentro de la cámara ventilada está muy ligado al soleamiento de la hoja exterior, con un pequeño desfase temporal debido a la poca inercia de la hoja de cemento. Es de destacar el comportamiento de la fachada norte, en la que se produce un frenado del movimiento del aire durante las horas centrales del día. Esto se debe a que la incidencia solar en esta orientación es insuficiente para generar un salto eficiente entre las temperaturas de las superficies que conforman la cámara ventilada respecto a la temperatura del aire exterior, reduciéndose dicho salto durante este periodo de tiempo, y por tanto, anulándose el proceso de convección. Este proceso también se da durante las horas del mediodía para la fachada oeste, y durante las horas del atardecer para la fachada este. Una vez analizado el comportamiento de la fachada ventilada, y su repercusión en la demanda, el punto de mayor interés es cuantificar el calor absorbido por la cortina de aire y su posible aprovechamiento. Siguiendo con el análisis del día tipo, en la Figura 6.33 se muestra dicho calor para cada orientación. En la Tabla 6.18 se recogen los valores correspondientes. Las fachadas con mayor absorción son las este y oeste, debido a su mayor superficie. Pero si se comparan los valores por unidad de superficie se puede ver claramente la potencialidad de la orientación sur, con una captación tres veces superior al resto. Si se compara dicho calor absorbido respecto a la energía solar incidente sobre cada superficie se obtiene ratios del orden del 1%. Estos porcentajes no son puramente una eficiencia de captación solar, ya que parte del calor absorbido por la cortina de aire se debe a la pérdidas de la vivienda, como se puede ver en el resultado asociado a la fachada norte. Pero sí permite obtener un índice aproximado de aprovechamiento solar y como se ve, este índice es muy reducido. Esto se debe principalmente al movimiento por convección natural del aire dentro de la cortina ventilada, que aporta caudales pequeños, y a la propia configuración constructiva de la fachada.

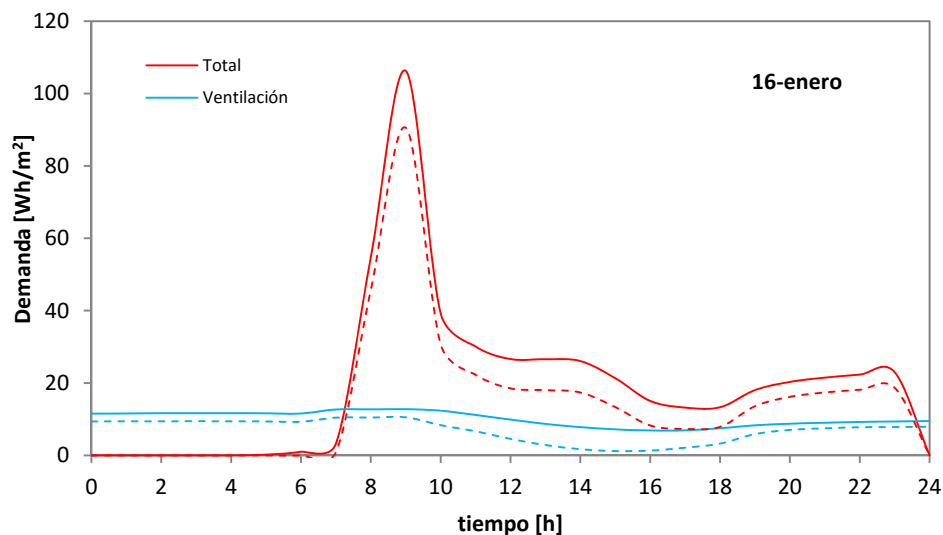


Figura 6.34 – Reducción de la demanda debido al aprovechamiento del calor de la cámara ventilada

Aún con una eficiencia de captación de energía solar muy baja, su aprovechamiento puede reducir de una forma interesante las demandas energéticas del edificio, como se puede ver en la Figura 6.34 en la que en línea continua se muestra la demanda del edificio con fachada ventilada original, y con aprovechamiento del calor de la cortina



de aire, línea discontinua, en el caso del día tipo para la vivienda de referencia. La demanda de la fachada ventilada original es de  $482,1 \text{ [Wh/m}^2\text{]}$  de los cuales  $252,1 \text{ [Wh/m}^2\text{]}$  corresponden a ventilación. Aprovechando la temperatura de la cámara de aire, si las renovaciones de aire de la vivienda se toman de la cámara ventilada y no directamente del ambiente exterior, la demanda de ventilación pasa a ser de  $173,1 \text{ [Wh/m}^2\text{]}$ , lo que representa un 31,3% menor y la demanda total de  $364,7 \text{ [Wh/m}^2\text{]}$ , lo que representa un 24,3% de reducción. Respecto al edificio aislado con SATE la demanda de dicho día es de  $409,5 \text{ [Wh/m}^2\text{]}$ , lo que representa un 10,9% más que el edificio con aprovechamiento de la cortina de aire. Si se observa la Figura 6.35, en la que se muestra la comparativa de demandas, se ve que el aprovechamiento de la cortina de aire equilibra el aumento de pérdidas del sistema de fachada ventilada durante las horas nocturnas, y reduce la demanda durante las horas de incidencia solar. Además se dispone de una energía adicional de  $306 \text{ [kWh]}$  en el conjunto de la fachada ventilada, para un posible aprovechamiento en la generación de ACS o en la propia cobertura del sistema de climatización mediante un equipo de bomba de calor e intercambiador, por ejemplo.

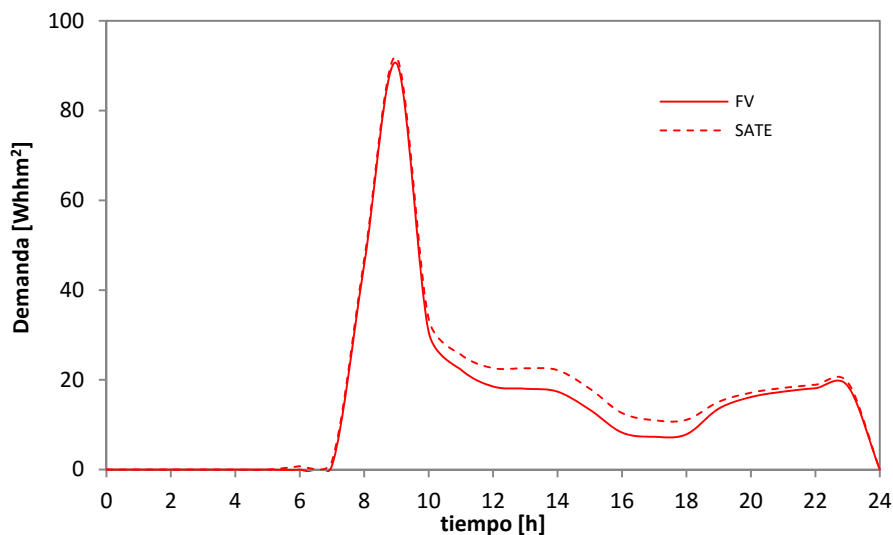


Figura 6.35 – Demanda de la fachada ventilada con aprovechamiento respecto al sistema de aislamiento directo

Una vez analizado el comportamiento del día tipo para la vivienda de referencia queda obtener los resultados para un año completo, y el total del edificio. En la Figura 6.36 se muestran los resultados obtenidos y la diferencia respecto al edificio con aislamiento directo. La nueva demanda es de  $76,4 \text{ [MWh]}$ , lo que representa un 68,2% de reducción respecto al edificio sin rehabilitar y un 7,4% inferior al edificio con SATE, lo que representa una disminución  $6,1 \text{ [MWh]}$ . Si se analiza la gráfica de diferencias de demanda, se puede ver que hay periodos en los que el sistema SATE sigue presentando mejor comportamiento que la fachada ventilada con aprovechamiento, aunque en el conjunto del año siga actuando mejor la segunda. Estos periodos corresponden a días con baja incidencia solar y bajas temperaturas exteriores, de forma que el aprovechamiento de ventilación de la cortina de aire no compensa el aumento de pérdidas por la envolvente, debido a que el aumento de temperatura en la cortina de aire, respecto al ambiente exterior, no es muy representativo. Este resultado muestra el gran interés de un control sobre el movimiento del aire dentro de la cámara ventilada, respecto a un movimiento por convección natural. Con este control se puede aumentar la velocidad en los periodos de mejor comportamiento, lo que ampliaría la ganancia la cortina de aire aumentando el aprovechamiento solar, y la anulación de

dicho movimiento durante los periodos de baja incidencia solar, para obtener un comportamiento equivalente a un sistema estanco.

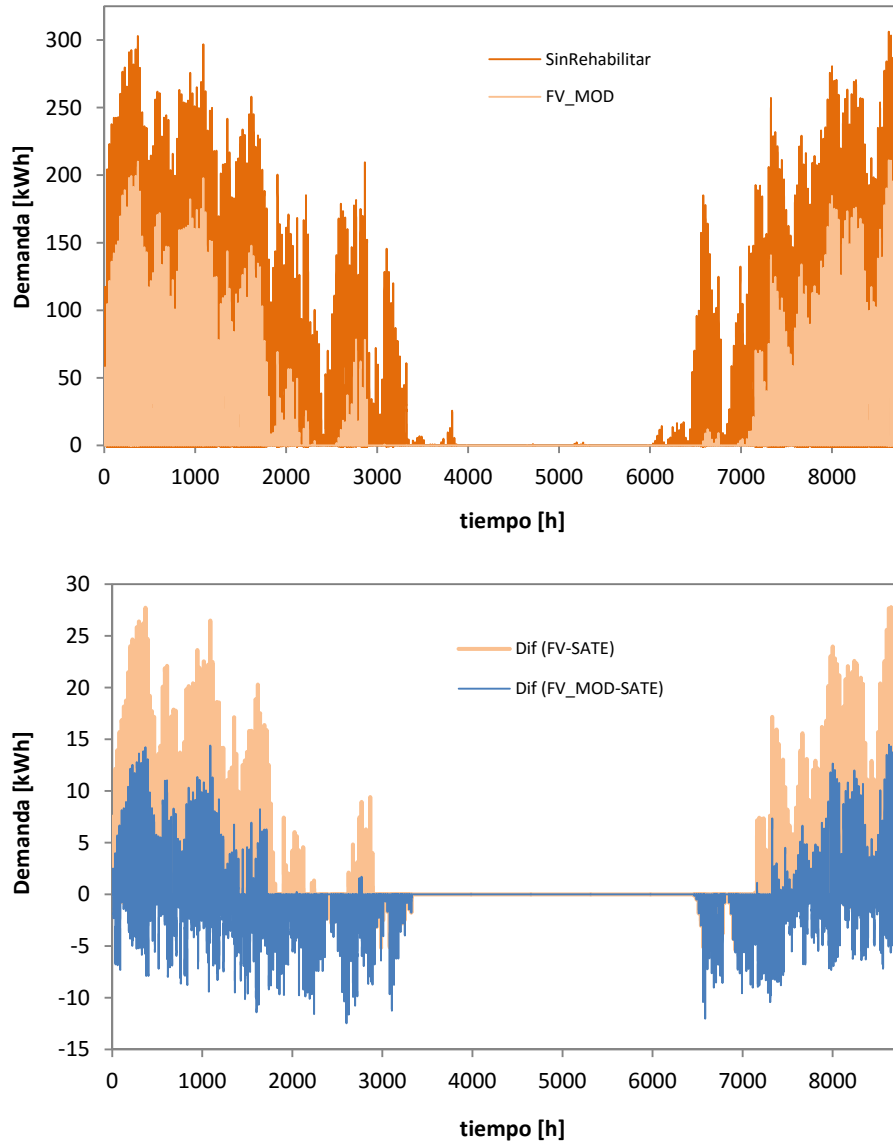


Figura 6.36 – Demanda de calefacción para el edificio con aprovechamiento del calor de la cámara de aire de la fachada ventilada

Este es un punto clave en los resultados del presente trabajo, que se desarrolla más en el apartado de futuras líneas de investigación, en el capítulo de conclusiones. Siguiendo la línea de desarrollo de los apartados anteriores, en la Tabla 6.19 se muestran los nuevos valores de demanda por unidades de superficie de cada vivienda. La demanda media del edificio pasa a ser de  $36,7 \text{ [kWh/m}^2\text{año]}$ , alejándose algo más del valor límite que impone la normativa, y que el edificio con aislamiento directo cumplía de forma ajustada. En la Tabla 6.20 se recogen los datos de la vivienda tipo; se puede ver el efecto del aprovechamiento de la temperatura en la cámara de aire para reducir la demanda de ventilación. Estos datos se comparan con los correspondientes a los equivalentes de la vivienda con aislamiento directo. En la Figura 6.37 se muestra de forma gráfica la comparativa de estos resultados.

		DEMANDAS ANUALES [kWh/m <sup>2</sup> ]							
		Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3			
		A	B	A	B	A	B		
		SUELO							
SUR	Piso 1	51.58	49.88	49.76	49.76	49.90	53.89	NORTE	
	Piso 2	32.87	31.24	31.10	31.10	31.26	35.45		
	Piso 3	31.75	29.11	29.05	29.05	29.21	33.43		
	Piso 4	30.97	29.25	29.19	29.19	29.36	33.61		
	Piso 5	34.61	32.45	32.29	32.29	32.48	37.03		
	Piso 6	42.99	42.42	42.27	42.27	42.44	46.27		
		CUBIERTA							

Tabla 6.19 –Demandas anuales de calefacción para el edificio con fachada ventilada y aprovechamiento

		DEMANDA [kWh/m <sup>2</sup> ]												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
SATE		9.3	6.7	2.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	5.8	9.4	34.8
FV_MOD		9.1	6.1	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	9.0	31.0

Tabla 6.20 –Demandas de calefacción en la vivienda tipo con aprovechamiento de la cámara de aire

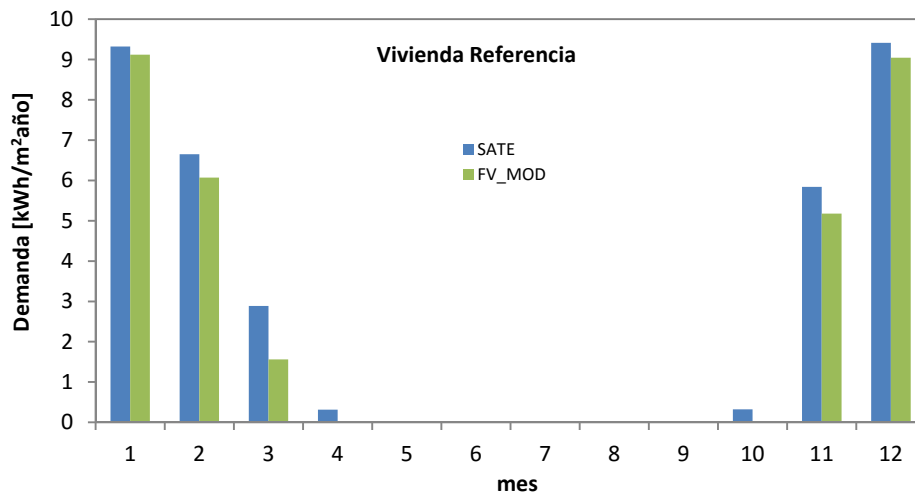


Figura 6.37 – Demanda mensual de calefacción de la vivienda de referencia con aprovechamiento de la fachada ventilada respecto a la vivienda con aislamiento SATE

Junto a la mejora en la ventilación de las viviendas mediante el aprovechamiento de la temperatura de la cámara ventilada, hay que tener en cuenta el calor absorbido por el caudal de aire circulante en la fachada. En la Figura 6.38 se muestra dicho calor para la superficie total del edificio, en cada mes. Las fachadas que más calor absorben son la este y oeste, debido a presentar mayor superficie por la geometría rectangular del edificio. Sin embargo, si se analizan los resultados del calor absorbido por unidad de superficie, se obtiene claramente la potencialidad de la fachada sur. En la Tabla 6.21 se recogen los datos numéricos indicados. Lo importante a tener en cuenta de los

resultados obtenidos es la cantidad de calor absorbido por la cortina de aire de la envolvente del edificio; en total este calor es de 70,4 [MWh], casi del mismo orden de la demanda de climatización. Y eso que la eficiencia promedio de captación respecto a la energía de radiación solar incidente es tan solo del 4%. En definitiva, la envolvente del edificio no deja de ser un gran captador solar, de baja eficiencia, pero con una gran superficie. Las fachadas ventiladas permiten trasladar este calor absorbido a un fluido manejable para su posterior aprovechamiento. De forma que, si se desarrolla la tecnología adecuada para extraer este calor del aire y emplearlo en la cobertura de las demandas del edificio, se puede alcanzar unas tasas de reducción de energía en la edificación muy importantes. Si en paralelo, se diseñan envolventes con una eficiencia de captación mayor, el objetivo final de edificios de consumo de energía nula estaría muy próximo.

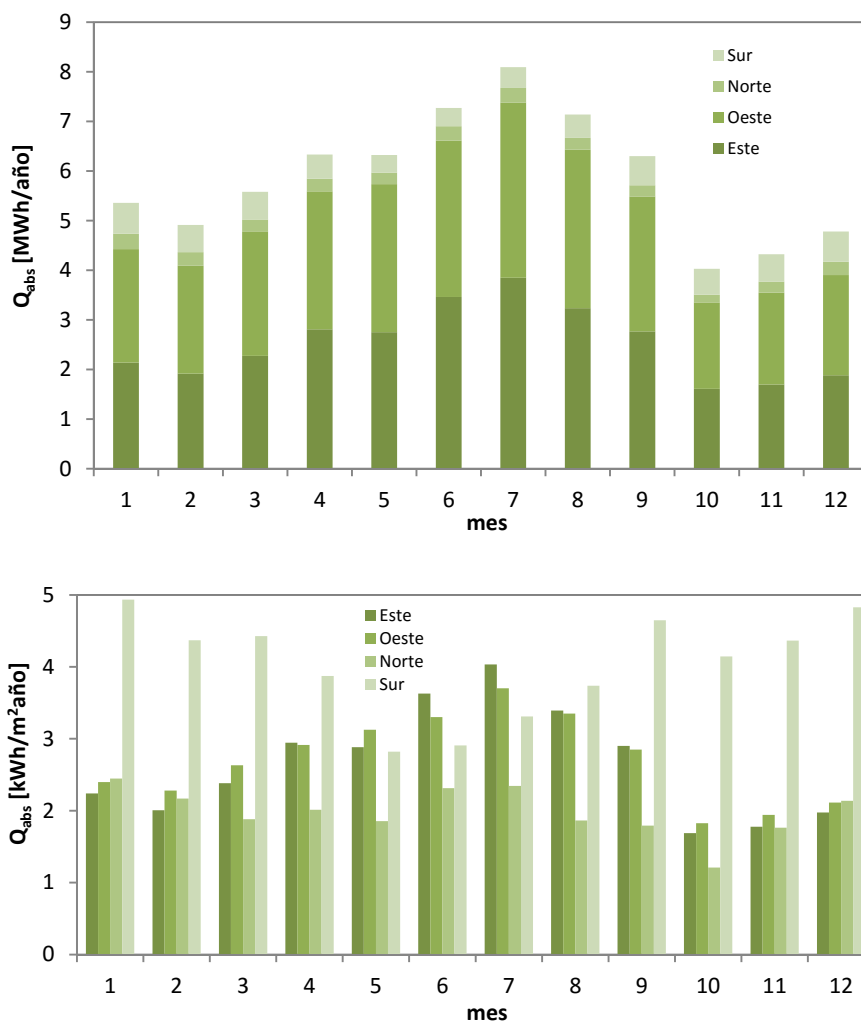


Figura 6.38 – Calor absorbido en la cortina de aire de la fachada ventilada en función de la orientación

Para demostrar con más contundencia la viabilidad de estos objetivos, aun partiendo de un sistema de fachada ventilada comercial, sin un diseño específico para el aprovechamiento solar, se obtiene un ahorro de energía importante respecto al edificio con aislamiento directo. Considerando un aprovechamiento de tan solo el 25%, un valor conservador, del calor absorbido por la cortina de aire, mediante el uso, por ejemplo, de un equipo de bomba de calor y sumándole la reducción de demanda por el

uso de la temperatura de la cámara de aire en la ventilación, se obtiene un edificio con una demanda total de 58,8 [MWh]. Ello representa una reducción de la demanda respecto al edificio con aislamiento directo del 28,8%, y una demanda media por vivienda de 28,2 [kWh/m<sup>2</sup>año]. En la Figura 6.39 se muestra la reducción de demanda que se ha comentado, para cada mes, descompuesta en la reducción de demanda asociada a la climatización, basada en el aprovechamiento de la tempera de la cámara de aire y la energía extraída de la cortina de aire.

		$Q_{abs}$ [MWh]												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
<b>ESTE</b>		2.14	1.91	2.27	2.81	2.75	3.46	3.85	3.24	2.77	1.61	1.70	1.88	<b>30.39</b>
<b>OESTE</b>		2.29	2.17	2.51	2.78	2.98	3.15	3.53	3.20	2.72	1.74	1.85	2.02	<b>30.94</b>
<b>NORTE</b>		0.31	0.27	0.24	0.25	0.23	0.29	0.30	0.23	0.23	0.15	0.22	0.27	<b>3.00</b>
<b>SUR</b>		0.62	0.55	0.56	0.49	0.36	0.37	0.42	0.47	0.59	0.52	0.55	0.61	<b>6.09</b>

		$Q_{abs}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Media
<b>ESTE</b>		2.24	2.01	2.38	2.94	2.88	3.63	4.03	3.39	2.90	1.69	1.78	1.98	<b>2.65</b>
<b>OESTE</b>		2.40	2.28	2.63	2.91	3.13	3.30	3.70	3.35	2.85	1.83	1.94	2.11	<b>2.70</b>
<b>NORTE</b>		2.45	2.17	1.88	2.01	1.85	2.31	2.35	1.86	1.79	1.21	1.76	2.14	<b>1.98</b>
<b>SUR</b>		4.94	4.37	4.43	3.87	2.82	2.91	3.31	3.74	4.65	4.14	4.37	4.83	<b>4.03</b>

		$\epsilon_{Gv}$ [%]												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Media
<b>ESTE</b>		6.1	4.9	3.2	3.0	2.5	2.7	2.8	2.7	3.0	2.7	4.6	5.7	<b>3.7</b>
<b>OESTE</b>		7.1	5.2	3.4	3.2	2.6	2.7	2.7	2.7	3.0	2.8	5.0	6.7	<b>3.9</b>
<b>NORTE</b>		15.5	9.6	5.7	4.7	3.3	3.5	3.6	3.9	4.8	4.4	10.0	14.9	<b>7.0</b>
<b>SUR</b>		5.4	4.5	3.8	4.3	3.3	3.6	3.7	3.5	3.9	3.7	5.1	6.2	<b>4.3</b>

Tabla 6.21 –Calor absorbido en la fachada ventilada según la orientación y eficiencia aproximada de captación de energía solar

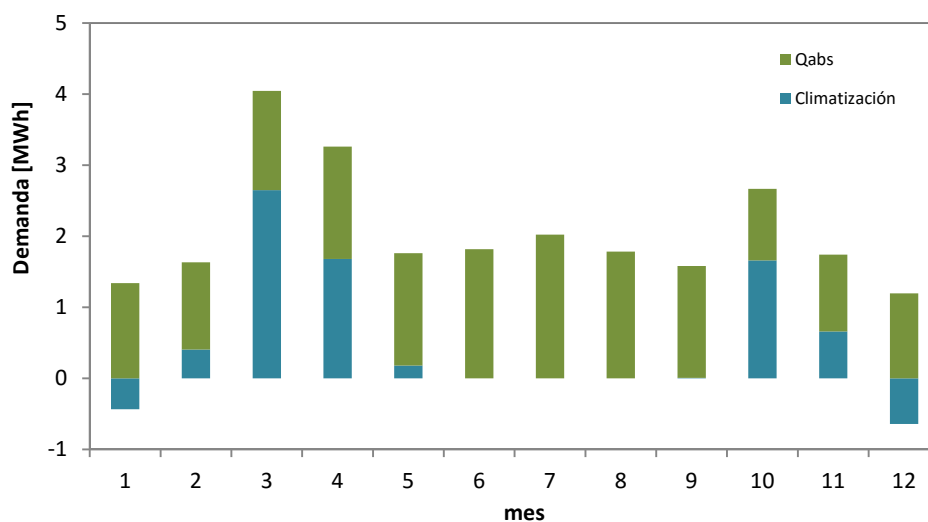


Figura 6.39 – Reducción de demanda mediante el aprovechamiento de la fachada ventilada respecto al sistema de aislamiento directo

No hay que olvidar que los resultados indicados se obtienen mediante una configuración constructiva convencional y sin modificar en gran medida los sistemas de climatización empleados usualmente en la edificación, por lo que su implantación podría ser directa. Para finalizar el estudio, queda por evaluar el efecto en la demanda de refrigeración de la fachada ventilada.

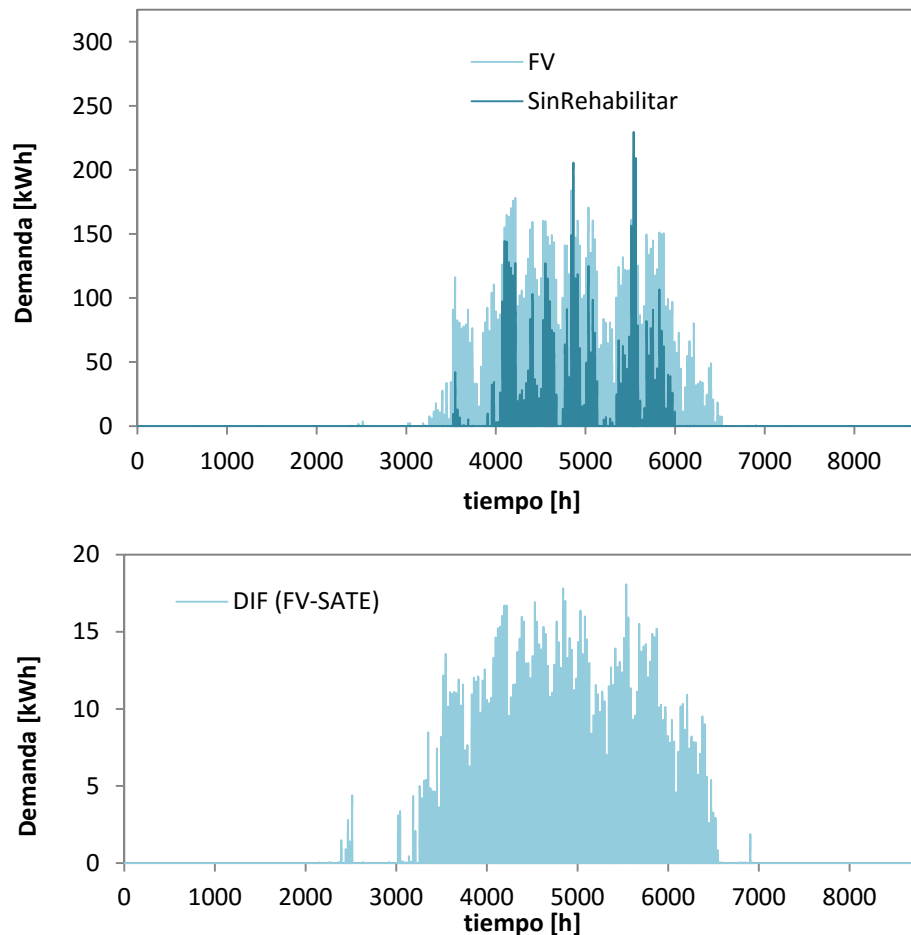


Figura 6.40 – Demanda de refrigeración en el edificio con fachada ventilada, y diferencia respecto a la demanda del edificio con aislamiento directo

La nueva demanda de refrigeración para el total del edificio es de 42,9 [MWh], lo que representa un 10,7% menor que en el caso del edificio con aislamiento directo, por lo que se nota el efecto refrigerante de la fachada ventilada. En este caso, ese calor evacuado sólo se puede emplear como fuente de calor para los sistemas del edificio, y la ventilación sería más adecuada realizarla directamente del ambiente exterior, ya que el aire de la cámara ventilada presenta mayor temperatura que el correspondiente al del ambiente. En la Figura 6.40 se muestra la demanda anual, que sigue siendo superior respecto a la obtenida en el edificio sin rehabilitar. En la Tabla 6.22 se recogen las demandas de refrigeración por vivienda. El valor medio es de 20,63 [kWh/m<sup>2</sup>año], y como sucede en el edificio con aislamiento directo, las mayores demandas se producen en las viviendas intermedias, aunque no hay grandes diferencias respecto a las viviendas con mayor proporción de fachada, incluso respecto a las que presentan orientación sur, como es el caso de la vivienda de referencia. En dicha vivienda la demanda de refrigeración asciende a 25,49 [kWh/m<sup>2</sup>año], lo que representa un 11,1% inferior a la que se obtiene con aislamiento directo y un 50,7% superior a la situación



original sin rehabilitar. En la Figura 6.41 se muestra la comparativa de demandas de refrigeración mensuales entre las tres configuraciones y en la Tabla 6.23 los datos exactos.

**DEMANDAS ANUALES [kWh/m<sup>2</sup>]**

		Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3			
		A	B	A	B	A	B		
<b>SUELO</b>									
<b>SUR</b>	Piso 1	2.76	2.83	2.81	2.81	2.83	1.55	<b>NORTE</b>	
	Piso 2	18.65	19.52	19.57	19.56	19.52	19.18		
	Piso 3	26.22	25.39	25.46	25.43	25.39	24.20		
	Piso 4	25.49	26.62	26.69	26.68	26.62	23.62		
	Piso 5	25.40	26.48	26.55	26.54	26.48	25.74		
	Piso 6	23.73	24.59	24.63	24.63	24.59	23.85		
<b>CUBIERTA</b>									

Tabla 6.22 –Demandas anuales de refrigeración para el edificio con fachada ventilada

**DEMANDA [kWh/m<sup>2</sup>]**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
<b>Sin Rehabilitar</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	2.9	4.8	3.9	0.7	0.0	0.0	0.0	<b>12.6</b>
<b>SATE</b>	0.0	0.0	0.0	0.1	1.8	7.2	8.5	7.6	3.4	0.0	0.0	0.0	<b>28.7</b>
<b>FV</b>	0.0	0.0	0.0	0.1	1.5	6.5	7.7	6.9	2.9	0.0	0.0	0.0	<b>25.5</b>

Tabla 6.23 –Demandas mensuales de refrigeración en la vivienda tipo

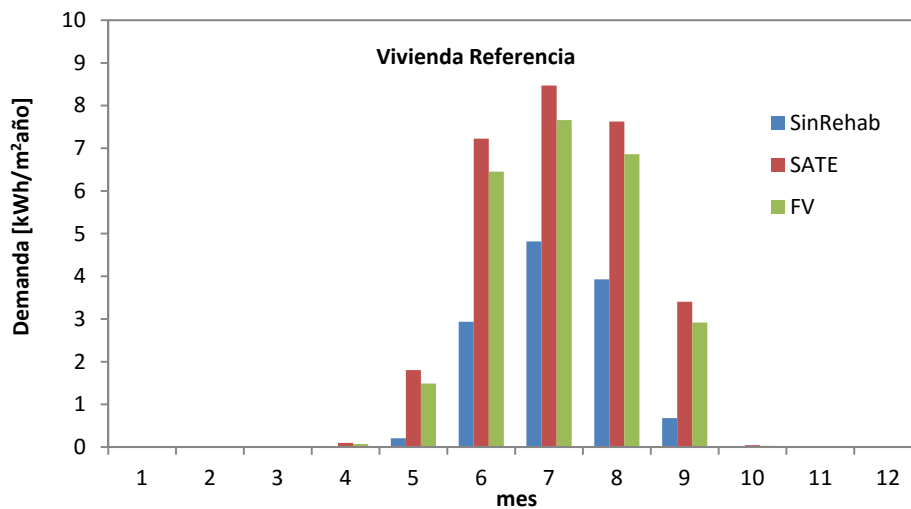


Figura 6.41 – Demanda mensual de refrigeración de la vivienda de referencia para las tres configuraciones de envolvente

Si se analiza la evolución de la demanda de refrigeración a lo largo del día de referencia seleccionado, Figura 6.42, se puede ver claramente el efecto refrigerante de la fachada ventilada.

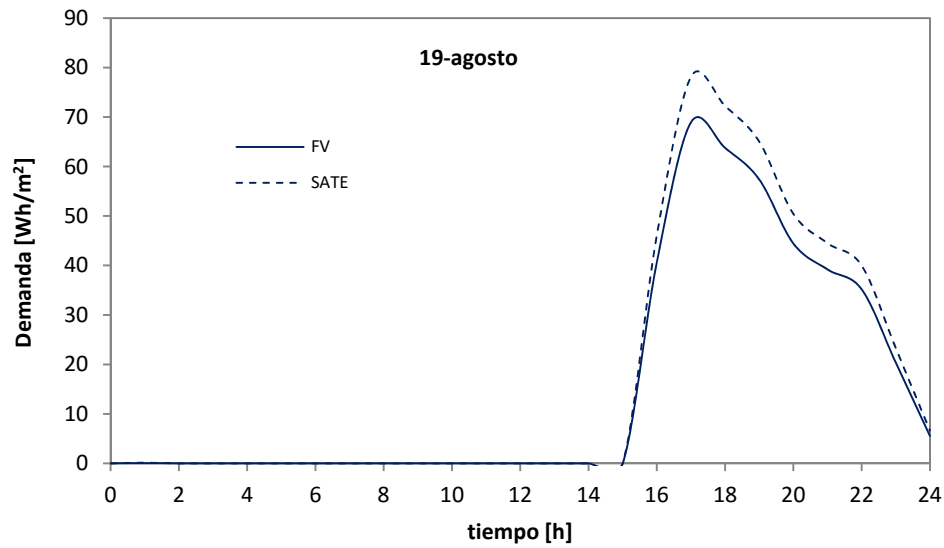
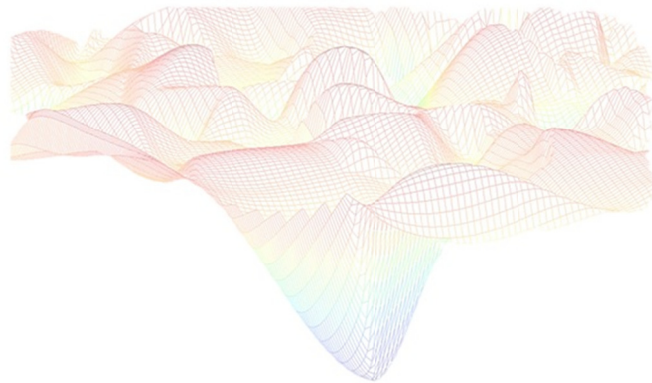


Figura 6.42 – Demanda de refrigeración a lo largo del día 19 de agosto para cada uno de los sistema de rehabilitación estudiados

Con este estudio, a escala de edificio, de los resultados obtenidos en el ensayo de la celda *PASLINK*, se finaliza los trabajos asociados a la presente tesis. Los desarrollos alcanzados en cada uno de las partes, y los resultados obtenidos en los datos y estudios asociados abren una serie de puertas futuros trabajos que continúen las líneas de investigación planteadas. Este análisis y la evaluación del cumplimiento de los objetivos planteados inicialmente en los trabajos de esta tesis se definen con mayor detalle en el capítulo final de conclusiones.

# Conclusiones





## C.1 Aportaciones y conclusiones

Las dos partes en las que se divide el trabajo de tesis, puesta a punto de un método de ensayos fiable y estudio del comportamiento térmico de fachadas activas, se ha desarrollado completamente, alcanzando los objetivos principales planteados inicialmente. De forma complementaria, en cada objetivo parcial se realizan aportaciones particulares, de las cuales, las principales se definen a continuación:

Objetivo 1: Puesta a punto de una celda de ensayos *PASLINK*.

- Se ha conseguido trasladar toda la experiencia adquirida en las dos décadas de trabajos de la red *PASLINK* en el desarrollo de una celda con las condiciones óptimas de ensayo. Además, se recogen todos los trabajos de interés en un solo documento de referencia, a través del presente trabajo de tesis, que sirve de guía para la implantación de un equipo de estas características.



Figura C.1 – Estado actual de las celdas *PASLINK* del AT en las instalaciones del LCCE del Gobierno Vasco

- En los aspectos concretos de la celda, se han mejorado las condiciones de la sala de ensayos, reduciendo los puentes térmicos de la estructura y aumentado la estanqueidad de la sala de ensayos. Además, se ha mejorado el diseño de portamuestras en su propia configuración, así como en el mecanismo de sujeción en la estructura de la celda. Estas mejoras permiten mover dicho postamuestras a las instalaciones interiores de construcción de forma que se mejoran las condiciones de montaje y aumenta la precisión y fiabilidad de la colocación de los sensores de medida.

Objetivo 2: Calibración y análisis de incertidumbres de la celda.

- Se ha desarrollado un nuevo método de análisis de la medida del flujo de calor en las zonas de borde de la envolvente de la sala de ensayos. Este método consiste en registrar dicho flujo de calor a través de los sensores de las *multitiles* de forma dinámica. El procedimiento original consiste en la determinación de un factor estático de corrección. El método planteado permite corregir en tiempo real los factores de corrección, de forma que la medida del flujo intercambiado por la envolvente presenta una mayor precisión, reduciendo así la incertidumbre propia del ensayo.

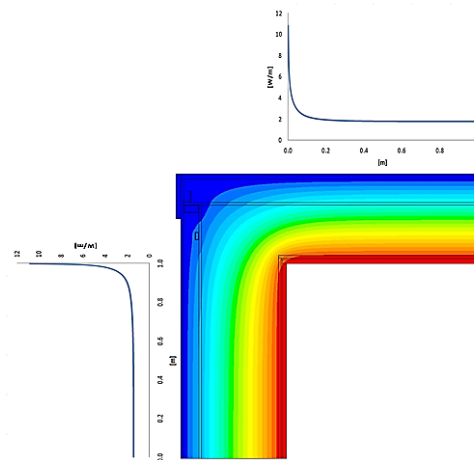


Figura C.2 – Estudio dinámico del flujo en las zonas de borde de la envolvente

- Se ha planteado un estudio de modelos de parámetros concentrados de la celda. Este estudio tiene una gran relevancia. Cuanto más sencillo es el modelo de la celda mayor es la precisión de las herramientas de identificación de los parámetros en la determinación de las propiedades del modelo del componente bajo estudio. Gracias a la configuración de celda, la instrumentación y metodología de medida, se ha conseguido disponer del modelo más simple de celda, lo que maximiza la potencialidad de ensayo.

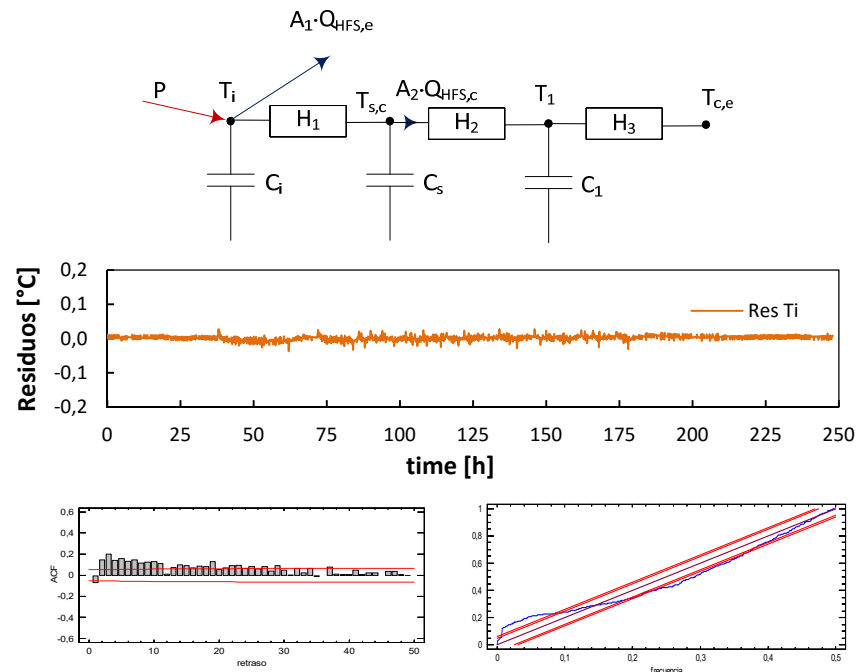


Figura C.3 – Modelo de parámetros concentrados de la celda PASLINK

- Además, mediante el estudio del muro de calibración se ha obtenido una incertidumbre de ensayo humbral de la metodología y, aun siendo el caso más desfavorable, esta incertidumbre se encuentra dentro del rango de incertidumbres de ensayos normalizados en condiciones de laboratorio. La



incertidumbre estimada incluye tanto el error de medida propio de la instrumentación, como el error del proceso de identificación de parámetros.

Objetivo 3: Ensayo de trazabilidad IQ-Test.

- Se ha realizado el ensayo de trazabilidad definido por la red *PASLINK*, con el objetivo de evaluar la calidad de los equipos en los distintos centros y estandarizar los resultados de la metodología de ensayo.

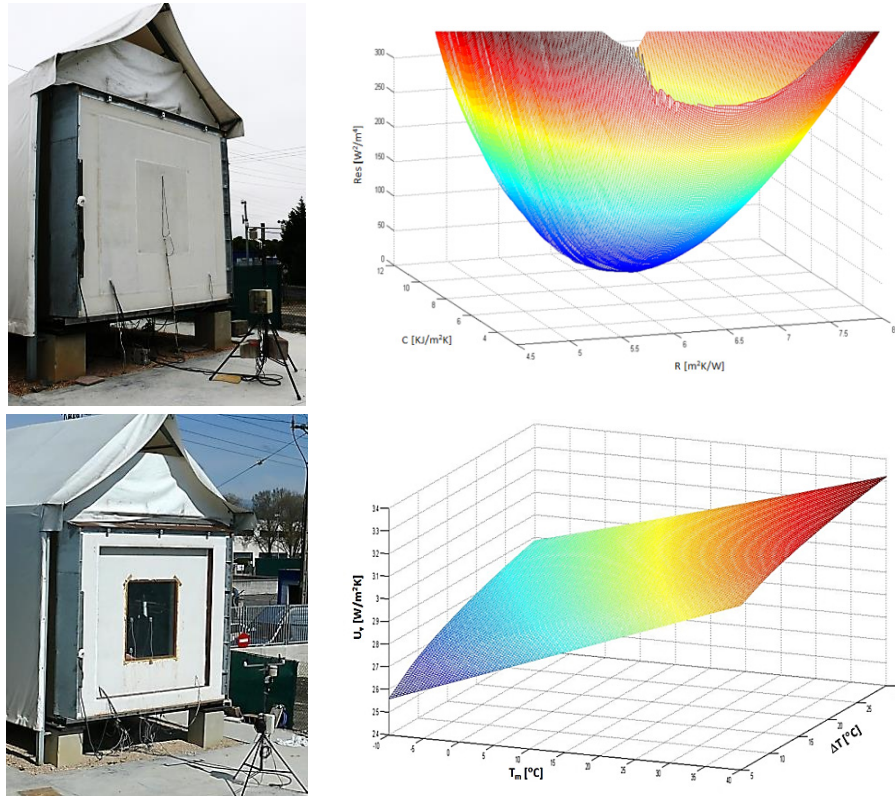


Figura C.4 – Componentes del ensayo IQ-Test

El ensayo de trazabilidad consiste en el estudio de dos componentes. El análisis del primer componente, un muro opaco, ha permitido aumentar la caracterización de los efectos de borde del sistema de portamuestras. El ensayo del segundo componente, una ventana de referencia, ha permitido disponer de experiencia imprescindible en la medida de la ganancia solar de sistema semitransparentes.

- Se ha ampliado el estudio disponible de los resultados del ensayo de trazabilidad. Se ha mejorado el análisis de los resultados de transmitancia del ensayo del componente de la ventana. Y por último, se ha podido comparar el estado de la celda *EGUSKI* respecto al resto de equipos de ensayo. Los resultados finales son positivos, el trabajo realizado en la puesta a punto de la celda del AT en el *LCCE* muestra unos resultados muy buenos dentro del análisis estadístico del interlaboratorio. El estudio realizado ha permitido demostrar el elevado grado de trazabilidad de los ensayos *PASLINK*.

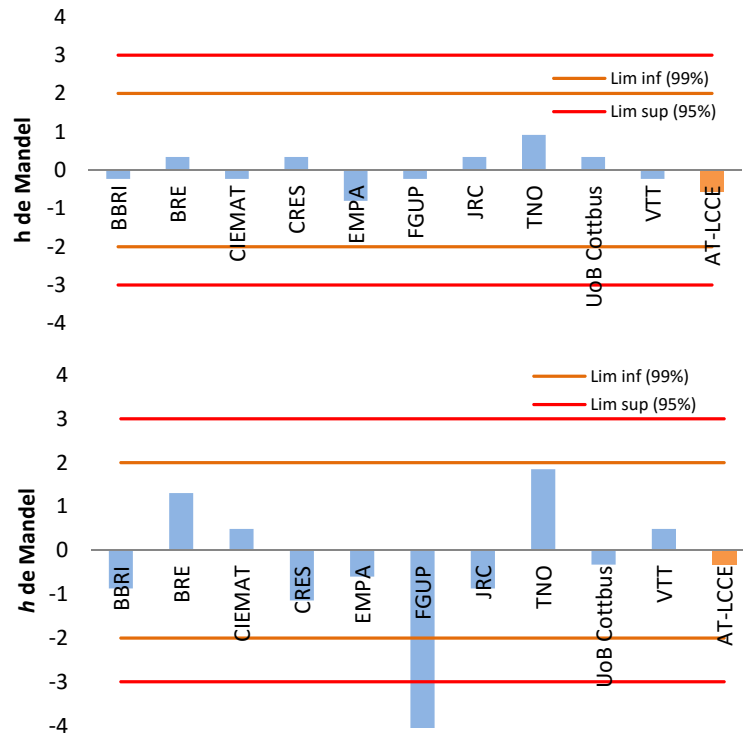


Figura C.5 – Resultados del primer y segundo componente del IQ-Test

#### Objetivo 4: Caracterización experimental de fachadas.

- Se han construido un total de cinco muestras de ensayo. Cabe destacar las probetas de fachada ventilada. La experiencia adquirida en el diseño de estas muestras es amplia y los sistemas de montaje definidos en el trabajo pueden ser una guía para otros centros que se enfrenten a la misma problemática. Es de especial interés el aspecto de la instrumentalización de las muestras. Se ha realizado un estudio detallado de los efectos de las zonas de entrada y salida en el movimiento convectivo dentro de la cámara ventilada, y se ha definido la instrumentación óptima para la adecuada caracterización experimental de dichos sistemas de fachada. Entre los principales resultados, por ejemplo, es la relevancia de la medida de las presiones para el ajuste posterior de CFD, o la adecuada distribución de las sondas de temperatura y velocidad de aire. El conocimiento base adquirido permite afrontar el ensayo de otros sistemas de fachada más complejos, con una base mínima de fiabilidad y calidad.
- Se ha generado una base de datos experimentales muy detallada y completamente definida. Uno de los principales escollos en la investigación actual es la falta de datos experimentales para la validación de los modelos de estudio. Uno de los intereses de este trabajo era la generación de dichos datos experimentales de alta fiabilidad. Además, estos datos van acompañados de la información complementaria necesaria para su correcto manejo. Partiendo de la definición de los sensores empleados en su toma, junto con sus incertidumbres y situación dentro de la muestra, como la frecuencia de muestreo y el procedimiento de medida. Los resultados obtenidos son de gran interés por sí mismo. Aunque el ensayo a escala de probeta presenta relativas limitaciones, el análisis de los datos aporta un gran conocimiento del

comportamiento real de las soluciones de fachada ventilada y de la respuesta de los materiales que las conforman respecto a las condiciones ambientales, como la radiación solar.

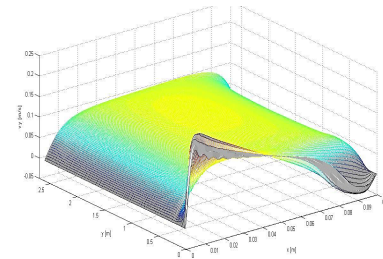
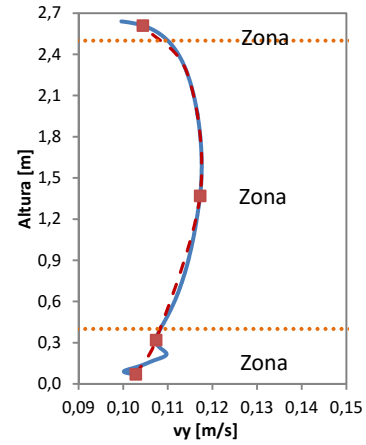


Figura C.6 – Construcción e instrumentación de las muestras

Por tanto, se considera que la base de datos experimentales generada presenta una calidad cinética, de referencia en el ámbito de la investigación en el campo de la energía en el sector de la edificación.

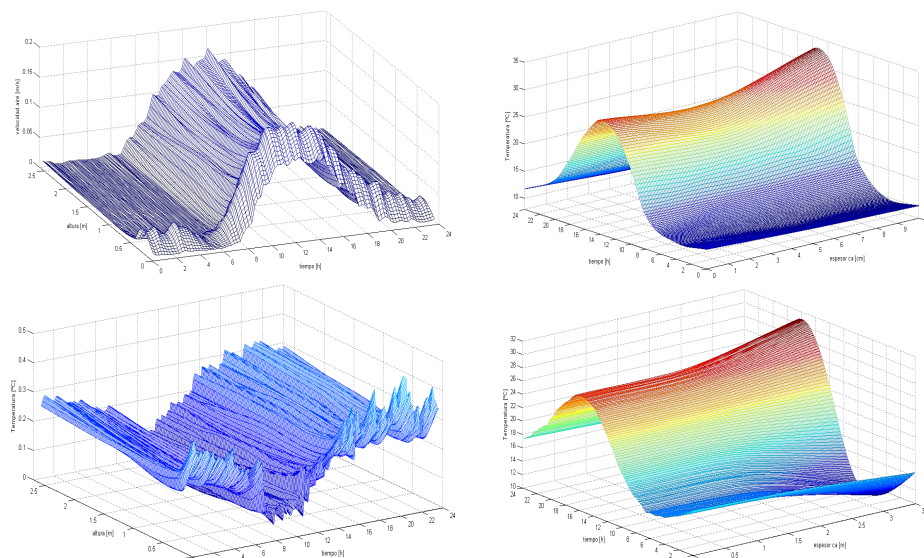


Figura C.7 – Datos experimentales de las fachadas ventiladas

Objetivo 5: Modelos matemáticos.

- El estudio de los muros base ha permitido analizar la potencialidad de las herramientas de identificación de parámetros en condiciones reales de ensayo, es decir, con muestras heterogéneas. Se ha podido cuantificar la incertidumbre de los ensayos reales sobre muestras convencionales. Además, la caracterización precisa de los sistemas de muro base permiten el análisis de los flujos intercambiados por cada superficie de la cámara ventilada en los estudios de las fachadas activas. Este punto es muy importante en el modelado de las mismas. La medida de dicho flujo entre superficies es uno de los puntos más complejos a resolver en el estudio de procesos de convección confinados. En la mayoría de los estudios realizados hasta el momento este problema se resolvía generando un flujo conocido. Pero esta solución implica una desviación de las condiciones de trabajo reales de las fachadas a escala de edificio. Gracias a la celda *PASLINK* y a la metodología de trabajo desarrollada en esta tesis, se ha podido resolver la medida de los flujos de calor entre superficies, lo que representa un aspecto innovador en la investigación de sistemas activos.

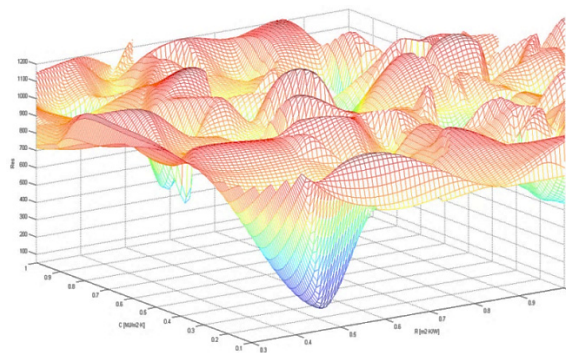


Figura C.8 – Identificación de parámetros en un muro de doble hoja

- Se han desarrollado modelos de *CFD* que permiten obtener más información sobre el campo de temperaturas y velocidades del aire dentro de la cámara ventilada.

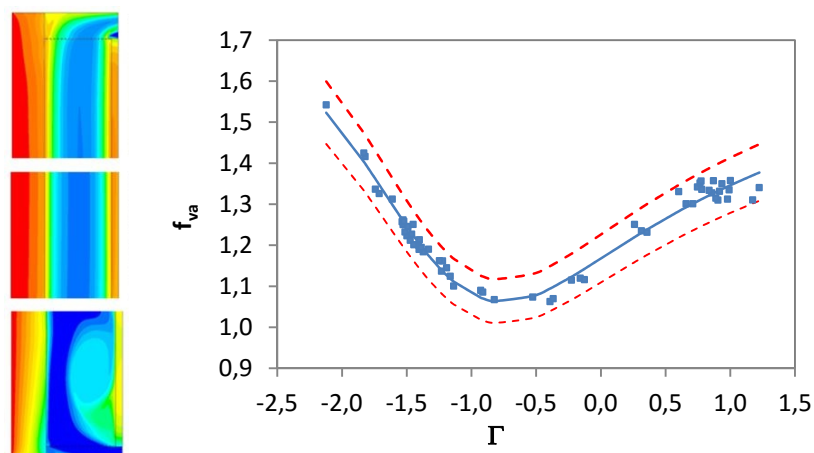


Figura C.9 – Modelo de *CFD* de la fachada ventilada

Los modelos se han contrastado con los datos experimentales, obteniéndose una experiencia importante en la definición de los parámetros de dichos modelos y en la configuración de las capas límites y efectos de las secciones de entrada. Se ha comprobado la importancia de la medida de las pérdidas de carga para el correcto ajuste de dichos modelos *CFD*. Todo el esfuerzo aplicado tiene como respuesta la obtención de unos coeficientes correctores de los datos puntuales medidos durante el ensayo, para el cálculo de las temperaturas y velocidades eficientes en la sección de la cámara ventilada. Este procedimiento sirve como base para el estudio de soluciones de fachada activas más complejas.

- Con los datos experimentales y el apoyo de los modelos de *CFD* se ha analizado la aplicación de los modelos estandar de convección a las fachadas ventiladas, obteniéndose desviaciones de más del 50% respecto a los datos experimentales. Por tanto, ha sido necesario desarrollar nuevos modelos que se ajusten a las condiciones reales. Este punto implica un aporte científico de relevancia.

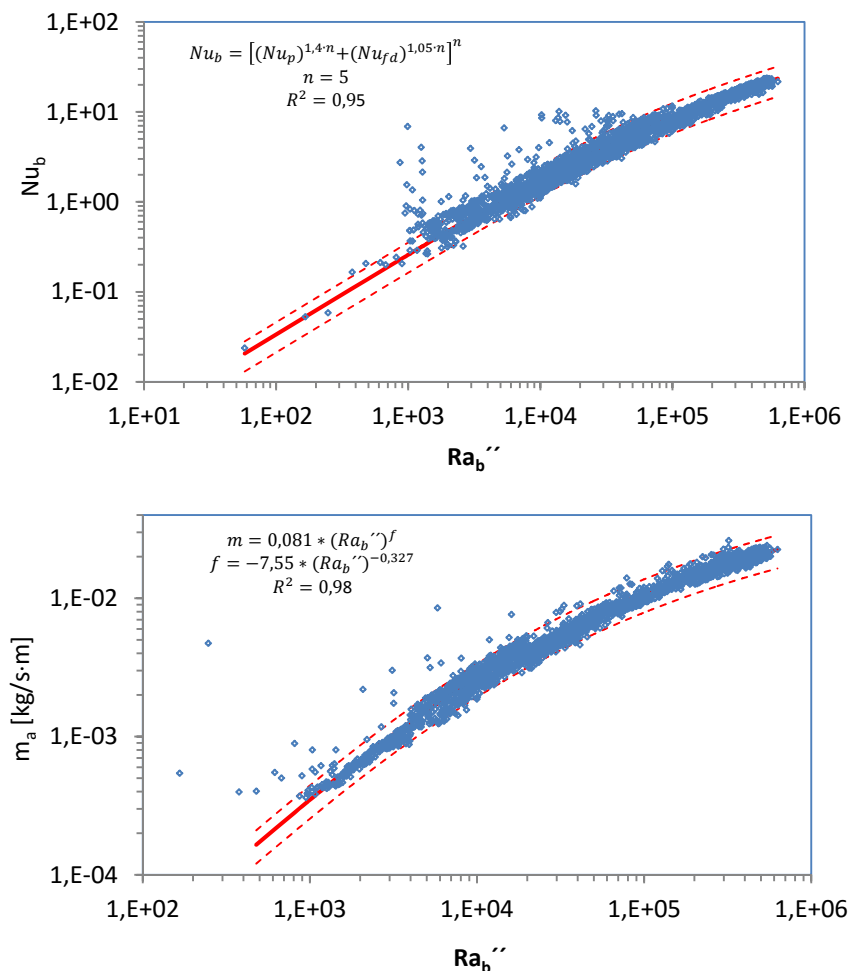


Figura C.10 – Modelo de convección de la fachada ventilada

- De forma complementaria a los modelos de convección, se ha desarrollado un modelo de parámetros concentrados que permite caracterizar el comportamiento medio de la fachada ventilada. Este modelo permite analizar



los diferentes mecanismos de transmisión de calor dentro de la cámara ventilada, lo que aporta un conocimiento más profundo del comportamiento energético de este tipo de envolventes y facilita el análisis de mejora y aprovechamiento energético, sin el esfuerzo que exigen los modelos más complejos que emplean herramientas de CFD.

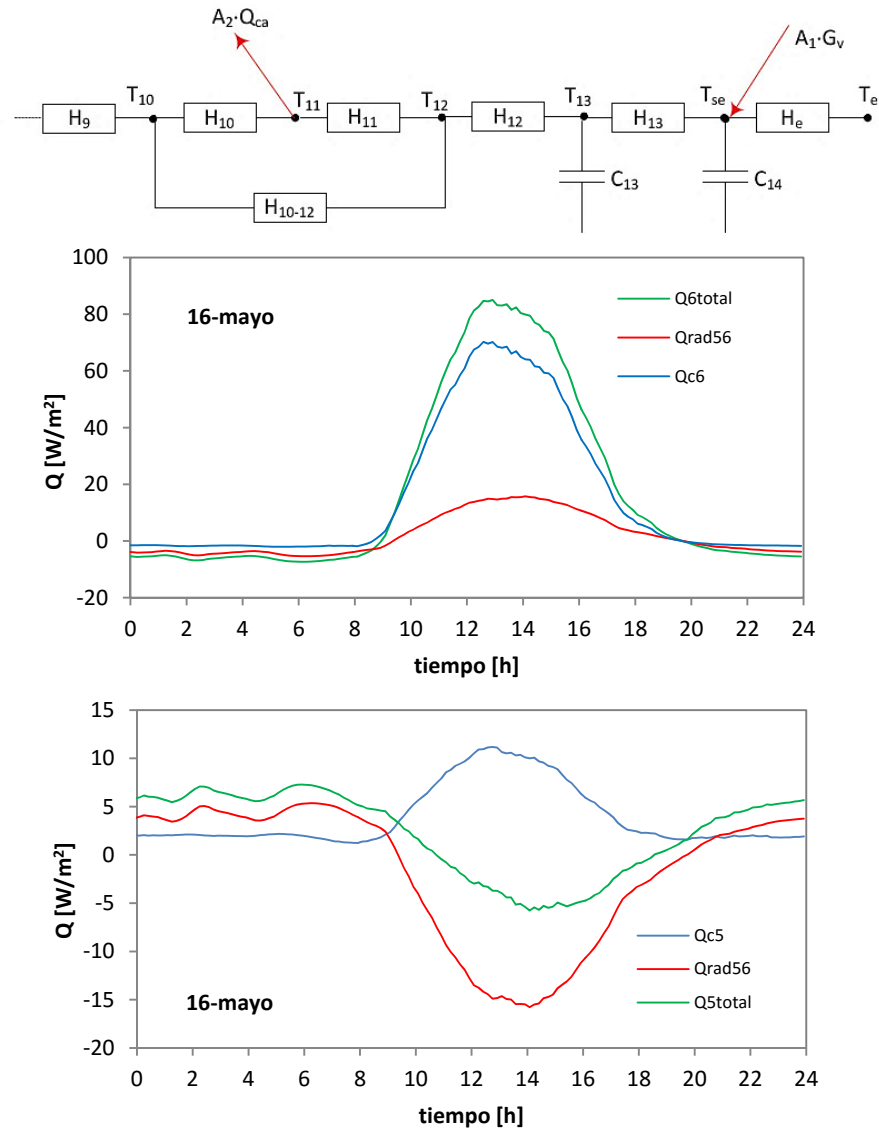


Figura C.11 – Modelo de parámetros concentrados de fachada ventilada

Objetivo 6: Modelo a escala de vivienda.

- Los modelos experimentales de convección desarrollados se han aplicado a la escala de edificio mediante la herramienta de simulación TRNSYS. Los parámetros del modelo se han integrado en una rutina de MATLAB, que alimenta a los datos del modelo de edificio. Mediante esta configuración se puede modelizar un amplio abanico de sistemas de fachadas activas, de forma que se pueda valorar su viabilidad energética y su potencial de aprovechamiento solar. Este alcance es un punto de gran importancia en la



fase de proyecto, ya que permite obtener resultados estimativos más fiables y próximos a los resultados finales del edificio en el ámbito de la reducción de demanda en viviendas.

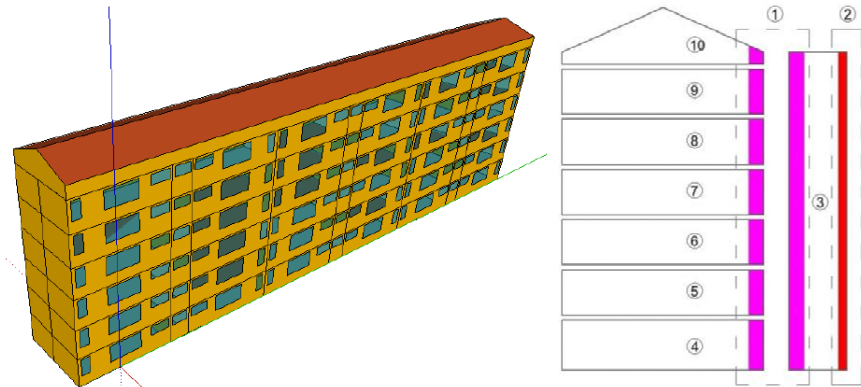


Figura C.12 – Modelo a escala de edificio de la fachada ventilada

- Se han obtenido unos resultados comparativos del comportamiento energético de sistema de fachada ventilada respecto a los sistemas de aislamiento directo. Dichos resultados demuestran sobre todo el potencial de captación de calor que se genera en la cortina de aire y que no se aprovecha de forma alguna en las configuraciones de sistemas de climatización en la actualidad. Esta energía absorbida por la piel exterior de la fachada ventilada aun siendo importante, presenta una eficiencia reducida de captación de energía solar incidente. Pero hay que tener en cuenta que se está analizando una solución constructiva convencional, sin diseño específico para el aprovechamiento solar. Si se mejora la hoja exterior y se emplean sistemas de aspiración en la cortina de aire, la envolvente podría ser un foco de calor interesante para la cobertura de la demanda energética en la edificación, que permitiría diseñar edificios de consumo casi nulo de forma viable. El estudio realizado con un sistema de fachada ventilada convencional abre la puerta y pone las bases adecuadas para realizar estudios de sistemas más complejos con fiabilidad e incertidumbres conocidas y controladas.

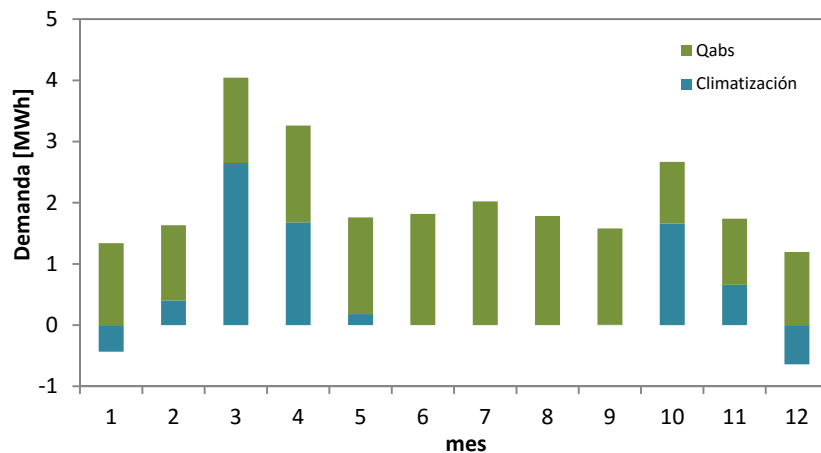


Figura C.13 – Aprovechamiento energético de la fachada ventilada

El trabajo realizado ha generado los pilares para el desarrollo de futuras líneas de investigación. Por un lado, el implantar un equipo de medida fiable y una metodología de ensayo controlada y trazable permite centrar los futuros esfuerzos en el propio análisis de soluciones constructivas. Además, la experiencia adquirida en el estudio de las muestras caracterizadas hasta el momento sienta las bases para la definición de las muestras de otros sistemas de fachadas activas, construcción de las probetas, número de sondas, tipología y ubicación de las mismas, etc... Además, se definen los modelos con los que trabajar directamente, por lo menos los correspondientes a la propia celda de ensayos, y los modelos de fachadas ventiladas empleados sirven como referencia para el punto de partida en el análisis específico de otras configuraciones. Por tanto, las líneas de investigación futuras que se plantean a partir de este trabajo son muchas y muy variadas.

## C.2 Futuras líneas de investigación

Los próximos trabajos a desarrollar son el modelado de los dos sistemas de fachadas ensayados, la fachada natural pesada y la fachada forzada ligera, de la misma forma que se ha estudiado el sistema de fachada natural ligera. Y a su vez, ampliar el análisis energético a escala de edificio a más zonas climáticas. Además de los datos experimentales mostrados en el presente documento, al día de hoy, ya se han realizado ensayos sobre otras tipologías de fachadas activas. En la Figura C.14 se muestran las probetas de un muro trombe, imagen de la izquierda, y de una fachada fotovoltaica forzada, imagen de la derecha. El ensayo del muro trombe busca estudiar la eficiencia de esta configuración extensamente conocida para el aporte de calor en ventilación.



Figura C.14 – Otros ensayos de fachadas activas

Gracias al sistema acristalado las temperaturas que alcanza el aire en la cámara ventilada son superiores a las que se obtienen con hojas opacas. Además, la muestra ensayada presenta rejillas de entrada y salida de aire tanto en el paño interior como en la superficie exterior, de forma que se puede realizar todos los lazos posibles de ventilación. El ensayo permitirá disponer, no sólo de modelos matemáticos del comportamiento convectivo, sino que aportará información sobre el control óptimo del sistema de rejillas para su máximo aprovechamiento energético a lo largo de todo el año. En el caso del ensayo de la fachada con paneles fotovoltaicos, el objetivo del

análisis es la cuantificación de la potencialidad de emplearse la cortina de aire como un foco de calor para un sistema de climatización estilo bomba de calor. La hoja fotovoltaica tiene la particularidad que genera un calentamiento añadido por el proceso de producción eléctrica. Pero para su aplicación final es necesario disponer de información sobre caudales de aire disponibles y potencias de calor generadas, para poder diseñar las propiedades de los equipos asociados y los porcentajes de cobertura disponibles.



Figura C.15 – Edificio con envolventes activas

Todo el desarrollo y conocimiento obtenido en los diferentes ensayos se ha trasladado a un edificio ejemplo real que va a ser una referencia. En la actualidad se ha finalizado la construcción, por parte del Departamento de Vivienda del Gobierno Vasco, de un edificio de vivienda social ubicado en Portugalete, que presenta los sistemas analizados con el objetivo de obtener un estándar de consumo casi nulo. El edificio se muestra en la Figura C.15, y está formado por tres módulos, uno con una envolvente convencional pasiva, módulo de la izquierda, otro módulo con una fachada ventilada forzada de chapa, denominado *Solar Wall*, que actúa como foco térmico en el evaporador de una bomba de calor que suministra calefacción, módulo central, y el tercer módulo que dispone de una fachada trombe continua forzada, módulo de la

derecha, que se conecta al recuperador de calor del sistema de ventilación. El objetivo de esta configuración es poder comparar la relación coste-eficiencia de los sistemas activos respecto a las envolventes convencionales.

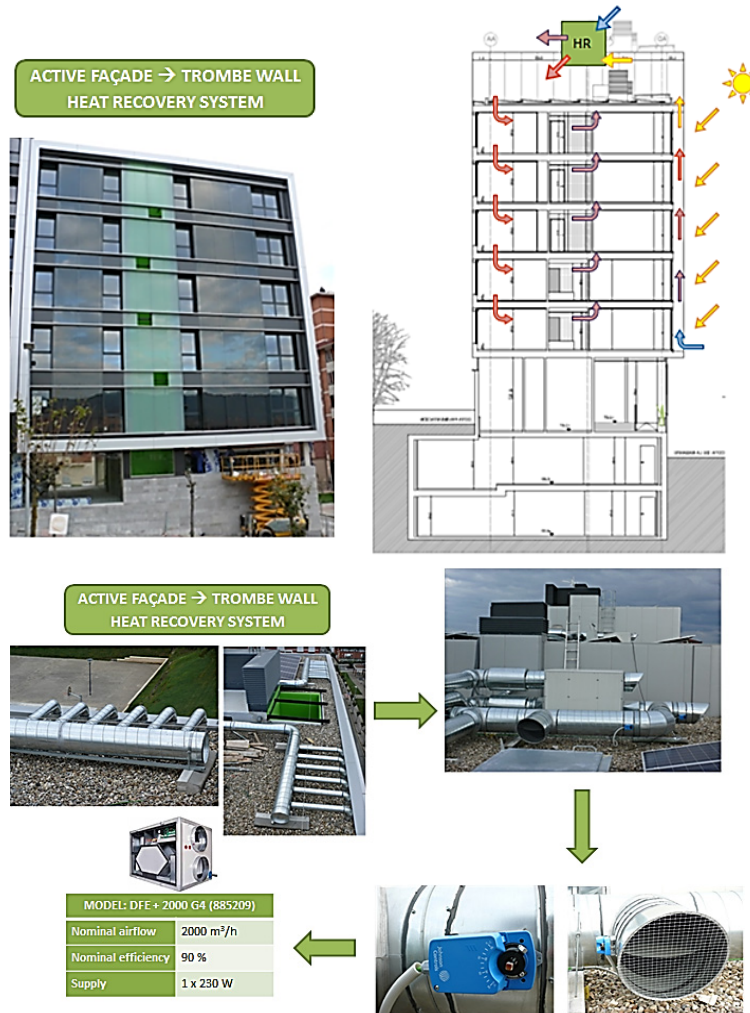


Figura C.16 – Configuración de la fachada trombe para aporte a ventilación

Todos los sistemas de envolventes activas del edificio se sitúan en la fachada sur-este. En la Figura C.16 se muestra el esquema de funcionamiento del muro trombe, el cual está formado por dos paños situados en el tercer módulo, como ya se ha comentado. Estos paños tienen una entrada de aire inferior y en la parte superior se conectan a unas tolvas que se juntan en un conducto único en el cual se sitúa la soplante de aspiración. Este conducto se conecta a la entrada de aire exterior del intercambiador de calor del sistema de ventilación de doble flujo. El sistema permite aplicar un *by-pass* en el intercambiador cuando la temperatura de entrada del aire sea próxima a los 18°C, de forma que se reducen los costes eléctricos de impulsión del sistema de ventilación y se obtiene directamente aire precalentado para la renovación del ambiente interior de las viviendas. En días con poca incidencia solar el recuperador de calor funcionará de forma convencional. Y en periodos estivales, cuando no se necesite el calor de la cortina de aire, se emplean dos compuertas servo-controladas que permiten evacuar el calor de la cortina del aire al ambiente exterior. En el caso del *Solar-Wall* la configuración es similar. En la Figura C.17 se muestran los dos paños de muro activo, el cual está formado por una chapa ondulada con *micro-perforaciones* a lo largo de toda



su superficie que actúan como entrada de aire a la cámara ventilada, en lugar de disponer de una única entrada inferior. La salida de ambos paños se conecta mediante tolvas a una soplante que desemboca en el evaporador de la bomba de calor de *aire-agua*, ver imágenes inferiores.



Figura C.17 – Configuración del Solar Wall para aporte de calefacción

Con esta configuración se espera subir la temperatura del foco térmico de forma que se reduzca el consumo de energía eléctrica en el sistema de compresión del circuito de refrigerante. Si a esto se le suma que el sistema de disipación de calor en viviendas está basado en suelo radiante, lo que permite trabajar con bajas temperaturas en el condensador, se busca alcanzar un COP de trabajo muy elevado respecto a los valores estandar. Junto a estos sistemas activos, el edificio dispone de generación eléctrica propia para autoconsumo mediante paneles fotovoltaicos y un motor alternativo de cogeneración, ver Figura C.18. El objetivo es autoproducir con el mayor porcentaje posible todos los consumos de energía eléctrica de operación, tanto de las instalaciones de climatización, bombas de impulsón, soplantes de ventilación, etc... como de los consumos de los servicios comunes, ascensores, iluminación, etc... Y aprovechando el conjunto de sistemas de generación y componentes activos se ha implantado un nuevo desarrollo que pretende producir calor gratuito para las. El edificio es de alquiler social, de forma que los inquilinos disponen de ingresos

reducidos, y en general, estas condiciones se traducen en que se ahorra en los costes de climatización, viviendo en ambientes fuera de las condiciones estándar de confort.



Figura C.18 – Sistemas de generación eléctrica

Para evitar esto, se busca introducir calor en las viviendas de forma centralizada, para atemperar el conjunto del edificio y mantener unas condiciones de temperatura medias próximas, o dentro del rango del confort, sin coste añadido para el gestor del edificio ni para los propios inquilinos. Para ello se aprovechará los momentos punta de radiación solar, horas centrales del día, cuando los consumos eléctricos del edificio son reducidos, y se produce una absorción de calor importante en el *Solar-Wall*, para impulsar la bomba de calor mediante la electricidad producida en las placas fotovoltaicas, inyectando calor en el suelo radiante de las viviendas.

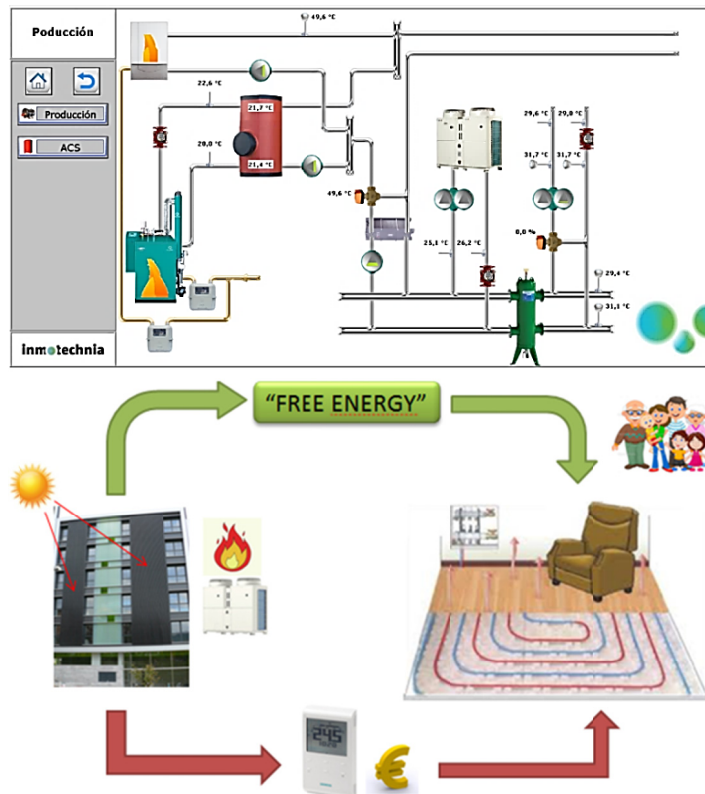


Figura C.19 – Concepto de calefacción renovable gratuita



El concepto en origen es correcto, pero el problema es que las condiciones óptimas para la generación gratuita de calor se producen en los momentos del día en los que esa inyección de calor no es necesaria. Sin embargo, el recalentado de mortero de suelo radiante sirve como depósito térmico de inercia para la acumulación de dicho calor en las viviendas sin que se produzca un sobrecalentamiento de las mismas durante las horas de actuación. De forma que se puede aprovechar ese calor acumulado durante las horas nocturnas, o en su caso, permite disponer de una temperatura base para aprovechar las horas de calefacción nocturnas con mayor eficiencia del usuario, al estar el suelo radiante en una temperatura de régimen. El concepto de calor gratuito se puede llevar a cabo gracias a un sistema de control del conjunto de instalaciones adecuado. Este sistema de control se ha desarrollado específicamente para este edificio y permitirá adelantarse a las condiciones óptimas de generación y comenzar a realizar la inyección de calor en el momento óptimo, ver Figura C.19. La fase de construcción de este edificio esta finalizada en el momento actual, y se espera que se ocupe por inquilinos a lo largo del año 2016, de forma que para finales del mismo y a más tardar, para el año 2017 se disponga de datos e información sobre el comportamiento de los sistemas activos diseñados y la potencialidad real del concepto de calor gratuito. Las expectativas sobre los resultados son muy altas y se espera que este edificio va a servir como referencia para el diseño de edificios de consumo casi nulo de energía a corto plazo.



# Bibliografía



1. ASHRAE Handbook—Fundamentals. 2013.
2. COMPASS installation guide HFS tiles for the PASSYS test cells. G.P. van der linden, H.A.L. van dijk, A.J. lock, F. van der graaf, TNO. JOULE2 programme, brussels, 1995.
3. COMPASS measurement and data analysis procedures, H. A. L . van dijk, TNO building and construction research, F. tellez , CIEMAT. EC DG XII, brussels, december 1995.
4. COMPASS upgrading PASSYS test cells with a pseudo-adiabatic shell, construction manual. E. maldonado, universidade do porto. JOULE2 programme, brussels, 1995.
5. Development of the PASSYS test method, research report PASSYS subgroup test methodologies. ed. H.A.L. van dick, TNO building and construction research. CEC DG XII brussels, 1993. EUR 15114 EN.
6. ISO 9869:1994 - thermal insulation - building elements -in-situ measurements of thermal resistance and thermal transmittance. .
7. PASSYS test procedures. ed. H.A.L. van dijk, TNO. EC DG XII, brussels, 1993. EUR 15122 EN.
8. PASLINK calibration and component test procedures. final report. H. A. L. van dijk and G. P. van der linden, TNO building and construction research. february 1995.
9. PASLINK calibration manual. ed. B. saxhof, TIL-DTU lyngby. EC DG XII, brussels, 1995. (update of the PASSYS calibration manual. ed. B. stanzel, ITW university of stuttgart. EUR 15120 EN).
10. PASLINK EEIG: The grouping of outdoor test centres. final report of the PASLINK project. P. wouters, L. vandaele, BBRI. EC DG XII, brussels, 1995.
11. PASLINK FINAL ACTIVITY REPORT. P. wouters, L. vandaele, BBRI. EC DG XII, brussels, 1995.
12. PASSYS operations manual. ed. E. maldonado, FEUP. CEC DGXII, brussels, 1993. EUR 15119 EN.
13. The PASSYS test sites. status report autumn 1992. J.J. bloem, JRC. CEC DG XII, brussels, 1992. EUR 15118 EN.
14. EN 13119:2007 - curtain walling - terminology. .
15. JJ Bloem, editor. Proceedings of the international workshop on dynamic analysis methods applied to energy performance assessment of buildings. ; 2004; European Commission, Joint Research Centre.
16. EN 12664:2001 - thermal performance of building materials and products - determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods - dry and moist products of medium and low thermal resistance. .
17. EN 12667:2001 - thermal performance of building materials and products - determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods - products of high and medium thermal resistance. .
18. EN 1602:2013 - thermal insulating products for building applications - determination of the apparent density. .
19. ISO 10211:2007 - thermal bridges in building construction - heat flows and surface temperatures - detailed calculations. .

20. PASSYS test components descriptions. ed. A. guy, pilkington. EC DG XII, brussels, 1993. EUR 15121 EN.
21. ISO 6946:2007 - building components and building elements - thermal resistance and thermal transmittance - calculation method.
22. ISO/IEC guide 98-1:2009; uncertainty of measurement - part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement.
23. ISO/IEC guide 98-3:2008; uncertainty of measurement - part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995).
24. ISO/IEC guide 98-4:201; uncertainty of measurement - part 4: Role of measurement uncertainty in conformity assessment.
25. ISO/IEC CD guide 98-5; evaluation of measurement data - part 5: Examples of uncertainty evaluation.
26. ISO 5725-1:1994; accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - part 1: General principles and definitions.
27. ISO 5725-2:1994; accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method.
28. ISO 5725-3:1994; accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - part 3: Intermediate measures of the precision of a standard measurement method.
29. ISO 5725-4:1994; accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - part 4: Basic methods for the determination of the trueness of a standard measurement method
30. ISO 5725-5:1998; accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - part 5: Alternative methods for the determination of the precision of a standard measurement method.
31. ISO 5725-6:1994; accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - part 6: Use in practice of accuracy values.
32. EN 410:2011; glass in building - determination of luminous and solar characteristics of glazing.
33. EN ISO 12567-1:2010; thermal performance of windows and doors - determination of thermal transmittance by the hot-box method - part 1: Complete windows and doors.
34. EN 1745:2012 - masonry and masonry products - methods for determining thermal properties.
35. EN ISO 9972:2015 - thermal performance of buildings - determination of air permeability of buildings - fan pressurization method.
36. EN ISO 12569:2012 - thermal performance of buildings and materials - determination of specific airflow rate in buildings - tracer gas dilution method.
37. Abdellah B, Mebrouk R, Belkacem D, Salah C. Laminar natural convection in a vertical channel with a sinusoidal obstruction. J Appl Sci 2006;6(7):1426-36.



38. Abonyi J, Feil B, SpringerLink. Cluster analysis for data mining and system identification. Basel; Boston: Birkhäuser; 2007.
39. Akyildiz FT, Siginer DA, Vajravelu K, van Gorder RA. Natural convection heat transfer of a viscous fluid in a vertical porous channel. *J Eng Math* 2012;74(1):61-71.
40. Alcamo G, De Lucia M. A new test cell for the evaluation of thermo-physical performance of facades building components. *Int J Sustainable Energy* 2014;33(4):954-62.
41. Aleo F, Pennisi A, Scalia S, Simone F. Optical and energetic performances of an electrochromic window tested in a "PASSYS" cell. *Electrochim Acta* 2001 4/2;46(13-14):2243-9.
42. CFD analysis of heat transfer and fluid flow in flat plate natural convection solar air heater. 30th ISES biennial solar world congress 2011, SWC 2011; 2011.
43. Anelkovic AS, Gvozdenac-Uroevic B, Kljajic M, Ignjatovic MG. Experimental research of the thermal characteristics of a multi-storey naturally ventilated double skin facade. *Energy Build* 2015;86:766-81.
44. Andersen KK, Madsen H, Hansen LH. Modelling the heat dynamics of a building using stochastic differential equations. *Energy Build* 2000;31(1):13-24.
45. Andreozzi A, Buonomo B, Manca O. Thermal and fluid dynamic behaviors in symmetrical heated channel-chimney systems. *Int J Numer Methods Heat Fluid Flow* 2010;20(7):811-33.
46. Andreozzi A, Buonomo B, Manca O. Transient natural convection in vertical channels symmetrically heated at uniform heat flux. *Numer Heat Transfer Part A Appl* 2009;55(5):409-31.
47. Androutsopoulos A, Bloem JJ, van Dijk HAL, Baker PH. Comparison of user performance when applying system identification for assessment of the energy performance of building components. *Build Environ* 2008 2;43(2):189-96.
48. Aparicio-Fernández C, Vivancos J-, Ferrer-Gisbert P, Royo-Pastor R. Energy performance of a ventilated façade by simulation with experimental validation. *Appl Therm Eng* 2014;66(1-2):563-70.
49. Arce J, Jiménez MJ, Guzmán JD, Heras MR, Alvarez G, Xamán J. Experimental study for natural ventilation on a solar chimney. *Renewable Energy* 2009 12;34(12):2928-34.
50. Armando G-, Armando B-J, Christian V-, Rangel-Hernández VH, Belman-Flores JM. Analysis of the conjugate heat transfer in a multi-layer wall including an air layer. *Appl Therm Eng* 2010;30(6-7):599-604.
51. Athienitis AK, Bambara J, O'Neill B, Faille J. A prototype photovoltaic/thermal system integrated with transpired collector. *Sol Energy* 2011;85(1):139-53.
52. Auletta A, Manca O. Heat and fluid flow resulting from the chimney effect in a symmetrically heated vertical channel with adiabatic extensions. *Int J Therm Sci* 2002;41(12):1101-11.
53. Aung W. Fully developed laminar free convection between vertical plates heated asymmetrically. *Int J Heat Mass Transfer* 1972 August 1972;15(8):1577-80.

54. Aung W, Fletcher LS, Sernas V. Developing laminar free convection between vertical flat plates with asymmetric heating. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 1972;15:2293-304.
55. Ayinde TF. Experimental investigation of turbulent natural convection flow in a converging channel. *Exp Therm Fluid Sci* 2008;32(6):1204-12.
56. Ayinde TF, Said SAM, Habib MA. Experimental investigation of turbulent natural convection flow in a channel. *Heat Mass Transfer* 2006;42(3):169-77.
57. Azevedo LFA, Sparrow EM. Natural convection in a vertical channel vented to the ambient through an aperture in the channel wall. *Int J Heat Mass Transf* 1986;29(6):819-30.
58. Azevedo LFA, Sparrow EM. Natural convection in open-ended inclined channels. *J Heat Transfer Trans ASME* 1985;107(4):893-901.
59. Babu V. *Fundamentals of incompressible fluid flow*. New Delhi, India: Ane Books Pvt. Ltd.; 2010. V.
60. Bacher P, Madsen H. Identifying suitable models for the heat dynamics of buildings. *Energy Build* 2011;43(7):1511-22.
61. Baker NV. *Passive solar test facility*. Energy Eonscious Design ud., London. Report prepared for the European Commission, Directorate General XII for Science Research and Development, Brussels. 1983.
62. Baker PH. Evaluation of round-robin testing using the PASLINK test facilities. *Build Environ* 2008 2;43(2):181-8.
63. Baker PH, McEvoy M. Test cell analysis of the use of a supply air window as a passive solar component. *Solar Energy* 2000;69(2):113-30.
64. Baker PH, Strachan P. IQ-TEST; final technical report; WP3 round robin test as feasibility study for standarization; PASLINK EEIG. 2003.
65. Baker PH, van Dijk HAL. PASLINK and dynamic outdoor testing of building components. *Build Environ* 2008 2;43(2):143-51.
66. Baker P. IQ-test—improving quality in testing and evaluation of solar and thermal characteristics of building components. *Energy Build* 2004 5;36(5):435-41.
67. Balocco C. A simple model to study ventilated facades energy performance. *Energy Build* 2002;34(5):469-75.
68. Barbu V. *Stabilization of navier-stokes flows*. London; New York: Springer; 2011.
69. Bar-Cohen A, Herman A. Experimental investigation of transient natural convection heat transfer in vertical enclosures (constant heating). *Letters in Heat and Mass Transfer* 1977 0;4(2):111-8.
70. On the validity of the boussinesq approximation in a developing mixed convection boundary layer. 1st international conference on thermal issues in emerging technologies, theory and applications; proceedings - ThETA1; 2007.

71. Baskaya S, Aktas MK, Onur N. Numerical simulation of the effects of plate separation and inclination on heat transfer in buoyancy driven open channels. *Heat Mass Transfer* 1999;35(4):273-80.
72. Bauwens G, Roels S. Co-heating test: A state-of-the-art. *Energy Build* 2014;82:163-72.
73. Beausoleil-Morrison I, et al . Demonstration of the new ESP-r and TRNSYS co-simulator for modelling solar buildings. *Energy Procedia* 2012;30:505-14.
74. Beckman WA, Broman L, Fiksel A, Klein SA, Lindberg E, Schuler M, Thornton J. TRNSYS the most complete solar energy system modeling and simulation software. *Renew Energy* 1994;5(1-4):486-8.
75. Bendat JS. Nonlinear system analysis and identification from random data. New York: Wiley; 1990.
76. Ben-Mansour R, Habib MA, Badr HM, Anwar S. Comparison of different turbulence models and flow boundary conditions in predicting turbulent natural convection in a vertical channel with isoflux plates. *Arab J Sci Eng* 2007;32(2 B):191-218.
77. Bhamjee M, Nurick A, Madyira DM. An experimentally validated mathematical and CFD model of a supply air window: Forced and natural flow. *Energy Build* 2013;57:289-301.
78. Billings SA. Nonlinear system identification :NARMAX methods in the time, frequency, and spatio-temporal domains. Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons, Inc.; 2013.
79. Blanco JM, Arriaga P, Rojí E, Cuadrado J. Investigating the thermal behavior of double-skin perforated sheet façades: Part A: Model characterization and validation procedure. *Build Environ* 2014;82:50-62.
80. Blasco Lucas I, Hoesé L, Pontoriero D. Experimental study of passive systems thermal performance. *Renewable Energy* 2000 0;19(1-2):39-45.
81. Bloem JJ. Evaluation of a PV-integrated building application in a well-controlled outdoor test environment. *Build Environ* 2008 2;43(2):205-16.
82. Bloem JJ, Lodi C, Cipriano J, Chemisana D. An outdoor test reference environment for double skin applications of building integrated PhotoVoltaic systems. *Energy Build* 2012;50:63-73.
83. Bloem J. Report on support to CEN TC89/WG8. uptade of ISO 9869 to EN12494 "in-situ measurements of the thermal resistance and thermal transmittance". update march 2002.
84. Bloem J, editor . System identification competition. EUR 16359 EN ed. Luxembourg: EUROPEAN COMMISSION; 1996.
85. Bloem J, editor . System identification applied to building performance data. EUR 15885 EN ed. Luxembourg: EUROPEAN COMMISSION; 1994.
86. Bloem J, editor. Workshop on application of system identification in energy savings in building, 1994. EUR 15566.
87. Bodoia JR, Osterle JF. The development of free convection between heated vertical plates. *ASME J Heat Transfer* 1962;84:40-3.

88. Boudjemadi R, Maupu V, Laurence D, Le. Quéré P. Budgets of turbulent stresses and fluxes in a vertical slot natural convection flow at rayleigh  $ra = 105$  and  $5.4 \cdot 10^5$ . *Int J Heat Fluid Flow* 1997 2;18(1):70-9.
89. Boyer F, Fabrie P. Mathematical tools for the study of the incompressible navier-stokes equations and related models. New York; London: Springer; 2013.
90. Brandl D, Mach T, Grobbauer M, Hochenauer C. Analysis of ventilation effects and the thermal behaviour of multifunctional façade elements with 3D CFD models. *Energy Build* 2014;85:305-20.
91. Brandl D, Mach T, Kaltenecker P, Sterrer R, Neururer C, Treberspurg M, Hochenauer C. CFD assessment of a solar honeycomb (SHC) façade element with integrated PV cells. *Solar Energy* 2015 8;118:155-74.
92. Brangeon B, Joubert P, Bastide A. Influence of the dynamic boundary conditions on natural convection in an asymmetrically heated channel. *Int J Therm Sci* 2015;95:64-72.
93. Numerical investigation of natural convection in an asymmetrically heated inclined channel-chimney systems importance of the choice of artificial inlet-outlet boundary conditions. *Proceedings of BS 2013: 13th conference of the international building performance simulation association*; 2013.
94. Brinkworth BJ. Estimation of flow and heat transfer for the design of PV cooling ducts. *Solar Energy* 2000;69(5):413-20.
95. Brinkworth BJ. A procedure for the routine calculation of laminar free and mixed convection in inclined ducts. *Int J Heat Fluid Flow* 2000 8;21(4):456-62.
96. Brinkworth BJ, Sandberg M. Design procedure for cooling ducts to minimise efficiency loss due to temperature rise in PV arrays. *Solar Energy* 2006 1;80(1):89-103.
97. Burch T, Rhodes T, Acharya S. Laminar natural convection between finitely conducting vertical plates. *Int J Heat Mass Transfer* 1985 6;28(6):1173-86.
98. Burek SAM, Habeb A. Air flow and thermal efficiency characteristics in solar chimneys and trombe walls. *Energy Build* 2007 2;39(2):128-35.
99. Burlacu A, Ciocan V, Verdes M, Popovici GC, Balan MC, Tofan BA, Pastrav D. Experimental study for data validation regarding the flow movement in natural convection in an asymmetrical heated vertical channel. *Appl Mech Mater* 2014;659:313-8.
100. Burlacu A, Verdes M, Ciocan V, Popovici GC, Balan MC, Tofan BA, Pastrav D. Numerical study regarding the flow movement in natural convection in an asymmetrical heated vertical channel. *Appl Mech Mater* 2014;659:319-24.
101. Cadafalch J, Oliva A, van der Graaf G, Albets X. Natural convection in a large, inclined channel with asymmetric heating and surface radiation. *J Heat Transf* 2003;125(5):812-20.
102. Campaniço H, Hollmuller P, Soares PMM. Assessing energy savings in cooling demand of buildings using passive cooling systems based on ventilation. *Appl Energy* 2014;134:426-38.
103. Campo A, Manca O, Morrone B. Numerical investigation of the natural convection flows for low-prandtl fluids in vertical parallel-plates channels. *J Appl Mech Trans ASME* 2006;73(1):96-107.

104. Campo A, Manca O, Morrone B. Natural convection in vertical, parallel-plate channels with appended unheated entrances. *Int J Numer Methods Heat Fluid Flow* 2005; 15(2):183-204.
105. Features of natural convective air flows inside vertical parallel-plate channels subject to step heat fluxes: Insulated upstream and heated downstream. *American society of mechanical engineers, heat transfer division, (publication) HTD*; 1999.
106. Transient and steady state models for open-loop air-based BIPV/T systems. *ASHRAE transactions*; 2010.
107. Carbonari A, Naticchia B, D'Orazio M. Innovative evaporative cooling walls. *Eco-Efficient Mater for Mitigating Build Cool Needs: Des , Prop and Appl* 2015:215-40.
108. Carrilho da Graça G, Augusto A, Lerer MM. Solar powered net zero energy houses for southern europe: Feasibility study. *Sol Energy* 2012;86(1):634-46.
109. *Physical and Computational Aspects of Convective Heat Transfer*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 1984.
110. Cebeci T, Cousteix J. *Modeling and computation of boundary-layer flows :Laminar, turbulent, and transitional boundary layers in incompressible flows*. Long Beach, Calif.: Horizons Pub.; 1999.
111. Celik H, Mobedi M. Visualization of heat flow in a vertical channel with fully developed mixed convection. *Int Commun Heat Mass Transf* 2012;39(8):1253-64.
112. Cesaratto PG, De Carli M, Marinetti S. Effect of different parameters on the in situ thermal conductance evaluation. *Energy Build* 2011 7;43(7):1792-801.
113. Chan H-, Zhu J, Riffat S. Solar facade for space cooling. *Energy Build* 2012;54:307-19.
114. A simulation and experimental study of the impact of passive and active façade systems on the energy performance of building perimeter zones. *ASHRAE transactions*; 2012. .
115. Chang TS, Lin TF. On the reversed flow and oscillating wake in an asymmetrically heated channel. *Int J Numer Methods Fluids* 1990;10(4):443-59.
116. Chen B, Hu J, Principe JC, Zhu Y. *System parameter identification :Information criteria and algorithms*. Fir ed. London, UK: Elsevier; 2013.
117. Chen H, Zhao W. *Recursive identification and parameter estimation*. Boca Raton; Taylor & Francis; 2014; 2014.
118. Chen Y-, Gao L-, Wang Y-, He W-, Guo X-. Experimental research and optimization of natural ventilation for VDSF in zones hot in summer and cold in winter. *Hunan Daxue Xuebao* 2015;42(5):120-5.
119. Chen ZD, Bandopadhyay P, Halldorsson J, Byrjalsen C, Heiselberg P, Li Y. An experimental investigation of a solar chimney model with uniform wall heat flux. *Build Environ* 2003 7;38(7):893-906.
120. Cheng C-, Huang S-, Aung W. Numerical predictions of mixed convection and flow separation in a vertical duct with arbitrary cross section. *Numer Heat Transfer Part A Appl* 2002;41(5):491-514.

121. Cheng C-, Lin C-, Aung W. Predictions of developing flow with buoyancy-assisted flow separation in a vertical rectangular duct: Parabolic model versus elliptic model. *Numer Heat Transfer Part A Appl* 2000;37(6):567-86.
122. Cheng X, Müller U. Turbulent natural convection coupled with thermal radiation in large vertical channels with asymmetric heating. *Int J Heat Mass Transf* 1998;41(12):1681-92.
123. Chi C. Blind equalization and system identification :Batch processing algorithms, performance and applications. London: Springer; 2006. Chong-Yung Chi .
124. Eicker U, Fux V, Bauer U, Mei L, Infield D. Façades and summer performance of buildings. *Energy Build* 2008;40(4):600-11.
125. Chow TT, He W, Ji J. An experimental study of façade-integrated photovoltaic/water-heating system. *Appl Therm Eng* 2007 1;27(1):37-45.
126. Churchill SW, Chu HHS. Correlating equations for laminar and turbulent free convection from a vertical plate. *Int J Heat Mass Transfer* 1975 November 1975;18(11):1323-9.
127. Cianfrini C, Corcione M, Habib E, Quintino A. Energy performance of a lightweight opaque ventilated façade integrated with the HVAC system using saturated exhaust indoor air. *Energy Build* 2012;50:26-34.
128. Cipriano J, Houzeaux G, Chemisana D, Lodi C, Martí-Herrero J. Numerical analysis of the most appropriate heat transfer correlations for free ventilated double skin photovoltaic façades. *Appl Therm Eng* 2013 8;57(1-2):57-68.
129. Cohen AB, Rohsenow WM. Thermally optimum spacing of vertical, natural convection cooled, parallel plates. *Journal of Heat Transfer* 1984;106:116-23.
130. Dariusz H. Isothermal storage of solar energy in building construction. *Renewable Energy* 2010 4;35(4):788-96.
131. Das S. Functional fractional calculus for system identification and controls. Berlin; New York: Springer; 2008.
132. Dascalaki E, Santamouris M, Argiriou A, Helmis C, Asimakopoulos DN, Papadopoulos K, Soilemes A. Predicting single sided natural ventilation rates in buildings. *Solar Energy* 1995 11;55(5):327-41.
133. Dascalaki E, Santamouris M, Bruant M, Balaras CA, Bossaer A, Ducarme D, Wouters P. Modeling large openings with COMIS. *Energy Build* 1999 4;30(1):105-15.
134. Davies MG. Optimum design of resistance and capacitance elements in modelling a sinusoidally excited building wall. *Build Environ* 1983;18(1-2):19-37.
135. de Wit S, Augenbroe G. Analysis of uncertainty in building design evaluations and its implications. *Energy Build* 2002 10;34(9):951-8.
136. Desrayaud G, et al . Benchmark solutions for natural convection flows in vertical channels submitted to different open boundary conditions. *Int J Therm Sci* 2013;72:18-33.
137. Desrayaud G, Fichera A. Laminar natural convection in a vertical isothermal channel with symmetric surface-mounted rectangular ribs. *Int J Heat Fluid Flow* 2002;23(4):519-29.



138. Dewson T, Day B, Irving AD. Least squares parameter estimation of a reduced order thermal model of an experimental building. *Build Environ* 1993 4;28(2):127-37.
139. Dimoudi A, Androutsopoulos A, Lykoudis S. Experimental work on a linked, dynamic and ventilated, wall component. *Energy Build* 2004 5;36(5):443-53.
140. Domínguez-Muñoz F, Anderson B, Cejudo-López JM, Carrillo-Andrés A. Uncertainty in the thermal conductivity of insulation materials. *Energy Build* 2010 11;42(11):2159-68.
141. Elenbaas W. Heat dissipation of parallel plates by free convection. *Physica* 1942 January 1942;9(1):1-28.
142. Upgrading and calibration of two PASLINK test cells. evaluation through the "IQ-TEST" round-robin test. ; 11-12 October 2010; ; 2010.
143. Erlebacher G, Hussaini MY, Speziale CG, Zang TA. Toward the large-eddy simulation of compressible turbulent flows. *JOURNAL OF FLUID MECHANICS* 1992;238:155-85.
144. F. F. Local weather correlations and bias in building parameter estimates from energy-signature models. *Energy Build* 1992;19(2):113-23.
145. Fallahi A, Haghghat F, Elsadi H. Energy performance assessment of double-skin façade with thermal mass. *Energy Build* 2010;42(9):1499-509.
146. Favoino F, Goia F, Perino M, Serra V. Experimental assessment of the energy performance of an advanced responsive multifunctional façade module. *Energy Build* 2014;68(PART B):647-59.
147. Feireisl E, Novotnou A. Singular limits in thermodynamics of viscous fluids. Basel: Birkhouser; 2009.
148. Ferziger JH, Peric M. Computational methods for fluid dynamics. 3rd ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2002. .
149. Fisher TS, Torrance KE. Experiments on chimney-enhanced free convection. *J Heat Transf* 1999;121(3):603-9.
150. Flamant g, Coenen S. IQ-TEST - comparison of properties of clear glass from different origins. division of building physics and indoor climate, BBRI. 2001.
151. Frédéric D, Fabien T, Sandrine S, Ruddy B. Two-dimension experimental study of the reverse flow in a free convection channel with active walls differentially heated. *Exp Therm Fluid Sci* 2013;47:150-7.
152. Friling N, Jiménez MJ, Bloem H, Madsen H. Modelling the heat dynamics of building integrated and ventilated photovoltaic modules. *Energy Build* 2009 10;41(10):1051-7.
153. Fu W-, Huang S-, Li C-. An investigation of unsteady flow reversal of natural convection in vertical parallel plates by the modified local one-dimensional inviscid relations method. *Int J Heat Mass Transf* 2015;86:124-38.
154. Fuliotto R, Cambuli F, Mandas N, Bacchin N, Manara G, Chen Q. Experimental and numerical analysis of heat transfer and airflow on an interactive building facade. *Energy Build* 2010;42(1):23-8.

155. Gan G. Numerical determination of adequate air gaps for building-integrated photovoltaics. *Solar Energy* 2009;83(8):1253-73.
156. Gan G, Riffat SB. A numerical study of solar chimney for natural ventilation of buildings with heat recovery. *Appl Therm Eng* 1998;18(12):1171-87.
157. Gan G. Simulation of buoyancy-induced flow in open cavities for natural ventilation. *Energy Build* 2006 5;38(5):410-20.
158. Garnier H, Wang L. System identification, environmental modelling, and control system design. London: Springer; 2012.
159. Garnier H, Wang L, SpringerLink. Identification of continuous-time models from sampled data. London: Springer; 2008.
160. Ghiaasiaan SM. Convective heat and mass transfer. Cambridge; New York: Cambridge University Press; 2011.
161. Goia F, Haase M, Perino M. Optimizing the configuration of a façade module for office buildings by means of integrated thermal and lighting simulations in a total energy perspective. *Appl Energy* 2013;108:515-27.
162. Gossard D, Lartigue B, Sambou V. Nusselt number correlations for laminar convection in three-dimensional air-filled cavities. *J Build Phys* 2012;35(4):327-37.
163. Gouda MM, Danaher S, Underwood CP. Building thermal model reduction using nonlinear constrained optimization. *Build Environ* 2002 12;37(12):1255-65.
164. Gratia E, De Herde A. Are energy consumptions decreased with the addition of a double-skin? *Energy Build* 2007;39(5):605-19.
165. Gratia E, De Herde A. Natural cooling strategies efficiency in an office building with a double-skin façade. *Energy Build* 2004;36(11):1139-52.
166. Gratia E, De Herde A. Optimal operation of a south double-skin facade. *Energy Build* 2004;36(1):41-60.
167. Gray DD, Giorgini A. The validity of the boussinesq approximation for liquids and gases. *Int J Heat Mass Transf* 1976;19(5):545-51.
168. Greblicki W, Pawlak M. Nonparametric system identification. New York: Cambridge University Press; 2008.
169. Gustavsen A, Thue JV. Numerical simulation of natural convection in three-dimensional cavities with a high vertical aspect ratio and a low horizontal aspect ratio. *J Build Phys* 2007;30(3):217-40.
170. Haber R, Keviczky L. Nonlinear system identification :Input-output modeling approach. Boston: Kluwer Academic Publishers; 1999.
171. Habib MA, Said SAM, Ahmed SA. Velocity characteristics of turbulent natural convection in convergent-plates vertical channels. *Int J Fluid Mech Res* 2002;29(2):158-78.
172. Hahne E, Pfluger R. Improvements on PASSYS test cells. *Solar Energy* 1996 0;58(4-6):239-46.

173. Computational fluid dynamics (CFD) analysis of building integrated photovoltaic thermal (BIPV/T) systems. ASME 2014 8th international conference on energy sustainability, ES 2014 collocated with the ASME 2014 12th international conference on fuel cell science, engineering and technology; 2014. .
174. Hajji A, Worek WM. Analysis of combined fully-developed natural convection heat and mass transfer between two inclined parallel plates. *Int J Heat Mass Transf* 1988;31(9):1933-40.
175. Hammarsten S, van Hattem D, Bloem H, Colombo R. Passive solar component testing with identification methods. *Solar Energy* 1988;41(1):5-13.
176. Han J, Lu L, Peng J, Yang H. Performance of ventilated double-sided PV façade compared with conventional clear glass façade. *Energy Build* 2013;56:204-9.
177. Hanby VI, Cook MJ, Infield DG, Ji Y, Loveday DL, Mei L, Holmes MJ. Nodal network and CFD simulation of airflow and heat transfer in double skin facades with blinds. *Build Serv Eng Res Technol* 2008;29(1):45-59.
178. Hawkins LE, Nelson DJ. A design methodology for vertical channel flow and heat transfer. *IEEE Trans Comp , Hybrids, Manufact Technol* 1992;15(5):761-70.
179. He Q, Wang LY, Yin G. System identification using regular and quantized observations. Dordrecht: Springer; 2013.
180. Henrik M. Time series analysis. Chapman & Hall/CRC Texts in Statistical Science; 2007. .
181. Higuera FJ, Ryazantsev YS. Natural convection flow due to a heat source in a vertical channel. *Int J Heat Mass Transf* 2002;45(10):2207-12.
182. Houzeaux G, Codina R. A Dirichlet/Neumann domain decomposition method for incompressible turbulent flows on overlapping subdomains. *Computational Fluids* 2003;33(5-6):771-82.
183. Hui C, Wang YQ, Wang B, Tao W, Zheng SL. Simulation and analysis of thermal performance of internal recycle double skin facades. *Appl Mech Mater* 2014;580-583:2415-20.
184. Ihara T, Gustavsen A, Jelle BP. Effect of facade components on energy efficiency in office buildings. *Appl Energy* 2015;158:422-32.
185. Infield D, Eicker U, Fux V, Mei L, Schumacher J. A simplified approach to thermal performance calculation for building integrated mechanically ventilated PV facades. *Build Environ* 2006 7;41(7):893-901.
186. Infield D, Mei L, Eicker U. Thermal performance estimation for ventilated PV facades. *Solar Energy* 2004 0;76(1-3):93-8.
187. Iyi D, Hasan R, Penlington R. Effect of emissivity on the heat and mass transfer of humid air in a cavity filled with solid obstacles. *Numer Heat Transfer Part A Appl* 2015;67(5):531-46.
188. Janssens A, Roels S. Full scale test facilities for hygrothermal analysis. R.U.Leuven, UGent ed. INIVE; 2011. Workshop, March 30-31 2011, Brussels.
189. Jiji LM, SpringerLink. Heat convection. 2nd ed. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag; 2009.

190. Jiménez MJ, Heras MR. Application of multi-output ARX models for estimation of the U and g values of building components in outdoor testing. *Solar Energy* 2005 9;79(3):302-10.
191. Jiménez MJ, Madsen H. Models for describing the thermal characteristics of building components. *Build Environ* 2008 2;43(2):152-62.
192. Jiménez MJ, Madsen H, Andersen KK. Identification of the main thermal characteristics of building components using MATLAB. *Build Environ* 2008 2;43(2):170-80.
193. Jiménez MJ, Madsen H, Bloem JJ, Dammann B. Estimation of non-linear continuous time models for the heat exchange dynamics of building integrated photovoltaic modules. *Energy Build* 2008;40(2):157-67.
194. Jiménez MJ, Porcar B, Heras MR. Application of different dynamic analysis approaches to the estimation of the building component U value. *Build Environ* 2009 2;44(2):361-7.
195. Jiménez MJ, Porcar B, Heras MR. Estimation of building component UA and gA from outdoor tests in warm and moderate weather conditions. *Solar Energy* 2008 7;82(7):573-87.
196. Jiru TE, Taob Y-, Haghghat F. Airflow and heat transfer in double skin facades. *Energy Build* 2011;43(10):2760-6.
197. Joe J, Choi W, Kwak Y, Huh J-. Optimal design of a multi-story double skin facade. *Energy Build* 2014;76:143-50.
198. Joe J, Choi W, Kwon H, Huh J-. Load characteristics and operation strategies of building integrated with multi-story double skin facade. *Energy Build* 2013;60:185-98.
199. John L. Test cells: Do we need them? *Build Environ* 1993 4;28(2):221-8.
200. Jones AT, Ingham DB. Combined convection flow in a vertical duct with wall temperatures that vary linearly with depth. *Int J Heat Fluid Flow* 1993;14(1):37-47.
201. Joshi HM. Transient effects in natural convection cooling of vertical parallel plates. *Int Commun Heat Mass Transf* 1988;15(2):227-38.
202. Kalema T, Haapala T. Effect of interior heat transfer coefficients on thermal dynamics and energy consumption. *Energy Build* 1995;22(2):101-13.
203. Katunský D, Zozulák M, Vertal M, imicek J. Experimentally measured boundary and initial conditions for simulations. *Adv Mater Res* 2014;1041:293-6.
204. Keesman KJ. System identification. London; New York: Springer; 2011.
205. Kelkar KM, Choudhury D. Numerical prediction of periodically fully developed natural convection in a vertical channel with surface mounted heat generating blocks. *Int J Heat Mass Transf* 1993;36(5):1133-45.
206. Kettleborough CF. Transient laminar free convection between heated vertical plates including entrance effects. *Int J Heat Mass Transfer* 1972;15:883-96.
207. Khanal R, Lei C. An experimental investigation of an inclined passive wall solar chimney for natural ventilation. *Sol Energy* 2014;107:461-74.

208. Khanal R, Lei C. Flow reversal effects on buoyancy induced air flow in a solar chimney. *Sol Energy* 2012;86(9):2783-94.
209. Kim D-, Park C-. Difficulties and limitations in performance simulation of a double skin façade with EnergyPlus. *Energy Build* 2011;43(12):3635-45.
210. Kim G, Schaefer L, Kim JT. Development of a double-skin façade for sustainable renovation of old residential buildings. *Indoor Built Environ* 2013;22(1):180-90.
211. Kim SH, Anand NK, Aung W. Effect of wall conduction on free convection between asymmetrically heated vertical plates: Uniform wall heat flux. *Int J Heat Mass Transf* 1990;33(5):1013-23.
212. Kim Y-, Kim S-, Shin S-, Sohn J-. Contribution of natural ventilation in a double skin envelope to heating load reduction in winter. *Build Environ* 2009;44(11):2236-44.
213. Kim Y-, Lee J-, Kim S-, Kim S. Effects of double skin envelopes on natural ventilation and heating loads in office buildings. *Energy Build* 2011;43(9):2118-26.
214. Kiselev SP, Vorozhtsov EV, Fomin VM. Foundations of fluid mechanics with applications. 1st ed. Springer Science+Business Media New York: Birkhäuser Basel; 1999. .
215. Knezevic DJ, Nguyen N-, Patera AT. Reduced basis approximation and a posteriori error estimation for the parametrized unsteady boussinesq equations. *Math Models Methods Appl Sci* 2011;21(7):1415-42.
216. Kristensen NL, Madsen H, Jørgensen SB. Parameter estimation in stochastic grey-box models. *Automatica* 2004;40(2):225-37.
217. Kristensen NR, Madsen H. Continuous time stochastic modelling. CTSM 2.3—user's guide. technical university of denmark, 2003. .
218. Kristensen NR, Madsen H, Jørgensen SB. A method for systematic improvement of stochastic grey-box models. *Comput Chem Eng* 2004;28(8):1431-49.
219. Kristensen NR, Madsen H, Jørgensen SB. Parameter estimation in stochastic grey-box models. *Automatica* 2004 2;40(2):225-37.
220. Kuznik F, Catalina T, Gauzere L, Woloszyn M, Roux J-. Numerical modelling of combined heat transfers in a double skin faade - full-scale laboratory experiment validation. *Appl Therm Eng* 2011;31(14-15):3043-54.
221. Kwak D, Kiris C. Computation of viscous incompressible flows. Dordrecht; New York: Springer; 2011.
222. Kwak Y, Huh J, Jang C. Development of a model predictive control framework through real-time building energy management system data. *Appl Energy* 2015 10/1;155:1-13.
223. Labat M, Woloszyn M, Garnier G, Rusaouen G, Roux JJ. Impact of direct solar irradiance on heat transfer behind an open-jointed ventilated cladding: Experimental and numerical investigations. *Sol Energy* 2012;86(9):2549-60.
224. Lakkis I, Moukalled F. Natural-convection heat transfer in channels with isothermally heated convex surfaces. *Numer Heat Transfer Part A Appl* 2008;53(11):1176-94.

225. Lamnatou C, Mondol JD, Chemisana D, Maurer C. Modelling and simulation of building-integrated solar thermal systems: Behaviour of the system. *Renewable Sustainable Energy Rev* 2015;45:36-51.
226. Lappa M. *Thermal convection :Patterns, evolution and stability*. Chichester, UK: Wiley; 2010.
227. Lau GE, Sanvicente E, Yeoh GH, Timchenko V, Fossa M, Ménéz C, Giroux-Julien S. Modelling of natural convection in vertical and tilted photovoltaic applications. *Energy Build* 2012;55:810-22.
228. Lau GE, Yeoh GH, Timchenko V, Reizes JA. Numerical investigation of passive cooling in open vertical channels. *Appl Therm Eng* 2012 6;39:121-31.
229. Lau GE, Yeoh GH, Timchenko V, Reizes JA. Large-eddy simulation of turbulent natural convection in vertical parallel-plate channels. *Numer Heat Transfer Part B Fundam* 2011;59(4):259-87.
230. Leal V, Maldonado E. The role of the PASLINK test cell in the modelling and integrated simulation of an innovative window. *Build Environ* 2008 2;43(2):217-27.
231. Leftheriotis G, Yianoulis P. Thermal properties of building materials evaluated by a dynamic simulation of a test cell. *Solar Energy* 2000;69(4):295-304.
232. Li D, Liu G, Liao S. Solar potential in urban residential buildings. *Sol Energy* 2015;111:225-35.
233. Li N, Yang Z, Becerik-Gerber B, Tang C, Chen N. Why is the reliability of building simulation limited as a tool for evaluating energy conservation measures? *Appl Energy* 2015 12/1;159:196-205.
234. Li R, Bousetta M, Chénier E, Lauriat G. Effect of surface radiation on natural convective flows and onset of flow reversal in asymmetrically heated vertical channels. *Int J Therm Sci* 2013;65:9-27.
235. Li R, Dai Y, Wang R. Experimental investigation and simulation analysis of the thermal performance of a balcony wall integrated solar water heating unit. *Renew Energy* 2015;75:115-22.
236. Li R, Dai YJ, Wang RZ. Experimental and theoretical analysis on thermal performance of solar thermal curtain wall in building envelope. *Energy Build* 2015;87:324-34.
237. Li S, Joe J, Hu J, Karava P. System identification and model-predictive control of office buildings with integrated photovoltaic-thermal collectors, radiant floor heating and active thermal storage. *Solar Energy* 2015 3;113:139-57.
238. Liao L, Athienitis AK, Candanedo L, Park K-, Poissant Y, Collins M. Numerical and experimental study of heat transfer in a BIPV-thermal system. *J Sol Energy Eng Trans ASME* 2007;129(4):423-30.
239. Lin JT, Armaly BF, Chen TS. Mixed convection in buoyancy-assisting, vertical backward-facing step flows. *Int J Heat Mass Transf* 1990;33(10):2121-32.
240. Experimental study of natural convection in an asymmetrically heated inclined channel with radiation exchange. *Proceedings of the ASME summer heat transfer conference*; 2003. Cited By :1.



241. Liu Y, Lei C, Patterson JC. Plume separation from an adiabatic horizontal thin fin placed at different heights on the sidewall of a differentially heated cavity. *Int Commun Heat Mass Transf* 2015;61:162-9.
242. Liu Z, Zhang L, Gong G, Han T. Experimental evaluation of an active solar thermoelectric radiant wall system. *Energy Convers Manage* 2015;94:253-60.
243. Ljung L. System identification toolbox 7. getting started guide, natick, MA, USA: The MathWorks, inc.;march 2008. .
244. Lodi C, Bacher P, Cipriano J, Madsen H. Modelling the heat dynamics of a monitored test reference environment for building integrated photovoltaic systems using stochastic differential equations. *Energy Build* 2012;50:273-81.
245. Lomas KJ, Eppel H, Martin CJ, Bloomfield DP. Empirical validation of building energy simulation programs. *Energy Build* 1997;26(3):253-75.
246. Lou W, Huang M, Zhang M, Lin N. Experimental and zonal modeling for wind pressures on double-skin facades of a tall building. *Energy Build* 2012;54:179-91.
247. Loutzenhiser PG, Manz H, Felsmann C, Strachan PA, Maxwell GM. An empirical validation of modeling solar gain through a glazing unit with external and internal shading screens. *Appl Therm Eng* 2007 2;27(2-3):528-38.
248. Loutzenhiser PG, Manz H, Moosberger S, Maxwell GM. An empirical validation of window solar gain models and the associated interactions. *International Journal of Thermal Sciences* 2009 1;48(1):85-95.
249. Lu Q, Qiu S, Su G, Tian W, Ye Z. Experimental research on heat transfer of natural convection in vertical rectangular channels with large aspect ratio. *Exp Therm Fluid Sci* 2010;34(1):73-80.
250. Lu Q, Ye Z, Qiu S, Su G. Experiment on heat transfer of natural convection in vertical narrow rectangular channels. *Hsi an Chiao Tung Ta Hsueh* 2009;43(3):10,13+41.
251. Lu Y, Wang S, Shan K. Design optimization and optimal control of grid-connected and standalone nearly/net zero energy buildings. *Appl Energy* 2015 10/1;155:463-77.
252. Luo C, Ji J, Xiong J, Fan M, Sun L, Liao M. Experimental study of a building-integrated dual-function solar collector system. *J Renewable Sustainable Energy* 2015;7(4).
253. Macdonald I, Strachan P. Practical application of uncertainty analysis. *Energy Build* 2001 2;33(3):219-27.
254. Design of compact BIPV façades for the buildings at the university of technology sydney (UTS). *Proceedings of the ASME summer heat transfer conference 2009, HT2009; 2009. .*
255. Madsen H, Holst J. Estimation of continuous-time models for the heat dynamics of a building. *Energy Build* 1995 3;22(1):67-79.
256. Flow visualization and air temperature measurements in symmetrically heated vertical channels with adiabatic extensions. *American society of mechanical engineers, heat transfer division, (publication) HTD; 2002. .*
257. Manca O, Nardini S. Thermal design of uniformly heated inclined channels in natural convection with and without radiative effects. *Heat Transfer Eng* 2002;22(2):13-28.

258. Manca O, Nardini S, Ricci D, Tamburrino S. Numerical study of transient natural convection in air in vertical divergent channels. *Numer Heat Transfer Part A Appl* 2011;60(7):580-603.
259. Manz H. Numerical simulation of heat transfer by natural convection in cavities of facade elements. *Energy Build* 2003;35(3):305-11.
260. Manz H, Frank T. Thermal simulation of buildings with double-skin façades. *Energy Build* 2005 11;37(11):1114-21.
261. Manz H, Loutzenhiser P, Frank T, Strachan PA, Bundi R, Maxwell G. Series of experiments for empirical validation of solar gain modeling in building energy simulation codes—Experimental setup, test cell characterization, specifications and uncertainty analysis. *Build Environ* 2006 12;41(12):1784-97.
262. Manz H, Schaelin A, Simmler H. Airflow patterns and thermal behavior of mechanically ventilated glass double façades. *Build Environ* 2004 9;39(9):1023-33.
263. Manz H. Total solar energy transmittance of glass double façades with free convection. *Energy Build* 2004 2;36(2):127-36.
264. Manz H. Numerical simulation of heat transfer by natural convection in cavities of facade elements. *Energy Build* 2003 3;35(3):305-11.
265. Marcondes F, De Souza Melo V, Gurgel JM. Numerical analysis of natural convection in parallel, convergent, and divergent open-ended channels. *Int J Numer Methods Heat Fluid Flow* 2006;16(3):304-23.
266. Marcondes F, Maliska CR. Treatment of the inlet boundary conditions in natural-convection flows in open-ended channels. *Numer Heat Transfer Part B Fundam* 1999;35(3):317-45.
267. Marinosci C, Semprini G, Morini GL. Experimental analysis of the summer thermal performances of a naturally ventilated rainscreen façade building. *Energy Build* 2014;72:280-7.
268. Marinosci C, Strachan PA, Semprini G, Morini GL. Empirical validation and modelling of a naturally ventilated rainscreen faade building. *Energy Build* 2011;43(4):853-63.
269. Marques da Silva F, Gomes MG, Rodrigues AM. Measuring and estimating airflow in naturally ventilated double skin facades. *Build Environ* 2015;87:292-301.
270. Martin K, Campos-Celador A, Escudero C, Gómez I, Sala JM. Analysis of a thermal bridge in a guarded hot box testing facility. *Energy Build* 2012 7;50:139-49.
271. Martin K, Escudero C, Erkoreka A, Flores I, Sala JM. Equivalent wall method for dynamic characterisation of thermal bridges. *Energy Build* 2012 12;55:704-14.
272. Martínez-Suástegui L, Treviño C. Transient laminar opposing mixed convection in a differentially and asymmetrically heated vertical channel of finite length. *Int J Heat Mass Transf* 2008;51(25-26):5991-6005.
273. Martínez-Suástegui L, Treviño C. Particle image velocimetry measurements for opposing flow in a vertical channel with a differential and asymmetric heating condition. *Exp Therm Fluid Sci* 2007;32(1):262-75.
274. Martynenko OG, SpringerLink. Free-convective heat transfer. 1 Ed ed. Berlin; New York: Springer; 2005.

275. Dummy natural convection heat transfer in vertical fluid layers of high aspect ratio. ASME/JSME 2011 8th thermal engineering joint conference, AJTEC 2011; 2011..
276. Matuska T, Sourek B. Façade solar collectors. Sol Energy 2006;80(11):1443-52.
277. First measurement results of a pilot building with transparent façade collectors. Energy procedia; 2014. .
278. McEvoy ME, Southall RG, Baker PH. Test cell evaluation of supply air windows to characterise their optimum performance and its verification by the use of modelling techniques. Energy Build 2003 11;35(10):1009-20.
279. Mei L, Infield D, Eicker U, Fux V. Thermal modelling of a building with an integrated ventilated PV façade. Energy Build 2003 7;35(6):605-17.
280. Mejri O, Palomo Del Barrio E, Ghrab-Morcós N. Energy performance assessment of occupied buildings using model identification techniques. Energy Build 2011 0;43(2-3):285-99.
281. Melgaard H, Madsen H. CTLSM: Continuous time linear stochastic modelling. in: Bloem JJ, editor. workshop on application of system identification in energy savings in buildings; p. 41-71. EUR 15566. 1994.
282. Méndez Echenagucia T, Capozzoli A, Cascone Y, Sassone M. The early design stage of a building envelope: Multi-objective search through heating, cooling and lighting energy performance analysis. Appl Energy 2015;154:577-91.
283. Mingotti N, Chenvidyakarn T, Woods AW. The fluid mechanics of the natural ventilation of a narrow-cavity double-skin facade. Build Environ 2011;46(4):807-23.
284. Mitra A, Dutta TK, Ghosh DN. Augmentation of heat transfer in a bubble agitated vertical rectangular channel. Heat Mass Transfer 2012;48(4):695-704.
285. Mohamad AA, Sezai I. Natural convection in C-shaped thermosyphon. Numer Heat Transfer Part A Appl 1997;32(3):311-23.
286. Moon JW, Lee J-, Chang JD, Kim S. Preliminary performance tests on artificial neural network models for opening strategies of double skin envelopes in winter. Energy Build 2014;75:301-11.
287. Moon JW, Lee J-, Kim S. Evaluation of artificial neural network-based temperature control for optimum operation of building envelopes. Energies 2014;7(11):7245-65.
288. Morrone B. Natural convection between parallel plates with conjugate conductive effects. Numer Heat Transfer Part A Appl 2001;40(8):873-86.
289. Moukalled F, Lakkis I. Natural-convection heat transfer in channels with isoflux convex surfaces. Heat Transfer Eng 2009;30(14):1151-65.
290. Muneer T, Kubie J, Grassie T. Heat transfer : A problem solving approach . 1st ed. New York: Taylor & Francis; 2003. .
291. Nakamura H, Asako Y, Naitou T. Heat transfer by free convection between two parallel flat plates. Numer Heat Transfer 1982;5:95-106.

292. Nasri Z, Laatar AH, Balti J. Natural convection enhancement in an asymmetrically heated channel-chimney system. *Int J Therm Sci* 2015;90:122-34.
293. Naticchia B, D'Orazio M, Carbonari A, Persico I. Energy performance evaluation of a novel evaporative cooling technique. *Energy Build* 2010;42(10):1926-38.
294. Naveros I, Bacher P, Ruiz DP, Jiménez MJ, Madsen H. Setting up and validating a complex model for a simple homogeneous wall. *Energy Build* 2014;70:303-17.
295. Nelson DJ, Wood BD. Combined heat and mass transfer natural convection between vertical parallel plates. *Int J Heat Mass Transf* 1989;32(9):1779-87.
296. Experimental and numerical investigation of a mechanically ventilated, multiple skin façade with between-the-panes venetian blinds. *ASHRAE transactions*; 2010. .
297. Nield DA. Forced convection in a parallel plate channel with asymmetric heating. *Int J Heat Mass Transfer* 2004 12;47(25):5609-12.
298. Nizovtsev MI, Belyi VT, Sterlygov AN. The facade system with ventilated channels for thermal insulation of newly constructed and renovated buildings. *Energy Build* 2014;75:60-9.
299. Norlén U. Estimating thermal parameters of outdoor test cells. *Build Environ* 1990;25(1):17-24.
300. Ogunfunmi T. Adaptive nonlinear system identification. New York; London: Springer; 2007.
301. Olaf G. Parameter identification with the software package LORD. *Build Environ* 2008 2;43(2):163-9.
302. DYNASTEE, editor. Parameter identification under difficult conditions - how much information is contained in the objective function? ; 12-14 October 2005; ; 2005. id: 183.
303. Olivieri L, Frontini F, Polo-López C, Pahud D, Caamaño-Martín E. G-value indoor characterization of semi-transparent photovoltaic elements for building integration: New equipment and methodology. *Energy Build* 2015;101:84-94.
304. Olsson C-. Prediction of nusselt number and flow rate of bouyancy driven flow between vertical parallel plates. *J Heat Transf* 2004;126(1):97-104.
305. Flow dynamics in a double-skin façade. Proceedings of the 3rd WSEAS international conference on finite differences - finite elements - finite volumes - boundary elements, F-and-B '10; 2010. .
306. Ospir D, Popa C, Chereches C, Polidori G, Fohanno S. Flow visualization of natural convection in a vertical channel with asymmetric heating. *Int Commun Heat Mass Transf* 2012;39(4):486-93.
307. Oyinlola MA, Shire GSF, Moss RW. The significance of scaling effects in a solar absorber plate with micro-channels. *Appl Therm Eng* 2015;90:499-508.
308. Palomo Del Barrio E, Guyon G. Theoretical basis for empirical model validation using parameters space analysis tools. *Energy Build* 2003 11;35(10):985-96.
309. Pantic S, Candanedo L, Athienitis AK. Modeling of energy performance of a house with three configurations of building-integrated photovoltaic/thermal systems. *Energy Build* 2010;42(10):1779-89.
310. Papanastasiou TC, Alexandrou AN, Georgiou GC. Viscous fluid flow. CRC Press; 2000.

311. Pappas A, Zhai Z. Numerical investigation on thermal performance and correlations of double skin façade with buoyancy-driven airflow. *Energy Build* 2008;40(4):466-75.
312. Park J, Kim T, Leigh S-. Application of a phase-change material to improve the electrical performance of vertical-building-added photovoltaics considering the annual weather conditions. *Sol Energy* 2014;105:561-74.
313. Pasut W, De Carli M. Evaluation of various CFD modelling strategies in predicting airflow and temperature in a naturally ventilated double skin façade. *Appl Therm Eng* 2012 5;37:267-74.
314. Pisello AL, Cotana F, Nicolini A, Buratti C. Effect of dynamic characteristics of building envelope on thermal-energy performance in winter conditions: In field experiment. *Energy Build* 2014;80:218-30.
315. Polidori G, Fatnassi S, Ben Maad R, Fohanno S, Beaumont F. Early-stage dynamics in the onset of free-convective reversal flow in an open-ended channel asymmetrically heated. *Int J Therm Sci* 2014;88:40-6.
316. Pop I, Ingham DB. *Convective heat transfer*. Oxford: Pergamon; 2001..
317. Popa C, Ospir D, Fohanno S, Chereches C. Numerical simulation of dynamical aspects of natural convection flow in a double-skin façade. *Energy Build* 2012;50:229-33.
318. Poulad ME, Naylor D, Oosthuizen PH. Measurement of time-averaged turbulent free convection in a tall enclosure using interferometry. *J Heat Transf* 2011;133(4).
319. Quesada G, Rouse D, Dutil V, Badache M, Hallé S. A comprehensive review of solar facades. opaque solar facades. *Renewable Sustainable Energy Rev* 2012;16(5):2820-32.
320. Ramanathan S, Kumar R. Correlations for natural convection between heated vertical plates. *Journal of Heat Transfer*, 113 (1991), Pp 97–107 1991;113:97-107.
321. Ramdani N, Candau Y, Dautin S, Delille S, Rahni N, Dalicieux P. How to improve building thermal simulation programs by use of spectral analysis. *Energy Build* 1997;25(3):223-42.
322. Reda F. Long term performance of different SAGSHP solutions for residential energy supply in finland. *Appl Energy* 2015;144:31-50.
323. Richter J, Lu F, Zeiler W, Boxem G, Labeodan T. Double façades: Comfort and ventilation aspects at an extremely complex case study. *Int J Sustainable Energy* 2015;34(8):485-505.
324. Thermal performance of uninsulated and partially filled wall cavities. *ASHRAE transactions*; 2011.
325. Rodrigues AM, Aelenei L. Thermal performance of a naturally ventilated cavity wall. *Int J Energy Res* 2010;34(4):357-72.
326. Roeleveld D, Naylor D. Flow visualization of natural convection in vertical channels with opposing buoyancy forces. *Exp Therm Fluid Sci* 2014;54:61-70.
327. Roeleveld D, Naylor D, Leong WH. Free convection in asymmetrically heated vertical channels with opposing buoyancy forces. *J Heat Transf* 2014;136(6).
328. Rohsenow WM, Hartnett JPG,E.N. *Handbook of heat transfer fundamentals*. United States, New York, NY: McGraw-Hill Book Co.; 1998. .

329. Romila C, Popovici CG, Chereches N-. Reduction of building energy consumption using ventilated façades. *Environ Eng Manage J* 2012;11(4):806-11.
330. Ryan D, Burek SAM. Experimental study of the influence of collector height on the steady state performance of a passive solar air heater. *Sol Energy* 2010;84(9):1676-84.
331. Ryan EM, Sanquist TF. Validation of building energy modeling tools under idealized and realistic conditions. *Energy Build*(0).
332. Sadineni SB, Madala S, Boehm RF. Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable Sustainable Energy Rev* 2011;15(8):3617-31.
333. Saelens D, Hens H. Experimental evaluation of airflow in naturally ventilated active envelopes. *J Therm Envelope Build Sci* 2001;25(2):101-27.
334. Saelens D, Roels S, Hens H. The inlet temperature as a boundary condition for multiple-skin facade modelling. *Energy Build* 2004;36(8):825-35.
335. Saelens D, Roels S, Hens H. Strategies to improve the energy performance of multiple-skin facades. *Build Environ* 2008 4;43(4):638-50.
336. Safer N, Woloszyn M, Roux JJ. Three-dimensional simulation with a CFD tool of the airflow phenomena in single floor double-skin facade equipped with a venetian blind. *Sol Energy* 2005;79(2):193-203.
337. Salah El-Din MM. Effect of thermal and mass buoyancy forces on the development of laminar mixed convection between vertical parallel plates with uniform wall heat and mass fluxes. *Int J Therm Sci* 2003;42(5):447-53.
338. Saleh H, Hashim I. Flow reversal of fully-developed mixed MHD convection in vertical channels. *Chin Phys Lett* 2010;27(2).
339. Sanjuan C, Suárez MJ, González M, Pistono J, Blanco E. Energy performance of an open-joint ventilated façade compared with a conventional sealed cavity façade. *Sol Energy* 2011;85(9):1851-63.
340. Santos PLd. Linear parameter-varying system identification :New developments and trends. Singapore; London: World Scientific; 2012.
341. Sanvicente E, Giroux-Julien S, Ménézo C, Bouia H. Transitional natural convection flow and heat transfer in an open channel. *Int J Therm Sci* 2013;63:87-104.
342. Schlichting H, Gersten K. Boundary-layer theory. 8th ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2000.
343. Schreitmüller K, et a. Design of an advanced passive solar test facility. DFVLR Stuttgart. Report prepared for the Commission of the European Communities, Directorate General XII for Science Research and Development, Brussels. 1985.
344. Sefcik DM, Webb BW, Heaton HS. Analysis of natural convection in vertically-vented enclosures. *Int J Heat Mass Transf* 1991;34(12):3037-46.
345. Seferis P, Strachan P, Dimoudi A, Androutopoulos A. Investigation of the performance of a ventilated wall. *Energy Build* 2011 9;43(9):2167-78.



346. Seo D-, Koo C, Hong T. A lagrangian finite element model for estimating the heating and cooling demand of a residential building with a different envelope design. *Appl Energy* 2015;142:66-79.
347. Serra V, Zanghirella F, Perino M. Experimental evaluation of a climate façade: Energy efficiency and thermal comfort performance. *Energy Build* 2010 1;42(1):50-62.
348. Shah RK, London AL, Irvine TF, Hartnett JP. *Laminar flow forced convection in ducts*. Academic Press; 1978.
349. Shang D, SpringerLink. *Free convection film flows and heat transfer*. 2nd ed. Berlin; New York: Springer; 2012.
350. Shang D. *Free convection film flows and heat transfer*. Berlin: Springer; 2006.
351. Skok H, Ramadhani S, Schoenhals RJ. Natural convection in a side-facing open cavity. *Int J Heat Fluid Flow* 1991;12(1):36-45.
352. Søren Østergaard J. Validation of building energy simulation programs: A methodology. *Energy Build* 1995;22(2):133-44.
353. Soto Francés VM, Sarabia Escriba EJ, Pinazo Ojer JM, Bannier E, Cantavella Soler V, Silva Moreno G. Modeling of ventilated façades for energy building simulation software. *Energy Build* 2013;65:419-28.
354. Sparrow EM, Azevedo LFA. Vertical-channel natural convection spanning between the fully-developed limit and the single-plate boundary-layer limit. *Int J Heat Mass Transf* 1985;28(10):1847-57.
355. Sparrow EM, Chrysler GM, Azevedo LF. Observed flow reversals and measured-predicted nusselt numbers for natural convection in a one-sided heated vertical channel. *J Heat Transfer Trans ASME* 1984;106(2):325-32.
356. Stazi F, Vegliò A, Di Perna C. Experimental assessment of a zinc-titanium ventilated façade in a mediterranean climate. *Energy Build* 2014;69:525-34.
357. Strachan PA. Simulation support for performance assessment of building components. *Build Environ* 2008 2;43(2):228-36.
358. Strachan PA. Model validation using the PASSYS test cells. *Build Environ* 1993 4;28(2):153-65.
359. Strachan PA, Baker PH. Outdoor testing, analysis and modelling of building components. *Build Environ* 2008 2;43(2):127-8.
360. Strachan PA, Vandaele L. Case studies of outdoor testing and analysis of building components. *Build Environ* 2008 2;43(2):129-42.
361. Suárez C, Joubert P, Molina JL, Sánchez FJ. Heat transfer and mass flow correlations for ventilated facades. *Energy Build* 2011;43(12):3696-703.
362. Sun W, Ji J, Luo C, He W. Performance of PV-trombe wall in winter correlated with south façade design. *Appl Energy* 2011;88(1):224-31.
363. Sun Y, Huang P, Huang G. A multi-criteria system design optimization for net zero energy buildings under uncertainties. *Energy Build* 2015;97:196-204.

364. Sung UJ, Cho S, Seo DH, Song KD. Analysis of reduced cooling load for a multistorey-building incorporating a ventilated double skin façade with a solar chimney channel. *Int J Vent* 2013;11(4):381-92.
365. Tangirala AK. Principles of system identification :Theory and practice. CRC Press, Taylor & Francis Group; 2015.
366. Tellez F. Checking confidence intervals estimation by MRQT identification method, in: Workshop on application of system identification in energy savings in buildings, pp.281, edited by J.J. bloem, 1994.
367. Terekhov VI, Ekaid AL. Laminar natural convection between vertical isothermal heated plates with different temperatures. *J Eng Thermophys* 2011;20(4):416-33.
368. Terés-Zubiaga J, Campos-Celador A, González-Pino I, Escudero-Revilla C. Energy and economic assessment of the envelope retrofitting in residential buildings in northern Spain. *Energy Build* 2015;86:194-202.
369. Terés-Zubiaga J, Escudero C, García-Gafaro C, Sala JM. Methodology for evaluating the energy renovation effects on the thermal performance of social housing buildings: Monitoring study and grey box model development. *Energy Build* 2015 9/1;102:390-405.
370. Tetsu F, Shigeru K, Buenconsejo Jr. NS. Laminar free convection flow rate in a vertical tube. *Int J Heat Mass Transf* 1988;31(4):831-41.
371. Thiers S, Peuportier B. Energy and environmental assessment of two high energy performance residential buildings. *Build Environ* 2012 5;51(0):276-84.
372. Tkachenko OA, Timchenko V, Giroux-Julien S, Ménézo C, Yeoh GH, Reizes JA, Sanvicente E, Fossa M. Numerical and experimental investigation of unsteady natural convection in a non-uniformly heated vertical open-ended channel. *International Journal of Thermal Sciences* 2016 1;99:9-25.
373. Toro EF. Riemann solvers and numerical methods for fluid dynamics :A practical introduction. 2nd ed. Berlin; New York: Springer-Verlag; 1999.
374. Tronchin L, Fabbri K. A round robin test for buildings energy performance in Italy. *Energy Build* 2010 10;42(10):1862-77.
375. van Dijk D, Versluis R. PV-HYBRID-PAS: Results of thermal performance assessment, Vienna. Proceedings 2nd World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion 1998.
376. Van Dijk HAL, Van der Linden GP. The PASSYS method for testing passive solar components. *Build Environ* 1993 4;28(2):115-26.
377. van Dijk H, van der Linden G. MRQT user guide; manual for MRQT and the package MRQT/PASTA. in: Bloem JJ, editor. workshop on application of system identification in energy savings in buildings. p. 3-39,1994.
378. Vandaele L, Wouters P. *The PASSYS services: Summary report*. BBRI & European Commission – Directorate – General XII, EUR 15113 EN, Brussels, 1994.
379. Wang LV. System identification with quantized observations. Boston: Birkhäuser; 2010.

380. Wang Y, Liu Y, Wang D, Liu J. Effect of the night ventilation rate on the indoor environment and air-conditioning load while considering wall inner surface moisture transfer. *Energy Build* 2014;80:366-74.
381. Wang ZY, Zhang TY, Liu CR, Yang SF, Cui N. Research review of impact of double skin facade's structural factors on cavity heat transfer. *Adv Mater Res* 2014;1030-1032:588-93.
382. Warre P. Integral building envelope performance assessment. *Energy Conservation in Buildings I and Community Systems* ed. United Kingdom: FaberMaunsell Ltd; 2003. Technical Synthesis Report IEA ECBCS Annex 32.
383. Warsi ZUA. Fluid dynamics :Theoretical and computational approaches. 3rd ed. Boca Raton: Taylor & Francis; 2006.
384. Wingfield J, MilesShenton D, Bell M. Comparison of measured versus predicted heat loss for new build UK dwellings – unpublished data, leeds metropolitan university, leeds, UK. ; 2011.
385. Wouters P, Vandaele L, Voit P, Fisch N. The use of outdoor test cells for thermal and solar building research within the PASSYS project. *Build Environ* 1993 4;28(2):107-13.
386. Wright JL, Jin H, Hollands KGT, Naylor D. Flow visualization of natural convection in a tall, air-filled vertical cavity. *Int J Heat Mass Transf* 2006;49(5-6):889-904.
387. Xamán J, Álvarez G, Lira L, Estrada C. Numerical study of heat transfer by laminar and turbulent natural convection in tall cavities of façade elements. *Energy Build* 2005;37(7):787-94.
388. Xu XW, Su YX. Modeling of natural ventilation in built-in photovoltaic-trombe wall. *Appl Mech Mater* 2014;448-453:1537-41.
389. Yadav V, Kant K. Convective cooling of a PCB like surface with mixed heating conditions in a vertical channel. *Trans ASME* 2007;129(2):129-43.
390. Yan WM, Lin TF. Heat transfer in buoyancy-driven channel flows with the simultaneous presence of laminar, transitional and turbulent flow regimes. *Heat Mass Transfer* 1989;24(2):125-32.
391. Yang HX, Zhu ZJ. Numerical study on transient laminar natural convection in an inclined parallel- walled channel. *Int Commun Heat Mass Transf* 2003;30(3):359-67.
392. Yang Y, Wang Q, Xiu D, Zhao Z, Sun Q. A building integrated solar collector: All-ceramic solar collector. *Energy Build* 2013;62:15-7.
393. Yih Nen Jeng, Jiann Lin Chen, Win Aung. On the reynolds-number independence of mixed convection in a vertical channel subjected to asymmetric wall temperatures with and without flow reversal. *Int J Heat Fluid Flow* 1992;13(4):329-39.
394. Yilmaz T, Fraser SM. Turbulent natural convection in a vertical parallel-plate channel with asymmetric heating. *Int J Heat Mass Transf* 2007;50(13-14):2612-23.
395. Yilmaz T, Gilchrist A. Temperature and velocity field characteristics of turbulent natural convection in a vertical parallel-plate channel with asymmetric heating. *Heat Mass Transfer* 2007;43(7):707-19.
396. Comparative study of static vs. dynamic controls of double-skin systems. IBPSA 2009 - international building performance simulation association 2009; 2009.

397. Zalewski L, Chantant M, Lassue S, Duthoit B. Experimental thermal study of a solar wall of composite type. *Energy Build* 1997 2/15;25(1):7-18.
398. Zalewski L, Joulin A, Lassue S, Dutil Y, Rouse D. Experimental study of small-scale solar wall integrating phase change material. *Sol Energy* 2012;86(1):208-19.
399. Zamora B, Hernández J. Influence of variable property effects on natural convection flows in asymmetrically-heated vertical channels. *Int Commun Heat Mass Transf* 1997;24(8):1153-62.
400. Zamora B, Kaiser AS. Optimum wall-to-wall spacing in solar chimney shaped channels in natural convection by numerical investigation. *Appl Therm Eng* 2009 3;29(4):762-9.
401. Zeng Z, Li X, Li C. CFD modeling method study on natural ventilation performance of double skin façade. *Taiyangneng Xuebao* 2013;34(12):2095-100.
402. Zeytounian RK. *Theory and applications of viscous fluid flows*. New York: Springer; 2003.
403. Zienkiewicz OC, Taylor RL, Nithiarasu P. *The finite element method for fluid dynamics*. Oxford: Butterworth-Heinemann; 2014. .
404. Zogou O, Stapountzis H. Flow and heat transfer inside a PV/T collector for building application. *Appl Energy* 2012;91(1):103-15.











*Makina eta Motor  
Termikoak Saila  
Departamento de Máquinas  
y Motores Térmicos*





# ANEXOS

## Caracterización Experimental del Comportamiento Energético de Fachadas Ventiladas

*César Escudero Revilla*  
2016



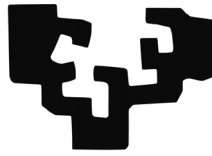
**Fotografía portada:**  
***James Natchwey***







eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea



*Makina eta Motor  
Termikoak Saila  
Departamento de Máquinas  
y Motores Térmicos*

## Anexos

# Caracterización Experimental del Comportamiento Energético de Fachadas Ventiladas

César Escudero Revilla  
(Ingeniero Industrial)

Universidad del País Vasco (UPV/EHU), en cumplimiento con los requisitos para el grado de doctor dentro del programa de doctorado Ingeniería Térmica del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos

Directores de Tesis:  
Dr. José María Pedro Sala Lizarraga  
Dr. Koldobika Martín Escudero

Vitoria-Gasteiz, 2016



# Índice



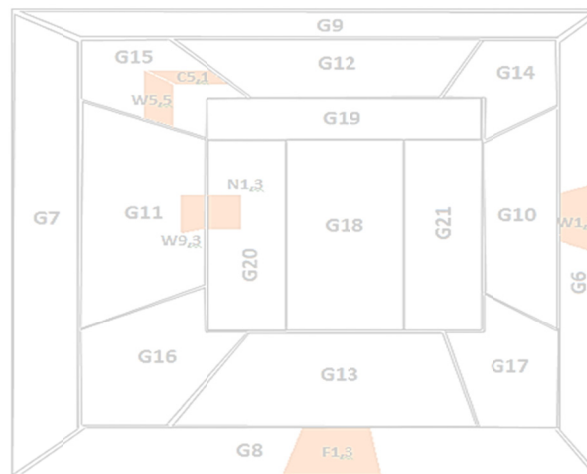
Anexo A.....	1
A.1 Rutinas de ensayo.....	3
A.2 Datos experimentales .....	5
A.2.1 Rutina ROLBS .....	5
A.2.2 Rutina PRBS.....	12
A.3 Modelos experimentales .....	18
A.3.1 Modelo de la celda .....	18
A.3.2 Modelo del muro de calibración.....	61
Anexo B.....	89
B.1 Datos experimentales.....	91
B.1.1 Primer componente .....	91
B.1.2 Segundo componente.....	96
B.2 Modelos matemáticos.....	101
B.2.2 Modelos del primer componente.....	101
B.2.3 Modelos del segundo componente.....	116
Anexo C.....	127
C.1 Muro base .....	129
C.1.1 Instrumentación de la muestra .....	129
C.1.2 Datos experimentales complementarios.....	131
C.2 Muro base con aislamiento .....	137
C.2.1 Instrumentación de la muestra .....	137
C.2.2 Datos experimentales complementarios.....	139
C.3 Fachada ventilada ligera .....	145
C.3.1 Instrumentación de la muestra .....	145
C.3.2 Datos experimentales ensayo de contraste .....	148
C.4 Fachada ventilada pesada.....	154
C.4.1 Instrumentación de la muestra .....	154
C.4.2 Datos experimentales ensayo de contraste .....	157
C.5 Fachada ventilada forzada .....	163
C.5.1 Instrumentación de la muestra .....	163
C.5.2 Datos experimentales ensayos de contraste .....	166
C.6 Ensayo de infiltraciones .....	171
Anexo D .....	175
D.1 Modelo de muro base sin aislamiento .....	177
D.1.1 Modelo unidimensional .....	177
D.1.2 Modelo completo .....	180
D.2 Modelo de muro base con aislamiento.....	184
D.2.1 Modelo unidimensional .....	184
D.2.2 Modelo completo .....	187
D.3 Modelo de fachada ventilada.....	192
D.3.1 Modelo CFD .....	192
D.3.2 Modelo de parámetros concentrados.....	211





# Anexo A

## Ensayo de Calibración





## A.1 Rutinas de ensayo

Como se indica en el apartado 2.1.1 del Capítulo 2 para la realización de los ensayos se emplea dos tipos de rutinas denominadas PRBS (Pseudo Random Binary Sequence) y ROLBS (Randomly Ordered Logarithmically distributed Binary Sequence). La forma de ambas secuencias se muestra en la Figura A.1.

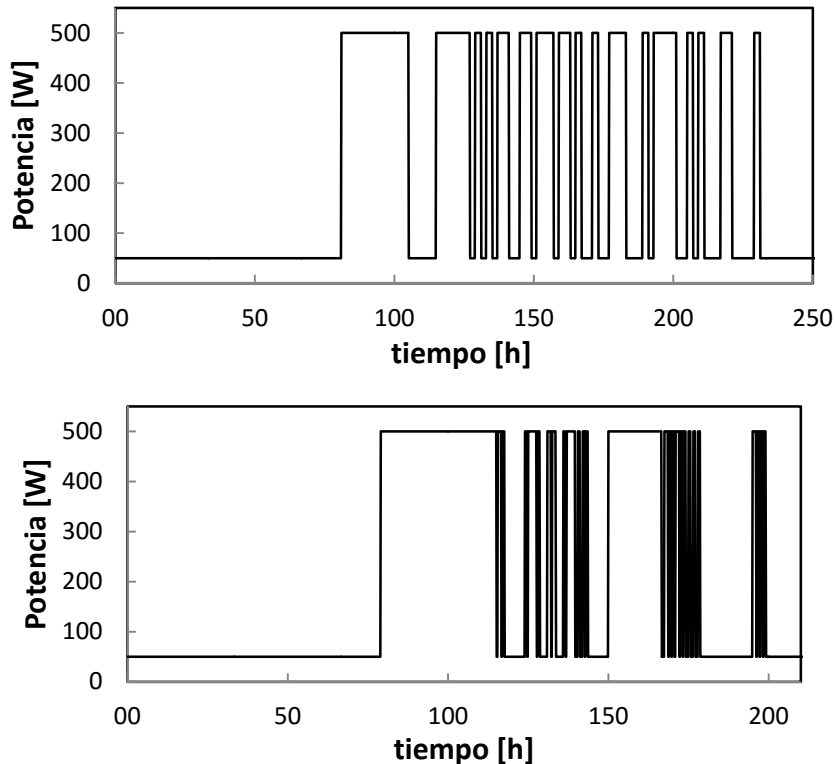


Figura A.1 – Rutina PRBS, gráfica superior, y rutina ROLBS, gráfica inferior

En la Tabla A.1 se recogen el patrón de ambas secuencias. En el caso de la rutina PRBS el intervalo mínimo de trabajo es de  $\Delta t = 2$  [h] y la duración del ciclo de calefactor es de  $T = 152$  [h], con un periodo previo de estabilización libre, sin calentamiento, de  $T_{inicial} = 72$  [h]. Esta rutina de ensayo permite analizar el comportamiento a frecuencias medias y por tanto, adecuado para muestras con una inercia representativa. En el caso de la rutina ROLBS, el intervalo mínimo es de  $\Delta t = 0,5$  [h], y la duración del ciclo de calentamiento es de  $T = 120$  [h]. Ambas rutinas son aplicables a cualquier tipo de muestra bajo ensayo, aunque la rutina PRBS es de mayor interés en el estudio de muestras con inercia representativa, y la rutina ROLBS está más orientada a muestras ligeras. Lo idóneo se realizar ambas rutinas en todos los ensayos, como ha sido el caso del presente trabajo de tesis, pero si no se dispone del tiempo necesario la rutina base de ensayo sería la rutina ROLBS. Estas rutinas han sido desarrolladas por la red PASLINK, y están recogidas dentro de la documentación y manuales asociados, pero en algunos casos es complicado acceder a dicha información. En este documento simplemente se quiere hacer más accesible dichos datos para otros investigadores.

PRBS		ROLBS		ROLBS	
$\Delta t$ [h]	calefactor	$\Delta t$ [h]	calefactor	$\Delta t$ [h]	Calefactor
72	0	72	0	1	0
24	1	36	1	0,5	1
10	0	0,5	0	1	0
12	1	1	1	0,5	1
2	0	0,5	0	1	0
2	1	6,5	1	0,5	1
2	0	0,5	0	16,5	0
2	1	0,5	1	1	1
2	0	0,5	0	0,5	0
4	1	2,5	1	0,5	1
4	0	0,5	0	0,5	0
4	1	0,5	1	0,5	1
2	0	2,5	0	0,5	0
6	1	1	1	0,5	1
2	0	0,5	0		
4	1	1	1		
2	0	2,5	0		
2	1	0,5	1		
4	0	0,5	0		
2	1	2,5	1		
4	0	1	0		
6	1	0,5	1		
6	0	1	0		
2	1	0,5	1		
2	0	0,5	0		
8	1	0,5	1		
4	0	6,5	0		
2	1	16,5	1		
2	0	0,5	0		
2	1	1	1		
6	0	0,5	0		
4	1	0,5	1		
8	0	0,5	0		
2	1	0,5	1		
		0,5	0		
		1	1		
		0,5	0		
		0,5	1		
		0,5	0		
		0,5	1		

Tabla A.1 – Secuencia de las rutinas PRBS y ROLBS

## A.2 Datos experimentales

El proceso de calibración se realiza aplicando las tres rutinas de ensayo usuales de trabajo, la rutina *PULSO*, *ROLBS* y *PRBS*. Este procedimiento de trabajo permite obtener unos factores de calibración más fiables y representativos del comportamiento global de la celda durante los ensayos, principalmente en la medida del flujo de calor que intercambia la envolvente de la sala de ensayos. En la memoria se expone un análisis detallado de los datos experimentales tomando como referencia la rutina *PULSO*, a continuación se muestran los datos del resto de ensayos que posteriormente se aplican al estudio de la medida de los efectos de borde y al proceso de identificación de parámetros de los modelos de la celda.

Además, el proceso de calibración corresponde con los primeros pasos en el uso de la celda *PASLINK*, y por tanto, es una fase fundamental para comenzar a conocer del comportamiento del equipo, junto con la repercusión del proceso de calibración en la fiabilidad de los resultados de ensayos posteriores durante el periodo de uso. Pero, sobre todo, es la primera toma de contacto fundamental con la metodología de trabajo. En esta primera fase no hay que escatimar en repetir las rutinas, en analizar con detalle todos los datos disponibles, comprender que sucede en cada uno de los ámbitos, como por ejemplo, medida del flujo de calor, perfiles de temperaturas, etc..., ya que es la fase en la que se deben ajustar correctamente todos los parámetros. Y aunque el equipo está diseñado con unos estándares de trazabilidad muy buenos, cada celda de ensayos es particular, y los técnicos que la empleen deben conocer su equipo con detalle para poder obtener resultados precisos y representativos.

### A.2.1 Rutina *ROLBS*

Para comenzar el proceso de calibración lo más idóneo es aplicar primero la rutina *PULSO* y posteriormente las dos rutinas con régimen aleatorio, el orden de estas puede ser cualquiera. En este caso, se comienza por la rutina *ROLBS*, y posteriormente se aplica la rutina *PRBS*. Este orden tiene como objetivo la detección de posibles errores de medida de las *tilas* o de las sondas de temperatura. La rutina *PULSO*, por su sencillez permite detectar malfuncionamientos de los sensores de medida, algún grupo específico de *tilas*, o algún sensor de las *multitilas*, o verificar la homogeneidad de las temperaturas del ambiente para el ajuste de la potencia de ventilación en la sala de ensayos. Por su complejidad, primero se comienza el análisis por la medida del flujo de calor y posteriormente se estudian las temperaturas.

#### A.2.1.1 Flujo de la envolvente

En la Figura A.2 se muestran la potencia eléctrica inyectada en el ventilador y el calefactor de la sala de ensayos junto al flujo total que atraviesa la envolvente. Como ya se comenta en la memoria, el rizado de la señal eléctrica es elevado debido a la red de abastecimiento. Este rizado, en principio no presenta mayor relevancia, pero posteriormente se emplea una *SAI*, *Sistema de Alimentación Ininterrumpida*, con un filtro que permite obtener una alimentación eléctrica de mayor calidad, lo que reduce el ruido en las medidas del conjunto de la instrumentación del ensayo, mejorando así, la calidad de la información que posteriormente se emplea en los procesos de identificación de parámetros, muy sensibles a dicho ruido.





El siguiente paso es analizar la evolución a lo largo del tiempo del flujo, comparando entre sí los grupos situados en zonas equicalentes, aplicando el chequeo de resultados esperados que se indica en la memoria. Los datos experimentales se muestran en la Figura A.4 a la Figura A.14. Como se puede observar, los resultados son similares en el comportamiento a los obtenidos en el estudio de la rutina *PULSO*, desarrollado con más detalle en la memoria.

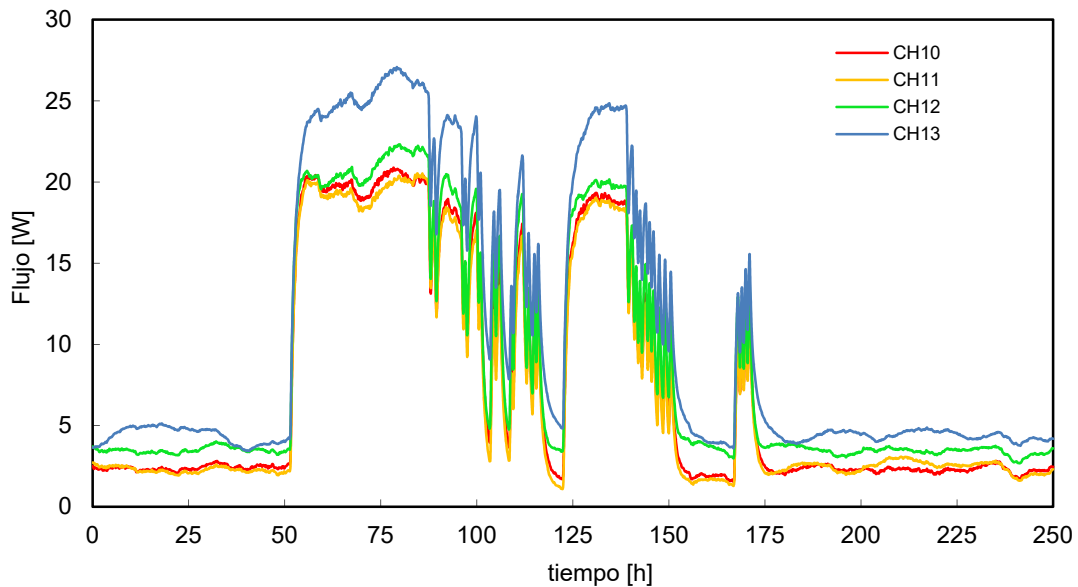


Figura A.4 – Flujo medido por los grupos centrales de la envolvente de la sala de ensayo

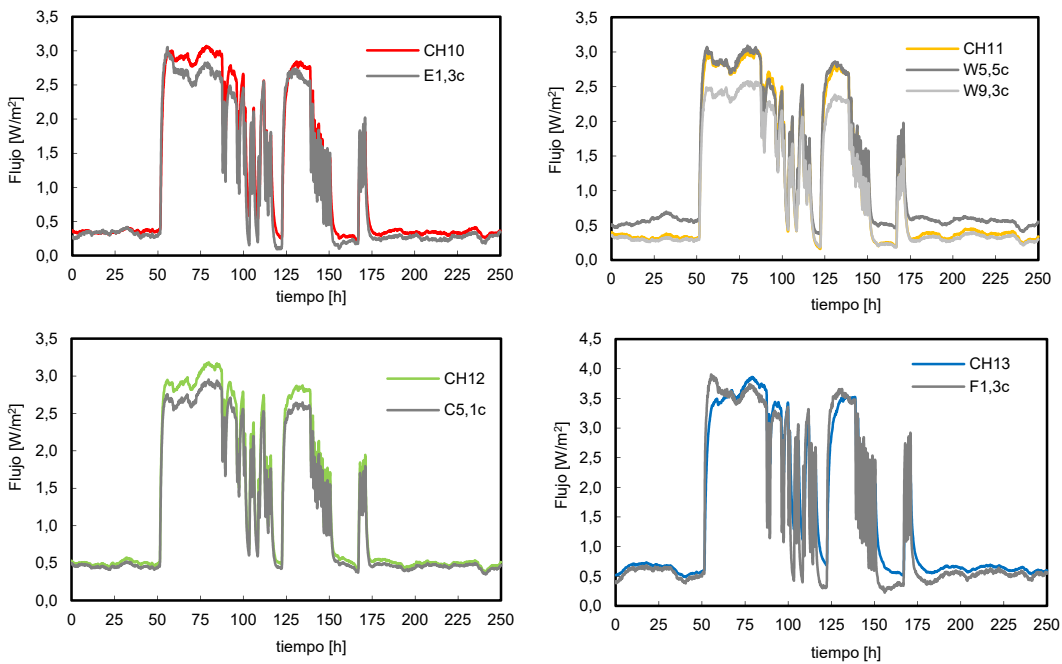


Figura A.5 – Señal de los sensores situados en la posición C de las *multitiles* y flujo por unidad de superficie de los grupos centrales equivalentes

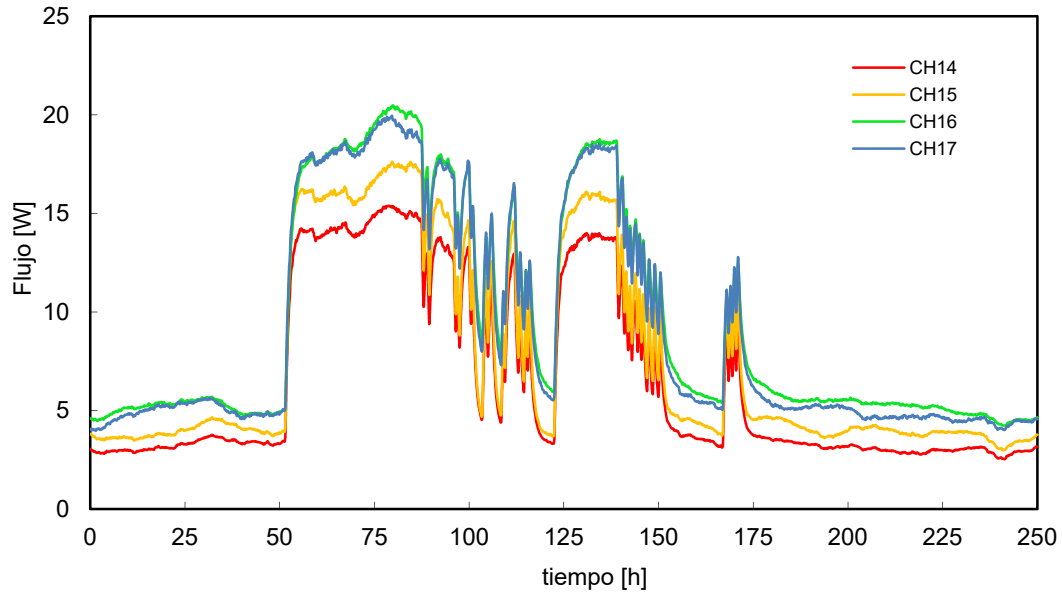


Figura A.6 – Flujo medido por los grupos de borde longitudinales, tipología 1, de la envolvente de la sala de ensayo

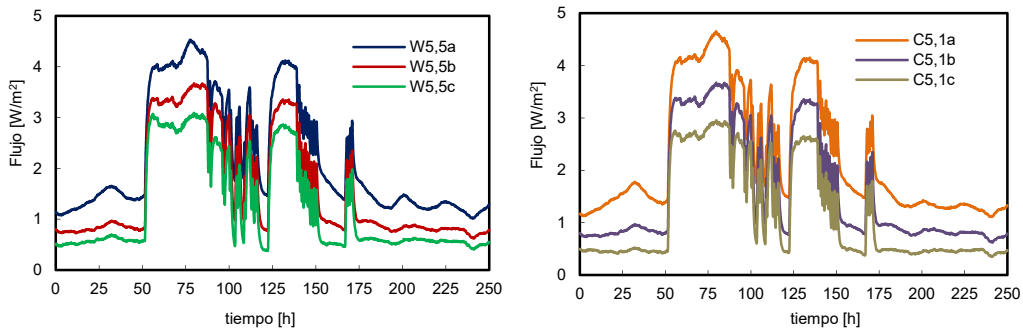


Figura A.7 – Flujo medido por los tres sensores de las multites empleadas para la caracterización de los efectos de borde longitudinales, tipología 1

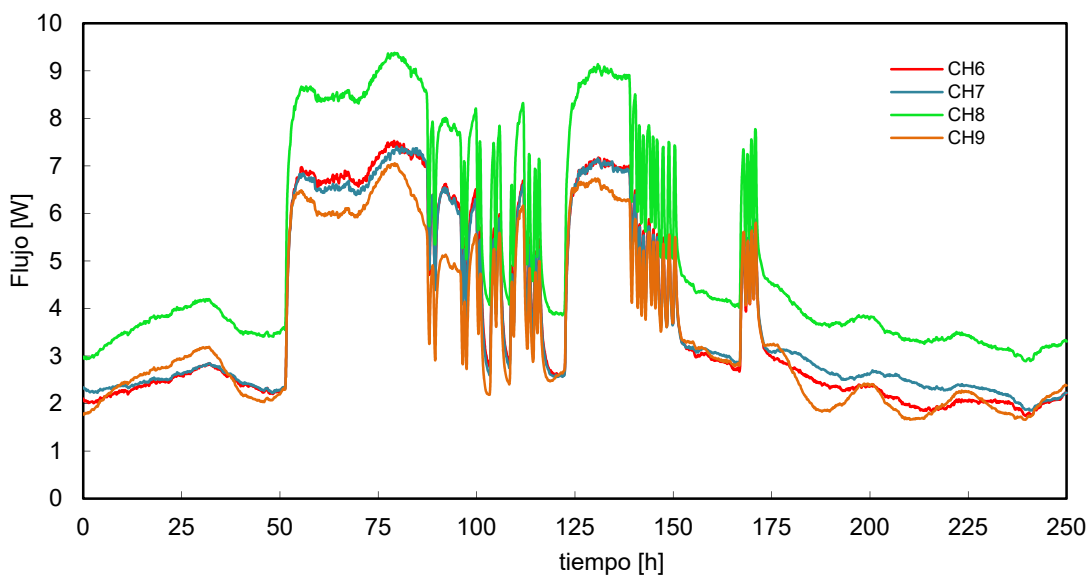


Figura A.8 – Flujo medido por los grupos de borde sur, tipología 2 y 3, de la envolvente de la sala de ensayo

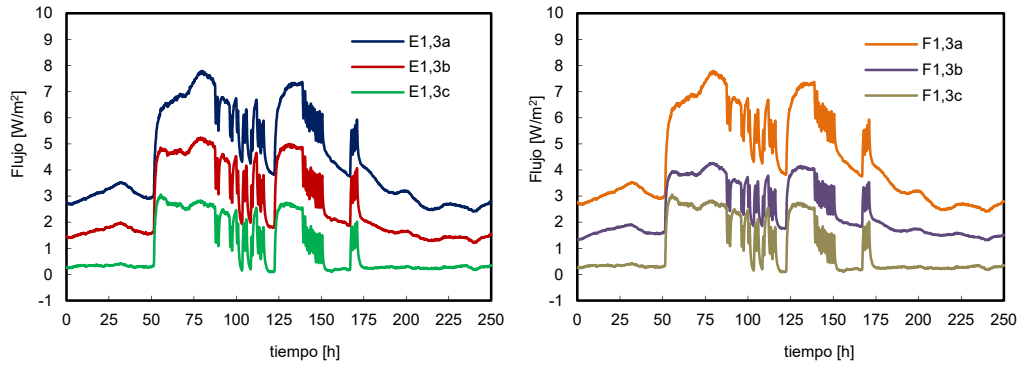


Figura A.9 – Flujo medido por los tres sensores de las *multitiles* empleadas para la caracterización de los efectos de borde sur, *tipología 2 y 3*

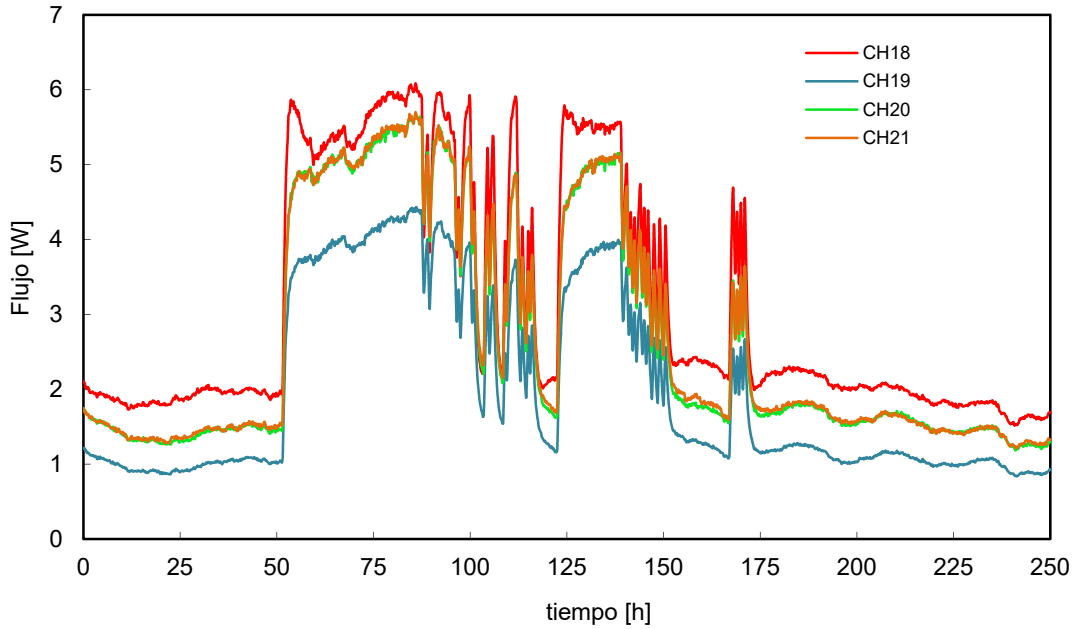


Figura A.10 – Flujo medido por los grupos de borde norte, *tipología 4*, de la envolvente de la sala de ensayo

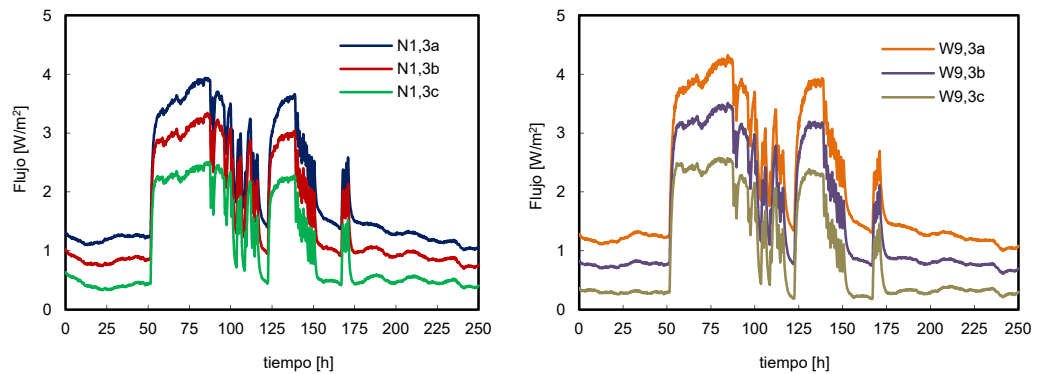


Figura A.11 – Flujo medido por los tres sensores de las *multitiles* empleadas para la caracterización de los efectos de borde norte, *tipología 4*

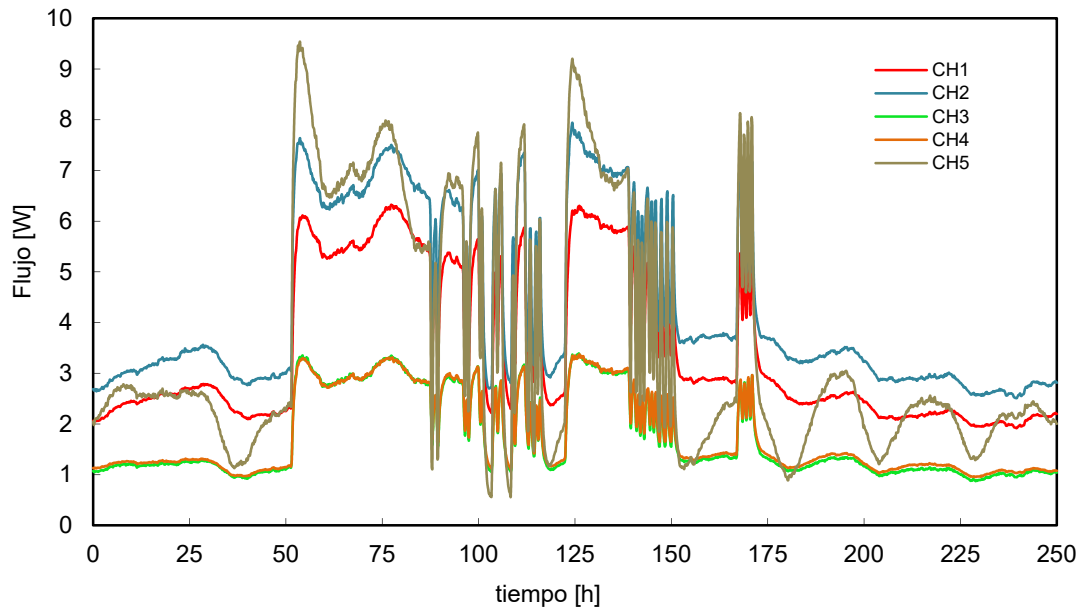


Figura A.12– Flujo medido por los grupos del muro de calibración

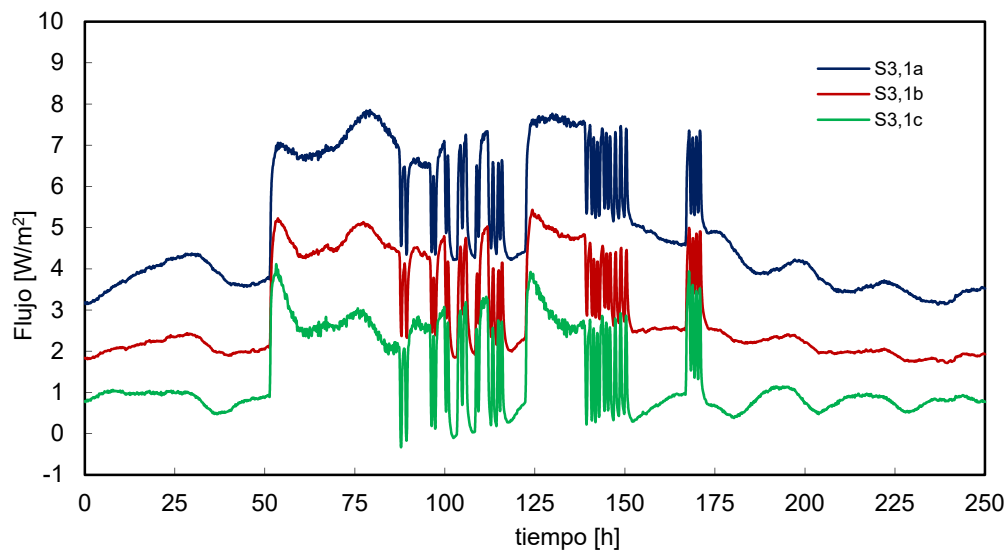


Figura A.13– Señal de los sensores situados en la posición C de las *multitiles* y flujo por unidad de superficie del grupo central del muro de calibración

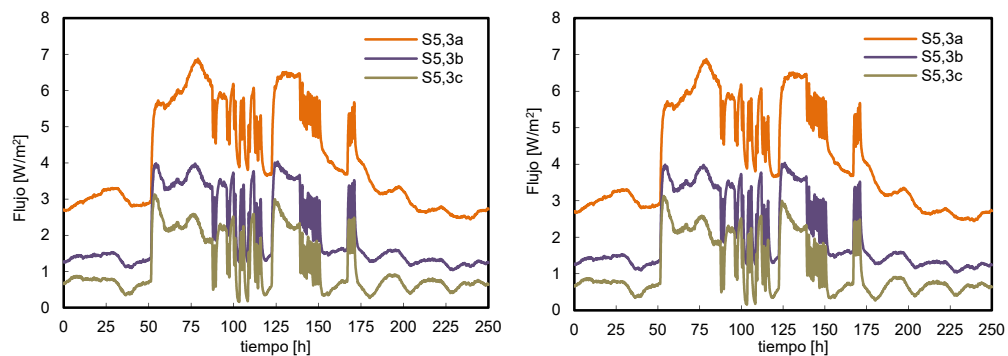


Figura A.14– Flujo medido por los tres sensores de las *multitiles* empleadas para la caracterización de los efectos de borde en el muro de calibración

### A.2.1.2 Temperaturas

El análisis de las temperaturas es fundamental para asegurar unas condiciones idóneas para el precoso de identificación de parámetros. Por un lado, se debe asegurar un salto de temperaturas suficiente entre el ambiente interior de la sala de ensayos y el exterior como para conseguir un flujo intercambiado con una incertidumbre reducida. Por otro lado, hay que asegur unas condiciones homogéneas de las temperaturas interiores del aire sala de ensayos de cara a simplificar los modelos de trabajo. El aseguramiento de estas condiciones se muestra desde la Figuras A.15 a la Figura A.17, para el periodo de ensayo en el que se aplica la rutina *ROLBS*.

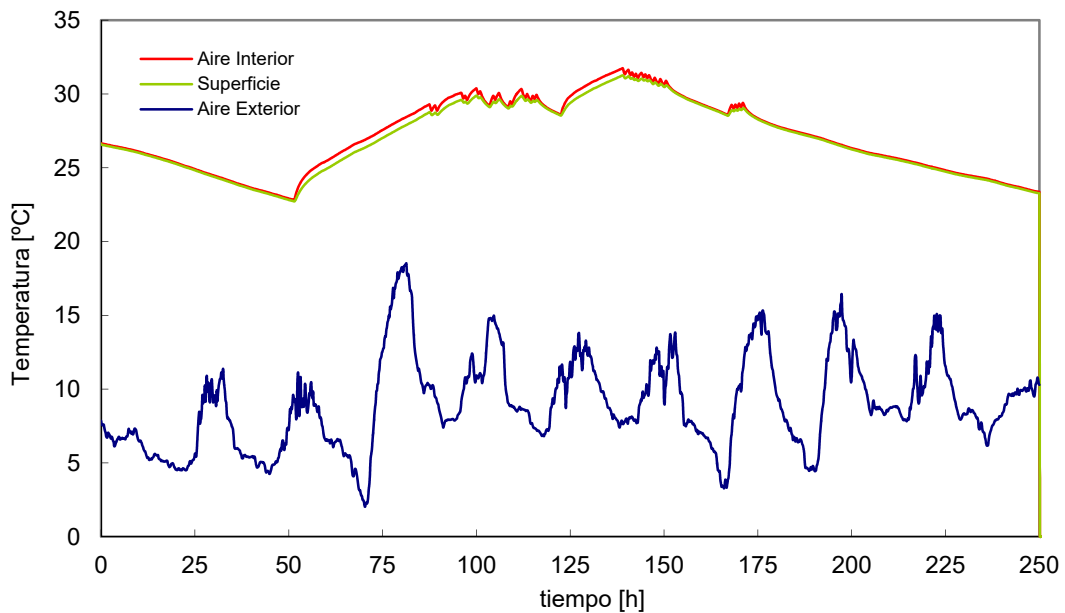


Figura A.15– Temperaturas de aire y superficie de la sala de ensayos y temperatura exterior ventilada para la rutina *ROLBS*

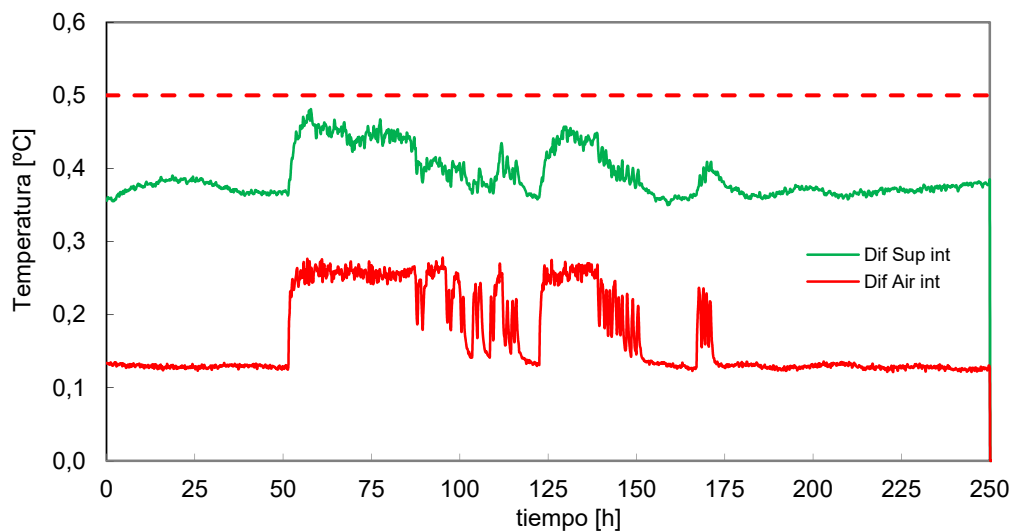


Figura A.16 – Diferencias máximas para las temperaturas de aire y superficie de la sala de ensayos durante la rutina *ROLBS*

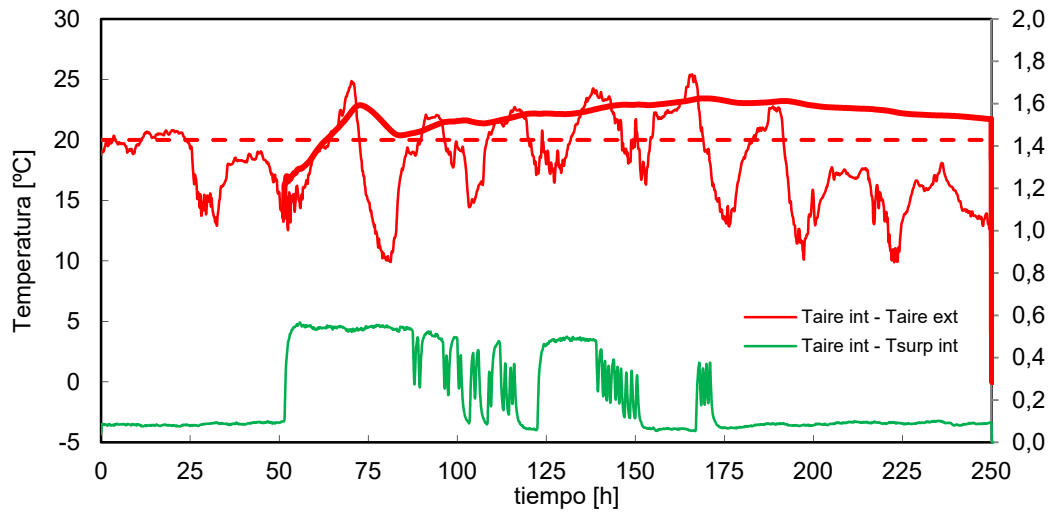


Figura A.17- Salto de temperatura entre el ambiente interior y el exterior, eje izquierdo, y entre ambiente y superficie, eje derecho, durante la rutina ROLBS

## A.2.2 Rutina PRBS

De igual forma a análisis realizado anteriormente se evalúa el comportamiento para la rutina PRBS, que permite estudiar la respuesta de la celda para frecuencias medias, de forma que se barre todo el espectro de trabajo.

### A.2.2.1 Flujo de la envolvente

En la Figura A.18 se muestran la potencia eléctrica y el flujo de calor en la sala de ensayos para la rutina PRBS, que corresponden con la tercera rutina de ensayo empleada para el proceso de calibración.

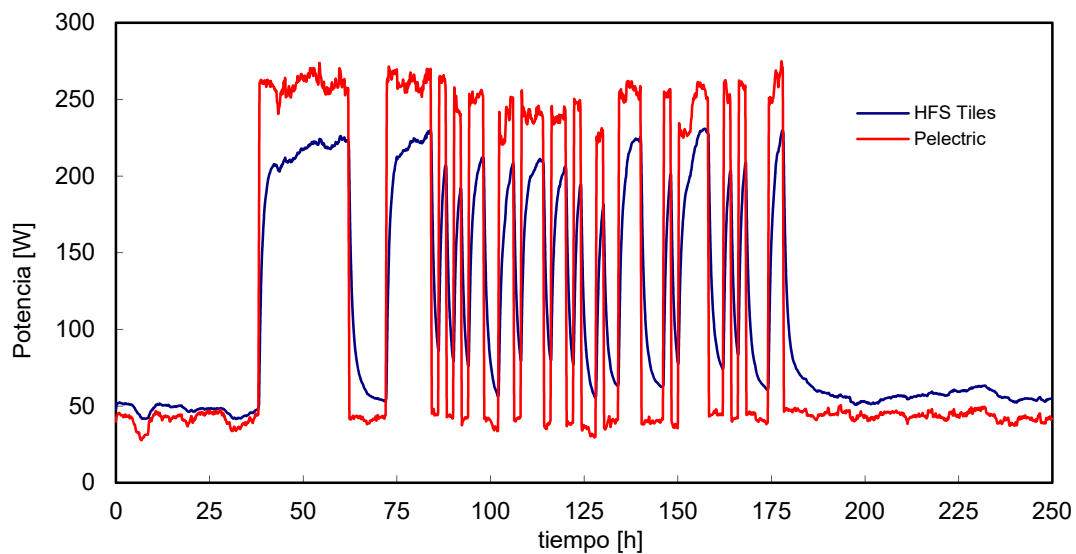


Figura A.18 - Potencia eléctrica de calentamiento y medida del flujo de las HFS Tiles para las rutinas PRBS

En la Figura A.20 se muestran los flujos medios por unidad de superficie que se dan durante este ensayo. Los valores don coherentes con los obtenidos en los anteriores ensayos y con las condiciones de la celda EGUZKI.

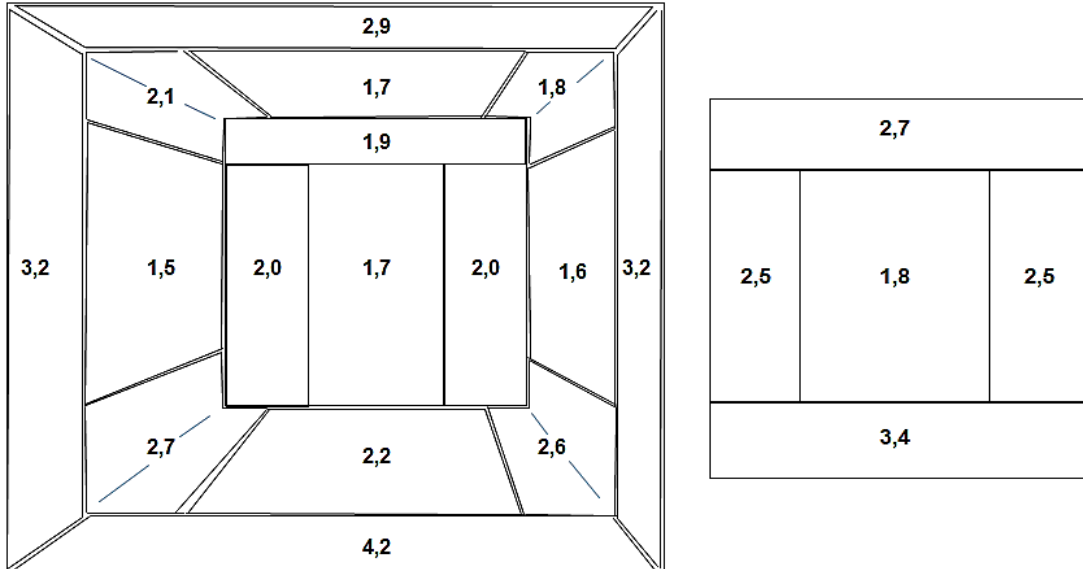


Figura A.19 – Flujos promedio por unidad de superficie en la cara norte, y envoltorio de la sala de ensayos, izquierda, y en el muro de calibración, derecha, para la rutina PRBS

Este mismo comportamiento se obtiene en el análisis de la evolución temporal de cada grupo de *tiles*, así como la evolución de los flujos de borde en las zonas de esquina como se muestra desde la Figura A.20 a la Figura A.30.

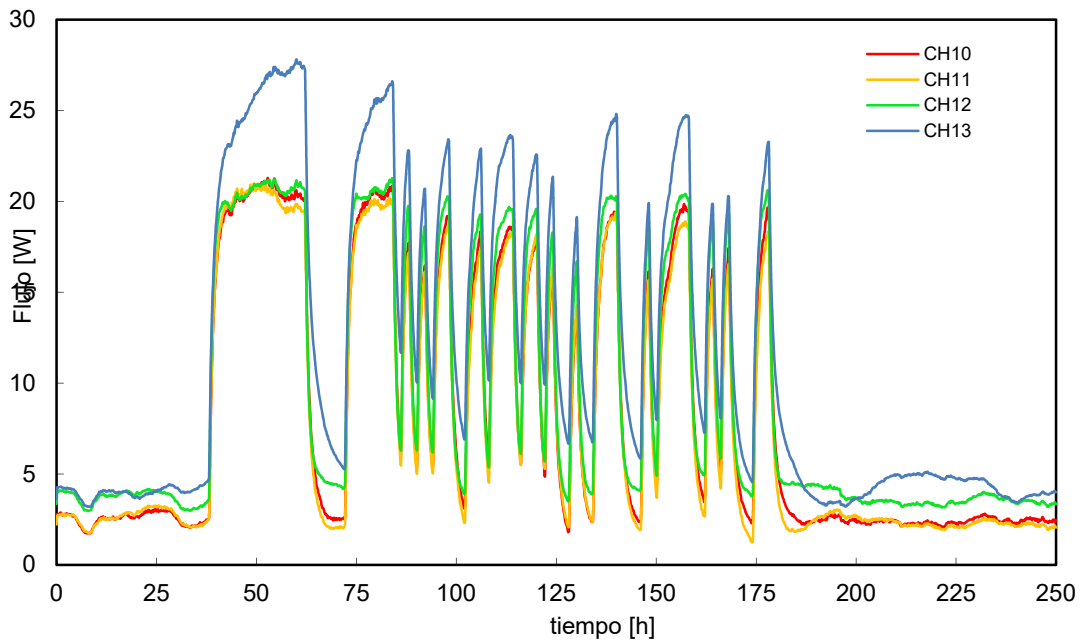


Figura A.20 – Flujo medido por los grupos centrales de la envoltorio de la sala de ensayo



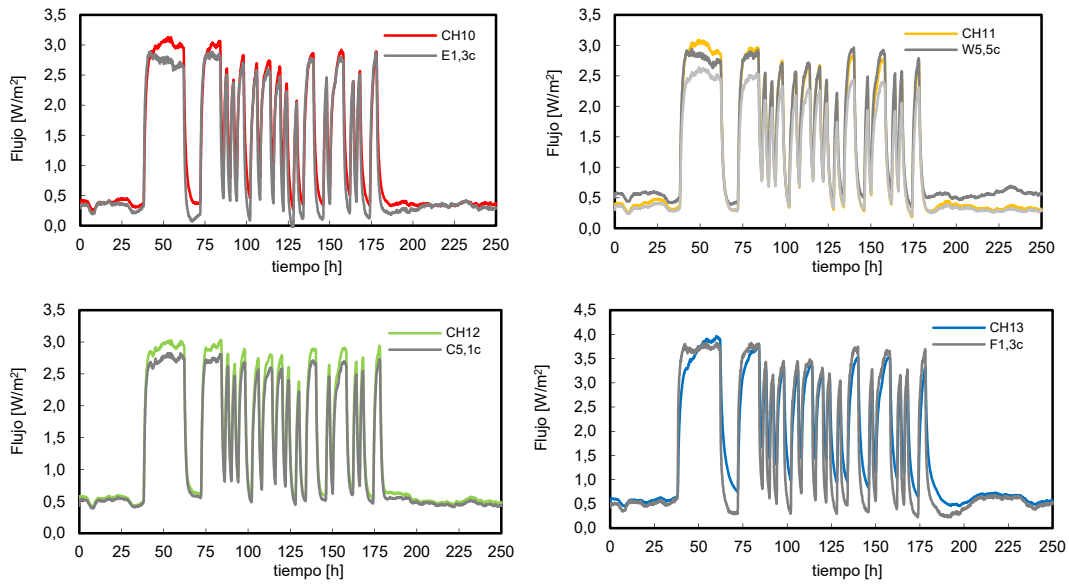


Figura A.21 – Señal de los sensores situados en la posición C de las *multitiles* y flujo por unidad de superficie de los grupos centrales equivalentes

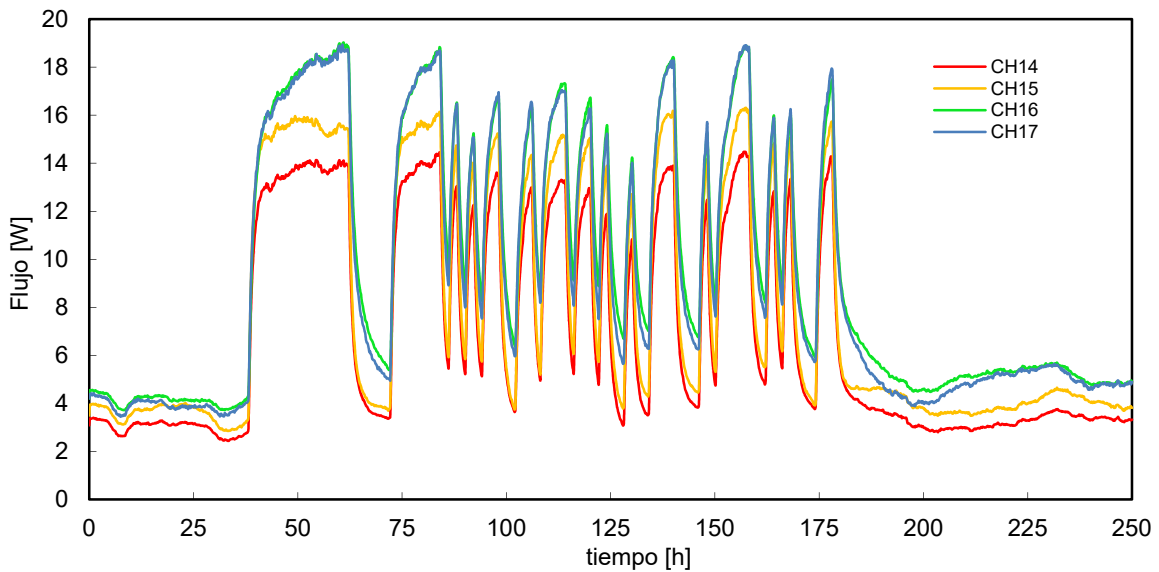


Figura A.22 – Flujo medido por los grupos de borde longitudinales, tipología 1, de la envoltura de la sala de ensayo

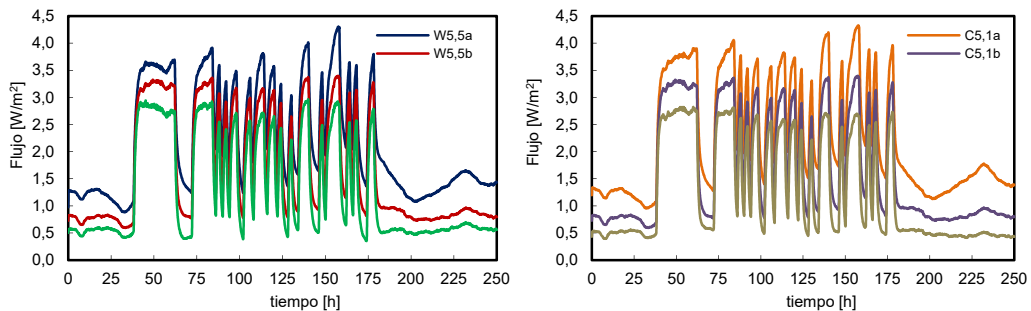


Figura A.23 – Flujo medido por los tres sensores de las *multitiles* empleadas para la caracterización de los efectos de borde longitudinales, tipología 1

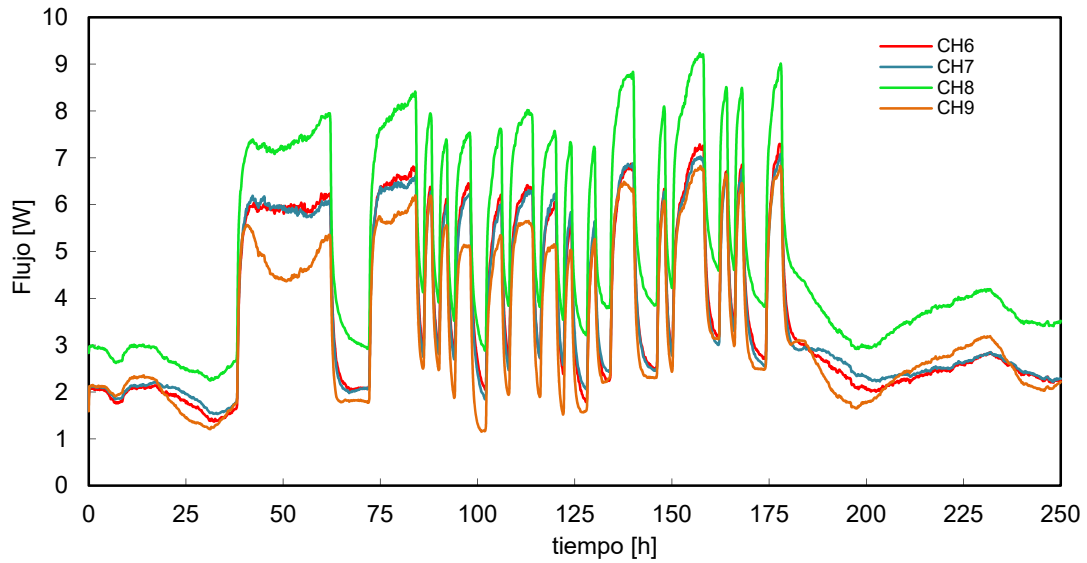


Figura A.24 – Flujo medido por los grupos de borde sur, *tipología 2 y 3*, de la envoltura de la sala de ensayo

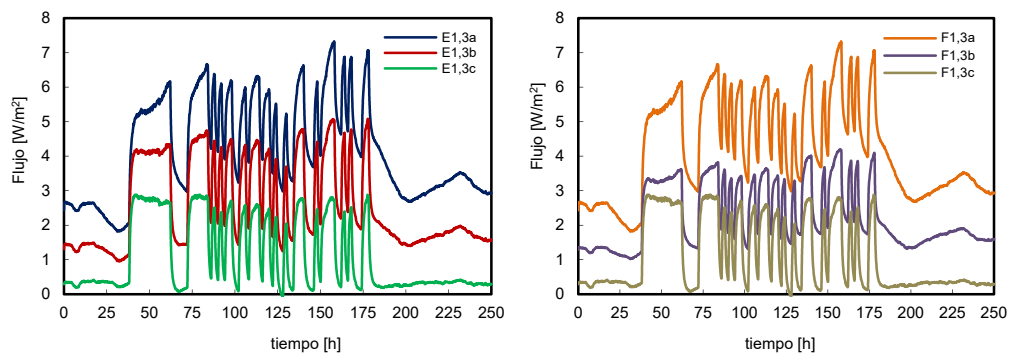


Figura A.25 – Flujo medido por los tres sensores de las *multitiles* empleadas para la caracterización de los efectos de borde sur, *tipología 2 y 3*

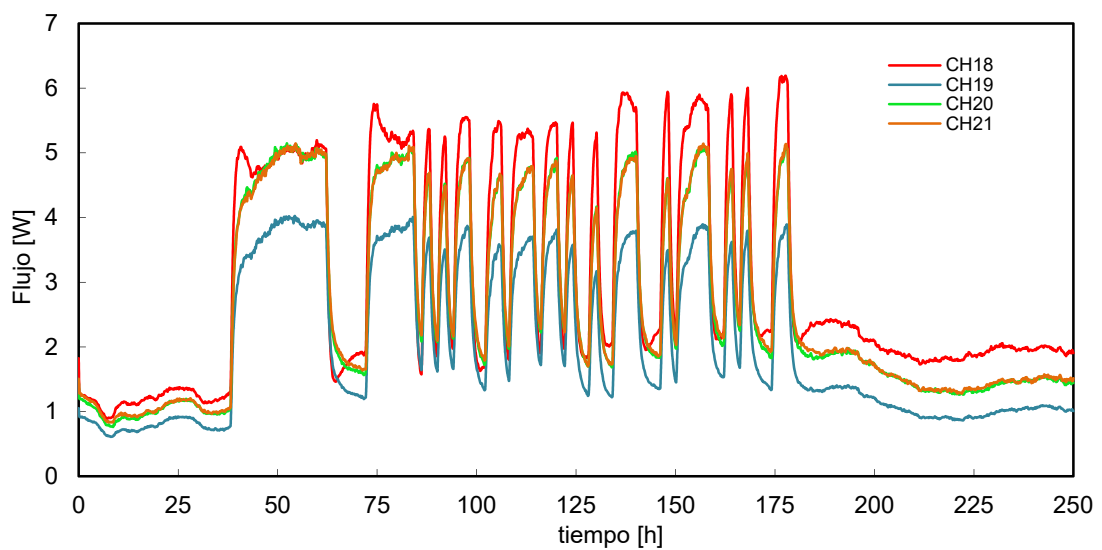


Figura A.26 – Flujo medido por los grupos de borde norte, *tipología 4*, de la envoltura de la sala de ensayo

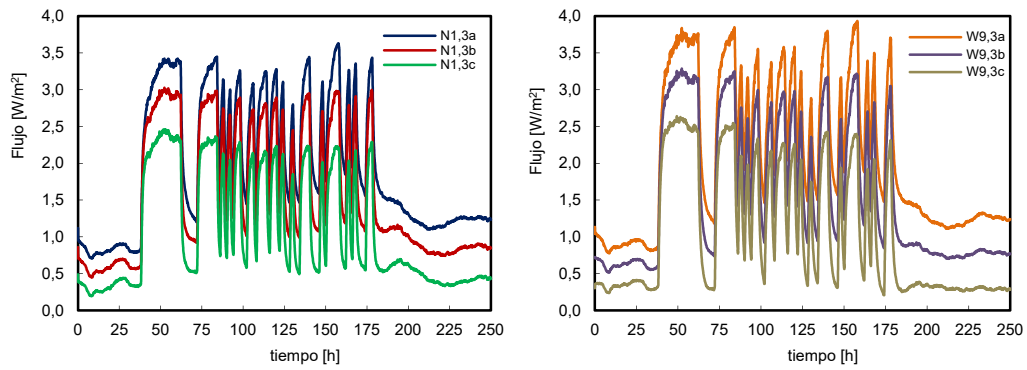


Figura A.27- Flujo medido por los tres sensores de las *multitiles* empleadas para la caracterización de los efectos de borde norte, tipología 4

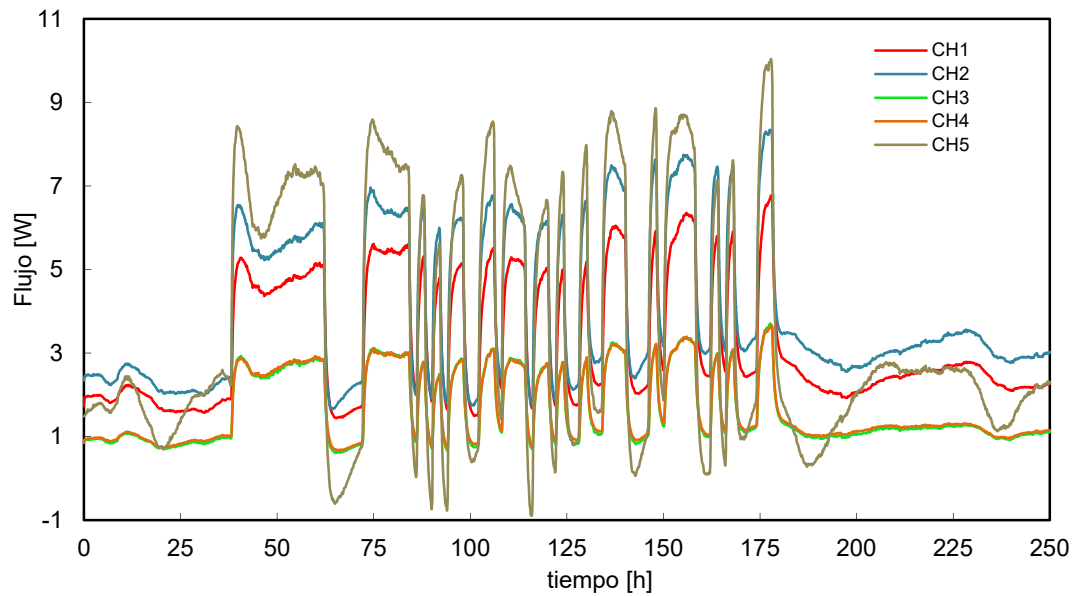


Figura A.28- Flujo medido por los grupos del muro de calibración

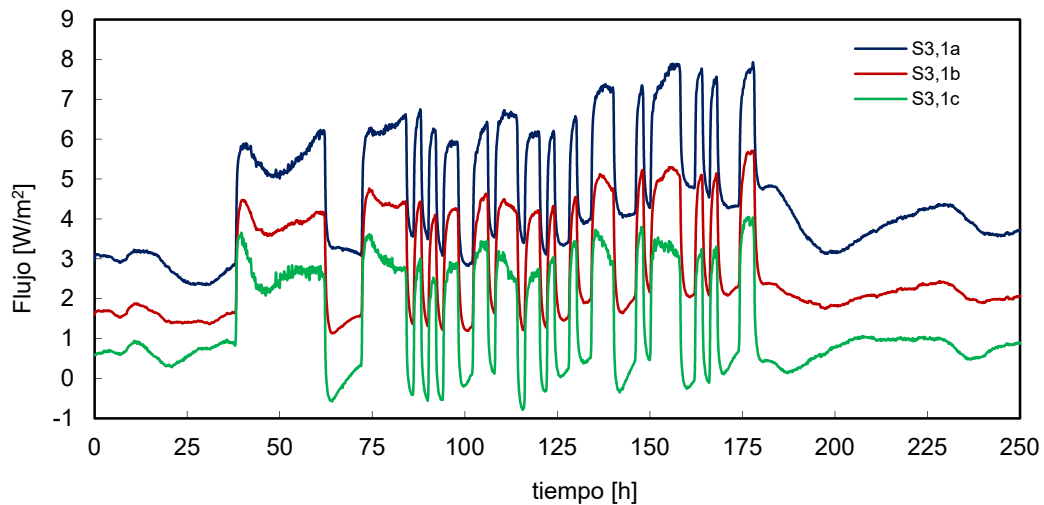


Figura A.29- Señal de los sensores situados en la posición C de las *multitiles* y flujo por unidad de superficie del grupo central del muro de calibración

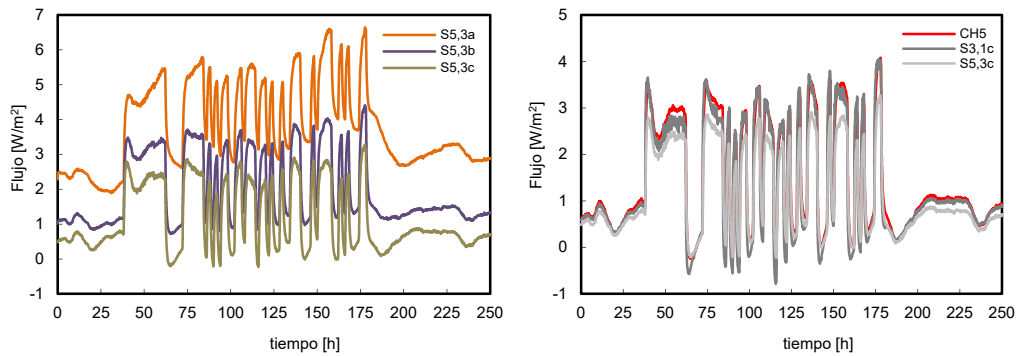


Figura A.30– Flujo medido por los tres sensores de las *multitiles* empleadas para la caracterización de los efectos de borde en el muro de calibración

### A.2.2.2 Temperaturas

Como se puede ver en las gráficas que van de la Figura A.31 a la Figura A.33, durante este periodo de ensayo se cumplen las condiciones de homogeneidad de temperaturas en el interior de la sala de ensayos y el salto de temperaturas entre ambientes.

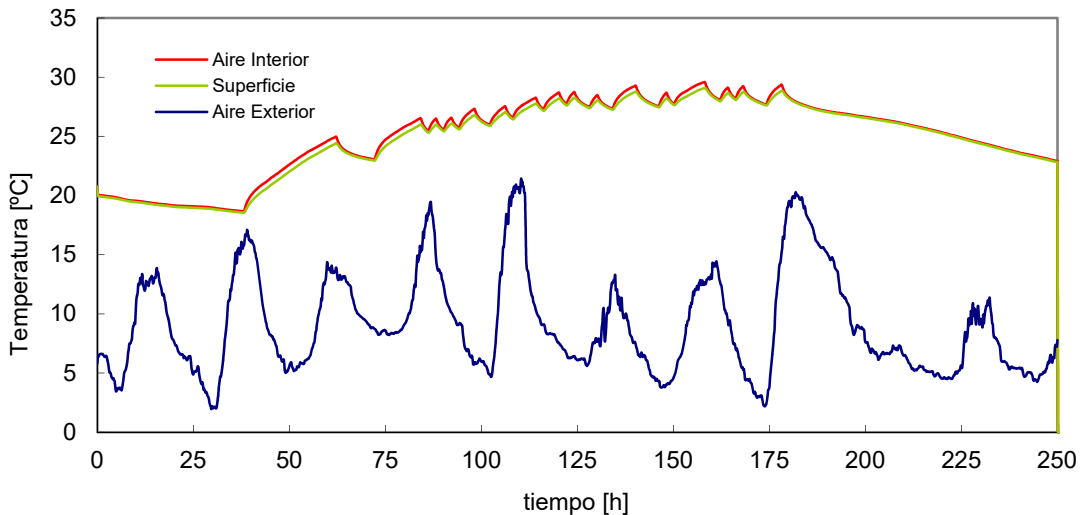


Figura A.31– Temperaturas aire y superficie de sala de ensayos y temperatura exterior ventilada para rutina PRBS

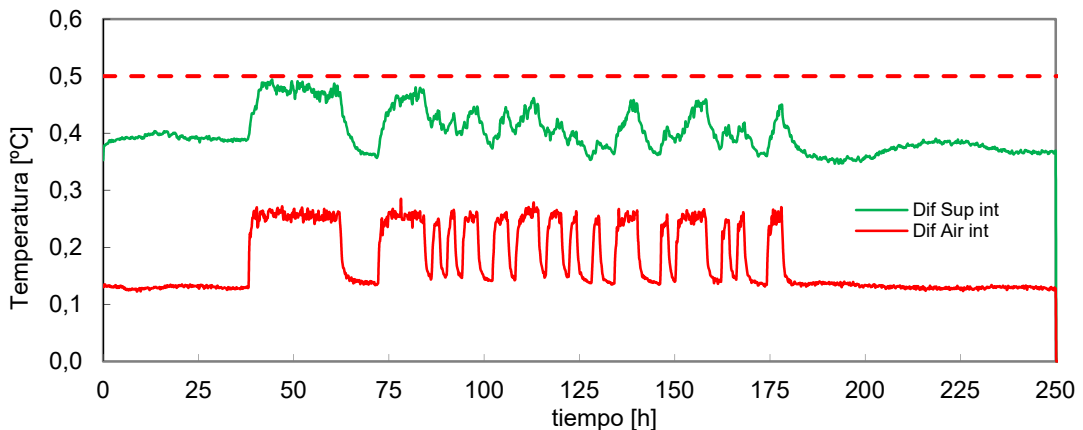


Figura A.32 – Diferencias máximas temperaturas aire y superficie de la sala de ensayos durante la rutina PRBS

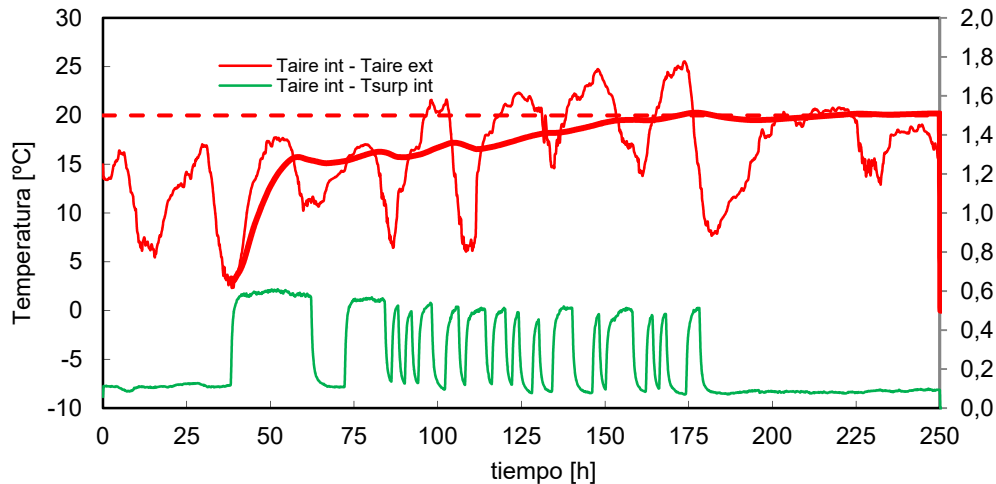


Figura A.33- Salto de temperatura entre el ambiente interior y el exterior, eje izquierdo, y entre ambiente y superficie, eje derecho, durante la rutina PRBS

## A.3 Modelos experimentales

Una vez revisada la calidad de los datos se puede pasar a la fase de modelado. No tiene ningún sentido comenzar con el proceso de identificación de parámetros sin antes conocer el comportamiento de la celda y que los datos que se emplean como función objetivo corresponden con los valores que se introducen en el modelo. Es decir, si no se obtiene una homogeneidad adecuada de la temperatura de aire interior es complicado poder conseguir un modelo con residuos que presenten un ajuste adecuado con un único nodo que represente dicho aire interior, por ejemplo. Por tanto, la fase de revisión de los datos experimentales es fundamental para dirigir la selección del modelo adecuado. Proceso que se define a continuación.

### A.3.1 Modelo de la celda

Como ya se indica en la memoria, el objetivo de diseño de la celda *PASLINK* es disponer de un equipo de ensayo que se pueda modelar mediante el sistema de parámetros más simple posible. Esto permite disponer mayor potencialidad de análisis en la definición de las muestras bajo ensayo. Para la obtención del modelo representativo de la celda *EGUZKI*, se han analizado los modelos recogidos en la Figura A.34. La elección del modelo definitivo se realiza en base a los resultados obtenidos en los parámetros de la celda, como son la transmitancia y la capacidad térmica, así como mediante el análisis de ajuste a patrón de ruido blanco de los residuos correspondientes a las funciones de objetivo empleadas en el proceso de identificación de parámetros. Para obtener unos resultados más fiables y representativos, el estudio se realiza empleando las tres rutinas de ensayo definidas, de forma que se contempla en los resultados el efecto de la respuesta en frecuencia de la celda. En la Tabla A.1 se recogen los resultados finales del estudio. Los valores de capacidades térmicas,  $C$ , están indicados en  $[M/K]$  y los de conductancias,  $H$ , en  $[W/K]$ . Los coeficientes de apertura de los flujos de calor,  $A$ , son adimensionales.

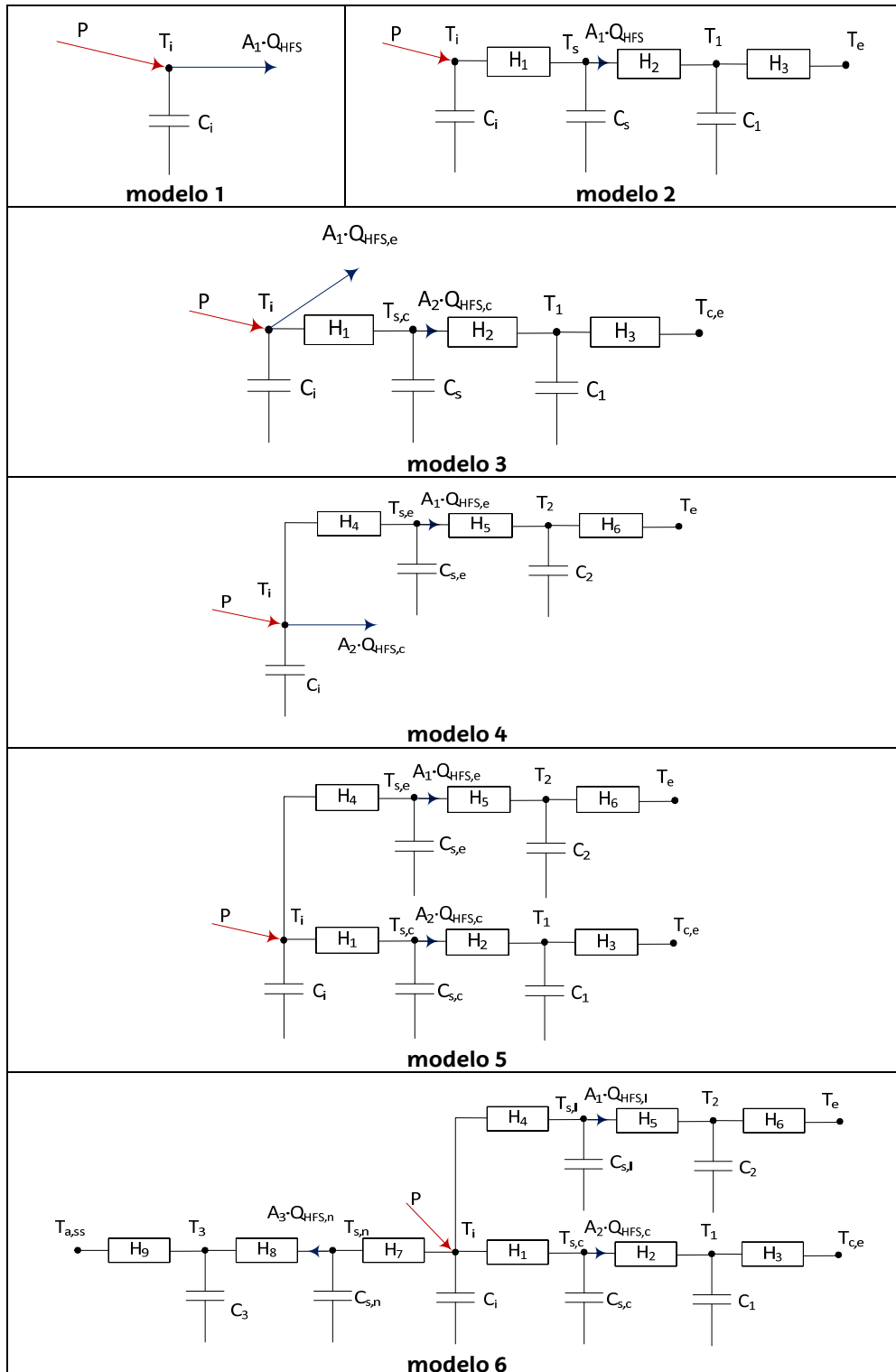


Figura A.34 – Modelos de representación del comportamiento térmico de la celda

En la memoria se realiza un análisis desarrollado del modelo 5, mostrando la definición de las ecuaciones, y estudiando la metodología de validación de los resultados del proceso de identificación de parámetros. A continuación se recogen los resultados totales para todos los modelos y las rutinas de ensayo.

	$C_i$	$C_s$	$C_{s,c}$	$C_{s,e}$	$C_{cel}$	$C_c$	$C_e$	$H_i$	$H_{i,c}$	$H_{i,e}$	$H_c$	$H_e$	$A_1$	$A_2$	$A_3$
modelo 1	0,651												1,075		
	0,557												1,060		
	0,595												1,046		
modelo 2	0,028	0,685			5,434			530,4					1,071		
	0,324	0,355			5,329			446,6					1,042		
	0,009	0,737			5,648			473,6					1,032		
modelo 3		0,674	0,055			0,542		457,4	62,8		1,091		1,052	1,118	
		0,683	0,144			0,259		381,5	57,9		0,945		1,072	1,183	
		0,698	0,129			0,232		279,9	45,3		0,841		1,017	1,104	
modelo 4		0,833		0,853			3,973			334,6		5,379	1,038	1,061	
		0,705		0,405			4,992			323,6		5,135	0,983	1,331	
		0,915		0,446			4,555			234,6		3,641	1,066	1,098	
modelo 5	0,024	0,677	0,034	0,643	4,294	0,388	3,905	532,9	82,4	396,1	1,083	6,005	1,033	1,181	
	0,010	0,706	0,256	0,450	5,369	0,293	5,077	539,9	80,4	459,5	1,039	5,790	0,995	1,042	
	0,028	0,823	0,247	0,576	6,203	0,335	5,868	475,0	72,0	379,3	0,948	5,359	0,943	1,161	
modelo 6	0,022	0,750	0,282	0,470	5,871	0,631	5,240	499,1	86,1	346,5	0,906	5,977	1,035	1,176	1,057
	0,094	0,639	0,169	0,564	5,619	0,398	5,220	457,4	82,8	374,6	1,041	5,021	1,083	1,136	1,036
	0,026	0,798	0,193	0,497	5,623	0,260	5,364	364,6	62,2	311,4	0,928	5,821	0,938	1,096	1,084

Tabla A.1 – Resultados completos del proceso de identificación de parámetros en cada modelo, de arriba abajo, se indica el valor obtenido en el análisis de las rutinas PULSO, PRBS y ROLBS, respectivamente

### A.3.1.1 Modelo 1

Se trata del modelo más simple, formado por un único nodo que representa el ambiente interior de la celda con una única capacidad térmica, por tanto se trata de un modelo de primer orden. En la ecuación [A.1] se muestra la definición de dicho modelo con las variables de estado y las funciones de excitación. En la ecuación [A.2] se muestra la definición de las funciones objetivo.

$$[dT_i] = [0][T_i]dt + \left[ \frac{1}{C_i} \quad \frac{-A_1}{C_i} \right] \begin{bmatrix} P \\ Q_{HFS} \end{bmatrix} dt + [\sigma_i]dW \quad [A.1]$$

$$[T_{im}] = [1][T_i(t)] + [0] \begin{bmatrix} P(t) \\ Q_{HFS}(t) \end{bmatrix} + [s_i]de(t) \quad [A.2]$$

A continuación se muestran los resultados del modelo y el análisis de residuos para cada una de las rutinas ensayadas. Lo valores de capacidades térmicas,  $C$ , están indicados en  $[W_{10min}/K]$ , y los valores de conductancias,  $H$ , en  $[W/K]$ .

#### Resultados rutina PULSO

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$T_i$	10.0	20.0	40.0	3.18E+01	4.76E-03	6688.1	0.0024	0.0018
$C_i$	1.0	1000	2000	1.09E+03	1.03E+00	183.1	-0.0001	0
$A_1$	0.5	1.0	1.5	1.08E+00	1.04E-03	1083.8	-0.0006	0.0011
$\sigma_i$	0.0	0.01	1.0	1.07E-02	3.16E-04	33.8	0	0
$s_i$	0.0	0.01	1.0	6.83E-06	6.45E-07	10.5	0	0

Tabla A.2 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina PULSO en el modelo 1



	$T_i$	$C_i$	$A_1$	$\sigma_i$	$s_i$
$T_i$	1				
$C_i$	0.0074	1			
$A_1$	0.0408	-0.4075	1		
$\sigma_i$	0.0317	-0.0565	-0.0547	1	
$s_i$	0.0024	0.0112	0.0321	-0.5689	1

Tabla A.3 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina *PULSO* en el modelo 1

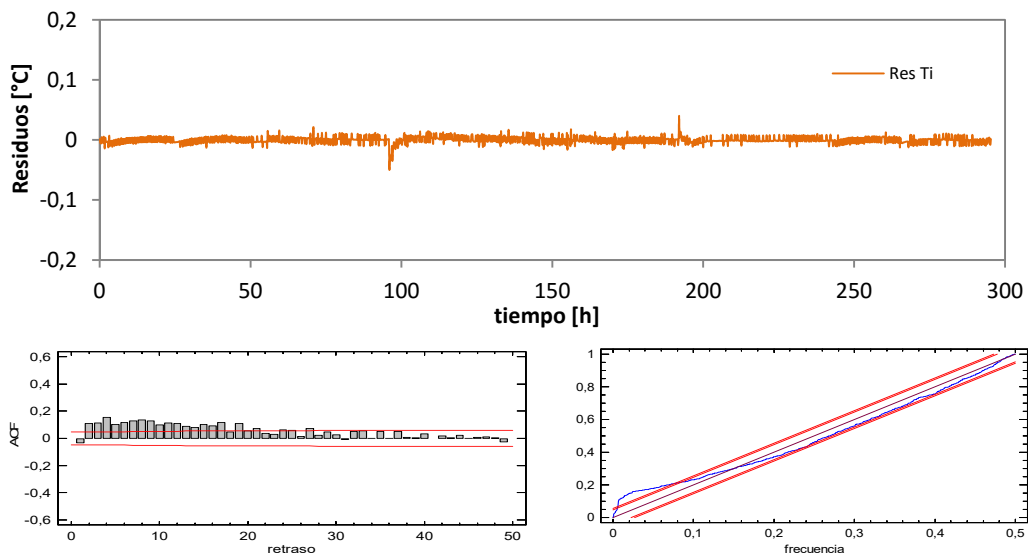


Figura A.35 – Análisis de residuos en el modelo 1 para la excitación *PULSO*

### Resultados rutina *PRBS*

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$T_i$	10.0	20.0	40.0	2.08E+01	8.51E-03	2443.7456	0	0
$C_i$	1.0	1000	2000	9.28E+02	7.10E-01	227.9236	0	0
$A_1$	0.5	1.0	1.5	1.06E+00	1.46E-03	619.4125	0.0001	0.0001
$\sigma_i$	0.0	0.01	1.0	2.06E-02	4.16E-04	49.5406	0	0
$s_i$	0.0	0.01	1.0	1.04E-16	1.80E-13	0.0006	0	0

Tabla A.4 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina *PRBS* en el modelo 1

	$T_i$	$C_i$	$A_1$	$\sigma_i$	$s_i$
$T_i$	1				
$C_i$	0.0074	1			
$A_1$	0.0408	-0.4075	1		
$\sigma_i$	0.0317	-0.0565	-0.0547	1	
$s_i$	0.0024	0.0112	0.0321	-0.5689	1

Tabla A.5 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina *PRBS* en el modelo 1

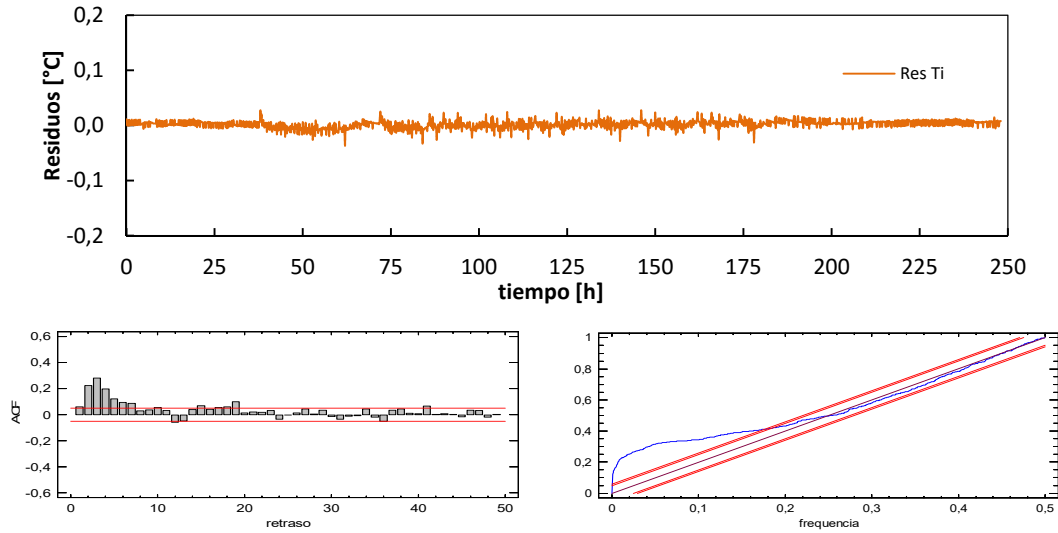


Figura A.36 – Análisis de residuos en el modelo 1 para la excitación PRBS

## Resultados rutina ROLBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$T_i$	10.0	20.0	40.0	2.42E+01	1.49E-02	1624.5772	-0.0001	0.0003
$C_i$	1.0	1000	2000	9.92E+02	1.75E+00	98.4324	0	0
$A_1$	0.5	1.0	1.5	1.05E+00	4.00E-03	223.458	0	0.0001
$\sigma_i$	0.0	0.01	1.0	1.66E-02	2.15E-03	7.7318	0	0
$s_i$	0.0	0.01	1.0	2.71E-17	4.59E-13	0.0001	0	0

Tabla A.6 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 1

	$T_i$	$C_i$	$A_1$	$\sigma_i$	$s_i$
$T_i$	1				
$C_i$	-0.0079	1			
$A_1$	0.0084	-0.1873	1		
$\sigma_i$	0.0889	-0.0089	0.0062	1	
$s_i$	0.0895	-0.0089	0.0036	0.0006	1

Tabla A.7 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 1

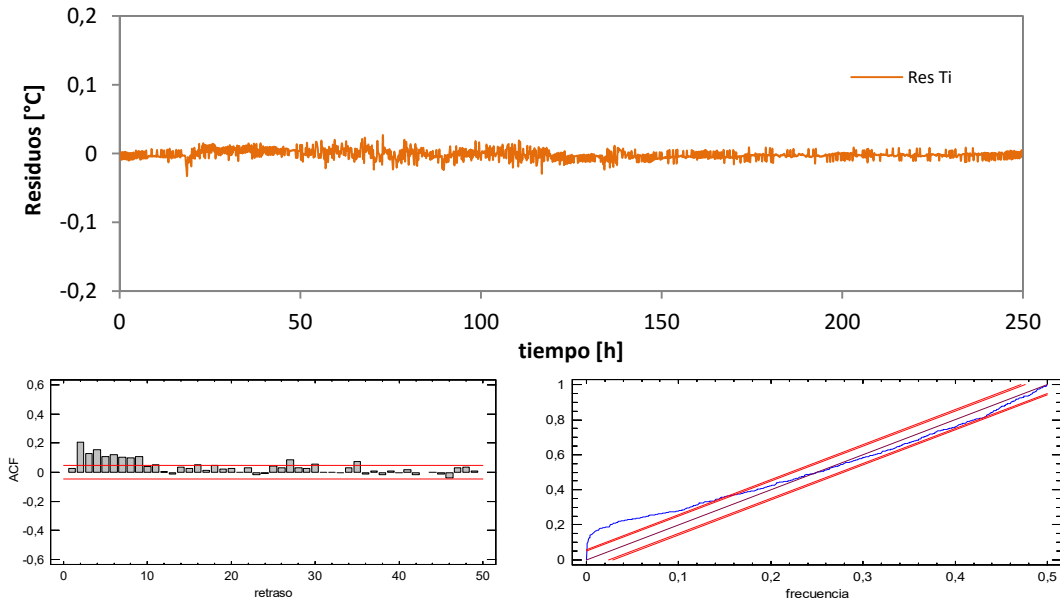


Figura A.37 – Análisis de residuos en el modelo 1 para la excitación ROLBS

### A.3.1.2 Modelo 2

En el segundo modelo se hace una diferenciación entre el ambiente interior y la envolvente de la sala de ensayos. El modelo pasa a ser de tercer orden y permite estimar las propiedades térmicas de la estructura de la celda. En la ecuación [A.3] se muestra la definición de dicho modelo con las variables de estado y las funciones de excitación. En la ecuación [A.4] se muestra la definición de las funciones objetivo.

$$\begin{bmatrix} dT_i \\ dT_s \\ dT_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{H_1}{c_i} & \frac{-H_1}{c_i} & 0 \\ \frac{H_1}{c_s} & \frac{-(H_1+H_2)}{c_s} & \frac{H_2}{c_s} \\ 0 & \frac{H_2}{c_1} & \frac{-(H_2+H_3)}{c_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_s \\ T_1 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \frac{1}{c_i} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_3}{c_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ T_e \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \sigma_i & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_s & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_1 \end{bmatrix} dW \quad [A.3]$$

$$\begin{bmatrix} T_{im} \\ T_{sm} \\ Q_{HFsm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & \frac{H_2}{A_1} & \frac{-H_2}{A_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i(t) \\ T_s(t) \\ T_1(t) \end{bmatrix} + [0] \begin{bmatrix} P(t) \\ T_e(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} s_i & 0 & 0 \\ 0 & s_{s,c} & 0 \\ 0 & 0 & s_1 \end{bmatrix} de(t) \quad [A.4]$$

El siguiente nivel de modelado de la celda, aún siendo sencillo, se complica en gran medida respecto a modelo 1. De ahí el interés de obtener un diseño de celda que responda al modelo más sencillo, de forma que se puede emplear toda la potencialidad de las herramientas de identificación de parámetros al estudio de la probeta bajo ensayo. A continuación se muestran los resultados del modelo y el análisis de residuos para cada una de las rutinas ensayadas.

### Resultados rutina PULSO

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$T_i$	10	20	40	3.18E+01	4.67E-02	680.6374	-0.00188	0.0018
$T_s$	10	20	40	3.18E+01	5.45E-03	5828.6817	-0.0055	0.0018
$T_1$	10	20	40	2.93E+01	1.03E-01	284.4967	-0.0073	0.0009
$H_1$	100	500	1000	5.30E+02	5.50E+00	96.5017	0.00043	0.0002
$C_i$	1	10	2000	4.67+01	1.59E-01	16.4626	-0.2742	-0.0001
$C_s$	1	1000	2000	1.14E+03	1.42E+00	134.1095	-0.09257	0.0001
$H_2$	5	10	500	2.70E+01	1.04E+00	25.8197	0.0029	0
$C_1$	1000	1500	5000	9.06E+03	4.16E+01	36.2743	-0.0757	-0.0005
$H_3$	5	10	100	8.68E+00	7.24E-01	11.9897	0.0046	-0.0003
$A_1$	0.5	1	1.5	1.07E+00	1.49E-03	757.6803	-0.0011	0.0011

Tabla A.8 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina PULSO en el modelo 2

	$T_i$	$T_s$	$T_1$	$H_1$	$C_i$	$C_s$	$H_2$	$C_1$	$H_3$	$A_1$
$T_i$	1									
$T_s$	0.27	1								
$T_1$	-0.34	-0.23	1							
$H_1$	-0.14	-0.34	0.13	1						
$C_i$	-0.11	-0.27	0.14	0.18	1					
$C_s$	-0.26	-0.16	0.31	0.10	0.14	1				
$H_2$	-0.36	-0.26	0.19	0.14	0.14	0.29	1			
$C_1$	-0.33	-0.24	0.24	0.11	0.24	0.19	0.26	1		
$H_3$	-0.13	-0.34	0.11	0.19	0.16	0.36	0.12	0.13	1	
$A_1$	-0.25	-0.17	0.28	0.10	0.19	-0.16	0.32	0.31	0.10	1

Tabla A.9 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina PULSO en el modelo 2

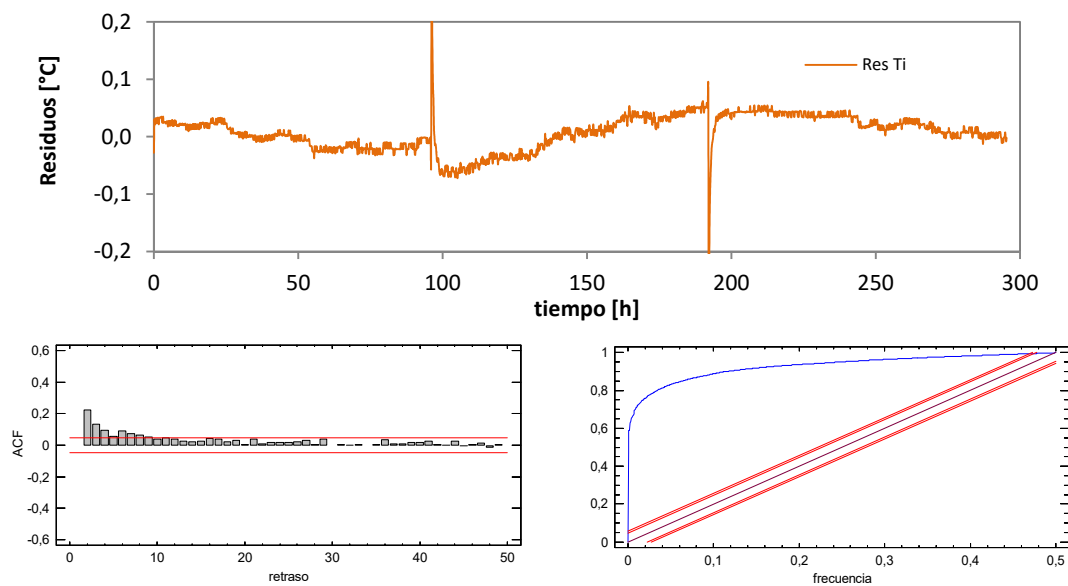


Figura A.38 – Análisis de residuos en el modelo 2 para la excitación PULSO

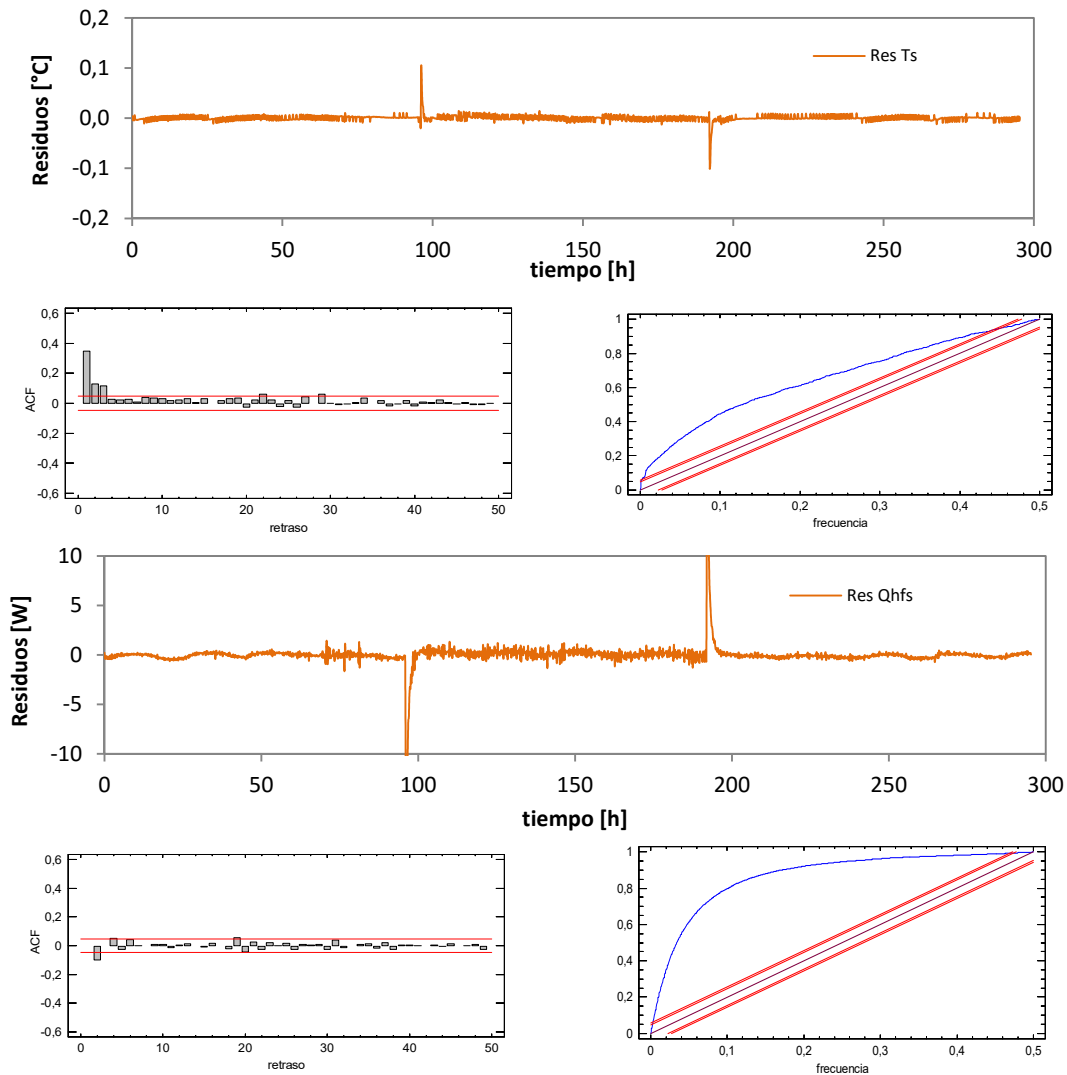


Figura A.39 – Análisis de residuos en el modelo 2 para la excitación PULSO

### Resultados rutina PRBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$T_i$	10	20	40	1.99E+01	5.61E-02	354.9914	0.0066	0
$T_s$	10	20	40	2.07E+01	1.66E-02	1242.2585	-0.0097	0
$T_1$	10	20	40	2.04E+01	6.15E-02	331.4612	0.0007	0
$H_1$	100	500	1000	4.47E+02	1.34E+00	334.1442	0.0005	0.0001
$C_i$	1	10	2000	5.40E+02	1.13E+00	79.6618	0.0008	0.009
$C_s$	1	1000	2000	5.91E+02	1.67E+00	58.9762	0.0001	-0.0002
$H_2$	5	10	500	1.76E+02	3.50E+00	50.2624	0	0.0001
$C_1$	1000	5000	10000	8.88E+03	1.64E+01	39.3346	0	-0.0015
$H_3$	5	10	100	6.45E+00	1.24E-01	52.2507	0	-0.0015
$A_1$	0.5	1	1.5	1.04E+00	1.17E-03	760.5452	0.0017	0.0001

Tabla A.10 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina PRBS en el modelo 2

	$T_i$	$T_s$	$T_1$	$H_1$	$C_i$	$C_s$	$H_2$	$C_1$	$H_3$	$A_1$
$T_i$	1									
$T_s$	0.19	1								
$T_1$	0.09	0.48	1							
$H_1$	-0.05	0.02	0.01	1						
$C_i$	0.12	0.03	0.01	-0.25	1					
$C_s$	-0.11	-0.03	0.00	0.30	-0.89	1				
$H_2$	0.08	-0.05	0.08	-0.04	0.12	-0.10	1			
$C_1$	-0.01	0.02	0.02	0.02	-0.02	0.02	-0.12	1		
$H_3$	-0.08	0.03	0.00	0.04	-0.03	0.01	-0.04	-0.02	1	
$A_1$	-0.01	0.02	0.01	0.16	0.11	-0.25	0.09	0.05	0.08	1

Tabla A.11 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina PRBS en el modelo 2

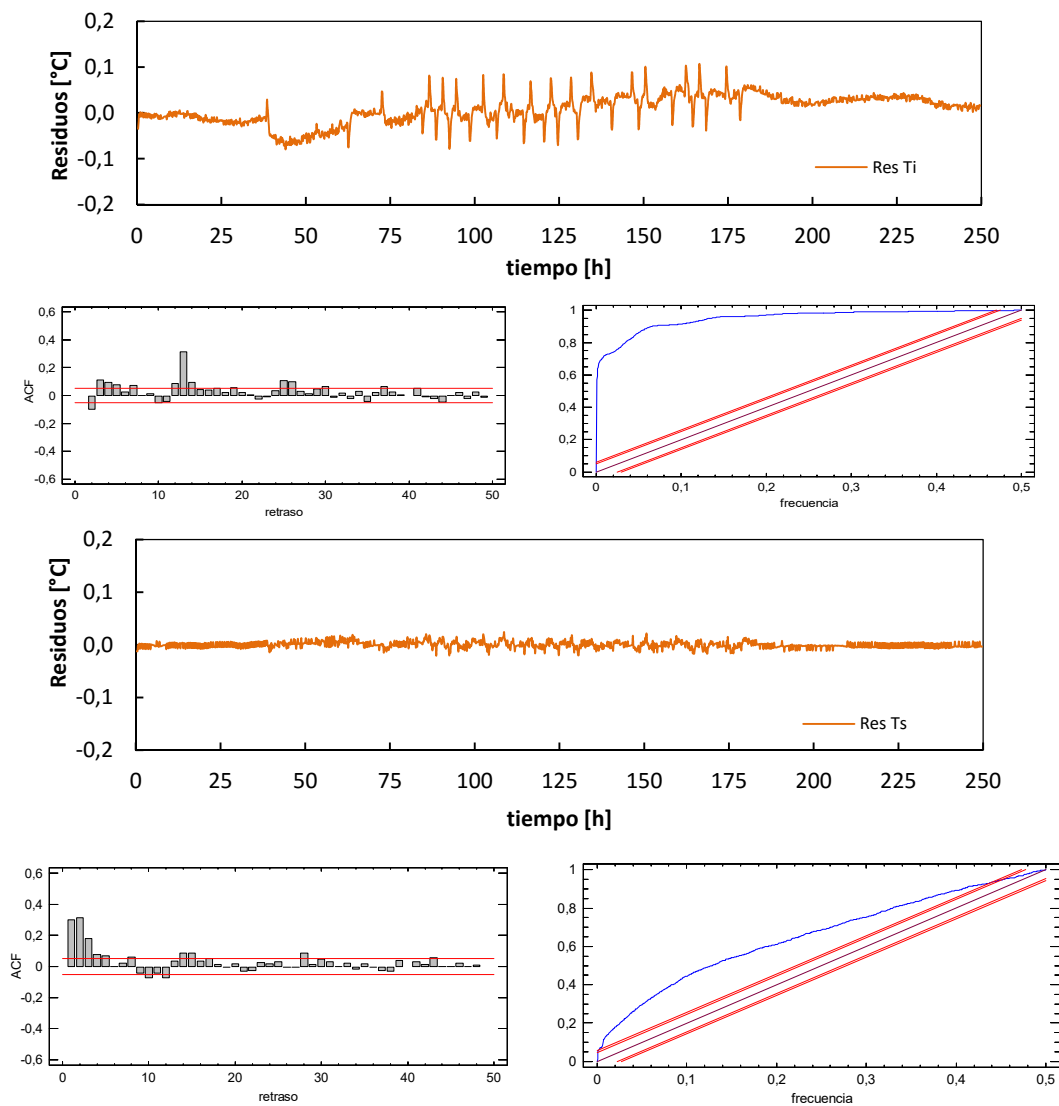


Figura A.40 – Análisis de residuos en el modelo 2 para la excitación PRBS

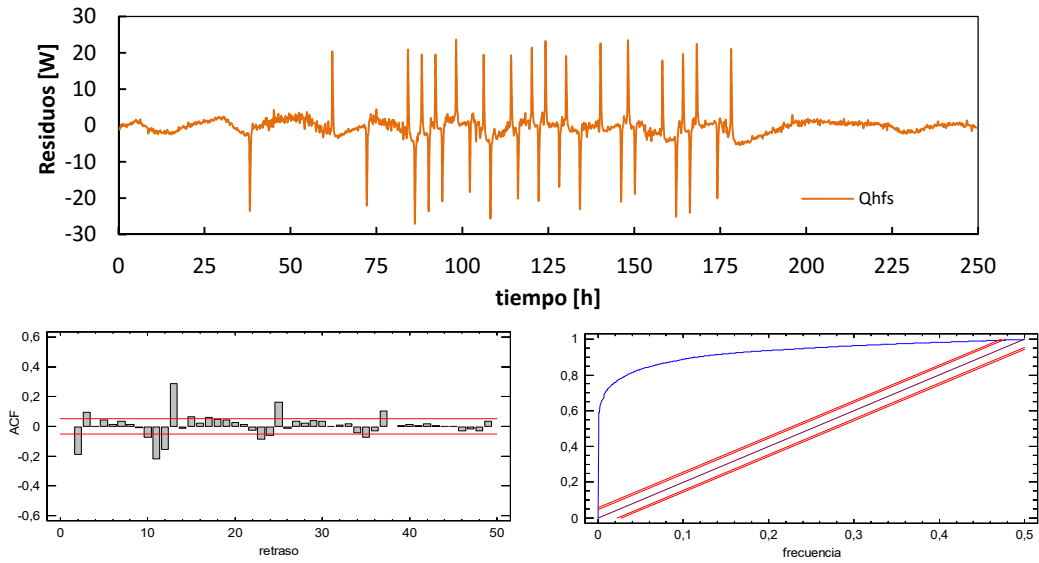


Figura A.41 – Análisis de residuos en el modelo 2 para la excitación PRBS

### Resultados rutina ROLBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$T_i$	10	20	40	2.42E+01	1.36E-02	1780.8776	0.0066	0
$T_s$	10	20	40	2.41E+01	4.70E-03	5128.6979	-0.0097	0
$T_1$	10	20	40	2.38E+01	1.79E-02	1331.7085	0.0007	0
$H_1$	100	500	1000	4.74E+02	1.20E+00	396.1788	0.0005	0.0001
$C_i$	1	10	2000	1.50E+01	1.50E+00	63.0633	0.0008	0.009
$C_s$	1	1000	2000	1.23E+03	2.17E+00	53.7641	0.0001	-0.0002
$H_2$	5	10	500	2.10E+02	5.35E+00	39.3135	0	0.0001
$C_1$	1000	5000	10000	9.41E+03	1.96E+01	37.6009	0	-0.0015
$H_3$	5	10	100	6.74E+00	1.13E-01	59.8046	0	-0.0015
$A_1$	0.5	1	1.5	1.03E+00	1.19E-03	740.8563	0.0017	0.0001

Tabla A.12 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 2

	$T_i$	$T_s$	$T_1$	$H_1$	$C_i$	$C_s$	$H_2$	$C_1$	$H_3$	$A_1$
$T_i$	1									
$T_s$	0.34	1								
$T_1$	0.09	0.42	1							
$H_1$	0.00	0.02	-0.02	1						
$C_i$	0.01	0.00	0.03	-0.19	1					
$C_s$	-0.03	0.00	-0.04	0.22	-0.84	1				
$H_2$	0.02	0.00	0.43	-0.01	0.16	-0.17	1			
$C_1$	-0.01	-0.01	-0.02	0.02	-0.02	0.01	-0.07	1		
$H_3$	0.01	0.03	0.04	0.01	0.03	-0.02	0.02	0.14	1	
$A_1$	0.00	-0.01	0.01	0.27	0.05	-0.19	0.09	0.02	0.10	1

Tabla A.13 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 2



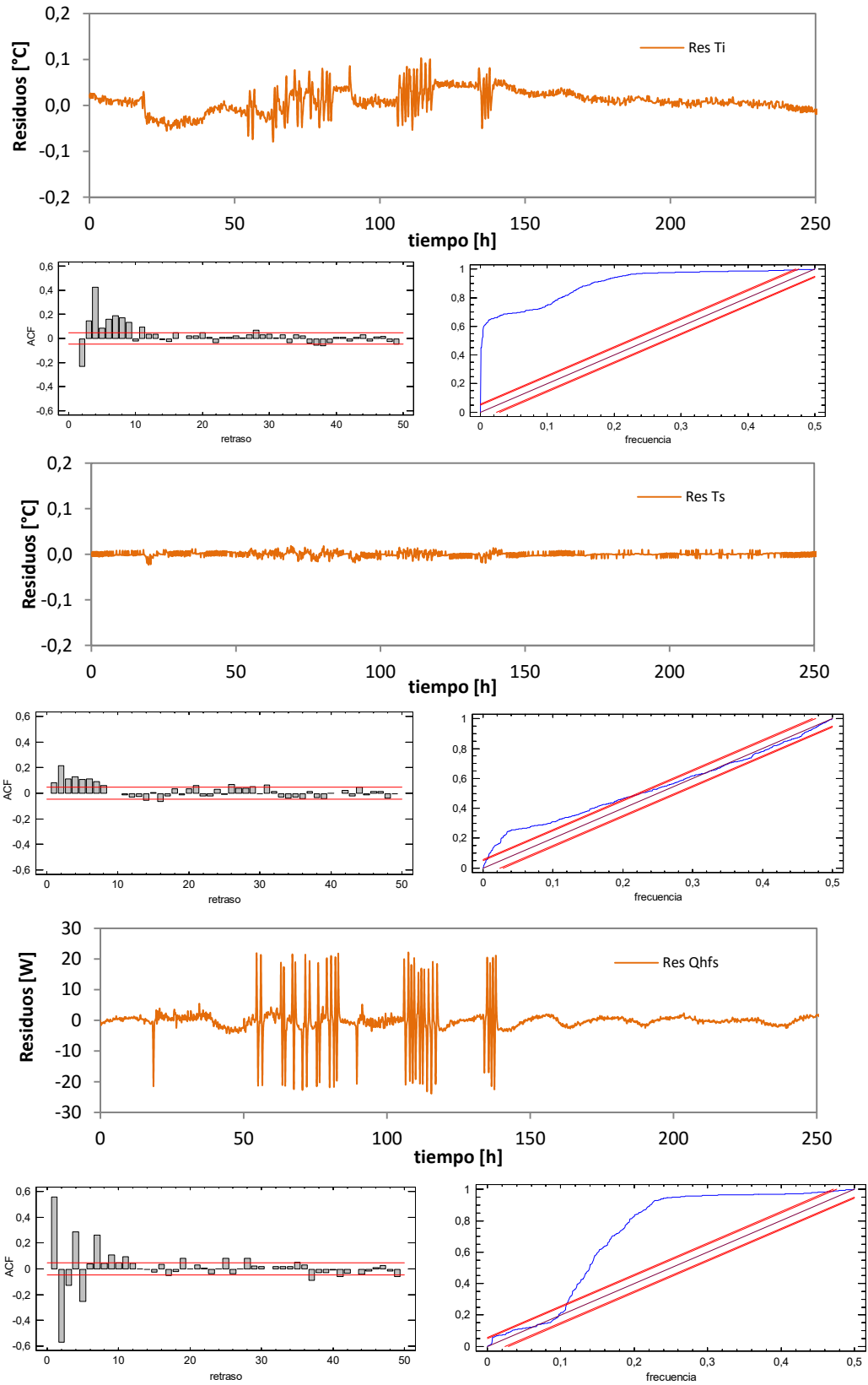


Figura A.42 – Análisis de residuos en el modelo 2 para la excitación ROLBS

### A.3.1.3 Modelo 3

Tras analizar los resultados del modelo 2, se puede ver que aunque los residuos son pequeños en todas las variables objetivo, el ajuste al patrón de ruido blanco no es muy correcto. Esto se puede deber a la diferencia en el comportamiento del muro de calibración respecto al resto de la envolvente de la sala de ensayos. Aunque la superficie de dicho muro de calibración es un porcentaje pequeño, el flujo es muy superior debido a que presenta mayores efectos de puentes térmicos, esto además también afecta a las temperaturas superficiales del mismo, que se diferencian de las temperaturas del resto de la envolvente. Para verificar este comportamiento previsto se define el modelo 3. En el cual se hace una discretización del flujo y temperatura de la envolvente propia de la sala de ensayos y del muro de calibración por separado. En la ecuación [A.5] se muestra la definición de dicho modelo con las variables de estado y las funciones de excitación. En la ecuación [A.6] se muestra la definición de las funciones objetivo.

$$\begin{bmatrix} dT_i \\ dT_{s,c} \\ dT_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{H_1}{C_i} & \frac{H_1}{C_i} & 0 \\ \frac{H_1}{C_{s,c}} & -(H_1 + H_2) & \frac{H_2}{C_{s,c}} \\ 0 & \frac{H_2}{C_1} & -(H_2 + H_3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_{s,c} \\ T_1 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} 1 & -\frac{A_1}{C_i} & 0 \\ \frac{1}{C_i} & \frac{-A_1}{C_i} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_3}{C_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ Q_{HFS,e} \\ T_{c,e} \end{bmatrix} dt + [\sigma]dt \quad [A.5]$$

$$\begin{bmatrix} T_i^m \\ T_{s,c}^m \\ Q_{HFS,c}^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & \frac{H_2}{A_2} & -\frac{H_2}{A_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_{s,c} \\ T_1 \end{bmatrix} + [0] \begin{bmatrix} P \\ Q_{HFS,e} \\ T_{c,e} \end{bmatrix} + [e] \quad [A.6]$$

A continuación se muestran los resultados del modelo y el análisis de residuos para cada una de las rutinas ensayadas.

#### Resultados rutina PULSO

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$T_i$	10	20	40	3.18E+01	6.07E-03	5242.4619	0.0035	0.0018
$T_{s,c}$	10	20	40	3.18E+01	4.35E-03	7309.1254	-0.0099	0.0018
$T_1$	10	20	40	2.85E+01	1.95E-01	146.5964	0.0018	0.0008
$H_1$	1	50	500	6.28E+01	2.80E+00	22.2818	-0.0006	0
$C_i$	10	1000	2000	9.57E+02	3.05E+01	58.8331	0.0007	0.0082
$C_{s,c}$	1	50	500	9.17E+01	2.96E+00	5.1764	0.0001	-0.0005
$H_2$	0.1	10	1000	3.66E+00	2.61E-01	14.0308	0	0
$C_1$	1	1000	2000	9.03E+02	1.05E+01	14.3876	0	0
$H_3$	0.1	6	100	1.55E+00	1.06E-01	14.7018	-0.0001	0
$A_1$	1	1.2	1.5	1.05E+00	7.96E-03	139.1471	0.0077	-0.0085
$A_2$	0.5	1	1.5	1.12E+00	5.21E-02	24.5885	0.0022	0.0039

Tabla A.14 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina PULSO en el modelo 3

	$T_i$	$T_{s,c}$	$T_1$	$H_1$	$C_i$	$C_{s,c}$	$H_2$	$C_1$	$H_3$	$A_1$	$A_2$
$T_i$	1										
$T_{s,c}$	0.21	1									
$T_1$	0.00	0.01	1								
$H_1$	-0.04	0.01	0.02	1							
$C_i$	0.09	0.01	-0.03	0.01	1						
$C_{s,c}$	-0.11	-0.01	0.01	0.36	-0.29	1					
$H_2$	-0.01	0.00	0.27	0.18	0.07	0.15	1				
$C_1$	-0.01	0.00	-0.15	0.17	0.06	0.15	0.20	1			
$H_3$	-0.02	0.00	-0.50	0.18	0.11	0.13	-0.07	0.23	1		
$A_1$	0.01	-0.01	0.01	-0.30	-0.17	-0.24	-0.19	-0.18	-0.20	1	
$A_2$	-0.01	0.01	-0.01	0.31	0.15	0.25	0.19	0.18	0.20	-0.33	1

Tabla A.15 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina *PULSO* en el modelo 3

En las tablas de resultados y coeficientes de covarianza no se muestran los datos correspondientes al comportamiento estadístico de las variables de estado,  $[\sigma]$ , y el error de las funciones objetivo,  $[e]$ , ya que aumenta en gran medida la dimensión de dichas tablas, sí que se analiza en la validación del modelo.

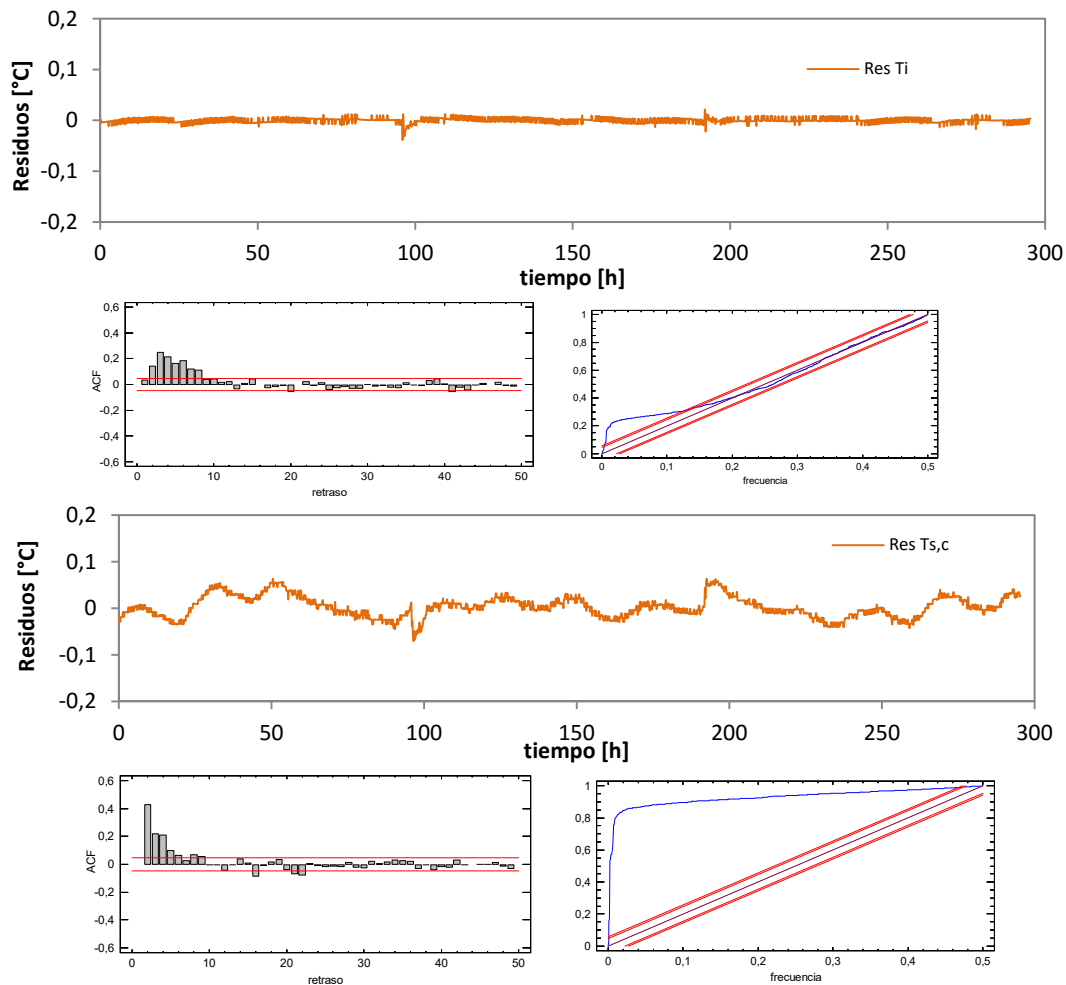


Figura A.43 – Análisis de residuos en el modelo 3 para la excitación *PULSO*

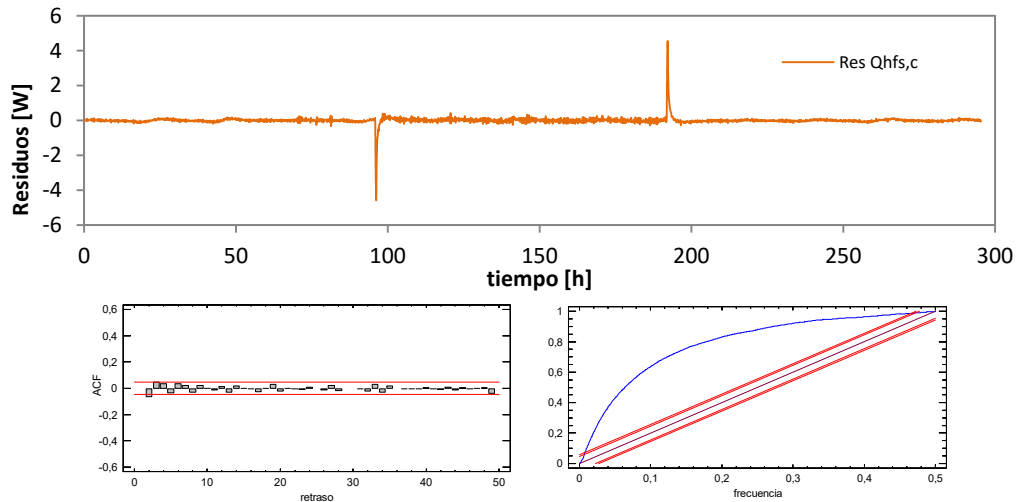


Figura A.44 – Análisis de residuos en el modelo 3 para la excitación PULSO

### Resultados rutina PRBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$T_i$	10	20	40	2.08E+01	6.53E-03	3182.0883	-0.0005	0
$T_{s,c}$	10	20	40	2.07E+01	2.63E-02	785.3445	-0.0005	0
$T_1$	10	20	40	2.03E+01	3.39E-02	597.7475	0.0002	0
$H_1$	1	50	500	5.79E+01	1.81E+00	32.066	-0.0001	0
$C_i$	10	1000	2000	9.72E+02	7.47E-01	210.1	-0.0006	0.0016
$C_{s,c}$	1	50	500	2.40E+02	1.98E+00	20.1673	0	0
$H_2$	0.1	10	1000	1.70E+01	5.70E-01	29.9114	0	0
$C_1$	1	1000	2000	4.32E+02	4.16E+00	17.3047	0	0
$H_3$	0.1	6	100	1.00E+00	2.58E-02	28.078	0	0
$A_1$	1	1.2	1.5	1.07E+00	4.24E-03	215.8239	-0.0004	0.0001
$A_2$	0.5	1	1.5	1.18E+00	2.09E-02	32.0907	0.0001	-0.001

Tabla A.16 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina PRBS en el modelo 3

	$T_i$	$T_{s,c}$	$T_1$	$H_1$	$C_i$	$C_{s,c}$	$H_2$	$C_1$	$H_3$	$A_1$	$A_2$
$T_i$	1										
$T_{s,c}$	0.11	1									
$T_1$	0.01	0.08	1								
$H_1$	0.03	0.02	-0.20	1							
$C_i$	-0.01	-0.05	0.04	-0.26	1						
$C_{s,c}$	0.03	0.04	-0.18	0.22	-0.47	1					
$H_2$	0.01	0.05	0.19	0.40	-0.21	-0.02	1				
$C_1$	0.01	0.03	-0.11	0.21	-0.40	0.32	0.40	1			
$H_3$	-0.02	0.01	-0.14	0.42	-0.21	0.07	0.07	0.43	1		
$A_1$	-0.04	-0.02	0.22	-0.32	0.23	-0.20	-0.35	-0.21	-0.38	1	
$A_2$	0.02	0.03	-0.18	0.29	-0.25	0.35	0.18	0.23	0.17	-0.28	1

Tabla A.17 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina PRBS en el modelo 3

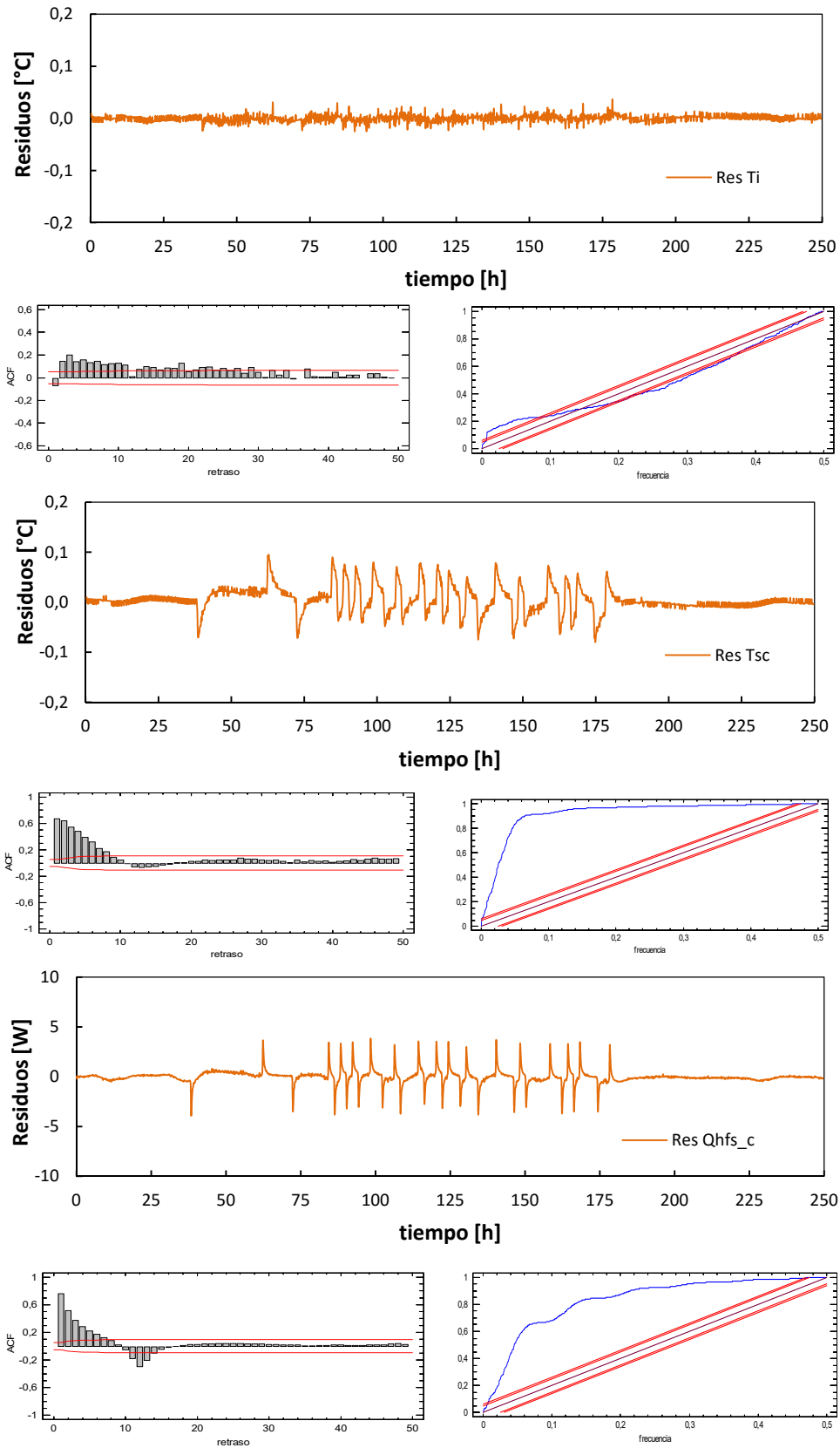


Figura A.46 – Análisis de residuos en el modelo 3 para la excitación PRBS

## Resultados rutina ROLBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$T_i$	10	20	40	2.42E+01	5.78E-03	4188.7538	-0.0042	0.0003
$T_{s,c}$	10	20	40	2.41E+01	1.47E-02	1636.5513	-0.004	0.0003
$T_1$	10	20	40	2.36E+01	4.05E-02	583.6111	0	0.0002
$H_1$	1	50	500	4.53E+01	4.54E+00	9.9741	-0.0003	0
$C_i$	10	1000	2000	9.97E+02	1.06E+00	156.074	0.0001	0.0027
$C_{s,c}$	1	50	500	2.15E+02	3.60E+00	9.9292	0	0
$H_2$	0.1	10	1000	1.41E+01	1.59E+00	8.8728	-0.0001	0
$C_1$	1	1000	2000	3.87E+02	7.36E+00	8.7735	0	0
$H_3$	0.1	6	100	8.94E-01	6.60E-02	9.3378	0	0
$A_1$	1	1.2	1.5	1.02E+00	1.01E-02	93.5165	0.0001	0.0002
$A_2$	0.5	1	1.5	1.10E+00	5.25E-02	9.8373	0.0004	-0.0961

Tabla A.18 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 3

	$T_i$	$T_{s,c}$	$T_1$	$H_1$	$C_i$	$C_{s,c}$	$H_2$	$C_1$	$H_3$	$A_1$	$A_2$
$T_i$	1										
$T_{s,c}$	0.07	1									
$T_1$	0.01	0.06	1								
$H_1$	-0.08	-0.17	-0.01	1							
$C_i$	0.05	0.12	-0.02	-0.25	1						
$C_{s,c}$	-0.08	-0.18	-0.01	0.32	-0.24	1					
$H_2$	-0.07	-0.15	0.26	0.30	-0.23	0.28	1				
$C_1$	-0.07	-0.15	-0.02	0.29	-0.22	0.27	0.26	1			
$H_3$	-0.07	-0.16	0.00	0.31	-0.23	0.30	0.28	0.28	1		
$A_1$	0.08	0.18	0.01	-0.33	0.24	-0.32	-0.29	-0.28	-0.31	1	
$A_2$	-0.08	-0.18	0.00	0.33	-0.25	0.32	0.30	0.29	0.31	-0.33	1

Tabla A.19 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 3

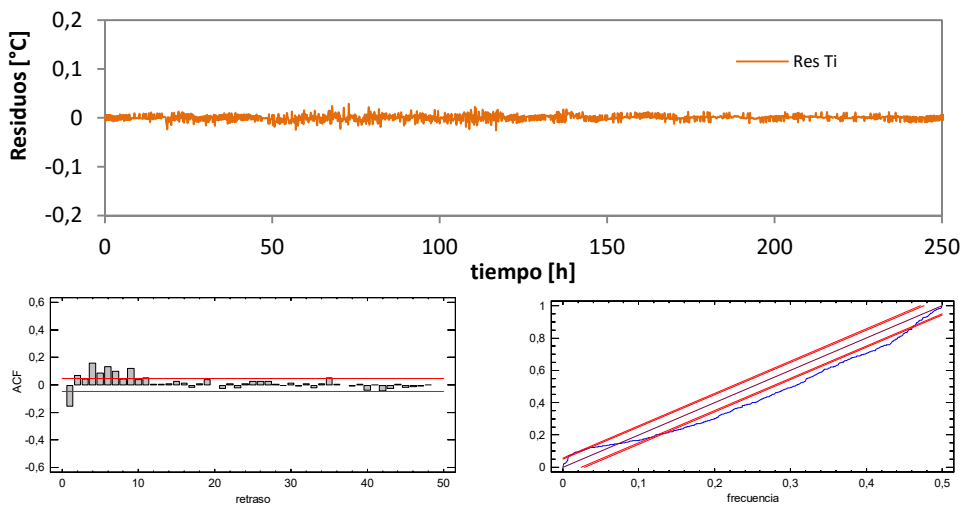


Figura A.47 – Análisis de residuos en el modelo 3 para la excitación ROLBS

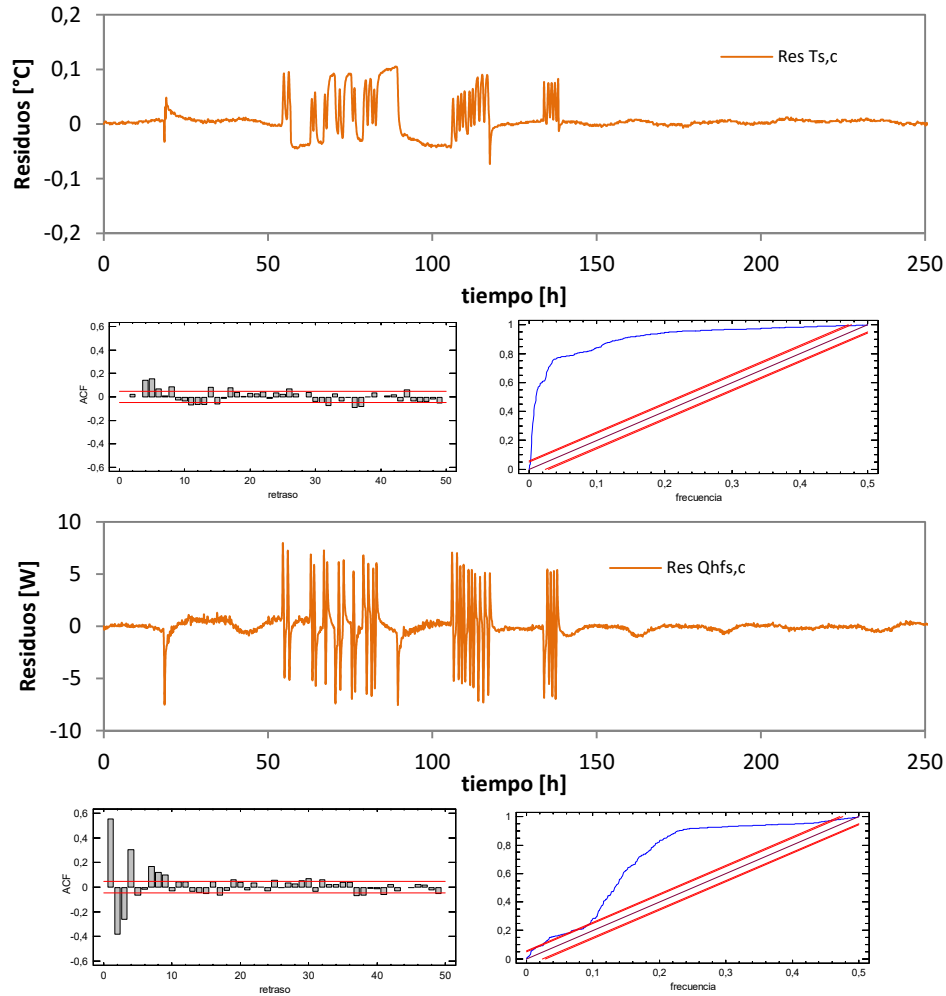


Figura A.48 – Análisis de residuos en el modelo 3 para la excitación ROLBS

### A.3.1.4 Modelo 4

El modelo 4 es un modelo idéntico al modelo 3 pero que intercambia los flujos de calor empleados como variable de entrada y función objetivo. Ahora se emplea el flujo de calor a través del muro de calibración,  $Q_{HFS,c}$ , como variable de excitación del modelo y el flujo de la envolvente,  $Q_{HFS,e}$ , como función de ajuste. Esto permite estimar las propiedades térmicas de la envolvente propia de la sala de ensayos. En la ecuación [A.7] se muestra la definición de dicho modelo con las variables de estado y las funciones de excitación. En la ecuación [A.8] se muestra la definición de las funciones objetivo.

$$\begin{bmatrix} dT_i \\ dT_{s,e} \\ dT_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{H_1}{C_i} & \frac{H_1}{C_i} & 0 \\ \frac{H_1}{C_{s,e}} & -(H_1 + H_2) & \frac{H_2}{C_{s,e}} \\ 0 & \frac{H_2}{C_1} & -(H_2 + H_3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_{s,e} \\ T_1 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \frac{1}{C_i} & -\frac{A_2}{C_i} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_3}{C_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ Q_{HFS,c} \\ T_e \end{bmatrix} dt + [\sigma]dt \quad [A.7]$$



$$\begin{bmatrix} T_i^m \\ T_{s,e}^m \\ Q_{HFS,e}^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & \frac{H_2}{A_1} & \frac{-H_2}{A_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_{s,e} \\ T_1 \end{bmatrix} + [0] \begin{bmatrix} P \\ Q_{HFS,c} \\ T_e \end{bmatrix} + [e] \quad [A.8]$$

A continuación se muestran los resultados del modelo y el análisis de residuos para cada una de las rutinas ensayadas.

### Resultados rutina PULSO

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
T <sub>i</sub>	10	20	40	3.18E+01	2.06E-02	1548.1391	-0.006	0.0018
T <sub>s,e</sub>	10	20	40	3.18E+01	3.60E-03	8841.3479	-0.0071	0.0018
T <sub>2</sub>	10	20	40	2.87E+01	3.47E-02	827.2679	-0.0053	0.0008
H <sub>4</sub>	10	500	1000	3.35E+02	8.23E-01	406.431	0	0
C <sub>i</sub>	1	100	500	3.05E+02	7.96E-03	212.8658	-0.009	-0.0004
C <sub>s,e</sub>	10	1000	3000	1.42E+03	1.46E-01	1618.785	-0.0072	0.0018
H <sub>5</sub>	1	10	1000	1.44E+01	8.67E-02	166.4019	-0.0979	0
C <sub>2</sub>	1	5000	10000	6.62E+03	2.47E+00	446.071	0.0002	0.0001
H <sub>6</sub>	1	6	100	8.58E+00	1.09E-01	49.2945	-0.0009	0
A <sub>1</sub>	0.5	1.2	1.5	1.04E+00	1.89E-02	145.4758	-0.0005	0.0002
A <sub>2</sub>	0.5	1.2	1.5	1.06E+00	2.90E-03	304.334	-0.0252	0.0004

Tabla A.20 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina PULSO en el modelo 4

	T <sub>i</sub>	T <sub>s,e</sub>	T <sub>2</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>i</sub>	C <sub>s,e</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>6</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
T <sub>i</sub>	1										
T <sub>s,e</sub>	0.13	1									
T <sub>2</sub>	-0.02	0.07	1								
H <sub>4</sub>	0.03	-0.11	-0.40	1							
C <sub>i</sub>	0.02	-0.05	-0.40	-0.04	1						
C <sub>s,e</sub>	0.02	-0.01	0.19	0.31	-0.46	1					
H <sub>5</sub>	0.01	0.06	0.21	-0.25	-0.25	0.45	1				
C <sub>2</sub>	0.04	0.02	0.44	0.05	-0.20	0.24	0.26	1			
H <sub>6</sub>	-0.04	0.04	-0.03	-0.01	-0.32	-0.37	-0.01	-0.42	1		
A <sub>1</sub>	-0.03	0.09	0.41	-0.27	0.04	-0.25	0.21	-0.03	-0.02	1	
A <sub>2</sub>	0.01	-0.15	-0.43	0.26	-0.01	0.24	-0.20	0.05	-0.04	-0.31	1

Tabla A.21 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina PULSO en el modelo 4

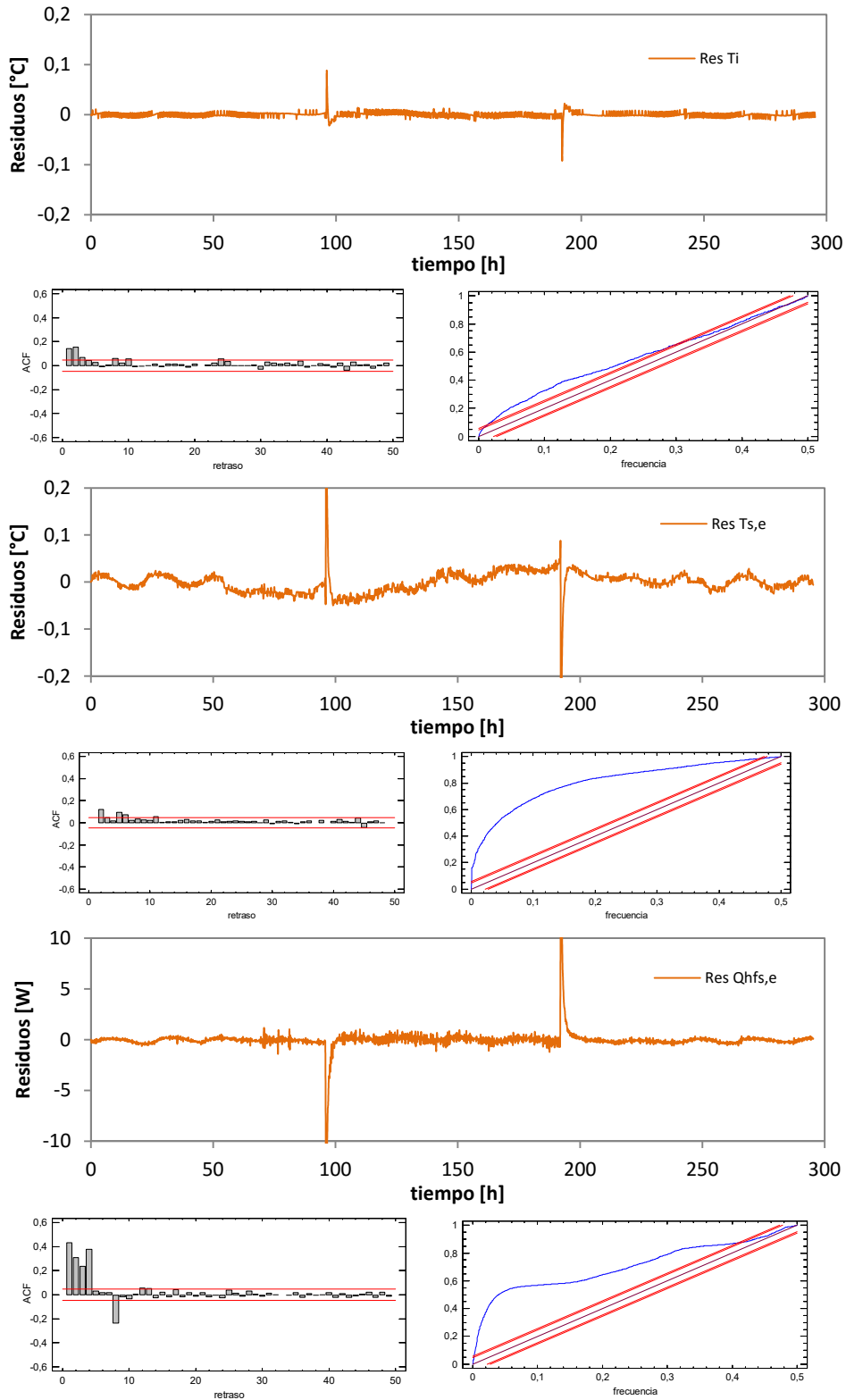


Figura A.49 – Análisis de residuos en el modelo 4 para la excitación PULSO

## Resultados rutina PRBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$T_i$	10	20	40	2.07E+01	3.33E-02	620.7915	-0.0001	0
$T_{s,e}$	10	20	40	2.07E+01	9.17E-03	2255.0561	-0.0053	0
$T_2$	10	20	40	2.04E+01	2.03E-02	1006.5585	0.0005	0
$H_4$	10	500	1000	3.24E+02	3.44E+00	94.1898	0	0
$C_i$	1	100	500	2.92E+02	1.12E+00	80.6075	-0.0001	0.0099
$C_{s,e}$	10	1000	3000	6.75E+02	2.05E+00	54.8512	0	0.0003
$H_5$	1	10	1000	1.42E+02	3.31E+00	43.0395	0	0
$C_2$	1	5000	10000	8.32E+03	1.61E+01	34.3079	0	0
$H_6$	1	6	100	5.34E+00	1.23E-01	41.6774	0	0
$A_1$	0.5	1.2	1.5	9.83E-01	5.67E-02	20.0609	0	0.0012
$A_2$	0.5	1.2	1.5	1.31E+00	9.41E-03	89.3373	-0.0001	-0.0001

Tabla A.22 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina PRBS en el modelo 4

	$T_i$	$T_{s,e}$	$T_2$	$H_4$	$C_i$	$C_{s,e}$	$H_5$	$C_2$	$H_6$	$A_1$	$A_2$
$T_i$	1										
$T_{s,e}$	0.33	1									
$T_2$	0.01	0.16	1								
$H_4$	-0.06	-0.07	0.00	1							
$C_i$	0.17	0.39	0.03	-0.25	1						
$C_{s,e}$	-0.20	-0.49	-0.02	0.31	-0.25	1					
$H_5$	-0.04	0.04	0.24	0.50	0.05	0.00	1				
$C_2$	-0.02	0.02	-0.03	0.39	-0.13	0.11	0.11	1			
$H_6$	0.00	0.03	0.01	0.46	-0.05	0.05	0.23	0.18	1		
$A_1$	0.04	0.03	0.00	-0.32	0.16	-0.22	-0.18	-0.39	-0.47	1	
$A_2$	-0.03	0.03	0.00	0.32	-0.13	0.14	0.18	0.40	0.48	-0.33	1

Tabla A.23 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina PRBS en el modelo 4

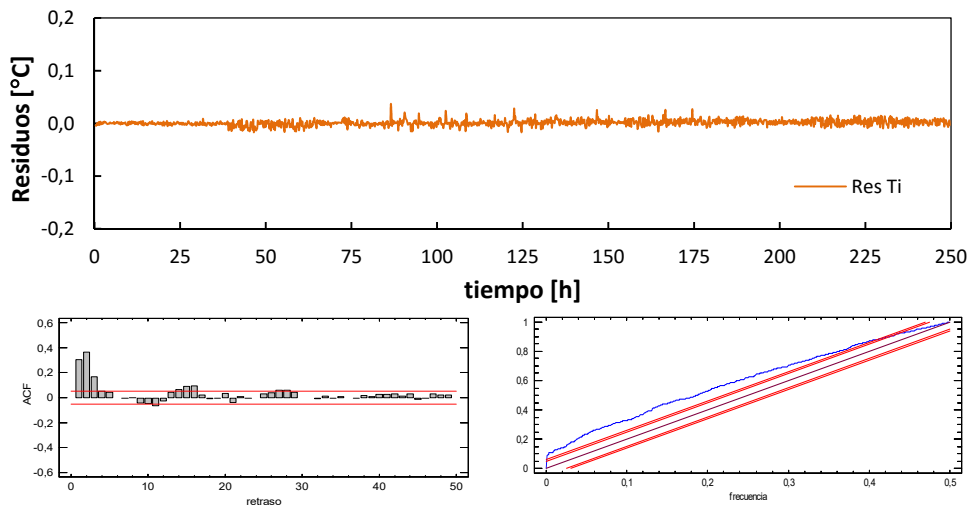


Figura A.50 – Análisis de residuos en el modelo 4 para la excitación PRBS

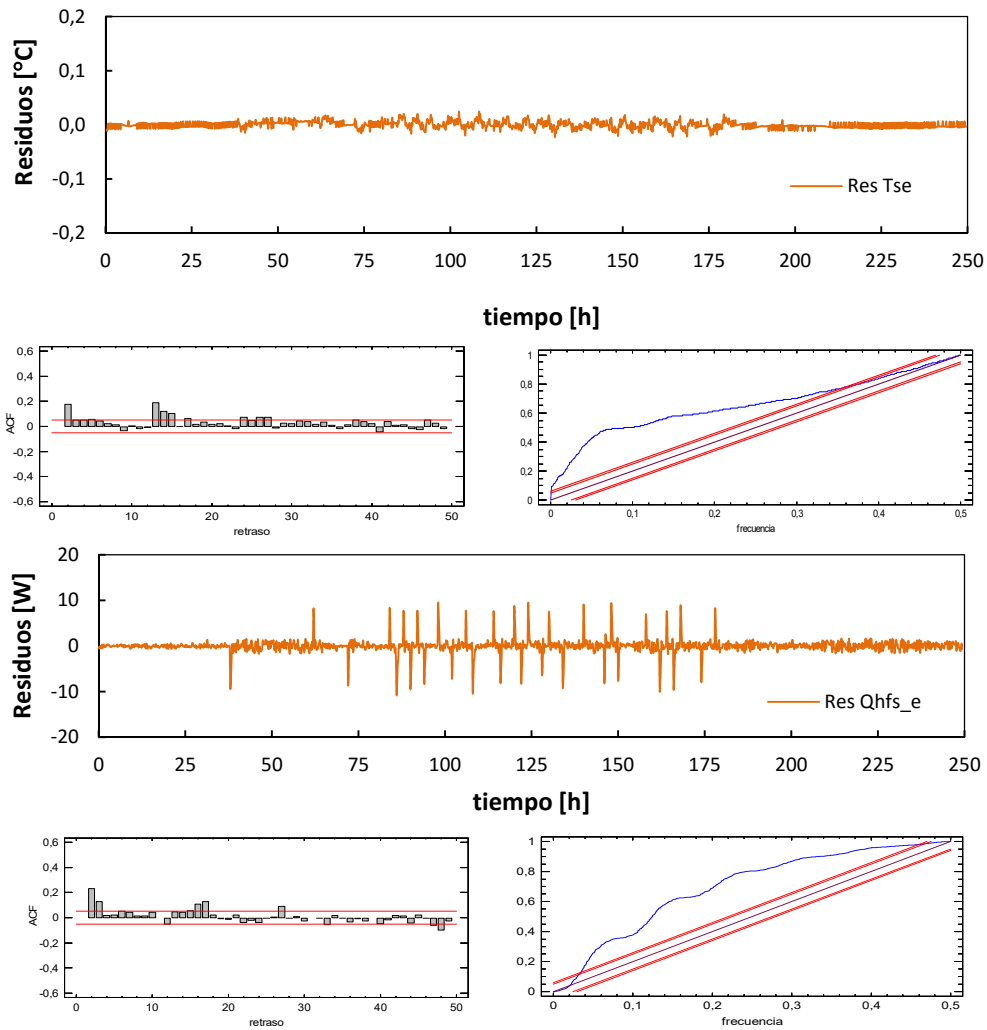


Figura A.51 – Análisis de residuos en el modelo 4 para la excitación PRBS

### Resultados rutina ROLBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$T_i$	10	20	40	2.42E+01	9.25E-03	2619.7522	-0.0001	0.0003
$T_{s,e}$	10	20	40	2.41E+01	8.71E-02	277.2572	0.0004	0.0003
$T_2$	10	20	40	2.38E+01	2.20E-02	1085.2363	0	0.0002
$H_4$	10	500	1000	2.35E+02	4.90E+00	47.8826	0	0
$C_i$	1	100	500	3.25E+02	2.08E+00	65.906	-0.0001	0.0007
$C_{s,e}$	10	1000	3000	7.43E+02	1.02E+01	12.114	0	0.0004
$H_5$	1	10	1000	1.03E+02	7.90E+00	13.078	0	0
$C_2$	1	5000	10000	7.59E+03	5.47E+01	7.8946	0	0
$H_6$	1	6	100	3.77E+00	9.15E-02	39.806	0	0
$A_1$	0.5	1.2	1.5	1.07E+00	4.44E-02	59.5866	0	0.0002
$A_2$	0.5	1.2	1.5	1.10E+00	6.90E-03	81.5508	0	-0.0071

Tabla A.24 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 4

	$T_i$	$T_{s,e}$	$T_2$	$H_4$	$C_i$	$C_{s,e}$	$H_5$	$C_2$	$H_6$	$A_1$	$A_2$
$T_i$	1										
$T_{s,e}$	0.25	1									
$T_2$	-0.11	-0.44	1								
$H_4$	-0.21	-0.30	0.40	1							
$C_i$	-0.20	-0.27	0.36	0.20	1						
$C_{s,e}$	-0.22	-0.33	0.43	0.31	0.26	1					
$H_5$	-0.21	-0.30	0.20	0.29	0.24	0.30	1				
$C_2$	0.22	0.32	-0.45	-0.28	-0.27	-0.32	-0.30	1			
$H_6$	-0.11	-0.49	0.20	0.20	0.31	0.17	0.48	-0.43	1		
$A_1$	0.17	0.24	-0.32	-0.31	-0.42	-0.26	-0.24	0.22	-0.20	1	
$A_2$	-0.15	-0.21	0.29	0.30	0.32	0.23	0.22	-0.19	0.20	-0.31	1

Tabla A.24 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 4

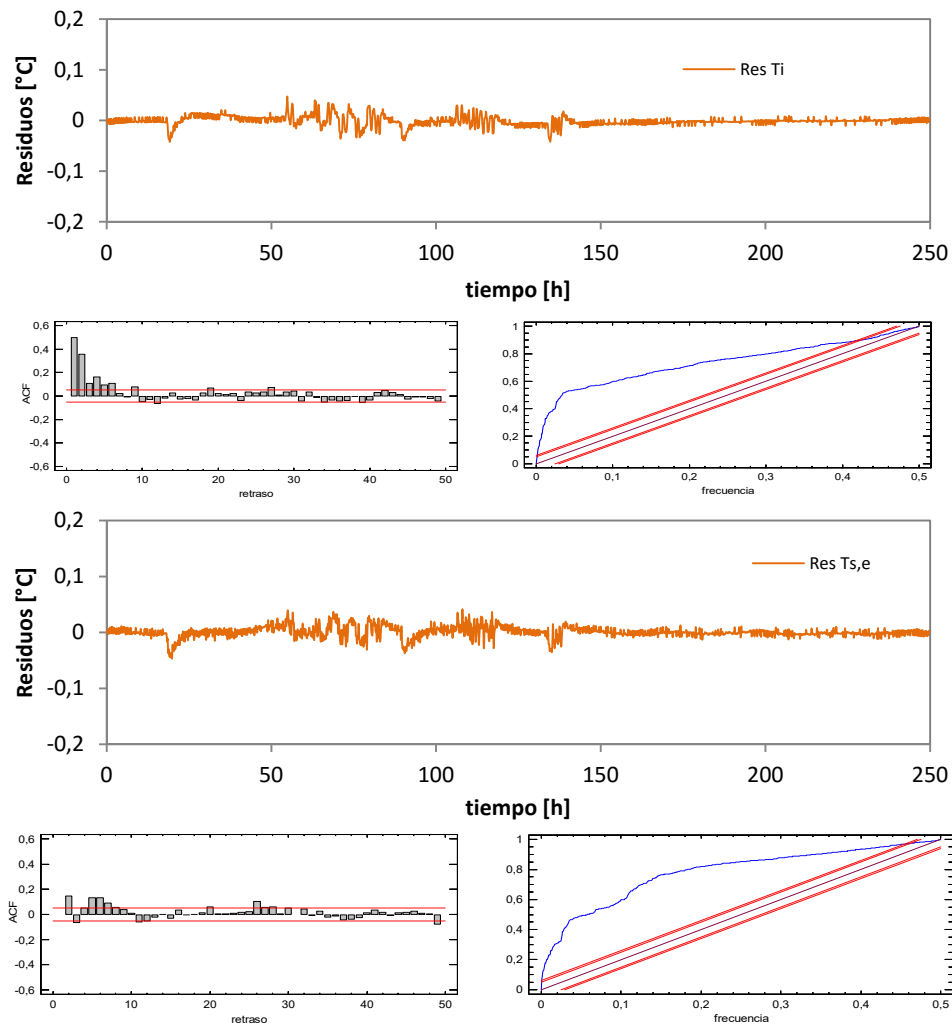


Figura A.52 – Análisis de residuos en el modelo 4 para la excitación ROLBS

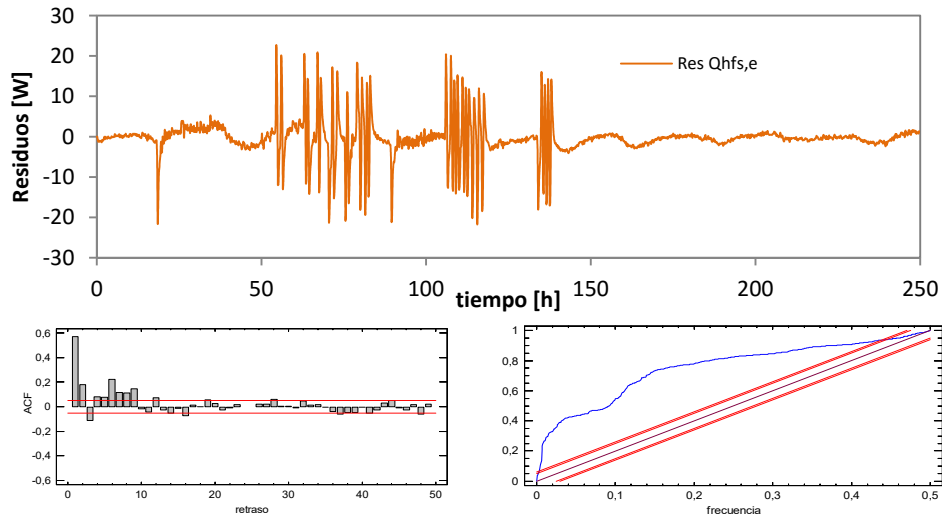


Figura A.53 – Análisis de residuos en el modelo 4 para la excitación ROLBS

### A.3.1.5 Modelo 5

En el modelo 5 se analiza simultáneamente la rama de la envolvente y la rama correspondiente al muro de calibración. El modelo comienza a ser de relativa complejidad al tratarse de un modelo de orden cinco, pero su estudio se puede llevar a cabo gracias a el análisis realizado en los modelos 3 y 4, de forma que se disponen de resultados previos de los parámetros que se pueden emplear como valores iniciales y se puede ajustar el intervalo de estudio de los mismos. En este caso se pueden emplear las dos medidas de flujo de las *tiles*,  $Q_{HFS,c}$  y  $Q_{HFS,e}$ , como funciones objetivo. En la ecuación [A.9] se muestra la definición de dicho modelo con las variables de estado y las funciones de excitación. En la ecuación [A.10] se muestra la definición de las funciones objetivo.

$$\begin{bmatrix} dT_i \\ dT_{s,c} \\ dT_1 \\ dT_{s,e} \\ dT_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(H_1 + H_4) & \frac{H_1}{C_i} & 0 & \frac{H_4}{C_i} & 0 \\ \frac{H_1}{C_{s,c}} & -(H_1 + H_2) & \frac{H_2}{C_{s,e}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_2}{C_1} & -(H_2 + H_3) & 0 & 0 \\ \frac{H_4}{C_{s,e}} & 0 & 0 & -(H_4 + H_5) & \frac{H_5}{C_{s,e}} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{H_5}{C_2} & -(H_5 + H_6) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_{s,c} \\ T_1 \\ T_{s,e} \\ T_2 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{H_2}{C_1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ T_{c,e} \\ T_e \end{bmatrix} dt + [\sigma] dt \quad [A.9]$$

$$\begin{bmatrix} T_i^m \\ T_{s,c}^m \\ T_{s,e}^m \\ Q_{HFS,e}^m \\ Q_{HFS,e}^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{H_5}{A_1} & \frac{-H_5}{A_1} \\ 0 & \frac{H_2}{A_2} & \frac{-H_2}{A_2} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_{s,c} \\ T_1 \\ T_{s,e} \\ T_2 \end{bmatrix} + [0] \begin{bmatrix} P \\ T_{c,e} \\ T_e \end{bmatrix} + [e] \quad [A.10]$$

A continuación se muestran los resultados del modelo y el análisis de residuos para cada una de las rutinas ensayadas.

### Resultados rutina PULSO

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
T <sub>i</sub>	10	30	40	3.11E+01	2.94E-01	105.9416	0	0.0015
T <sub>s,c</sub>	10	30	40	3.29E+01	1.78E-01	184.9312	0.0002	0.0026
T <sub>1</sub>	10	30	40	2.93E+01	3.24E-01	90.3456	-0.0001	0.0009
T <sub>s,e</sub>	10	30	40	3.22E+01	9.95E-02	323.487	0.0001	0.002
T <sub>2</sub>	10	30	40	2.57E+01	3.58E-01	71.8298	0	0.0004
H <sub>1</sub>	10	100	200	8.24E+01	1.67E+00	42.9826	0.0003	0.0009
H <sub>4</sub>	100	300	600	3.96E+02	1.04E+00	381.0895	0.0002	0.0005
C <sub>i</sub>	1	100	200	4.01E+01	4.19E-01	16.2283	0	0
C <sub>s,c</sub>	10	500	1000	5.67E+01	3.65E-01	25.9085	0.0007	-0.0002
H <sub>2</sub>	0.5	3	200	2.12E+00	8.54E-02	33.423	0.0007	0
C <sub>1</sub>	10	500	1000	6.47E+02	5.60E+00	19.2733	0.0001	0
H <sub>3</sub>	0.5	3	200	2.21E+00	6.99E-02	31.6869	0	0
C <sub>s,e</sub>	10	500	1500	1.07E+03	5.15E+00	34.6544	0	0.0001
H <sub>5</sub>	1	10	200	2.22E+01	2.02E-01	30.7472	0	0
C <sub>2</sub>	1000	5000	10000	6.51E+03	4.42E+01	24.5603	0	0
H <sub>6</sub>	1	10	200	8.23E+00	1.69E-01	22.1935	-0.0001	0
A <sub>1</sub>	0.8	1.2	1.5	1.03E+00	5.39E-03	201.8217	-0.0006	-0.0001
A <sub>2</sub>	0.8	1.2	1.5	1.18E+00	6.44E-03	209.4341	0	0.0084

Tabla A.25 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina PULSO en el modelo 5



	$T_i$	$T_{s,c}$	$T_1$	$T_{s,e}$	$T_2$	$H_1$	$H_4$	$C_i$	$C_{s,c}$	$H_2$	$C_1$	$H_3$	$C_{s,e}$	$H_5$	$C_2$	$H_6$	$A_1$	$A_2$
$T_i$	1																	
$T_{s,c}$	0.2	1																
$T_1$	-0.1	0.2	1															
$T_{s,e}$	0.4	0.4	-0.3	1														
$T_2$	0.0	-0.1	0.1	-0.1	1													
$H_1$	-0.4	-0.2	0.3	-0.2	0.1	1												
$H_4$	-0.3	-0.2	0.3	-0.3	0.1	0.2	1											
$C_i$	0.1	0.2	-0.4	0.3	-0.2	-0.3	-0.2	1										
$C_{s,c}$	-0.2	-0.2	0.4	-0.2	0.2	0.2	0.2	-0.3	1									
$H_2$	0.1	0.1	0.0	0.1	-0.1	-0.4	-0.4	0.4	-0.3	1								
$C_1$	0.2	0.2	-0.4	0.3	-0.2	-0.3	-0.3	0.3	-0.2	0.4	1							
$H_3$	0.2	0.2	-0.3	0.3	-0.2	-0.2	-0.2	0.2	-0.2	-0.1	0.3	1						
$C_{s,e}$	0.2	0.2	-0.4	0.2	-0.2	-0.3	-0.2	0.3	-0.3	0.4	0.3	0.2	1					
$H_5$	-0.1	-0.1	0.2	-0.2	0.2	0.4	0.2	-0.2	0.4	-0.1	-0.5	-0.3	-0.4	1				
$C_2$	0.2	0.1	-0.2	0.2	-0.1	-0.2	-0.5	0.2	-0.5	0.2	0.4	0.4	0.4	-0.4	1			
$H_6$	-0.3	-0.1	0.3	-0.2	0.2	0.2	0.4	-0.2	0.2	-0.3	-0.2	-0.5	-0.2	0.3	-0.4	1		
$A_1$	0.3	0.5	-0.2	0.2	-0.2	-0.2	-0.3	0.3	-0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	-0.1	0.2	-0.2	1	
$A_2$	0.0	0.1	-0.3	0.2	-0.2	-0.2	-0.2	0.5	-0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	-0.2	0.2	-0.2	0.1	1

Tabla A.26 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina *PULSO* en el modelo 5

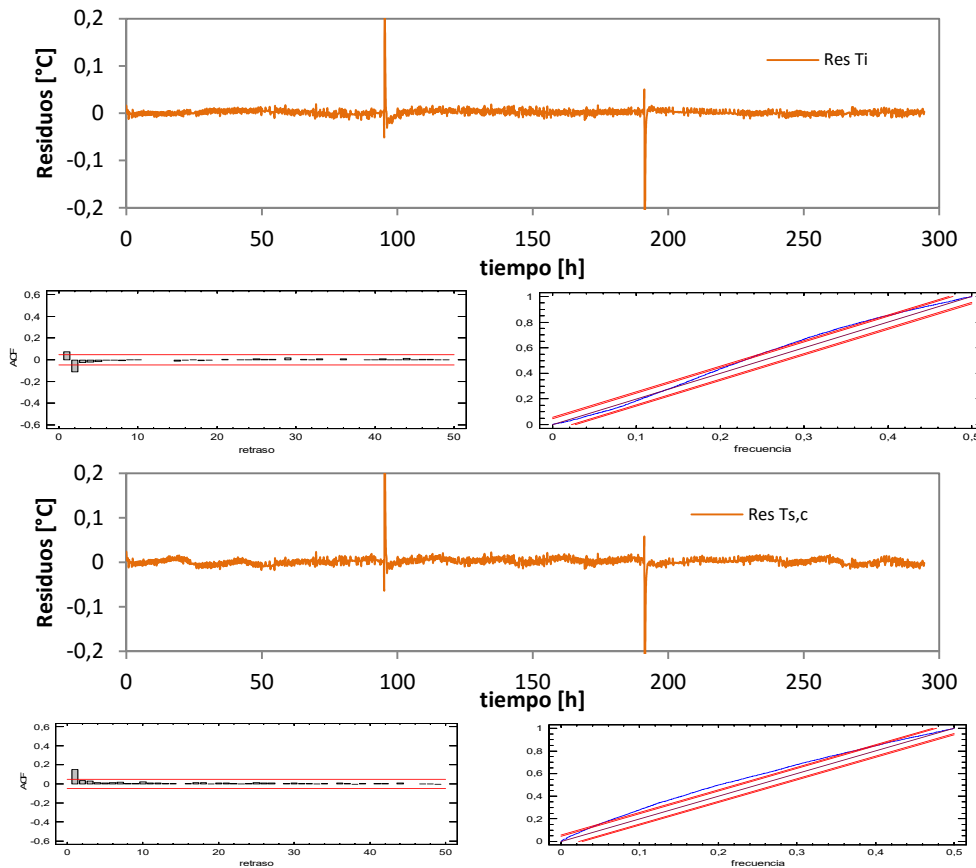


Figura A.54 – Análisis de residuos en el modelo 5 para la excitación *PULSO*

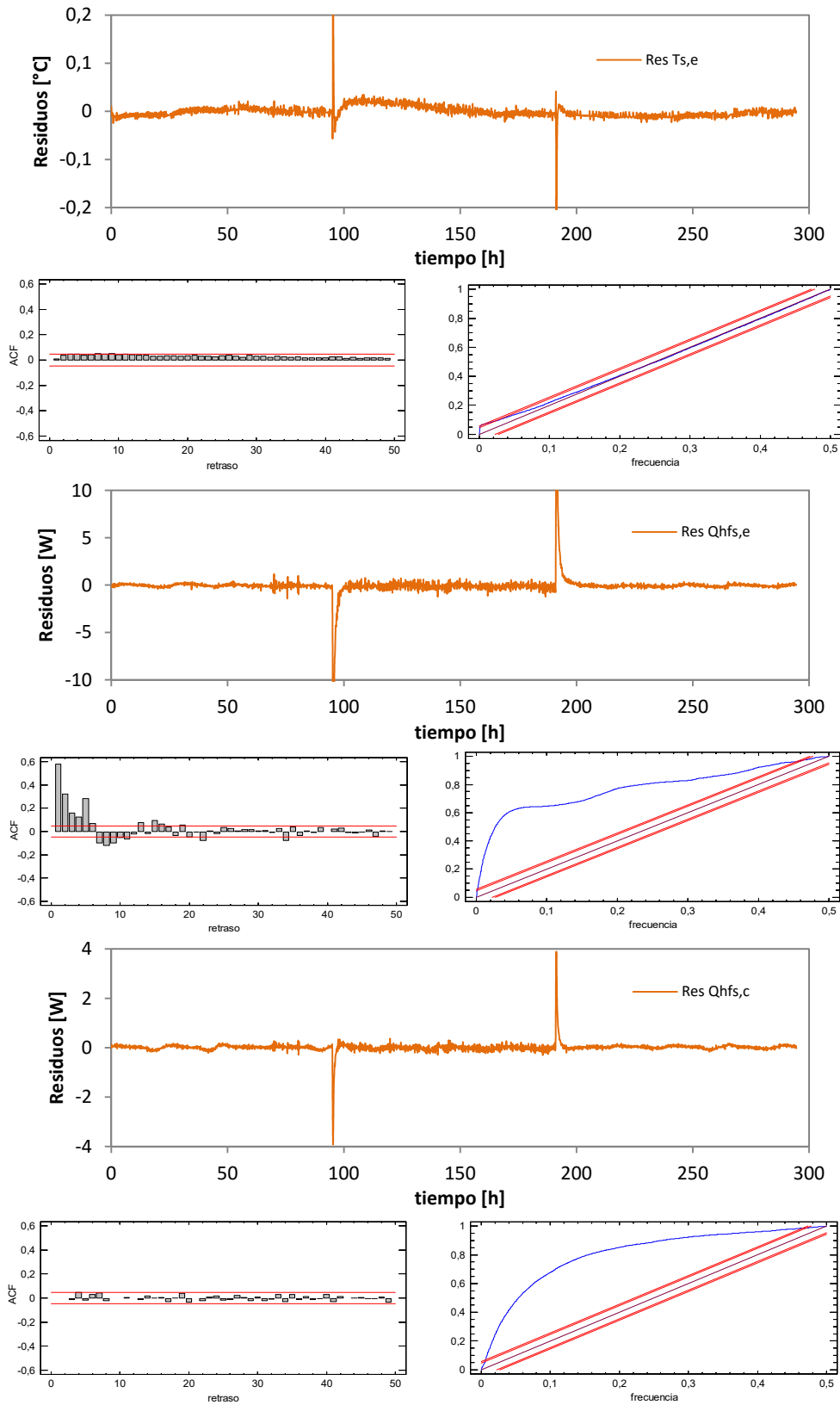


Figura A.55 – Análisis de residuos en el modelo 5 para la excitación PULSO

## Resultados rutina PRBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
T <sub>i</sub>	10	30	40	1.84E+01	1.94E-01	94.9206	-0.0001	-0.0002
T <sub>s,c</sub>	10	30	40	1.65E+01	1.11E-01	148.2274	-0.0001	-0.0003
T <sub>1</sub>	10	30	40	1.68E+01	1.37E-01	123.2384	0	-0.0001
T <sub>s,e</sub>	10	30	40	1.95E+01	7.51E-02	260.035	-0.0003	0
T <sub>2</sub>	10	30	40	1.97E+01	9.87E-02	199.4111	0.0000	0.0003
H <sub>1</sub>	10	100	200	8.04E+01	4.57E+00	314.7949	-0.0019	0.0002
H <sub>4</sub>	100	300	600	4.59E+02	1.49E+00	307.8105	0.0020	0.0014
C <sub>i</sub>	1	100	200	1.67E+01	2.69E-01	41.7682	0.0001	0
C <sub>s,c</sub>	10	500	1000	7.50E+02	1.57E+00	45.2	0	0
H <sub>2</sub>	0.5	3	200	9.89E+00	2.31E-01	42.7654	0.0001	0
C <sub>1</sub>	10	500	1000	4.88E+02	8.91E-01	91.2711	0	-0.0004
H <sub>3</sub>	0.5	3	200	1.16E+00	2.84E-03	212.4875	0	-0.0027
C <sub>s,e</sub>	10	500	1500	1.25E+02	1.32E+00	94.9274	-0.0001	0.0004
H <sub>5</sub>	1	10	200	1.88E+02	2.10E+00	89.3385	-0.0002	0.0001
C <sub>2</sub>	1000	5000	10000	8.46E+03	2.55E+00	226.5439	0	-0.0049
H <sub>6</sub>	1	10	200	5.97E+00	1.59E-01	44.255	0.0001	0
A <sub>1</sub>	0.8	1.2	1.5	9.95E-01	2.35E-03	422.557	-0.0011	0.0004
A <sub>2</sub>	0.8	1.2	1.5	1.04E+00	1.22E-03	445.3582	-0.0001	-0.0155

Tabla A.27 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina PRBS en el modelo 5

	T <sub>i</sub>	T <sub>s,c</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>s,e</sub>	T <sub>2</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>i</sub>	C <sub>s,c</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>s,e</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>6</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
T <sub>i</sub>	1																	
T <sub>s,c</sub>	-0.1	1																
T <sub>1</sub>	0.0	0.0	1															
T <sub>s,e</sub>	-0.1	-0.2	-0.1	1														
T <sub>2</sub>	0.0	-0.4	0.0	0.4	1													
H <sub>1</sub>	0.1	0.2	0.0	-0.1	-0.1	1												
H <sub>4</sub>	0.2	0.1	0.1	-0.2	0.1	0.5	1											
C <sub>i</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1										
C <sub>s,c</sub>	0.0	-0.3	0.1	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1									
H <sub>2</sub>	0.1	0.0	0.2	-0.1	0.0	-0.5	0.0	0.0	0.1	1								
C <sub>1</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1							
H <sub>3</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.4	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1						
C <sub>s,e</sub>	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1					
H <sub>5</sub>	0.0	0.2	-0.1	-0.2	-0.3	0.5	0.2	0.0	0.1	-0.2	0.0	0.0	-0.1	1				
C <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	-0.2	1			
H <sub>6</sub>	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.6	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.1	1		
A <sub>1</sub>	0.0	0.1	-0.1	0.0	0.0	0.3	0.5	0.0	-0.3	-0.2	0.0	0.0	-0.3	0.4	-0.1	0.0	1	
A <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.1	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.2	0.1	-0.3	1

Tabla A.28 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina PRBS en el modelo 5

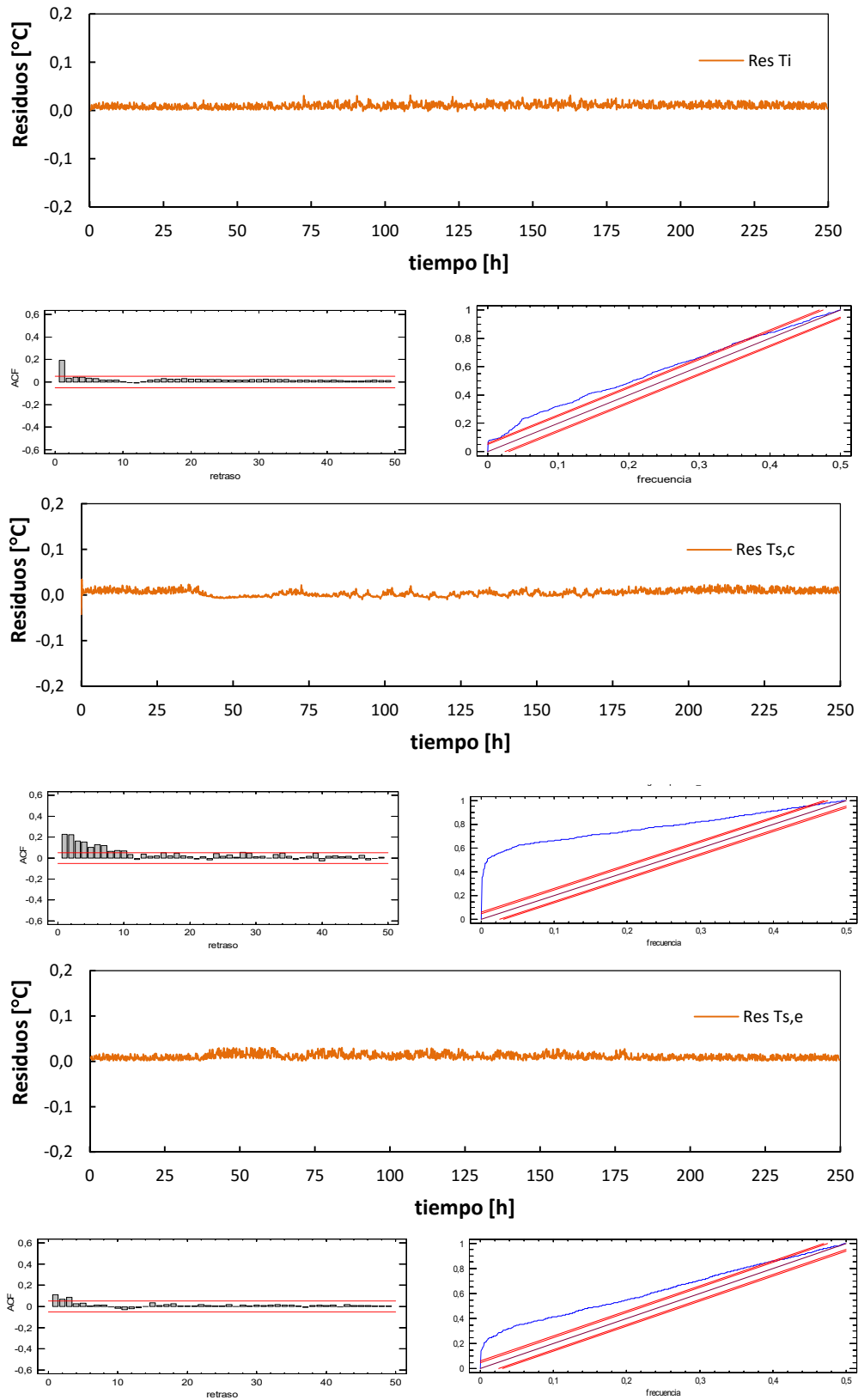


Figura A.56 – Análisis de residuos en el modelo 5 para la excitación PRBS

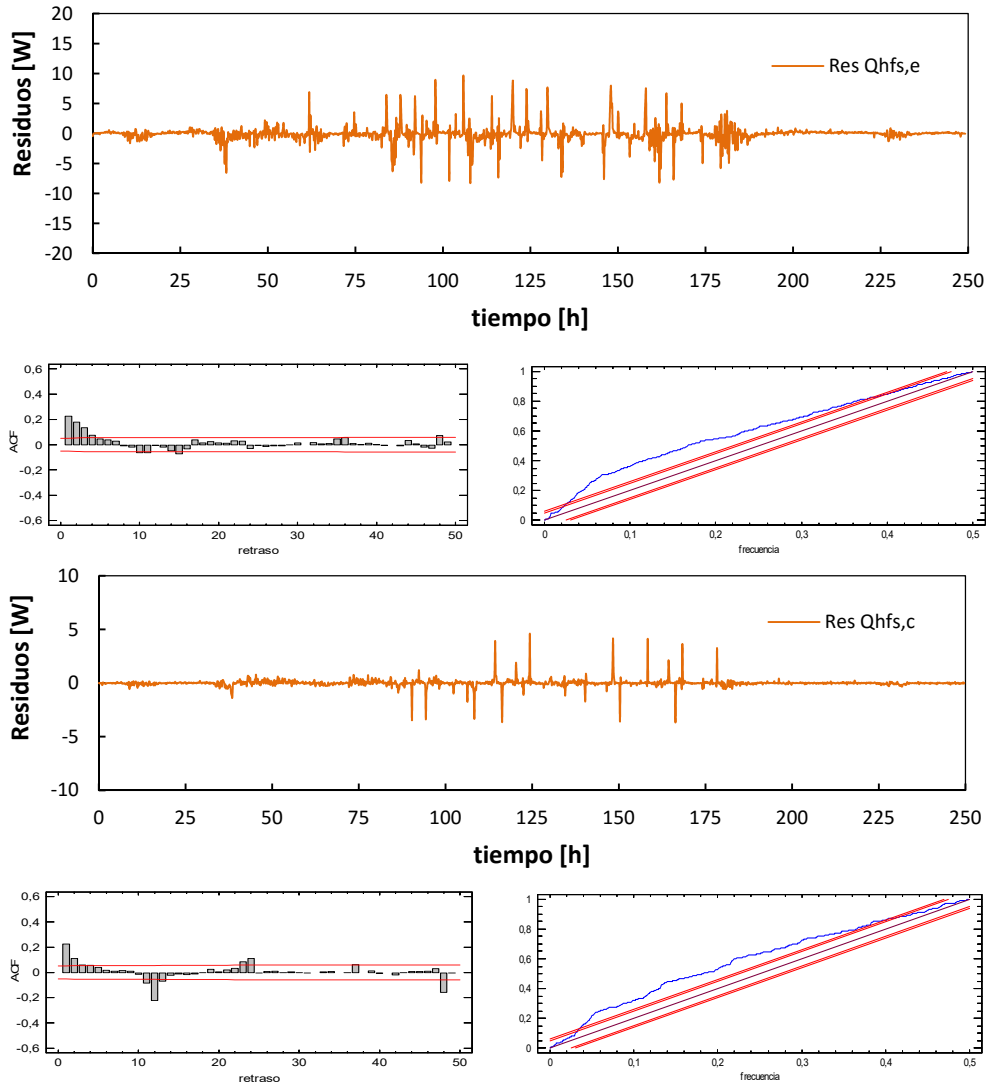


Figura A.57 – Análisis de residuos en el modelo 5 para la excitación PRBS

## Resultados rutina ROLBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
T <sub>i</sub>	10	30	40	2.42E+01	1.73E-02	1404.6677	0.0009	0.0001
T <sub>s,c</sub>	10	30	40	2.41E+01	1.25E-02	1935.326	-0.0004	0.0003
T <sub>1</sub>	10	30	40	2.35E+01	4.49E-02	523.9271	0.0002	0.0016
T <sub>s,e</sub>	10	30	40	2.41E+01	4.11E-03	5877.9777	0.0031	0.0003
T <sub>2</sub>	10	30	40	2.38E+01	1.56E-02	1522.083	-0.0009	0.0017
H <sub>1</sub>	10	100	200	7.20E+01	2.70E+00	26.6202	-0.0005	0
H <sub>4</sub>	100	300	600	3.79E+02	2.76E+00	145.9761	-0.0007	0.0006
C <sub>i</sub>	1	100	200	4.67E+01	1.54E+00	54.1869	0.0002	0.0031
C <sub>s,c</sub>	10	500	1000	4.12E+02	2.10E+00	22.7695	-0.0001	0
H <sub>2</sub>	0.5	3	200	1.94E+01	1.21E+00	15.955	-0.0001	0
C <sub>1</sub>	10	500	1000	5.58E+02	7.82E+00	13.981	0	-0.0001
H <sub>3</sub>	0.5	3	200	9.97E-01	1.08E-02	92.0843	-0.0125	8.3009
C <sub>s,e</sub>	10	500	1500	9.60E+02	1.76E+00	64.5638	0.0003	0.0003
H <sub>5</sub>	1	10	200	1.54E+02	3.45E+00	44.7612	0.0003	0.0001
C <sub>2</sub>	1000	5000	10000	9.78E+03	1.61E+01	42.589	0.0001	-0.001
H <sub>6</sub>	1	10	200	5.55E+00	9.91E-02	57.3397	0	0
A <sub>1</sub>	0.8	1.2	1.5	9.43E-01	5.85E-03	149.3222	-0.0024	0.0051
A <sub>2</sub>	0.8	1.2	1.5	1.16E+00	3.10E-02	27.1839	0.0001	0.0031

Tabla A.29 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 5

	T <sub>i</sub>	T <sub>s,c</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>s,e</sub>	T <sub>2</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>i</sub>	C <sub>s,c</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>s,e</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>6</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
T <sub>i</sub>	1																	
T <sub>s,c</sub>	0.1	1																
T <sub>1</sub>	0.0	0.1	1															
T <sub>s,e</sub>	0.4	0.1	0.0	1														
T <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.3	1													
H <sub>1</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1												
H <sub>4</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3	1											
C <sub>i</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	1										
C <sub>s,c</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	-0.3	-0.1	1									
H <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.2	-0.2	0.0	0.5	1								
C <sub>1</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	-0.4	0.0	0.4	0.3	1							
H <sub>3</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	-0.1	0.0	0.2	0.1	0.2	1						
C <sub>s,e</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.4	0.5	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	1					
H <sub>5</sub>	0.0	0.0	0.1	0.0	0.4	-0.2	0.2	0.1	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	0.1	1				
C <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3	0.3	-0.1	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	0.2	0.0	1			
H <sub>6</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.4	0.4	0.0	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0.2	0.1	0.2	1		
A <sub>1</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3	0.3	0.0	-0.3	-0.2	-0.5	-0.2	0.4	0.2	0.3	0.4	1	
A <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	-0.3	-0.1	0.3	0.2	0.5	0.2	-0.4	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3	1

Tabla A.30 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 5

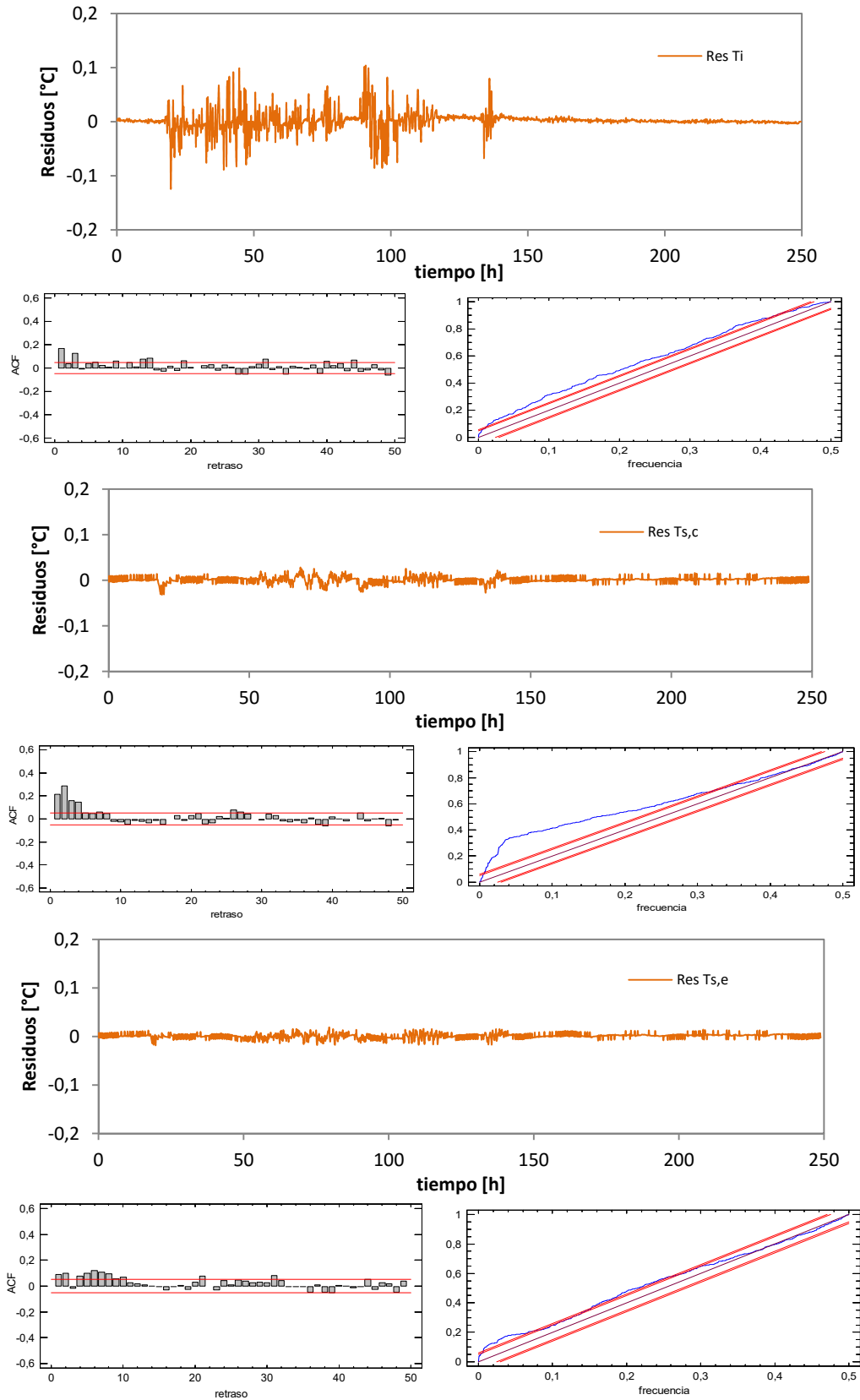


Figura A.58 – Análisis de residuos en el modelo 5 para la excitación ROLBS



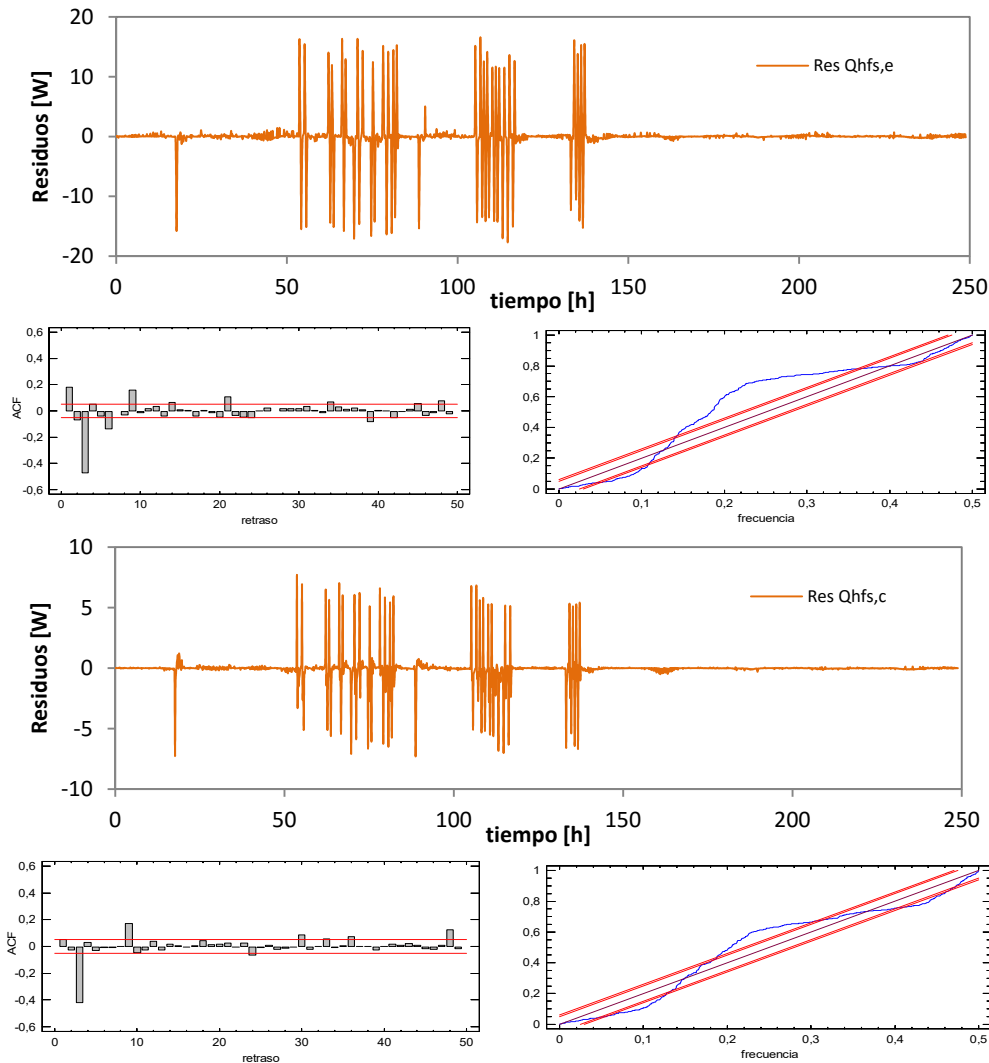


Figura A.59 – Análisis de residuos en el modelo 5 para la excitación ROLBS

### A.3.1.6 Modelo 6

En el modelo 6 se define unas de las configuraciones más completa de la celda. En este caso se suma al modelo 5 el flujo intercambiado por la cara norte. En principio se espera que mejore el ajuste debido a que dicha cara presenta unas condiciones muy diferentes al resto de la envolvente. Por ejemplo, la temperatura a la que está sometida es la de la sala de servicio y no la temperatura exterior. Además dispone de la particularidad de la puerta de acceso, que aún configurada de forma que se que mantenga la geometría constructiva del resto de la envolvente de la sala de ensayos, en cuanto al espesor de aislamiento, la configuración real implica diferente comportamiento. Por otro lado, el flujo de calor neto intercambiado por dicha cara norte es residual en relación al flujo que intercambia el resto de la envolvente, por lo que puede darse el caso de que el aumento de la complejidad del modelo no compense con la mejora en los resultados de ajuste al patrón de ruido blanco respecto al modelo anterior. En la ecuación [A.11] se muestra la definición de dicho modelo con las variables de estado y las funciones de excitación. En la ecuación [A.12] se muestra la definición de las funciones objetivo.

$$\begin{bmatrix} dT_i \\ dT_{s,c} \\ dT_1 \\ dT_{s,l} \\ dT_2 \\ dT_{s,n} \\ dT_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(H_1 + H_4 + H_7) & H_1 & 0 & H_4 & 0 & H_7 & 0 \\ C_i & C_i & 0 & C_i & 0 & C_i & 0 \\ H_1 & -(H_1 + H_2) & H_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ C_{s,c} & C_{s,c} & C_{s,c} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & H_2 & -(H_2 + H_3) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ C_1 & C_1 & C_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ H_4 & 0 & 0 & -(H_2 + H_3) & H_5 & 0 & 0 \\ C_{s,l} & 0 & 0 & C_{s,l} & C_{s,l} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & H_5 & -(H_5 + H_6) & 0 & 0 \\ C_2 & 0 & 0 & C_2 & C_2 & 0 & 0 \\ H_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & -(H_7 + H_8) & H_8 \\ C_{s,n} & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{s,n} & C_{s,n} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & H_8 & -(H_8 + H_9) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_3 & C_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_{s,c} \\ T_1 \\ T_{s,l} \\ T_2 \\ T_{s,n} \\ T_3 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} 1 \\ C_i \\ 0 \\ H_3 \\ C_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ H_6 \\ C_2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ H_9 \\ C_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ T_{c,e} \\ T_e \\ T_{a,ss} \end{bmatrix} dt + [c]dt$$

[A.11]

$$\begin{bmatrix} T_i^m \\ T_{s,c}^m \\ T_{s,e}^m \\ T_{s,n}^m \\ Q_{HFS,l}^m \\ Q_{HFS,c}^m \\ Q_{HFS,n}^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & H_5 & -H_5 & 0 & 0 \\ 0 & H_2 & -H_2 & A_1 & A_1 & 0 & 0 \\ 0 & A_2 & -A_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & H_8 & -H_8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A_3 & A_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_{s,c} \\ T_1 \\ T_{s,l} \\ T_2 \\ T_{s,n} \\ T_3 \end{bmatrix} + [0] \begin{bmatrix} P \\ T_{c,e} \\ T_e \\ T_{a,ss} \end{bmatrix} + [e]$$

[A.12]

### Resultados rutina PULSO

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	10	100	200	8.61E+01	4.89E-01	1759.5962	0.0067	0.0001
H <sub>4</sub>	100	300	600	2.97E+02	2.43E+00	122.2374	0.0012	0.0001
H <sub>7</sub>	5	50	200	4.96E+01	3.60E-01	137.7578	0.0083	0
C <sub>i</sub>	1	100	200	3.67E+01	1.14E-01	53.9298	-0.0048	0
C <sub>s,c</sub>	10	500	1000	4.70E+02	3.11E-01	251.7839	0.0184	0.0016
H <sub>2</sub>	0.5	3	200	1.61E+00	9.48E-02	35.9708	0	0
C <sub>1</sub>	10	500	1500	1.05E+03	6.54E-01	267.7491	0.0125	0.0001
H <sub>3</sub>	0.5	3	200	2.07E+00	3.85E-02	59.4094	0	0
C <sub>s,l</sub>	100	500	1000	5.13E+02	2.93E-01	221.159	0.0039	0.0001
H <sub>5</sub>	1	10	200	5.15E+00	4.18E-02	52.3771	-0.0009	-0.0002
C <sub>2</sub>	1000	5000	10000	1.46E+03	8.32E+00	174.8678	-0.0028	0.001
H <sub>6</sub>	1	10	500	2.70E+02	1.65E-02	42.6569	-0.0001	0
C <sub>s,n</sub>	1	500	1000	2.70E+02	3.25E-01	202.4922	0.0039	0.0001
H <sub>8</sub>	0.1	100	500	2.72E-01	4.57E-03	59.5017	0.0001	-0.0001
C <sub>3</sub>	1	100	500	3.29E+02	2.48E+00	132.6191	-0.0019	0.0006
H <sub>9</sub>	0.1	1	100	1.41E+00	3.92E-02	35.8472	0	0
A <sub>1</sub>	0.8	1.2	1.5	1.04E+00	3.41E-03	333.141	0.0036	0.0011
A <sub>2</sub>	0.8	1.2	1.5	1.18E+00	9.37E-04	1575.3271	-0.0003	0.3846
A <sub>3</sub>	0.8	1.2	1.5	1.06E+00	1.92E-03	294.8912	0	-0.0063

Tabla A.31 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina PULSO en el modelo 6

	H <sub>1</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>7</sub>	C <sub>i</sub>	C <sub>s,c</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>s,l</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>s,n</sub>	H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>9</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	
H <sub>1</sub>	1																			
H <sub>4</sub>	-0.3	1																		
H <sub>7</sub>	-0.2	0.2	1																	
C <sub>i</sub>	0.3	-0.2	-0.3	1																
C <sub>s,c</sub>	0.3	-0.3	-0.3	0.3	1															
H <sub>2</sub>	0.2	-0.2	-0.3	0.3	0.2	1														
C <sub>1</sub>	-0.2	0.3	0.3	-0.2	-0.4	-0.2	1													
H <sub>3</sub>	-0.3	0.4	0.2	-0.2	-0.4	-0.2	0.4	1												
C <sub>s,l</sub>	-0.3	0.3	0.3	-0.3	-0.3	-0.3	0.2	0.2	1											
H <sub>5</sub>	0.2	-0.3	-0.3	0.3	0.3	0.3	-0.2	-0.5	-0.3	1										
C <sub>2</sub>	-0.2	0.3	0.3	-0.3	-0.3	-0.3	0.2	0.2	0.3	-0.3	1									
H <sub>6</sub>	0.2	-0.1	-0.2	0.2	0.1	0.0	-0.1	0.0	-0.2	0.1	-0.1	1								
C <sub>s,n</sub>	0.3	-0.3	-0.3	0.3	0.3	0.3	-0.2	-0.2	-0.3	0.3	-0.3	0.1	1							
H <sub>8</sub>	0.0	-0.5	-0.5	0.3	0.4	0.5	-0.2	-0.4	-0.2	0.2	-0.2	-0.1	0.3	1						
C <sub>3</sub>	-0.2	0.2	0.5	-0.4	-0.2	-0.2	0.0	0.2	0.2	-0.2	0.4	0.0	-0.2	-0.1	1					
H <sub>9</sub>	-0.1	0.2	0.1	-0.1	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.1	-0.1	0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.1	1				
A <sub>1</sub>	-0.2	0.3	0.2	-0.2	-0.3	-0.2	0.3	0.3	0.2	-0.3	0.2	0.0	-0.2	-0.4	0.2	0.1	1			
A <sub>2</sub>	0.5	-0.2	-0.4	0.5	0.2	0.2	-0.3	-0.1	-0.5	0.2	-0.4	0.0	0.2	0.2	-0.4	-0.1	-0.2	1		
A <sub>3</sub>	-0.1	-0.1	0.1	-0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1	0.2	0.0	0.0	-0.2	-0.2	1	

Tabla A.32 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina PULSO en el modelo 6

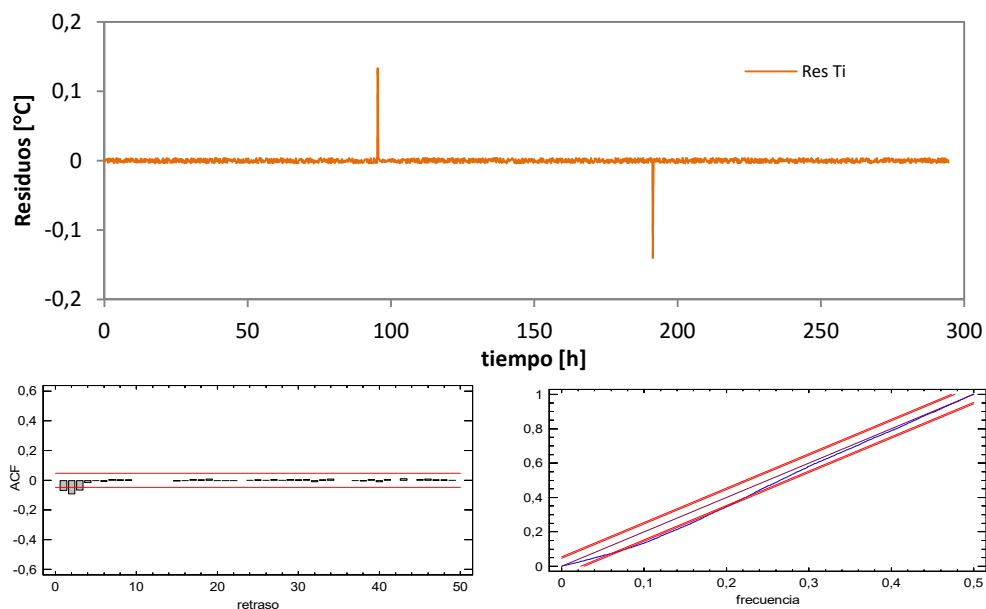


Figura A.60 – Análisis de residuos en el modelo 6 para la excitación PULSO

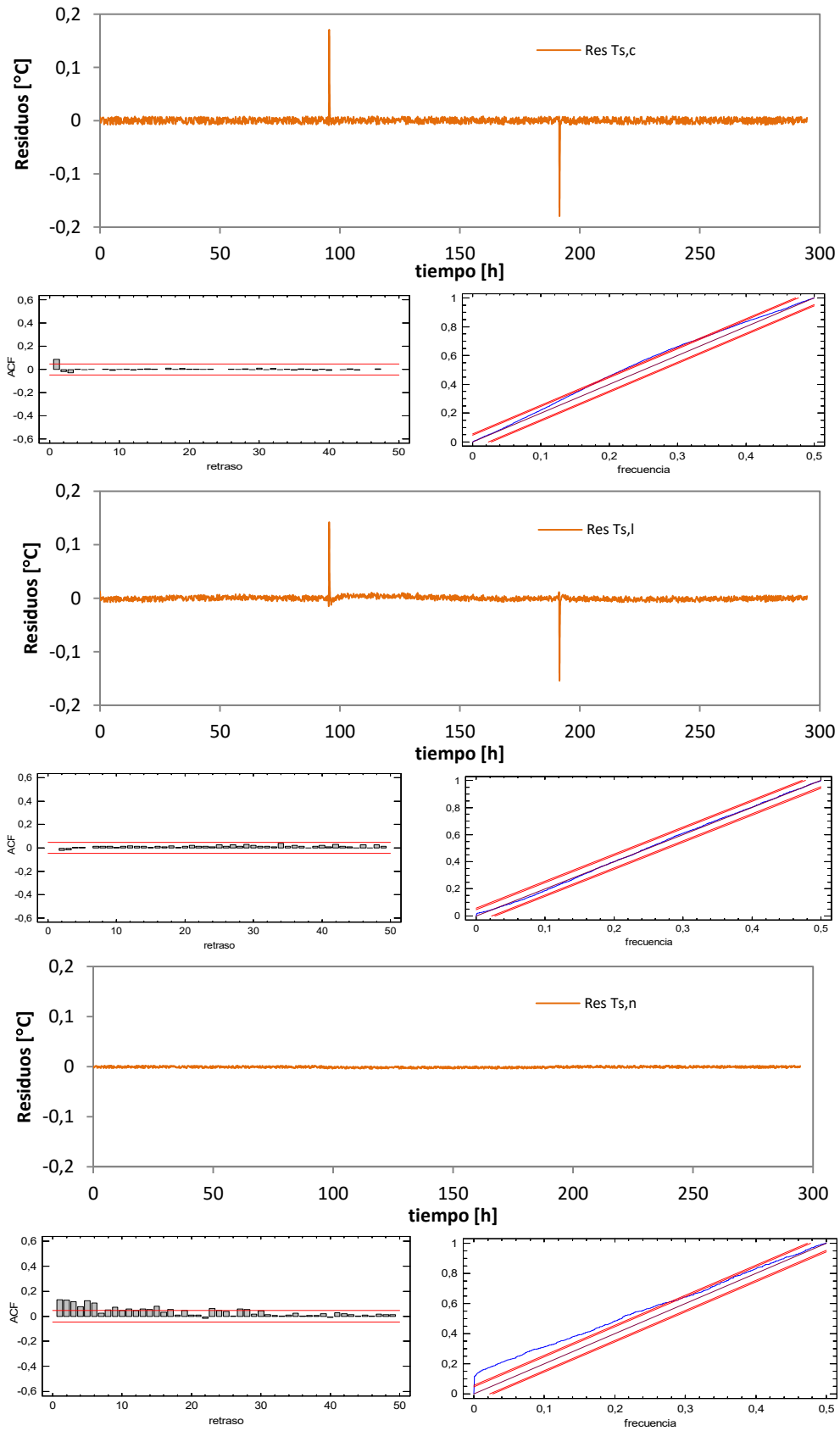


Figura A.61 – Análisis de residuos en el modelo 6 para la excitación PULSO

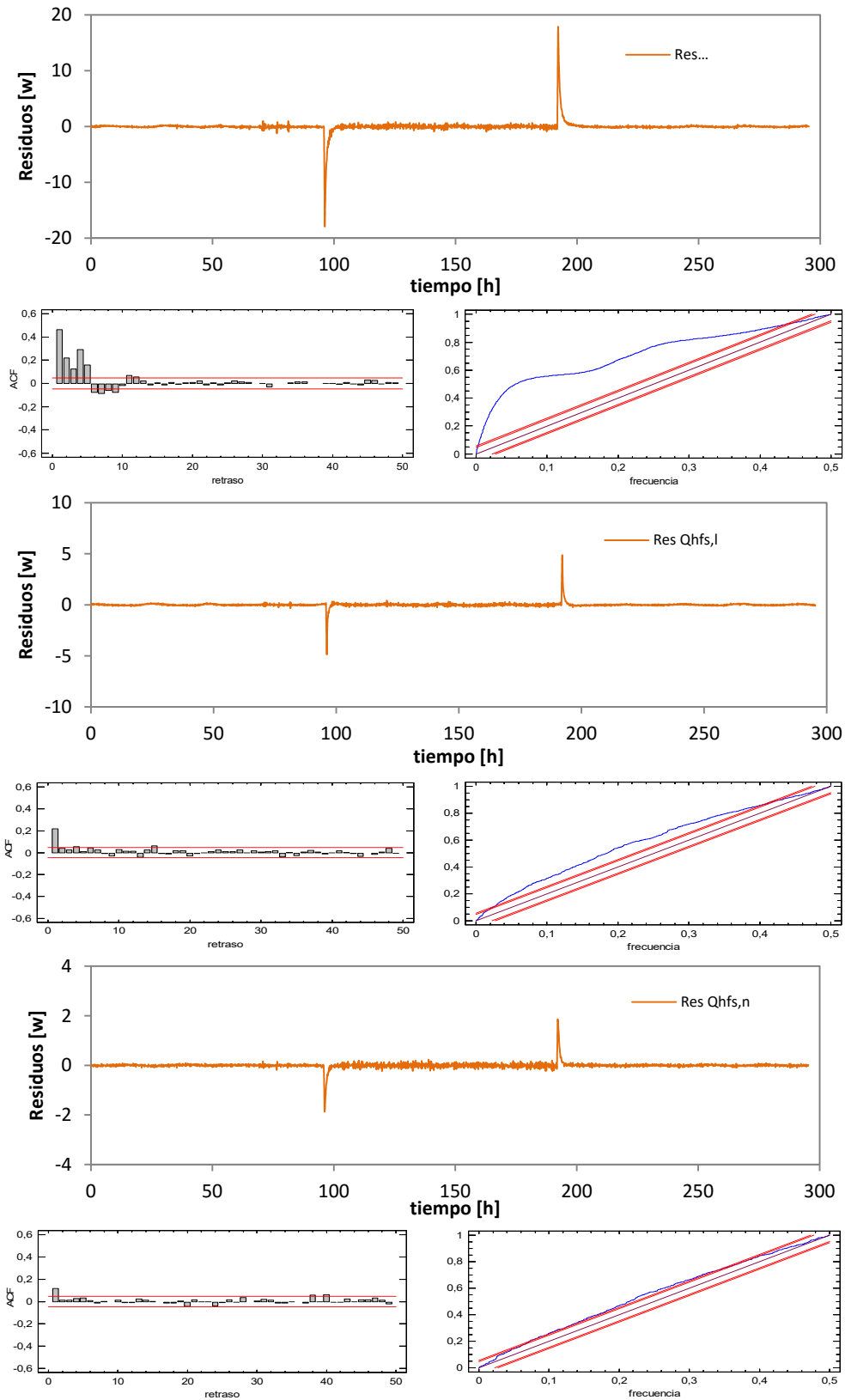


Figura A.62 – Análisis de residuos en el modelo 6 para la excitación PULSO

### Resultados rutina PRBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	10	100	200	8.28E+01	1.48E+00	55.8786	0	0
H <sub>4</sub>	100	300	600	3.32E+02	2.44E+00	135.9801	0.0001	0.0001
H <sub>7</sub>	5	50	200	4.27E+01	1.50E+00	28.4487	-0.0001	0
C <sub>i</sub>	1	100	200	1.57E+02	1.91E+00	31.4328	-0.0003	0.0004
C <sub>s,c</sub>	10	500	1000	2.82E+02	1.56E+00	30.1184	0	0
H <sub>2</sub>	0.5	3	200	2.10E+01	7.98E-01	26.2918	0	0
C <sub>1</sub>	10	500	1500	6.63E+02	4.80E+00	23.054	0	0
H <sub>3</sub>	0.5	3	200	1.10E+00	4.22E-02	25.9374	0	-0.0002
C <sub>s,l</sub>	100	500	1000	6.43E+02	1.92E+00	53.8984	-0.001	0.0002
H <sub>5</sub>	1	10	200	1.10E+02	1.89E+00	58.4402	0	0
C <sub>2</sub>	1000	5000	10000	8.20E+03	1.18E+01	45.8888	0	0
H <sub>6</sub>	1	10	500	4.51E+00	9.08E-02	49.6415	0	0
C <sub>s,n</sub>	1	500	1000	2.97E+02	7.05E-01	25.0352	0	0
H <sub>8</sub>	0.1	100	500	1.44E+01	5.45E-01	26.3583	0	0
C <sub>3</sub>	1	100	500	5.04E+02	2.03E+00	24.7778	0	0
H <sub>9</sub>	0.1	1	100	7.26E-01	2.64E-02	27.5439	0	0
A <sub>1</sub>	0.8	1.2	1.5	1.08E+00	6.25E-03	146.485	-0.0001	0.0113
A <sub>2</sub>	0.8	1.2	1.5	1.14E+00	1.50E-02	66.415	0.0001	7.3191
A <sub>3</sub>	0.8	1.2	1.5	1.04E+00	3.46E-02	28.7434	0	2.2057

Tabla A.33 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina PRBS en el modelo 6

	H <sub>1</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>7</sub>	C <sub>i</sub>	C <sub>s,c</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>s,l</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>s,n</sub>	H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>9</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
H <sub>1</sub>	1																		
H <sub>4</sub>	-0.2	1																	
H <sub>7</sub>	0.0	-0.2	1																
C <sub>i</sub>	0.1	-0.3	-0.2	1															
C <sub>s,c</sub>	0.2	-0.4	0.0	0.0	1														
H <sub>2</sub>	0.3	-0.2	0.0	0.1	0.1	1													
C <sub>1</sub>	0.3	-0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	1												
H <sub>3</sub>	0.3	-0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	1											
C <sub>s,l</sub>	-0.3	0.2	-0.1	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	1										
H <sub>5</sub>	-0.2	0.3	-0.3	0.1	-0.2	0.0	-0.1	-0.1	0.1	1									
C <sub>2</sub>	-0.2	0.3	-0.2	0.0	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.1	-0.1	1								
H <sub>6</sub>	-0.2	0.3	-0.2	0.0	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	1							
C <sub>s,n</sub>	0.0	-0.4	0.3	-0.4	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.2	-0.3	-0.2	-0.2	1						
H <sub>8</sub>	0.0	-0.2	0.3	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	0.3	1					
C <sub>3</sub>	0.0	-0.5	0.3	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	0.3	0.3	1				
H <sub>9</sub>	0.0	-0.2	0.3	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.3	-0.2	-0.2	0.3	0.3	0.3	1			
A <sub>1</sub>	-0.2	0.3	-0.2	-0.1	-0.5	-0.2	-0.2	-0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	1		
A <sub>2</sub>	0.3	-0.2	0.0	0.1	0.5	0.4	0.4	0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.2	1	
A <sub>3</sub>	0.0	-0.2	0.3	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.3	-0.2	-0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	-0.2	0.0	1

Tabla A.34 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina PRBS en el modelo 6

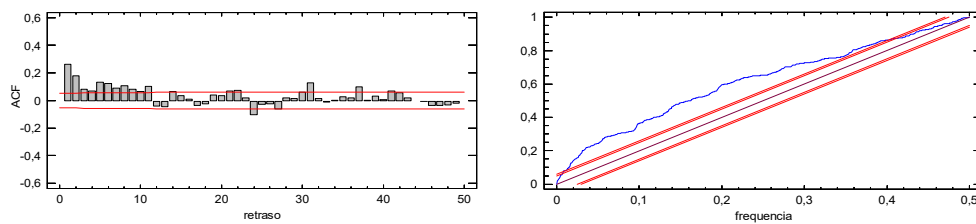
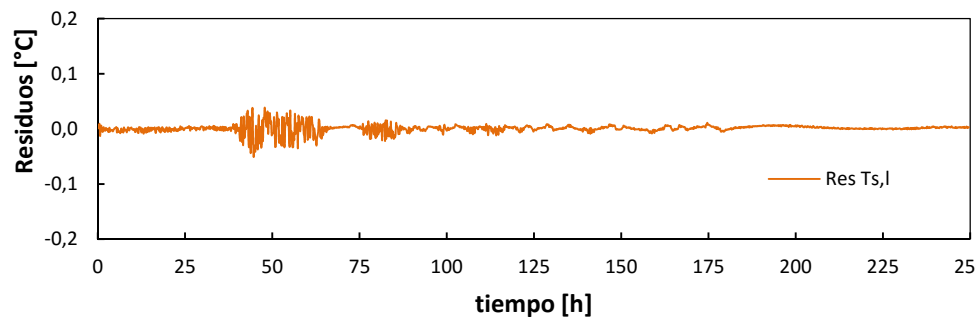
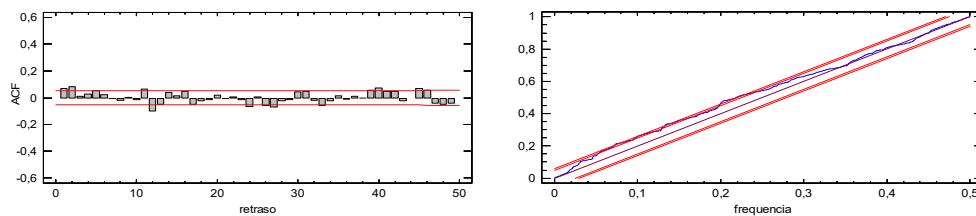
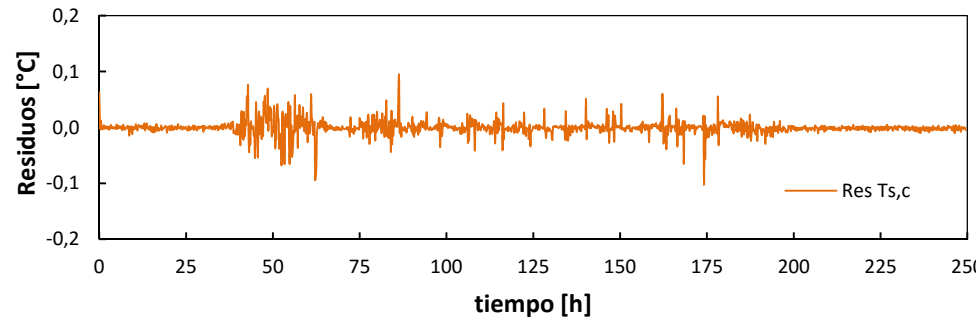
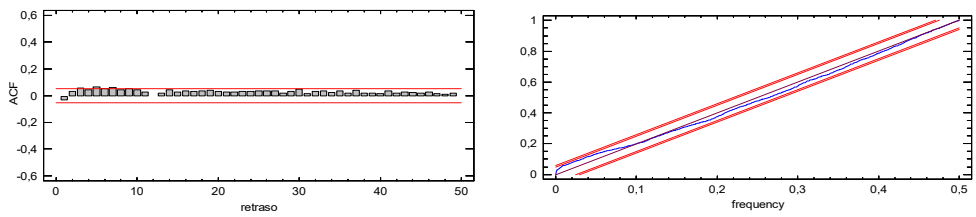
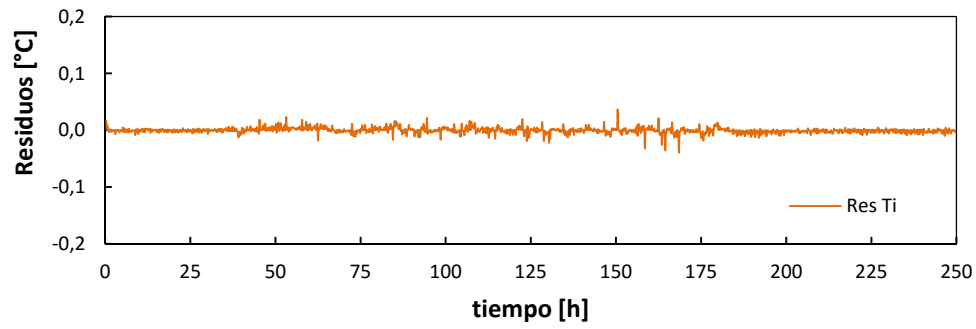


Figura A.63 – Análisis de residuos en el modelo 6 para la excitación PRBS



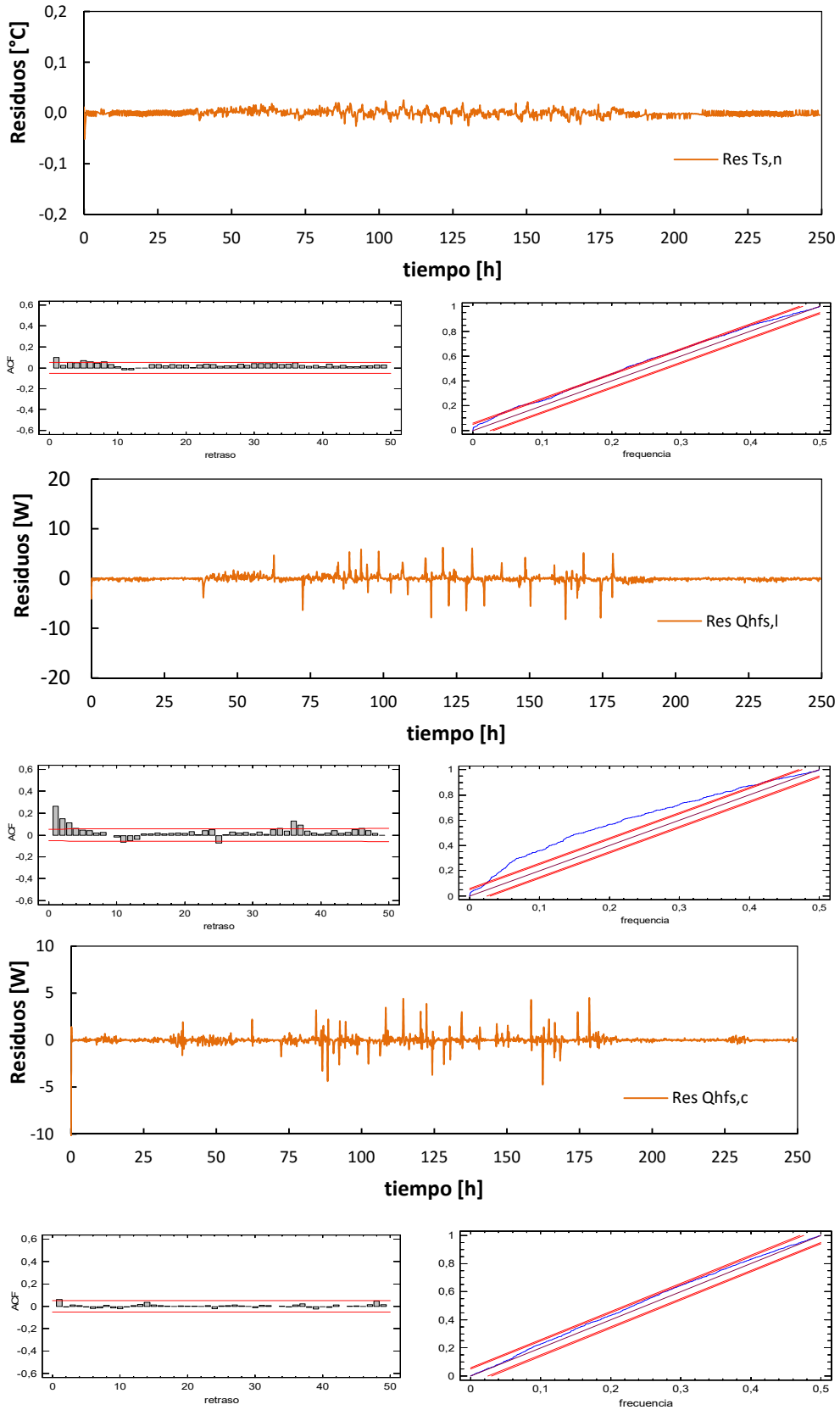


Figura A.64 – Análisis de residuos en el modelo 6 para la excitación PRBS

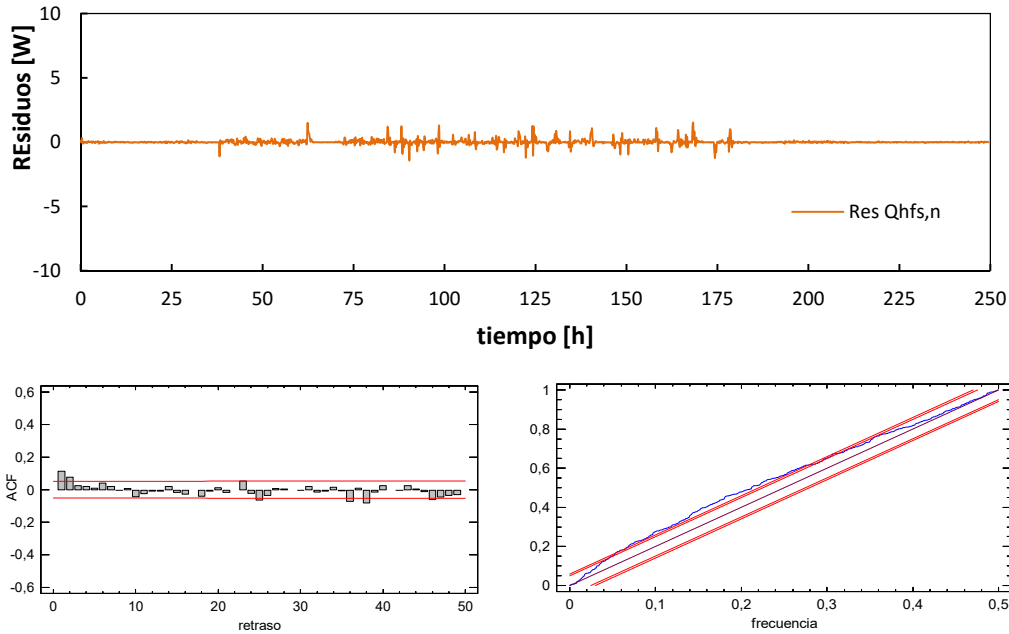


Figura A.65 – Análisis de residuos en el modelo 6 para la excitación PRBS

### Resultados rutina ROLBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	10	100	200	6.22E+01	2.71E+00	1554.0032	-0.0030	0.0034
H <sub>4</sub>	100	300	600	2.61E+02	5.60E-01	453.1604	-0.0003	0
H <sub>7</sub>	5	50	200	5.00E+01	6.74E-02	741.9822	-0.0019	0
C <sub>i</sub>	1	100	200	4.33E+01	6.82E-02	384.058	0.0003	0
C <sub>s,c</sub>	10	500	1000	3.22E+02	1.31E-01	2212.9337	-0.0077	0.0776
H <sub>2</sub>	0.5	3	200	1.71E+01	8.26E-02	207.2765	0.0002	0
C <sub>1</sub>	10	500	1500	4.33E+02	3.23E-01	396.9656	-0.0009	0
H <sub>3</sub>	0.5	3	200	9.82E-01	1.13E-02	105.1034	0	-0.0001
C <sub>s,l</sub>	100	500	1000	5.25E+02	2.89E-02	3839.7743	-0.0030	0.0003
H <sub>5</sub>	1	10	200	1.50E+02	4.91E-01	305.6297	-0.0009	0.0001
C <sub>2</sub>	1000	5000	10000	8.33E+03	1.19E+00	516.2195	-0.0013	0.0001
H <sub>6</sub>	1	10	500	4.78E+00	7.16E-02	66.7905	0	0
C <sub>s,n</sub>	1	500	1000	3.03E+02	1.06E-01	429.3755	-0.0004	0
H <sub>8</sub>	0.1	100	500	1.74E+01	1.38E-01	125.5773	-0.0002	0
C <sub>3</sub>	1	100	500	6.15E+02	1.58E+00	38.9058	-0.0005	0
H <sub>9</sub>	0.1	1	100	1.27E+00	1.33E-02	62.2658	0.0001	0
A <sub>1</sub>	0.8	1.2	1.5	9.38E-01	3.18E-03	294.9435	-0.0005	-0.0002
A <sub>2</sub>	0.8	1.2	1.5	1.10E+00	8.12E-03	118.6874	0.0001	0.0001
A <sub>3</sub>	0.8	1.2	1.5	1.08E+00	3.96E-03	273.5802	0.0001	0.0025

Tabla A.35 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 6

	H <sub>1</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>7</sub>	C <sub>i</sub>	C <sub>s,c</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>s,l</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>s,n</sub>	H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>9</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	
H <sub>1</sub>	1																			
H <sub>4</sub>	0.2	1																		
H <sub>7</sub>	-0.4	-0.5	1																	
C <sub>i</sub>	-0.4	-0.4	0.2	1																
C <sub>s,c</sub>	0.4	0.3	0.1	-0.3	1															
H <sub>2</sub>	-0.1	-0.2	0.2	0.1	0.2	1														
C <sub>1</sub>	0.2	0.2	-0.4	-0.3	0.3	-0.4	1													
H <sub>3</sub>	-0.2	0.3	-0.2	0.1	-0.3	-0.3	0.0	1												
C <sub>s,l</sub>	0.2	0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.3	0.4	0.2	1											
H <sub>5</sub>	0.2	0.2	-0.3	-0.3	0.3	-0.4	0.3	0.0	0.4	1										
C <sub>2</sub>	-0.5	-0.2	0.4	0.2	-0.2	0.2	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	1									
H <sub>6</sub>	0.2	0.4	-0.2	-0.2	0.2	0.0	0.2	-0.2	0.2	0.2	-0.2	1								
C <sub>s,n</sub>	-0.2	-0.2	0.4	0.2	-0.2	0.2	-0.2	0.0	-0.5	-0.3	0.2	-0.2	1							
H <sub>8</sub>	-0.2	-0.1	0.2	-0.4	0.2	0.3	0.2	-0.2	-0.2	0.3	-0.2	0.3	0.0	1						
C <sub>3</sub>	0.2	0.2	-0.2	-0.3	0.3	-0.2	0.3	-0.1	0.3	0.3	-0.3	0.2	-0.3	0.4	1					
H <sub>9</sub>	0.0	0.2	-0.4	-0.2	0.3	-0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	-0.4	0.2	-0.2	-0.1	0.3	1				
A <sub>1</sub>	-0.1	0.2	-0.3	0.2	-0.2	-0.4	-0.4	0.3	0.4	-0.4	0.2	-0.4	0.3	-0.2	-0.2	0.0	1			
A <sub>2</sub>	-0.4	-0.4	-0.1	0.2	-0.2	0.0	-0.2	0.3	-0.1	-0.2	0.2	-0.2	0.2	-0.4	-0.2	-0.1	0.4	1		
A <sub>3</sub>	0.0	0.0	0.1	-0.2	0.2	0.1	0.2	-0.1	-0.1	0.2	-0.1	0.1	-0.2	0.2	0.2	0.1	-0.1	-0.1	1	

Tabla A.36 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 6

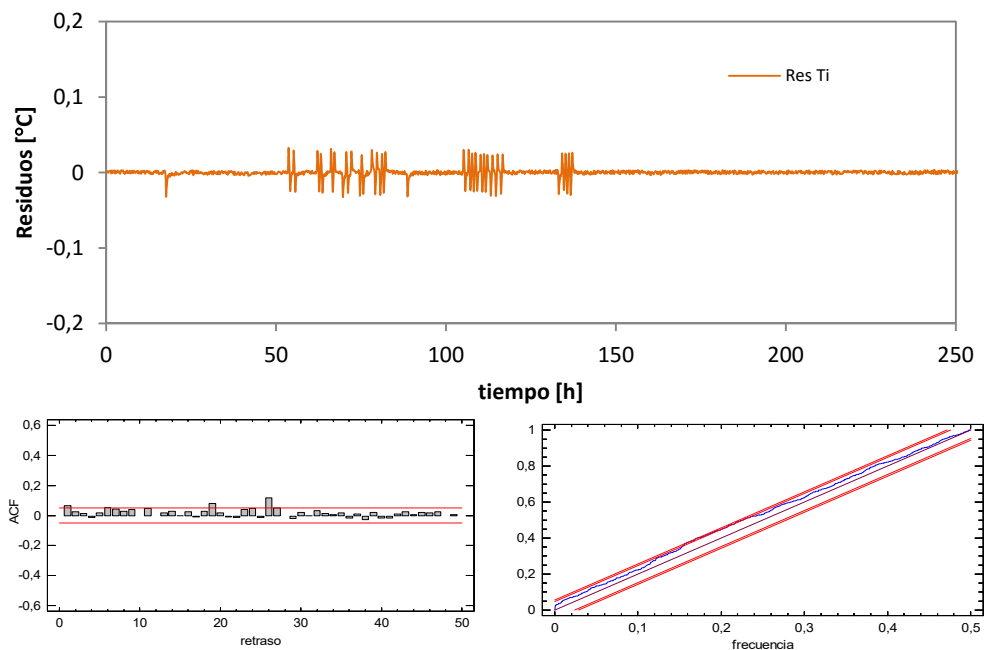


Figura A.66 – Análisis de residuos en el modelo 6 para la excitación ROLBS

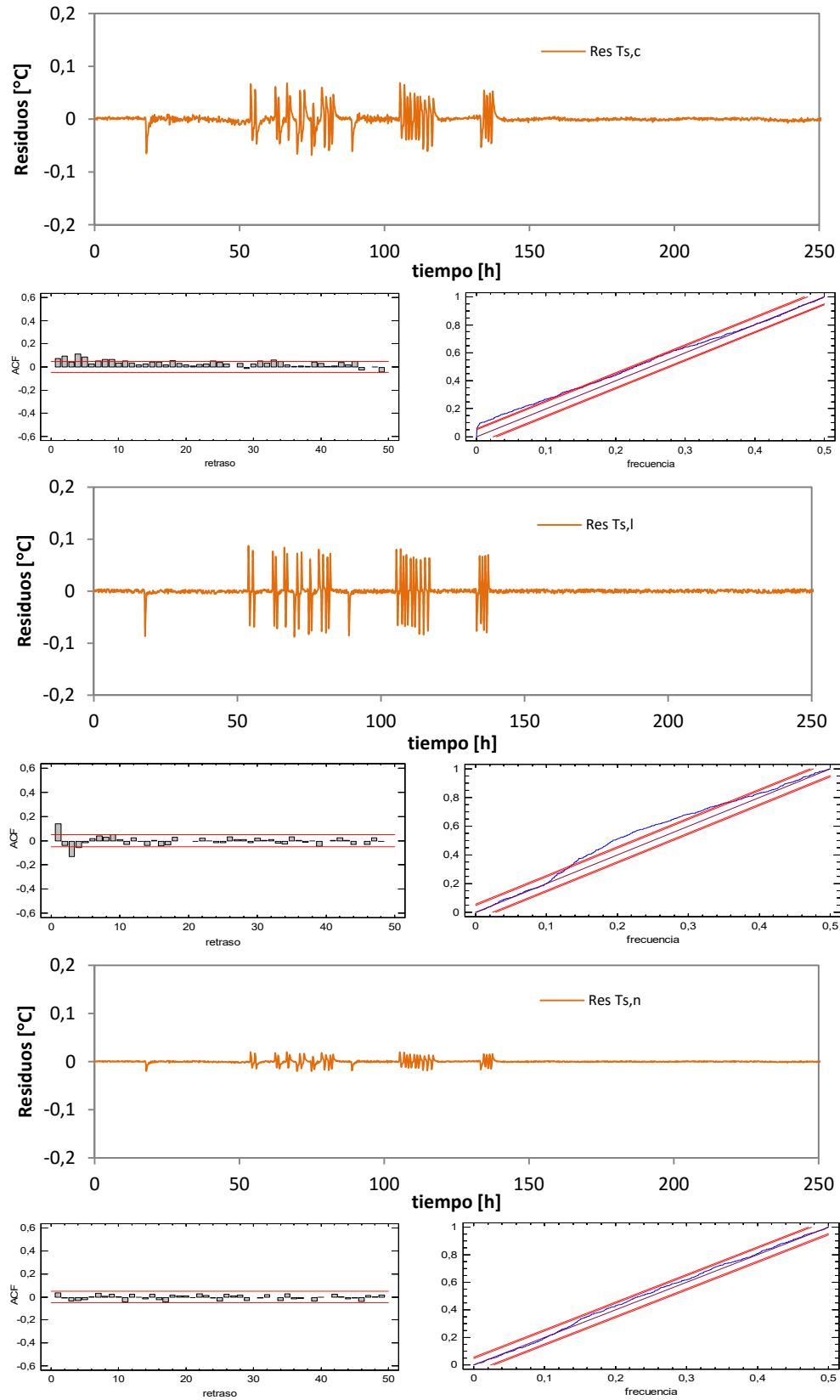


Figura A.67 – Análisis de residuos en el modelo 6 para la excitación ROLBS

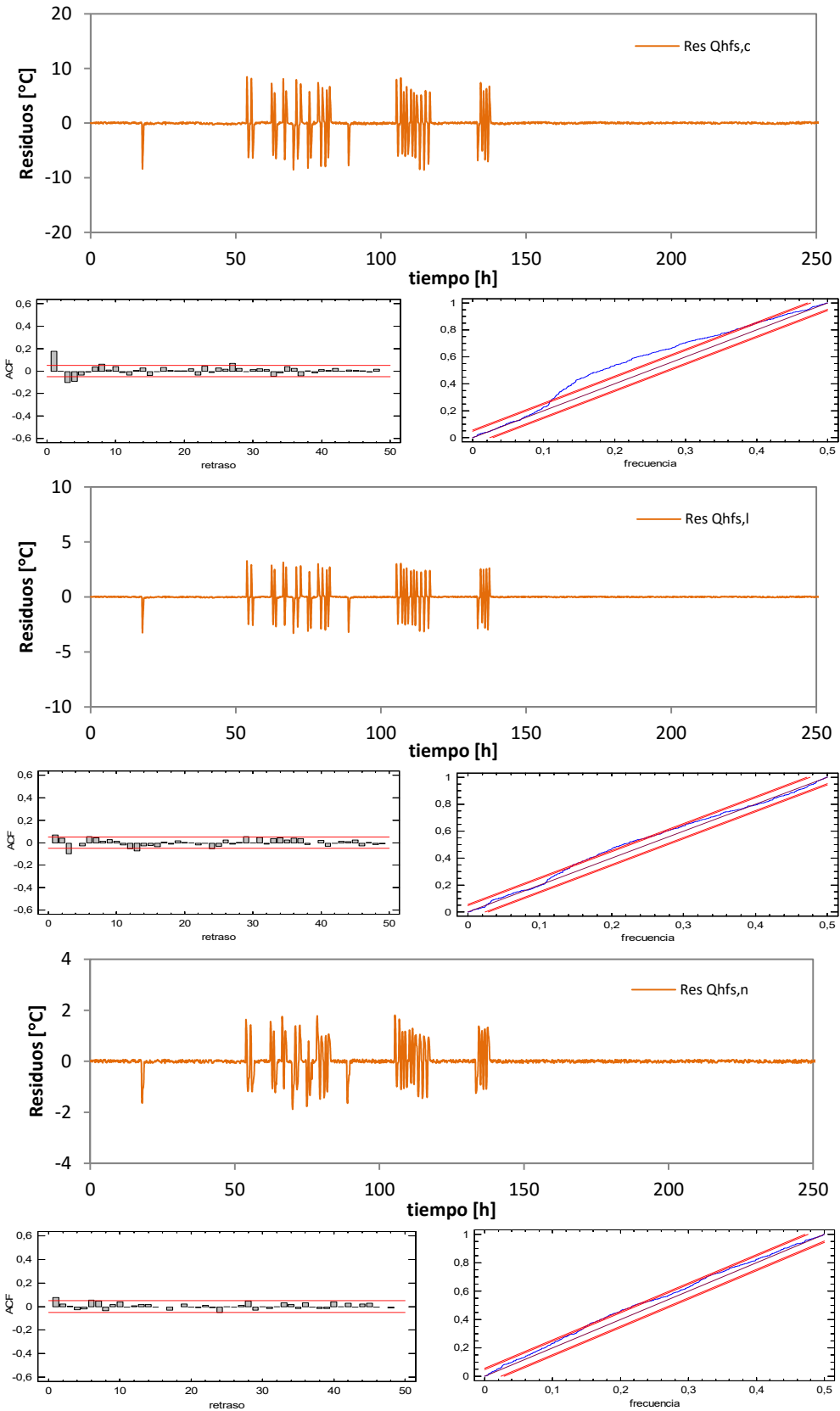


Figura A.67 – Análisis de residuos en el modelo 6 para la excitación ROLBS

## A.3.2 Modelo del muro de calibración

### A.3.1.1 Flujo unidimensional

Resultados de los modelos de identificación de parámetros para la determinación del modelo óptimo unidimensional del muro de calibración para la rutina ROLBS. Con el análisis de una rutina es suficiente para el proceso de optimización. En la Figura A.68 se muestra el modelo genérico que se emplea en el estudio, donde el subíndice  $N$  corresponde al orden del modelo.

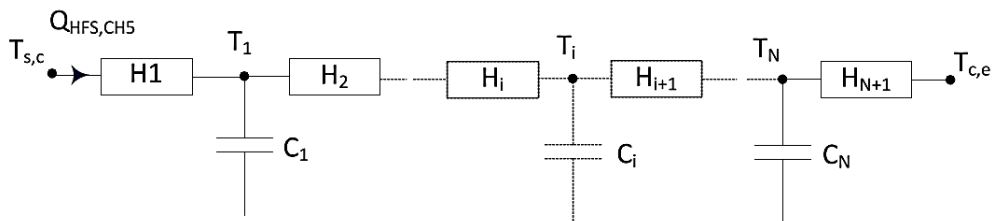


Figura A.68– Modelo unidimensional para la zona central del muro de calibración

A continuación se recogen los resultados del proceso de identificación de parámetros para cada orden de modelo. Como datos de alimentación al modelo se emplea los registrados durante la rutina *ROLBS*, ya que se trata de la rutina que exige mayor orden de modelo debido a su alta frecuencia. De forma que si se optimiza el modelo para dicha rutina se optimiza también para el resto de rutinas de ensayo.

### Modelo 1º orden

En las ecuaciones [A.13] y [A.14] se recoge la definición del modelo y la función objetivo, que en este caso se reduce únicamente al flujo central medido por el grupo CH5 de *tiles*. Posteriormente se muestran los resultados junto con el análisis de residuos.

$$[dT_1] = \left[ \frac{-(H_1 + H_2)}{C_1} \right] [T_1] dt + \left[ \frac{H_1}{C_1} \quad \frac{H_2}{C_1} \right] \begin{bmatrix} T_{s,c} \\ T_{c,e} \end{bmatrix} dt + [\sigma_1] dW \quad [A.13]$$

$$[Q_{HFS,CH5m}] = [H_1][T_1(t)] + [H_1 \quad 0] \begin{bmatrix} T_{s,c}(t) \\ T_{c,e}(t) \end{bmatrix} + [s_{CH5}] de(t) \quad [A.14]$$

variable	valor min.	valor inicial	valor max.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$H_1$	0.2	10	50	7.71E+00	7.21E-01	107.02	0	0
$H_2$	0.2	10	50	2.18E-03	2.03E-01	10.621	0	-0.0172
$C_1$	10	200	500	1.30E+02	1.99E+00	31.098	0	0.0008

Tabla A.37 – Resultados del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 1

	$H_1$	$H_2$	$C_1$
$H_1$	1		
$H_2$	-0.098	1	
$C_1$	0.133	0.040	1

Tabla A.38 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 1

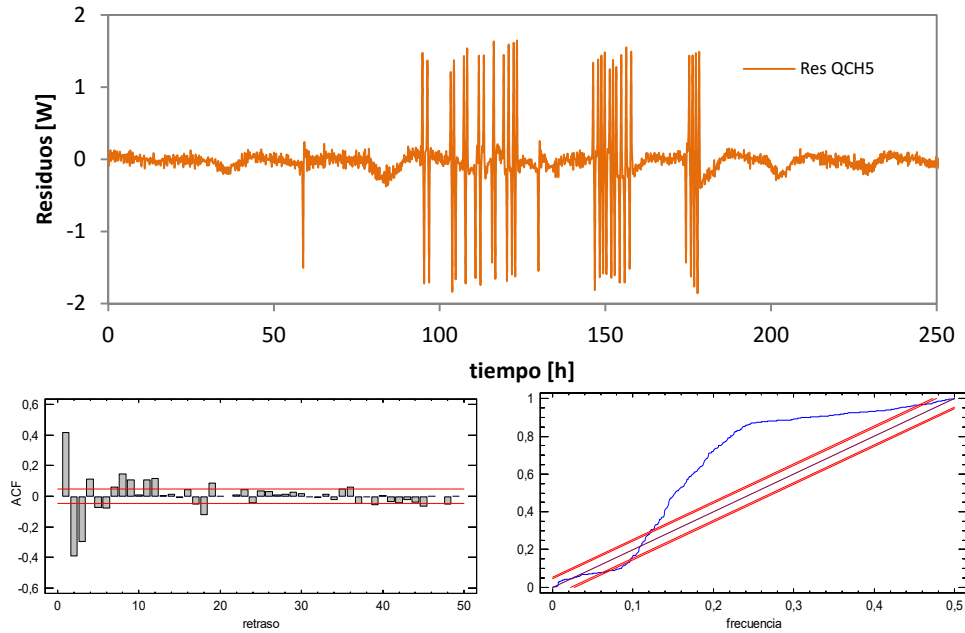


Figura A.69– Análisis del modelo unidimensional de orden 1 para el flujo central del muro de calibración

El proceso de identificación se obtiene sin introducir el error de las variables de entrada,  $T_{s,c}$  y  $T_{c,e}$  y el error de la función objetivo,  $Q_{HFS,CH5}$ . Como la herramienta empleada es el CTSM, en este caso, la forma de anular el componente de error de la función entrada es imponiendo un valor de  $s_{CH5} = 0$ . De esta forma se obtiene la incertidumbre del proceso de identificación de parámetros para la transmitancia total y para la capacidad térmica. En el caso de transmitancia  $H$ , ecuación [A.15], se obtiene de aplicar la expresión correspondiente a la propagación de incertidumbres de los valores de  $H_1$  y  $H_2$  del modelo, ecuación [A.16], junto con los errores del proceso de ajuste que se pueden tomar del resultado de la desviación estándar indicada en la Tabla A.37.

$$H = \frac{H_1 H_2}{H_1 + H_2} \quad [A.15]$$

$$u_{H\_mod} = \left[ \left( \frac{\partial H}{\partial H_1} \right)^2 u^2(H_1) + \left( \frac{\partial H}{\partial H_2} \right)^2 u^2(H_2) \right]^{1/2} \quad [A.16]$$

En el caso de la capacidad térmica, la incertidumbre se obtiene directamente del resultado del modelo. Y para modelos de orden mayor, se obtiene directamente como media geométrica de las incertidumbres de cada capacidad térmica individual. Los



resultados finales que se obtienen se muestran en la Tabla A.39, hay que tener en cuenta que los valores de capacidad térmica en el modelo están en unidades de [W10min/K] y las unidades de trabajo son en [MJ/K].

	valor	u [%]
H [W/K]	0.212	1.2
C [MJ/K]	0.078	1.5

Tabla A.39 – Resultados finales transmitancia y capacidad térmica junto con la incertidumbre del modelo de identificación de parámetros

Para determinar la incertidumbre final del resultado es necesario tener en cuenta el error de medida de las propias variables de entrada y de la función objetivo. Para ello, se introduce el error de cada variable en el modelo y se calcula el efecto en cada uno de los parámetros y en el resultado final, es decir, se determina un  $dU$  y  $dC$  asociado a cada error de medida de cada variable mencionada que participa del modelo. Los valores de  $dU$  y  $dC$  se obtiene como diferencia entre la transmitancia resultado respecto a la transmitancia base obtenida sin error en las variables medidas. Aplicando este proceso se obtienen los resultados de la Tabla A.40.

variable	$u_{\text{medida}}$	unidades	$dU$ [W/K]	$dC$ [MJ/K]
$T_{s,c}$	0.2	K	0.002	0.001
$T_{c,e}$	0.5	K	0.004	0.001
$Q_{CH5}$	0.1	W	0.006	0.004

Tabla A.40 – Efecto del error de las variables de medida en el resultado del modelo de identificación

De igual forma, si se considera la incertidumbre de propagación de los errores de calibración de las variables de medida a los resultados del modelo como la raíz de la suma de cuadrados se obtienen los resultados indicados en la Tabla A.41.

	u [%]
H [W/K]	3.2
C [MJ/K]	1.9

Tabla A.41 – Propagación del error de las variables de medida en el resultado del modelo de identificación

Por último, se toma como incertidumbre total la combinación de la incertidumbre del modelo y la incertidumbre propagada del error de las variables de medida se obtiene el resultados final mostrado en la Tabla A.42.

	u [%]
H [W/K]	3.4
C [MJ/K]	2.4

Tabla A.42 – Incertidumbre final de la transmitancia y la capacidad térmica de la zona con flujo unidimensional del muro de calibración

Este mismo proceso se aplica el resto de modelos de orden creciente con el que se analiza el comportamiento de la zona unidimensional del muro de calibración, que se muestra a continuación.

## Modelo 2º orden

En las ecuaciones [A.17] y [A.18] se recoge la definición del modelo para el modelo de orden 2, y en la Tabla A.43 los resultados del modelo y en la Tabla A.44 los coeficientes de correlación asociados.

$$\begin{bmatrix} dT_1 \\ dT_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-(H_1 + H_2)}{C_1} & \frac{H_2}{C_1} \\ \frac{H_2}{C_2} & \frac{-(H_2 + H_3)}{C_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \frac{H_1}{C_1} & 0 \\ 0 & \frac{H_3}{C_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{s,c} \\ T_{c,e} \end{bmatrix} dt + [\sigma]dW \quad [\text{A.17}]$$

$$[Q_{HFS,CH5m}] = [-H_1 \ 0] \begin{bmatrix} T_1(t) \\ T_2(t) \end{bmatrix} + [H_1 \ 0] \begin{bmatrix} T_{s,c}(t) \\ T_{c,e}(t) \end{bmatrix} + [S_{CH5}]de(t) \quad [\text{A.18}]$$

variable	valor min.	valor inicial	valor max.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	0.2	50	100	2.36E+00	7.62E-02	15.783	0	0
H <sub>2</sub>	0.2	50	100	1.12E+00	3.74E-02	15.3	0	0
C <sub>1</sub>	10	100	500	2.77E+01	5.22E-01	15.365	0	0
C <sub>2</sub>	10	100	500	1.04E+02	1.90E+00	15.866	0	0.0001
H <sub>3</sub>	0.2	50	100	3.08E-01	1.00E-02	15.703	0	0

Tabla A.43 – Resultados del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 2

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>
H <sub>1</sub>	1				
H <sub>2</sub>	0.184	1			
C <sub>1</sub>	0.195	0.185	1		
C <sub>2</sub>	0.195	0.188	0.186	1	
H <sub>3</sub>	0.195	0.178	0.187	0.196	1

Tabla A.44 – Coeficientes correlación variables del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 2

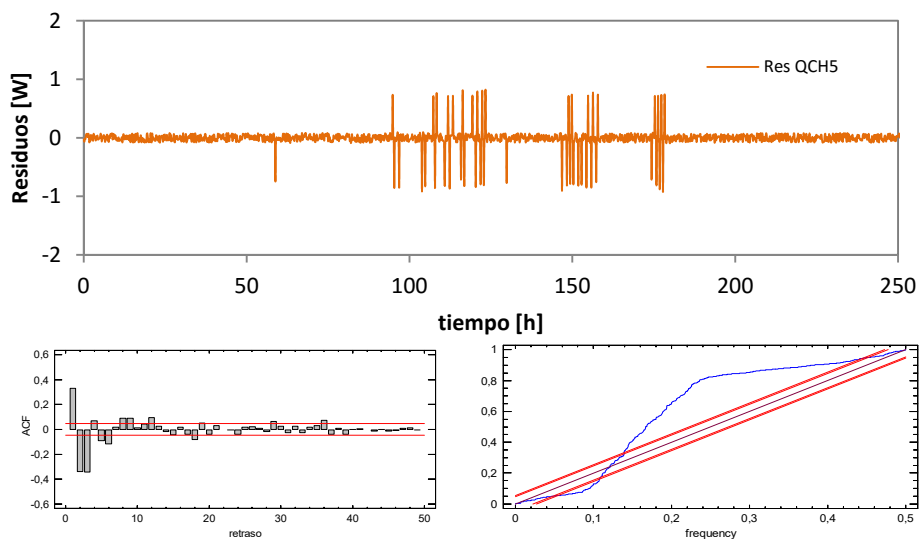


Figura A.70– Análisis del modelo unidimensional de orden 2 para el flujo central del muro de calibración

En la Tabla A.45 se recoge el estudio de propagación de incertidumbres asociado al error en las variables de medida.

variable	$u_{\text{medida}}$	unidades	dU [W/K]	dC [MJ/K]
$T_{s,c}$	0.2	K	0.003	0.001
$T_{c,e}$	0.5	K	0.005	0.001
$Q_{CH5}$	0.1	W	0.011	0.002

Tabla A.45 – Propagación del error de las variables de medida en el resultado del modelo 2

### Modelo 3º orden

En las ecuaciones [A.19] y [A.20] se recoge la definición del modelo para el modelo de orden 3, y en la Tabla A.46 los resultados del modelo y en la Tabla A.47 los coeficientes de correlación asociados.

$$\begin{bmatrix} dT_1 \\ dT_2 \\ dT_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-(H_1 + H_2)}{C_1} & \frac{H_2}{C_1} & 0 \\ \frac{H_2}{C_2} & \frac{-(H_2 + H_3)}{C_2} & \frac{H_3}{C_2} \\ 0 & \frac{H_3}{C_3} & \frac{-(H_3 + H_4)}{C_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \frac{H_1}{C_1} & 0 \\ 0 & \frac{H_4}{C_3} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{s,c} \\ T_{c,e} \end{bmatrix} dt + [\sigma]dW \quad [\text{A.19}]$$

$$[Q_{HFS,CH5m}] = [-H_1 \quad 0 \quad 0] \begin{bmatrix} T_1(t) \\ T_2(t) \\ T_3(t) \end{bmatrix} + [H_1 \quad 0] \begin{bmatrix} T_{s,c}(t) \\ T_{c,e}(t) \end{bmatrix} + [s_{CH5}]de(t) \quad [\text{A.20}]$$

variable	valor min.	valor inicial	valor max.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$H_1$	0.2	50	100	7.82E-01	1.39E-02	21.439	0	0
$H_2$	0.2	50	100	2.93E-01	5.78E-03	19.263	0	-0.0001
$C_1$	10	100	500	1.30E+01	5.28E-02	19.312	0	0
$C_2$	10	100	500	1.51E+01	3.00E-01	3.933	0	0
$H_3$	0.2	50	100	8.26E+00	8.78E-01	3.582	0	0
$C_3$	10	100	500	9.78E+01	9.11E-01	8.39	0	0.0014
$H_4$	0.2	50	100	5.06E+01	1.00E+00	19.267	0	0.0701

Tabla A.46 – Resultados del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 3

	$H_1$	$H_2$	$C_1$	$C_2$	$H_3$	$C_3$	$H_4$
$H_1$	1						
$H_2$	0.306	1					
$C_1$	0.301	0.292	1				
$C_2$	-0.031	-0.174	-0.055	1			
$H_3$	-0.006	-0.176	-0.013	0.303	1		
$C_3$	-0.102	-0.126	-0.136	0.013	0.217	1	
$H_4$	-0.083	-0.106	-0.074	0.171	0.129	0.401	1

Tabla A.47 – Coeficientes correlación variables del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 3

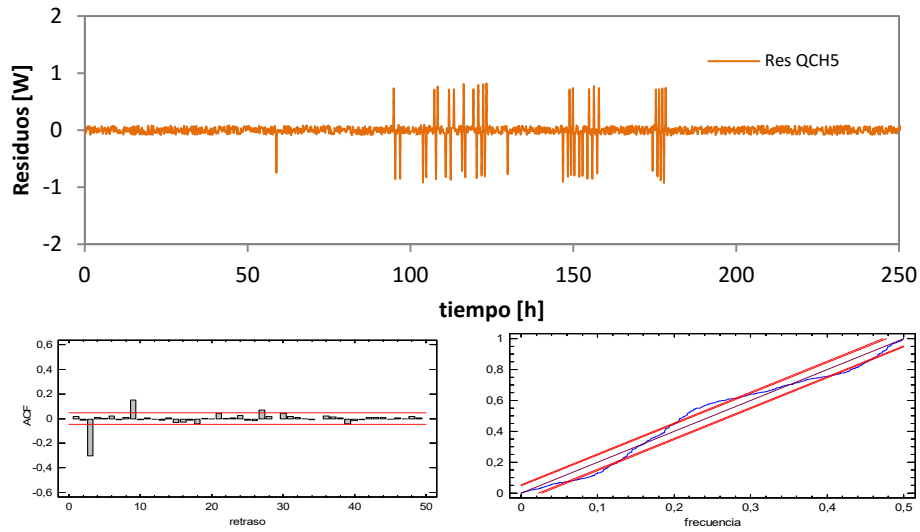


Figura A.71– Análisis del modelo unidimensional de orden 3 para el flujo central del muro de calibración

En la Tabla A.48 se recoge el estudio de propagación de incertidumbres asociado al error en las variables de medida.

variable	$u_{medida}$	unidades	$dU$ [W/K]	$dC$ [MJ/K]
$T_{s,c}$	0.2	K	0.001	0.001
$T_{c,e}$	0.5	K	0.002	0.001
$Q_{CH5}$	0.1	W	0.004	0.001

Tabla A.48 – Propagación del error de las variables de medida en el resultado del modelo 3

### Modelo 4º orden

En las ecuaciones [A.21] y [A.22] se recoge la definición del modelo para el modelo de orden 4, y en la Tabla A.49 los resultados del modelo y en la Tabla A.50 los coeficientes de correlación asociados.

$$\begin{bmatrix} dT_1 \\ dT_2 \\ dT_3 \\ dT_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-(H_1 + H_2)}{C_1} & \frac{H_2}{C_1} & 0 & 0 \\ \frac{H_2}{C_2} & \frac{-(H_2 + H_3)}{C_2} & \frac{H_3}{C_2} & 0 \\ 0 & \frac{H_3}{C_3} & \frac{-(H_3 + H_4)}{C_3} & \frac{H_4}{C_3} \\ 0 & 0 & \frac{H_4}{C_4} & \frac{-(H_4 + H_5)}{C_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \frac{H_1}{C_1} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_5}{C_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{s,c} \\ T_{c,e} \end{bmatrix} dt + [\sigma]dW \quad [A.21]$$

$$[Q_{HFS,CH5m}] = [-H_1 \quad 0 \quad 0 \quad 0] \begin{bmatrix} T_1(t) \\ T_2(t) \\ T_3(t) \\ T_4(t) \end{bmatrix} + [H_1 \quad 0] \begin{bmatrix} T_{s,c}(t) \\ T_{c,e}(t) \end{bmatrix} + [s_{CH5}]de(t) \quad [A.22]$$

variable	valor min.	valor inicial	valor max.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	0.2	50	200	7.66E-01	7.80E-03	252.05	0	-0.0001
H <sub>2</sub>	0.2	50	200	2.93E-01	3.44E-03	218.35	0	-0.002
C <sub>1</sub>	1	100	500	1.48E+01	4.06E-02	222.73	0	0
C <sub>2</sub>	1	100	500	9.70E+00	1.57E-01	37.67	0	0
H <sub>3</sub>	0.2	50	200	7.09E+00	4.82E-01	37.72	0	0
C <sub>3</sub>	1	100	500	2.45E+01	5.54E-01	26.9	0	0.0001
H <sub>4</sub>	0.2	50	200	2.54E+01	3.13E+00	20.85	0	0
C <sub>4</sub>	1	100	500	7.80E+01	3.32E-01	143.08	0	0.0395
H <sub>5</sub>	0.2	50	200	5.63E+01	9.84E-01	146.81	0	0.07

Tabla A.49 – Resultados del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 4

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>
H <sub>1</sub>	1								
H <sub>2</sub>	0.294	1							
C <sub>1</sub>	0.288	0.274	1						
C <sub>2</sub>	-0.120	-0.262	-0.098	1					
H <sub>3</sub>	0.158	-0.064	0.155	0.210	1				
C <sub>3</sub>	-0.318	-0.346	-0.275	0.392	-0.007	1			
H <sub>4</sub>	-0.328	-0.368	-0.265	0.197	0.001	0.293	1		
C <sub>4</sub>	0.123	0.089	0.097	-0.094	0.104	-0.231	-0.173	1	
H <sub>5</sub>	-0.367	-0.326	-0.289	0.343	-0.124	0.201	0.195	-0.078	1

Tabla A.50 – Coeficientes correlación variables del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 4

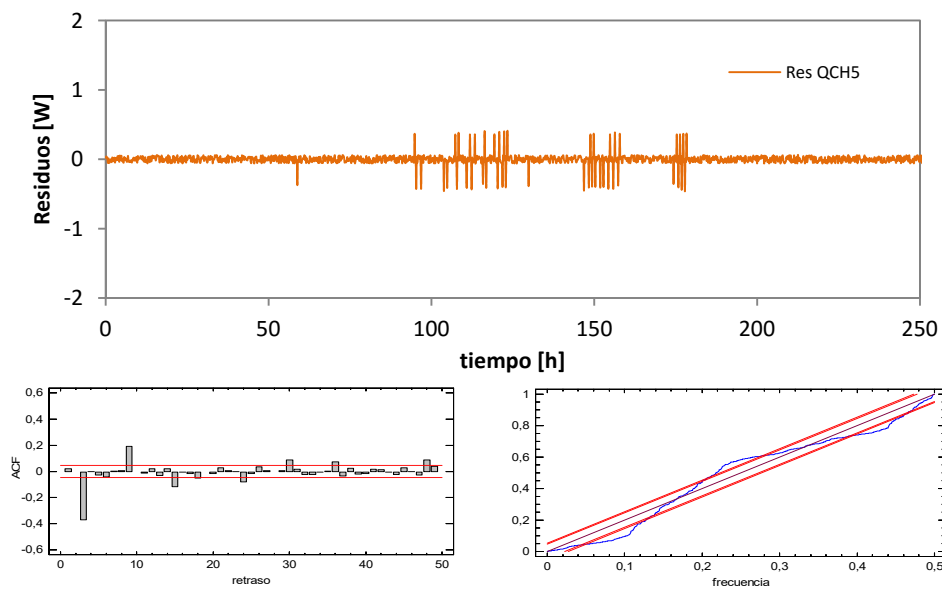


Figura A.72– Análisis del modelo unidimensional de orden 4 para el flujo central del muro de calibración

En la Tabla A.51 se recoge el estudio de propagación de incertidumbres asociado al error en las variables de medida.

variable	$u_{medida}$	unidades	dU [W/K]	dC [MJ/K]
$T_{s,c}$	0.2	K	0.001	0.001
$T_{c,e}$	0.5	K	0.002	0.001
$Q_{CH5}$	0.1	W	0.003	0.001

Tabla A.51 – Propagación del error de las variables de medida en el resultado del modelo 4

### Modelo 5º orden

En las ecuaciones [A.23] y [A.24] se recoge la definición del modelo para el modelo de orden 5, y en la Tabla A.52 los resultados del modelo y en la Tabla A.53 los coeficientes de correlación asociados.

$$\begin{bmatrix} dT_1 \\ dT_2 \\ dT_3 \\ dT_4 \\ dT_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-(H_1 + H_2)}{C_1} & \frac{H_2}{C_1} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{H_2}{C_2} & \frac{-(H_2 + H_3)}{C_2} & \frac{H_3}{C_2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_3}{C_3} & \frac{-(H_3 + H_4)}{C_3} & \frac{H_4}{C_3} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_4}{C_4} & \frac{-(H_4 + H_5)}{C_4} & \frac{H_5}{C_4} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{H_5}{C_5} & \frac{-(H_5 + H_6)}{C_5} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \frac{H_1}{C_1} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_5}{C_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{s,c} \\ T_{c,e} \end{bmatrix} dt + [\sigma]dW \quad [A.23]$$

$$[Q_{HFS,CH5m}] = [-H_1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} T_1(t) \\ T_2(t) \\ T_3(t) \\ T_4(t) \\ T_5(t) \end{bmatrix} + [H_1 \ 0] \begin{bmatrix} T_{s,c}(t) \\ T_{c,e}(t) \end{bmatrix} + [S_{CH5}]de(t) \quad [A.24]$$

variable	valor min.	valor inicial	valor max.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$H_1$	0.2	50	500	5.36E-01	1.13E-02	632.3	0.009	0.006
$H_2$	0.2	50	500	3.92E-01	9.64E-03	41.87	0	0.008
$C_1$	1	100	500	6.33E+00	2.31E-01	40.736	0	-0.009
$C_2$	1	100	500	8.64E+00	2.37E-01	14.955	0	0
$H_3$	0.2	50	500	2.63E+00	8.89E-03	18.54	0.0032	0.007
$C_3$	1	100	500	2.05E+01	5.09E-01	97.346	0.0057	0.008
$H_4$	0.2	50	500	5.76E+01	7.28E-03	59.91	0	0
$C_4$	1	100	500	8.20E+01	4.79E-01	91.086	0.0007	0.006
$H_5$	0.2	50	500	6.12E+01	2.38E-03	12.09	0	0
$C_5$	1	100	500	8.94E+00	4.94E-01	77.833	0	0
$H_6$	0.2	50	500	5.24E+01	4.53E-05	30.298	0	0.005

Tabla A.52 – Resultados del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 5

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>
H <sub>1</sub>	1										
H <sub>2</sub>	0.23	1									
C <sub>1</sub>	0.32	0.29	1								
C <sub>2</sub>	0.27	0.28	0.26	1							
H <sub>3</sub>	0.19	0.41	0.41	0.18	1						
C <sub>3</sub>	0.28	0.33	0.18	0.24	0.05	1					
H <sub>4</sub>	0.08	0.23	0.34	0.15	0.32	0.02	1				
C <sub>4</sub>	0.30	0.26	0.30	0.24	0.41	0.28	0.32	1			
H <sub>5</sub>	0.04	0.02	0.48	0.24	0.19	0.33	0.29	0.13	1		
C <sub>5</sub>	0.13	0.21	0.24	0.31	0.16	0.28	0.19	0.31	0.09	1	
H <sub>6</sub>	0.04	0.28	0.20	0.38	0.17	0.22	0.31	0.25	0.23	0.01	1

Tabla A.53 – Coeficientes correlación variables del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 5

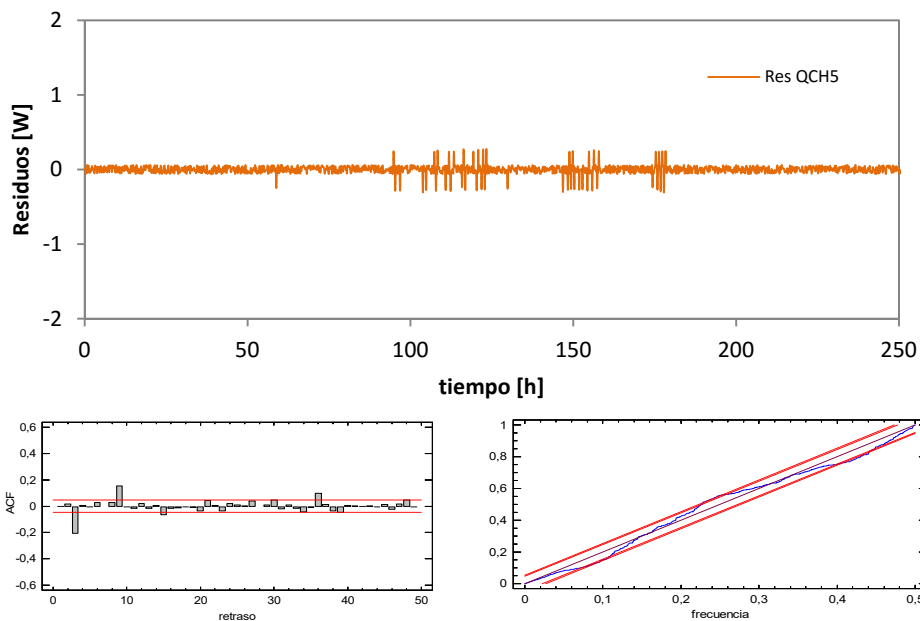


Figura A.73– Análisis del modelo unidimensional de orden 5 para el flujo central del muro de calibración

En la Tabla A.54 se recoge el estudio de propagación de incertidumbres asociado al error en las variables de medida.

variable	u <sub>medida</sub>	unidades	dU [W/K]	dC [MJ/K]
T <sub>s,c</sub>	0.2	K	0.001	0.001
T <sub>c,e</sub>	0.5	K	0.001	0.001
Q <sub>CH5</sub>	0.1	W	0.002	0.001

Tabla A.54 – Propagación del error de las variables de medida en el resultado del modelo 5



## Modelo 6º orden

En las ecuaciones [A.25] y [A.26] se recoge la definición del modelo para el modelo de orden 6, y en la Tabla A.55 los resultados del modelo y en la Tabla A.56 los coeficientes de correlación asociados.

$$\begin{bmatrix} dT_1 \\ dT_2 \\ dT_3 \\ dT_4 \\ dT_5 \\ dT_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-(H_1 + H_2)}{C_1} & \frac{H_2}{C_1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{H_2}{C_2} & \frac{-(H_2 + H_3)}{C_2} & \frac{H_3}{C_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_3}{C_3} & \frac{-(H_3 + H_4)}{C_3} & \frac{H_4}{C_3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_4}{C_4} & \frac{-(H_4 + H_5)}{C_4} & \frac{H_5}{C_4} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{H_5}{C_5} & \frac{-(H_5 + H_6)}{C_5} & \frac{H_6}{C_5} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{H_6}{C_6} & \frac{-(H_6 + H_7)}{C_6} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \end{bmatrix} dt \quad [A.25]$$

$$+ \begin{bmatrix} \frac{H_1}{C_1} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_5}{C_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{s,c} \\ T_{c,e} \end{bmatrix} dt + [\sigma] dW$$

$$[Q_{HFS,CH5m}] = [-H_1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} T_1(t) \\ T_2(t) \\ T_3(t) \\ T_4(t) \\ T_5(t) \\ T_6(t) \end{bmatrix} + [H_1 \ 0] \begin{bmatrix} T_{s,c}(t) \\ T_{c,e}(t) \end{bmatrix} + [SCH5] de(t) \quad [A.26]$$

variable	valor min.	valor inicial	valor max.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	0.2	50	500	5.20E-01	1.46E-03	13.720	-0.0034	0.0025
H <sub>2</sub>	0.2	50	500	3.60E-01	9.03E-03	20.43	0.0022	0.0046
C <sub>1</sub>	1	100	500	5.43E+01	1.05E-01	96.59	0	0
C <sub>2</sub>	1	100	500	2.01E+01	1.90E-01	27.4	0	-0.0003
H <sub>3</sub>	0.2	50	500	8.75E+00	1.24E-02	25.22	-0.0045	0.0037
C <sub>3</sub>	1	100	500	1.02E+01	8.43E-01	34.191	0	0
H <sub>4</sub>	0.2	50	500	3.22E+01	1.31E-02	97.3	0	0.0044
C <sub>4</sub>	1	100	500	1.63E+01	2.75E-01	7.243	0	0
H <sub>5</sub>	0.2	50	500	6.94E+01	6.58E-03	16.056	0.0048	0.0046
C <sub>5</sub>	1	100	500	2.71E+00	5.52E-01	56.77	-0.0043	0.0020
H <sub>6</sub>	0.2	50	500	5.40E+01	6.74E-03	97.9	0	0
C <sub>6</sub>	1	100	500	2.41E+01	7.86E-01	57.64	0	0
H <sub>7</sub>	0.2	50	500	1.42E+02	4.70E-03	40.69	0.0042	0

Tabla A.55 – Resultados del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 6

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>
H <sub>1</sub>	1												
H <sub>2</sub>	0.34	1											
C <sub>1</sub>	0.33	0.01	1										
C <sub>2</sub>	0.30	0.19	0.30	1									
H <sub>3</sub>	0.19	0.19	0.33	0.25	1								
C <sub>3</sub>	0.16	0.23	0.25	0.02	0.24	1							
H <sub>4</sub>	0.32	0.17	0.06	0.20	0.19	0.18	1						
C <sub>4</sub>	0.18	0.28	0.27	0.42	0.29	0.30	0.21	1					
H <sub>5</sub>	0.24	0.17	0.30	0.28	0.18	0.30	0.29	0.31	1				
C <sub>5</sub>	0.21	0.24	0.29	0.36	0.27	0.32	0.21	0.40	0.39	1			
H <sub>6</sub>	0.20	0.18	0.25	0.50	0.39	0.30	0.46	0.21	0.02	0.40	1		
C <sub>6</sub>	0.19	0.29	0.23	0.39	0.22	0.17	0.30	0.23	0.24	0.46	0.29	1	
H <sub>7</sub>	0.19	0.28	0.40	0.18	0.07	0.14	0.31	0.12	0.28	0.26	0.28	0.28	1

Tabla A.56 – Coeficientes correlación variables del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 6

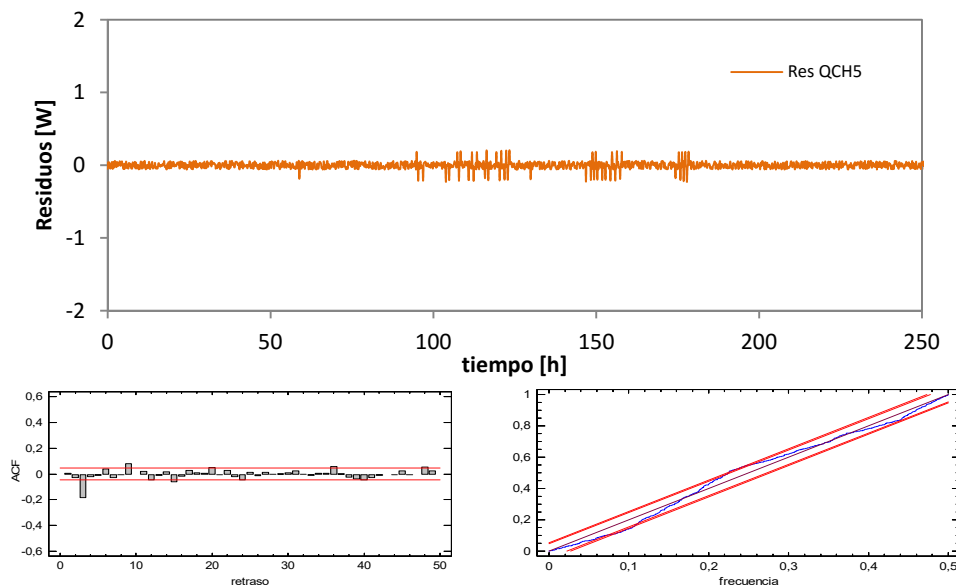


Figura A.74– Análisis del modelo unidimensional de orden 6 para el flujo central del muro de calibración

En la Tabla A.57 se recoge el estudio de propagación de incertidumbres asociado al error en las variables de medida.

variable	u <sub>medida</sub>	unidades	dU [W/K]	dC [MJ/K]
T <sub>s,c</sub>	0.2	K	0.001	0.001
T <sub>c,e</sub>	0.5	K	0.001	0.001
Q <sub>CH5</sub>	0.1	W	0.002	0.001

Tabla A.57 – Propagación del error de las variables de medida en el resultado del modelo 6

En la Tabla A.58 se recoge el resumen de resultados obtenidos en el proceso de análisis del modelo de flujo unidimensional en el muro de calibración. Estos mismos resultados se muestran en las gráficas de la Figura A.75.

N	1	2	3	4	5	6	media	$\sigma$
H [W/K]	0.212	0.219	0.207	0.203	0.206	0.205	<b>0.205</b>	<b>0.006</b>
C [MJ/K]	0.078	0.079	0.076	0.076	0.076	0.077	<b>0.076</b>	<b>0.001</b>
e [%]	3.4	6.5	0.9	-1.3	0.4	0.0		
	2.4	3.6	-1.0	0.1	0.2	0.7		

Tabla A.58 – Resultados del proceso de identificación para la transmitancia y capacidad térmica de la zona central del muro de calibración

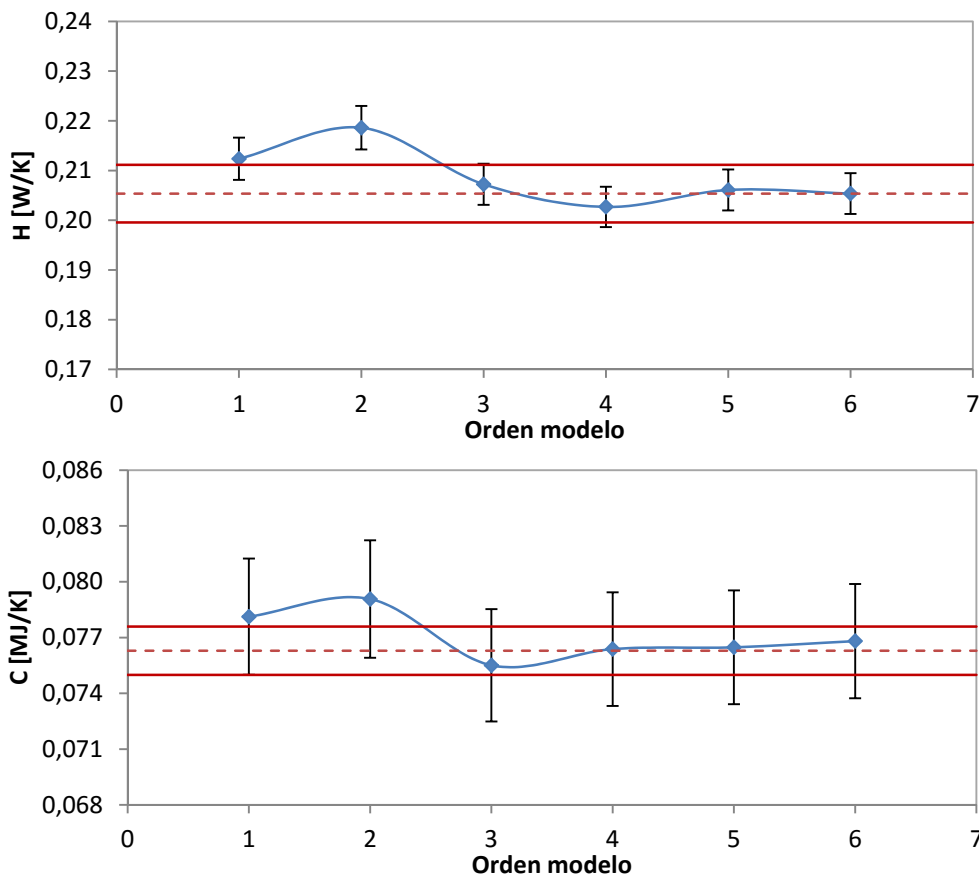


Figura A.75 – Resultados en función del orden del modelo, para el flujo central del muro de calibración

En vista de los resultados, se considera que el modelo óptimo para caracterizar el muro de calibración es el modelo de tercer orden, ya que presenta un comportamiento próximo al de ruido blanco y los resultados de  $H$  y  $C$  se ajustan a los valores medios obtenidos y están dentro del rango de la desviación estándar. Otro indicativo de que este modelo ya es suficiente para la caracterización del muro es que presenta valores de conductancia muy elevados y valores de capacidades térmicas muy reducidos, valores despreciables dentro del valor final. Esta respuesta es típica en los modelos de identificación de parámetros, ya que en el momento en el que se obtiene el modelo

mínimo necesario para representar el comportamiento de la muestra bajo estudio, aunque se aumente el orden del modelo no se obtienen mejores resultados, ya que los parámetros añadidos no presentan peso en el resultado al tomar valores muy alejados del valor total. Aún así, la experiencia en el trabajo con herramientas de identificación indica que el mejor modelo es aquel que presenta un orden más del mínimo necesario, esos parámetros que toman valores despreciables le permiten a la herramienta ajustar de una forma más adecuada la función objetivo gracias los grados de libertad añadidos. Pero si estos son muchos, el modelo no aporta mayor mejora, y si un aumento importante en la complejidad y en la posibilidad de cometer errores en el ajuste.

### A.3.1.2 Flujo de borde

Para estudiar los efectos de borde que se producen en el muro de calibración se emplea un modelo como el mostrado en la Figura A.68 de tercer orden, como se ha determinado en el apartado anterior. La única diferencia en dicho modelo, definido en las ecuaciones [A.19] y [A.20], es que se emplea el flujo de las *tilas* correspondientes a los grupos CH1, CH2, CH3 y CH4 como función objetivo. A continuación se muestran los resultados del proceso de identificación de parámetros para las tres rutinas de ensayo aplicadas en el proceso de calibración.

#### Resultados rutina *PULSO*

variable	valor min.	valor inicial	valor max.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	0.2	10	500	2.43E+00	1.09E-01	111.7111	-0.0257	0
H <sub>2</sub>	0.2	10	500	1.57E+01	7.09E-01	86.5838	-0.0001	0.0001
C <sub>1</sub>	1	100	500	1.55E+02	2.19E+01	30.1808	-0.0001	0.0002
C <sub>2</sub>	1	100	500	1.09E+02	1.58E+01	8.7806	0.0004	0.0001
H <sub>3</sub>	0.2	10	500	3.04E+00	1.36E-01	1.5244	-0.0004	0

Tabla A.59 – Resultados del proceso de identificación de parámetros en el modelo de borde para la rutina *PULSO*

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>
H <sub>1</sub>	1				
H <sub>2</sub>	0.225	1			
C <sub>1</sub>	-0.102	-0.214	1		
C <sub>2</sub>	0.027	0.077	-0.014	1	
H <sub>3</sub>	-0.001	0.102	-0.023	0.332	1

Tabla A.60 – Coeficientes correlación variables del proceso de identificación de parámetros en el modelo de borde para la rutina *PULSO*

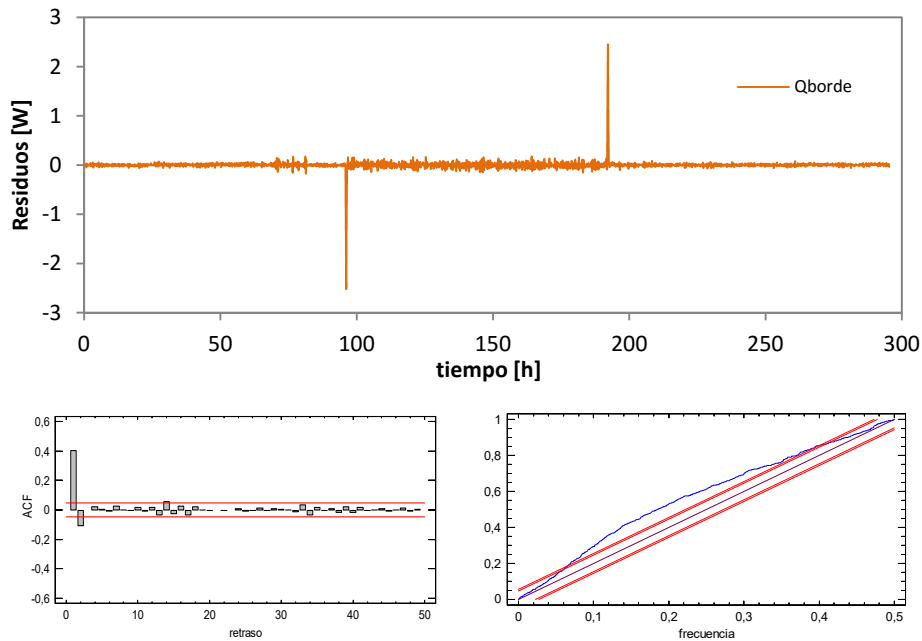


Figura A.76– Análisis del modelo para el flujo de borde del muro de calibración en la rutina PULSO

### Resultados rutina PRBS

variable	valor min.	valor inicial	valor max.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	0.2	10	500	1.27E+00	2.17E-02	10.0296	0	0
H <sub>2</sub>	0.2	10	500	1.22E+00	7.87E-02	2.656	0	0
C <sub>1</sub>	1	100	500	1.46E+02	8.91E+00	6.6086	0	0.2999
C <sub>2</sub>	1	100	500	1.45E+02	1.33E+01	4.4086	0	0.2099
H <sub>3</sub>	0.2	10	500	5.42E+01	1.01E+01	0.9171	0	0.0181

Tabla A.61 – Resultados del proceso de identificación de parámetros en el modelo de borde para la rutina PRBS

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>
H <sub>1</sub>	1				
H <sub>2</sub>	0.002	1			
C <sub>1</sub>	0.000	-0.015	1		
C <sub>2</sub>	0.001	-0.004	-0.008	1	
H <sub>3</sub>	-0.001	-0.025	-0.019	0.167	1

Tabla A.62 – Coeficientes correlación variables del proceso de identificación de parámetros en el modelo de borde para la rutina PRBS

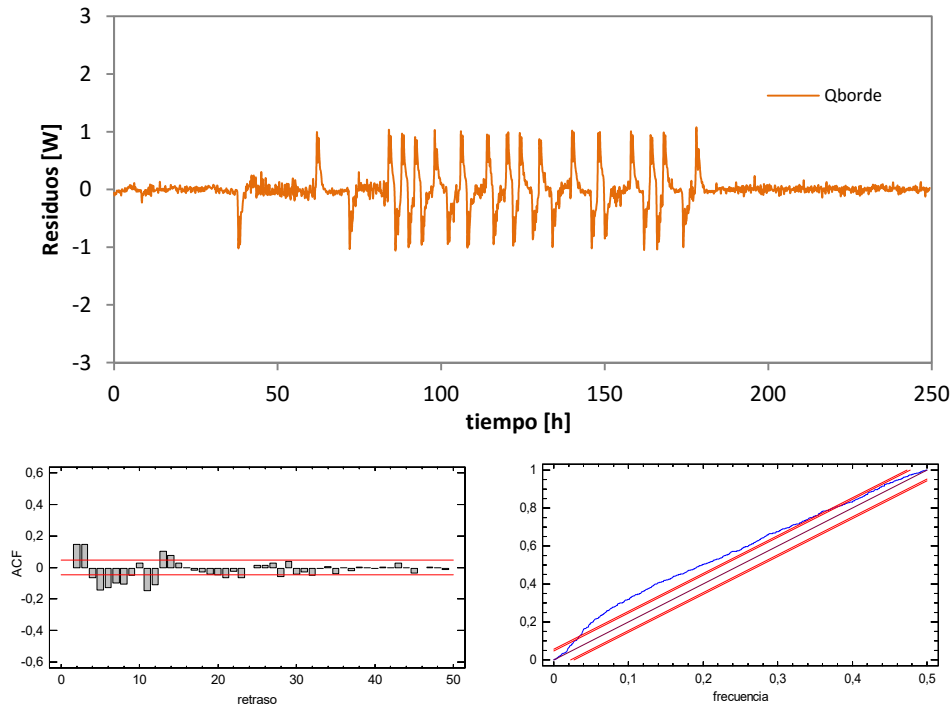


Figura A.77– Análisis del modelo para el flujo de borde del muro de calibración en la rutina PRBS

### Resultados rutina ROLBS

variable	valor min.	valor inicial	valor max.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	0.2	10	500	1.28E+00	1.81E-02	16.0003	0	0
H <sub>2</sub>	0.2	10	500	1.16E+00	9.25E-02	2.8419	0.0045	0
C <sub>1</sub>	1	100	500	4.39E+02	2.79E+01	17.729	0	0.0012
C <sub>2</sub>	1	100	500	9.22E+00	5.91E+00	1.7631	0.078	0.0001
H <sub>3</sub>	0.2	10	500	6.29E+01	1.27E+01	1.1185	0.2635	0.0001

Tabla A.63 – Resultados del proceso de identificación de parámetros en el modelo de borde para la rutina ROLBS

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>
H <sub>1</sub>	1				
H <sub>2</sub>	-0.010	1			
C <sub>1</sub>	-0.002	-0.057	1		
C <sub>2</sub>	0.107	0.012	-0.007	1	
H <sub>3</sub>	0.012	0.031	0.008	0.097	1

Tabla A.64 – Coeficientes correlación variables del proceso de identificación de parámetros en el modelo de borde para la rutina ROLBS

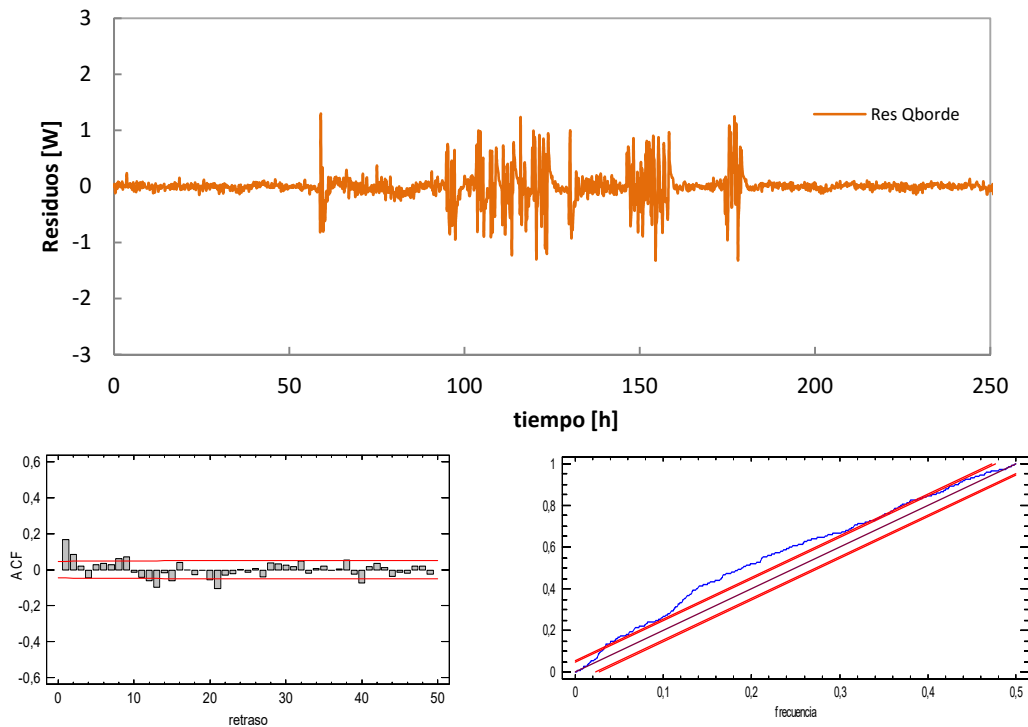


Figura A.78 – Análisis de los efectos de borde del muro de calibración para la excitación ROLBS

En la Tabla A.65 se recoge el resumen de los datos obtenidos en el estudio del flujo de borde que se produce en el muro de calibración.

	H [W/K]	C [MJ/K]
PULSO	0.611	0.277
PRBS	0.607	0.261
ROLBS	0.598	0.274
<b>media</b>	<b>0.605</b>	<b>0.270</b>
<b><math>\sigma</math></b>	<b>0.004</b>	<b>0.005</b>

Tabla A.65 – Resultados del proceso de identificación para la transmitancia y capacidad térmica de la zona de borde del muro de calibración

### A.3.1.3 Modelo a escala de celda

A continuación se muestran los resultados del proceso de identificación para el modelo completo de la celda con el muro de calibración teniendo en cuenta la zona de flujo unidimensional y la zona de flujo de borde, ver Figura A.79. En [A.27] y [A.28] se indica las ecuaciones que representan al modelo. Como variables de excitación del modelo se emplean las medidas de potencia inyectada en la sala de ensayos, flujo de calor de la envolvente, temperatura del ambiente exterior y radiación solar incidente sobre la



superficie de la muestra,  $[P, Q_{HFS,e}, T_e, G_v]$ . Y como funciones objetivo se emplea la temperatura de ambiente interior de la sala de ensayos, la temperatura de la superficie interior de la envoltante, la temperatura interior y exterior del muro de calibración,  $[T_i, T_{s,c}, T_{s,e}, T_{c,e}]$ .

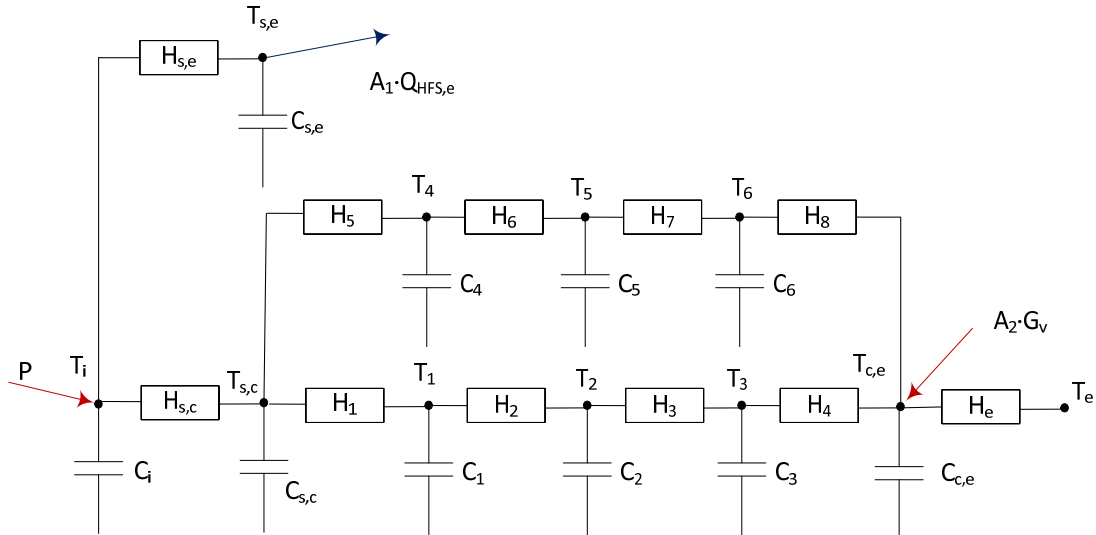


Figura A.79 – Modelo de caracterización para el muro de calibración

$$\begin{bmatrix} dT_1 \\ dT_{s,c} \\ dT_1 \\ dT_2 \\ dT_3 \\ dT_{c,e} \\ dT_4 \\ dT_5 \\ dT_6 \\ dT_{s,e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-(H_{s,c} + H_{s,e})}{C_i} & \frac{H_{s,c}}{C_i} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{H_{s,e}}{C_i} \\ \frac{H_{s,c}}{C_{s,c}} & \frac{-(H_{s,e} + H_1 + H_5)}{C_{s,c}} & \frac{H_1}{C_{s,c}} & 0 & 0 & 0 & \frac{H_5}{C_{s,c}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_1}{C_1} & \frac{-(H_1 + H_2)}{C_1} & \frac{H_2}{C_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_2}{C_2} & \frac{-(H_2 + H_3)}{C_2} & \frac{H_3}{C_2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{H_3}{C_3} & \frac{-(H_3 + H_4)}{C_3} & \frac{H_4}{C_3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{H_4}{C_{c,e}} & \frac{-(H_4 + H_6)}{C_{c,e}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_5}{C_4} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-(H_5 + H_6)}{C_4} & \frac{H_6}{C_4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-(H_6 + H_7)}{C_5} & \frac{H_7}{C_5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{H_7}{C_6} & \frac{-(H_7 + H_8)}{C_6} & \frac{H_8}{C_6} & 0 & 0 \\ \frac{H_{s,e}}{C_{s,e}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-H_{s,e}}{C_{s,e}} \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \frac{1}{C_i} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_e}{C_{c,e}} & \frac{A_2}{C_{c,e}} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-A_1}{C_{s,e}} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ Q_{HFS,e} \\ T_e \\ G_v \end{bmatrix} dt + [e] dt$$

[A.27]

$$\begin{bmatrix} T_i^m \\ T_{s,c}^m \\ T_{c,e}^m \\ T_{s,e}^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_{s,c} \\ T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_{c,e} \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \\ T_{s,e} \end{bmatrix} + [0] \begin{bmatrix} P \\ Q_{HFS,e} \\ T_e \\ G_v \end{bmatrix} + [e]$$

[A.28]

## Resultados rutina PULSO

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	df/dPar	dPen/dPar
H <sub>s,c</sub>	10	70	150	5.96E+01	8.01E+00	33.4676	0	0
H <sub>s,e</sub>	100	350	500	2.40E+02	6.81E+00	22.2749	-0.0002	-0.0001
C <sub>i</sub>	10	40	100	3.06E+01	4.76E+00	1.5296	-0.0005	-0.0016
C <sub>s,c</sub>	100	280	400	2.72E+02	9.94E+00	4.0943	0.0016	0
H <sub>1</sub>	0.2	1	100	2.55E+01	5.28E+00	5.7592	0.0007	0
H <sub>5</sub>	0.2	10	500	1.53E+00	2.33E-01	7.0812	-0.0014	-0.0008
C <sub>1</sub>	1	50	150	3.86E+01	4.28E+00	3.4428	0.0006	0.0003
H <sub>2</sub>	0.2	1	100	4.35E-01	2.36E-02	24.3100	-0.0004	-0.0001
C <sub>2</sub>	1	50	150	1.41E+01	1.49E+00	7.8405	0.0002	0
H <sub>3</sub>	0.2	1	100	4.37E-01	6.09E-02	3.0381	0.0006	0.0002
C <sub>3</sub>	1	50	150	4.22E+01	5.72E+00	0.6293	-0.0005	-0.0002
H <sub>4</sub>	0.2	1	100	6.23E+01	3.50E+00	10.0604	-0.0006	-0.0003
C <sub>c,e</sub>	1	50	100	4.43E+01	1.74E+00	4.1492	0.0001	0.0022
H <sub>e</sub>	5	25	50	1.94E+01	4.24E-01	13.7667	0	-0.0013
C <sub>4</sub>	10	100	500	2.95E+02	5.69E+01	0.3277	0.0001	0.0004
H <sub>6</sub>	0.2	10	500	2.37E+00	1.51E-01	13.7608	0.0002	-0.0007
C <sub>5</sub>	10	100	500	5.04E+01	4.19E+01	3.7894	0.0008	-0.0004
H <sub>7</sub>	0.2	10	500	1.15E+01	2.46E-01	10.2720	0.0022	-0.0004
H <sub>8</sub>	0.2	10	500	2.28E+00	2.47E-01	31.9214	-0.0011	0
C <sub>6</sub>	10	100	500	6.50E+01	2.73E+01	24.9670	0.0004	-0.0004
C <sub>s,e</sub>	500	900	1500	8.73E+02	3.43E+01	0.0186	-0.0005	0.0020
A <sub>2</sub>	0.1	0.5	0.9	3.21E-01	7.48E-02	24.3490	0	0
A <sub>1</sub>	0.9	1	1.1	1.04E+00	4.61E-03	20.4272	-0.0004	0.0011

Tabla A.66 – Resultados identificación parámetros para la rutina PULSO en el modelo completo de muro de calibración

	H <sub>s,c</sub>	H <sub>s,e</sub>	C <sub>i</sub>	C <sub>s,c</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>c,e</sub>	H <sub>e</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>5</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>s,e</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	
H <sub>s,c</sub>	1																							
H <sub>s,e</sub>	0.5	1																						
C <sub>i</sub>	0.0	0.6	1																					
C <sub>s,c</sub>	0.2	0.8	0.5	1																				
H <sub>1</sub>	0.1	0.3	0.7	0.5	1																			
H <sub>5</sub>	0.2	0.4	0.3	0.9	0.1	1																		
C <sub>1</sub>	0.2	0.1	0.2	0.7	0.9	0.8	1																	
H <sub>2</sub>	0.2	0.8	0.3	0.7	0.3	0.7	0.5	1																
C <sub>2</sub>	0.3	0.9	0.7	0.7	0.8	1.0	0.4	0.0	1															
H <sub>3</sub>	0.3	0.8	0.2	0.1	0.7	0.4	1.0	0.9	0.1	1														
C <sub>3</sub>	0.5	0.7	0.1	0.2	0.2	0.8	0.2	0.7	0.3	0.1	1													
H <sub>4</sub>	0.2	0.4	0.7	0.3	0.6	0.0	0.1	0.8	0.7	0.6	0.4	1												
C <sub>c,e</sub>	0.5	0.9	0.8	0.5	0.4	0.9	0.4	0.7	0.1	0.8	0.1	0.7	1											
H <sub>e</sub>	0.8	0.4	0.6	0.5	0.2	0.7	0.2	0.5	0.9	0.2	0.6	0.2	0.9	1										
C <sub>4</sub>	1.0	0.8	0.4	0.5	0.8	0.9	0.9	0.7	0.6	0.4	0.3	0.2	0.6	0.4	1									
H <sub>6</sub>	0.7	1.0	0.6	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	0.1	0.9	0.4	0.8	0.0	0.9	0.1	1								
C <sub>5</sub>	0.1	0.0	0.3	0.9	0.9	0.4	0.7	1.0	1.0	0.1	1.0	0.5	0.6	0.4	0.7	0.4	1							
H <sub>7</sub>	0.7	0.2	0.5	0.7	0.1	0.6	0.2	0.2	0.7	0.6	0.2	0.7	0.5	0.5	0.6	0.1	0.6	1						
H <sub>8</sub>	0.7	0.5	0.1	0.5	0.2	0.3	0.8	0.3	0.0	1.0	0.8	0.3	0.4	0.1	1.0	0.6	0.1	0.6	1					
C <sub>6</sub>	0.9	0.2	0.5	0.4	0.3	0.6	0.7	1.0	0.3	0.7	0.0	0.0	0.3	0.2	0.3	0.9	1.0	0.6	0.0	1				
C <sub>s,e</sub>	0.2	0.5	0.9	0.3	0.9	0.4	0.3	0.1	0.4	0.4	0.7	0.8	0.8	0.7	0.4	0.6	0.7	0.6	0.2	0.7	1			
A <sub>2</sub>	0.0	0.5	0.8	0.1	1.0	0.4	0.9	0.8	0.2	0.1	0.2	0.4	0.9	0.7	0.4	0.8	0.6	0.0	0.0	0.3	0.2	1		
A <sub>1</sub>	0.9	0.9	0.8	0.9	0.2	0.6	0.5	0.7	0.2	0.6	0.7	0.6	0.9	0.6	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.2	1	

Tabla A.67 – Coeficientes de correlación parámetros modelo completo muro calibración para la rutina PULSO

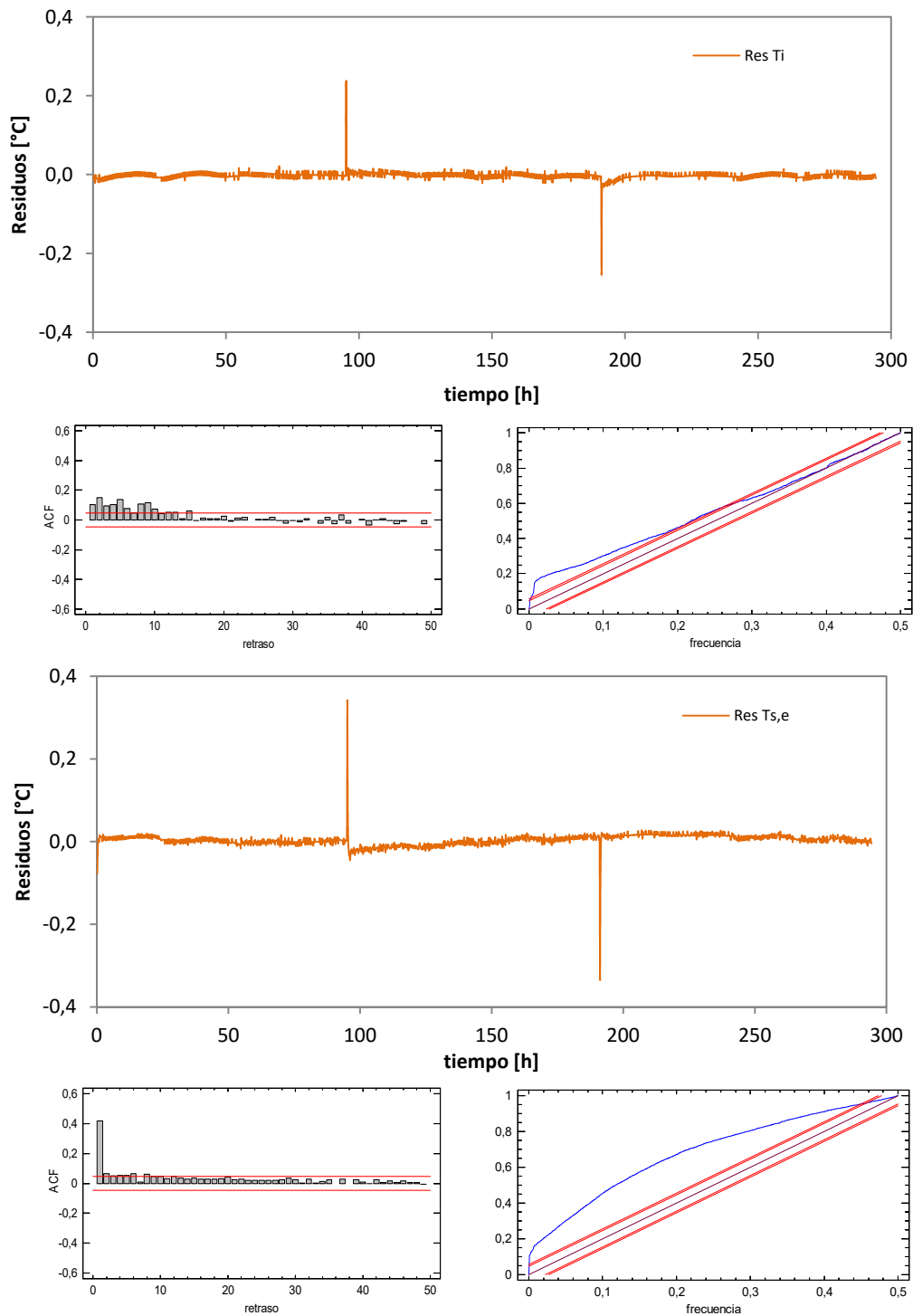


Figura A.80 – Análisis de residuos de las temperaturas en el modelo del muro de calibración, excitación PULSO

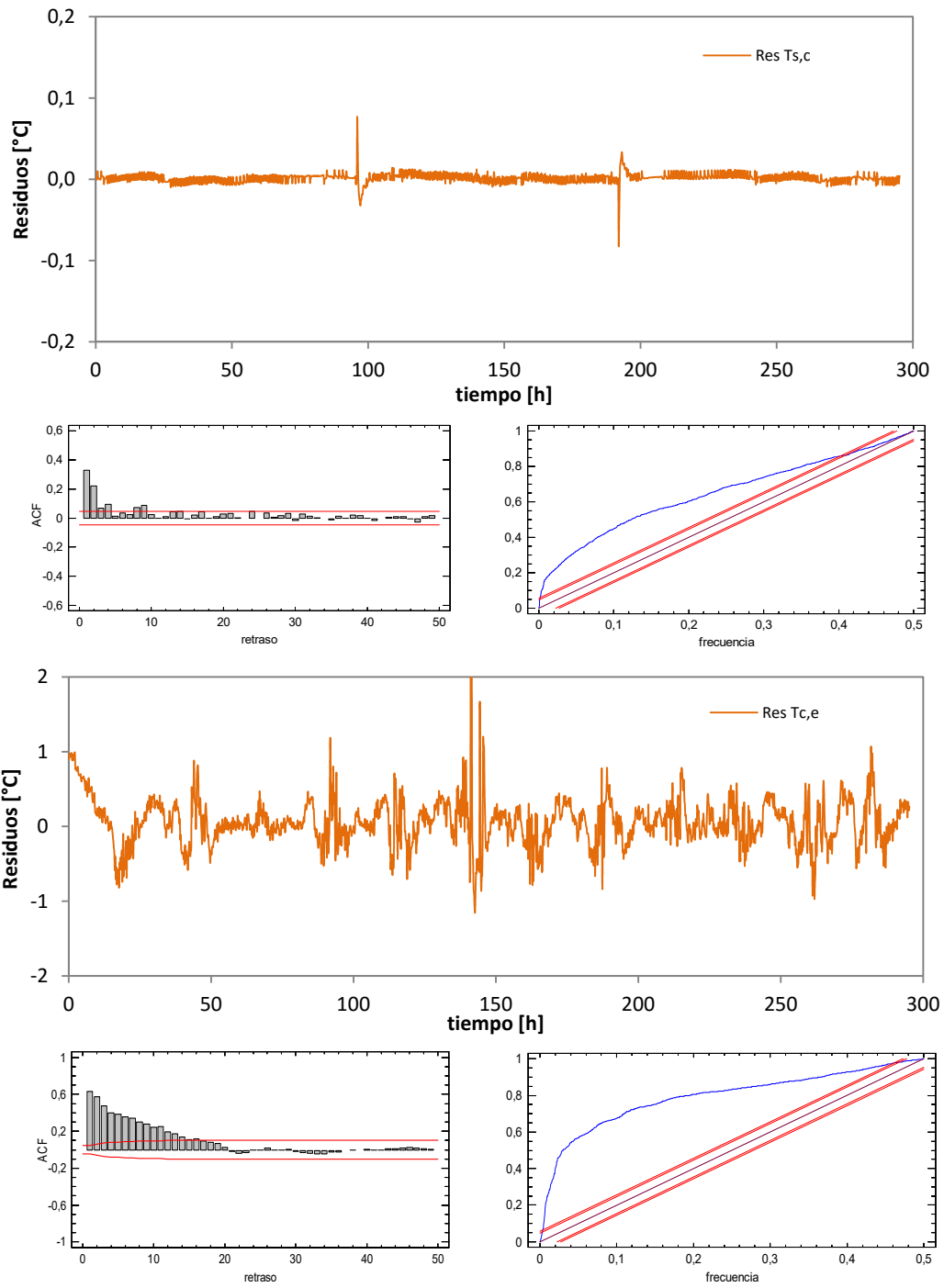


Figura A.81 – Análisis de residuos de las temperaturas en el modelo del muro de calibración, excitación PULSO

## Resultados rutina PRBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>s,c</sub>	10	70	150	4.77E+01	3.06E+00	97.223	0.0019	0.0034
H <sub>s,e</sub>	100	350	500	3.52E+02	8.69E+00	57.829	-0.0025	0
C <sub>i</sub>	10	40	100	7.51E+01	9.02E+00	88.065	0.002	-0.003
C <sub>s,c</sub>	100	280	400	2.43E+02	8.83E+00	2.313	-0.0037	-0.0029
H <sub>1</sub>	0.2	1	100	1.45E+01	2.68E+00	63.97	0.0047	-0.0004
H <sub>5</sub>	0.2	10	500	6.59E-01	7.44E-02	81.109	0.0028	0.0019
C <sub>1</sub>	1	50	150	1.37E+01	4.96E+00	11.6455	0.0036	0.0031
H <sub>2</sub>	0.2	1	100	2.21E-01	1.90E-02	2.523	0.0021	0.0036
C <sub>2</sub>	1	50	150	6.09E+01	9.11E+00	0.1786	0.0030	-0.003
H <sub>3</sub>	0.2	1	100	3.65E+00	3.73E-02	74.842	-0.0045	0.0037
C <sub>3</sub>	1	50	150	6.33E+01	5.35E+00	28.295	0.0033	0.0020
H <sub>4</sub>	0.2	1	100	4.08E+00	1.83E-01	56.452	-0.0017	0.0043
C <sub>c,e</sub>	1	50	100	5.84E+00	3.96E+00	29.117	-0.0015	-0.0027
H <sub>e</sub>	5	25	50	2.30E+01	8.97E+00	9.4336	0.0022	0.0046
C <sub>4</sub>	10	100	500	5.02E+02	5.23E+00	75.264	-0.0033	-0.0015
H <sub>6</sub>	0.2	10	500	1.43E+02	9.02E-02	47.049	0.0006	-0.0034
C <sub>5</sub>	10	100	500	1.45E+00	4.69E+01	39.480	-0.0001	-0.0033
H <sub>7</sub>	0.2	10	500	8.90E+01	1.77E-01	51.810	0.0029	-0.0022
H <sub>8</sub>	0.2	10	500	1.10E+02	6.04E-01	31.126	0.0005	-0.003
C <sub>6</sub>	10	100	500	4.40E+02	3.06E+01	1.4267	0.0028	0.0001
C <sub>s,e</sub>	500	900	1500	9.35E+02	8.89E+00	87.365	-0.0034	-0.0029
A <sub>2</sub>	0.1	0.5	0.9	2.66E-01	2.32E-02	4.8759	-0.0049	-0.0011
A <sub>1</sub>	0.9	1	1.1	2.65E+01	4.25E+00	59.336	-0.0012	0.002

Tabla A.68 – Resultados identificación parámetros para la rutina PRBS en el modelo completo de muro de calibración

	H <sub>s,c</sub>	H <sub>s,e</sub>	C <sub>i</sub>	C <sub>s,c</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>c,e</sub>	H <sub>e</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>5</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>s,e</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	
H <sub>s,c</sub>	1																							
H <sub>s,e</sub>	0.1	1																						
C <sub>i</sub>	0.8	0.7	1																					
C <sub>s,c</sub>	0.1	0.4	0.1	1																				
H <sub>1</sub>	0.8	0.5	0.9	0.5	1																			
H <sub>5</sub>	0.6	0.1	0.3	0.4	0.7	1																		
C <sub>1</sub>	0.9	0.8	0.3	0.3	0.7	0.0	1																	
H <sub>2</sub>	0.1	0.6	0.3	0.0	0.5	0.8	0.4	1																
C <sub>2</sub>	0.3	0.3	0.5	0.5	0.6	0.4	0.3	0.9	1															
H <sub>3</sub>	0.2	0.1	0.5	1.0	0.3	0.0	0.8	0.0	0.6	1														
C <sub>3</sub>	0.9	0.2	0.7	1.0	0.3	0.4	0.7	0.2	0.3	0.0	1													
H <sub>4</sub>	0.8	0.6	0.1	0.9	0.1	0.5	0.3	0.6	1.0	0.1	0.9	1												
C <sub>c,e</sub>	0.9	0.2	0.7	0.2	0.5	0.5	0.9	0.0	0.8	0.6	0.7	0.4	1											
H <sub>e</sub>	0.9	0.4	0.2	0.1	1.0	0.4	0.6	0.5	0.5	0.7	0.8	0.4	0.1	1										
C <sub>4</sub>	0.8	0.9	0.1	0.5	0.7	0.2	0.8	0.8	0.7	0.4	0.9	0.7	0.1	0.1	1									
H <sub>6</sub>	0.6	0.7	0.5	0.7	0.5	0.4	0.5	0.3	0.8	0.1	0.3	0.8	0.9	0.7	0.8	1								
C <sub>5</sub>	0.8	0.9	0.8	0.5	0.8	0.8	0.0	0.5	0.6	1.0	0.3	0.7	0.8	0.8	0.6	0.0	1							
H <sub>7</sub>	0.9	0.6	0.8	0.7	0.2	0.4	0.8	0.0	0.1	0.2	0.1	0.5	0.0	0.4	0.4	0.4	1.0	1						
H <sub>8</sub>	0.3	0.4	0.1	1.0	0.5	0.4	0.2	0.4	0.5	0.8	0.7	0.0	1.0	0.8	0.9	0.3	0.4	0.5	1					
C <sub>6</sub>	0.9	0.6	0.1	0.8	0.1	0.1	0.6	0.3	0.4	0.9	0.8	0.3	0.2	0.1	0.4	0.8	0.4	0.4	0.9	1				
C <sub>s,e</sub>	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	1.0	1.0	0.5	0.4	0.6	0.2	0.2	0.1	0.4	0.9	0.9	0.7	0.9	0.2	1			
A <sub>2</sub>	0.2	0.4	0.9	0.8	0.1	0.1	0.8	0.1	0.9	0.7	0.8	0.3	0.9	0.7	0.2	0.2	0.2	0.0	0.8	1.0	0.9	1		
A <sub>1</sub>	0.1	0.8	0.3	0.3	0.4	0.9	0.3	0.0	0.9	0.3	0.4	0.3	0.6	0.3	0.6	0.5	0.5	0.3	0.7	0.8	0.6	0.5	1	

Tabla A.69 – Coeficientes de correlación parámetros modelo completo muro calibración para la rutina PRBS

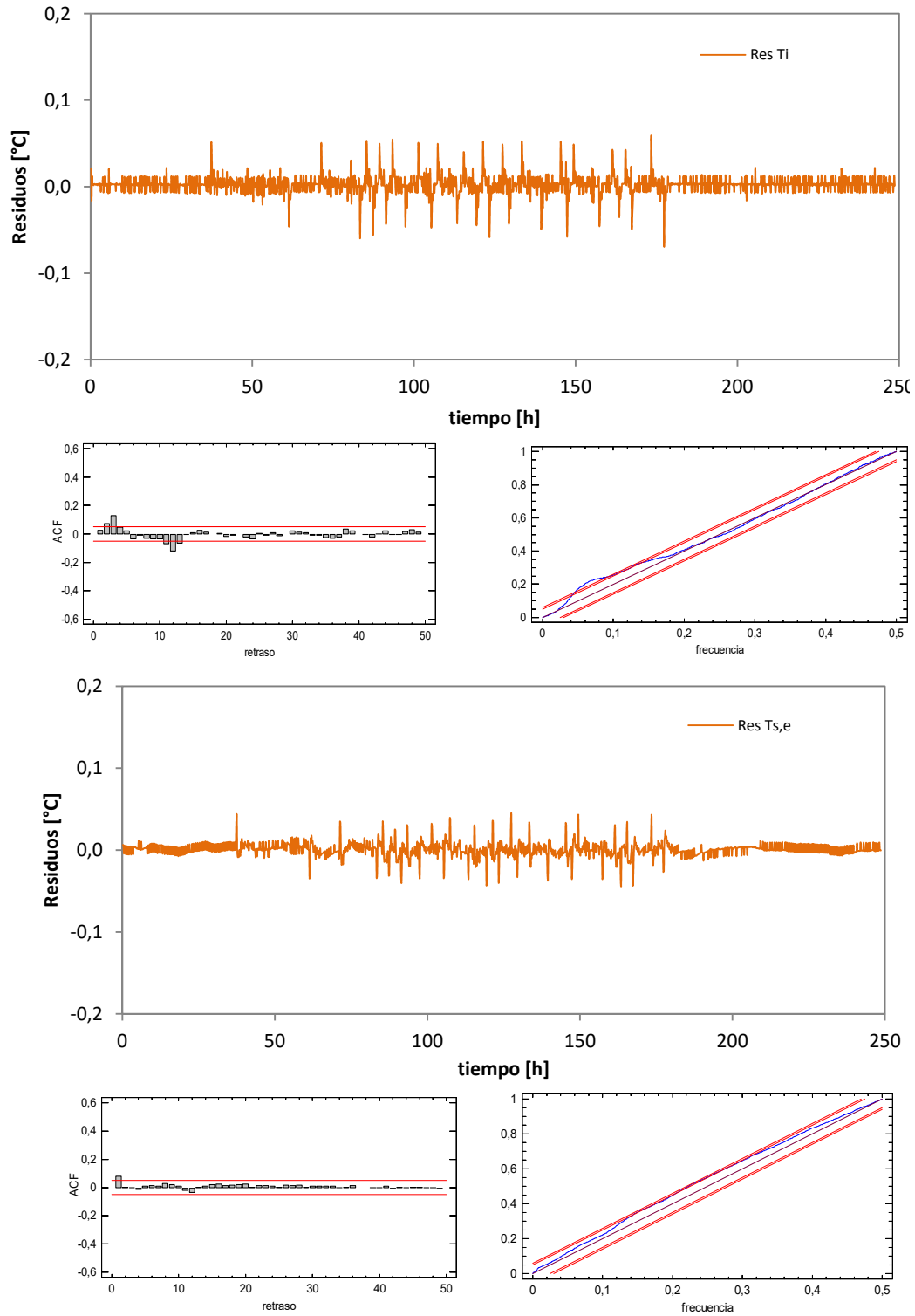


Figura A.82 – Análisis de residuos de las temperaturas en el modelo del muro de calibración, excitación PRBS

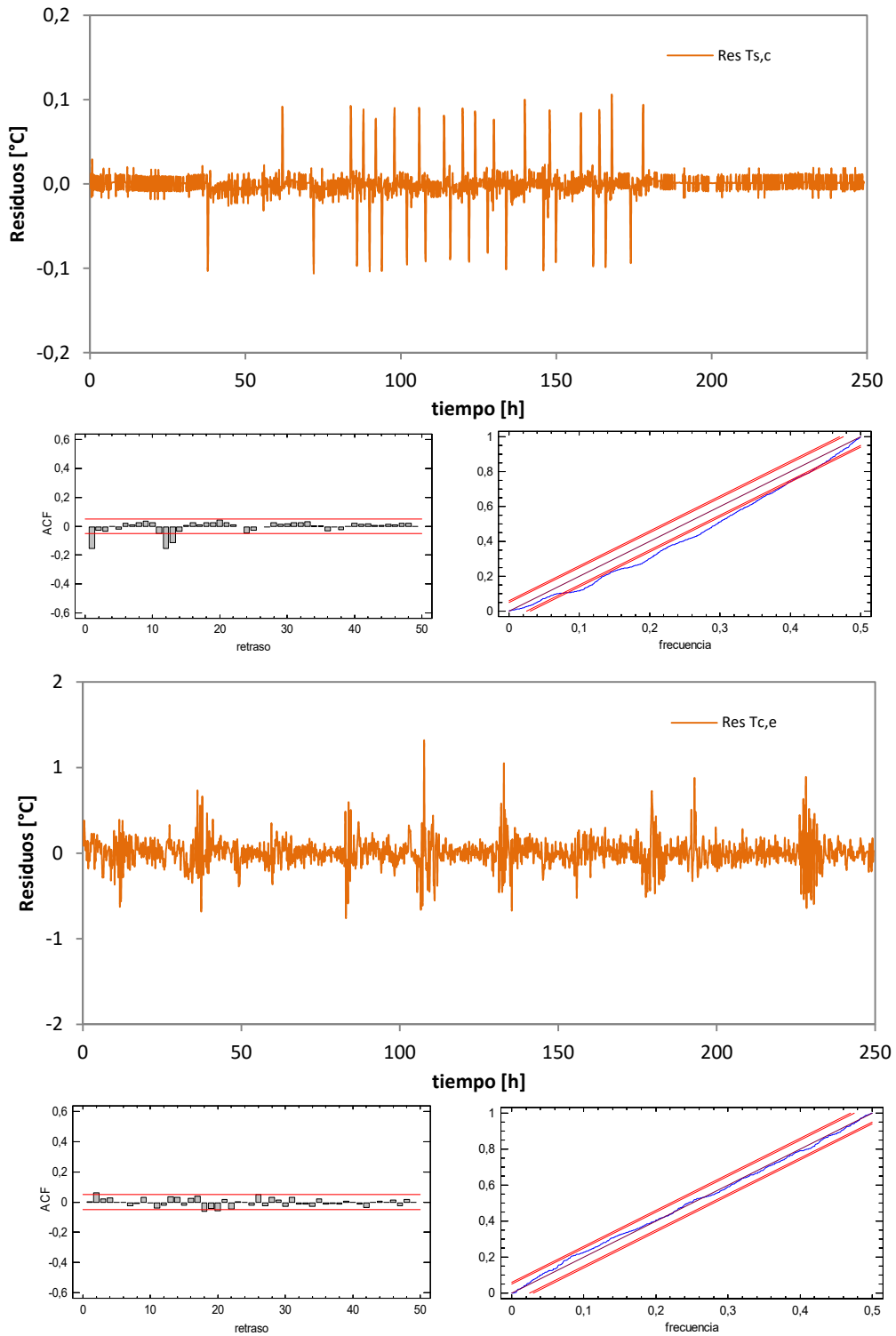


Figura A.83 – Análisis de residuos de las temperaturas en el modelo del muro de calibración, excitación PRBS



## Resultados rutina ROLBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>s,c</sub>	10	70	150	5.95E+01	6.67E+00	77.292	0.0024	0
H <sub>s,e</sub>	100	350	500	3.98E+02	8.27E+00	85.170	0	0
C <sub>i</sub>	10	40	100	6.83E+01	1.82E+00	9.2447	-0.0032	0.0024
C <sub>s,c</sub>	100	280	400	2.99E+02	2.00E+00	10.109	-0.0026	0
H <sub>1</sub>	0.2	1	100	6.17E+00	2.33E+00	7.456	0.0019	0.0047
H <sub>5</sub>	0.2	10	500	4.62E+00	1.27E+00	5.7969	0.0018	0.0029
C <sub>1</sub>	1	50	150	3.74E+01	4.67E+00	41.803	0.0049	-0.0033
H <sub>2</sub>	0.2	1	100	2.54E-01	2.94E-02	71.925	0	0.0017
C <sub>2</sub>	1	50	150	6.11E+01	1.22E+01	96.821	0.0033	-0.0047
H <sub>3</sub>	0.2	1	100	3.11E+00	1.70E-01	3.993	-0.0021	0.0012
C <sub>3</sub>	1	50	150	5.29E+00	2.74E+00	89.368	-0.0042	0.0029
H <sub>4</sub>	0.2	1	100	2.89E+01	2.25E+00	59.850	0.0045	-0.0009
C <sub>c,e</sub>	1	50	100	2.66E+00	9.54E-01	55.511	0.0042	0
H <sub>e</sub>	5	25	50	2.11E+01	4.93E+00	33.4387	-0.0026	0
C <sub>4</sub>	10	100	500	2.91E+02	1.88E+01	18.947	0	0.0029
H <sub>6</sub>	0.2	10	500	1.83E+00	1.25E-01	90.754	-0.0016	-0.0034
C <sub>5</sub>	10	100	500	3.10E+01	1.06E+01	21.289	0.0029	0
H <sub>7</sub>	0.2	10	500	1.25E+00	2.08E-01	58.376	0	0.0020
H <sub>8</sub>	0.2	10	500	5.47E+01	2.16E-01	49.605	0.0031	0.0008
C <sub>6</sub>	10	100	500	8.48E+01	3.12E+01	60.642	0	-0.0041
C <sub>s,e</sub>	500	900	1500	9.32E+02	7.50E+00	79.204	-0.0048	0.0019
A <sub>2</sub>	0.1	0.5	0.9	2.98E-01	4.56E-03	91.854	-0.0025	0.0046
A <sub>1</sub>	0.9	1	1.1	9.64E-01	8.33E-02	0.1302	0.0038	0.0017

Tabla A.70 – Resultados identificación parámetros para la rutina ROLBS en el modelo completo de muro de calibración

	H <sub>s,c</sub>	H <sub>s,e</sub>	C <sub>i</sub>	C <sub>s,c</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>c,e</sub>	H <sub>e</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>5</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>s,e</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>		
H <sub>s,c</sub>	1																								
H <sub>s,e</sub>	0.3	1																							
C <sub>i</sub>	0.6	0.9	1																						
C <sub>s,c</sub>	0.1	1.0	0.1	1																					
H <sub>1</sub>	0.3	0.8	0.3	0.8	1																				
H <sub>5</sub>	0.3	0.7	0.5	0.6	0.6	1																			
C <sub>1</sub>	0.2	0.3	0.8	0.8	0.6	0.2	1																		
H <sub>2</sub>	0.9	0.4	0.2	0.5	0.2	0.9	0.9	1																	
C <sub>2</sub>	0.8	0.8	0.3	0.3	0.0	0.9	0.3	0.6	1																
H <sub>3</sub>	0.9	0.3	1.0	0.8	0.6	0.7	0.6	0.9	0.4	1															
C <sub>3</sub>	0.3	0.4	0.6	0.5	0.2	0.8	0.5	0.1	0.2	0.3	1														
H <sub>4</sub>	0.6	0.4	0.5	0.0	0.7	0.2	0.8	0.4	0.2	0.2	0.9	1													
C <sub>c,e</sub>	0.4	0.7	0.7	0.6	0.7	0.2	0.0	0.9	0.9	0.9	0.1	0.8	1												
H <sub>e</sub>	0.9	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	1.0	0.3	0.9	0.2	0.8	0.7	0.2	1											
C <sub>4</sub>	0.8	0.8	0.3	0.1	0.7	0.1	0.5	0.2	0.6	0.6	0.7	0.5	0.3	1.0	1										
H <sub>6</sub>	0.4	0.1	0.9	0.0	0.9	0.1	0.0	0.8	0.0	0.2	0.2	0.2	0.7	0.7	0.2	1									
C <sub>5</sub>	0.2	0.9	0.6	0.5	0.7	0.4	0.5	0.8	0.3	0.6	0.2	0.4	0.5	0.6	0.1	0.4	1								
H <sub>7</sub>	0.8	0.6	0.1	0.4	0.3	0.2	1.0	0.2	0.4	0.5	0.8	0.5	0.1	0.3	0.1	0.8	0.2	1							
H <sub>8</sub>	0.0	0.1	0.9	0.0	0.3	0.2	0.3	0.2	0.4	0.5	0.4	0.7	0.4	0.9	0.8	0.7	0.5	0.7	1						
C <sub>6</sub>	0.8	0.9	0.6	0.8	0.2	0.7	0.1	0.3	0.2	0.4	0.8	0.8	0.1	0.4	0.5	0.9	0.4	0.9	0.6	1					
C <sub>s,e</sub>	0.9	0.4	0.3	1.0	0.3	0.1	0.0	0.9	0.1	0.8	0.6	0.6	0.2	0.2	0.6	0.1	0.6	0.7	0.8	0.6	1				
A <sub>2</sub>	0.8	0.3	0.0	0.6	1.0	0.8	1.0	0.9	0.7	0.7	1.0	0.8	0.1	0.8	0.4	0.2	0.7	0.8	0.4	0.4	0.2	1			
A <sub>1</sub>	0.7	0.0	0.2	0.8	0.1	0.1	0.6	0.8	0.3	0.3	0.7	0.6	0.5	0.8	0.8	0.9	0.0	1.0	0.3	0.1	1.0	0.7	1		

Tabla A.71 – Coeficientes de correlación parámetros modelo completo muro calibración para la rutina ROLBS

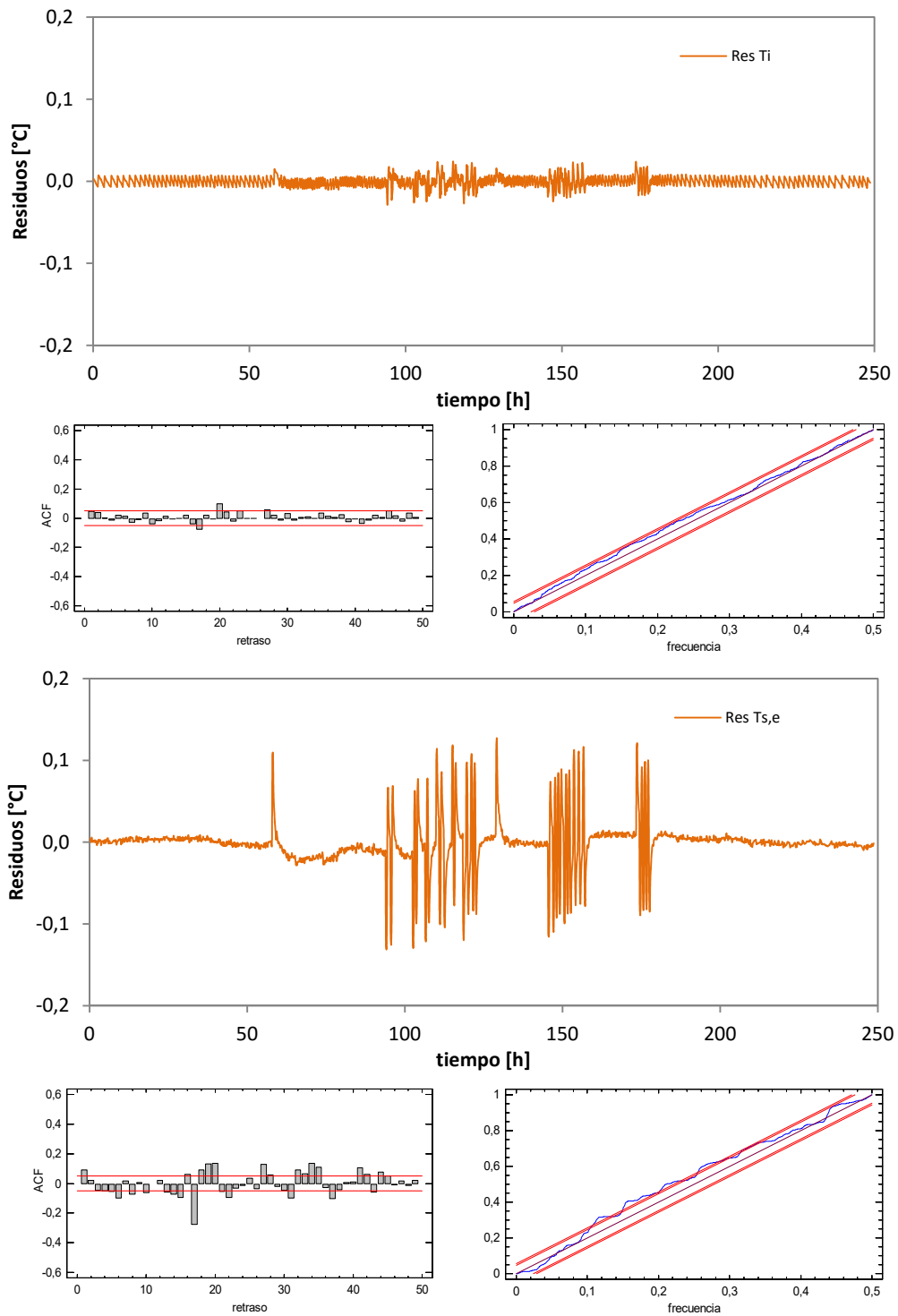


Figura A.84 – Análisis de residuos de las temperaturas en el modelo del muro de calibración, excitación ROLBS

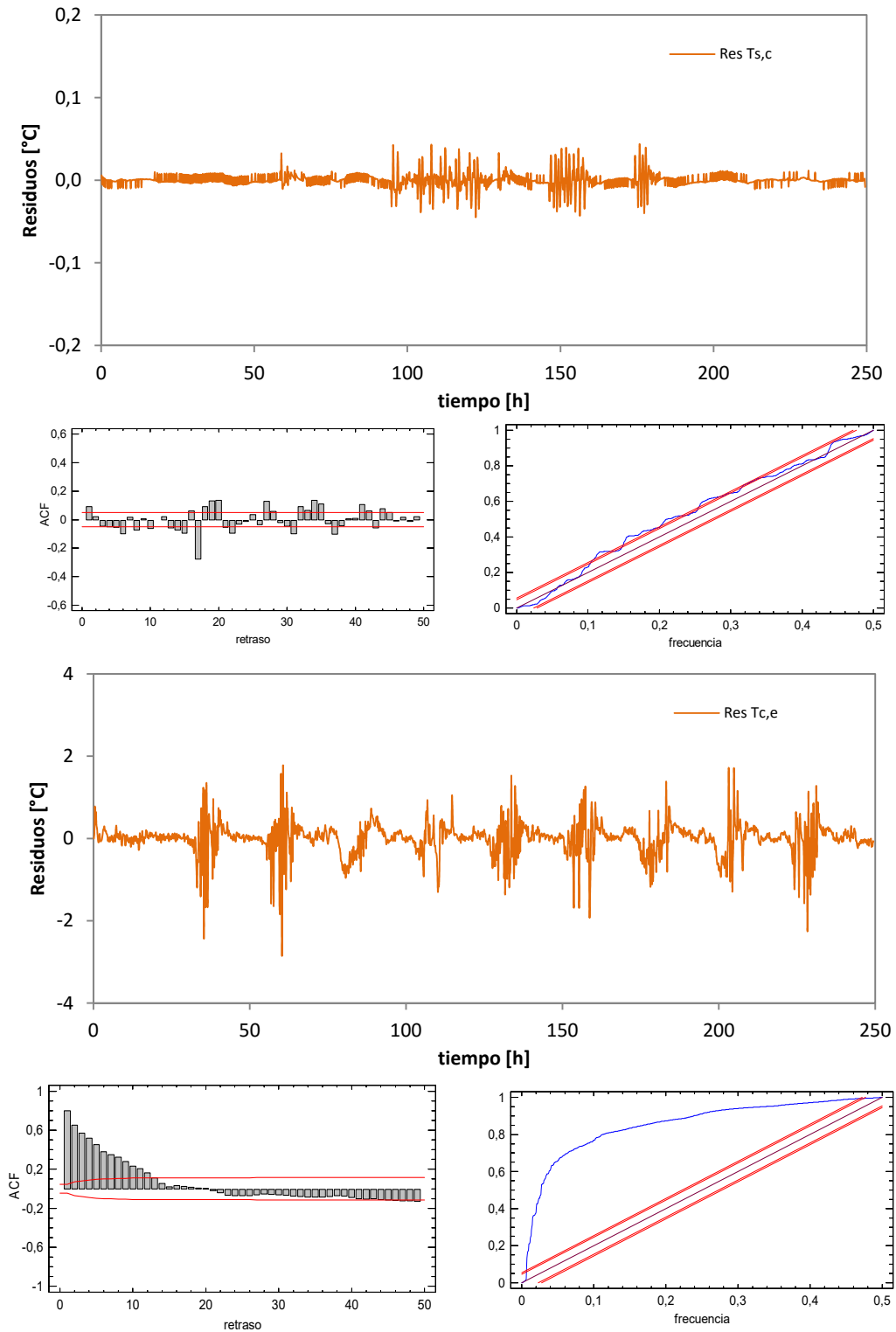


Figura A.85 – Análisis de residuos de las temperaturas en el modelo del muro de calibración, excitación ROLBS

Una vez estudiadas todas las rutinas, se analizan los resultados obtenidos para la conductancia,  $H$ , y la capacidad térmica de cada una de las ramas del modelo, que a su vez representan la zona central del muro de calibración, donde se producen condiciones de flujo unidimensional, y para la zona de borde, donde el flujo es bidimensional. También se analiza el comportamiento de la superficie exterior del muro de calibración frente a las condiciones ambientales mediante los parámetros de apertura solar,  $A_{Gv}$ , y coeficiente de convección exterior,  $H_e$ . En la Tabla A.72 se muestra dicho resumen de resultados totales.

	centro		borde		$A_{Gv}$ [-]	$H_{ce}$ [MJ/K]
	H [W/K]	C [W/m <sup>2</sup> K]	H [MJ/K]	C [MJ/m <sup>2</sup> K]		
PULSO	0.215	0.064	0.625	0.266	0.321	19.545
PRBS	0.196	0.084	0.648	0.285	0.265	22.986
ROLBS	0.224	0.063	0.633	0.245	0.298	21.098
medio	<b>0.212</b>	<b>0.070</b>	<b>0.635</b>	<b>0.265</b>	<b>0.295</b>	<b>21.210</b>
$\sigma$	0.014	0.012	0.012	0.020	0.028	1.723
ref	0.205	0.076	0.605	0.270		
Dif [%]	3.1	-8.0	4.9	-1.8		

Tabla A.72 – Resultados finales del estudio de caracterización del muro de calibración



# Anexo B

## ENSAYO IQ-Test







## B.1 Datos experimentales

El estudio de trazabilidad *IQ-Test* está configurado por el ensayo de dos componentes, el primero formado por un muro opaco con la zona central desmontable y que se sustituya por una ventana de referencia en el segundo ensayo. A su vez, en este estudio se realizan dos ensayos por muestra, el primero con el componente situado a ras del interior del portamuestras y el segundo con la muestra a ras del exterior. Ambas configuraciones tienen aspectos positivos y negativos, respecto a efectos de puente térmico y respecto al sombreado del componente. Esta duplicidad del estudio permite caracterizar dichos efectos y seleccionar la ubicación óptima de las probetas en el desarrollo de los ensayos posteriores. A continuación se muestran los datos de ensayo que no se recogen en la Memoria debido a su extensión.

### B.1.1 Primer componente

En los siguientes apartados se recogen los resultados de la verificación de infiltraciones al inicio y fin de los dos ensayos del muro opaco y los datos de flujos de envolvente en la sala de ensayos y la temperatura de las diferentes capas de la probeta para el muro opaco.

#### B.1.1.1 Ensayo de infiltraciones

En la Tabla B.1 se indican los valores de renovación de aire que se dan en la sala de ensayos debido a infiltraciones para el componente opaco durante los dos periodos de ensayo que se le aplican. En la Figura B.1 y Figura B.2 se muestran los datos de la prueba.

	$m_a$ [ren/h]	
	INICIO	FIN
OPACO-1	0.090	0.134
OPACO-2	0.156	0.224

Tabla B.1 – Resultado de la prueba de infiltraciones para el inicio y fin de los dos ensayos realizados al muro opaco

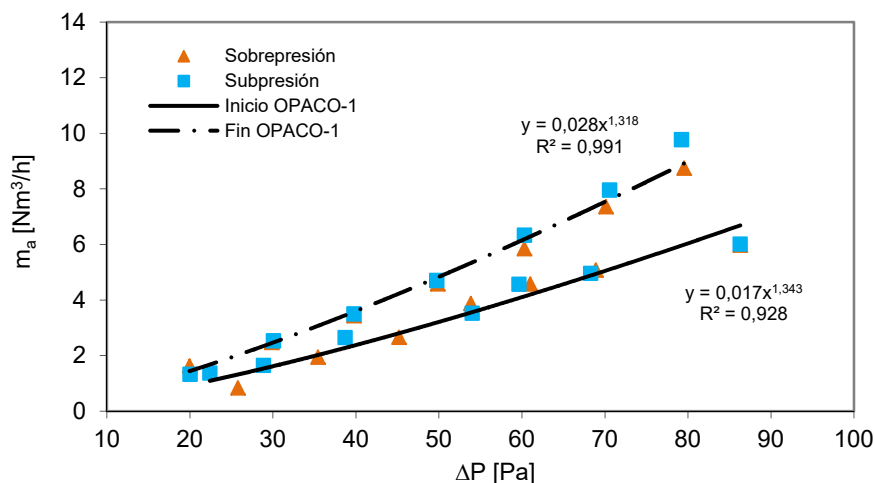


Figura B.1 – Medida de las infiltraciones para el primer ensayo del muro opaco

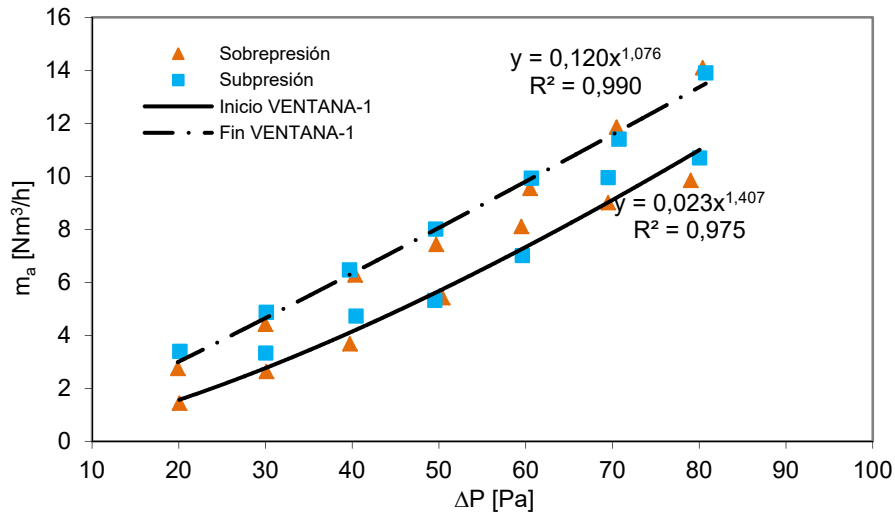


Figura B.2 – Medida de las infiltraciones para el segundo ensayo del muro opaco

Se realiza una prueba previa al inicio del ensayo, de forma que se aplican medidas de sellado hasta que se obtienen tasas aceptables de infiltraciones. Y una vez finalizado, antes de acceder a la sala de ensayos, se realiza de nuevo la prueba de infiltraciones. Repasando los resultados, se puede observar que la colocación de la probeta a ras del exterior en el portamuestras complica el sellado, ya que se obtienen valores más altos de infiltraciones, incluso en el inicio del ensayo.

### B.1.1.2 Flujos y temperaturas

A continuación se muestran las medidas de flujo de calor en la envolvente durante el primer ensayo del muro opaco. Verificar la correcta medida de los grupos de *tiles* es fundamental para obtener resultados fiables durante el proceso de identificación de parámetros.

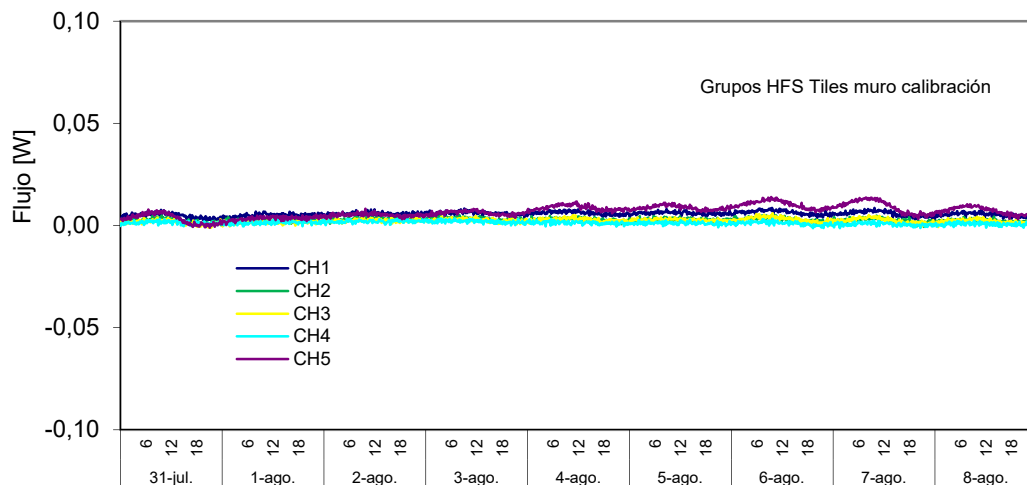


Figura B.3 –Ruido de medida del flujo registrado por las tiles durante el primer ensayo del muro opaco

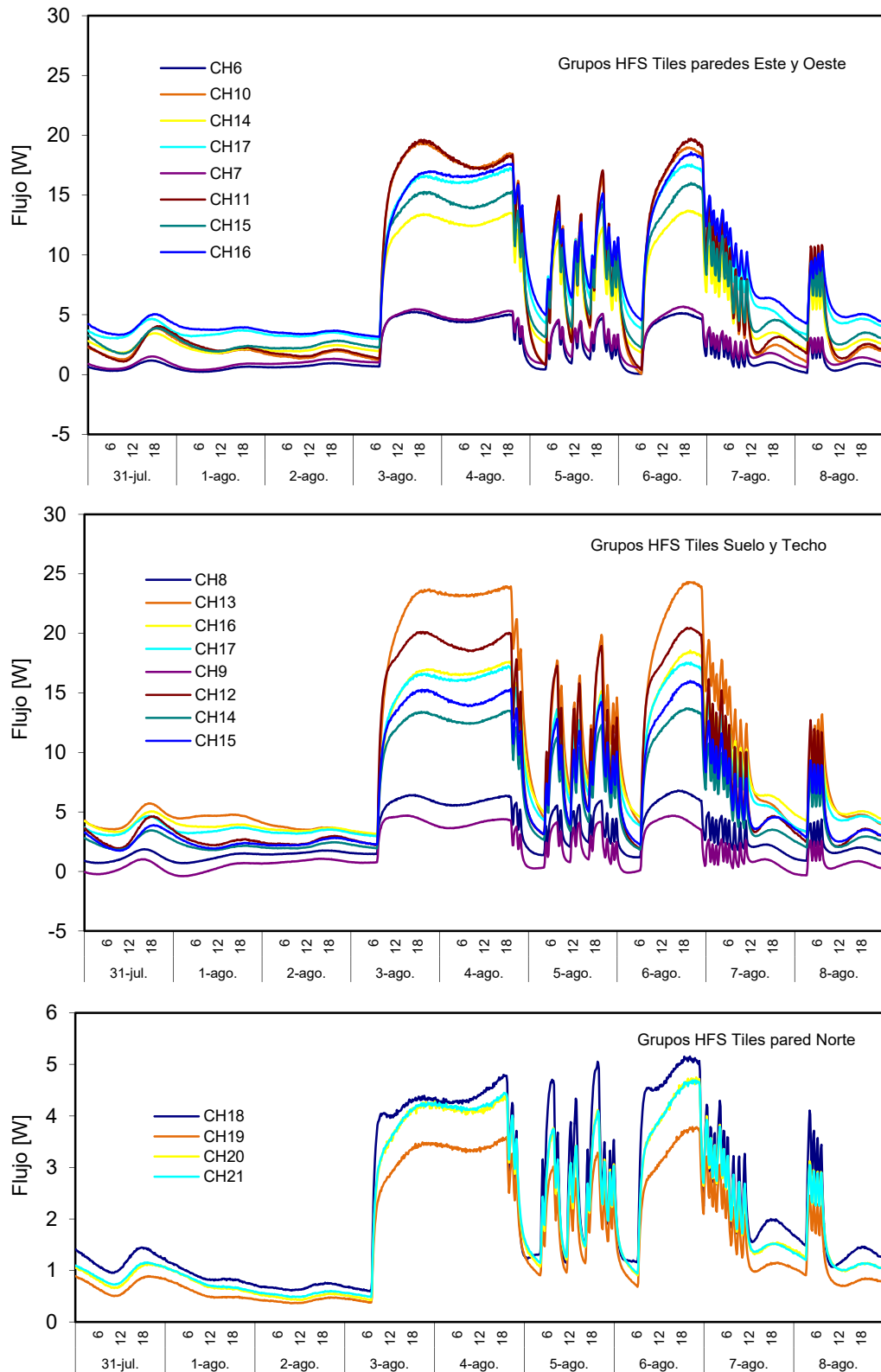


Figura B.4 – Flujos de calor registrados por cada grupo de HFS Tiles durante el primer ensayo del muro opaco

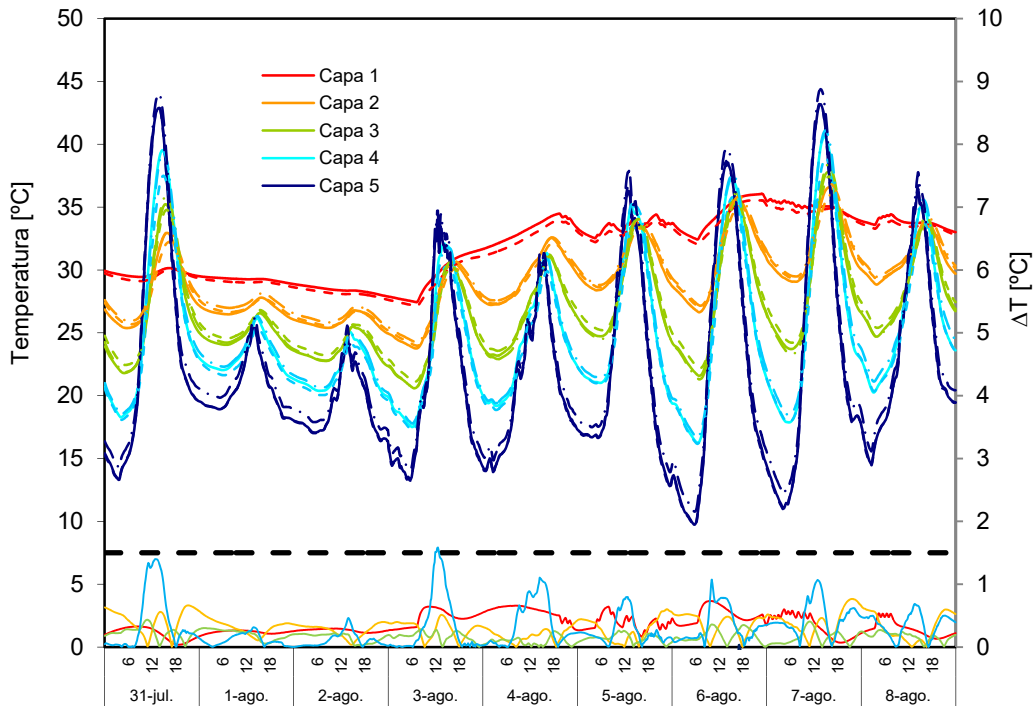


Figura B.5-Evolución de los perfiles de temperatura a lo largo del espesor del muro opaco, para la zona central, lateral y esquina inferior en el primer ensayo

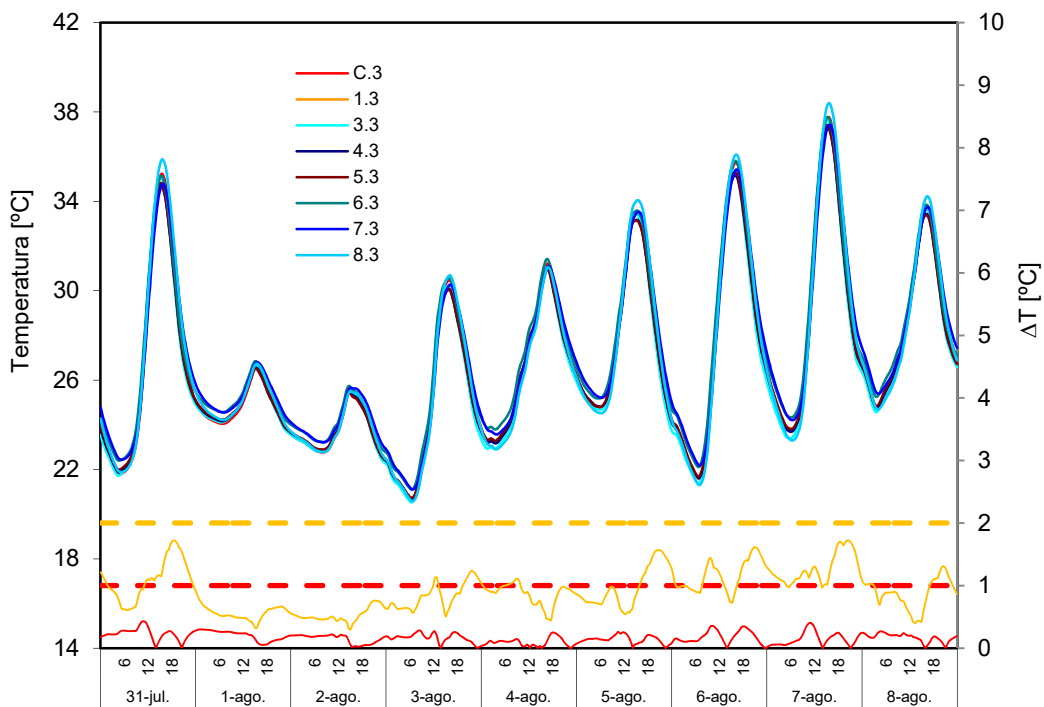


Figura B.6-Evolución de las temperaturas en el plano central del muro opaco para el primer ensayo

En la Figura B.3 se muestra el ruido de medida de las *tiles* junto la cadena de medida del sistema de adquisición. Esta señal de ruido se obtiene puentando los terminales de los grupos correspondientes al muro de calibración que están libres durante el desarrollo de los ensayos normales. Se puede ver que el ruido de medida es muy pequeño, dos

ordenes de magnitud inferior a la señal de flujo media medida. Por lo tanto, la precisión de medida del flujo es elevada. En la Figura B.4 se recogen las señales del total de grupos de *tiles* de la envolvente. Se puede ver que se cumple el chequeo que se indica en la página 155 de la memoria. A continuación se muestran las temperaturas correspondientes a la propia muestra de muro opaco. En la Figura B.5 se muestran los perfiles de temperatura para cada capa de la muestra y en cada uno de los ejes de medida de la muestra que se corresponden con el eje central, la zona de borde y la zona de esquina. En la Figura B.6 se muestran las temperaturas en la capa central de la probeta. En la Figura B.7 y en la Figura B.8 se muestran los flujos puntuales registrados mediante los fluxímetros instalados en el interior y en la superficie del muro opaco.

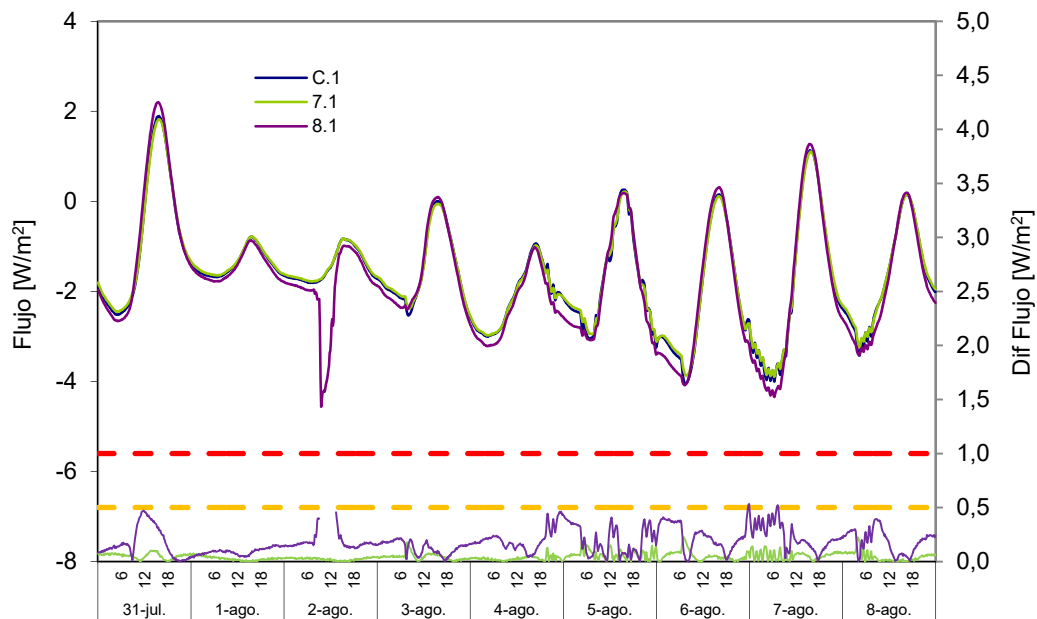


Figura B.7 –Señal de los fluxímetros integrados en la cara interior del muro opaco durante el primer ensayo

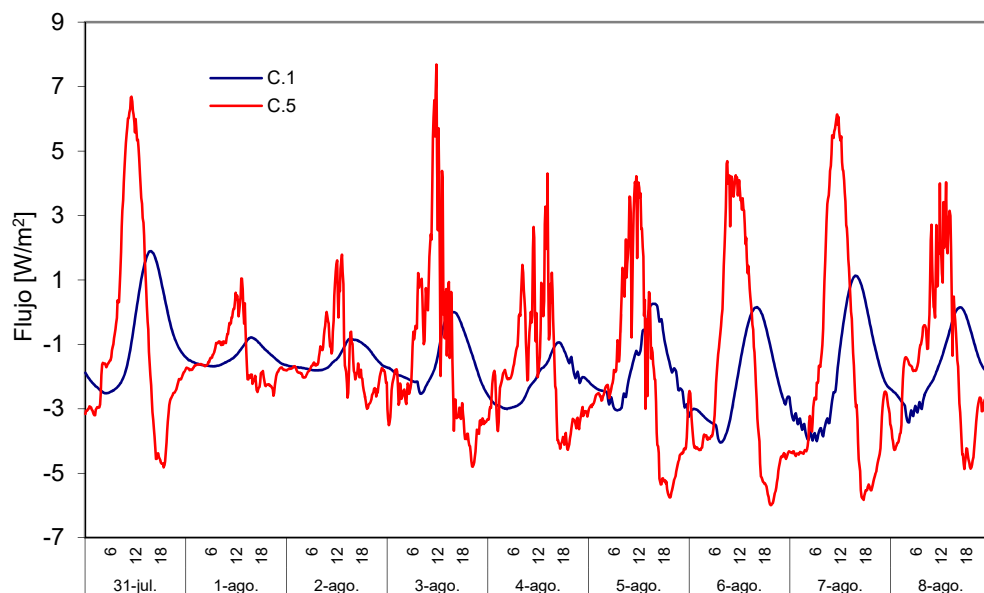


Figura B.8 –Flujos en la zona central del muro opaco en la cara interior y exterior durante el primer ensayo

## B.1.2 Segundo componente

En los siguientes apartados se recogen los resultados de la verificación de infiltraciones al inicio y fin de los dos ensayos del muro opaco y los datos de flujos de envolvente en la sala de ensayos y la temperatura de las diferentes capas de la probeta para el muro con la ventana de referencia.

### B.1.2.1 Ensayo de infiltraciones

En la Tabla B.2 se indican los valores de renovación de aire que se dan en la sala de ensayos debido a infiltraciones para el componente con la ventana durante los dos periodos de ensayo que se le aplican.

	$m_a$ [ren/h]	
	INICIO	FIN
VENTANA-1	0.139	0.145
VENTANA-2	0.136	0.171

Tabla B.2 – Resultado prueba de infiltraciones para el inicio y fin de los dos ensayos realizados al muro con la ventana

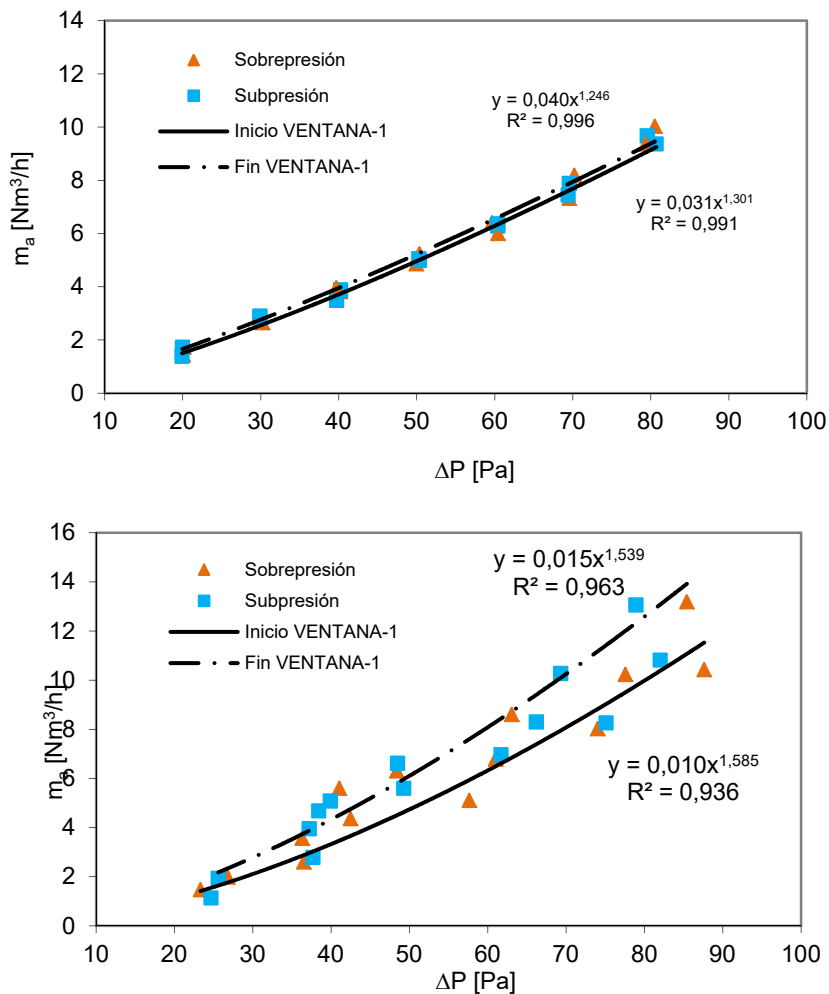


Figura B.9 – Medida de las infiltraciones para el muro con ventana

En la Figura B.9 se muestran los datos de la prueba, la gráfica superior corresponde al primer ensayo y la gráfica inferior al segundo. En el caso del segundo componente se puede ver que las infiltraciones son algo más altas que para el caso del muro opaco. Es de esperar ya que existen más juntas, pero aún así, los valores son reducidos y se mantienen entre el inicio y fin del periodo de estudio.

### B.1.2.2 Flujos y temperaturas

A continuación se muestran las medidas de flujo de calor en la envolvente durante el primer ensayo del muro con la ventana.

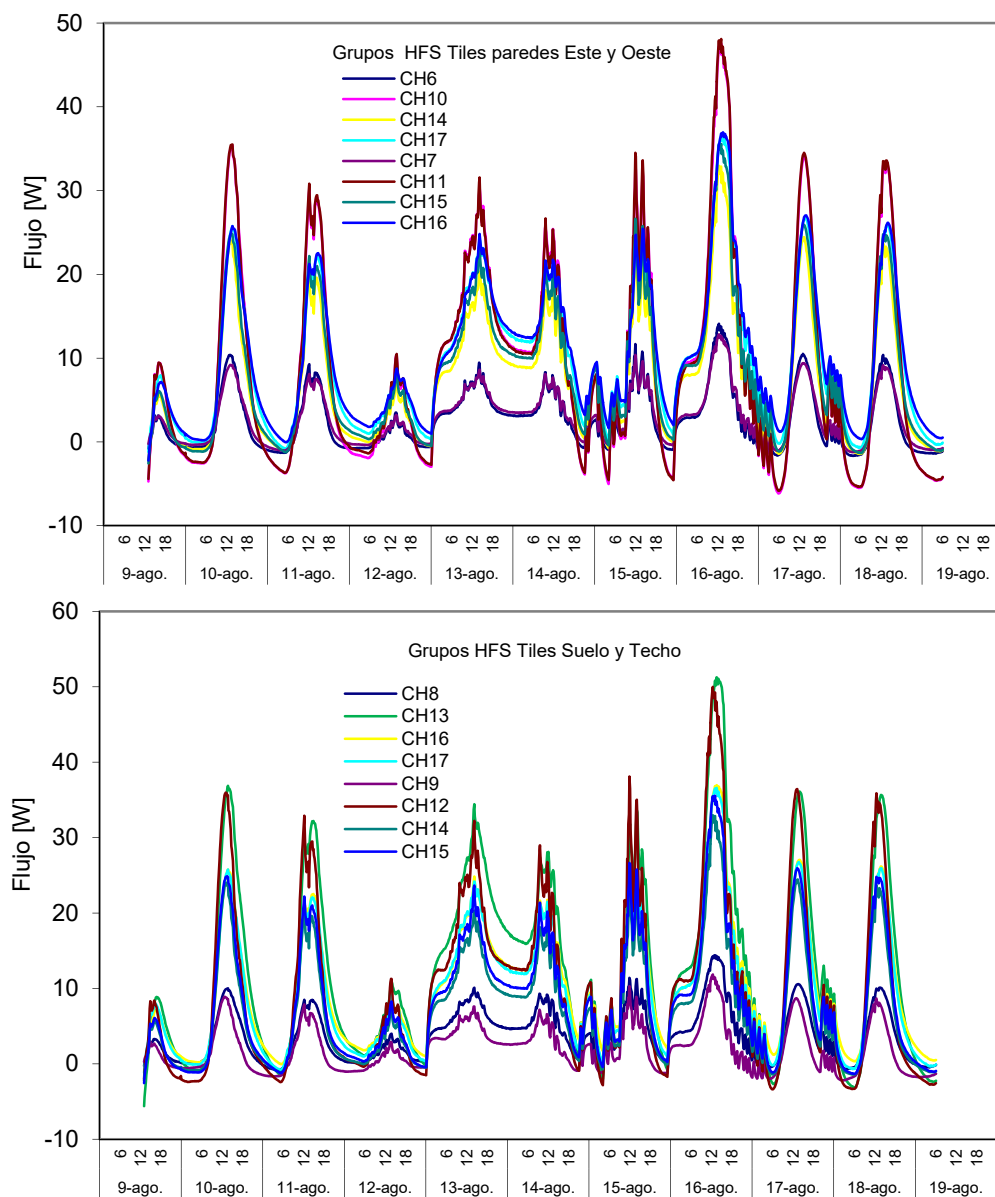


Figura B.10 – Flujos de calor registrados por cada grupo de HFS Tiles durante el primer ensayo del muro con ventana



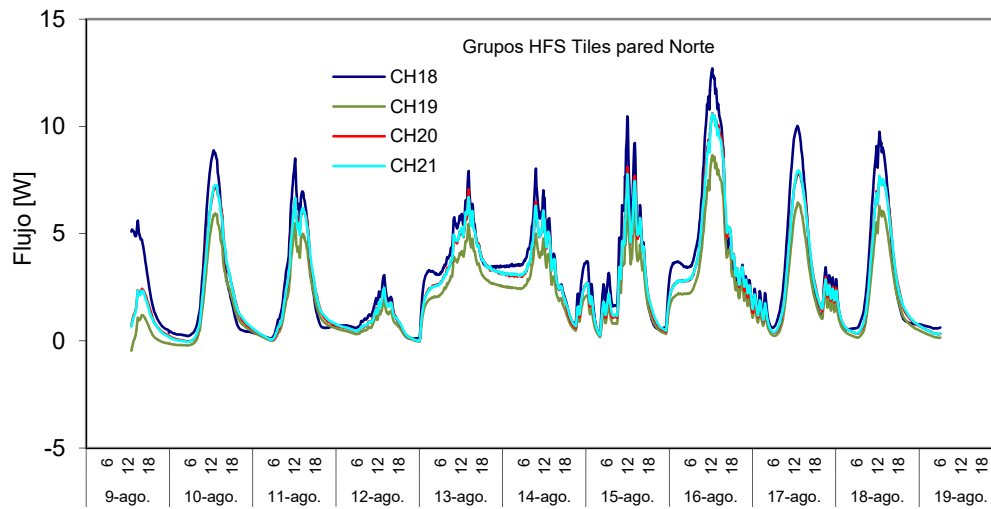


Figura B.11 – Flujos de calor registrados por cada grupo de HFS Tiles durante el primer ensayo del muro con ventana

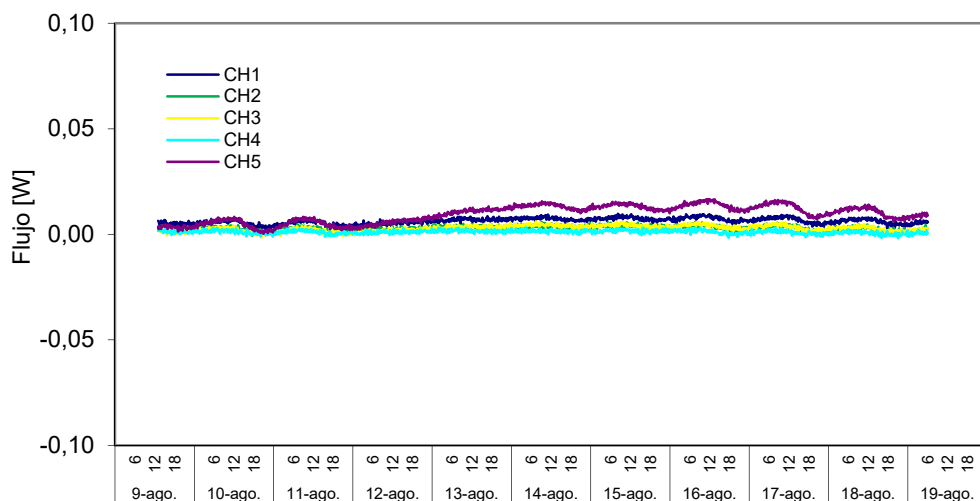


Figura B.12 –Ruido de medida del flujo registrado por las tiles durante el primer ensayo del muro con ventana

En la Figura B10 y en la Figura B.11 se puede ver que los flujos de la envolvente se ven afectados por la ganancia solar que atraviesa la ventana de la probeta, generando un aumento claro del flujo de calor saliente en la sala de ensayos que no está asociado a la rutina de calentamiento. Pero en todos los casos, se mantienen los criterios de comportamiento para grupos equivalentes, por lo que dicha ganancia solar no está afectando a la medida del flujo, gracias a la cortina de apantallamiento que se coloca tras la ventana. En la Figura B.12 se puede ver cómo el ruido de la señal de flujo sigue siendo muy pequeño, aunque sí se puede apreciar el efecto de la radiación solar.

A continuación se muestran las temperaturas correspondientes a la propia muestra de muro con ventana. En la Figura B.13 se recogen las temperatura media registrada por las sondas de aire de la sala de ensayos respecto a la registrada por la sonda de cuerpo negro. Se puede ver que la diferencia entre ambas es siempre inferior a 0,5 °C por lo que no existe un intercambio radiativo representativo dentro de la sala de ensayos, de forma que se puede considerar que la cortina situada tras la ventana del segundo

componente está realizando su función adecuadamente y la medida del flujo de la envolvente es correcta ya que las *tilas* no se ven afectadas por radiación directa. En este primer ensayo del segundo componente no se coloca sonda de temperatura en la cámara de aire entre la ventana y la cortina de protección. Pero analizando los datos, se ve que es interesante disponer de este dato para mejorar el modelo y verificar la eficiencia en la ganancia solar dentro de la sala de ensayos, por lo que se incluye en el conjunto de instrumentación propia de la muestra para el segundo ensayo.

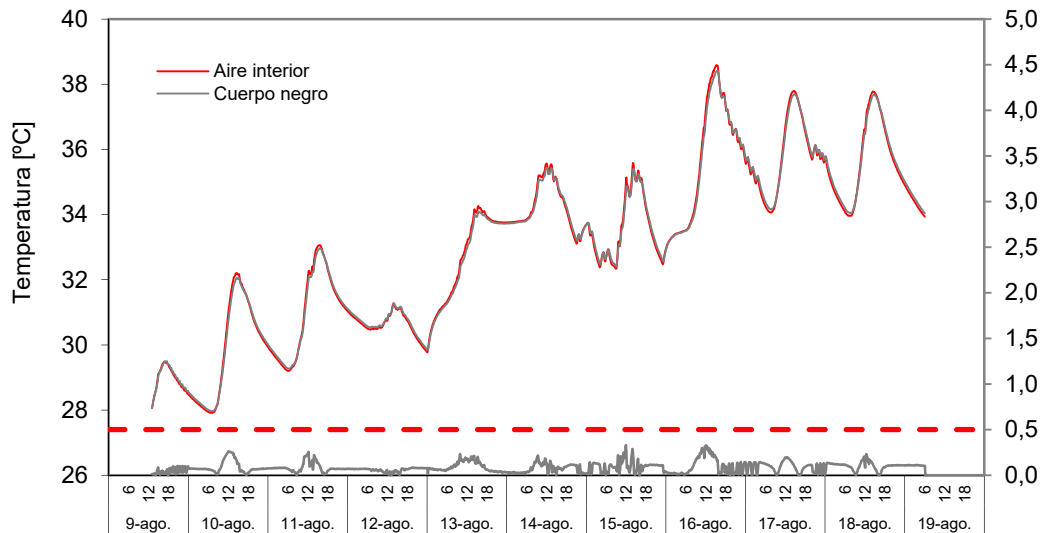


Figura B.13 –Ruido de medida del flujo registrado por las *tilas* durante el primer ensayo del muro con ventana

En la Figura B.14 se muestran las temperaturas registradas por las sondas de superficie instaladas en ambos vidrios de la ventana. En la Figura B.15 se determina la temperatura media del aire de la cámara y el salto de temperaturas entre vidrios, estos dos parámetros determinan el movimiento de convección dentro de dicha cámara y participan de forma determinante en el valor real de transmitancia del componente de ventana, cómo se puede ver en el apartado correspondiente de la memoria.

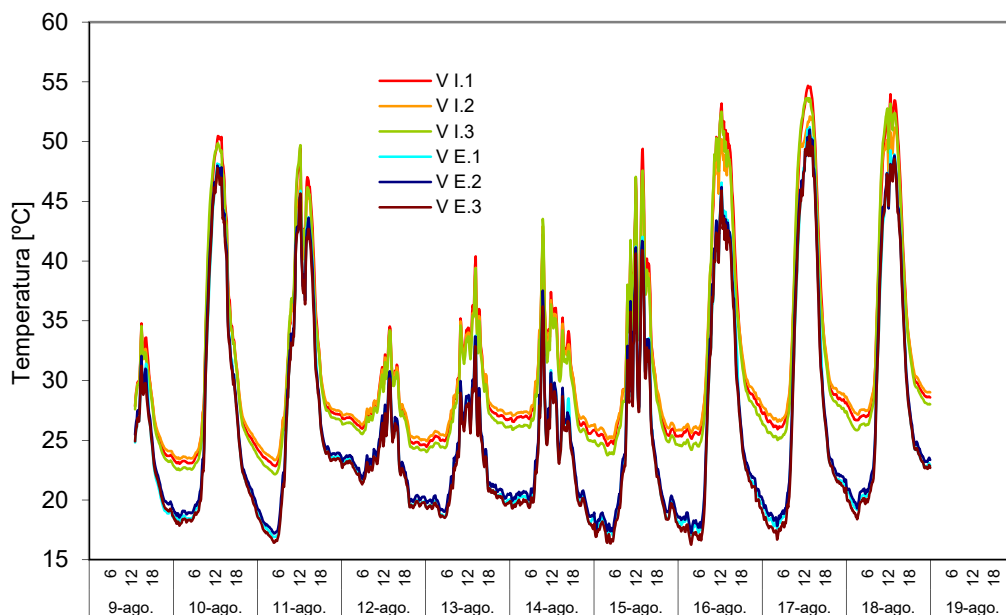


Figura B.14 –Temperaturas en los vidrios de la ventana durante el primer periodo de ensayo

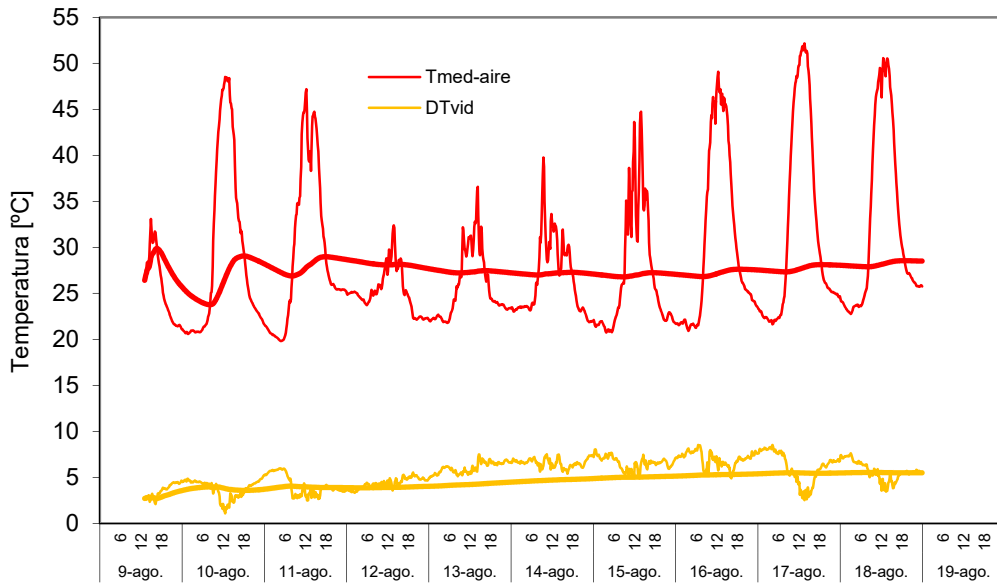


Figura B.15 –Temperaturas media aire cámara y salto de temperatura entre vidrios durante el primer ensayo

En la Figura B.16 se pueden ver los perfiles de temperatura en el anillo perimetral de la muestra para el punto central del lado inferior y para la zona de esquina. Se puede observar como las mayores diferencias entre los dos ejes se producen en las superficies más exteriores. Durante este ensayo la sonda de temperaturas de la zona de esquina en la primera capa dio error de lectura, problema que se repara durante el segundo ensayo.

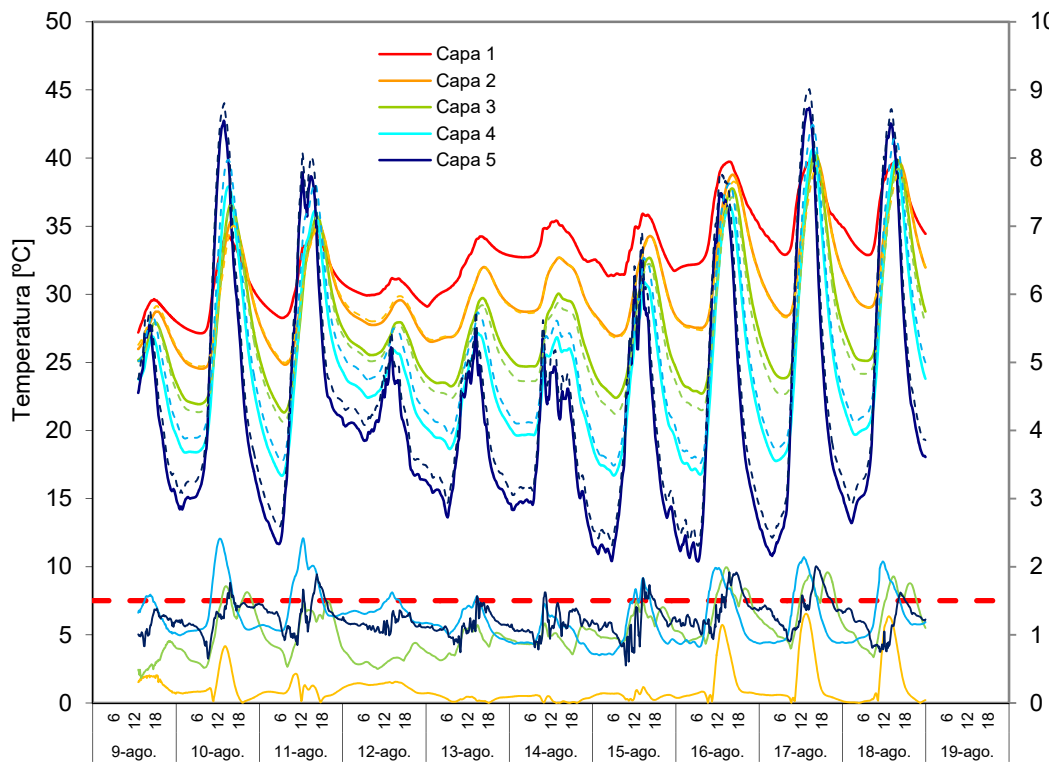


Figura B.16 –Perfiles de temperatura en el anillo perimetral para la zona central y la zona de esquina

Otra forma de cuatificar los efectos de borde es analizar la homogeneidad de temperaturas en la capa central, en la que se dispone de todo el mapa de sondas. Se puede observar que las diferencias medias son inferiores a 1,5°C y este valor no se supera salvo en periodos puntuales y con un margen reducido.

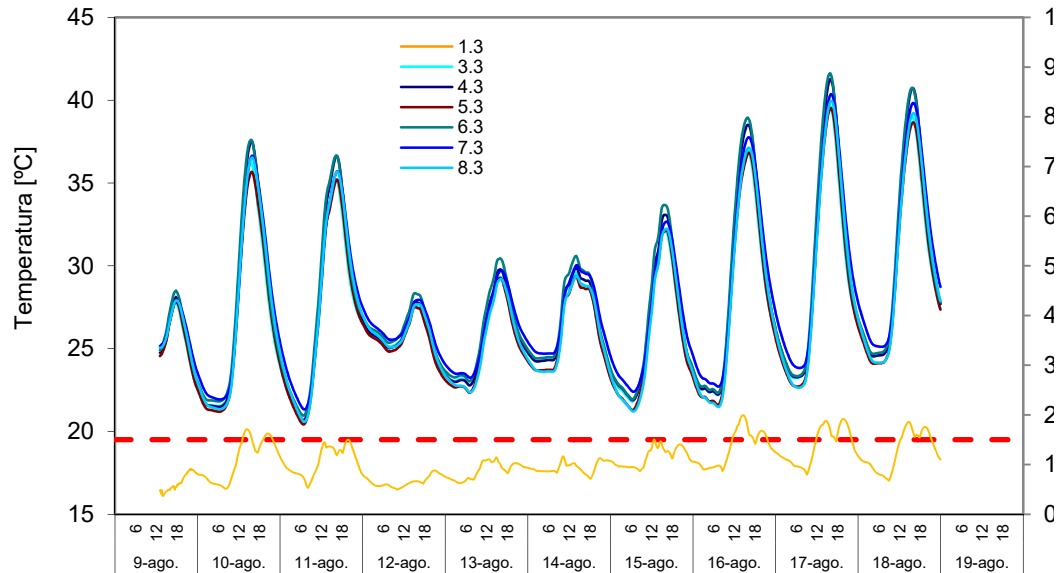


Figura B.17 –Campo temperaturas en la capa central del anillo perimetral de la segunda muestra del IQ-Test

## B.2 Modelos matemáticos

Una vez validados los datos experimentales se pasa a trabajar en los modelos de indentificación de parámetros, a continuación se muestran los resultados completos del conjunto de modelos que se han empleado para el análisis de las propiedades térmicas de los dos componentes del ensayo IQ-Test.

### B.2.2 Modelos del primer componente

En el proceso de trabajo del ensayo IQ-Test, primero se determinan las propiedades en la zona central del muro opaco y posteriormente se determinan los valores globales de toda la probeta. De forma que se puede restar la conductancia de la zona central al valor completo y calcular la conductancia del anillo perimetral que sirve como base para el estudio del segundo componente.

#### B.2.2.1 Modelo unidimensional

Para el análisis de la zona central con condiciones de flujo unidimensional se emplea un modelo de segundo orden como el que se muestra en la Figura B.18. Las ecuaciones que lo definen son idénticas a las ya espuestas en [A.17] y [A.18] para los modelos

unidimensionales del muro de calibración. En este caso se emplea un modelo de segundo orden ya que si el muro de calibración, que presenta el doble de espesor que el muro opaco del primer componente del IQ-Test, se representa por un modelo de tercer orden, se considera que con un orden inferior se obtienen resultados fiables, reduciendo el número de parámetros en la identificación.

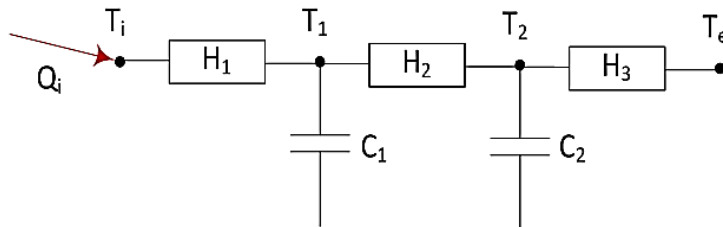


Figura B.18– Modelo segundo orden para la determinación transmitancia del perfil central,  $U_A$ , del muro opaco

A continuación se muestran los resultados del proceso de identificación para cada una de los dos periodos de ensayo realizados.

### 1º ensayo

variable	valor min.	valor inicial	valor max.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$H_1$	0.1	1	1000	3.28E-01	2.18E-02	93.861	0	0
$H_2$	0.1	1	1000	3.38E-01	7.95E-03	11.154	0	-0.0112
$C_1$	0.5	5	50	4.03E+00	1.55E+00	72.277	0.005	0.0002
$C_2$	0.5	5	50	9.15E+00	1.51E-01	86.984	0	0
$H_3$	0.1	1	1000	6.18E+01	1.71E+00	53.698	0.0033	0

Tabla B.3 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para el primer ensayo en la zona centra muro opaco

	$H_1$	$H_2$	$C_1$	$C_2$	$H_3$
$H_1$	1				
$H_2$	0.432	1			
$C_1$	0.091	0.343	1		
$C_2$	0.196	0.333	0.326	1	
$H_3$	0.161	0.058	0.401	0.094	1

Tabla B.4 – Coeficientes correlación para el primer ensayo en la zona centra muro opaco

variable	$u_{medida}$	unidades	dU [W/m <sup>2</sup> K]	dC [MJ/m <sup>2</sup> K]
$T_i$	0.2	K	0.001	0.120
$T_e$	0.5	K	0.002	0.200
$Q_i$	0.4	W/m <sup>2</sup>	0.004	0.480

Tabla B.5 – Efecto del error de las variables de medida en el resultado del modelo de identificación

## 2º ensayo

variable	valor min.	valor inicial	valor max.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	0.1	1	1000	2.89E-01	3.84E-03	0.902	0.185	0.880
H <sub>2</sub>	0.1	1	1000	4.39E-01	8.34E-03	0.046	0.387	0.963
C <sub>1</sub>	0.5	5	50	9.47E+00	3.03E-01	0.024	0.368	0.745
C <sub>2</sub>	0.5	5	50	4.01E+00	8.06E-01	0.788	0.636	0.332
H <sub>3</sub>	0.1	1	1000	2.63E+00	2.22E-02	0.903	0.499	0.559

Tabla B.6 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para el segundo ensayo zona centra muro opaco

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>
H <sub>1</sub>	1				
H <sub>2</sub>	0.054	1			
C <sub>1</sub>	0.243	0.090	1		
C <sub>2</sub>	0.128	0.421	0.203	1	
H <sub>3</sub>	0.206	0.413	0.153	0.319	1

Tabla B.7 – Coeficientes correlación para el segundo ensayo en la zona centra muro opaco

variable	u <sub>medida</sub>	unidades	dU [W/m <sup>2</sup> K]	dC [MJ/m <sup>2</sup> K]
T <sub>i</sub>	0.2	K	0.0012	0.113
T <sub>e</sub>	0.5	K	0.0012	0.189
Q <sub>i</sub>	0.4	W/m <sup>2</sup>	0.0036	0.454

Tabla B.8 – Efecto del error de las variables de medida en el resultado del modelo de identificación

En la Tabla B.9 se recogen los valores finales de resistencia y capacidad térmica que se obtienen de los resultados de los modelos de identificación de parámetros. Hay que recordar que en el modelo de identificación de obtienen conductancias y los valores de capacidad térmica están en unidades de C<sub>i</sub> [W<sub>10min</sub>]. Estas son unidades raras de capacidad, pero se obtienen así debido a que el flujo está en [W] y el intervalo de tiempo para el cálculo es de 10 [min].

	R <sub>A</sub> [m <sup>2</sup> K/W]	C <sub>A</sub> [KJ/m <sup>2</sup> K]	Residuo [W]
1º ensayo	6,027	7,908	0,17
2º ensayo	6,117	8,090	0,15

Tabla B.9 – Resultados del modelo para el perfil central

Con estos datos y aplicando la propagación de errores se obtienen los resultados finales para la transmitancia del perfil central indicados en la Tabla B.10. Estos resultados son lo que se emplean para el primer estudio del ensayo de interlaboratorios.

	$U_A$ [W/m <sup>2</sup> K]	$e_{UA}$ [%]
1º ensayo	0,166	5,3
2º ensayo	0,164	2,9

Tabla B.10 – Resultados finales transmitancia unidimensional  $U_A$  para el perfil central del muro opaco

### B.2.2.2 Modelo completo

Una vez determinada la transmitancia del eje central, el siguiente dato del interlaboratorios es el cálculo de la transmitancia completa del componente opaco empleando un modelo a escala de celda. El modelo empleado se muestra en la Figura B.19. Las ecuaciones del mismo se indican en [B.1] y [B.2].

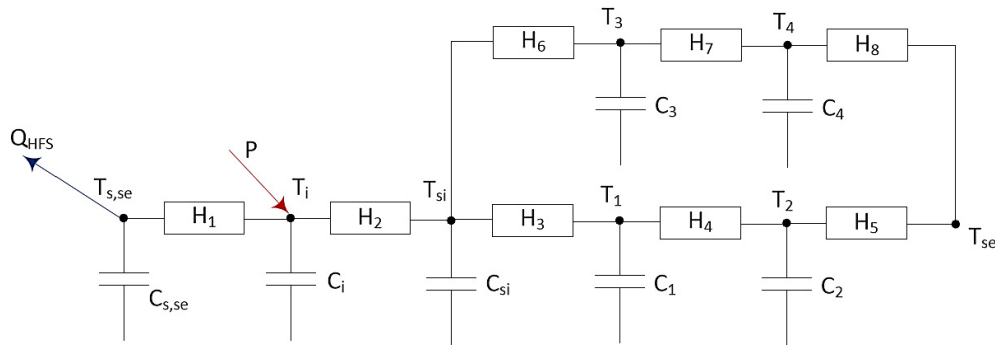


Figura B.19 – Modelo del muro opaco completo con dos ramas para representar el efecto de borde

$$\begin{bmatrix} dT_{s,se} \\ dT_i \\ dT_{si} \\ dT_1 \\ dT_2 \\ dT_3 \\ dT_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-H_1}{C_{s,se}} & \frac{H_1}{C_{s,se}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{H_1}{C_i} & \frac{-(H_1 + H_2)}{C_i} & \frac{H_2}{C_i} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_2}{C_{si}} & \frac{-(H_2 + H_3 + H_6)}{C_{si}} & \frac{H_3}{C_{si}} & 0 & \frac{H_6}{C_{si}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_3}{C_1} & \frac{-(H_3 + H_4)}{C_1} & \frac{H_4}{C_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{H_4}{C_2} & \frac{-(H_4 + H_5)}{C_2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_6}{C_3} & 0 & 0 & \frac{-(H_6 + H_7)}{C_3} & \frac{H_7}{C_3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{H_7}{C_4} & \frac{-(H_7 + H_8)}{C_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{s,se} \\ T_i \\ T_{si} \\ T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} -1 \\ C_{s,se} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{C_i} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_8}{C_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ Q_{HFS,e} \\ T_{se} \end{bmatrix} dt + [\sigma] dt \quad [B.1]$$



$$\begin{bmatrix} T_{s,se}^m \\ T_i^m \\ T_{si}^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{s,se} \\ T_i \\ T_{si} \\ T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix} + [0] \begin{bmatrix} P \\ Q_{HFS,e} \\ T_{se} \end{bmatrix} + [e] \quad [B.2]$$

En este caso particular se podrían emplear las temperaturas interiores registradas en el componente de muro opaco como funciones de entrada al modelo, de forma que se mejoraría en gran medida la precisión de los resultados. Sin embargo, es complejo que se pueda disponer de esta información en otros ensayos, por lo tanto, se debe determinar las propiedades del componente a través de los datos propios de la celda. A continuación se muestran los resultados del proceso de identificación de parámetros.

### 1º ensayo

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
<b>H<sub>1</sub></b>	100	300	1000	3.56E+02	4.02E+00	85.7383	0.00016	0.00024
<b>C<sub>s,se</sub></b>	500	1000	1500	9.02E+02	2.81E+01	36.2098	0.00012	0.00042
<b>C<sub>i</sub></b>	1	50	200	3.75E+01	2.64E+00	24.7917	0.00037	-0.00035
<b>H<sub>2</sub></b>	10	50	200	6.87E+01	2.31E+00	23.3196	-0.00046	0.00041
<b>C<sub>si</sub></b>	1	50	100	4.83E+01	2.67E+01	73.9725	-0.00028	-0.00026
<b>H<sub>3</sub></b>	0.6	1	1000	1.07E+00	2.26E-04	47.3765	-0.00032	0
<b>H<sub>6</sub></b>	0.6	1	1000	2.27E+00	1.35E-01	50.1433	-0.00034	0.00031
<b>C<sub>1</sub></b>	1	250	500	3.80E+01	1.54E+01	96.0384	-0.00015	0
<b>H<sub>4</sub></b>	0.6	1	1000	1.46E+00	4.40E-02	11.8472	-0.00049	-0.00028
<b>C<sub>2</sub></b>	1	250	500	4.02E+01	9.26E+00	31.1362	0.00026	0.00050
<b>H<sub>5</sub></b>	0.6	1	1000	2.20E+01	4.52E-02	98.9031	0	0.00022
<b>C<sub>3</sub></b>	1	250	500	7.42E+01	3.98E+00	2.1728	-0.00029	0.00028
<b>H<sub>7</sub></b>	0.6	1	1000	2.96E+00	8.29E-03	85.7467	-0.00036	-0.00024
<b>C<sub>4</sub></b>	1	250	500	1.28E+02	2.67E+01	84.4039	0	0.00042
<b>H<sub>8</sub></b>	0.6	1	1000	3.01E+01	1.26E-01	80.3147	0.00013	0

Tabla B.11 – Resultados identificación parámetros para 1º ensayo en el modelo completo de muro opaco

	H <sub>1</sub>	C <sub>s,se</sub>	C <sub>i</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>si</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>7</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>8</sub>
<b>H<sub>1</sub></b>	1														
<b>C<sub>s,se</sub></b>	0.6	1													
<b>C<sub>i</sub></b>	0.6	0.1	1												
<b>H<sub>2</sub></b>	0.2	0.4	0.1	1											
<b>C<sub>si</sub></b>	0.4	0.2	0.2	0.1	1										
<b>H<sub>3</sub></b>	0.6	0.4	0.4	0.6	0.2	1									
<b>H<sub>6</sub></b>	0.6	0.3	0.0	0.5	0.6	0.6	1								
<b>C<sub>1</sub></b>	0.6	0.6	0.3	0.5	0.4	0.1	0.5	1							
<b>H<sub>4</sub></b>	0.4	0.2	0.2	0.2	0.1	0.5	0.3	0.1	1						
<b>C<sub>2</sub></b>	0.5	0.1	0.1	0.4	0.3	0.0	0.1	0.5	0.4	1					
<b>H<sub>5</sub></b>	0.2	0.1	0.4	0.4	0.2	0.0	0.6	0.0	0.3	0.1	1				
<b>C<sub>3</sub></b>	0.2	0.1	0.2	0.4	0.0	0.1	0.5	0.5	0.4	0.1	0.5	1			
<b>H<sub>7</sub></b>	0.5	0.5	0.5	0.1	0.5	0.1	0.1	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	1		
<b>C<sub>4</sub></b>	0.2	0.1	0.6	0.1	0.4	0.5	0.2	0.1	0.5	0.1	0.3	0.1	0.3	1	
<b>H<sub>8</sub></b>	0.4	0.0	0.4	0.4	0.2	0.5	0.0	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.2	1

Tabla B.12 – Coeficientes de correlación parámetros modelo completo muro opaco para 1º ensayo

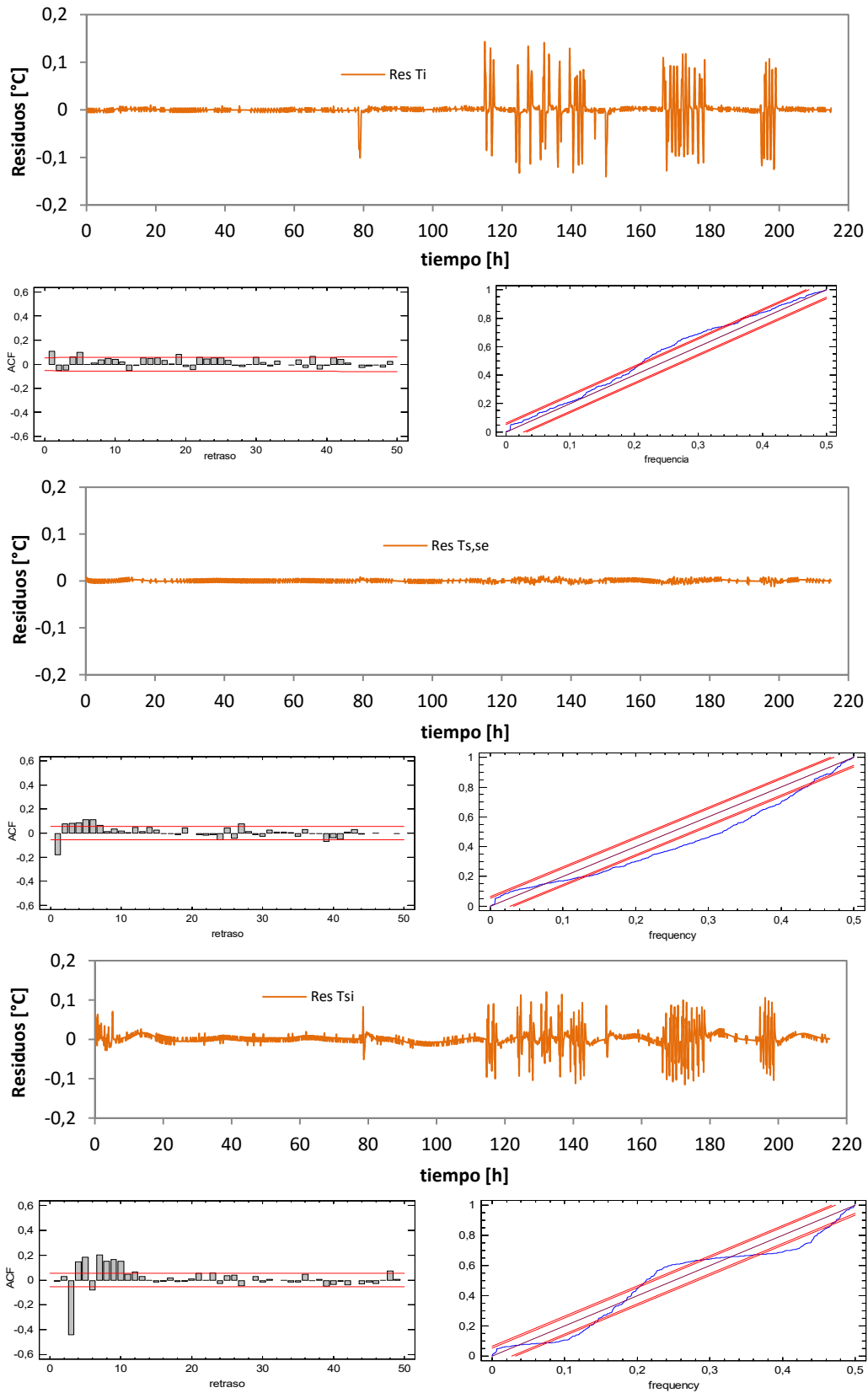


Figura B.20 – Ajuste del modelo para el primer ensayo del muro opaco

## 2º ensayo

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	100	300	1000	3.47E+02	7.93E+00	16.8653	0.00077	0.00042
C <sub>s,se</sub>	500	1000	1500	9.24E+02	1.39E+01	11.6812	0.00067	0.00059
C <sub>i</sub>	1	50	200	4.88E+01	2.57E+00	37.5728	0.00073	0.00070
H <sub>2</sub>	10	50	200	6.47E+01	3.49E-01	75.2596	0.00079	0.00087
C <sub>si</sub>	1	50	100	1.03E+02	9.40E+00	24.2198	0.00095	0.00041
H <sub>3</sub>	0.6	1	1000	1.74E+00	6.64E-02	8.6567	0.00020	0
H <sub>6</sub>	0.6	1	1000	2.86E+00	2.69E-03	77.0433	0.00041	0.00029
C <sub>1</sub>	1	250	500	3.11E+01	2.82E+00	94.8852	0.00052	0
H <sub>4</sub>	0.6	1	1000	1.37E+00	9.31E-03	75.9915	0.00018	0.00044
C <sub>2</sub>	1	250	500	5.25E+01	7.96E+00	28.7426	0.00098	0.00085
H <sub>5</sub>	0.6	1	1000	2.16E+02	2.53E+01	19.9403	0	0.00017
C <sub>3</sub>	1	250	500	5.65E+01	4.24E+00	5.3987	0.00068	0.00096
H <sub>7</sub>	0.6	1	1000	1.97E+00	6.51E-02	3.7502	0.00019	0.00045
C <sub>4</sub>	1	250	500	6.27E+01	5.29E+00	37.0835	0	0.00024
H <sub>8</sub>	0.6	1	1000	2.61E+00	2.25E-01	1.9595	0.00004	0

Tabla B.13 – Resultados identificación parámetros para 2º ensayo en el modelo completo de muro opaco

	H <sub>1</sub>	C <sub>s,se</sub>	C <sub>i</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>si</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>7</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>8</sub>
H <sub>1</sub>	1														
C <sub>s,se</sub>	0.6	1													
C <sub>i</sub>	0.3	0.2	1												
H <sub>2</sub>	0.4	0.1	0.5	1											
C <sub>si</sub>	0.2	0.4	0.6	0.3	1										
H <sub>3</sub>	0.3	0.5	0.1	0.3	0.0	1									
H <sub>6</sub>	0.2	0.3	0.1	0.3	0.1	0.5	1								
C <sub>1</sub>	0.6	0.3	0.4	0.5	0.2	0.1	0.2	1							
H <sub>4</sub>	0.2	0.5	0.3	0.2	0.0	0.1	0.5	0.4	1						
C <sub>2</sub>	0.5	0.4	0.6	0.1	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	1					
H <sub>5</sub>	0.1	0.2	0.0	0.3	0.6	0.6	0.1	0.2	0.6	0.3	1				
C <sub>3</sub>	0.4	0.3	0.1	0.0	0.5	0.3	0.5	0.2	0.6	0.4	0.2	1			
H <sub>7</sub>	0.4	0.3	0.4	0.0	0.3	0.1	0.3	0.4	0.5	0.1	0.2	0.4	1		
C <sub>4</sub>	0.4	0.4	0.6	0.6	0.3	0.1	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.1	0.4	1	
H <sub>8</sub>	0.6	0.6	0.1	0.3	0.5	0.6	0.3	0.2	0.4	0.1	0.5	0.5	0.0	0.4	1

Tabla B.14 – Coeficientes de correlación parámetros modelo completo muro opaco para 2º ensayo

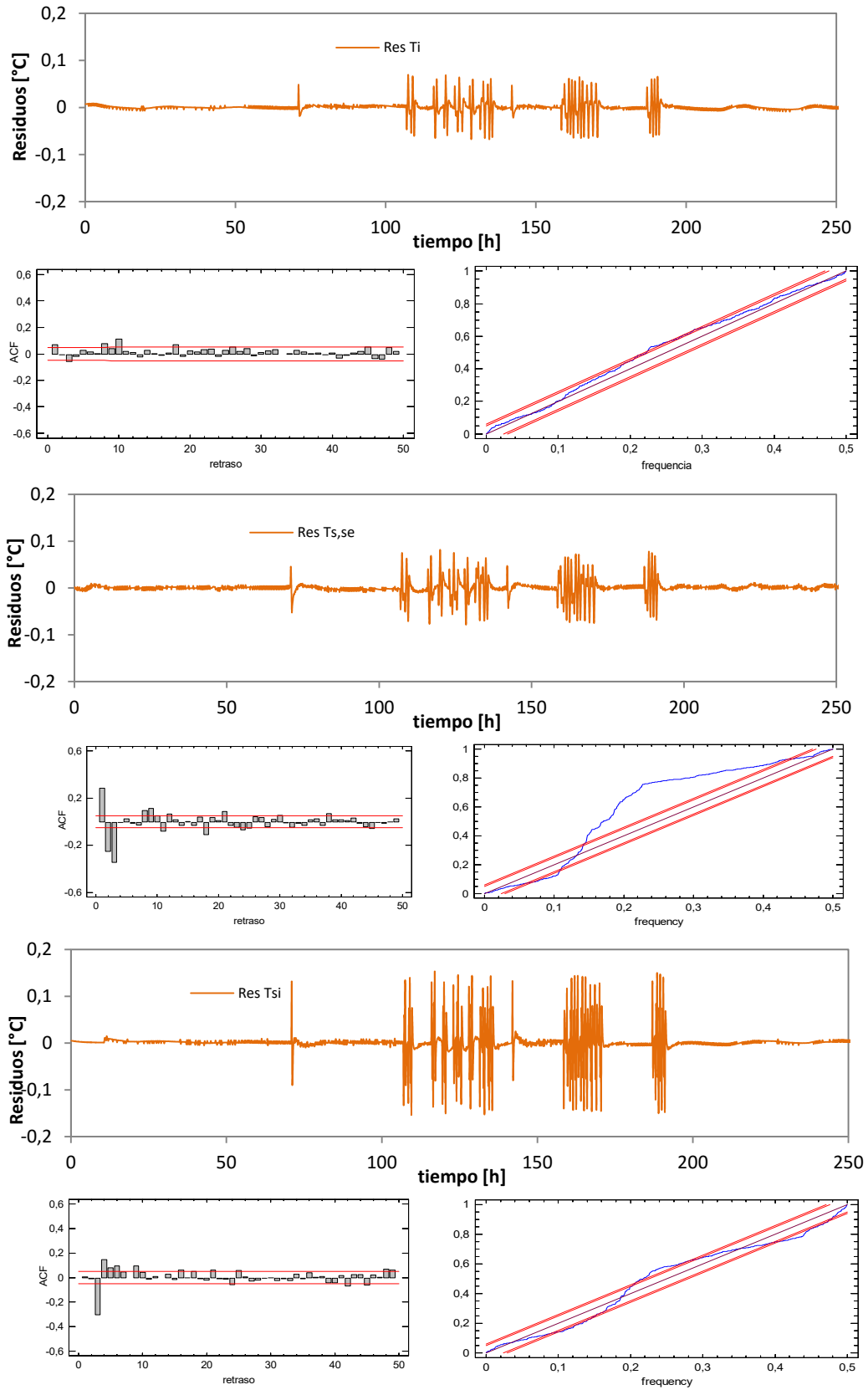


Figura B.21 – Ajuste del modelo para el segundo ensayo del muro opaco

En base a los resultados obtenidos en los dos modelos de identificación de parámetros se obtienen los valores de propiedades térmicas recogidos en la Tabla B.15.

		RAMA 1	RAMA 2
1º ENSAYO	<b>U</b> [W/K]	0,599	1,231
	<b>C</b> [MJ/K]	0,061	0,136
2º ENSAYO	<b>U</b> [W/K]	0,763	0,806
	<b>C</b> [MJ/K]	0,081	0,102

Tabla B.15 – Valores de conductancias y capacidades térmicas de cada rama del modelo de celda completo para el muro opaco

Con estos datos y aplicando la propagación de incertidumbres, Tabla B.16 y Tabla B.17, del ensayo se obtienen los resultados finales indicados en la Tabla B.18 que corresponden a los valores que se emplean para el estudio de interlaboratorios correspondientes al valor de transmitancia total obtenido de la celda para el muro opaco completo.

variable	$u_{medida}$	unidades	dU [W/m <sup>2</sup> K]	dC [MJ/m <sup>2</sup> K]
<b>Q<sub>HFS</sub></b>	1	W	0.008	0.005
<b>p<sub>e</sub></b>	0.3	W	0.002	0.001
<b>T<sub>se</sub></b>	0.5	K	0.018	0.011

Tabla B.16 – Efecto del error de las variables de medida en el resultado del modelo de identificación para el primer ensayo

variable	$u_{medida}$	unidades	dU [W/m <sup>2</sup> K]	dC [MJ/m <sup>2</sup> K]
<b>Q<sub>HFS</sub></b>	1.7	W	0.010	0.008
<b>p<sub>e</sub></b>	0.4	W	0.010	0.001
<b>T<sub>se</sub></b>	0.5	K	0.025	0.015

Tabla B.17 – Efecto del error de las variables de medida en el resultado del modelo de identificación para el segundo ensayo

	<b>U</b> [W/K]	<b>C</b> [MJ/K]	$e_U$ [%]	$e_C$ [%]
<b>1º ensayo</b>	1,830	0,197	2,8	25,8
<b>2º ensayo</b>	1,569	0,183	3,5	13,4

Tabla B.18 – Resultados del valor de transmitancia **U** y capacidad térmica **C** para el muro opaco completo

En cuanto a la muestra de muro opaco, queda por valorar si la ubicación de la probeta en el portamuestras representa una diferencia efectiva en la interacción con la radiación solar incidente debido a sombras. Para ello se amplía el modelo de celda completo a las funciones de excitación correspondientes a las condiciones exteriores registradas por la sonda de temperatura ventilada y por el solarímetro vertical situado sobre la muestra, ver Figura B.22. Las ecuaciones del modelo se muestran en [B.3] y [B.4].



## 1º ensayo

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	100	300	1000	4.56E+02	1.04E+00	57.0485	0	0.00179
C <sub>s,se</sub>	500	1000	1500	8.19E+02	5.05E+00	66.0263	0.00468	0.00190
C <sub>i</sub>	1	50	200	5.59E+01	4.05E+00	77.0987	0	0
H <sub>2</sub>	10	50	200	5.75E+01	9.02E-01	4.8147	-0.00210	0.00173
C <sub>si</sub>	1	50	100	8.54E+01	5.03E+00	88.2668	-0.00220	0.00275
H <sub>3</sub>	0.6	1	1000	7.73E-01	5.75E-02	23.9228	-0.00424	0
H <sub>6</sub>	0.6	1	1000	2.41E+00	1.55E-01	48.5600	-0.00048	-0.00323
C <sub>1</sub>	1	250	500	3.09E+01	5.51E+00	86.5588	0	-0.00077
H <sub>4</sub>	0.6	1	1000	1.55E+01	1.21E+00	2.0669	0.00455	-0.00059
C <sub>2</sub>	1	250	500	6.21E+01	9.07E+00	10.1520	0	0
H <sub>5</sub>	0.6	1	1000	1.82E+02	5.77E-01	24.7198	0.00467	-0.00343
C <sub>3</sub>	1	250	500	6.57E+01	2.81E+00	28.6418	-0.00198	-0.00445
H <sub>7</sub>	0.6	1	1000	3.12E+00	1.68E-01	58.5331	-0.00443	0.00386
C <sub>4</sub>	1	250	500	9.50E+01	1.84E+01	46.4829	0.00134	0
H <sub>8</sub>	0.6	1	1000	5.55E+00	1.22E+00	97.8623	0.00187	-0.00188
H <sub>e</sub>	10	150	500	1.26E+02	6.18E+00	94.9916	-0.00330	0
A <sub>1</sub>	0.1	3	7	1.95E+00	4.42E-01	37.8222	0.00166	0.00301

Tabla B.19 – Resultados identificación parámetros para 1º ensayo en el modelo completo de muro opaco con las variables de ambiente exterior

	H <sub>1</sub>	C <sub>s,se</sub>	C <sub>i</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>si</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>7</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>8</sub>	H <sub>e</sub>	A <sub>1</sub>
H <sub>1</sub>	1																
C <sub>s,se</sub>	0.1	1															
C <sub>i</sub>	0.4	0.3	1														
H <sub>2</sub>	0.7	0.5	0.7	1													
C <sub>si</sub>	0.8	0.7	0.8	0.2	1												
H <sub>3</sub>	0.1	0.3	0.2	0.5	0.0	1											
H <sub>6</sub>	0.2	0.7	0.3	0.7	0.8	0.6	1										
C <sub>1</sub>	0.4	0.9	0.1	0.1	0.5	0.2	0.7	1									
H <sub>4</sub>	0.3	0.9	0.2	0.7	0.5	0.9	0.3	0.2	1								
C <sub>2</sub>	0.3	0.3	0.2	0.4	0.5	0.9	0.1	0.8	0.1	1							
H <sub>5</sub>	0.3	0.4	0.2	0.0	0.3	0.6	0.4	0.0	0.2	0.3	1						
C <sub>3</sub>	0.1	0.4	0.2	0.7	0.8	0.4	0.6	0.7	0.4	0.1	0.3	1					
H <sub>7</sub>	0.5	0.4	0.1	0.9	0.2	0.2	0.8	0.3	0.2	0.6	0.5	0.8	1				
C <sub>4</sub>	0.2	0.3	0.3	0.0	0.3	0.7	0.4	0.5	0.3	0.5	0.8	0.9	0.3	1			
H <sub>8</sub>	0.1	0.8	0.1	0.6	0.4	0.9	0.3	0.4	0.5	0.3	0.8	0.7	0.5	0.2	1		
H <sub>e</sub>	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.1	0.6	0.3	0.4	0.0	0.3	0.2	0.0	0.8	1	
A <sub>1</sub>	0.7	0.3	0.8	0.1	0.6	0.1	0.4	0.2	0.2	0.1	0.3	0.2	0.4	0.1	0.2	0.7	1

Tabla B.20 – Coeficientes de correlación parámetros modelo completo exterior del muro opaco para 1º ensayo



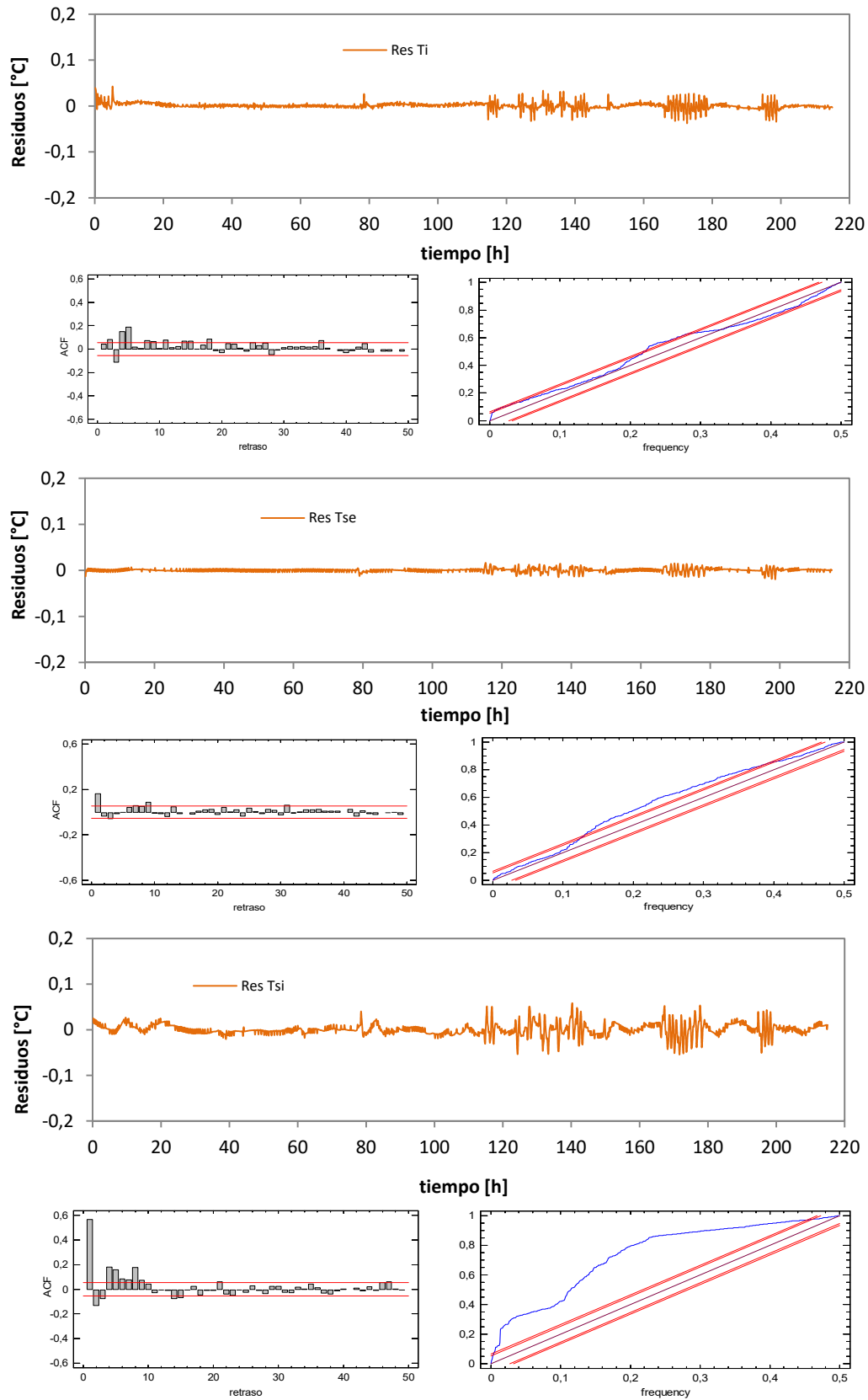


Figura B.23 – Ajuste del modelo para el primer ensayo del muro opaco con condiciones exteriores

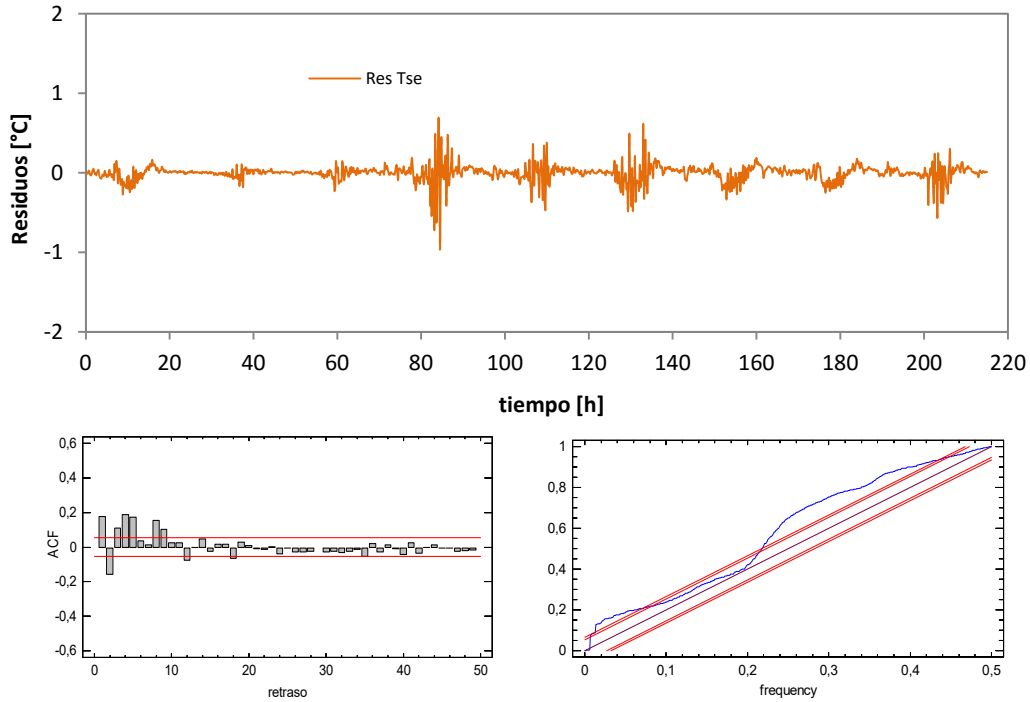


Figura B.24 – Ajuste del modelo para el primer ensayo del muro opaco con condiciones exteriores

## 2º ensayo

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	100	300	1000	2.90E+02	3.67E+01	87.2623	-0.00149	0.00461
C <sub>s,se</sub>	500	1000	1500	8.91E+02	8.96E+01	38.6521	0.00352	-0.00361
C <sub>1</sub>	1	50	200	6.54E+01	9.96E+00	83.2884	0	-0.00446
H <sub>2</sub>	10	50	200	6.23E+01	6.99E+00	25.9227	-0.00413	0
C <sub>si</sub>	1	50	100	8.96E+01	1.43E+01	4.2742	0.00269	0.00411
H <sub>3</sub>	0.6	1	1000	6.44E+00	1.24E-01	8.6494	0.00366	0
H <sub>6</sub>	0.6	1	1000	3.27E+00	4.18E-01	32.4600	0	-0.00228
C <sub>1</sub>	1	250	500	4.22E+01	1.79E+00	78.2838	-0.00394	0.00069
H <sub>4</sub>	0.6	1	1000	1.32E+00	7.90E-02	52.9734	0.00177	0
C <sub>2</sub>	1	250	500	8.25E+01	1.62E+01	91.5313	0	0.00242
H <sub>5</sub>	0.6	1	1000	4.52E+00	1.61E-01	29.7900	0.00360	-0.00441
C <sub>3</sub>	1	250	500	2.86E+01	2.02E+00	52.4876	0	0
H <sub>7</sub>	0.6	1	1000	8.57E-01	1.35E-01	11.9653	-0.00285	0.00361
C <sub>4</sub>	1	250	500	7.04E+01	1.84E+01	84.8449	-0.00463	-0.00230
H <sub>8</sub>	0.6	1	1000	7.45E+01	3.13E+00	58.0730	0	0.00472
H <sub>e</sub>	10	150	500	1.01E+02	6.97E+00	22.0486	0	0.00478
A <sub>1</sub>	0.1	3	7	2.04E+00	5.23E-01	1.4947	0.00065	0.00447

Tabla B.21 – Resultados identificación parámetros para 2º ensayo en el modelo completo de muro opaco con las variables de ambiente exterior

	H <sub>1</sub>	C <sub>s,se</sub>	C <sub>i</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>si</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>7</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>8</sub>	H <sub>e</sub>	A <sub>1</sub>
H <sub>1</sub>	1																
C <sub>s,se</sub>	0.7	1															
C <sub>i</sub>	0.6	0.5	1														
H <sub>2</sub>	0.2	0.1	0.7	1													
C <sub>si</sub>	0.3	0.1	0.1	0.9	1												
H <sub>3</sub>	0.2	0.9	0.8	0.8	0.3	1											
H <sub>6</sub>	0.6	0.7	0.1	0.4	0.2	0.5	1										
C <sub>1</sub>	0.6	0.0	0.7	0.7	0.2	0.3	0.5	1									
H <sub>4</sub>	0.0	0.9	0.8	0.2	0.2	0.7	0.8	0.6	1								
C <sub>2</sub>	0.9	0.8	0.4	0.9	0.6	0.5	0.4	0.6	0.0	1							
H <sub>5</sub>	0.3	0.8	0.4	0.0	0.8	0.9	0.6	0.9	0.5	0.5	1						
C <sub>3</sub>	0.2	0.9	0.2	0.4	0.3	0.8	0.1	0.6	0.8	0.5	0.9	1					
H <sub>7</sub>	0.2	0.5	0.2	0.1	0.1	0.7	0.2	0.3	0.2	0.6	0.0	0.4	1				
C <sub>4</sub>	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.6	0.7	0.1	0.0	0.8	0.7	0.3	1			
H <sub>8</sub>	0.4	0.6	0.4	0.9	0.4	0.2	0.5	0.5	0.7	0.7	0.1	0.2	0.9	0.8	1		
H <sub>e</sub>	0.5	0.2	0.3	0.5	0.0	0.8	0.8	0.8	0.2	0.7	0.6	0.1	0.3	0.8	0.4	1	
A <sub>1</sub>	0.7	0.7	0.6	0.2	0.8	0.1	0.4	0.7	0.7	0.3	0.6	0.5	0.3	0.8	0.4	0.0	1

Tabla B.22 – Coeficientes de correlación parámetros modelo completo exterior del muro opaco para 2º ensayo

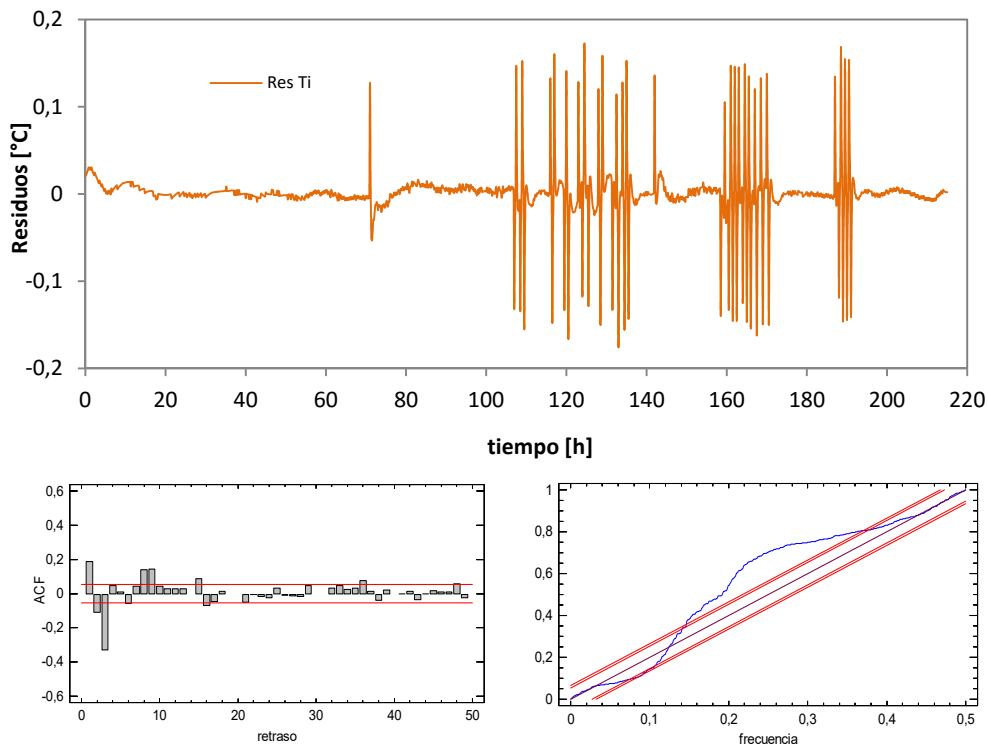


Figura B.25 – Ajuste del modelo para el segundo ensayo del muro opaco con condiciones exteriores

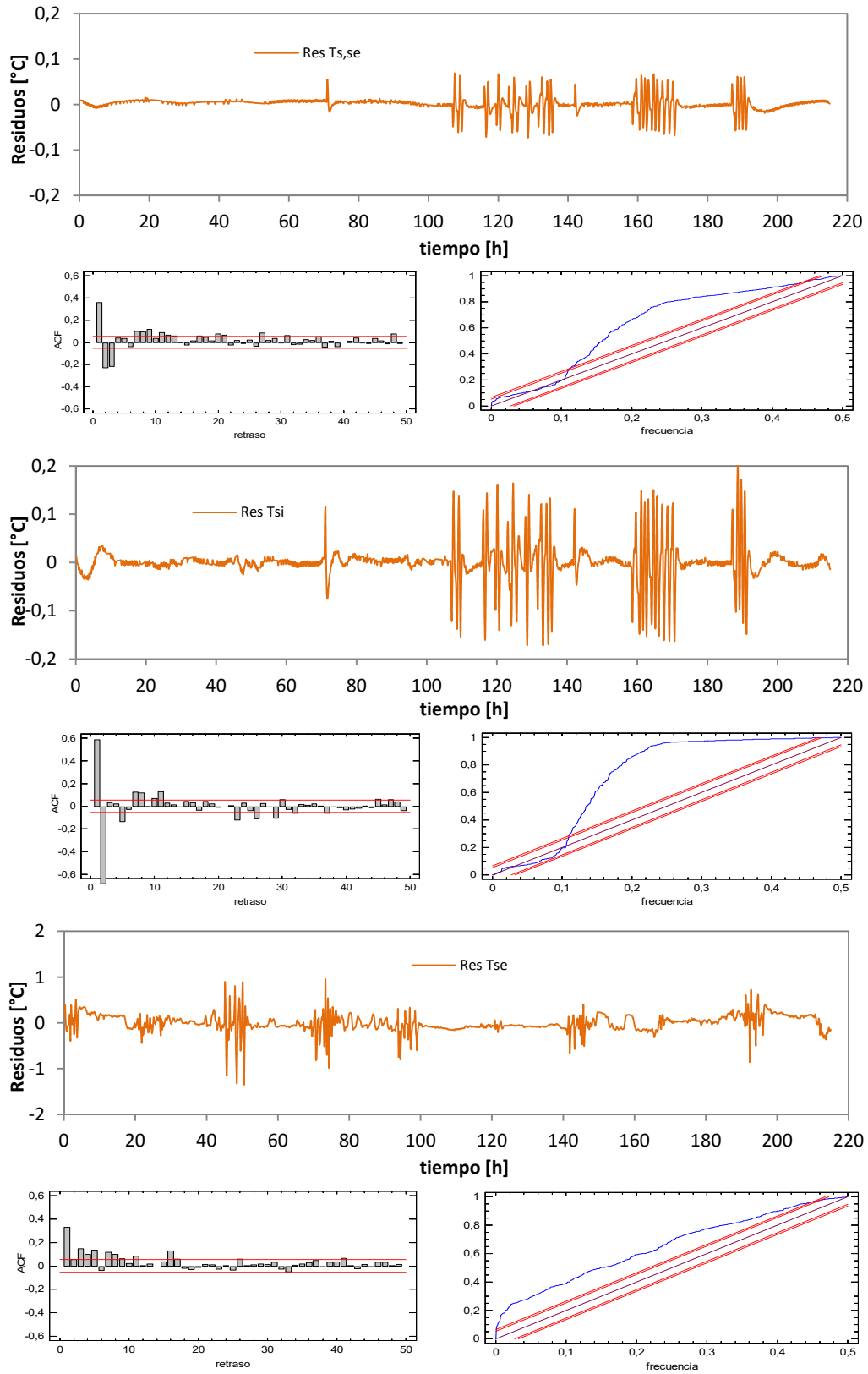


Figura B.26 – Ajuste del modelo para el segundo ensayo del muro opaco con condiciones exteriores

Con los resultados de los modelos que contemplan las condiciones de temperatura exterior y radiación solar se obtienen los datos mostrados en la Tabla B.23. Se puede concluir que la colocación de la muestra en el portaprobetas no es representativa de cara a efectos de ganancia solar o de coeficiente de transmisión de calor por convección.

	$H_e$ [W/K]	$h_e$ [W/m <sup>2</sup> K]	$A_{Gv}$ [m <sup>2</sup> ]	$A_{Gv}$ [-]
1º ENSAYO	121.6	16.82	1.947	0.269
2º ENSAYO	101.1	13.98	2.042	0.282

Tabla B.23 – Parámetros del intercambio de calor de la superficie del muro opaco con el ambiente exterior

### B.2.3 Modelos del segundo componente

Una vez caracterizado el primer componente, se retira la zona central del muro opaco y se sustituye por la ventana de referencia. La colocación de dicha ventana esta definida con precisión en las norma del ensayo interlaboratorios de forma que los efectos de borde seán similares entre centros participantes. A continuación se desarrollan los modelos de identificación de parámetros empleados en el estudio del segundo componente y los resultados que se obtienen.

#### Modelo simple

El modelo más simple que representa el segundo componente es el que se muestra en la Figura B.27, y cuyas ecuaciones se indican en [B.4] y [B.5].

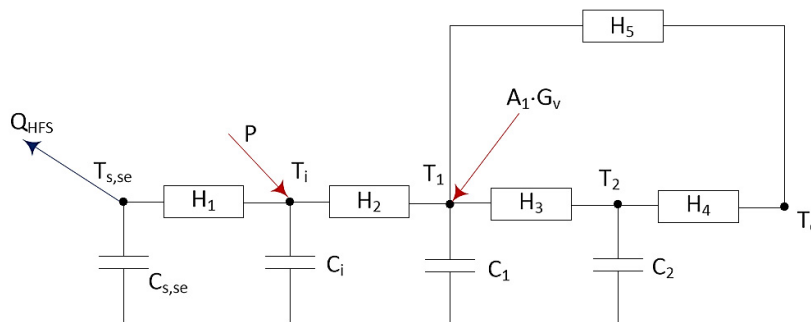


Figura B.27 – Modelo simple de la segunda muestra del IQ-Test

$$\begin{bmatrix} dT_{s,se} \\ dT_i \\ dT_1 \\ dT_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-H_1}{C_{s,se}} & \frac{H_1}{C_{s,se}} & 0 & 0 \\ \frac{H_1}{C_i} & -(H_1 + H_2) & \frac{H_2}{C_i} & 0 \\ 0 & \frac{H_2}{C_1} & -(H_2 + H_3 + H_5) & \frac{H_3}{C_1} \\ 0 & 0 & \frac{H_3}{C_2} & -(H_3 + H_4) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{s,se} \\ T_i \\ T_1 \\ T_2 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} -1 \\ C_{s,se} \\ \frac{1}{C_i} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{HFS} \\ P \\ G_v \\ T_e \end{bmatrix} dt + [\sigma]dt \quad [B.4]$$

$$\begin{bmatrix} T_{s,se}^m \\ T_i^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{s,se} \\ T_i \\ T_1 \\ T_2 \end{bmatrix} + [0] \begin{bmatrix} Q_{HFS} \\ P \\ G_v \\ T_e \end{bmatrix} + [e] \quad [B.5]$$

En este caso se representa reproducen las dos partes de la muestra, muro perimetral mediante una rama con inercia térmica, y la ventana mediante un sola conductancia y sin inercia térmica. La ganancia solar se linca a un nodo interior de la sala de ensayos diferente al nodo de temperatura medida, ya que corresponde con la temperatura del aire en la cámara que se genera entre la cortina y la superficie de la muestra, ya que corresponde con la zona en la que se produce realmente esa entrada directa de flujo y, además, presenta unos coeficiente de convección diferentes a los del resto de superficies de la sala de ensayos. A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada periodo de enayo realizado. Se puede observar que los ajustes a ruido blanco no son muy buenos, por lo que el modelo, aunque aproximado, ya que los resultados si son muy cercanos a los valores finales, no reproduce por completo el comportamiento real del componente y, por tanto, exige un aumento en su definición.

## 1º ensayo

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
<b>H<sub>1</sub></b>	100	300	1000	5.68E+02	5.77E+00	68.2549	-0.0044	-0.0046
<b>C<sub>s,se</sub></b>	500	1000	1500	9.78E+02	5.61E+01	95.4879	-0.0013	-0.0015
<b>C<sub>i</sub></b>	1	50	200	8.34E+01	6.00E+00	43.4769	0	0.0043
<b>H<sub>2</sub></b>	10	50	200	7.58E+01	7.18E-01	44.9105	0.0047	-0.0019
<b>C<sub>1</sub></b>	1	50	100	1.82E+01	2.58E+00	24.1541	-0.0009	0.0015
<b>H<sub>3</sub></b>	0.6	1	1000	3.45E+00	4.64E-01	93.7100	0	0.0040
<b>H<sub>5</sub></b>	0.6	1	1000	5.21E+00	5.63E-01	80.0091	0.0027	0
<b>C<sub>2</sub></b>	1	250	500	2.74E+02	3.38E+01	87.1255	0	0.0046
<b>H<sub>4</sub></b>	0.6	1	1000	2.61E+00	1.41E-01	54.7450	0.0014	0.0049
<b>A<sub>1</sub></b>	0.1	1	1.8	1.49E+00	9.46E-02	22.8934	0.0040	0

Tabla B.24 – Resultados identificación parámetros para 1º ensayo en el modelo simple del muro con ventana

	H <sub>1</sub>	C <sub>s,se</sub>	C <sub>i</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>4</sub>	A <sub>1</sub>
<b>H<sub>1</sub></b>	1									
<b>C<sub>s,se</sub></b>	0.21	1								
<b>C<sub>i</sub></b>	0.31	0.55	1							
<b>H<sub>2</sub></b>	0.22	0.02	0.47	1						
<b>C<sub>1</sub></b>	0.46	0.23	0.37	0.38	1					
<b>H<sub>3</sub></b>	0.56	0.43	0.22	0.43	0.54	1				
<b>H<sub>5</sub></b>	0.26	0.59	0.15	0.36	0.07	0.13	1			
<b>C<sub>2</sub></b>	0.17	0.01	0.08	0.60	0.39	0.23	0.48	1		
<b>H<sub>4</sub></b>	0.26	0.05	0.24	0.01	0.32	0.04	0.50	0.10	1	
<b>A<sub>1</sub></b>	0.14	0.37	0.13	0.03	0.46	0.42	0.18	0.48	0.08	1

Tabla B.25 – Coeficientes de correlación parámetros modelo simple del muro con ventana para 1º ensayo

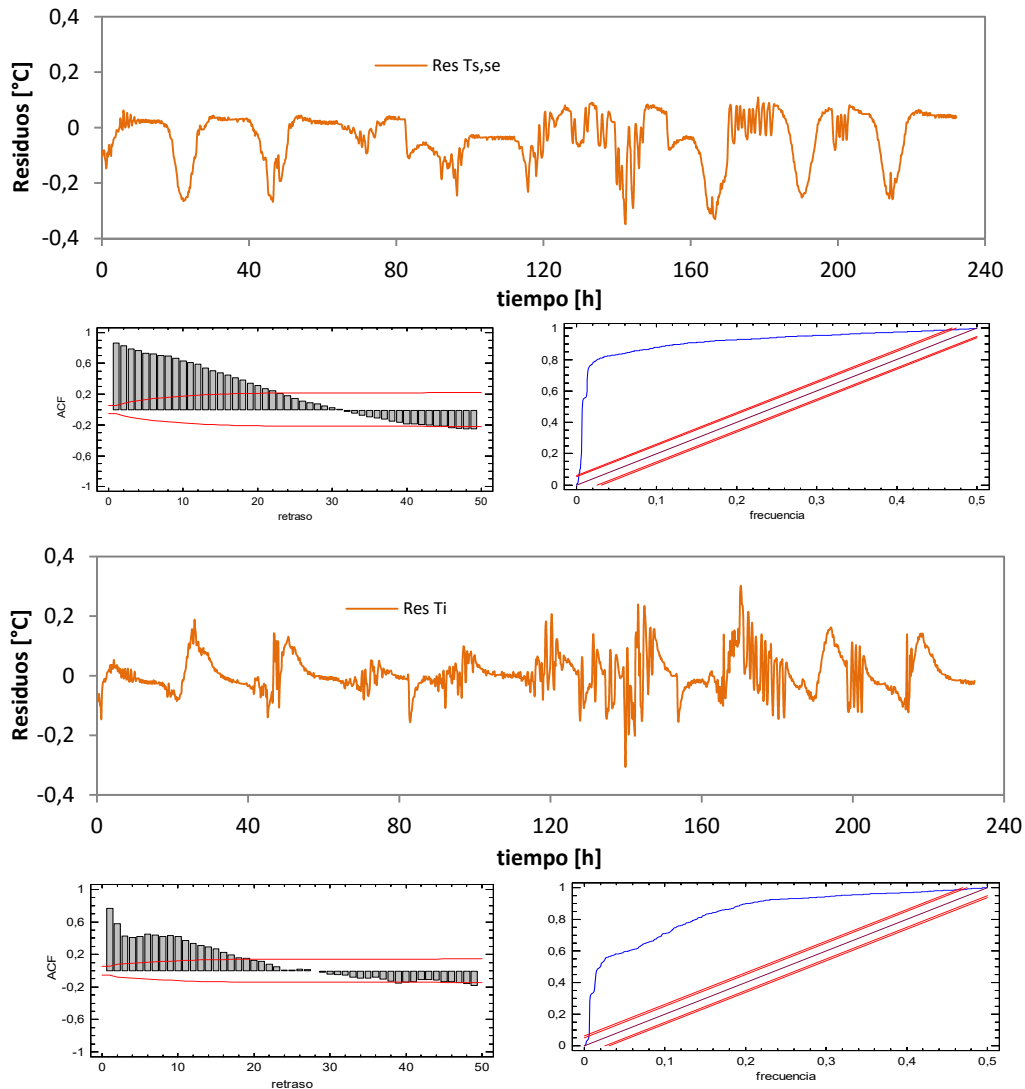


Figura B.28 – Ajuste del modelo para el primer ensayo del muro con ventana en el modelo simple

## 2º ensayo

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$H_1$	100	300	1000	3.86E+02	6.22E+01	47.8255	0.0015	0.0020
$C_{s,se}$	500	1000	1500	9.81E+02	6.04E+01	26.6858	0.0045	0.0027
$C_1$	1	50	200	3.90E+01	5.02E-01	52.4892	-0.0015	0.0026
$H_2$	10	50	200	4.95E+01	6.87E-01	86.7224	-0.0043	0.0042
$C_1$	1	50	100	6.63E+01	6.91E+00	70.6388	0.0048	-0.0048
$H_3$	0.6	1	1000	2.25E+00	2.50E-01	48.1325	0.0040	0
$H_5$	0.6	1	1000	4.93E+00	6.49E-01	14.1684	-0.0019	0
$C_2$	1	250	500	2.27E+02	3.67E+01	31.3701	0	0.0034
$H_4$	0.6	1	1000	3.54E+00	3.24E-01	11.7806	-0.0033	0.0025
$A_1$	0.1	1	1.8	1.15E+00	3.63E-02	62.2355	-0.0014	0

Tabla B.26 – Resultados identificación parámetros para 2º ensayo en el modelo simple del muro con ventana



	$H_1$	$C_{s,se}$	$C_i$	$H_2$	$C_1$	$H_3$	$H_5$	$C_2$	$H_4$	$A_1$
$H_1$	1									
$C_{s,se}$	0.19	1								
$C_i$	0.47	0.00	1							
$H_2$	0.33	0.41	0.54	1						
$C_1$	0.33	0.24	0.56	0.49	1					
$H_3$	0.04	0.36	0.25	0.31	0.07	1				
$H_5$	0.17	0.12	0.17	0.32	0.36	0.21	1			
$C_2$	0.60	0.23	0.03	0.32	0.27	0.05	0.27	1		
$H_4$	0.29	0.43	0.37	0.08	0.17	0.25	0.18	0.26	1	
$A_1$	0.05	0.13	0.27	0.10	0.09	0.41	0.60	0.59	0.46	1

Tabla B.27 – Coeficientes de correlación parámetros modelo simple del muro con ventana para 2º ensayo

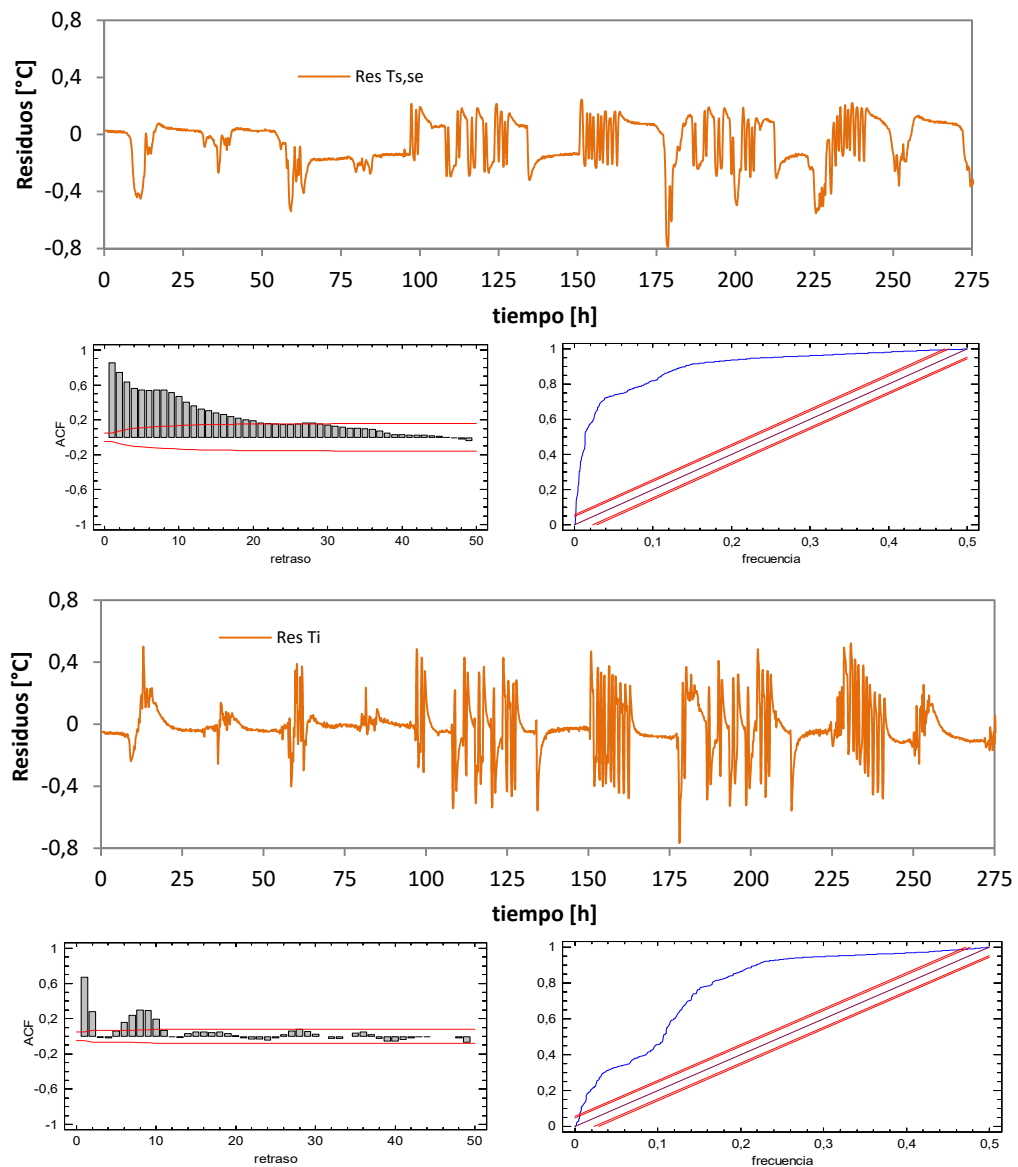


Figura B.29 – Ajuste del modelo para el segundo ensayo del muro con ventana en el modelo simple

## Modelo ampliado

El modelo simple es insuficiente para representar con precisión el comportamiento real de la probeta del segundo componente del ensayo IQ-Test. En principio, la parte de la ventana es la que menor complejidad representa, sin embargo la parte opaca es más delicada. Por un lado, es necesario ampliar el orden del modelo para poder representar adecuadamente la capacidad térmica del perímetro aislante, y por otro lado, la superficie exterior esta recibiendo incidencia solar que genera periodos en los que la superficie exterior es mayor que la temperatura de la superficie interior. Esta situación es imposible de reproducir con el modelo simple definido previamente. Por estas cuestiones se define un modelo ampliado como el que se muestra en la Figura B.30. En las ecuaciones [B.6] y [B.7].

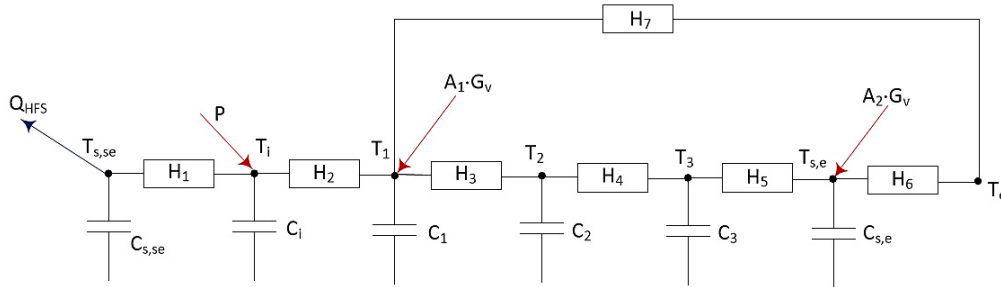


Figura B.30 – Modelo ampliado de la segunda muestra del IQ-Test

$$\begin{bmatrix} dT_{s,se} \\ dT_i \\ dT_1 \\ dT_2 \\ dT_3 \\ dT_{se} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-H_1}{C_{s,se}} & \frac{H_1}{C_{s,se}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{H_1}{C_i} & \frac{-(H_1 + H_2)}{C_i} & \frac{H_2}{C_i} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_2}{C_1} & \frac{-(H_2 + H_3 + H_7)}{C_1} & \frac{H_3}{C_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_3}{C_2} & \frac{-(H_3 + H_4)}{C_2} & \frac{H_4}{C_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{H_4}{C_3} & \frac{-(H_4 + H_5)}{C_3} & \frac{H_5}{C_3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{H_5}{C_{se}} & \frac{-(H_5 + H_6)}{C_{se}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{s,se} \\ T_i \\ T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_{se} \end{bmatrix} dt \quad [B.6]$$

$$+ \begin{bmatrix} \frac{-1}{C_{s,se}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{C_i} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{A_1}{C_1} & \frac{H_7}{C_1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{A_2}{C_{se}} & \frac{H_6}{C_{se}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{HFS} \\ P \\ G_v \\ T_e \end{bmatrix} dt + [\sigma] dt$$

$$\begin{bmatrix} T_{s,se}^m \\ T_i^m \\ T_1^m \\ T_2^m \\ T_3^m \\ T_{se}^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{s,se} \\ T_i \\ T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_{se} \end{bmatrix} + [0] \begin{bmatrix} Q_{HFS} \\ P \\ G_v \\ T_e \end{bmatrix} + [e] \quad [B.7]$$

A continuación se recogen los resultados de los modelos de identificación de parámetros junto con el análisis de ruido blanco de los residuos de las funciones objetivo.

## 1º ensayo

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	100	300	1000	2.57E+02	7.74E+01	56.7507	0.0001	-0.0003
C <sub>s,se</sub>	500	1000	1500	9.77E+02	8.24E+01	95.4879	-0.0004	0.0002
C <sub>i</sub>	1	50	200	7.52E+01	5.16E-01	43.4769	-0.0001	-0.0005
H <sub>2</sub>	10	50	200	9.80E+01	2.34E-01	44.9105	0.0003	0.0000
C <sub>1</sub>	1	50	100	5.10E+01	1.92E+00	24.1541	-0.0004	-0.0003
H <sub>3</sub>	0.6	1	1000	2.02E+02	4.78E-01	93.7100	0.0004	0.0004
H <sub>7</sub>	0.6	1	1000	5.73E+00	2.57E-01	80.0091	0.0002	0.0004
C <sub>2</sub>	1	100	500	1.07E+02	2.89E+01	87.1255	0.0001	0.0002
H <sub>4</sub>	0.6	1	1000	2.85E+00	3.21E-01	54.7450	-0.0003	-0.0004
C <sub>3</sub>	1	100	500	7.14E+01	6.69E+00	22.8934	0.0000	0.0004
H <sub>5</sub>	0.6	1	1000	2.19E+00	4.87E-02	22.8934	0.0001	0.0002
C <sub>se</sub>	1	50	100	9.82E+01	2.59E+00	22.8934	0.0000	0.0002
H <sub>6</sub>	0.6	1	1000	1.25E+02	3.09E-01	22.8934	-0.0004	-0.0003
A <sub>1</sub>	0.1	1	1.8	1.06E+00	1.04E-01	22.8934	-0.0003	0.0005
A <sub>2</sub>	0.1	1	5	1.61E+00	3.57E-01	22.8934	0.0005	0.0002

Tabla B.28 – Resultados identificación parámetros para 1º ensayo en el modelo ampliado del muro con ventana

	H <sub>1</sub>	C <sub>s,se</sub>	C <sub>i</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>7</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>se</sub>	H <sub>6</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
H <sub>1</sub>	1														
C <sub>s,se</sub>	0.18	1													
C <sub>i</sub>	0.46	0.09	1												
H <sub>2</sub>	0.27	0.40	0.03	1											
C <sub>1</sub>	0.42	0.22	0.07	0.08	1										
H <sub>3</sub>	0.38	0.02	0.51	0.23	0.54	1									
H <sub>7</sub>	0.45	0.25	0.31	0.60	0.46	0.17	1								
C <sub>2</sub>	0.13	0.07	0.26	0.04	0.06	0.10	0.19	1							
H <sub>4</sub>	0.40	0.57	0.26	0.40	0.41	0.49	0.13	0.24	1						
C <sub>3</sub>	0.36	0.11	0.08	0.45	0.32	0.07	0.51	0.21	0.08	1					
H <sub>5</sub>	0.28	0.01	0.52	0.47	0.06	0.24	0.53	0.15	0.44	0.17	1				
C <sub>se</sub>	0.10	0.07	0.25	0.51	0.37	0.42	0.20	0.47	0.48	0.11	0.31	1			
H <sub>6</sub>	0.02	0.28	0.35	0.35	0.06	0.51	0.35	0.38	0.38	0.06	0.15	0.28	1		
A <sub>1</sub>	0.36	0.54	0.48	0.35	0.39	0.58	0.09	0.20	0.41	0.41	0.09	0.52	0.46	1	
A <sub>2</sub>	0.30	0.24	0.53	0.17	0.27	0.43	0.30	0.28	0.12	0.31	0.38	0.11	0.53	0.06	1

Tabla B.29 – Coeficientes de correlación parámetros modelo ampliado del muro con ventana para 1º ensayo

variable	u <sub>medida</sub>	unidades	dU [W/m <sup>2</sup> K]	dC [MJ/m <sup>2</sup> K]	dgA [m <sup>2</sup> ]
Q <sub>HFS</sub>	1	W	0.006	0.039	0.009
P	0.5	W	0.006	0.017	0.004
G <sub>v</sub>	1.5	W	0.041	0.022	0.002
T <sub>e</sub>	0.5	K	0.089	0.062	0.005

Tabla B.30 – Efecto del error de las variables de medida en el resultado del modelo de identificación en el modelo ampliado para el primer ensayo

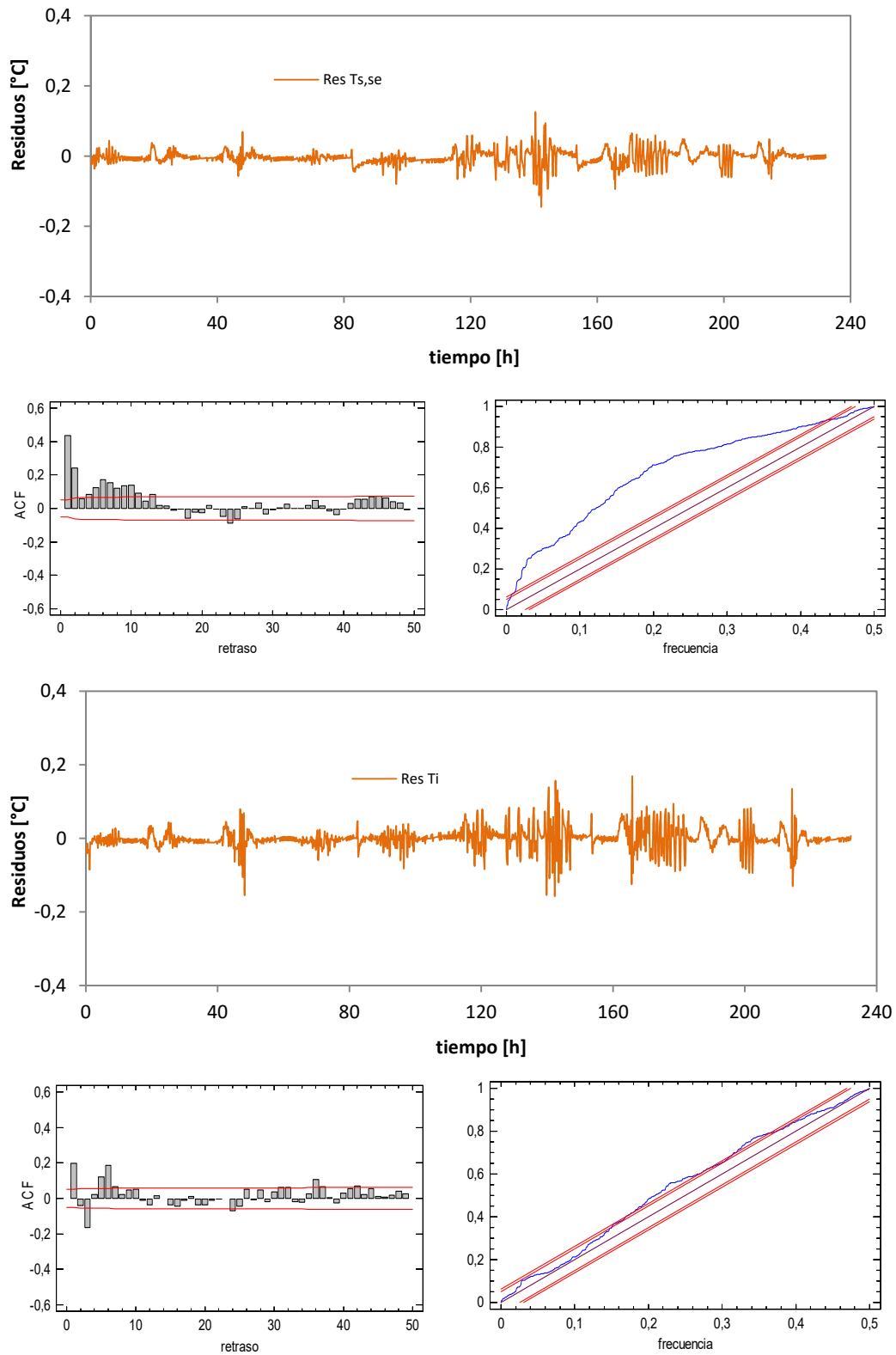


Figura B.31 – Ajuste del modelo para el primer ensayo del muro con ventana en el modelo ampliado

## 2º ensayo

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	100	300	1000	3.00E+02	9.82E+01	65.1649	0.0017	-0.0010
C <sub>s,se</sub>	500	1000	1500	1.10E+03	2.17E+01	58.2212	0.0040	-0.0004
C <sub>i</sub>	1	50	200	2.94E+01	2.94E+01	49.7937	0.0012	-0.0046
H <sub>2</sub>	10	50	200	6.72E+01	4.52E+00	1.5591	0.0023	0.0025
C <sub>1</sub>	1	50	100	5.73E+01	9.03E+00	86.8745	-0.0009	0.0030
H <sub>3</sub>	0.6	1	1000	5.97E+00	6.23E-02	24.6662	0.0023	0.0036
H <sub>7</sub>	0.6	1	1000	5.38E+00	2.48E-01	70.3356	0.0039	0.0026
C <sub>2</sub>	1	100	500	3.42E+01	4.30E+00	35.8863	-0.0043	-0.0036
H <sub>4</sub>	0.6	1	1000	1.70E+00	4.65E-02	56.2171	0.0012	-0.0010
C <sub>3</sub>	1	100	500	1.25E+02	1.73E+01	28.9478	0.0023	-0.0002
H <sub>5</sub>	0.6	1	1000	6.95E+00	1.10E-01	96.2672	-0.0002	-0.0033
C <sub>se</sub>	1	50	100	8.56E+01	4.61E+00	71.7773	0.0015	0.0005
H <sub>6</sub>	0.6	1	1000	1.83E+02	8.14E-01	55.6629	0.0011	0.0047
A <sub>1</sub>	0.1	1	1.8	1.01E+00	8.56E-02	84.2077	-0.0008	-0.0012
A <sub>2</sub>	0.1	1	5	1.70E+00	8.31E-02	12.4660	-0.0044	0.0024

Tabla B.31 – Resultados identificación parámetros para 2º ensayo en el modelo ampliado del muro con ventana

	H <sub>1</sub>	C <sub>s,se</sub>	C <sub>i</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>7</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>se</sub>	H <sub>6</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
H <sub>1</sub>	1														
C <sub>s,se</sub>	0.55	1													
C <sub>i</sub>	0.49	0.55	1												
H <sub>2</sub>	0.16	0.22	0.25	1											
C <sub>1</sub>	0.01	0.30	0.51	0.48	1										
H <sub>3</sub>	0.22	0.45	0.35	0.50	0.55	1									
H <sub>7</sub>	0.03	0.46	0.39	0.12	0.17	0.07	1								
C <sub>2</sub>	0.59	0.38	0.44	0.50	0.14	0.49	0.35	1							
H <sub>4</sub>	0.05	0.51	0.20	0.24	0.09	0.55	0.48	0.27	1						
C <sub>3</sub>	0.41	0.54	0.12	0.10	0.04	0.37	0.29	0.45	0.03	1					
H <sub>5</sub>	0.32	0.41	0.28	0.50	0.38	0.02	0.21	0.29	0.27	0.03	1				
C <sub>se</sub>	0.26	0.42	0.37	0.39	0.13	0.29	0.05	0.35	0.57	0.06	0.32	1			
H <sub>6</sub>	0.19	0.26	0.28	0.33	0.28	0.26	0.53	0.06	0.14	0.52	0.02	0.27	1		
A <sub>1</sub>	0.11	0.33	0.14	0.37	0.20	0.21	0.10	0.59	0.44	0.30	0.49	0.32	0.47	1	
A <sub>2</sub>	0.58	0.28	0.45	0.24	0.07	0.47	0.42	0.24	0.21	0.01	0.06	0.43	0.36	0.56	1

Tabla B.32 – Coeficientes de correlación parámetros modelo ampliado del muro con ventana para 2º ensayo

variable	u <sub>medida</sub>	unidades	dU [W/m <sup>2</sup> K]	dC [MJ/m <sup>2</sup> K]	dgA [m <sup>2</sup> ]
Q <sub>HFS</sub>	1	W	0.008	0.047	0.007
P	0.5	W	0.007	0.049	0.001
G <sub>v</sub>	1.5	W	0.039	0.026	0.004
T <sub>e</sub>	0.5	K	0.051	0.059	0.008

Tabla B.33 – Efecto del error de las variables de medida en el resultado del modelo de identificación en el modelo ampliado para el segundo ensayo

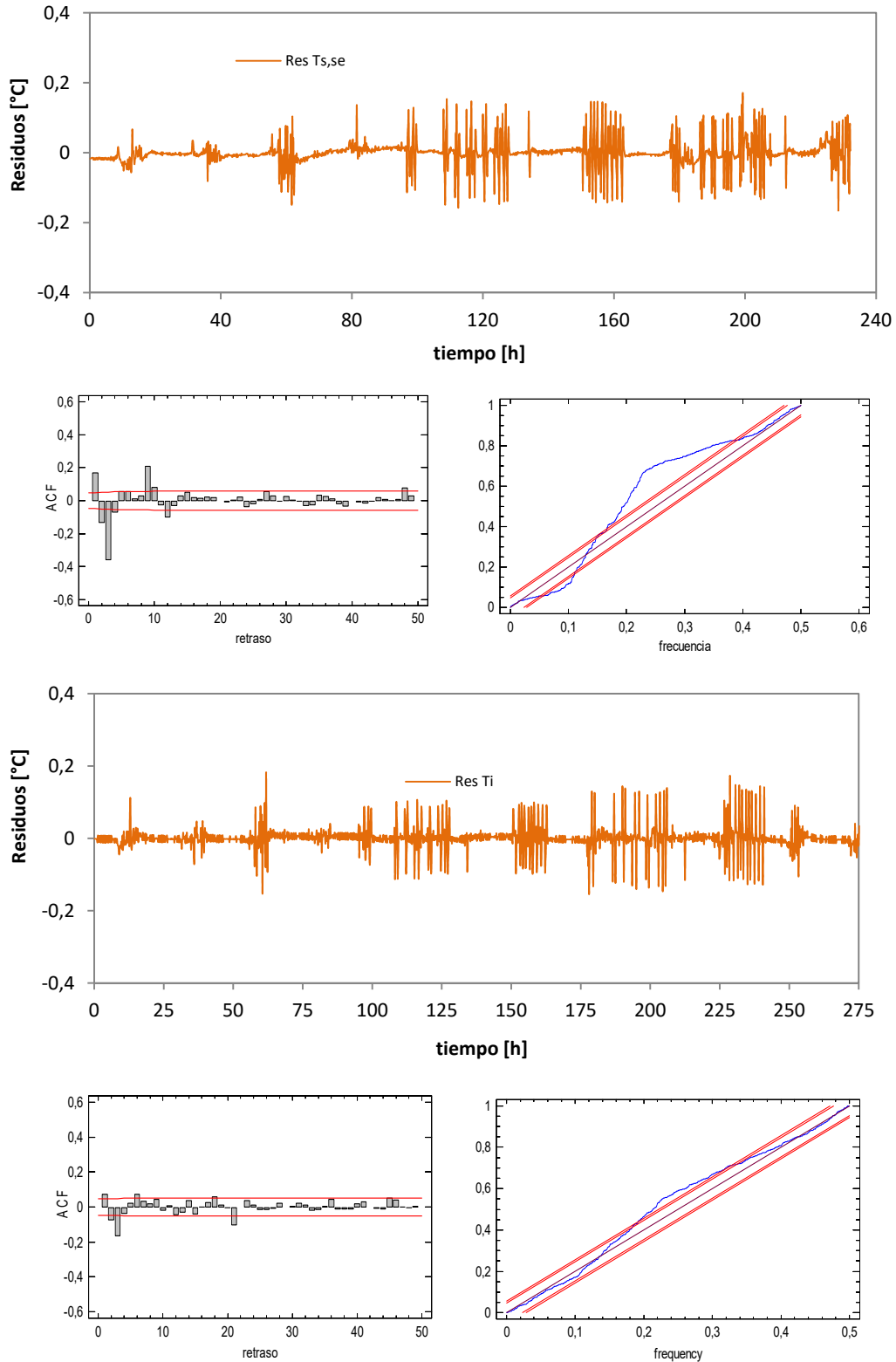


Figura B.33 – Ajuste del modelo para el segundo ensayo del muro con ventana en el modelo ampliado

En base a los datos obtenidos con el modelo ampliado del segundo componente, y teniendo en cuenta los resultados de los ensayos del muro opaco, junto con las incertidumbres de medida, se obtienen los valores recogidos en la Tabla B.34.

	Muro Completo			Ventana			
	Opaco + Ventana						
	UA [W/K]	UA [W/K]	gA [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> K]	e <sub>U</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	g [-]	e <sub>g</sub> [-]
1º ENSAYO	6,95	5,43	1,06	2,89	0,22	0,57	0,06
2º ENSAYO	6,48	5,22	1,01	2,78	0,18	0,54	0,05

Tabla B.34 – Resultados de los dos ensayos del segundo componente del IQ-Test

De cara al ensayo interlaboratorio, se emplean los resultados obtenidos en el segundo ensayo, tanto para el primer componente como para el segundo. Ya que, cómo se ha detectado en el estudio de las dos posiciones de la muestra dentro del portaprobetas, la colocación a ras del interior reduce los efectos de puentes térmicos, mejorando la precisión del ensayo sin afectar a los parámetros exteriores, coeficiente de convección y factor solar.





# Anexo C

## Caracterización experimental de fachadas



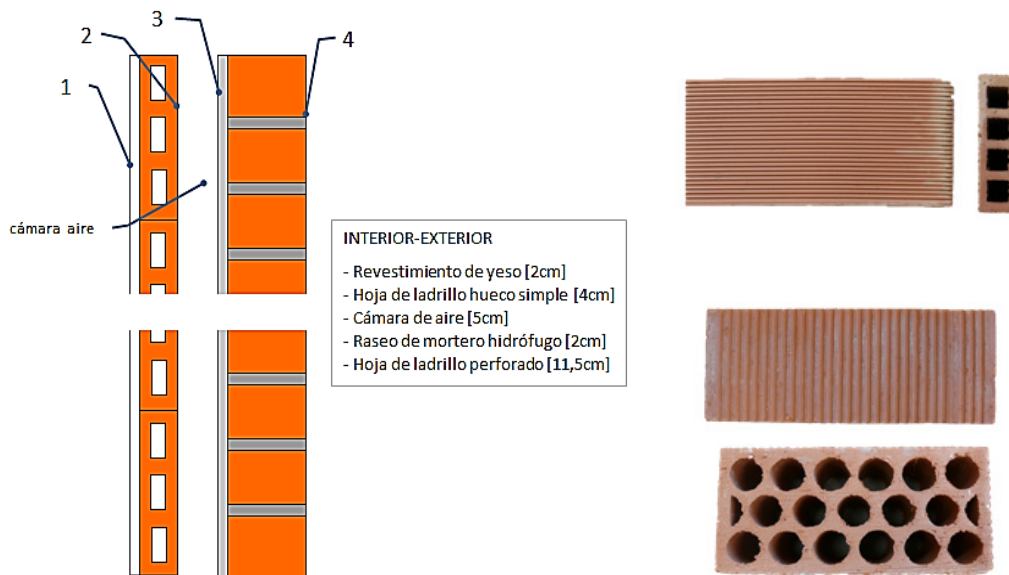


## C.1 Muro base

Debido a la gran cantidad de información respecto a la instrumentación instalada en las probetas ensayadas, así como los datos de los ensayos de contraste, en la Memoria se indican los valores fundamentales. A continuación se desarrollan con más detalle estos aspectos de los ensayos experimentales.

### C.1.1 Instrumentación de la muestra

El primer componente de ensayo es un muro de doble hoja formado por fábrica de ladrillo. En la Figura C.1 se muestran las características de la muestra y un detalle de los bloques cerámicos empleados.



Aunque se trata de la probeta de ensayo más sencilla, su caracterización precisa es fundamental, ya que sirve como base para el resto de ensayos de la presente tesis, salvo en el caso de la probeta de fachada ligera forzada. En la Tabla C.1 se muestra el número de sensores instalados en dicha probeta.

MAGNITUD	CARACTERÍSTICAS	Nº SENSORES					
		CAPA 1	CAPA 2-3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6	
MURO BASE	Temperatura	PT100, clase A, conexión 4 hilos	5	3	3		
	Flujo de calor	Ahlborn FQA-0801-H	3	1			

Tabla C.1 – Sensores instaladas en la probeta del muro base y en el muro aislado

En total, se instalan 15 sensores de temperatura y 4 sensores de flujo de calor, en la Figura C.2 se muestran la distribución de dichos sensores en las diferentes capas que conforman la muestra. Las diferentes sondas se referencian mediante el

procedimiento estandarizado de trazabilidad de la metodología *PASLINK*, así como mediante un referencia propia de la muestra que facilita su análisis y tratamiento posterior. También se emplean los número de referencia de las sondas propias de la base de datos de instrumentación del Área Térmica, AT, del Laboratorio de Control de la Calidad en la Edificación, LCCE, que permiten asociar las calibraciones correspondientes.

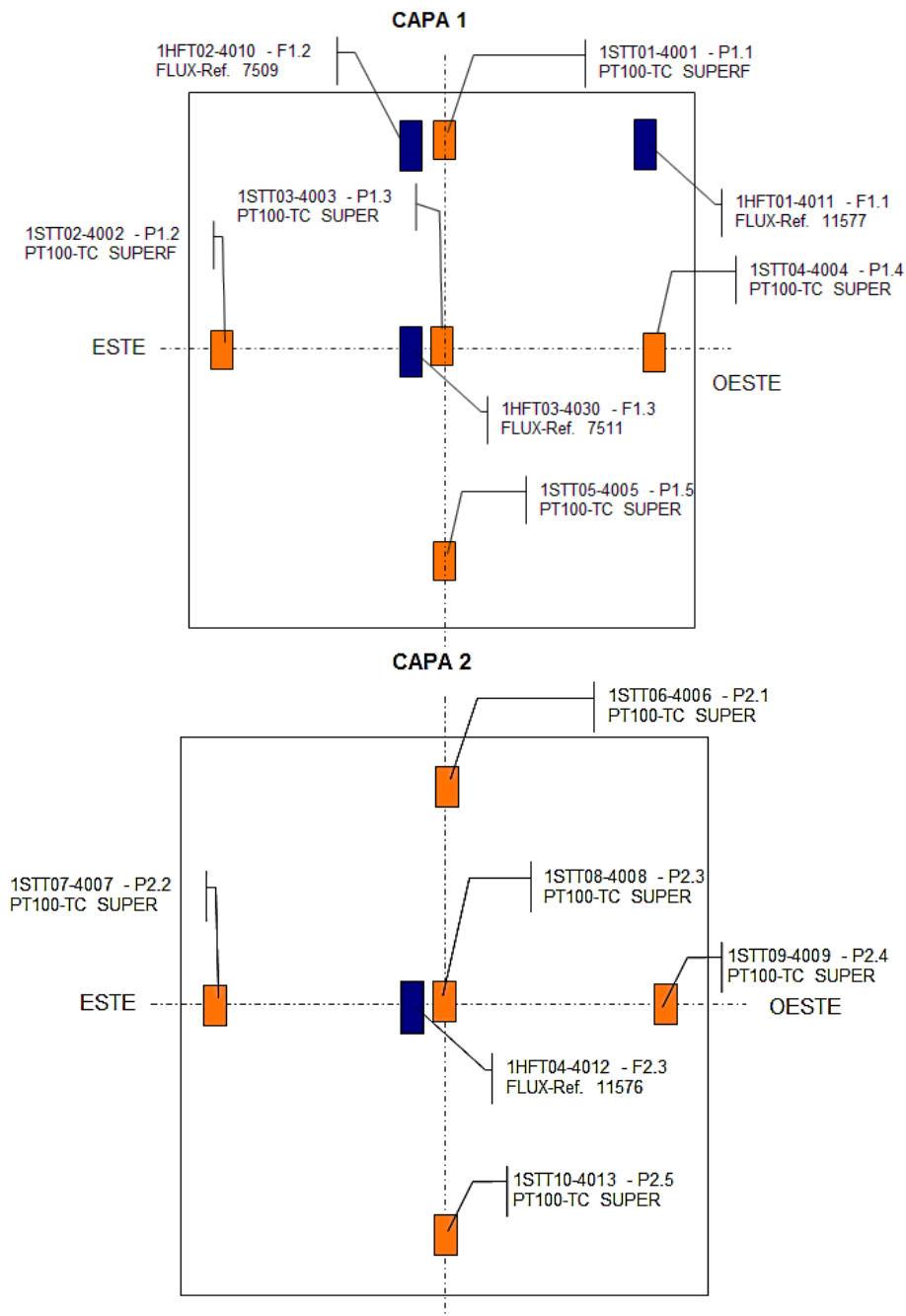


Figura C.2 – Disposición de las sondas en las capas de la muestra de muro base

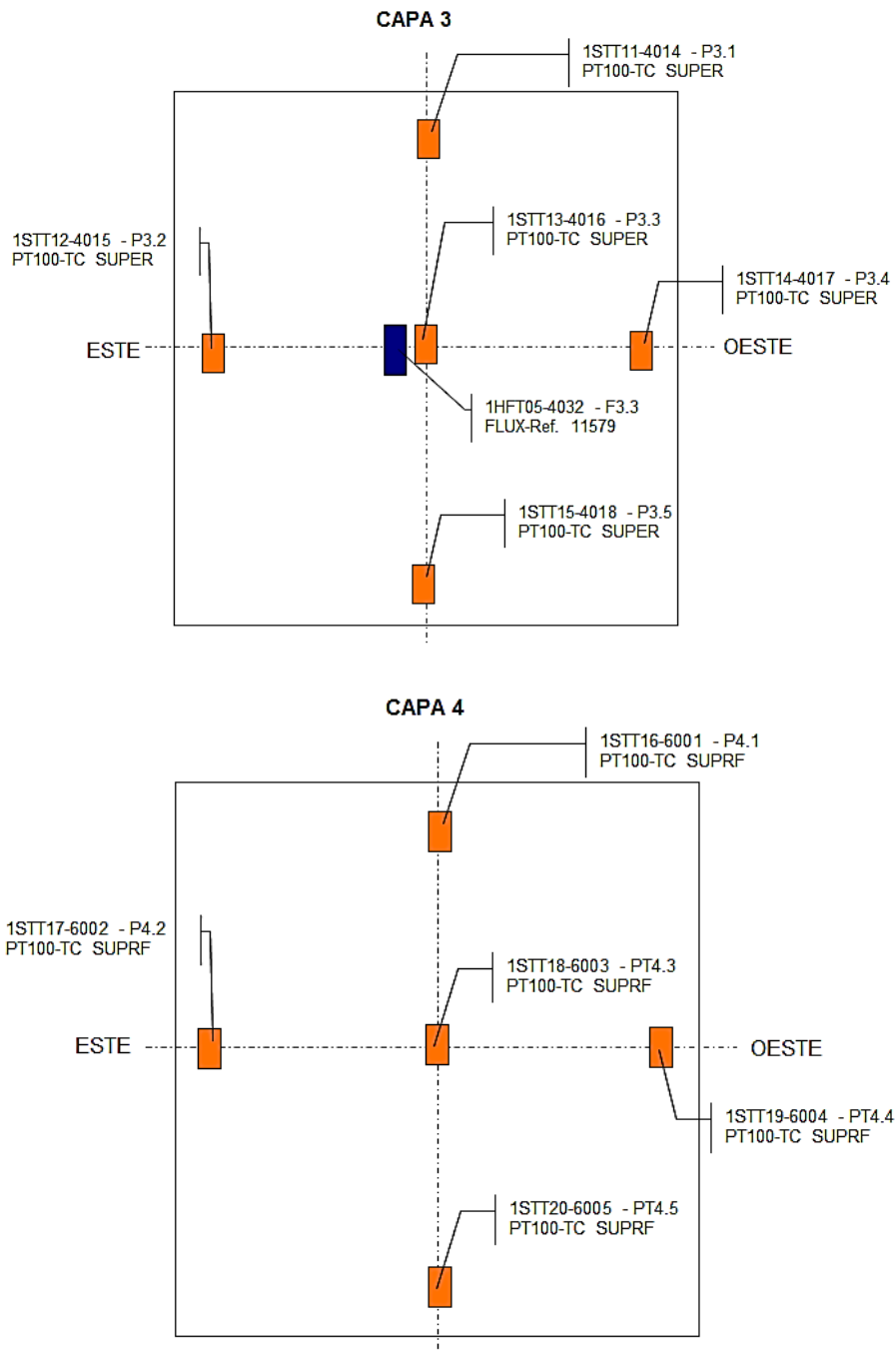


Figura C.3 – Disposición de las sondas en las capas de la muestra de muro base

### C.1.2 Datos experimentales complementarios

A continuación se recogen los datos complementarios del ensayo que se realiza sobre la muestra de muro base y que no se indican en la Memoria debido a su extensión. En la Figura C.4 se muestran las temperaturas de control del entorno de la sala de ensayos. Por un lado, las temperaturas de aire en cubierta y suelo de la celda, así como la registrada por la estación meteorológica situada a 10 [m] de altura. También se

muestran la temperatura de aire de la sala de servicio junto con la temperatura superficial de la pared de acceso a la sala de ensayos.

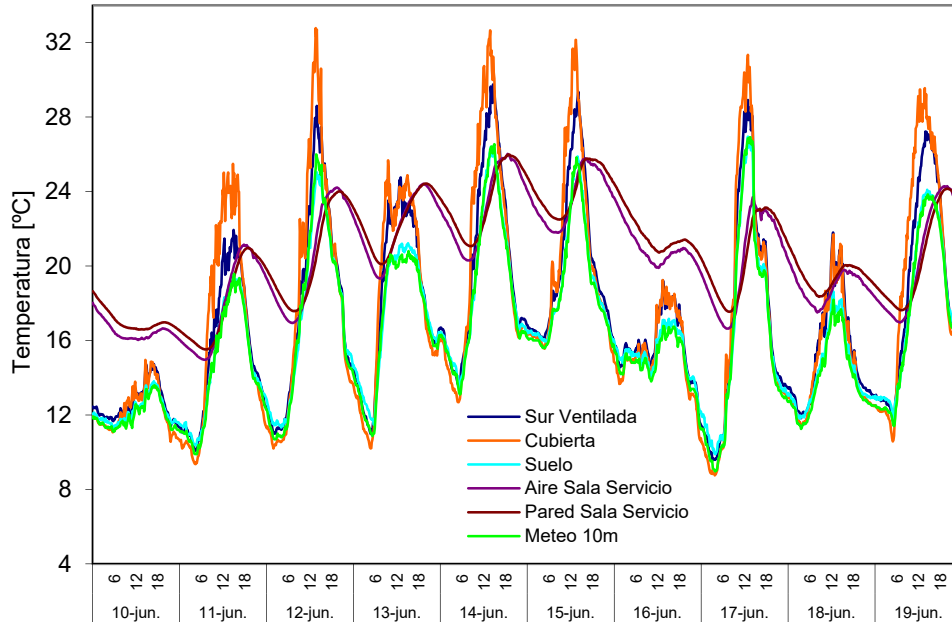


Figura C.4 – Temperaturas del entorno de la celda durante el ensayo del muro base

En la Figura C.5 y en la Figura C.6 se muestran las temperaturas registradas por las sonda de aire y de superficie en la sala de ensayos. La media de estas sondas se emplean para determinar la temperas empleadas en los modelos para representar el comportamiento de la celda.

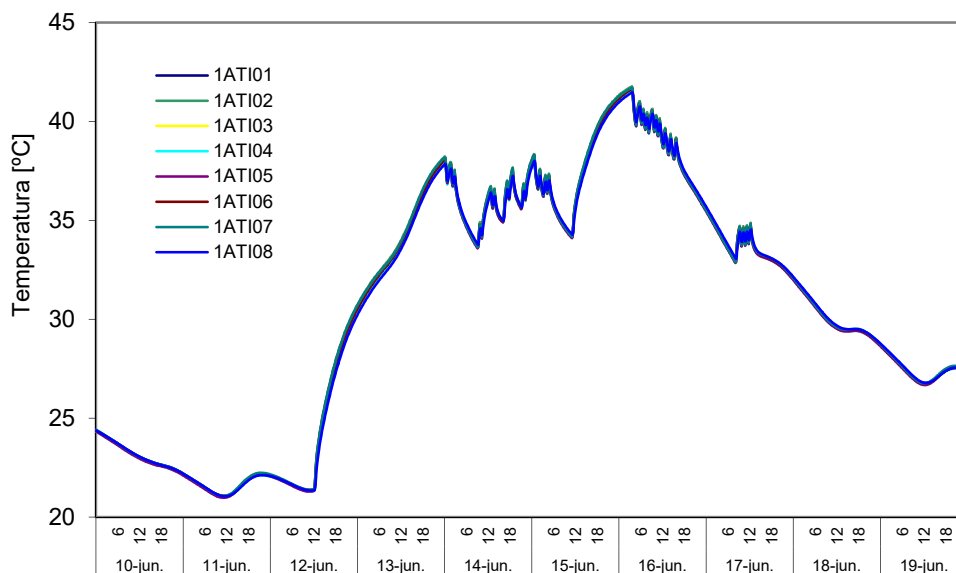


Figura C.5 – Temperaturas de aire en la sala de ensayo durante el ensayo del muro base



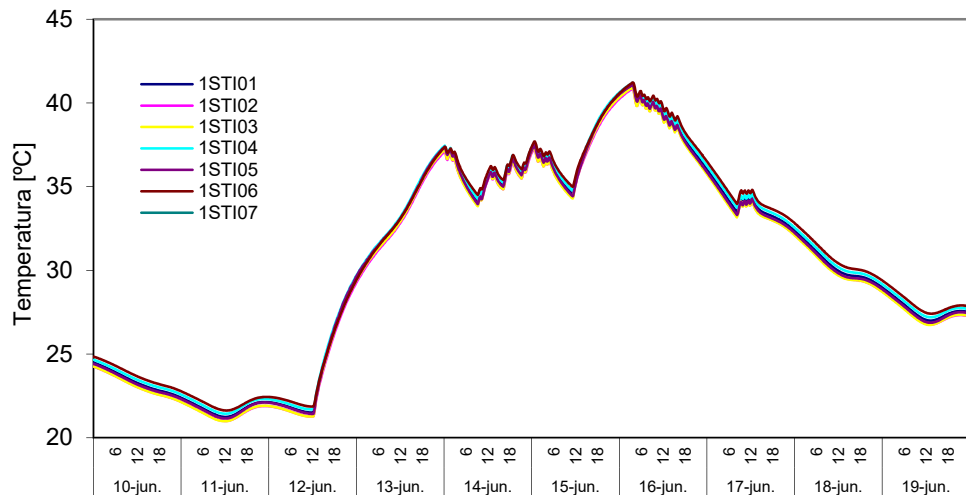


Figura C.6 – Temperaturas de superficie en la sala de ensayo durante el ensayo del muro base

En la Figura C.7 y Figura C.8 se muestran los flujos de calor que registra cada grupo de tiles de la envolvente de la sala de ensayos.

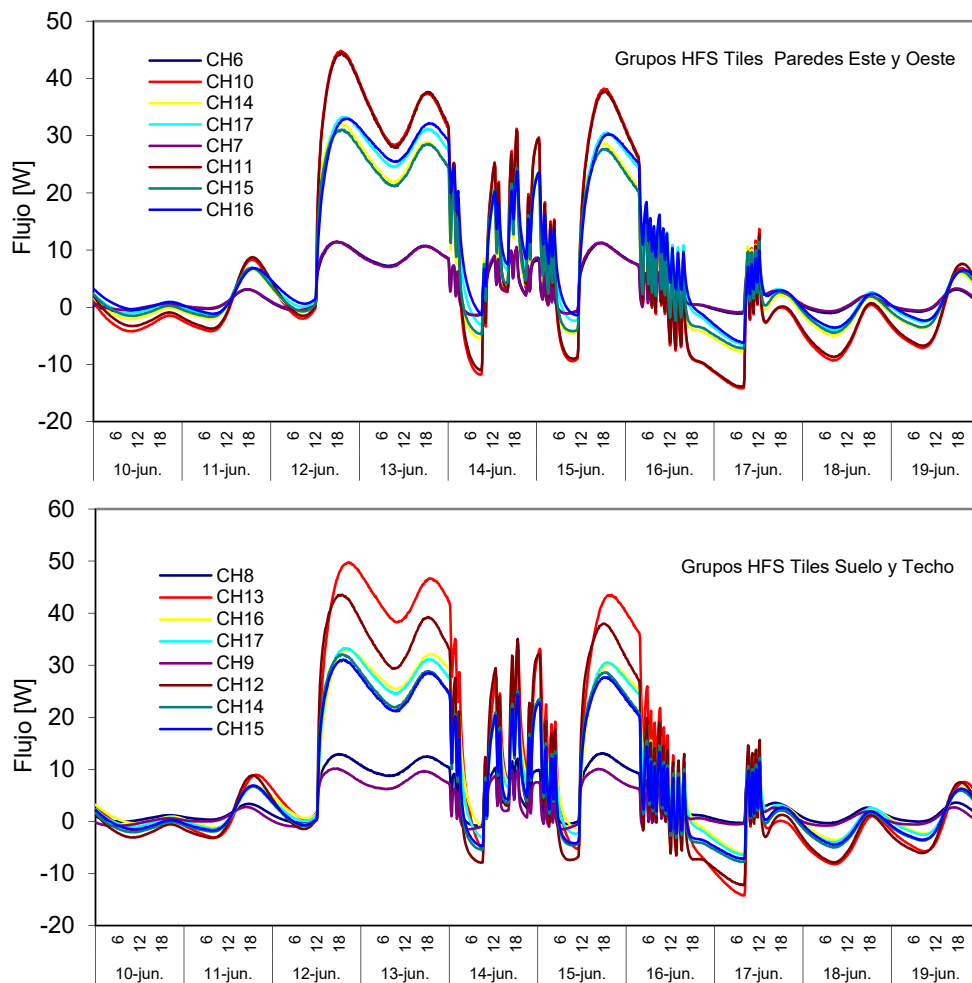


Figura C.7 – Flujos de calor medidos por los grupos de tiles durante el ensayo del muro base

En la Figura C.8 y en la Figura C.9 se muestran las señales de los sensores de las multitiles situadas en los grupos de borde de referencia. Estos flujos permiten determinar, para cada instante, los factores de corrección de las lecturas de flujo en dichas zonas donde el flujo es bidimensional.

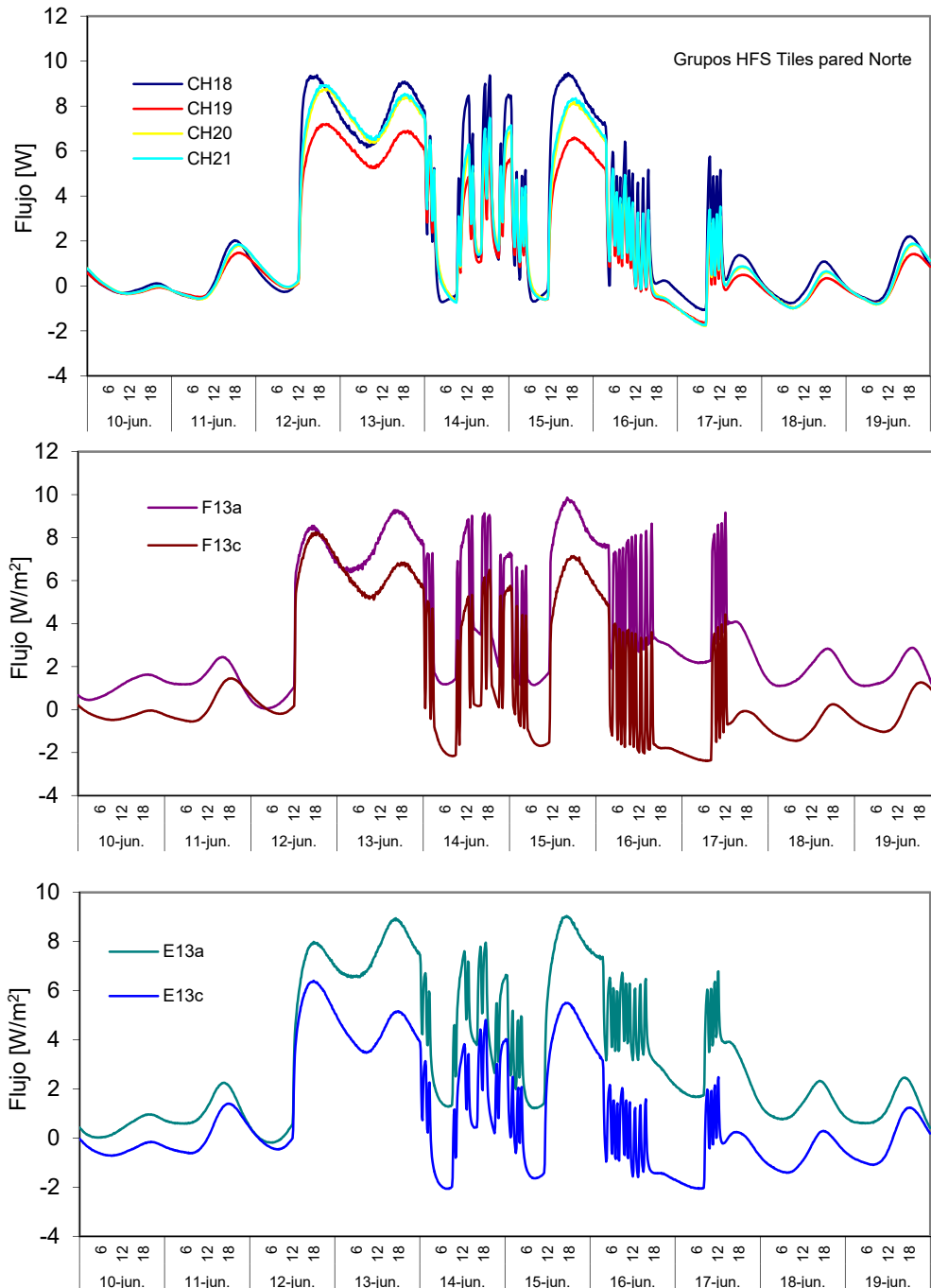


Figura C.8 – Flujos de calor medidos por las multitiles las durante el ensayo del muro base

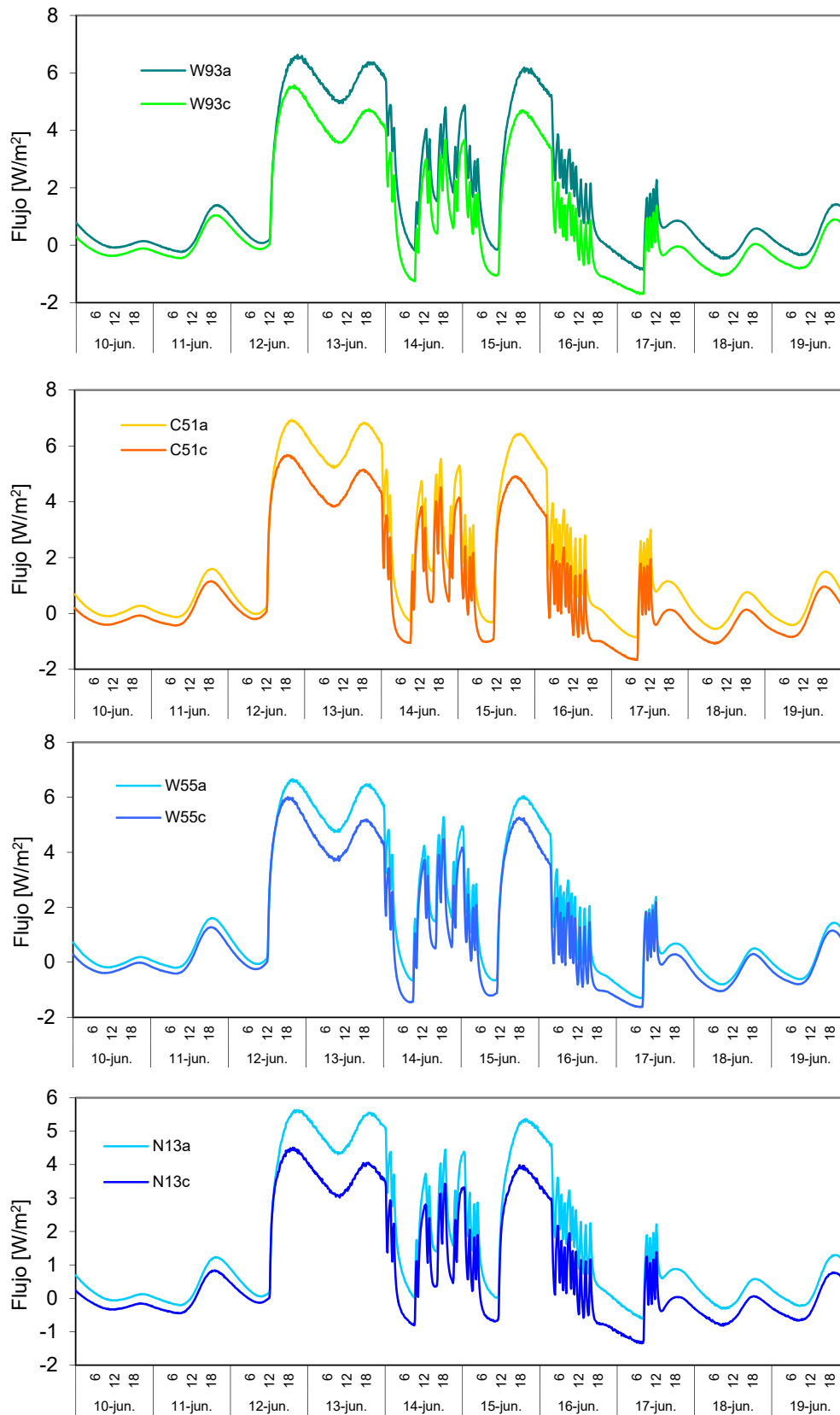


Figura C.9 – Flujos de calor medidos por las *multitiles* las durante el ensayo del muro base

En las Figuras C.10 y Figuras C.11 se muestran las lecturas de cada sonda de temperatura instalada en las diferentes capas de la muestra de muro base.

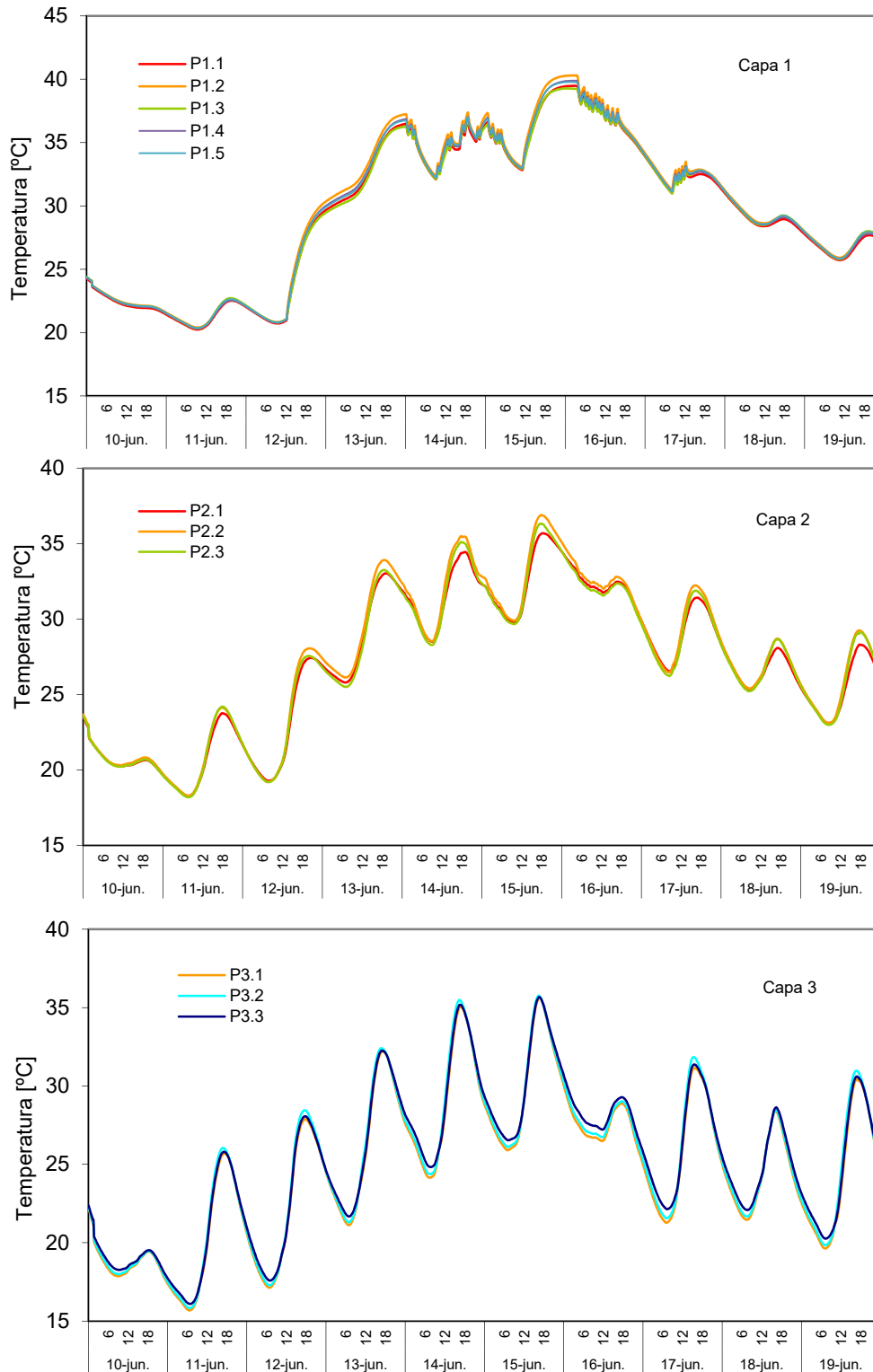


Figura C.10 – Temperaturas en cada capa durante el ensayo del muro base

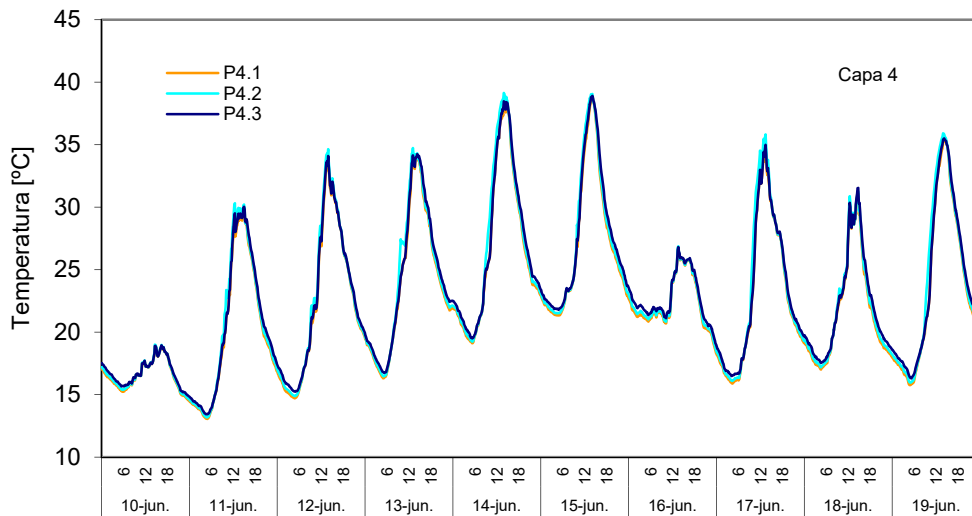


Figura C.11 – Temperaturas en cada capa durante el ensayo del muro base

## C.2 Muro base con aislamiento

La colocación del aislamiento sobre la superficie exterior es sencilla y directa. A continuación se muestran los datos de instrumentación añadida sobre la probeta y los datos experimentales complementarios para obtener las variables de análisis mostradas en la Memoria.

### C.2.1 Instrumentación de la muestra

En la Figura C.12 se muestra el esquema de montaje del aislante rematado por una capa de mortero con malla de tracción. En la Tabla C.2 se indica la instrumentación total instalada en la probeta.

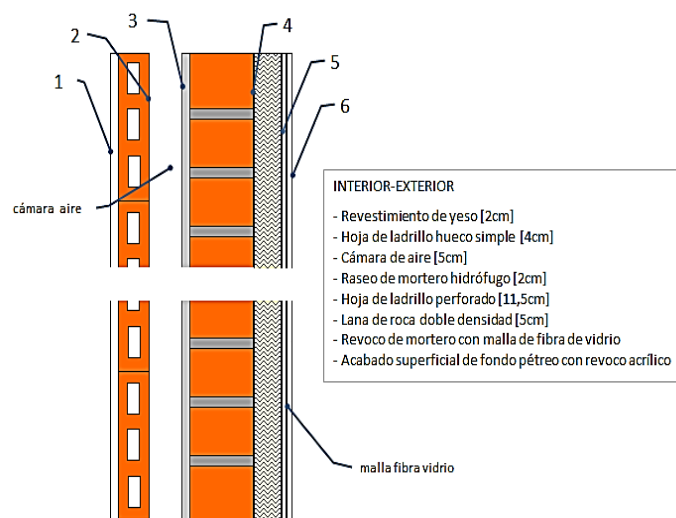


Figura C.12 – Solución constructiva del SATE aplicado al muro base

	MAGNITUD	CARACTERÍSTICAS	Nº SENSORES				
			CAPA 1	CAPA 2-3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6
MURO BASE +SATE	Temperatura	PT100, clase A, conexión 4 hilos	5	5			5
	Temperatura	Termopar tipo T			5	5	
	Flujo de calor	Ahlborn FQA-0801-H	3	1	2	2	

Tabla C.2 – Sensores instaladas en la probeta del muro base y en el muro aislado

En total se instalan 30 sondas de temperatura de las cuales 20 son PT100 y 10 son termopares tipo T. Se emplean termopares en las intercapas en las que la sondas se recubre de mortero, yeso, o algún tipo de masa húmeda que puede dañar la termorresistencia. Además se instalan 8 sensores de flujo de calor. En la Figura C.13 y en la Figura C.14 se muestra la distribución de la instrumentación colocada que difiere de la instrumentación original del muro base ya mostrada.

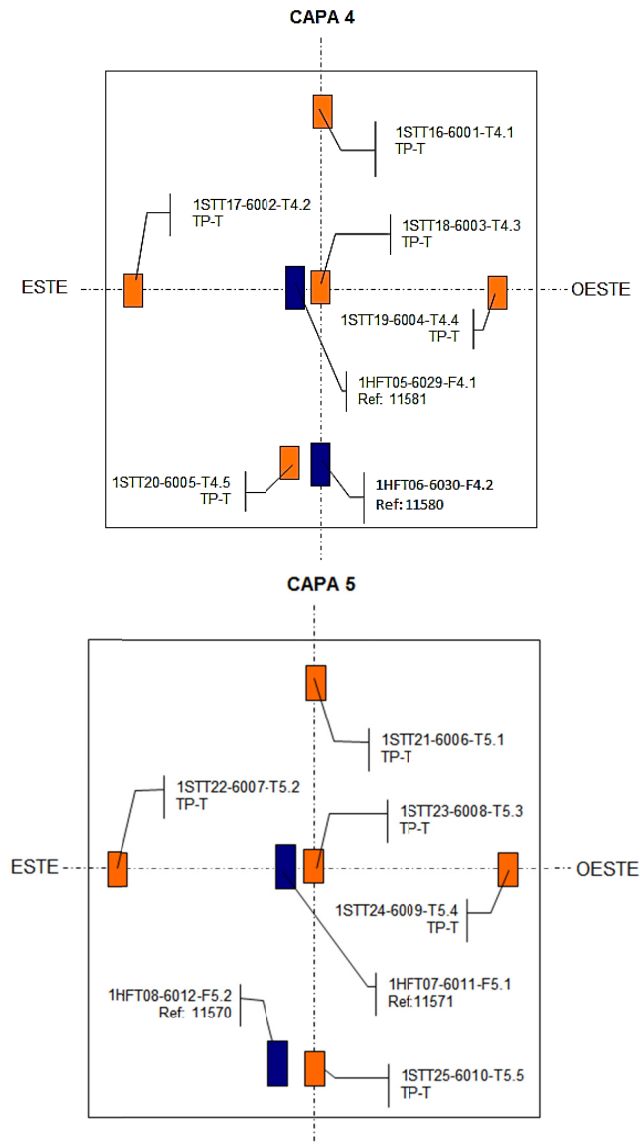


Figura C.13 – Instrumentación añadida al muro base con aislamiento

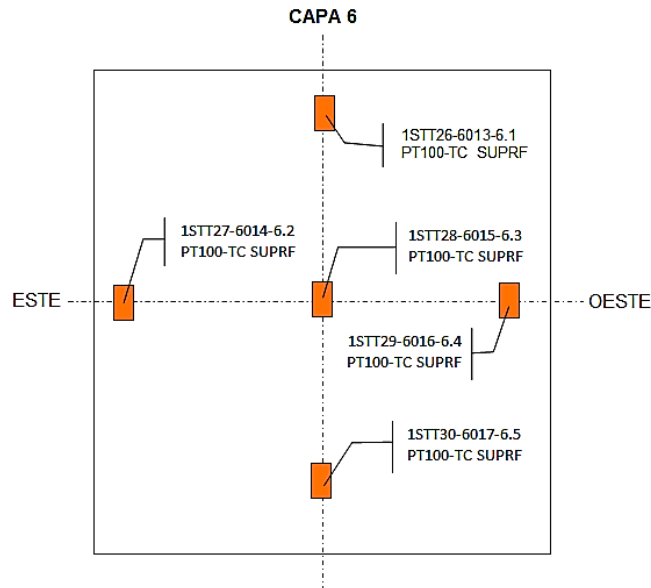


Figura C.14 – Instrumentación añadida al muro base con aislamiento

## C.2.2 Datos experimentales complementarios

Como en el caso del muro base, la caracterización experimental se realiza mediante un único periodo de ensayo. En el presente apartado se muestran los datos complementarios que se registran en el ensayo que no se muestran en la memoria debido a su extensión. En la Figura C.15 y en la Figura C.16 se muestran las temperaturas registradas por las sonda de aire y de superficie en la sala de ensayos. La media de estas sondas se emplean para determinar la temperas empleadas en los modelos para representar el comportamiento de la celda.

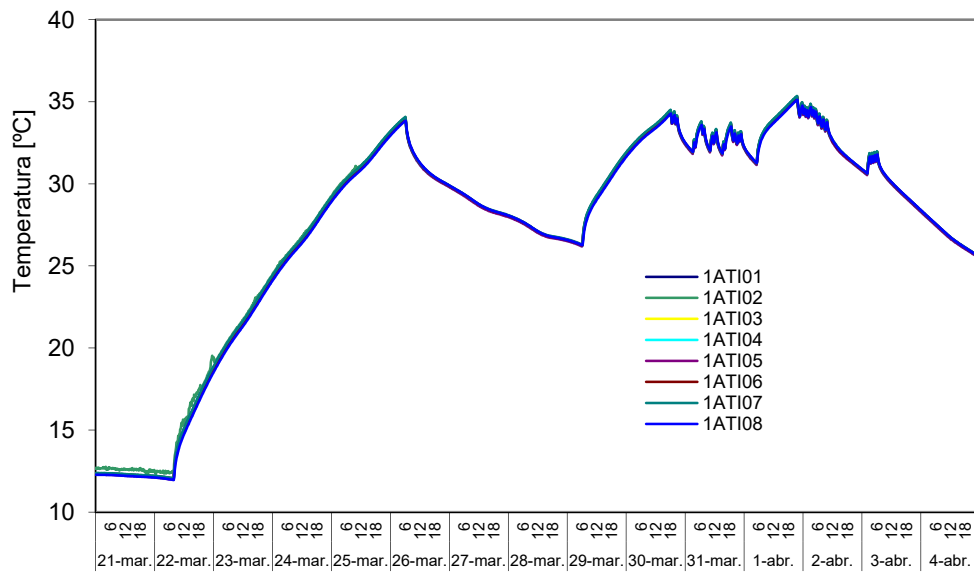


Figura C.15 – Temperaturas de aire en la sala de ensayo durante el ensayo del muro base con aislamiento



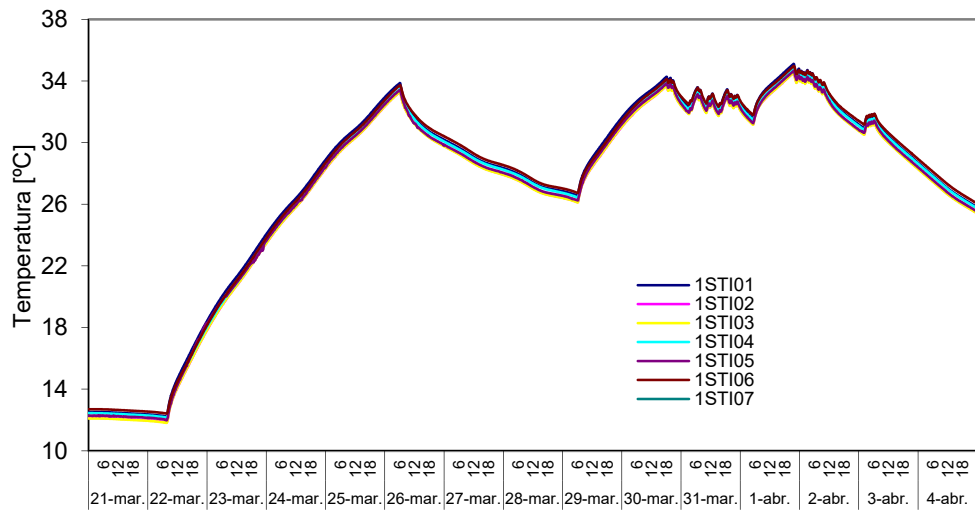


Figura C.16 – Temperaturas superficie envolvente celda durante el ensayo del muro base con aislamiento

En la Figura C.17 y Figura C.18 se muestran los flujos de calor que registra cada grupo de *tilas* de la envolvente de la sala de ensayos.

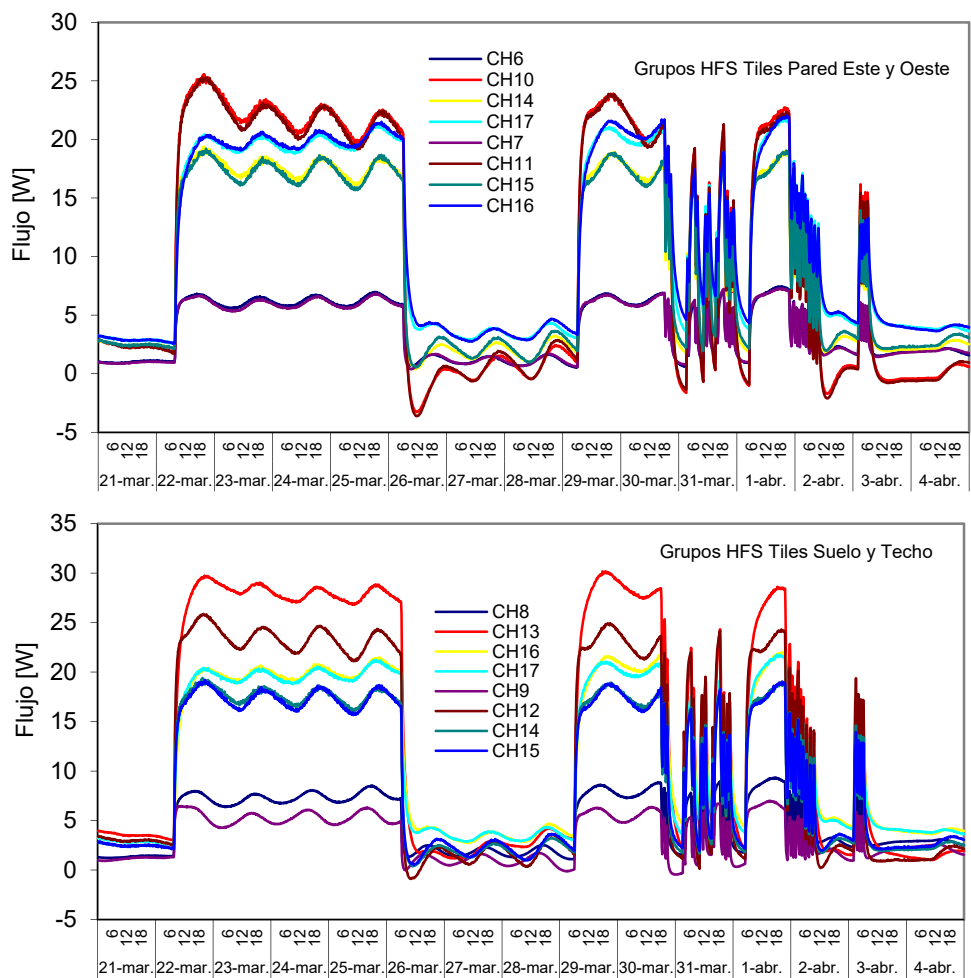


Figura C.17 – Flujos de calor medidos por grupos de *tilas* durante el ensayo del muro base con aislamiento

En la Figura C.18 y en la Figura C.19 se muestran las señales de los sensores de las multitiles situadas en los grupos de borde de referencia.

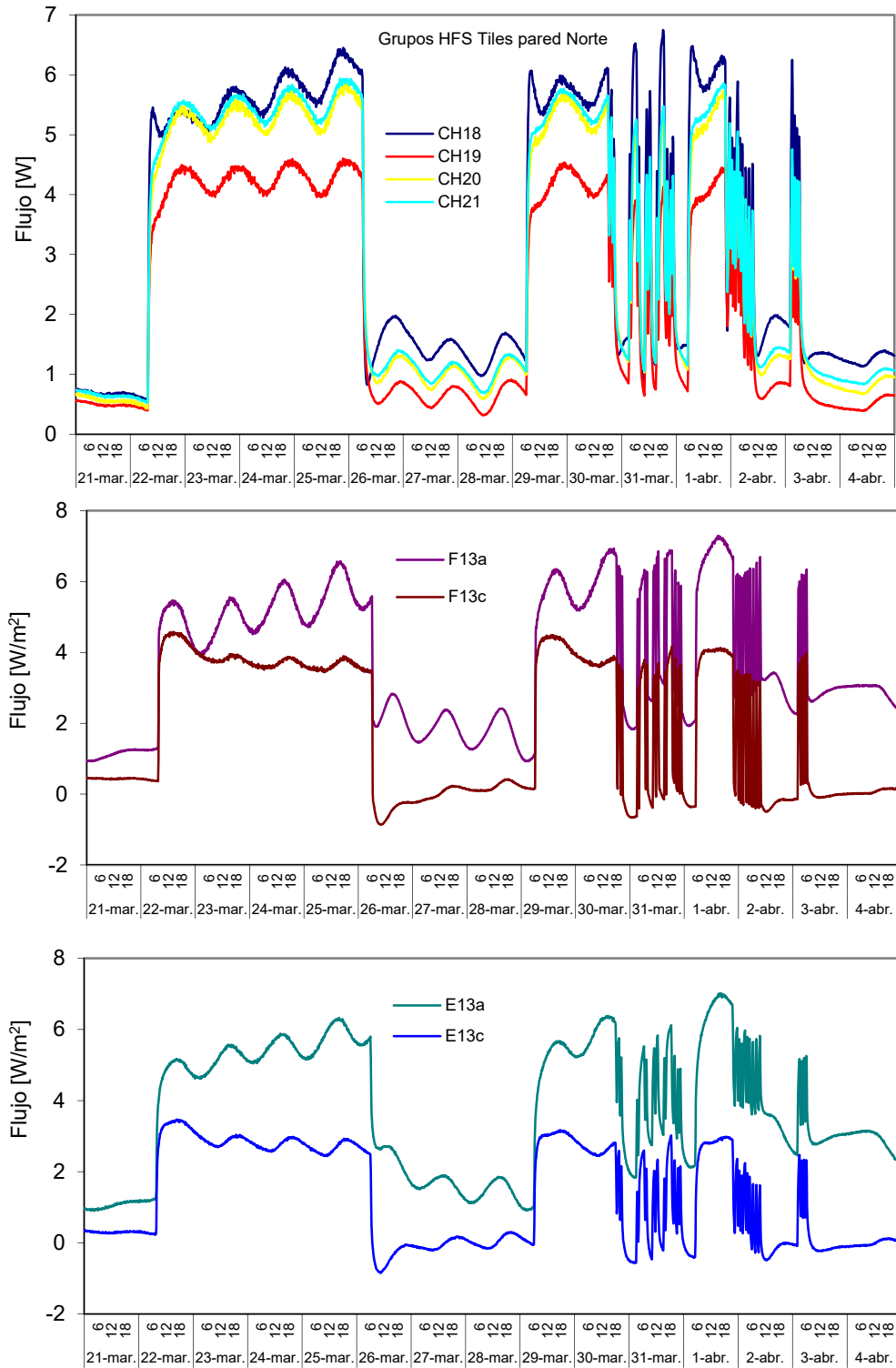


Figura C.18 – Flujos de calor medidos por las multitiles las durante el ensayo del muro base con aislamiento

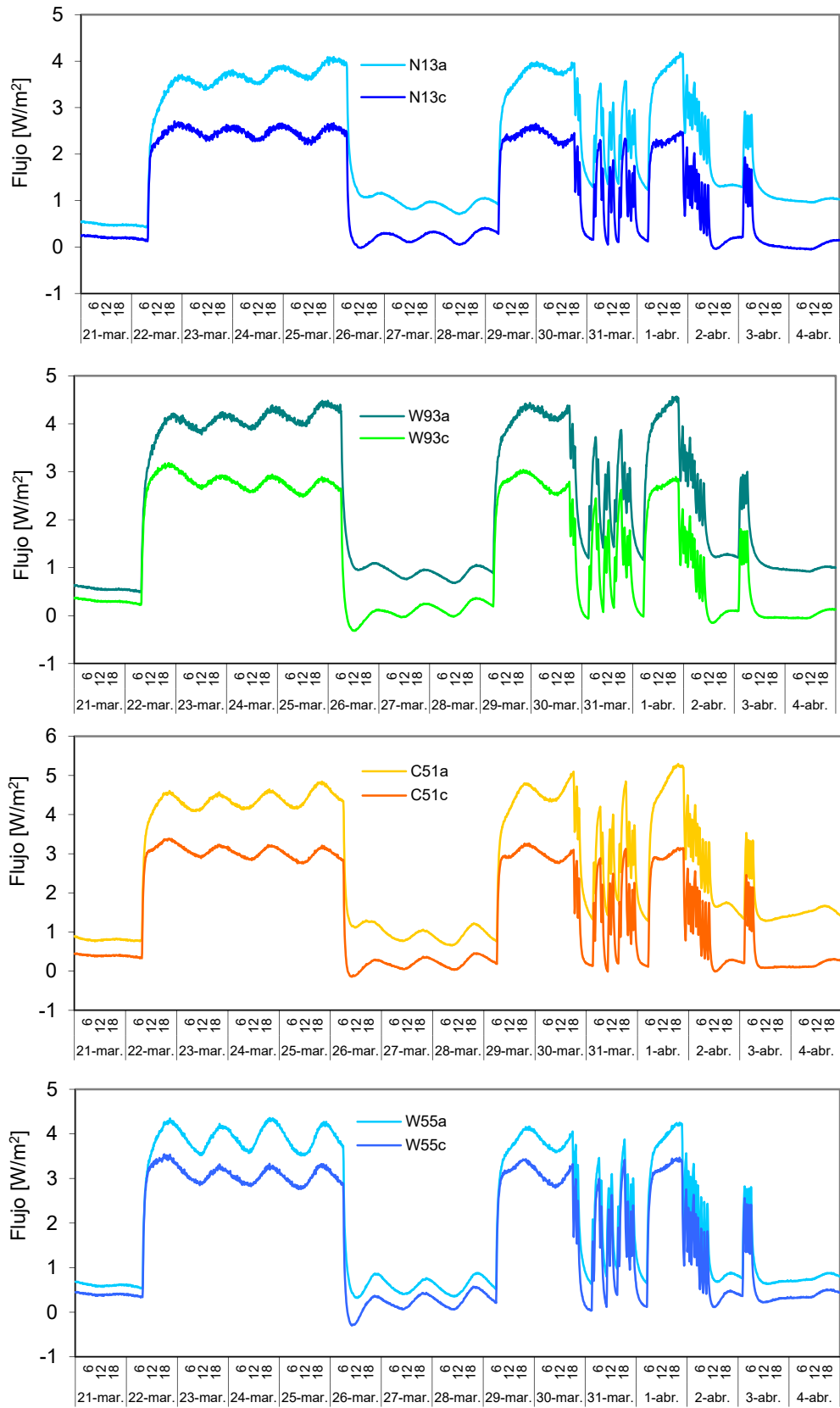


Figura C.19 – Flujos de calor medidos por las *multitiles* las durante el ensayo del muro base con aislamiento

En las Figuras C.20 y Figuras C.21 se muestran las lecturas de cada sonda de temperatura instalada en las diferentes capas de la muestra de muro base con aislamiento.

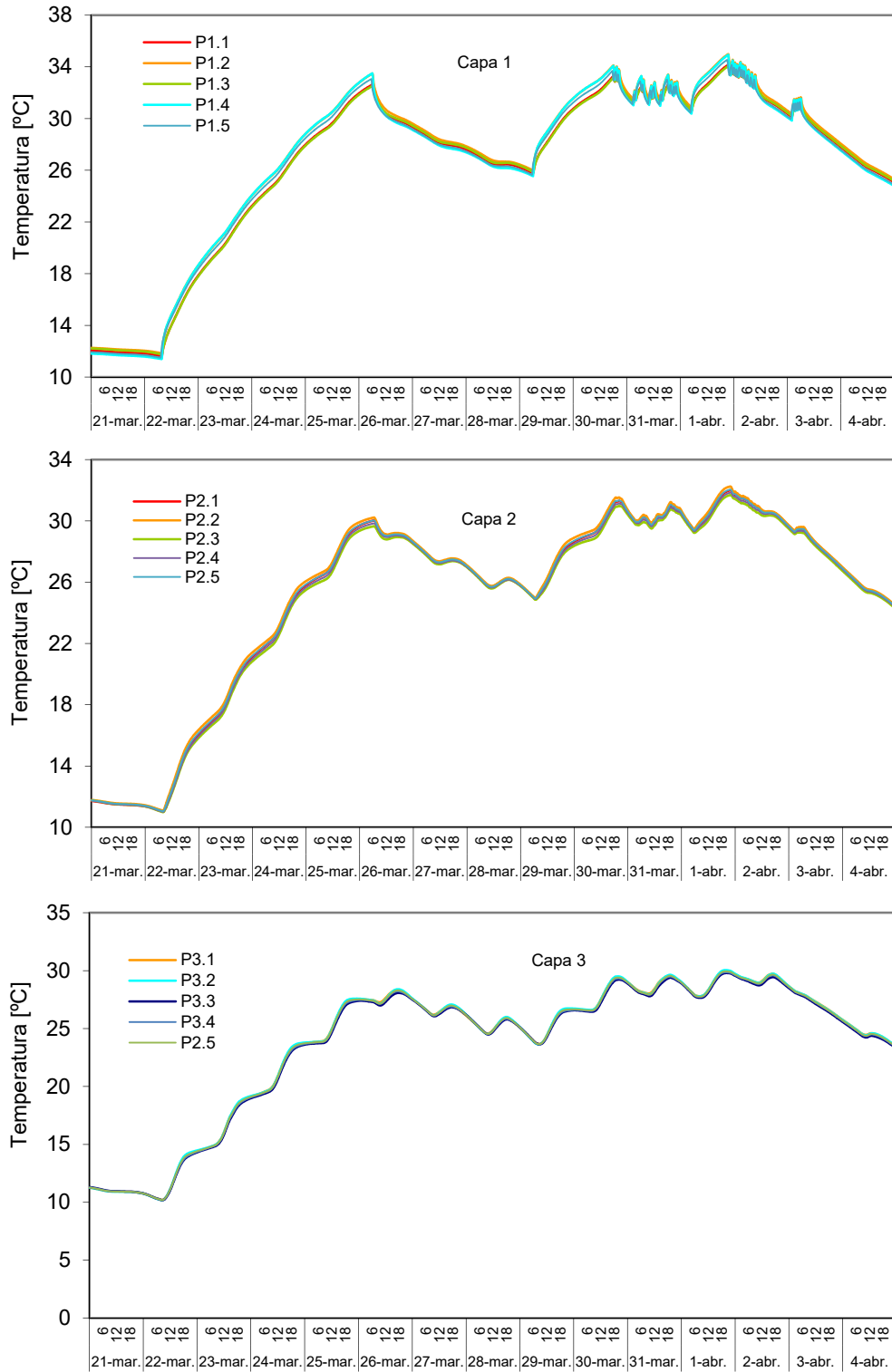


Figura C.20 – Temperaturas en cada capa durante el ensayo del muro base con aislamiento

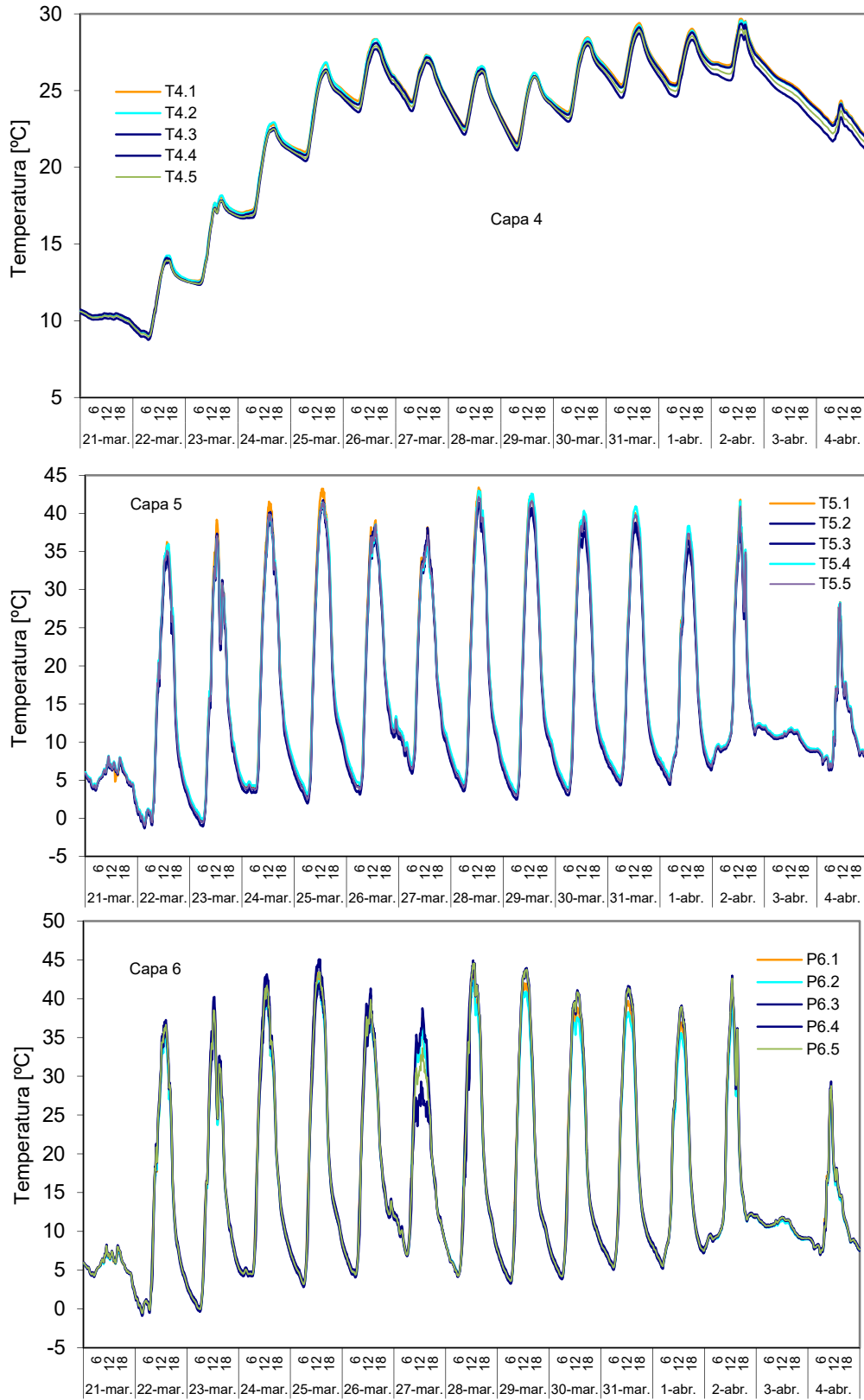


Figura C.21 – Temperaturas en cada capa durante el ensayo del muro base con aislamiento

## C.3 Fachada ventilada ligera

En el caso de las probetas de fachada ventilada la caracterización experimental se complica. La componente activa de la cámara de aire ventilada implica un cambio en el proceso de transmisión de calor asociado a las condiciones del ambiente exterior. Por esta razón, se modifica la configuración de las sondas a colocar en la cámara de aire. La decisión del número, tipo y posición de dichas sondas es muy importante de cara a disponer de la información suficiente como para modelizar adecuadamente el comportamiento de la fachada. En este ámbito hay poca información disponible, por esa razón se han realizado simulaciones previas mediante modelos de CFD para determinar la posición idónea de cara a poder registrar los puntos más representativos de proceso de convección empleando la instrumentación mínima necesaria, ya que emplear muchas sondas complica el proceso de medida y adquisición y aumenta las probabilidades de fallos en el sistema. Por otro lado, se realizan dos periodos de ensayos, el primero se puede emplear para el proceso de modelado de los fenómenos de transmisión de calor en la cámara ventilada, y el segundo periodo como verificación de la validez de dichos modelos, y en su caso, reajustar las divergencias detectadas. Un ejemplo de esta aplicación de contraste se muestra en la Memoria para la fachada ventilada ligera. Además, se aumenta la cantidad de información disponible para futuros estudios en el ámbito de cámaras ventiladas. A continuación se indican la instrumentación empleada en la probeta y los datos correspondientes al periodo de contraste que no se recogen en el documento de la Memoria debido a su extensión.

### C.3.1 Instrumentación de la muestra

En la Figura C.22 se muestra el esquema de capas que configuran la muestra de fachada ventilada ligera. Hasta la capa 4 la configuración es idéntica a la del muro base con aislamiento, ver Tabla C., y para el resto de capas nuevas, los esquemas de colocación de las sondas se muestran en la Figura C.23, en la Figura C.24 y en la Figura C.25.

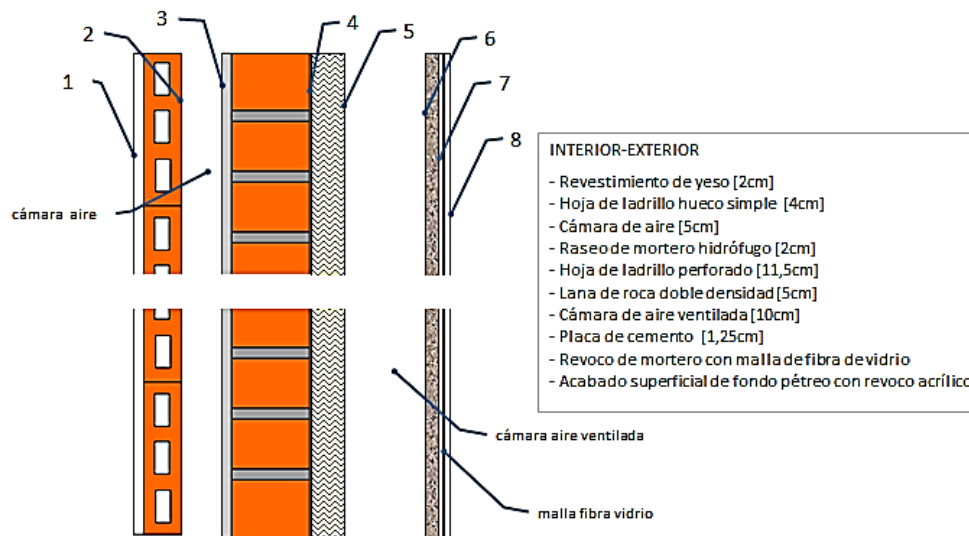


Figura C.22 – Solución constructiva de la fachada ventilada ligera

	MAGNITUD	CARACTERÍSTICAS	Nº SENSORES						
			CAPA 1	CAPA 2-3	CAPA 4	CAPA 5-6	CAPA 7	CAPA 8	CA
MURO BASE + FV L	Temperatura	PT100, clase A, conexión 4 hilos	5	5		6		6	6
	Temperatura	Termopar tipo T			5		6		
	Flujo de calor	Ahlborn FQA-0801-H	3	1		3			
	Velocidad aire	Ahlborn FVA-605-TA-1							4

Tabla C.3 – Sensores instalados en la probeta de fachada ventilada ligera

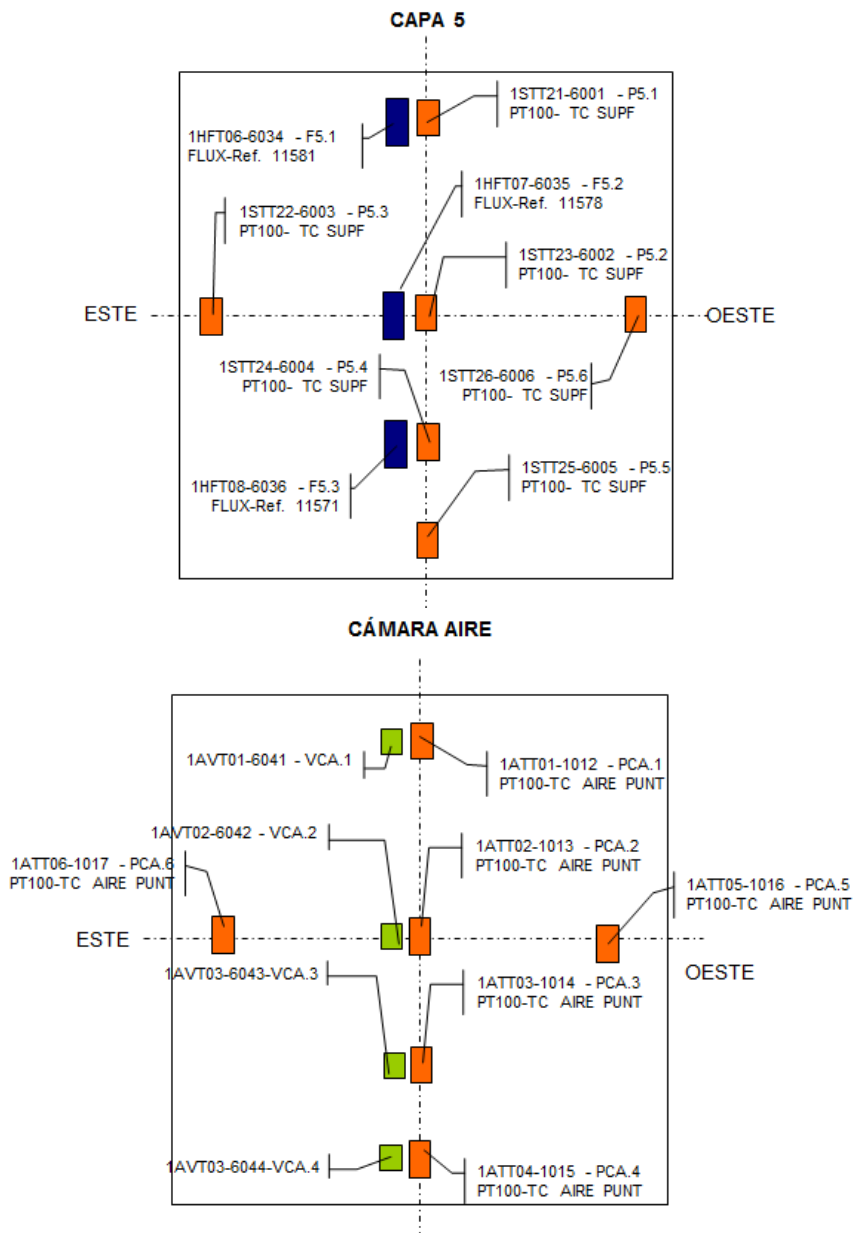


Figura C.23 – Esquema de montaje de las sondas en la muestra de fachada ventilada ligera



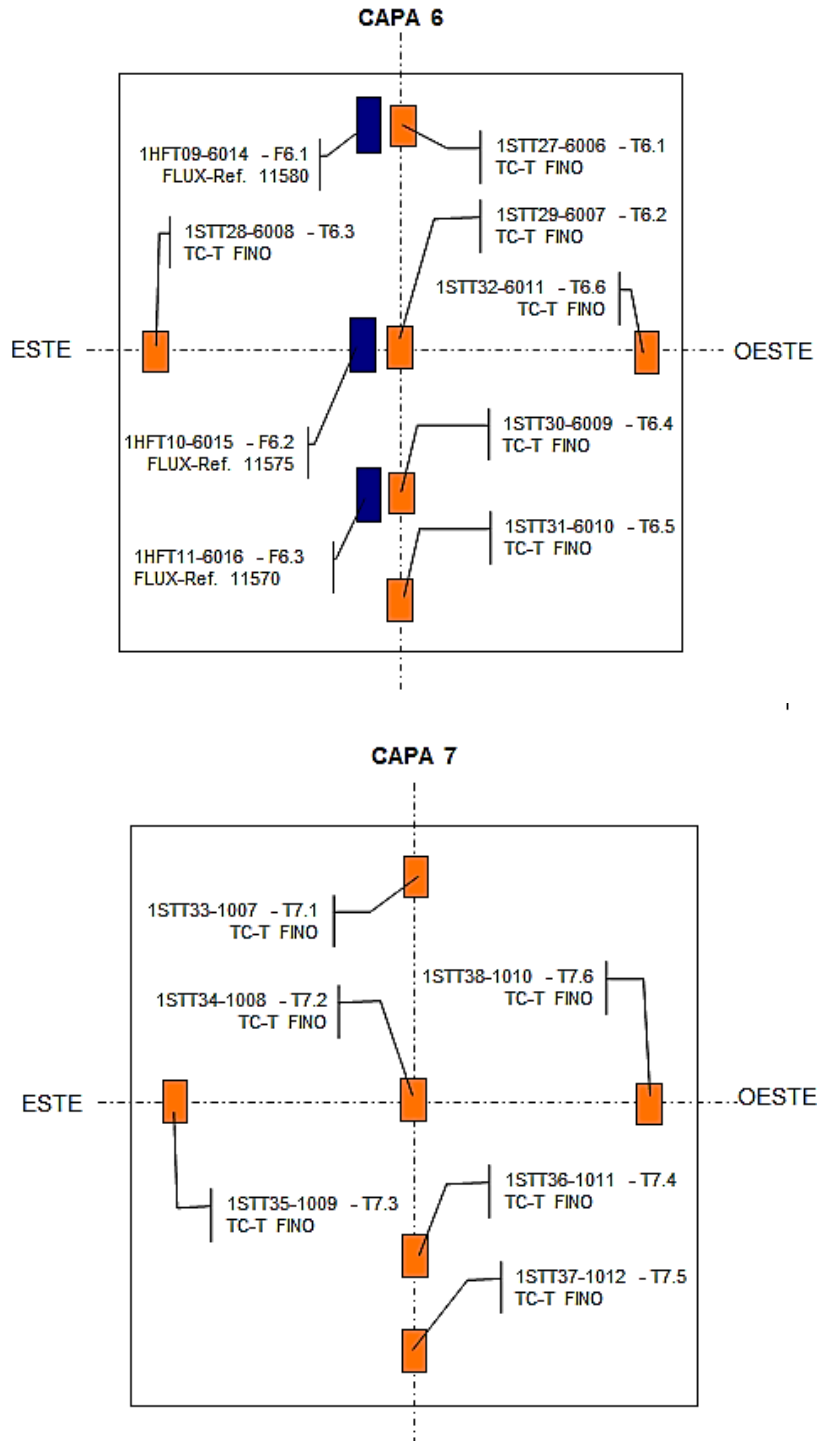


Figura C.24 – Esquema de montaje de las sondas en la muestra de fachada ventilada ligera

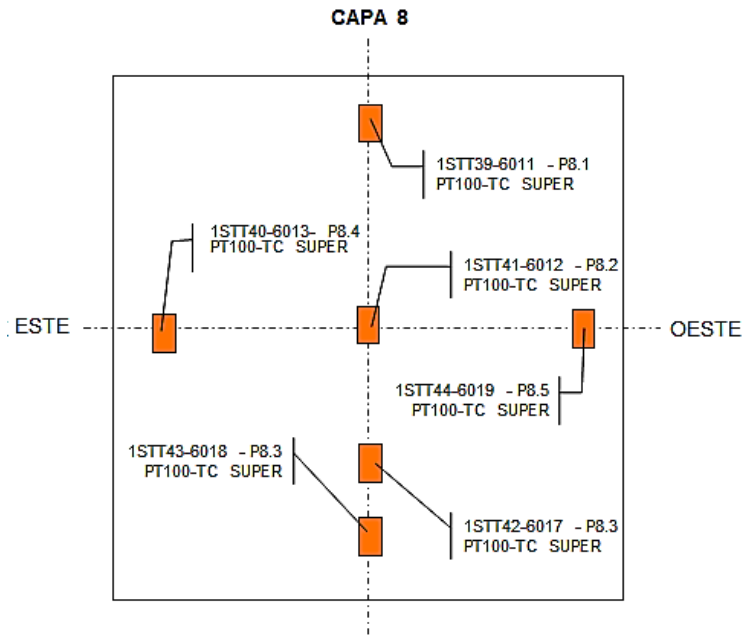


Figura C.25 – Esquema de montaje de las sondas en la muestra de fachada ventilada ligera

### C.3.2 Datos experimentales ensayo de contraste

En la Figura C.26 y en la Figura C.27 se recogen los datos correspondientes a las condiciones ambientales durante el periodo de ensayo de contraste.

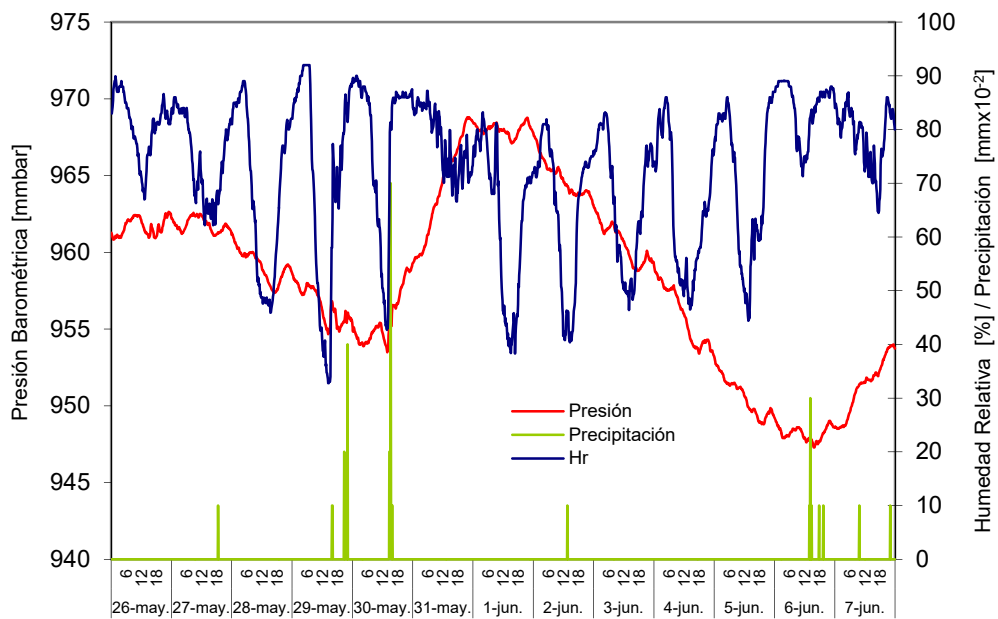


Figura C.26 – Condiciones ambientales en el ensayo de la fachada ventilada ligera periodo de contraste

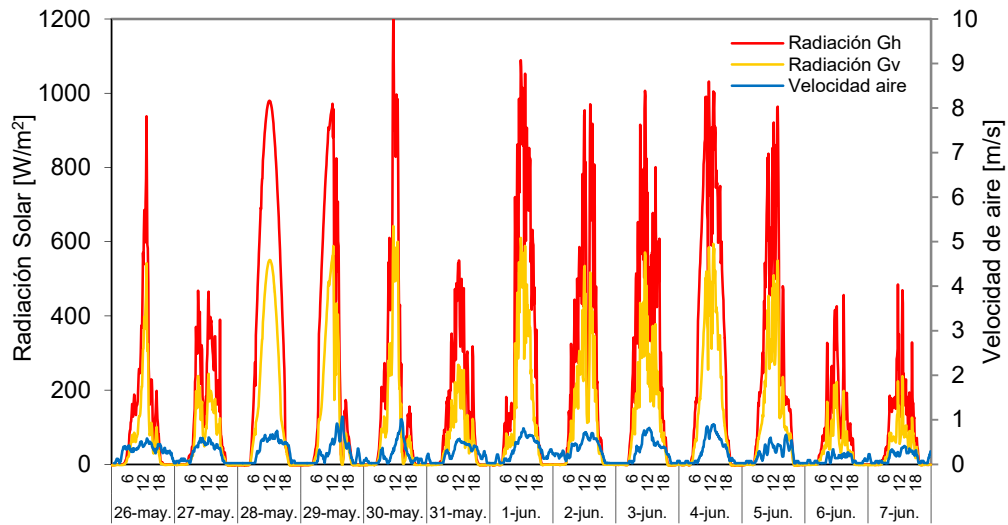


Figura C.27 – Radiación solar y velocidad de viento durante el ensayo de la fachada ventilada ligera

En la Figura C.28 se muestra la potencia inyectada en la sala de ensayo mediante la rutina de control y la evolución de las temperaturas interiores respecto a la temperatura de ambiente.

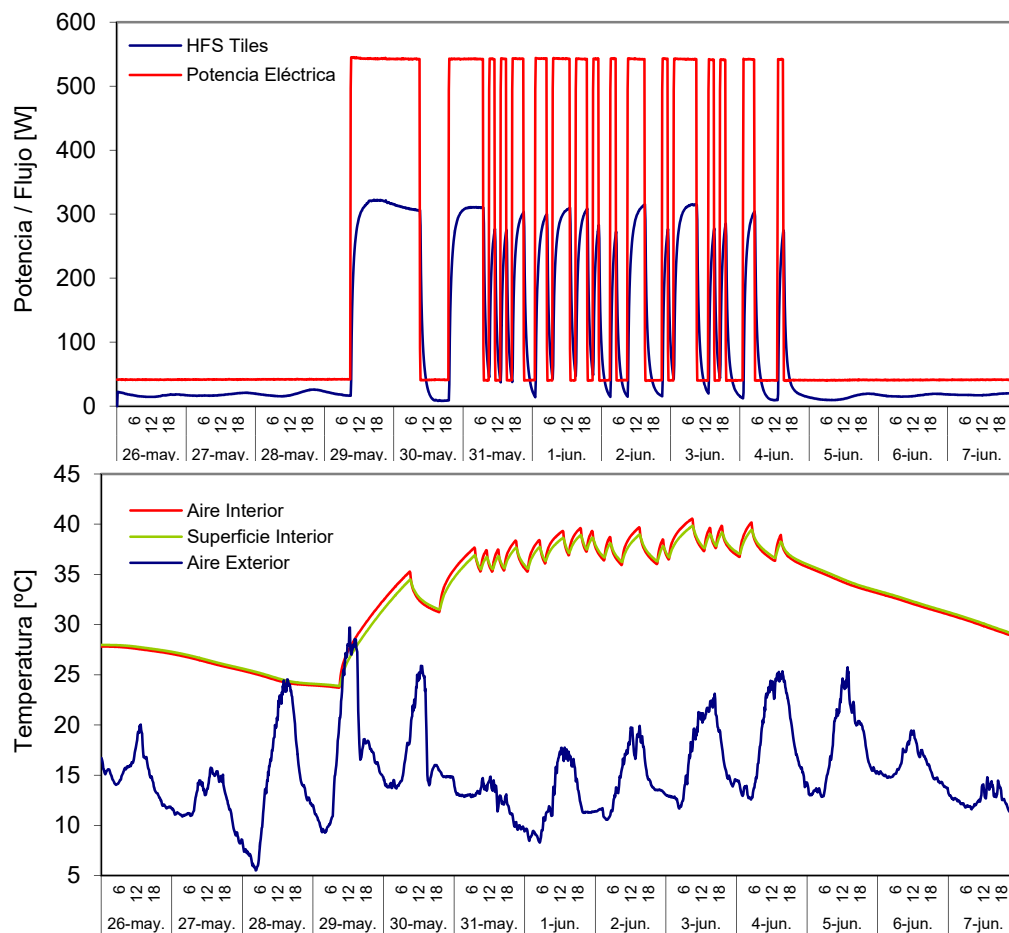


Figura C.28 – Condiciones de la sala de ensayo para la fachada ventilada ligera en el periodo de contraste

Para el periodo de contraste se modifica la rutina de ensayo, en este caso se aplica la rutina PRBS, de esta se dispone de más información sobre el comportamiento de la fachada ventilada, y si el modelo de convección es sensible al comportamiento en frecuencia de las excitaciones. En la Figura C.29 se verifica la homogeneidad de las temperaturas de aire y superficie interior de la sala de ensayos para el periodo de contraste, así como el cálculo del salto medio de temperaturas entre ambientes.

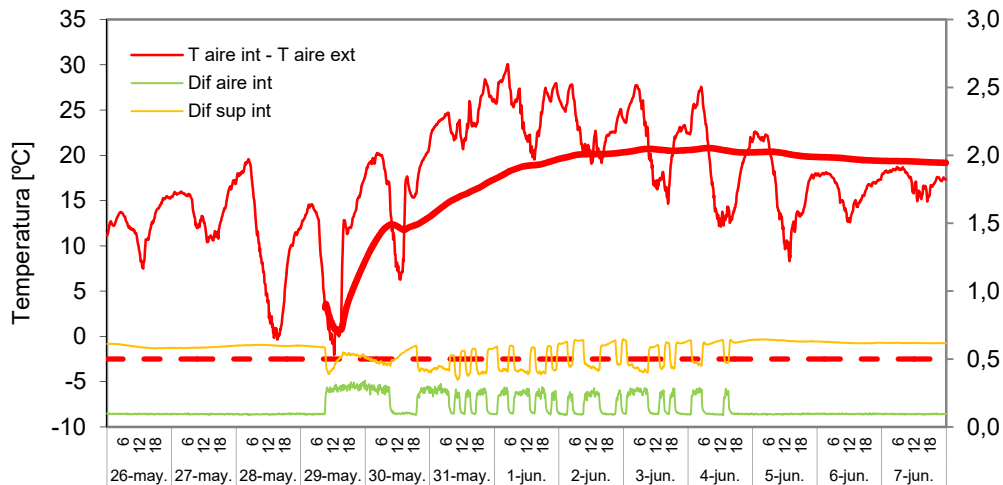


Figura C.29– Salto de temperaturas entre ambientes y homogeneidad de las condiciones en la sala de ensayo para la fachada ventilada ligera en el periodo de contraste

En la Figura C.30 se muestran las temperaturas medias en cada una de las capas de la probeta.

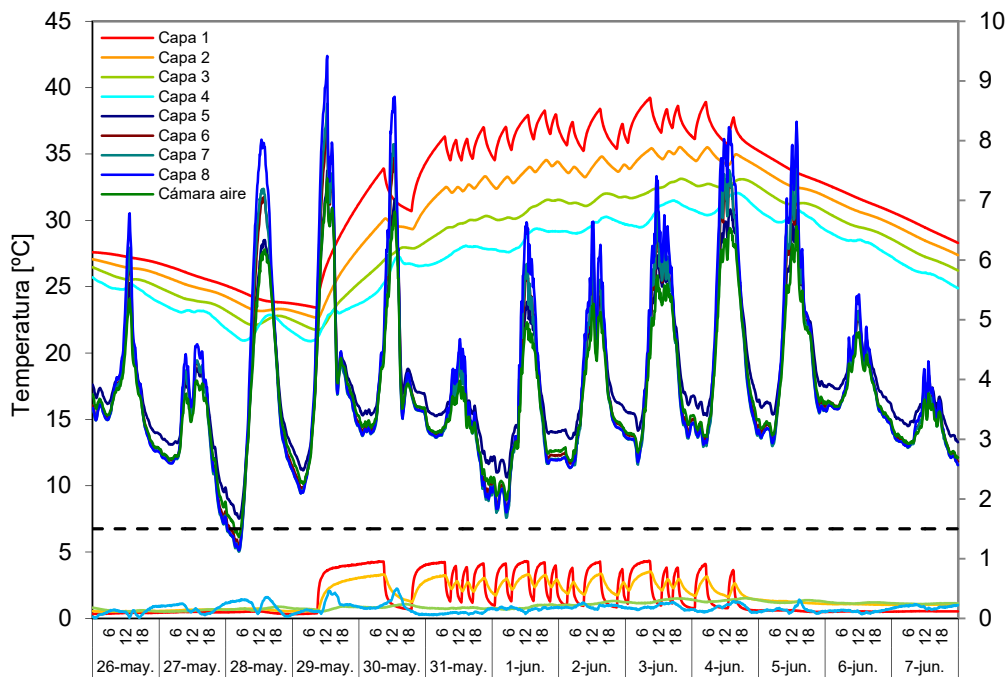


Figura C.30– Temperaturas en la probeta de fachada ventilada ligera

En la Figura C.31 se muestran los flujos puntuales medidos por las fluxímetros colocados en el punto central en las capas de mayor interés de la probeta de fachada ligera. Y en la Figura C.32 se muestran la comparativa de flujos medidos en la superficie interior de la muestra para dicho punto central respecto a flujo medido en las zonas de borde de la probeta. Esta comparativa permite evaluar el efecto de dichas zonas.

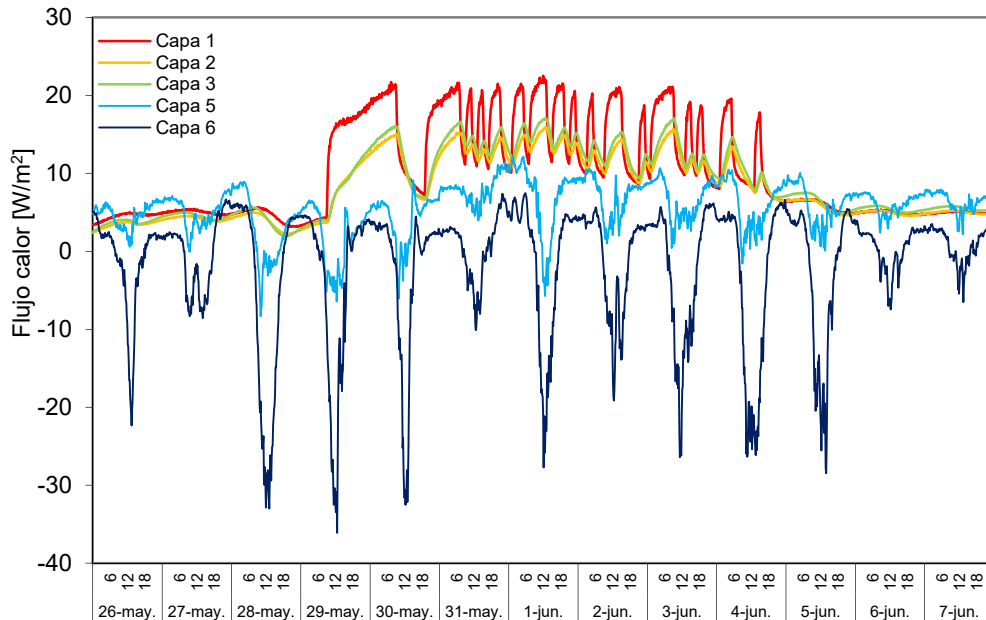


Figura C.31– Flujos de calor puntuales medidos en la zona central de la fachada ventilada ligera para cada una de las capas más representativas durante el periodo de contraste

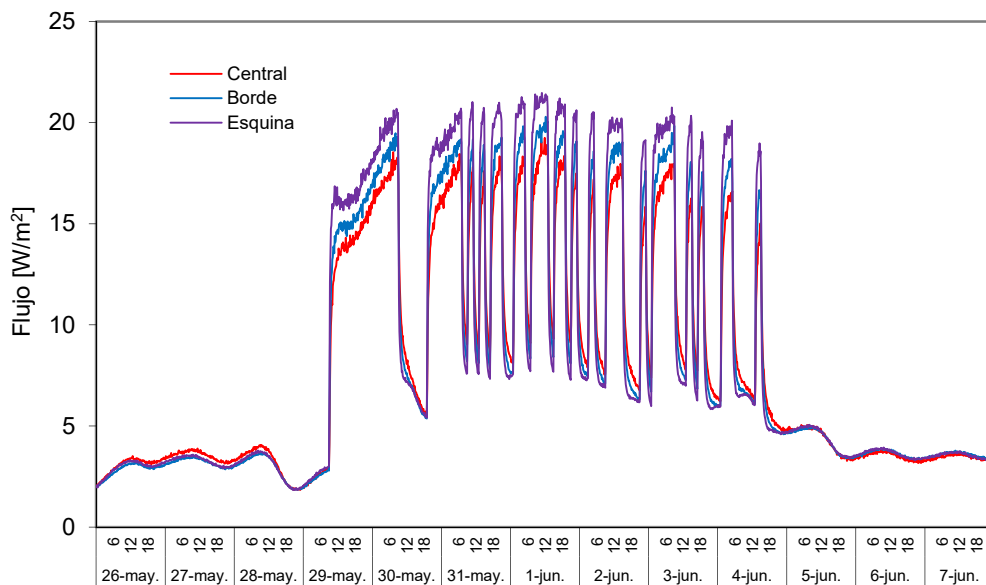


Figura C.32– Flujos superficiales en la cara interior, capa 1, para la muestra de fachada ventilada ligera

En la Figura C.24 se muestra la evolución de temperaturas en altura para la cámara de aire y las superficies que la conforman.

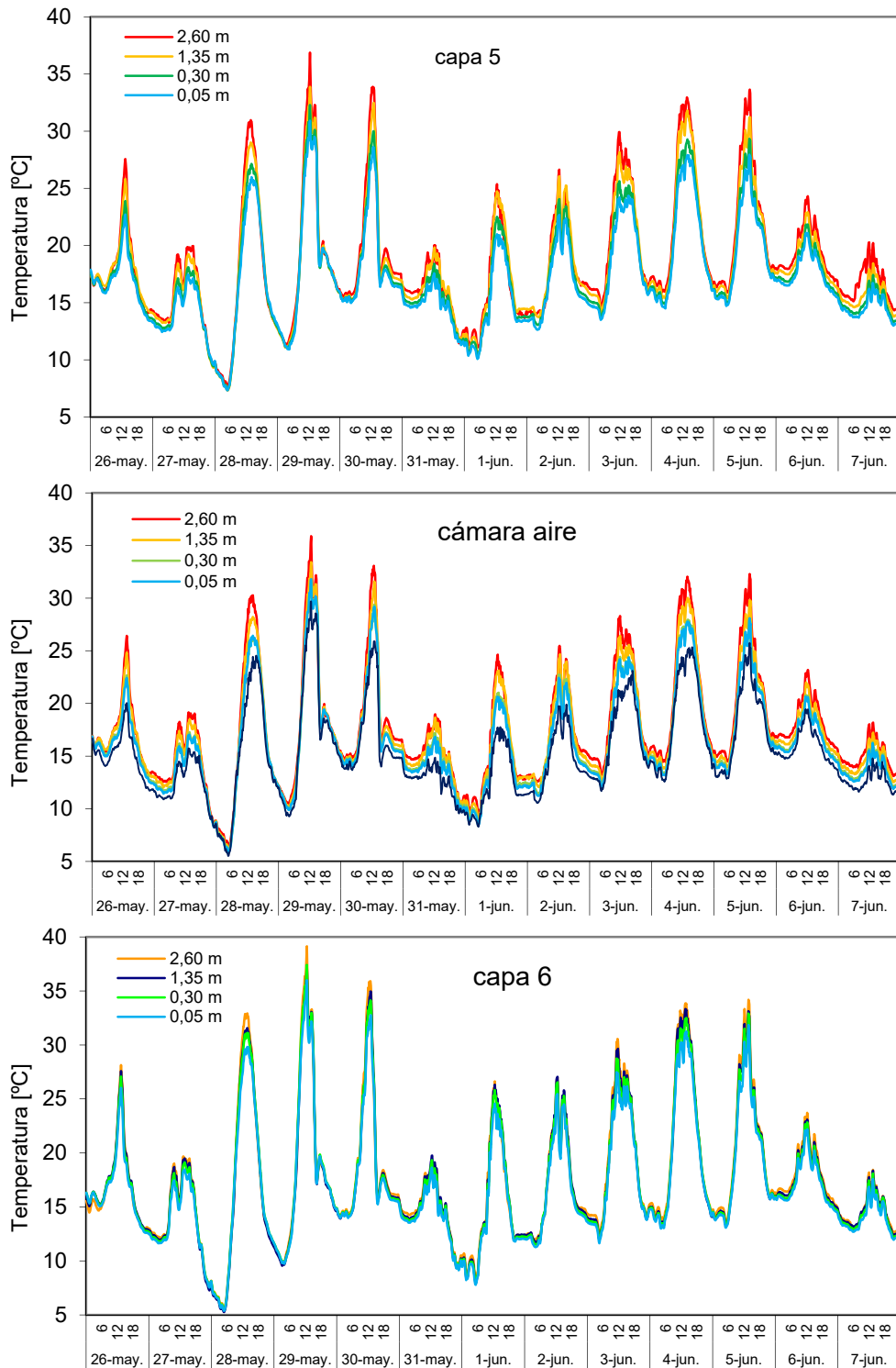


Figura C.24 – Temperaturas en función de la altura en el eje central de la cámara ventilada

En la Figura C.26 se muestra la velocidad de aire medida en la cámara ventilada por los termoanemómetros en función de la altura. En la Figura C.27 se muestran los flujos intercambiados por las superficies que conforman la cámara de aire registrados por los fluxímetros instalados.

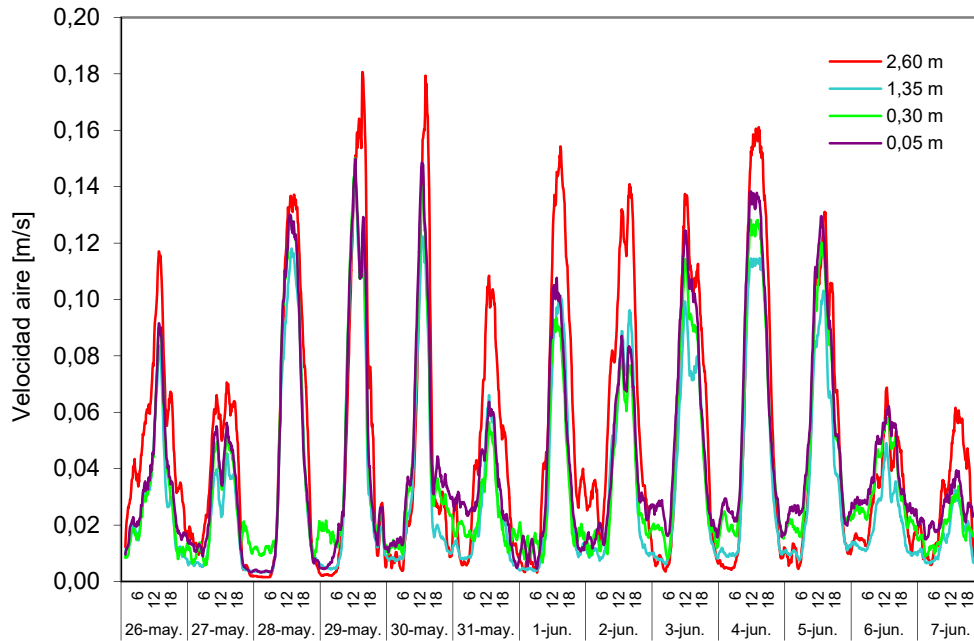


Figura c.25 – Velocidades de aire en la cámara ventilada para el eje central en función de la altura

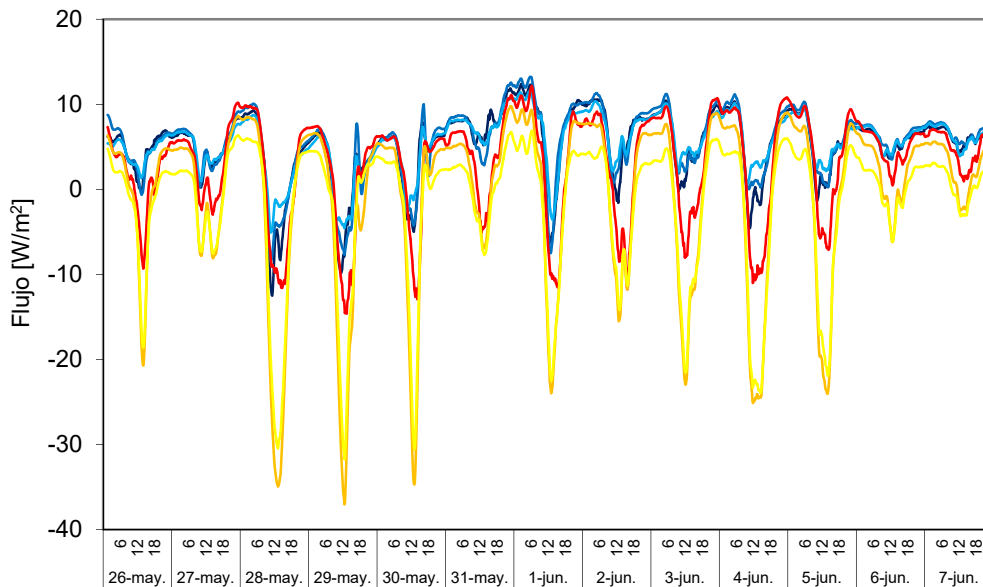


Figura c.26 – Flujos de calor puntuales medidos en las superficies que conforman la cámara ventilada para el eje central en función de la altura



## C.4 Fachada ventilada pesada

De la experiencia adquirida mediante el ensayo de la probeta de fachada ventilada ligera se plantean modificaciones sobre la instrumentación instalada en la muestra de fachada pesada. Un claro ejemplo es el empleo de sondas de medida de diferencia de presión, de cara a caracterizar las pérdidas de carga en las zonas de entrada y salida de la cámara ventilada. Esta variable se ha mostrado de gran necesidad a la hora de ajustar los modelos CFD. Así mismo, se añade al grupo de sondas una termopila para medir con mayor precisión el salto de temperaturas que se produce dentro de la cámara de aire, junto con la medida de la homogeneidad de dicho salto a lo largo de la toda la muestra, lo que permite valorar la fiabilidad de la hipótesis de flujo bidimensional dentro de la probeta. A continuación se muestran los esquemas de instrumentación instalados en la probeta y los datos correspondientes al periodo de contraste realizado.

### C.4.1 Instrumentación de la muestra

En la Figura C.27 se muestra un esquema constructivo de la probeta de fachada ventilada pesada con la descripción de cada capa que la conforma. En la Tabla C.4 se recoge el número y tipología de sensores instalados.

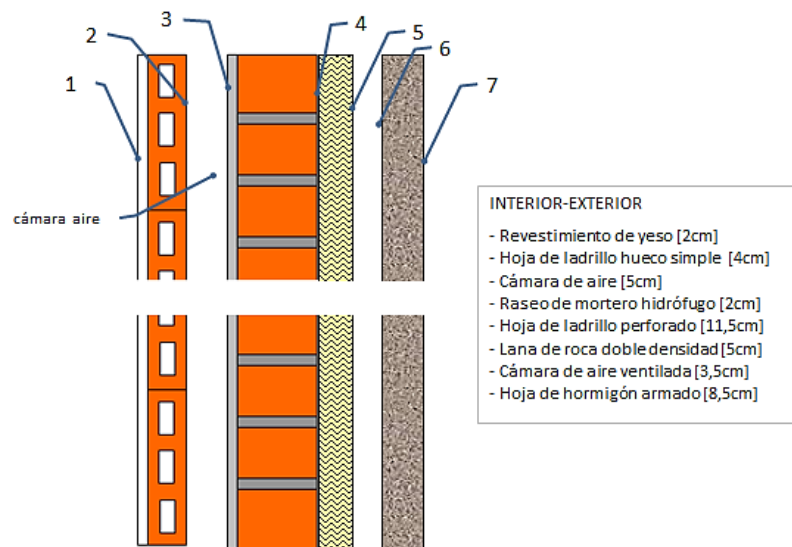


Figura C.27 – Solución constructiva de la fachada ventilada pesada

MAGNITUD	CARACTERÍSTICAS	Nº SENSORES						
		CAPA 1	CAPA 2-3	CAPA 4	CAPA 5-6	CA	CAPA 7	
<b>MURO BASE + FV P</b>	Temperatura	PT100, clase A, conexión 4 hilos	5	5		6	10	5
	Temperatura	Termopar tipo T			5			
	Dif Temperatura	Temopila tipo T 10 puntas					1	
	Flujo de calor	Ahlborn FQA-0801-H	3	1				
	Velocidad aire	Ahlborn FVA-605-TA-1					4	
	Dif Presión	Ahlborn FD8612DPS/APS					3	

Tabla c.4 – Sensores instalados en la probeta de la fachada ventilada pesada

En la Figura C.28 y en la Figura C.29 se muestran los esquemas de montaje de los sensores para las capas nuevas asociadas a la probeta de fachada ventilada pesada.

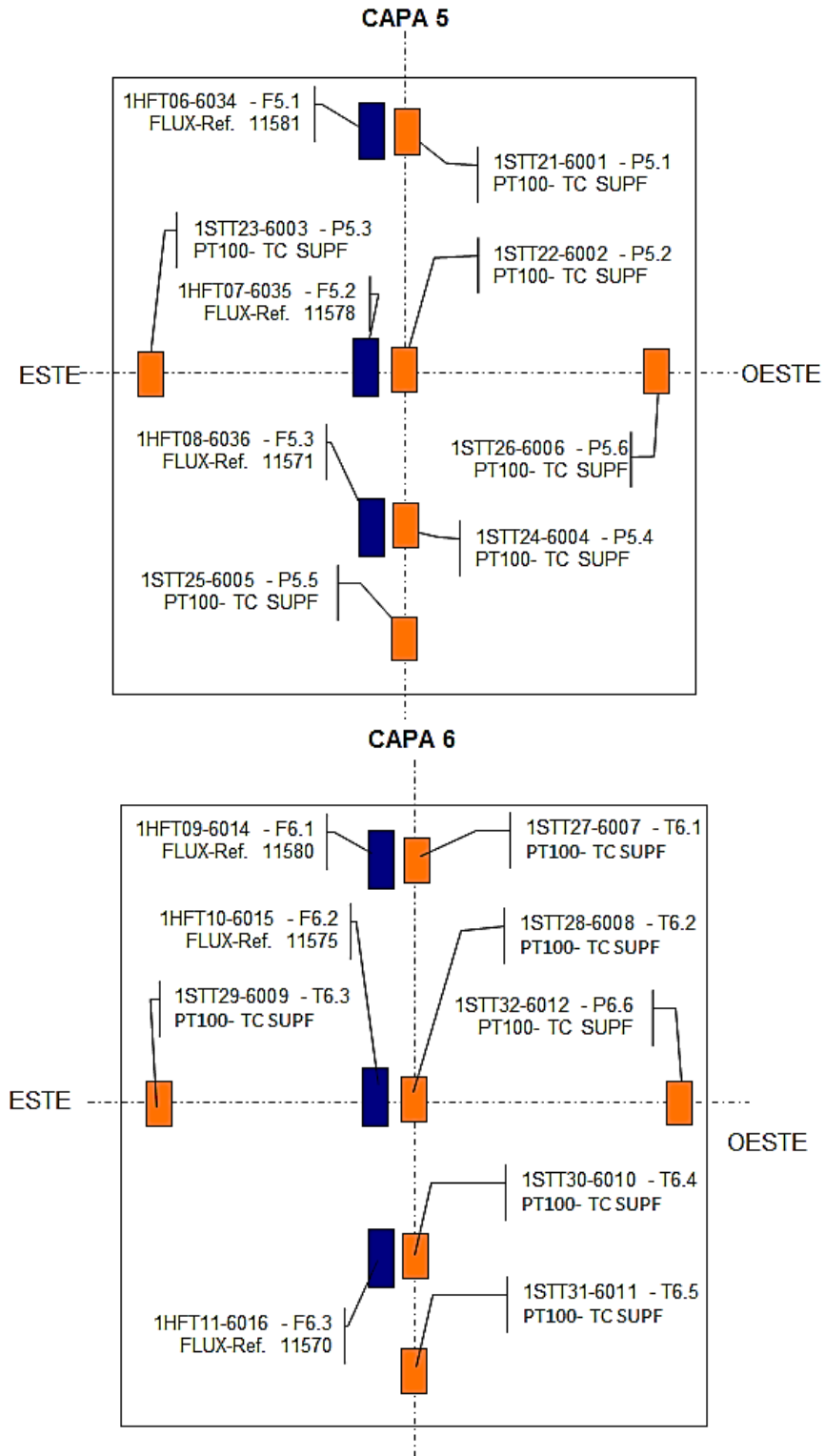


Figura C.28 – Instrumentación instalada en la fachada ventilada pesada

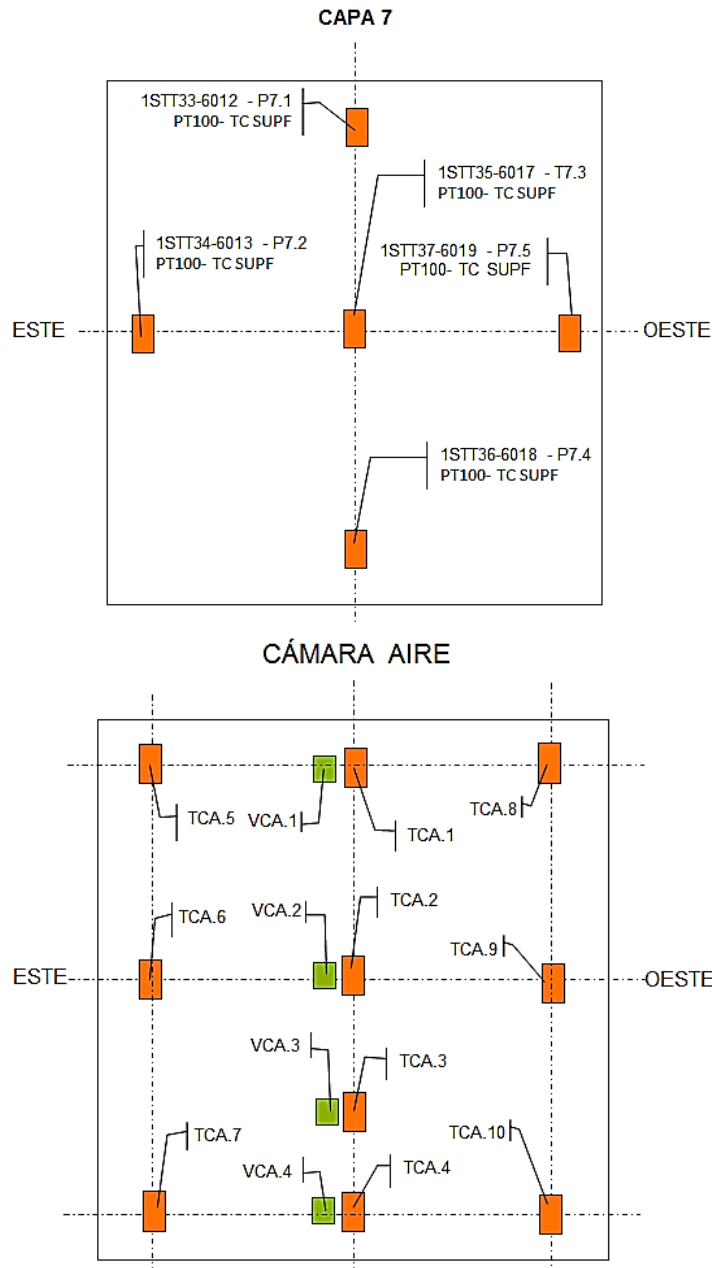


Figura C.29 – Instrumentación instalada en la fachada ventilada pesada

En el esquema correspondiente a las sondas de la cámara de aire mostrado en la imagen inferior de la Figura C.29 no se ha definido la nomenclatura total de la instrumentación ya que la imagen sería compleja de visualizar, por tanto, se ha indicado la definición propia del ensayo que se emplea en el posterior análisis específico de datos. En la Figura C.30 se muestra el esquema de montaje de la termopila y de las tres sondas de presión diferencial aprovechando el montaje de manguitos de presión instalados para medir la pérdida de presión en la entrada y en la salida respecto al exterior. El montaje de manguitos se realiza de esta forma ya que los sensores empleados son de presión diferencial, lo que permite ampliar la precisión respecto a la medida de las presiones absolutas y la resta posterior.

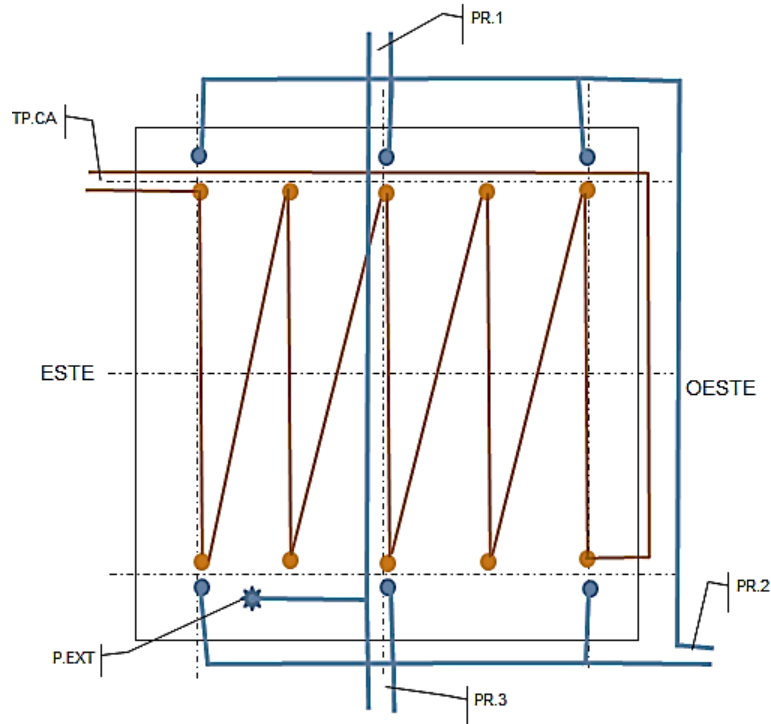


Figura C.30 – Montaje termopila y manguitos de presión en la probeta de fachada ventilada pesada

## C.4.2 Datos experimentales ensayo de contraste

En la Figura C.31 y en la Figura C.32 se muestran las condiciones ambientales bajo las cuales se desarrolla el periodo de ensayo que se emplea como contraste para el modelado de la muestra de fachada ventilada pesada.

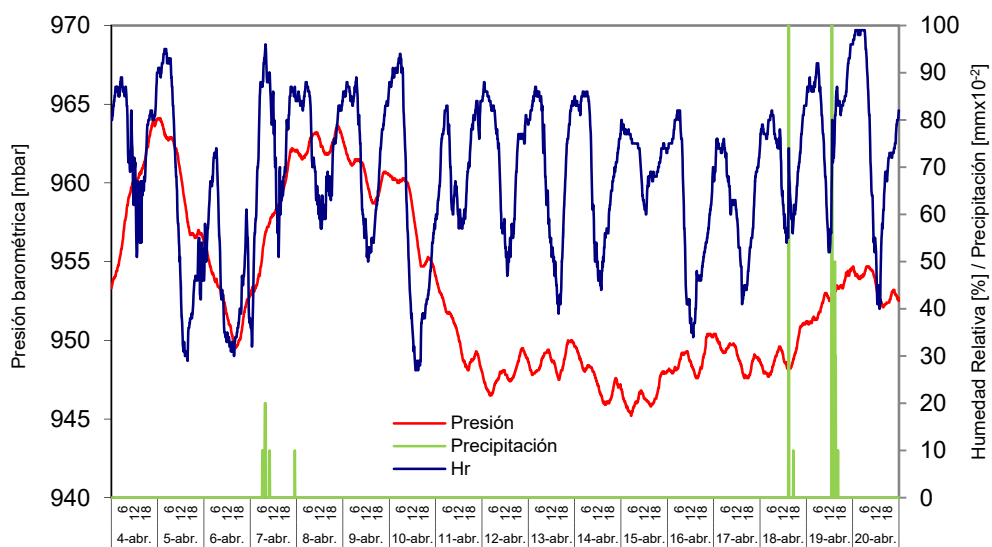


Figura C.31 – Condiciones ambientales ensayo de fachada ventilada pesada durante periodo de contraste

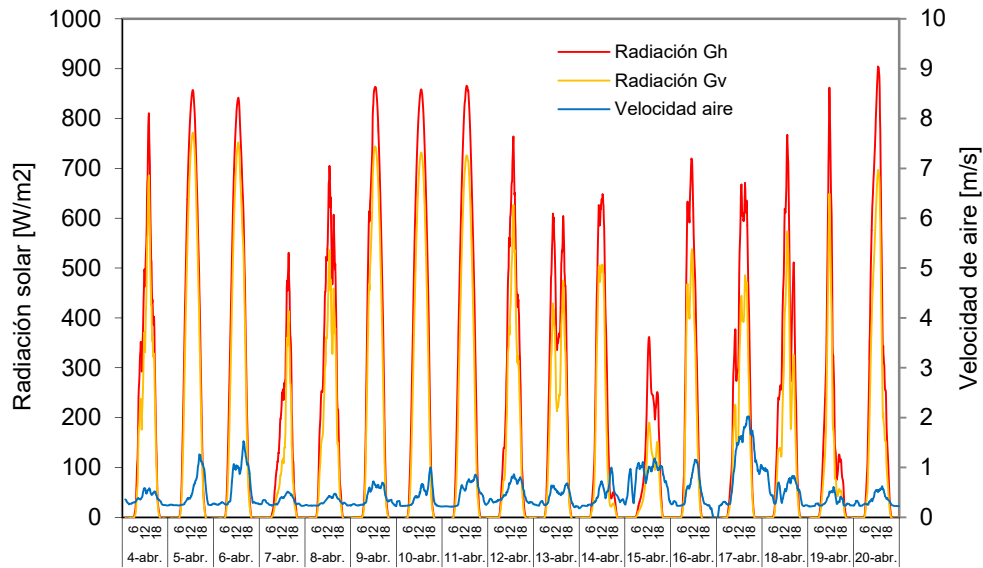


Figura C.32 – Radiación solar y velocidad de viento durante ensayo de contraste fachada ventilada pesada

En la Figura C.33 se muestra la rutina de ensayo y el flujo de calor intercambiado por la envolvente. En este caso no se aplica una de las rutinas de ensayo estándar sino que se emplea una excitación escalón. Este cambio se realiza debido a la elevada inercia de la muestra, y se busca el estudio de la respuesta a escalón. Se aprecian dos picos singulares en la señal de flujo de calor para los días 14 y 16 de abril. Esto se debe a que, por razones ajenas al estudio, se entró en la sala de ensayos.

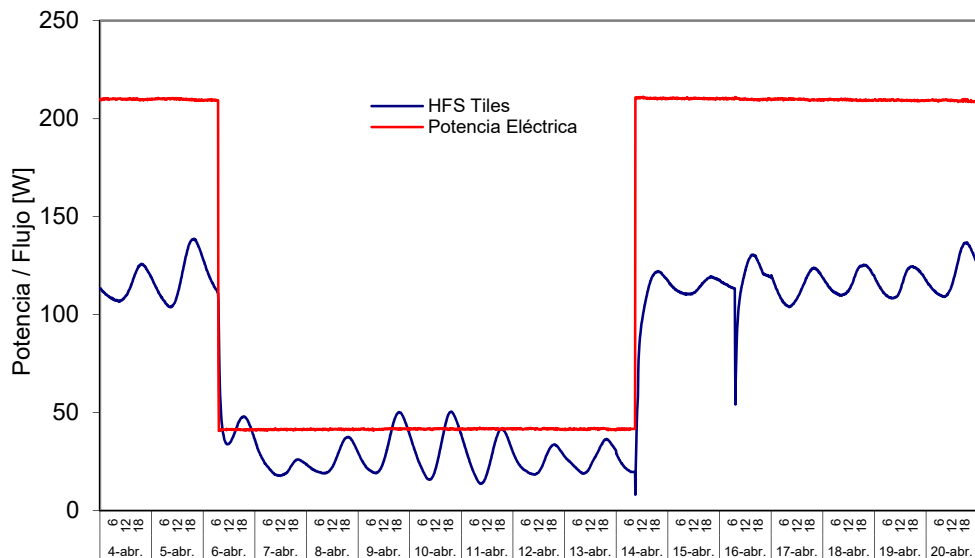


Figura C.33 – Potencia introducida y flujo de calor de la envolvente de la sala de ensayos para la fachada ventilada pesada

En la Figura C.34 y en la Figura C.35 se analizan las condiciones de temperatura de la sala de ensayos. Y en la Figura C.36 se muestra la temperatura media de cada capa junto con las diferencias máximas en las capas interiores del muro base.

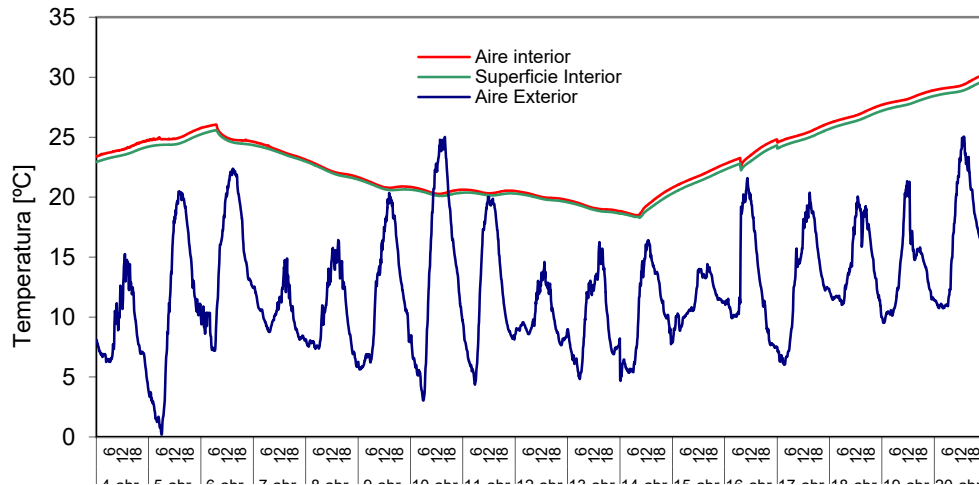


Figura C.34 – Temperatura de la sala de ensayos y ambiental para la fachada ventilada pesada

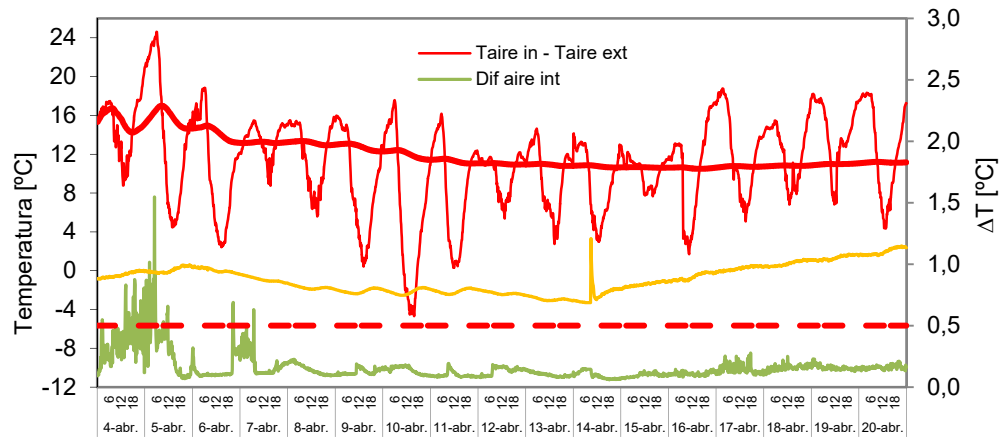


Figura C.35 – Salto de temperaturas entre ambientes y homogeneidad de las condiciones en la sala de ensayo para la fachada ventilada pesada

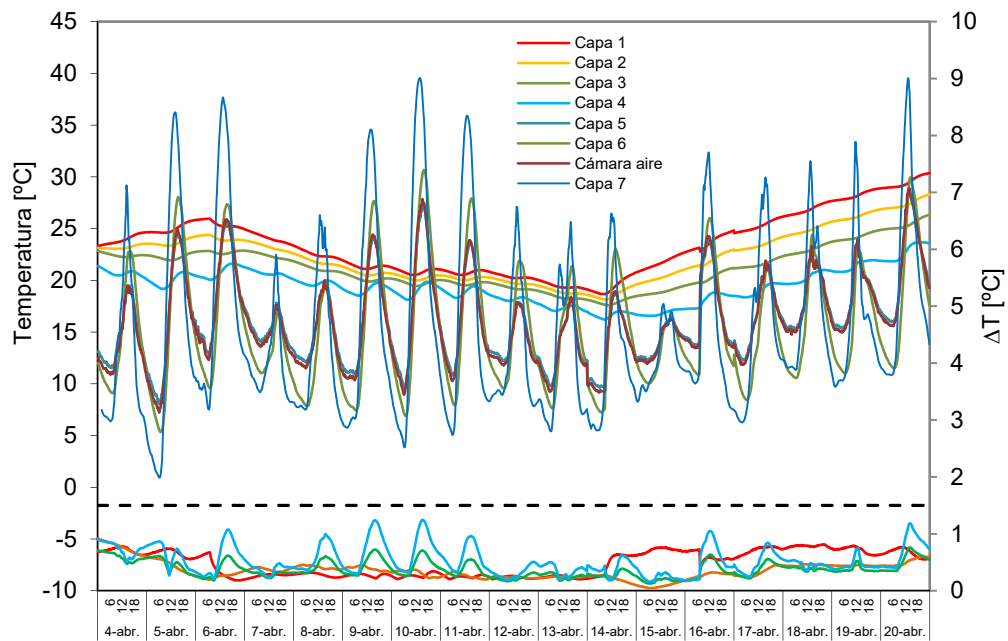


Figura C.36 – Temperaturas en la probeta de fachada ventilada pesada

Una vez analizadas las condiciones de temperatura, se evalúan los flujos de calor en la probeta. En la Figura C.37 se muestran los flujos en las capas interiores del muro de doble hoja. Y en la Figura C.38 la homogeneidad de flujos en la superficie interior de la muestra.

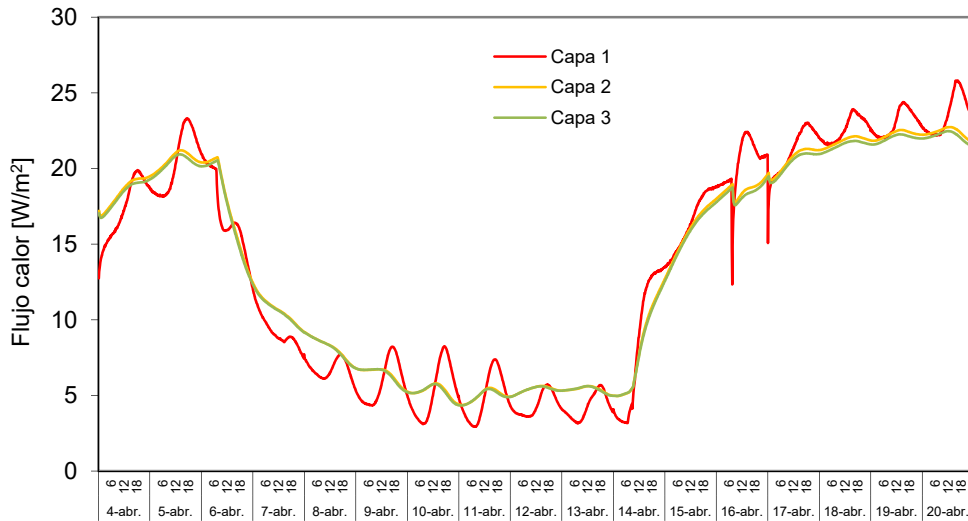


Figura C.37 – Flujos de calor puntuales medidos en la zona central del muro base en la probeta de fachada ventilada pesada

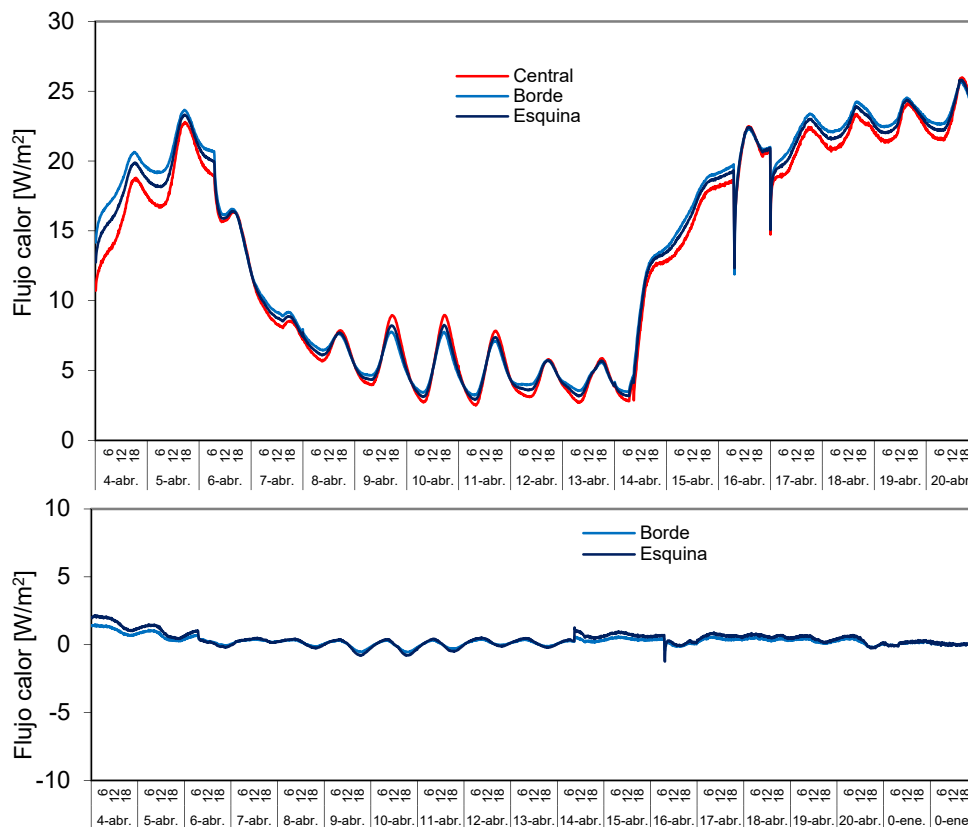


Figura C.38 – Flujos superficiales en la cara interior, capa 1, para la muestra de fachada ventilada pesada

En la Figura C.39 se muestra la evolución de las temperaturas en función de la altura en las superficies y en el aire de la cámara ventilada.



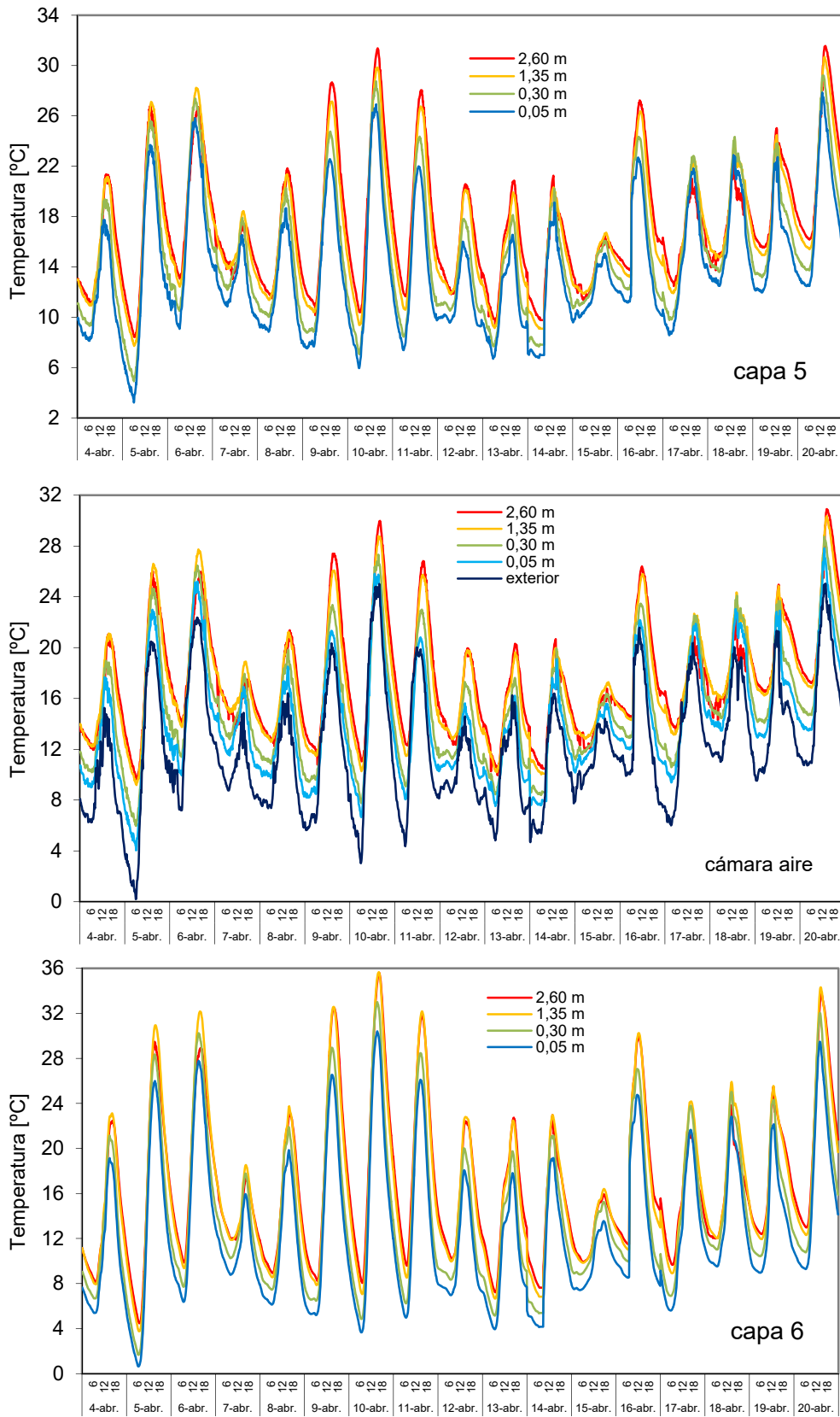


Figura C.39 –Temperatura en altura en el eje central de la cámara ventilada probeta de fachada pesada

En la Figura C.40 se muestra la comparativa entre el salto de temperatura que experimental el aire dentro de la cámara ventilada registrado por la termopila respecto a la diferencia entre las sondas de temperatura de aire instaladas en el eje central.

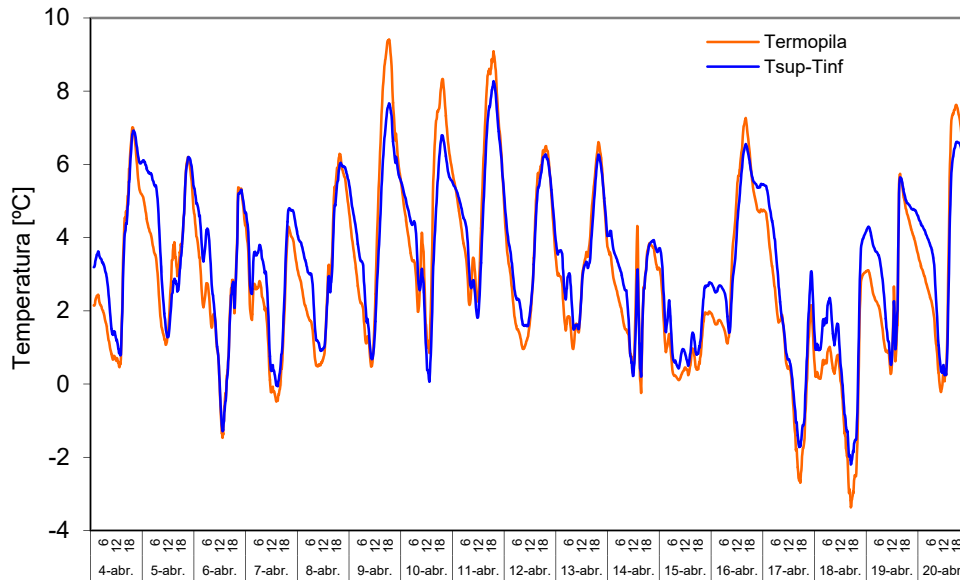


Figura C.40 – Salto de temperatura en la cámara de aire ventilada medido por la termopila y por las sondas instaladas en el eje central de la muestra

En la Figura C.41 se muestran las lecturas de velocidad del aire dentro de la cámara ventilada en función de la altura.

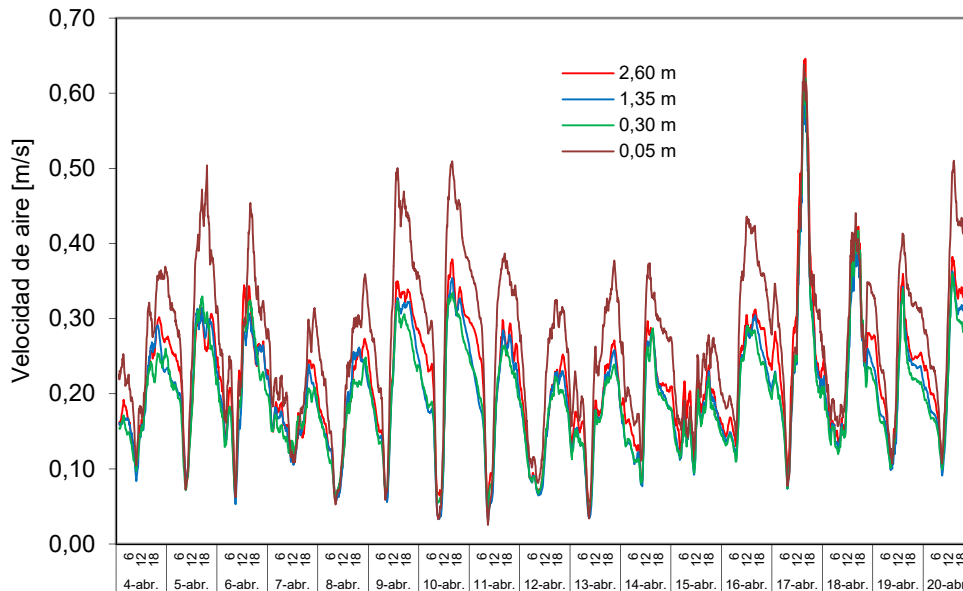


Figura C.41 – Velocidades de aire cámara ventilada para el eje central en altura para la fachada pesada

En la Figura C.42 se muestran las señales de presión diferencias que se producen en la entrada y salida de la cámara ventilada en comparación con la velocidad de viento que se produce en el exterior.

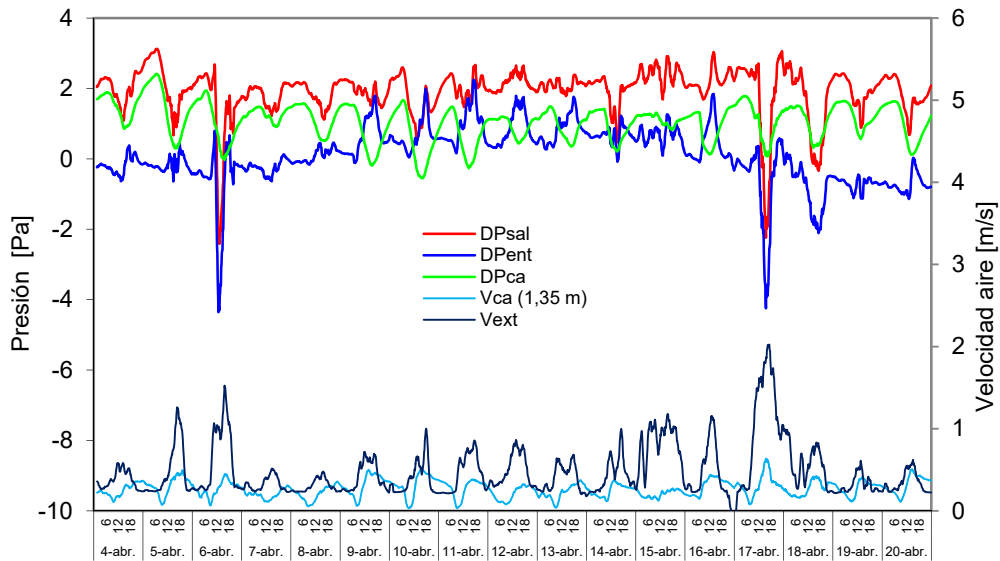


Figura C.42– Caída de presión en la fachada pesada y velocidades de aire exterior y de aire dentro de la cámara ventilada

## C.5 Fachada ventilada forzada

En este caso, las propiedades de la fachada son totalmente diferentes a las de las fachadas analizadas previamente. Por un lado la construcción es ligera y de carácter industrializable, frente a la construcción más convencional de las anteriores. Y por otro lado, al forzar el movimiento de aire dentro de la cámara ventilada se obtiene un comportamiento desligado en parte de las condiciones exteriores, permitiendo además, obtener una mejor eficacia de absorción de calor por la cortina de aire. A continuación se muestra la instrumentación instalada en la probeta y los datos del ensayo de contraste.

### C.5.1 Instrumentación de la muestra

Con la experiencia obtenida de los ensayos anteriores, y debido a las características propias de la muestra de fachada forzada se modifica el esquema de instrumentación empleada en el ensayo. En la Tabla C.5 se recogen el listado de sondas colocadas en cada capa de la probeta. Al disponer de menos capas se puede ampliar el número de sondas instaladas en la cámara de aire.

	MAGNITUD	CARACTERÍSTICAS	Nº SENSORES		
			CAPA 1-2-3	CA	TOLVA
FV FORZADA	Temperatura	PT100, clase A, conexión 4 hilos	5	12	1
	Dif Temperatura	Termopila tipo T 10 puntas		1	
	Velocidad aire	Ahlborn FVA-605-TA-1		1	
	Caudal aire	KIMO CP300-ALETAS DEBIMO			1
	Dif Presión	Ahlborn FD8612DPS/APS		3	

Tabla C.5 – Sensores instalados en la probeta de fachada ventilada forzada

Esto permite obtener una mejor información del comportamiento del aire en toda la superficie de la probeta, además se analiza un perfil transversal de la cámara en el punto central. En la Figura C.43 se muestra el esquema constructivo donde se puede apreciar la simplicidad constructiva. La probeta presenta sólo tres superficies, y la hoja interior se reduce a la capa de aislamiento directamente.

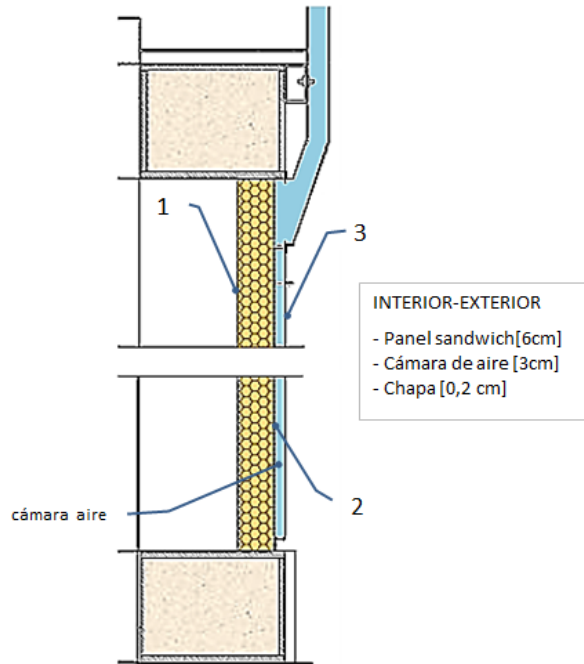


Figura C.43 – Solución constructiva de la fachada ventilada forzada

En la Figura C.44 se muestra la disposición de las sondas de temperatura instaladas en las tres capas.

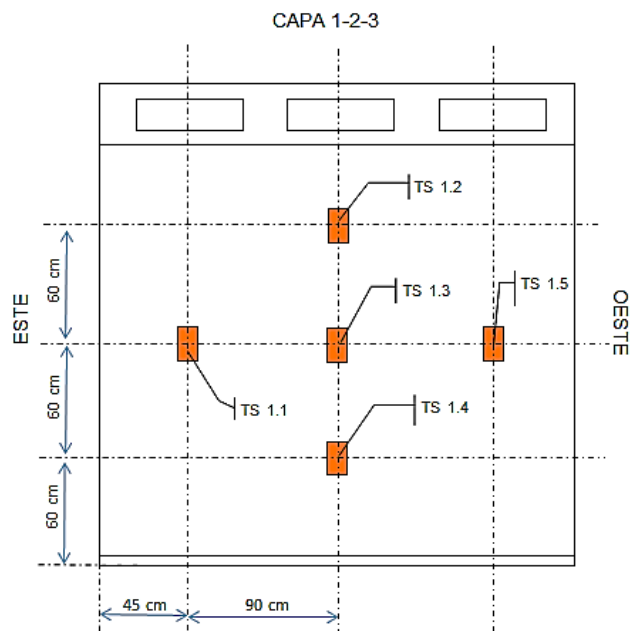


Figura C.44 – Esquema de montaje de las sondas de temperatura en las tres capas de la muestra

En la Figura C.45 se muestran las sondas colocadas en la cámara de aire ventilada, tanto de temperaturas, velocidad de aire, y diferencia de presión.

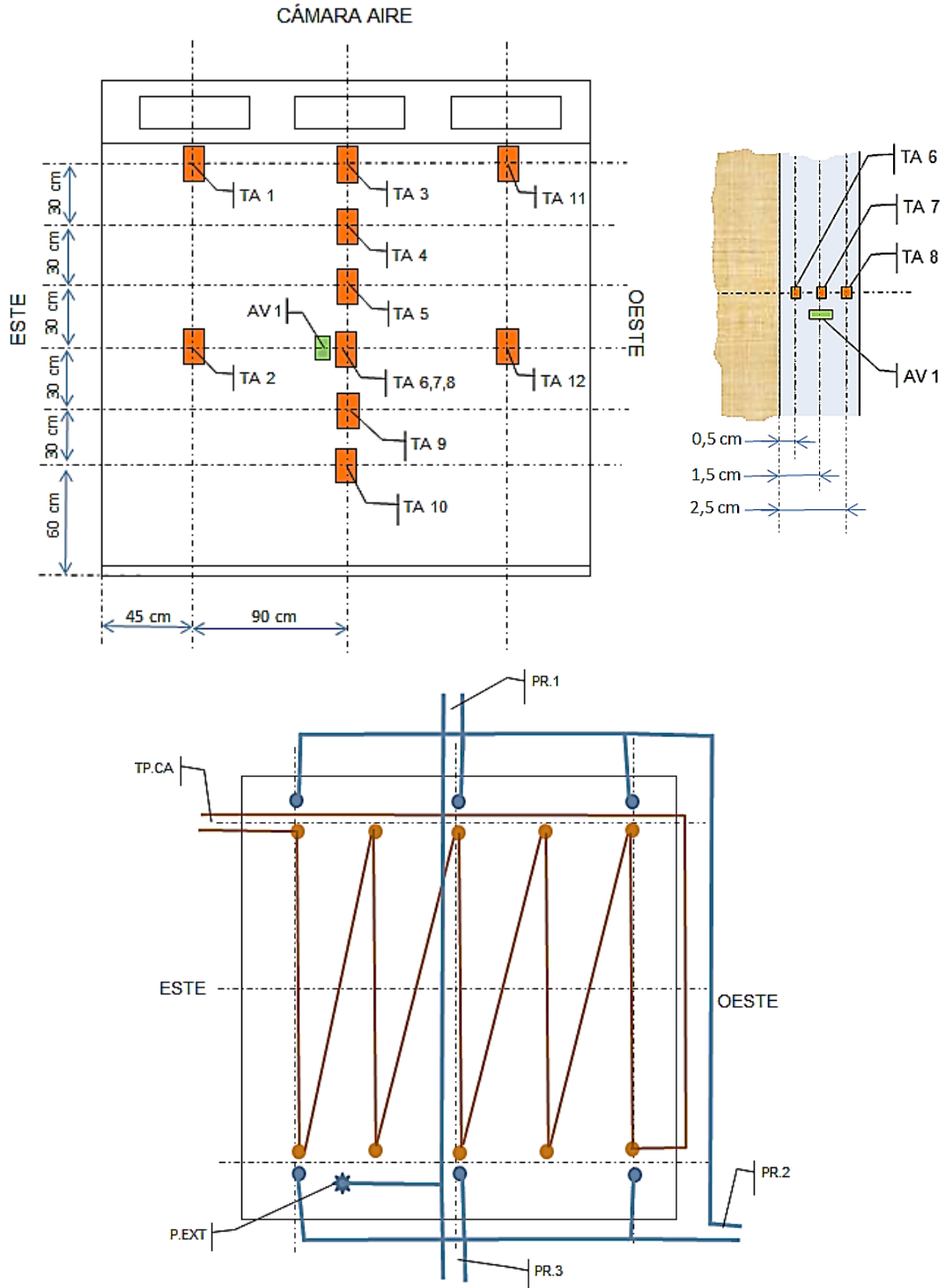


Figura C.45 – Esquema de montaje de las sondas en la cámara de aire

### C.5.2 Datos experimentales ensayos de contraste

En la Figura C.46 y en la Figura C.47 se muestran los datos de las condiciones ambientales durante el periodo de ensayo de contraste realizado a la probeta de fachada ventilada forzada.

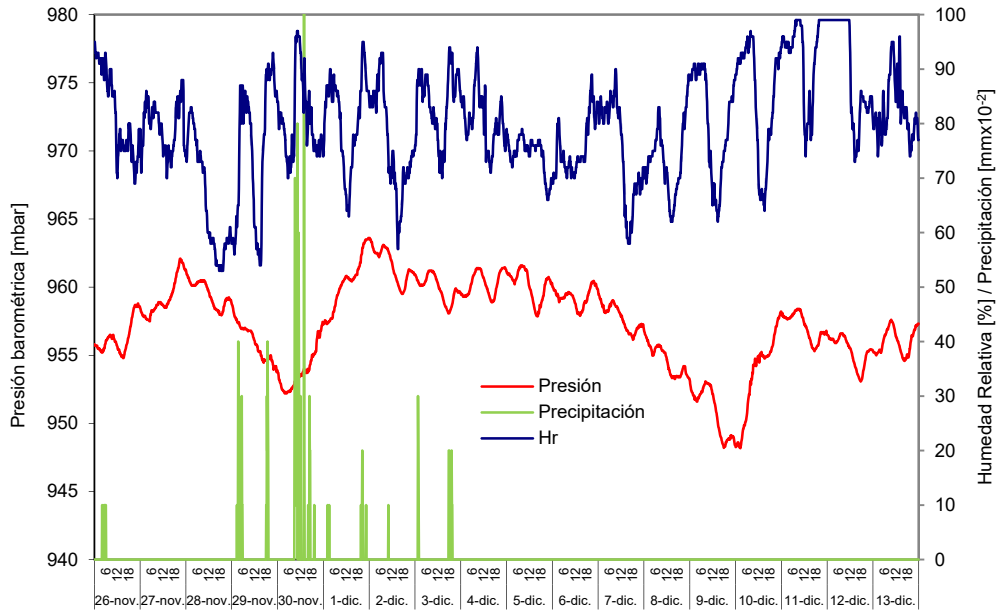


Figura C.46 – Condiciones ambientales durante el ensayo de la fachada ventilada forzada durante el periodo de contraste

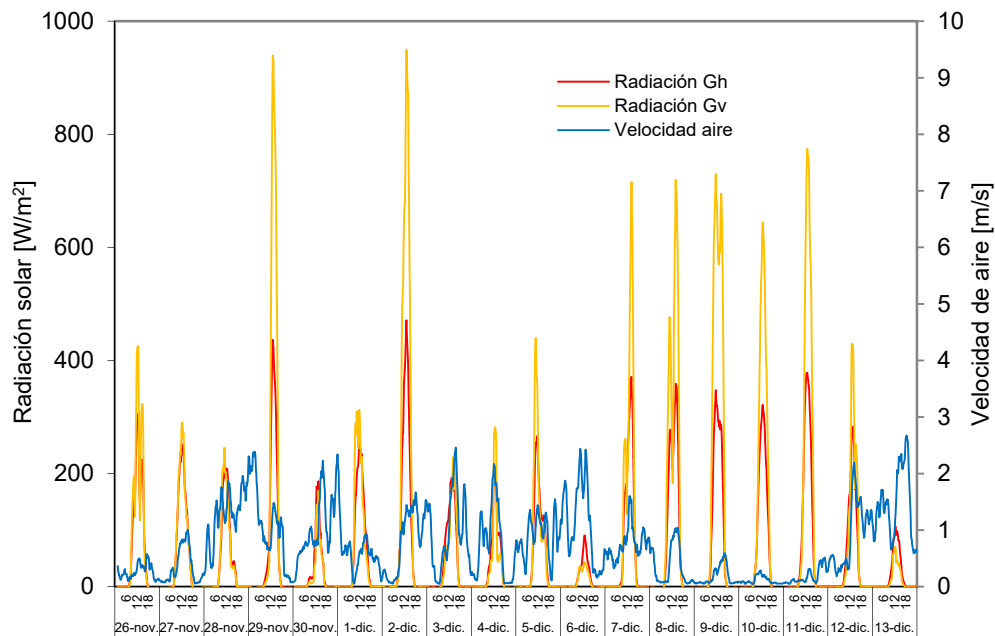


Figura C.47 – Radiación solar y velocidad de viento durante el ensayo de modelado de la fachada ventilada forzada

En la Figura C.48 y en la Figura C.49 se muestran la evolución de los flujos de calor y temperaturas en la sala de ensayos.

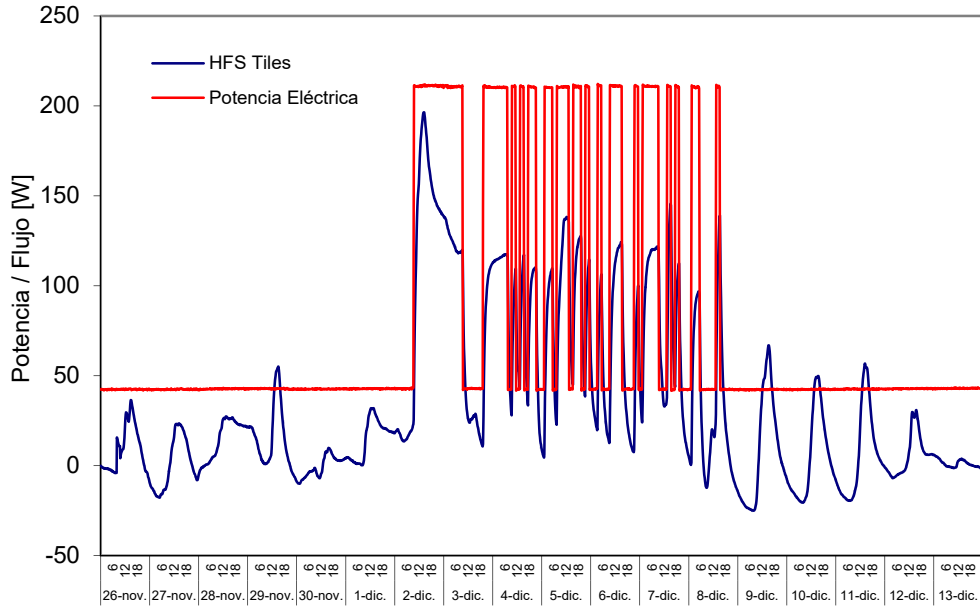


Figura C.48 – Potencia introducida y flujo de calor de la envolvente de la sala de ensayos para la fachada ventilada forzada

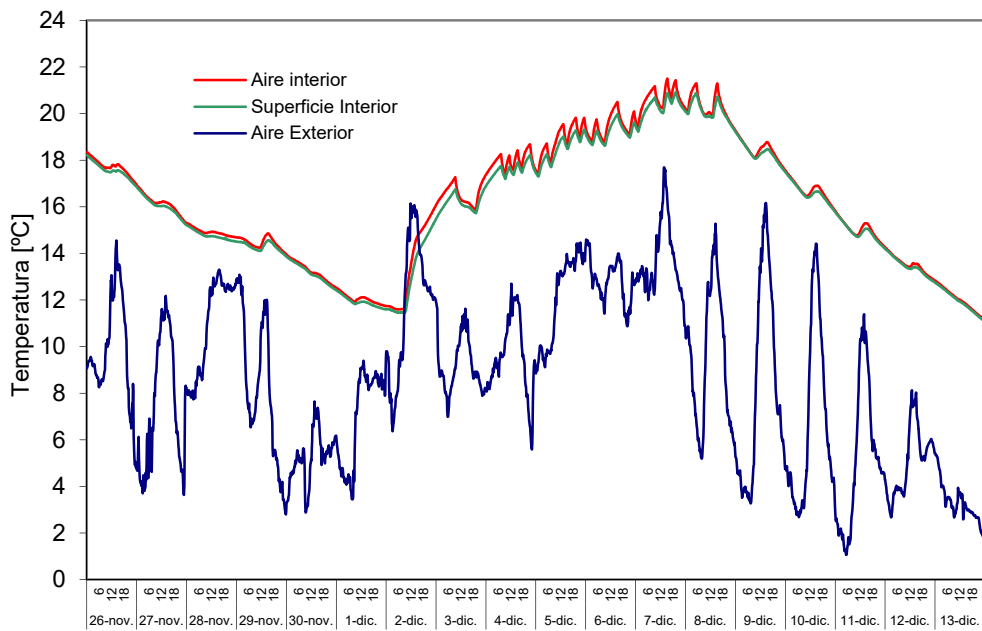


Figura C.49 – Temperatura de la sala de ensayos y ambiental para la fachada ventilada forzada

En la Figura C.50 se analiza la homogeneidad de temperaturas de la sala de temperaturas y el salto entre ambientes.



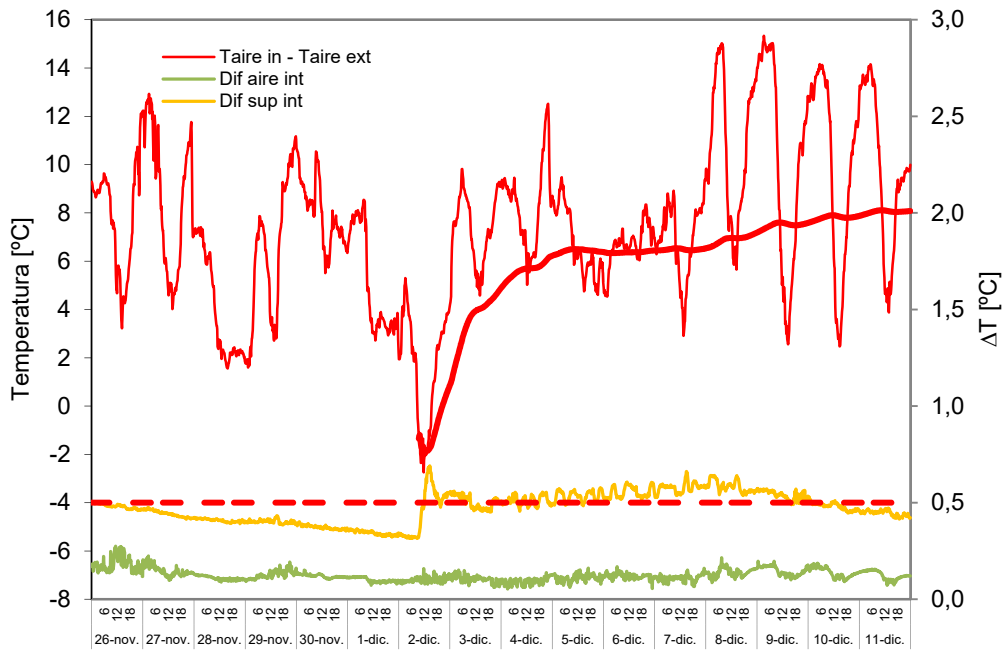


Figura C.50– Salto de temperaturas entre ambientes y homogeneidad de las condiciones en la sala de ensayo para la fachada ventilada forzada

En la Figura C.51 se muestran las temperaturas medias en cada capa de la probeta de fachada forzada, y la homogeneidad en la superficie interior.

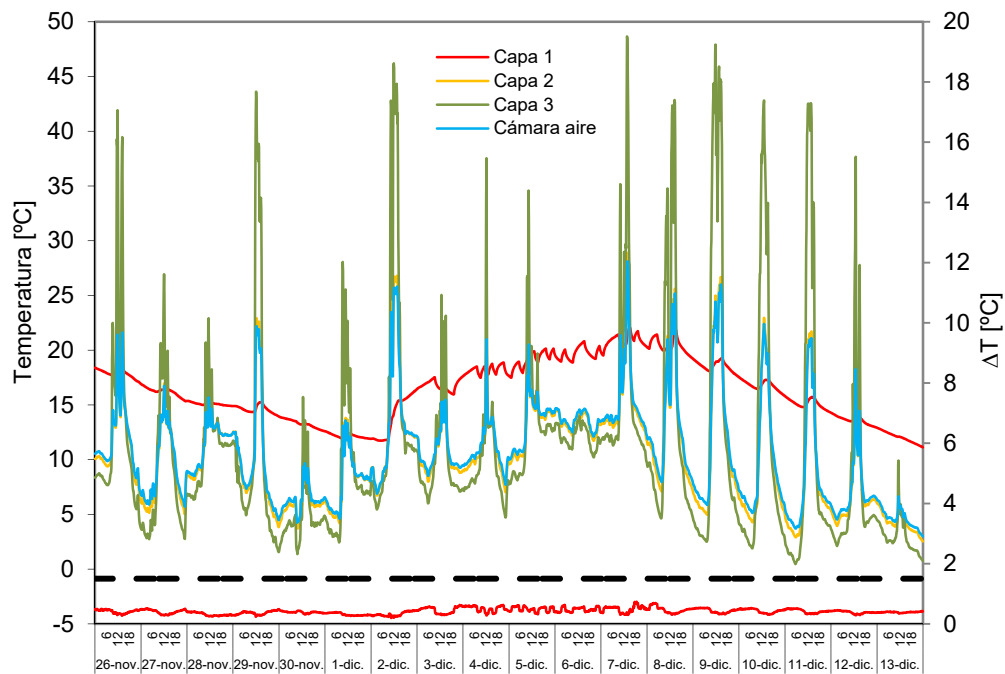


Figura C.51 – Temperaturas en la probeta de fachada ventilada forzada

En la Figura C.52 se muestran la evolución de la temperatura del aire de la cámara ventilada en función de la altura, junto con las temperaturas de las superficies que la conforman.

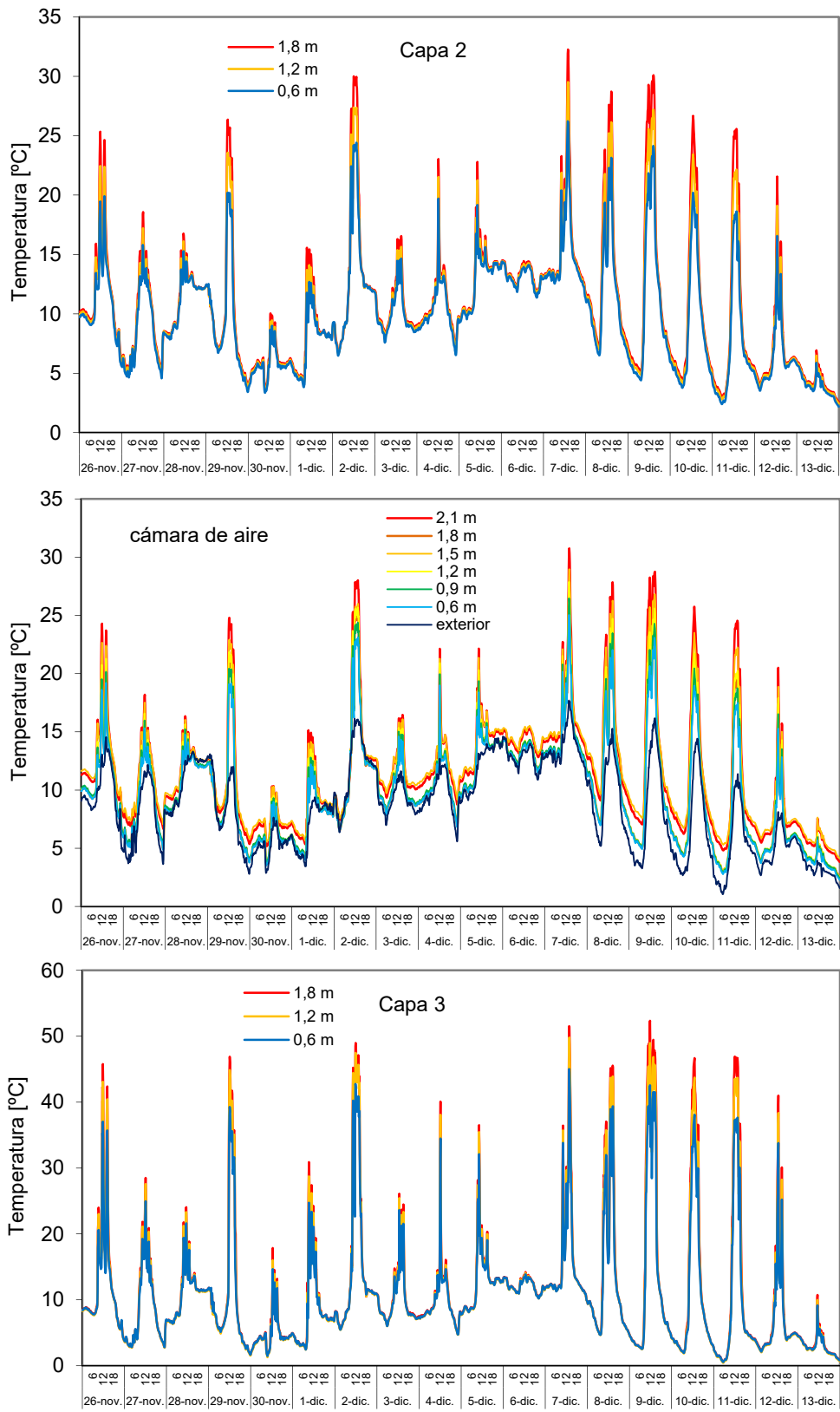


Figura C.52–Temperatura en función de la altura en el eje central de la cámara ventilada en la probeta de fachada forzada

En la Figura C.53 se muestra la comparativa entre la diferencia de temperaturas entrada-salida del aire en la cámara ventilada medida por la termopila y por las sondas de temperatura puntuales.

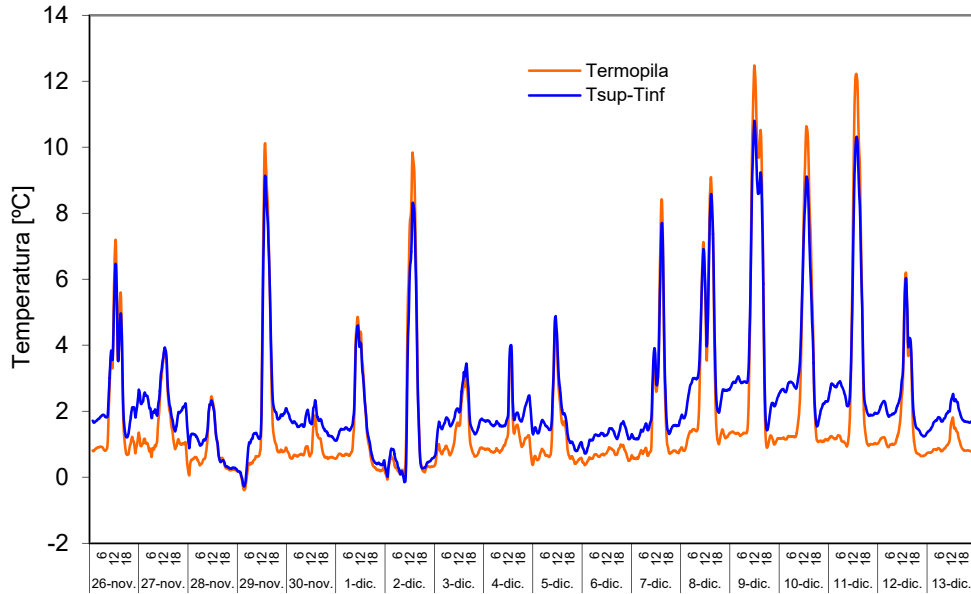


Figura C.53 – Salto de temperatura en la cámara de aire ventilada medido por la termopila y por las sondas instaladas en el eje central de la muestra

En la Figura C.54 se muestra la comparativa entre el caudal de aire medido en la tolva de extracción frente a la velocidad de aire puntual medida por el termoanemómetro situado en el punto central de la cámara de aire a media altura de la probeta.

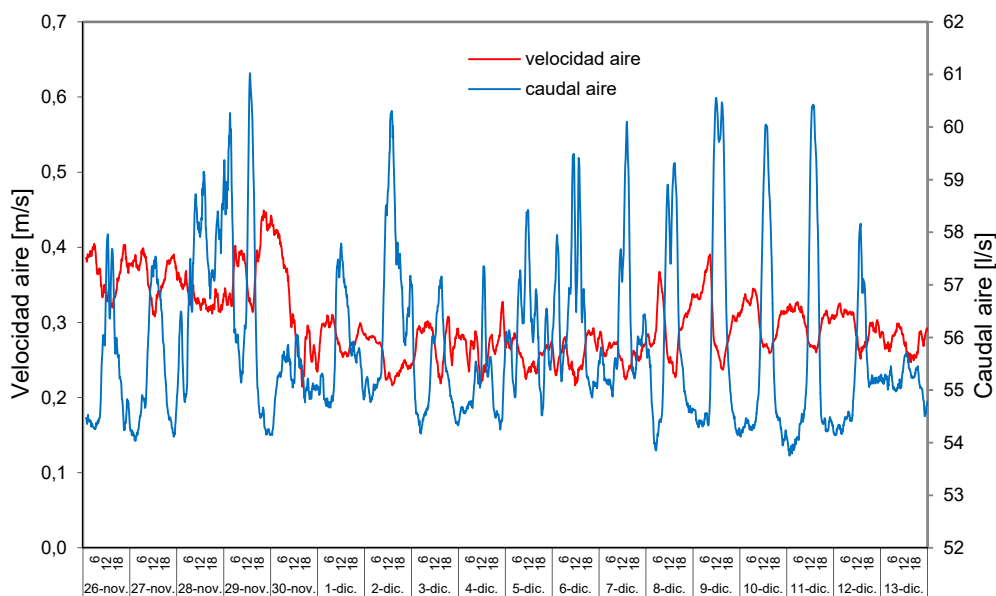


Figura C.54 – Caudal de aire circulante por la cámara ventilada y velocidad de aire en el punto central de la muestra

En la Figura C.55 se muestran las lecturas de las sondas de diferencia de presión instaladas en la zona de entrada y salida respecto al caudal de aire circulante por la fachada.

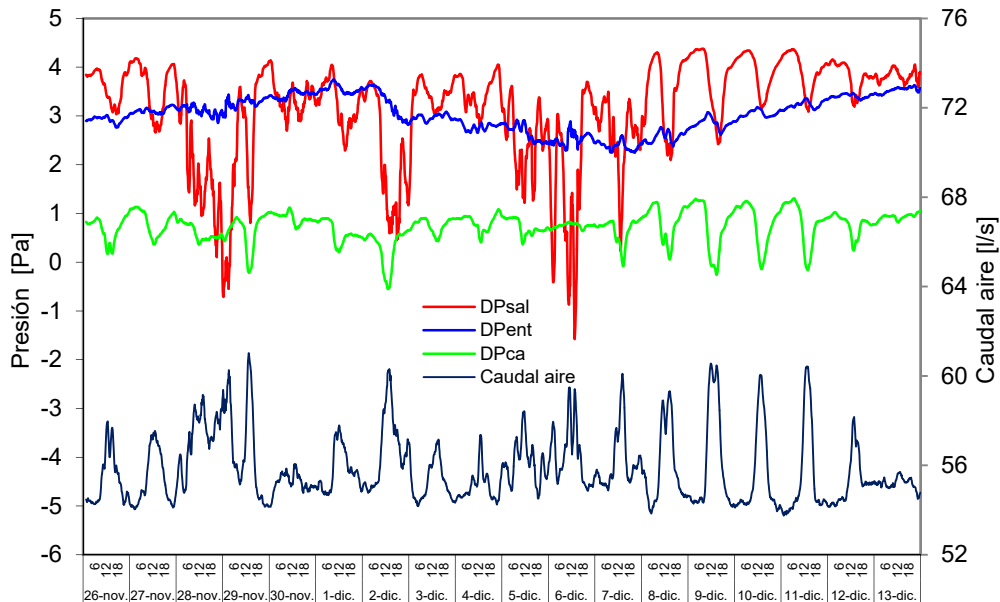


Figura C.55– Caída de presión en la fachada forzada y caudal de aire circulante por la cámara ventilada

## C.6 Ensayo de infiltraciones

El análisis de las insiltraciones es un punto importante de cara a la incertidumbre del ensayo. A continuación se muestra en la Tabla C.6 los caudales de infiltraciones obtenidos con salto de presiones de  $\Delta P = 50$  [Pa], entre la sala de ensayos y el ambiente exterior. Según los requisitos del ensayo *PASLINK*, el caudal máximo admisible para que las infiltraciones no tengan un efecto representativo en la incertidumbre de ensayo es de  $m_a^{max} = 18$  [ $Nm^3/h$ ], para la celda *EGUZKI*, que equivale a 0,5 [ren/h] de ambiente de la sala de ensayos.

	$m_a$ [ $Nm^3/h$ ]	
	INICIO	FIN
MURO BASE	10,6	14,2
MURO BASE + SATE	7,8	13,9
FV LIGERA	10,0	16,5
FV PESADA	9,4	15,0
FV FORZADA	14,4	17,5

Tabla C.6 – Medida de infiltraciones en los ensayos de las probetas analizadas

Antes de iniciar el periodo de ensayo se realiza una prueba de presión, midiendo el caudal de infiltraciones aplicando condiciones de sobrepresión y condiciones de subpresión, hasta un salto del orden de 100 [Pa] y decreciendo en intervalos de 10

[Pa]. Los datos experimentales se ajustan a una función potencia que se emplea para determinar el valor fiable de caudal de renovación de referencia. Si el caudal de infiltraciones supera el límite admisible o se acerca al mismo se realiza un sellado de juntas y apriete del sistema de portamuestras hasta alcanzar valores admisibles. Una vez verificado este punto se inicia el periodo de ensayo de la muestra. Una vez finalizado el mismo, antes de acceder a la sala de ensayos se realiza otra prueba de presión para verificar que durante el periodo de ensayo las condiciones no se han modificados sustancialmente y el ensayo se puede dar por válido. En esta segunda prueba de presión es norma obtener caudales más altos debido a que los cordones de sellante se retraen con los ciclos de calor y frio del periodo de ensayo, generando un aumento de las infiltraciones. A continuación, en la Figura C.56 y en la Figura C.57 se muestran los datos exactos de las diferentes pruebas de presión realizadas a cada ensayo.

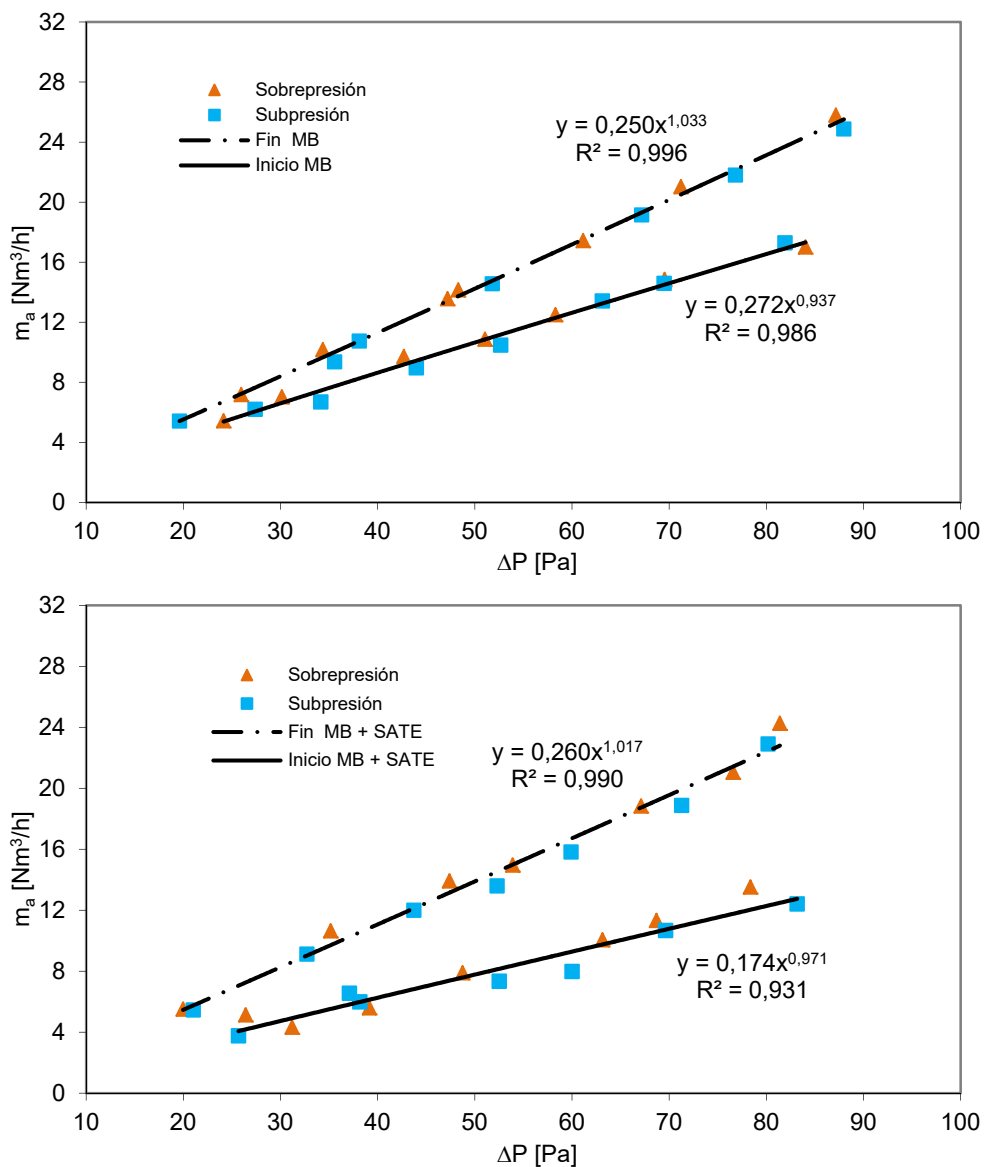


Figura C.56- Prueba de infiltraciones realizada a cada probeta al inicio y fin del ensayo

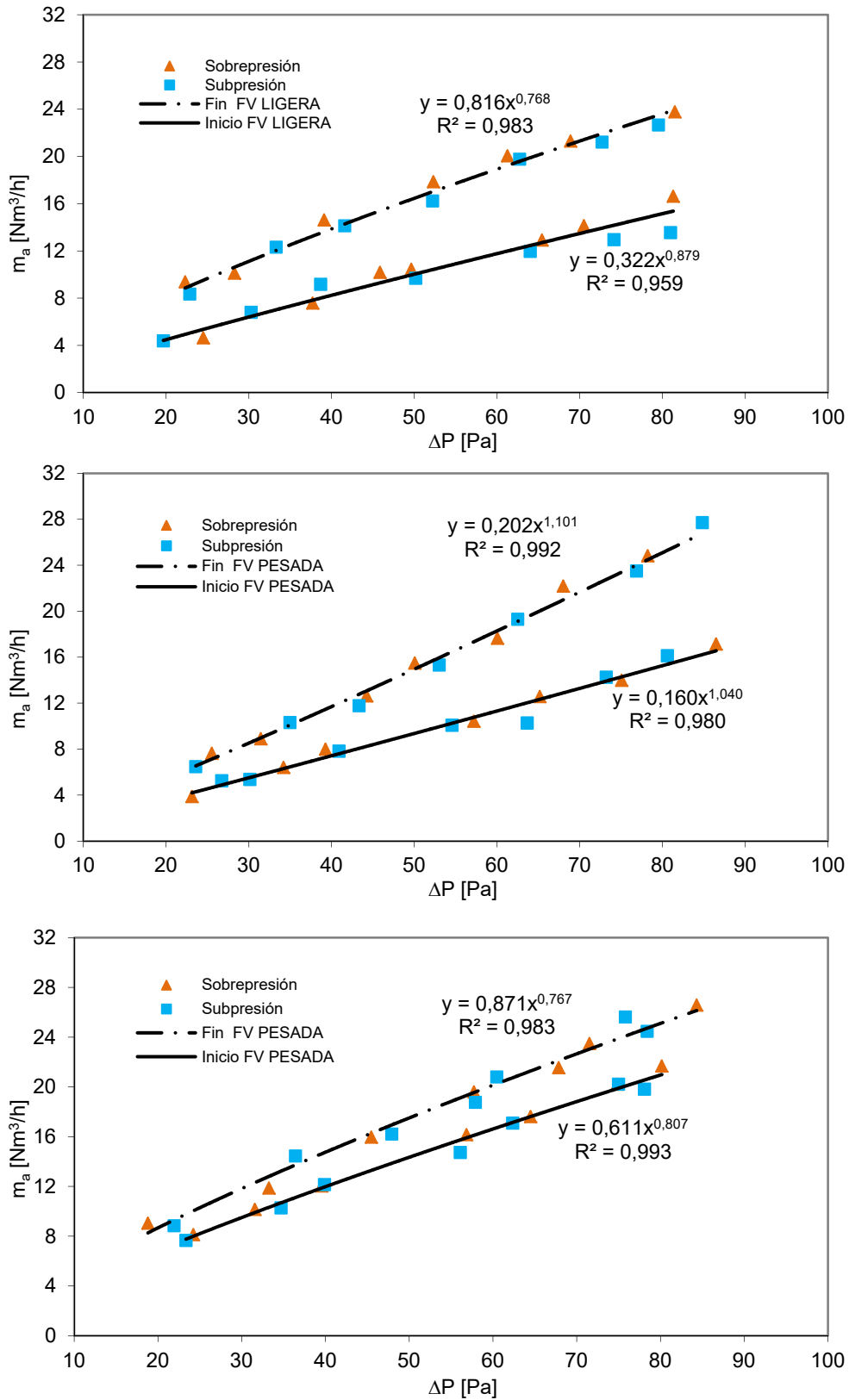


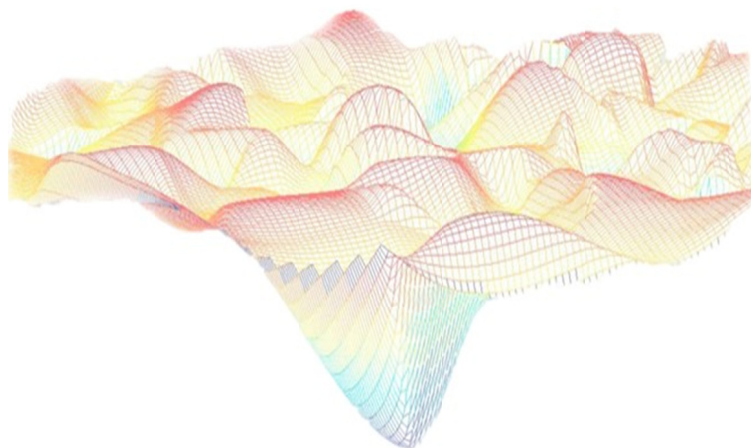
Figura C.57– Prueba de infiltraciones realizada a cada probeta al inicio y fin del ensayo





# Anexo D

## Modelos matemáticos de las fachadas





## D.1 Modelo de muro base sin aislamiento

El ensayo del muro base tiene un carácter fundamental, no tanto por la complejidad de la probeta sino por ser el primer ensayo de una muestra eterogénea frente a las características homogéneas del muro de calibración y de los componentes del IQ-Test. Este ensayo permite obtener un primer resultado de incertidumbre aplicado a muestras de fachada real. Además, por tratarse de la solución constructiva que sirve como base para dos de las fachadas ventiladas bajo estudio, su adecuada caracterización es fundamental para obtener precisión en el análisis de flujos intercambiados en las superficies de las cámaras ventiladas. Por esta razón, el proceso de análisis se configura de forma similar al empleado en el ensayo IQ-Test, primero se analiza el flujo unidimensional mediante las sondas de temperatura y fluxímetros puntuales instalados en la zona central de la muestra y después se analiza la probeta completa con un modelo a escala de celda. A continuación se muestran los resultados de dichos modelos.

### D.1.1 Modelo unidimensional

En la Figura D.1 se muestra el modelo del muro base para el análisis de condiciones de flujo unidimensional. El modelo es de cuarto orden y se representan las diferentes capas que lo conforman. El tabique interior se modela entre los nodos  $T_1$  y  $T_2$ , la cámara de aire entre los nodos  $T_2$  y  $T_3$ , y la hoja exterior mediante los nodos  $T_3$  y  $T_4$ .

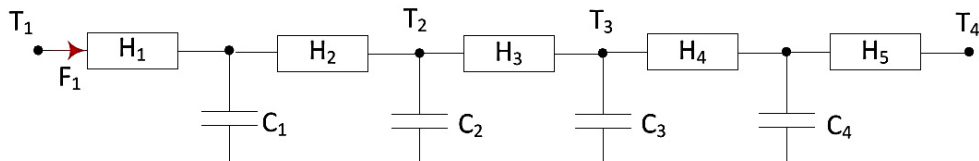


Figura D.1 – Modelo flujo unidimensional del muro base sin aislamiento

Las ecuaciones [D.1] y [D.2] recogen las características del modelo y la definición de las funciones objetivo, que corresponden con las temperaturas de las capas interiores de la muestra,  $T_2$  y  $T_3$ , y el flujo en la superficie interior,  $F_1$ .

$$\begin{bmatrix} dT_{12} \\ dT_2 \\ dT_3 \\ dT_{34} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-(H_1 + H_2)}{C_1} & \frac{H_2}{C_1} & 0 & 0 \\ \frac{H_2}{C_2} & \frac{-(H_2 + H_3)}{C_2} & \frac{H_3}{C_2} & 0 \\ 0 & \frac{H_3}{C_3} & \frac{-(H_3 + H_4)}{C_3} & \frac{H_4}{C_3} \\ 0 & 0 & \frac{H_4}{C_4} & \frac{-(H_4 + H_5)}{C_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{12} \\ T_2 \\ T_3 \\ T_{34} \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \frac{H_1}{C_1} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_5}{C_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_4 \end{bmatrix} dt + [\sigma] dt \quad [D.1]$$

$$\begin{bmatrix} T_2^m \\ T_3^m \\ F_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -H_1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{12} \\ T_2 \\ T_3 \\ T_{34} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ H_1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_4 \end{bmatrix} + [e] \quad [D.2]$$

En la Tabla D.1 y en la Tabla D.2 se muestran los resultados del proceso de identificación de parámetros junto con el análisis de residuos, Figura D.3 y Figura D.4.

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	0,1	10	1000	8.38E+00	3.43E-01	27,692	0	0,0040
H <sub>2</sub>	0,1	10	1000	1.79E+01	1.06E-01	96,157	0,0047	0
C <sub>1</sub>	1	100	1500	5.49E+01	8.22E-01	73,235	0,0031	0,0044
C <sub>2</sub>	1	100	1500	2.68E+01	6.23E-01	96,970	-0,0016	-0,0045
H <sub>3</sub>	0,1	10	1000	5.34E+00	9.28E-02	92,449	0	0
C <sub>3</sub>	1	100	1500	2.28E+02	3.02E+01	13,231	-0,0042	0
H <sub>4</sub>	0,1	10	1000	1.15E+01	3.63E+00	3,626	0	0,0022
C <sub>4</sub>	1	100	1500	3.36E+01	6.22E+00	66,426	0,0042	-0,0018
H <sub>5</sub>	0,1	10	1000	1.54E+01	1.70E+00	97,062	0,0043	0,0044

Tabla D.1 – Resultados identificación parámetros para el modelo unidimensional del muro base

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>
H <sub>1</sub>	1								
H <sub>2</sub>	0,27	1							
C <sub>1</sub>	0,06	0,20	1						
C <sub>2</sub>	0,47	0,33	0,44	1					
H <sub>3</sub>	0,23	0,47	0,30	0,17	1				
C <sub>3</sub>	0,08	0,47	0,01	0,07	0,12	1			
H <sub>4</sub>	0,07	0,12	0,01	0,14	0,29	0,41	1		
C <sub>4</sub>	0,02	0,25	0,34	0,15	0,32	0,22	0,44	1	
H <sub>5</sub>	0,44	0,09	0,37	0,19	0,25	0,46	0,00	0,07	1

Tabla D.2 – Coeficientes de correlación parámetros modelo unidimensional del muro base

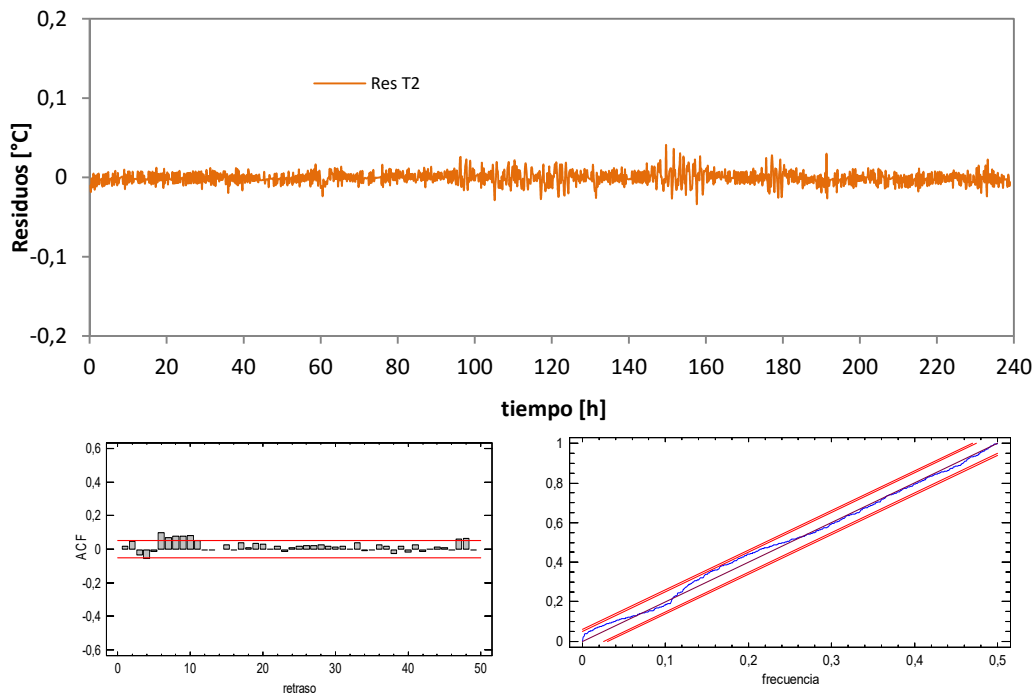


Figura D.2 – Ajuste del modelo unidimensional del muro base

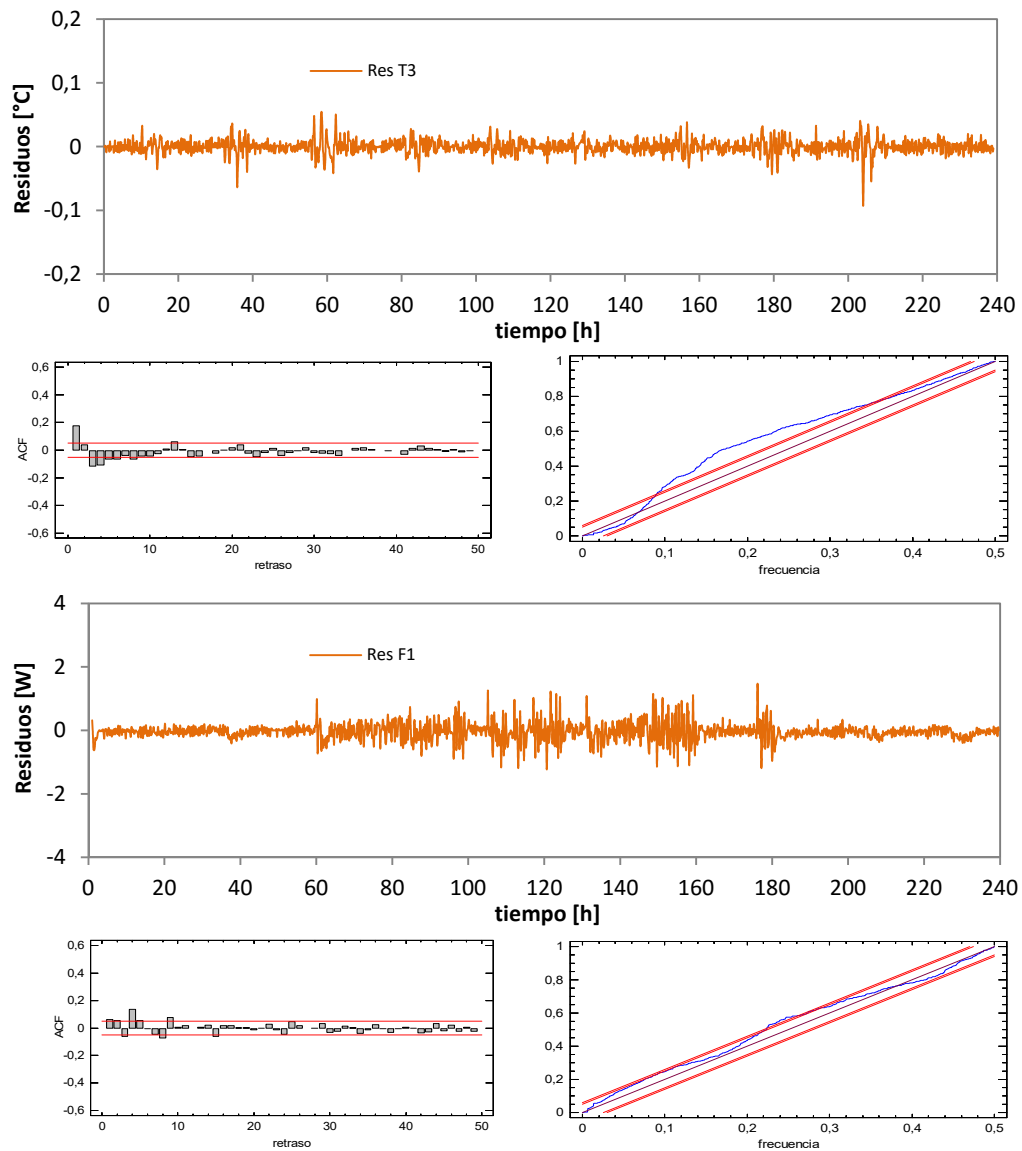


Figura D.3 – Ajuste del modelo unidimensional del muro base

En la Tabla D.3 se muestran los resultados finales de las propiedades térmicas del muro base obtenidas a través de los resultados del modelo de identificación.

CAPA	[m <sup>2</sup> K/W]	e [%]	CAPA	[MJ/m <sup>2</sup> K]	e [%]
R <sub>tab</sub>	0,175	2,9	C <sub>tab</sub>	0,049	1,8
R <sub>ca</sub>	0,187	1,7	C <sub>perf</sub>	0,157	13,9
R <sub>perf</sub>	0,152	18,0	<b>C<sub>total</sub></b>	<b>0,207</b>	<b>11,0</b>
<b>R<sub>total</sub></b>	<b>0,514</b>	<b>6,9</b>			

Tabla D.3 – Propiedades de cada capa del modelo unidimensional de muro base

## D.1.2 Modelo completo

En la Figura D.4 se muestra el modelo completo a escala de celda, en el que se tiene en cuenta la radiación solar incidente sobre la superficie exterior. En la ecuación [D.3] y en la ecuación [D.4] se muestra su expresión matricial.

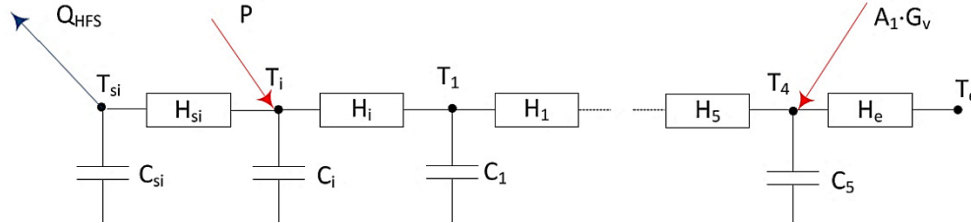


Figura D.4 – Modelo flujo completo del muro base sin aislamiento

$$\begin{bmatrix} dT_{si} \\ dT_i \\ dT_1 \\ dT_{12} \\ dT_2 \\ dT_3 \\ dT_{34} \\ dT_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-H_{si}}{C_{si}} & \frac{H_{si}}{C_{si}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{H_{si}}{C_i} & \frac{-(H_{si} + H_i)}{C_i} & \frac{H_i}{C_i} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_i}{C_1} & \frac{-(H_i + H_1)}{C_1} & \frac{H_1}{C_1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-(H_1 + H_2)}{C_{12}} & \frac{H_2}{C_{12}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{H_2}{C_2} & \frac{-(H_2 + H_3)}{C_2} & \frac{H_3}{C_2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{H_3}{C_3} & \frac{-(H_3 + H_4)}{C_3} & \frac{H_4}{C_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{H_4}{C_4} & \frac{-(H_4 + H_5)}{C_4} & \frac{H_5}{C_4} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{H_5}{C_5} & \frac{-(H_5 + H_e)}{C_5} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{si} \\ T_i \\ T_1 \\ T_{12} \\ T_2 \\ T_3 \\ T_{34} \\ T_4 \end{bmatrix} dt \quad [D.3]$$

$$+ \begin{bmatrix} \frac{-1}{C_{si}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{C_i} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_e}{C_5} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{A_1}{C_5} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{HFS} \\ P \\ T_e \\ G_v \end{bmatrix} dt + [\sigma] dt$$

$$\begin{bmatrix} T_{si}^m \\ T_i^m \\ T_1^m \\ T_2^m \\ T_3^m \\ T_4^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_1 \\ T_{12} \\ T_2 \\ T_3 \\ T_{34} \\ T_4 \end{bmatrix} + [0] \begin{bmatrix} Q_{HFS} \\ P \\ T_e \\ G_v \end{bmatrix} + [e] \quad [D.4]$$

En la Tabla D.3 y en la Tabla D.4 se muestran los resultados del proceso de identificación de parámetros junto con el análisis de residuos, Figura D.6 y Figura D.7.

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>si</sub>	100	250	500	3.41E+02	9.89E+00	70.207	-0.0005	-0.0039
C <sub>si</sub>	100	1000	2000	9.79E+02	4.72E+01	69.372	-0.0042	-0.0032
C <sub>i</sub>	1	50	100	5.89E+01	6.19E+00	12.952	-0.0044	0.0013
H <sub>i</sub>	1	50	100	6.27E+01	1.06E+00	54.845	-0.0002	-0.0042
C <sub>1</sub>	10	500	1000	2.14E+02	1.13E+01	6.942	0.0038	-0.0044
H <sub>1</sub>	1	10	100	7.44E+01	3.55E+00	70.089	0.0026	-0.0007
H <sub>2</sub>	1	10	100	1.02E+02	4.13E+00	81.745	-0.0038	0.0014
C <sub>12</sub>	10	500	1000	1.49E+02	1.95E+01	31.286	0.0038	0.0010
C <sub>2</sub>	10	500	1000	1.82E+02	3.79E+00	75.355	-0.0030	0.0027
H <sub>3</sub>	10	50	100	3.90E+01	1.11E+00	70.111	0.0044	-0.0004
C <sub>3</sub>	100	1000	2000	9.69E+01	2.31E+00	9.414	-0.0039	0.0008
H <sub>4</sub>	10	100	500	1.54E+02	7.52E-01	29.116	0.0031	0.0045
C <sub>4</sub>	100	1000	2000	3.45E+02	1.56E+01	27.421	0.0040	-0.0042
H <sub>5</sub>	10	100	500	7.42E+01	9.06E-01	33.667	0.0031	-0.0011
C <sub>5</sub>	100	1000	2000	9.05E+01	4.10E+00	10.393	-0.0011	0.0015
H <sub>e</sub>	10	200	500	1.71E+02	2.02E+01	63.901	-0.0046	0.0008
A <sub>1</sub>	1	4	7	5.81E+00	6.78E-01	21.375	0.0013	-0.0015

Tabla D.3 – Resultados identificación parámetros para el modelo completo del muro base

	H <sub>si</sub>	C <sub>si</sub>	C <sub>i</sub>	H <sub>i</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	H <sub>e</sub>	A <sub>1</sub>
H <sub>si</sub>	1																
C <sub>si</sub>	0.22	1															
C <sub>i</sub>	0.29	0.01	1														
H <sub>i</sub>	0.48	0.02	0.60	1													
C <sub>1</sub>	0.15	0.49	0.21	0.27	1												
H <sub>1</sub>	0.58	0.54	0.61	0.05	0.19	1											
H <sub>2</sub>	0.52	0.28	0.21	0.18	0.12	0.29	1										
C <sub>12</sub>	0.66	0.60	0.09	0.67	0.50	0.48	0.47	1									
C <sub>2</sub>	0.31	0.28	0.37	0.15	0.37	0.17	0.32	0.38	1								
H <sub>3</sub>	0.36	0.55	0.24	0.28	0.34	0.66	0.45	0.31	0.08	1							
C <sub>3</sub>	0.08	0.26	0.29	0.15	0.13	0.05	0.00	0.57	0.13	0.31	1						
H <sub>4</sub>	0.49	0.11	0.63	0.11	0.31	0.59	0.12	0.48	0.63	0.50	0.02	1					
C <sub>4</sub>	0.36	0.59	0.29	0.41	0.65	0.43	0.20	0.64	0.12	0.25	0.07	0.43	1				
H <sub>5</sub>	0.15	0.48	0.29	0.55	0.07	0.34	0.24	0.00	0.52	0.65	0.04	0.28	0.36	1			
C <sub>5</sub>	0.48	0.59	0.56	0.46	0.23	0.30	0.03	0.15	0.16	0.19	0.45	0.52	0.08	0.28	1		
H <sub>e</sub>	0.53	0.58	0.47	0.57	0.33	0.51	0.49	0.56	0.24	0.40	0.59	0.39	0.29	0.07	0.14	1	
A <sub>1</sub>	0.33	0.29	0.23	0.44	0.27	0.23	0.37	0.18	0.34	0.07	0.45	0.33	0.20	0.08	0.66	0.03	1

Tabla D.4 – Coeficientes de correlación parámetros modelo completo del muro base



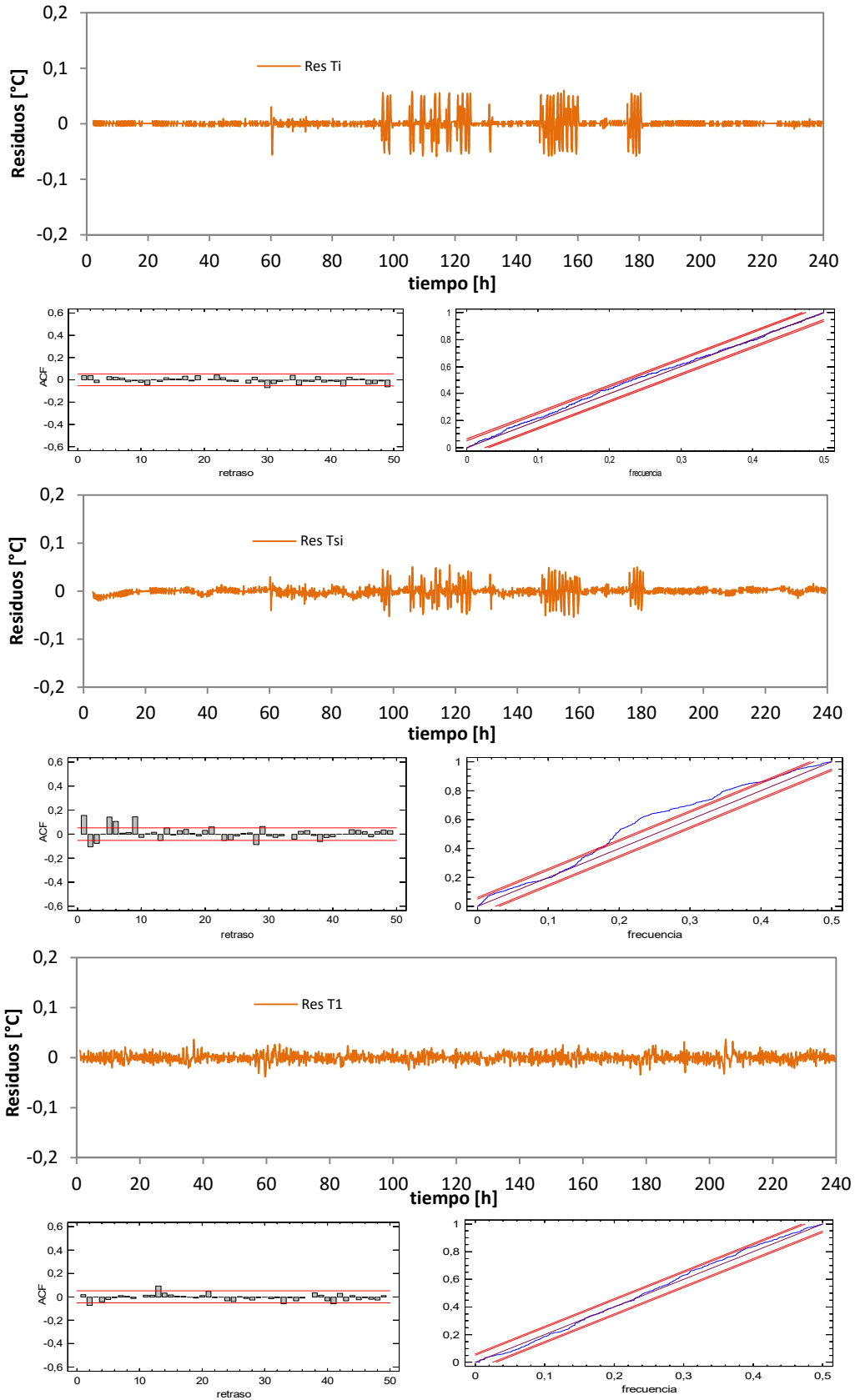


Figura D.6 – Ajuste del modelo completo del muro base

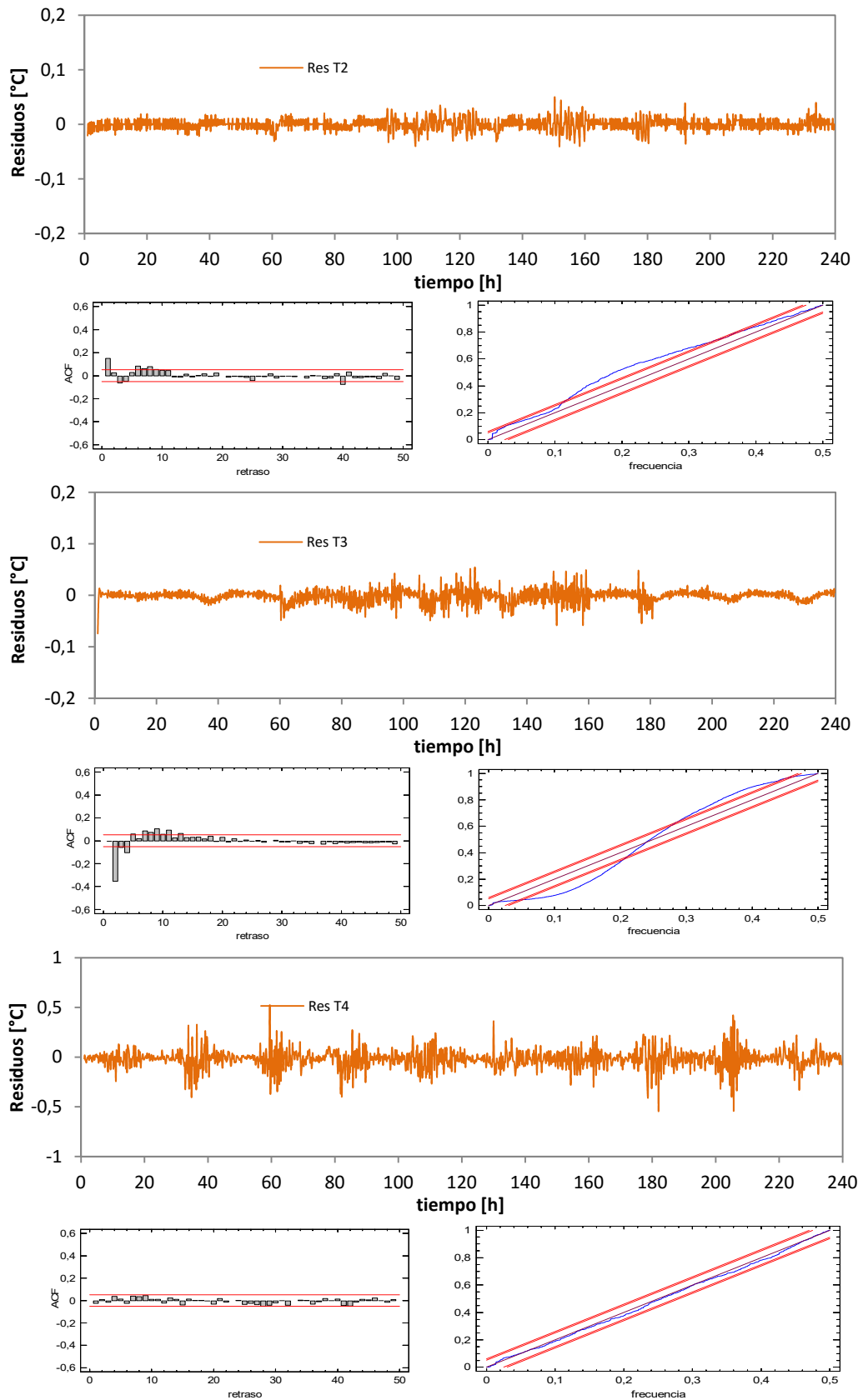


Figura D.7 – Ajuste del modelo completo del muro base

Una vez validados los resultados del modelo de identificación en la Tabla D.5 se muestran los resultados finales para las propiedades térmicas correspondientes a cada capa del muro base, junto con la incertidumbre final del ensayo.

CAPA	[m <sup>2</sup> K/W]	e [%]	CAPA	[MJ/m <sup>2</sup> K]	e [%]
R <sub>tab</sub>	0,168	4,3	C <sub>tab</sub>	0,045	6,3
R <sub>ca</sub>	0,185	2,8	C <sub>perf</sub>	0,162	3,9
R <sub>perf</sub>	0,144	1,0	<b>C<sub>total</sub></b>	<b>0,208</b>	<b>4,4</b>
<b>R<sub>total</sub></b>	<b>0,496</b>	<b>2,8</b>			

Tabla D.5 –Propiedades del modelo de celda completo para el muro base

## D.2 Modelo de muro base con aislamiento

En todo proceso de estudio experimental es necesario complementar los resultados de las medidas y ensayos con la incertidumbre que acompaña a los mismos, para así, poder tomar decisiones de su validez y del rango de aplicación. Entendiendo el concepto de incertidumbre como una cuantificación de la calidad del resultado indicado, y como una herramienta fundamental para la declaración de conformidad con respecto a unas especificaciones o procedimientos. El proceso de medida se estudia de forma que se identifique el máximo número de causas de error, controlando sus valores por debajo de un límite admisible, y trasladando su efecto en la expresión de la incertidumbre del resultado. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra el diagrama causa-efecto en el procedimiento *PASLINK*. En dicho diagrama se recogen el conjunto de fuentes que participan de la incertidumbre del ensayo.

### D.2.1 Modelo unidimensional

Siguiendo la misma metodología para el muro base con aislamiento, primero se determina el comportamiento unidimensional mediante las sondas de temperatura y flujo situadas en la zona central de la muestra y posteriormente se analiza el componente completo. En la Figura D.8 se muestra el modelo ampliado para representar la capa de aislamiento. Aunque la capa de aislamiento no tiene una capacidad térmica representativa, de cara al ajuste del modelo durante el proceso de identificación de parámetros es más correcto representarla mediante dos conductancias y una capacidad. Las que ecuaciones que representan dicho modelo se muestran en [D.5] y en [D.6].

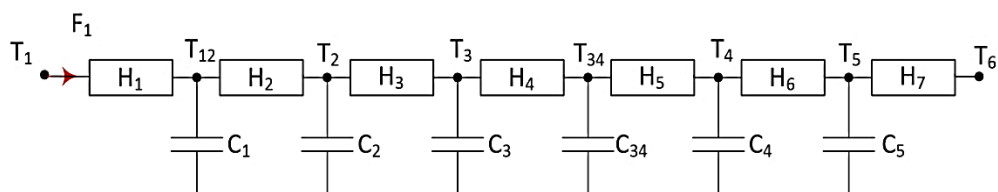


Figura D.8 – Modelo flujo unidimensional del muro base con aislamiento

$$\begin{bmatrix} dT_{12} \\ dT_2 \\ dT_3 \\ dT_4 \\ dT_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-(H_1 + H_2)}{C_1} & \frac{H_{12}}{C_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{H_2}{C_2} & \frac{-(H_2 + H_3)}{C_2} & \frac{H_3}{C_3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_3}{C_3} & \frac{-(H_3 + H_4)}{C_3} & \frac{H_4}{C_3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_4}{C_{34}} & \frac{-(H_4 + H_5)}{C_{34}} & \frac{H_5}{C_{34}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{H_5}{C_4} & \frac{-(H_5 + H_6)}{C_4} & \frac{H_6}{C_4} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{H_6}{C_5} & \frac{-(H_6 + H_7)}{C_5} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{12} \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \frac{H_1}{C_1} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_7}{C_5} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_6 \end{bmatrix} dt \quad [D.5]$$

$$\begin{bmatrix} T_2^m \\ T_3^m \\ T_4^m \\ F_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -H_1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{12} \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_6 \end{bmatrix} + [e] \quad [D.6]$$

En la Tabla D.6 y en la Tabla D.7 se muestran los resultados del proceso de identificación de parámetros junto con el análisis de residuos, Figura D.9 y Figura D.10.

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	0.1	10	1000	1.71E+01	4.93E-01	33.638	-0.0049	0
H <sub>2</sub>	0.1	10	1000	8.53E+00	2.96E-01	6.436	0	-0.0037
C <sub>1</sub>	1	100	1500	2.39E+01	7.67E+00	38.158	-0.0033	0
C <sub>2</sub>	1	100	1500	5.74E+01	2.18E+00	54.400	0.0021	-0.0041
H <sub>3</sub>	0.1	10	1000	5.43E+00	2.90E-01	57.259	-0.0049	0.0019
C <sub>3</sub>	1	100	1500	8.50E+01	4.63E+00	94.190	0	0
H <sub>4</sub>	0.1	10	1000	1.10E+01	5.46E-01	51.812	0.0029	-0.0043
C <sub>34</sub>	1	100	1500	1.07E+02	1.48E+01	78.168	-0.0011	0
H <sub>5</sub>	0.1	10	1000	1.56E+01	2.00E-01	54.377	0.0017	-0.0047
C <sub>4</sub>	1	100	1500	6.90E+01	1.86E+00	69.459	-0.0021	0.0016
H <sub>6</sub>	0.1	10	1000	3.07E+00	1.87E-01	18.399	0.0027	-0.0015
C <sub>5</sub>	1	100	1500	1.47E+01	4.47E+00	2.945	0.0046	-0.0042
H <sub>7</sub>	0.1	10	1000	9.76E-01	5.14E-02	10.321	0	0

Tabla D.6 – Resultados identificación parámetros para el modelo unidimensional del muro base con aislamiento

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>34</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>5</sub>	H <sub>7</sub>
H <sub>1</sub>	1												
H <sub>2</sub>	-0.20	1											
C <sub>1</sub>	0.06	-0.46	1										
C <sub>2</sub>	0.09	-0.29	0.43	1									
H <sub>3</sub>	-0.45	0.03	-0.12	0.25	1								
C <sub>3</sub>	-0.11	0.21	0.21	0.26	0.23	1							
H <sub>4</sub>	-0.05	-0.06	0.31	-0.22	0.22	0.02	1						
C <sub>34</sub>	-0.36	0.14	-0.12	0.14	0.45	0.32	-0.48	1					
H <sub>5</sub>	0.26	-0.16	0.43	0.29	-0.29	0.01	0.36	0.08	1				
C <sub>4</sub>	-0.04	-0.24	-0.23	-0.15	0.11	0.38	0.11	0.01	0.15	1			
H <sub>6</sub>	-0.21	0.09	-0.37	-0.45	0.36	0.42	0.26	0.36	-0.16	-0.22	1		
C <sub>5</sub>	-0.36	-0.03	0.21	-0.42	0.09	0.17	0.49	0.17	0.44	-0.27	-0.49	1	
H <sub>7</sub>	0.07	-0.19	0.27	-0.45	0.03	0.25	0.31	-0.02	-0.41	-0.08	-0.39	-0.46	1

Tabla D.7 – Coeficientes de correlación parámetros modelo unidimensional del muro base con aislamiento

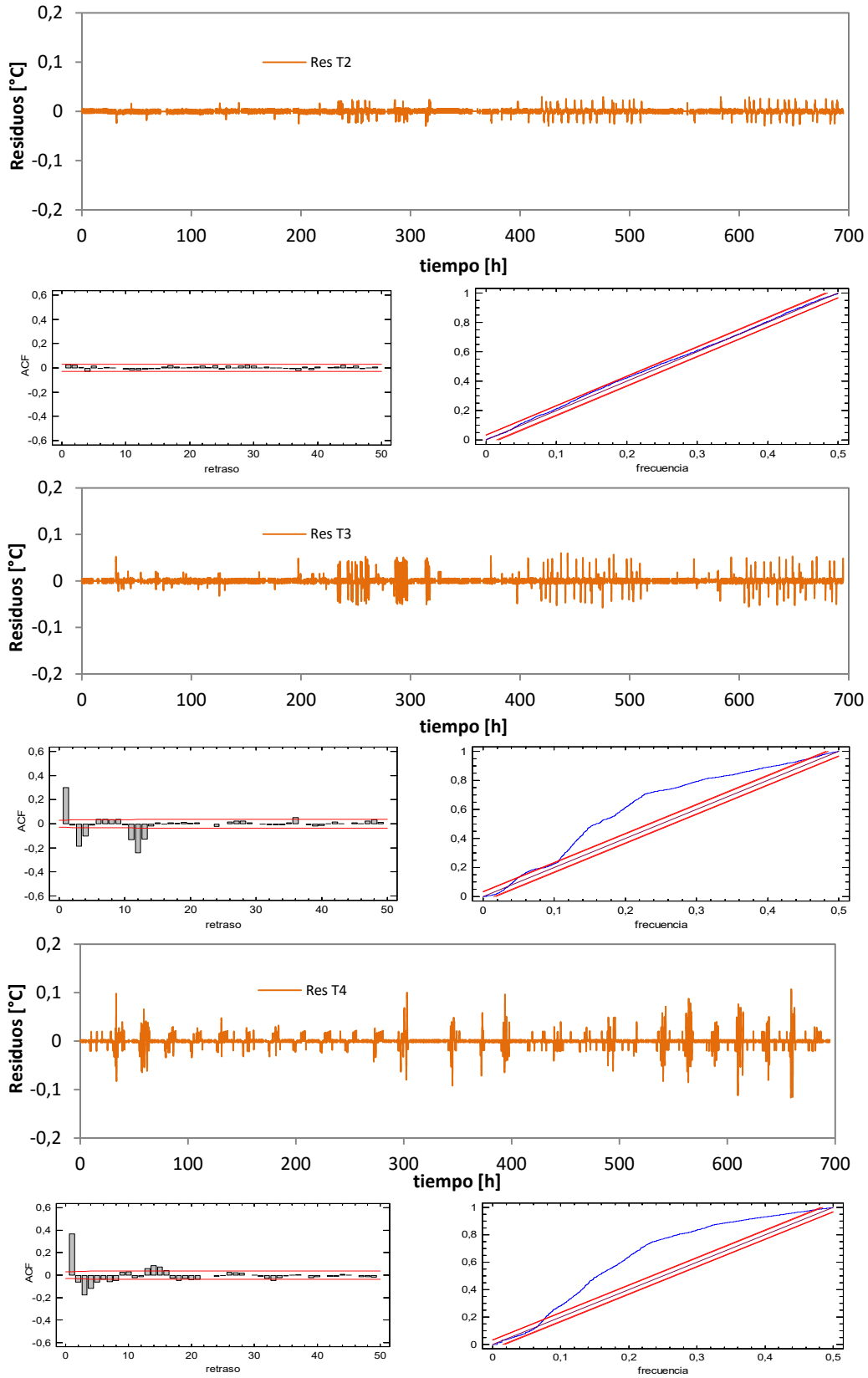


Figura D.9 – Ajuste del modelo unidimensional del muro base con aislamiento

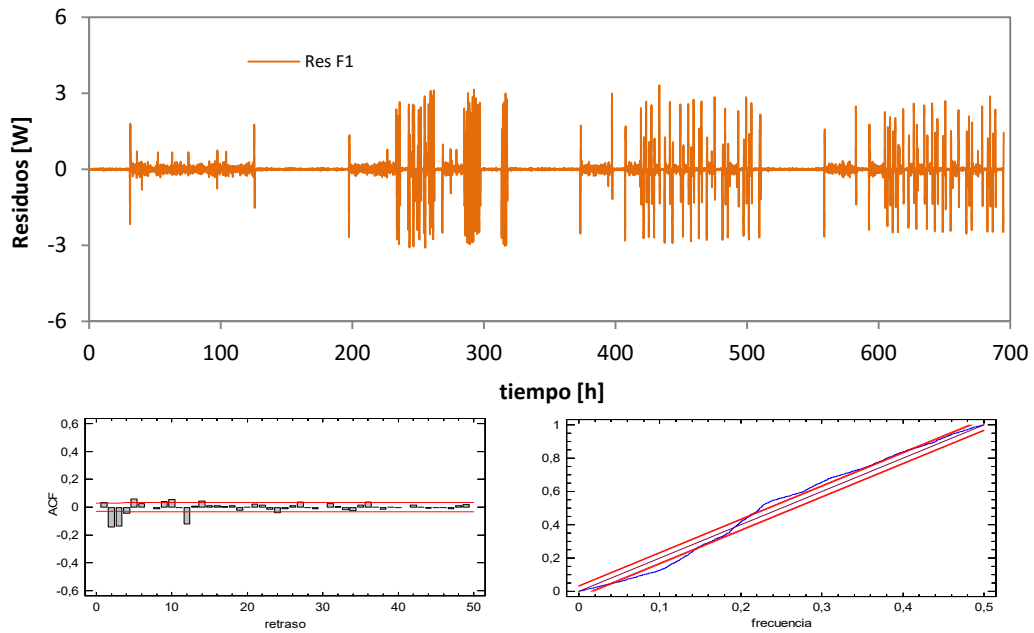


Figura D.10 – Ajuste del modelo unidimensional del muro base con aislamiento

Una vez validado el proceso de identificación de parámetros se obtienen los resultados finales de propiedades térmicas de cada capa de la muestra recogidos en la Tabla D.8.

CAPA	[m <sup>2</sup> K/W]	e [%]	CAPA	[MJ/m <sup>2</sup> K]	e [%]
R <sub>tab</sub>	0,176	3,2	C <sub>tab</sub>	0,049	12,1
R <sub>ca</sub>	0,184	5,1	C <sub>perf</sub>	0,156	8,2
R <sub>perf</sub>	0,155	3,3	C <sub>SATE</sub>	0,009	30,5
R <sub>SATE</sub>	1,350	5,2	<b>C<sub>total</sub></b>	<b>0,214</b>	<b>9,6</b>
<b>R<sub>total</sub></b>	<b>1,864</b>	<b>4,8</b>			

Tabla D.8 – Propiedades del modelo unidimensional para el muro base con aislamiento

## D.2.2 Modelo completo

Una vez resuelto el modelo unidimensional y verificados los resultados obtenidos se pasa a analizar el modelo a escala de celda, como se muestra en la Figura D.11, cuyas ecuaciones se recogen en [D.7] y [D.8].

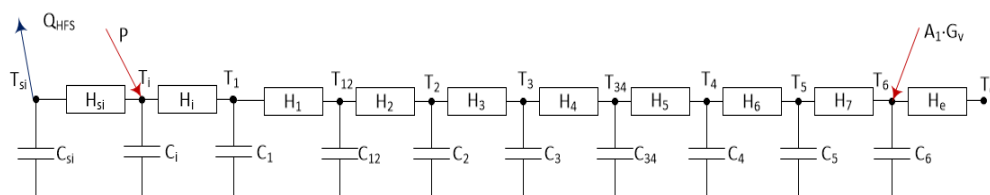


Figura D.11 – Modelo de celda para el muro base con aislamiento exterior





	$H_{si}$	$C_{si}$	$C_i$	$H_i$	$C_1$	$H_1$	$H_2$	$C_{12}$	$C_2$	$H_3$	$C_3$	$H_4$	$C_{34}$	$H_5$	$C_4$	$H_6$	$C_5$	$H_7$	$C_6$	$H_e$	$A_1$	
$H_{si}$	1																					
$C_{si}$	-0.3	1																				
$C_i$	0.1	0.4	1																			
$H_i$	0.0	-0.3	-0.2	1																		
$C_1$	0.3	0.1	0.5	0.4	1																	
$H_1$	0.0	0.1	-0.5	0.0	0.1	1																
$H_2$	0.2	0.4	-0.3	0.4	-0.3	0.2	1															
$C_{12}$	-0.1	0.4	0.0	0.3	0.2	0.2	-0.1	1														
$C_2$	0.2	0.5	-0.3	0.1	0.3	-0.3	0.5	0.0	1													
$H_3$	0.0	0.0	0.4	0.4	0.4	0.4	-0.1	0.4	0.3	1												
$C_3$	0.5	0.0	0.3	0.4	-0.1	0.1	0.2	-0.3	-0.1	0.2	1											
$H_4$	-0.2	0.2	-0.2	-0.4	0.4	0.3	-0.3	0.1	-0.3	0.2	-0.4	1										
$C_{34}$	0.1	-0.4	-0.1	0.5	0.1	0.3	-0.3	-0.3	0.4	0.0	-0.2	-0.2	1									
$H_5$	-0.3	0.4	-0.2	0.1	0.0	0.3	0.0	0.2	-0.2	-0.4	0.1	-0.3	-0.1	1								
$C_4$	0.2	-0.4	-0.3	-0.4	0.2	-0.1	0.2	-0.3	0.4	-0.1	0.4	0.2	0.4	0.1	1							
$H_6$	-0.3	-0.3	0.2	0.2	0.2	-0.4	-0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.0	-0.3	0.5	0.0	1						
$C_5$	-0.3	0.0	0.5	0.4	-0.5	0.1	0.3	0.0	-0.2	0.2	0.2	-0.1	-0.5	-0.1	0.5	0.4	1					
$H_7$	-0.1	0.2	-0.5	0.0	-0.1	0.2	0.1	-0.5	0.3	-0.3	0.3	0.5	-0.1	-0.1	0.4	0.5	-0.3	1				
$C_6$	0.2	-0.1	-0.1	-0.4	-0.2	-0.2	0.0	-0.5	-0.5	0.3	0.1	-0.3	0.0	0.2	-0.4	0.0	-0.3	-0.1	1			
$H_e$	0.4	0.3	0.1	0.0	0.3	-0.4	-0.3	0.1	0.4	0.0	0.4	0.4	0.2	-0.4	-0.3	-0.3	0.2	0.1	-0.4	1		
$A_1$	0.1	0.0	0.4	-0.1	0.0	-0.4	-0.2	0.1	0.2	0.2	-0.3	-0.3	-0.4	0.4	0.3	-0.1	0.1	-0.2	-0.2	0.4	1	

Tabla D.10 – Coeficientes de correlación parámetros modelo completo del muro base con aislamiento

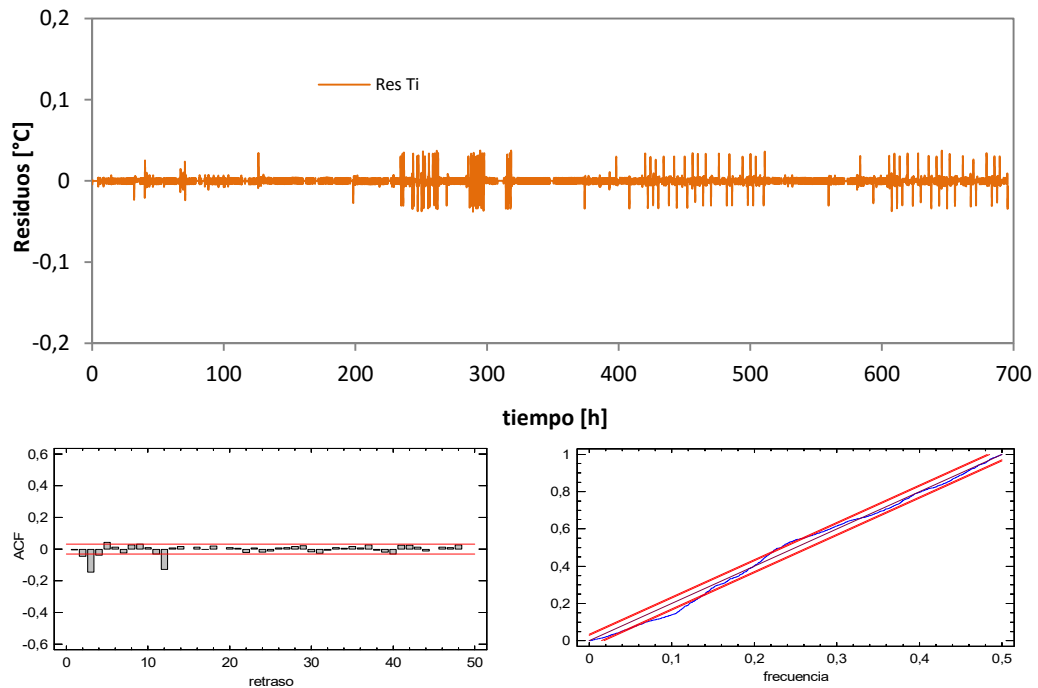


Figura D.12 – Ajuste del modelo completo del muro base con aislamiento

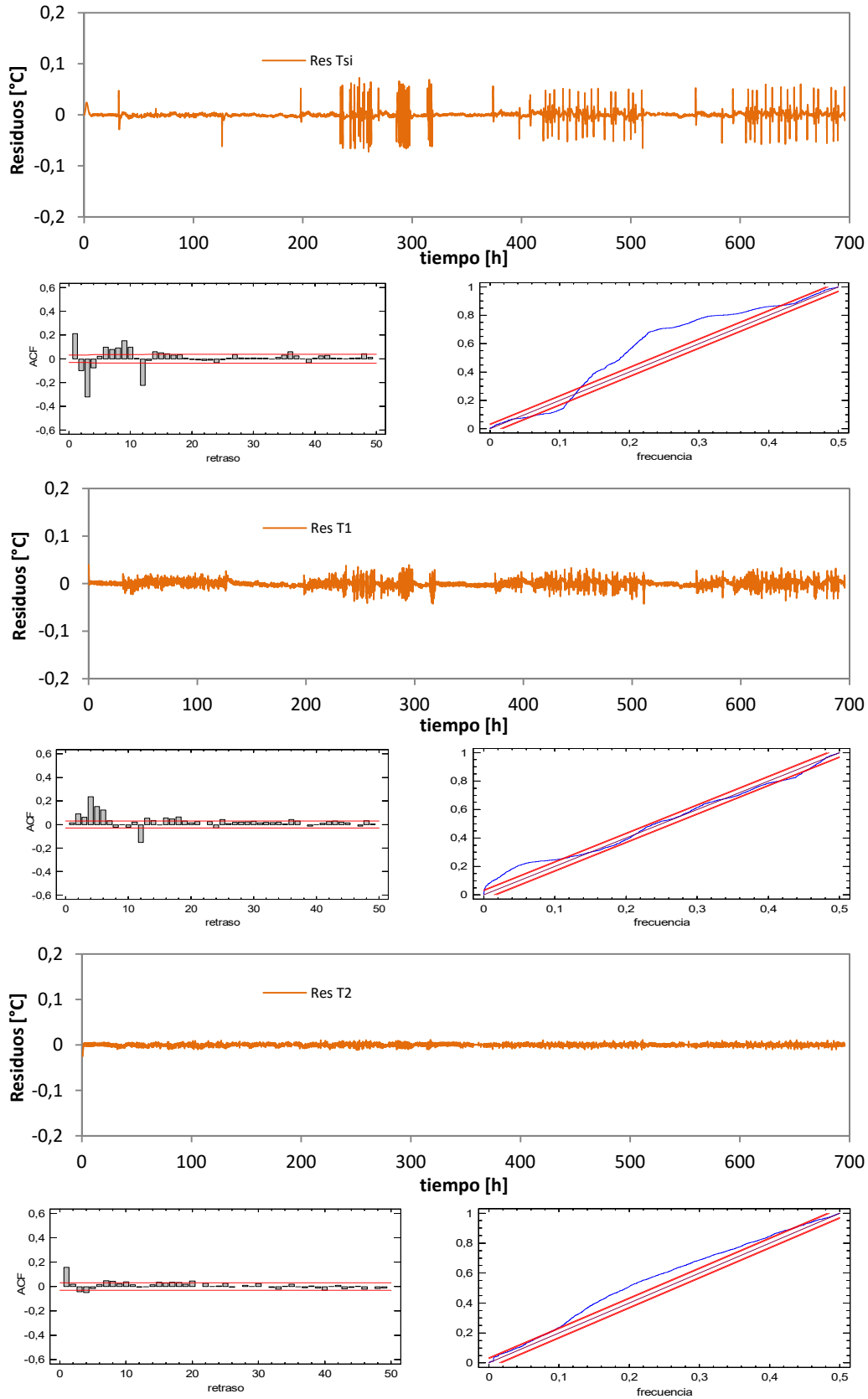


Figura D.13 – Ajuste del modelo completo del muro base con aislamiento

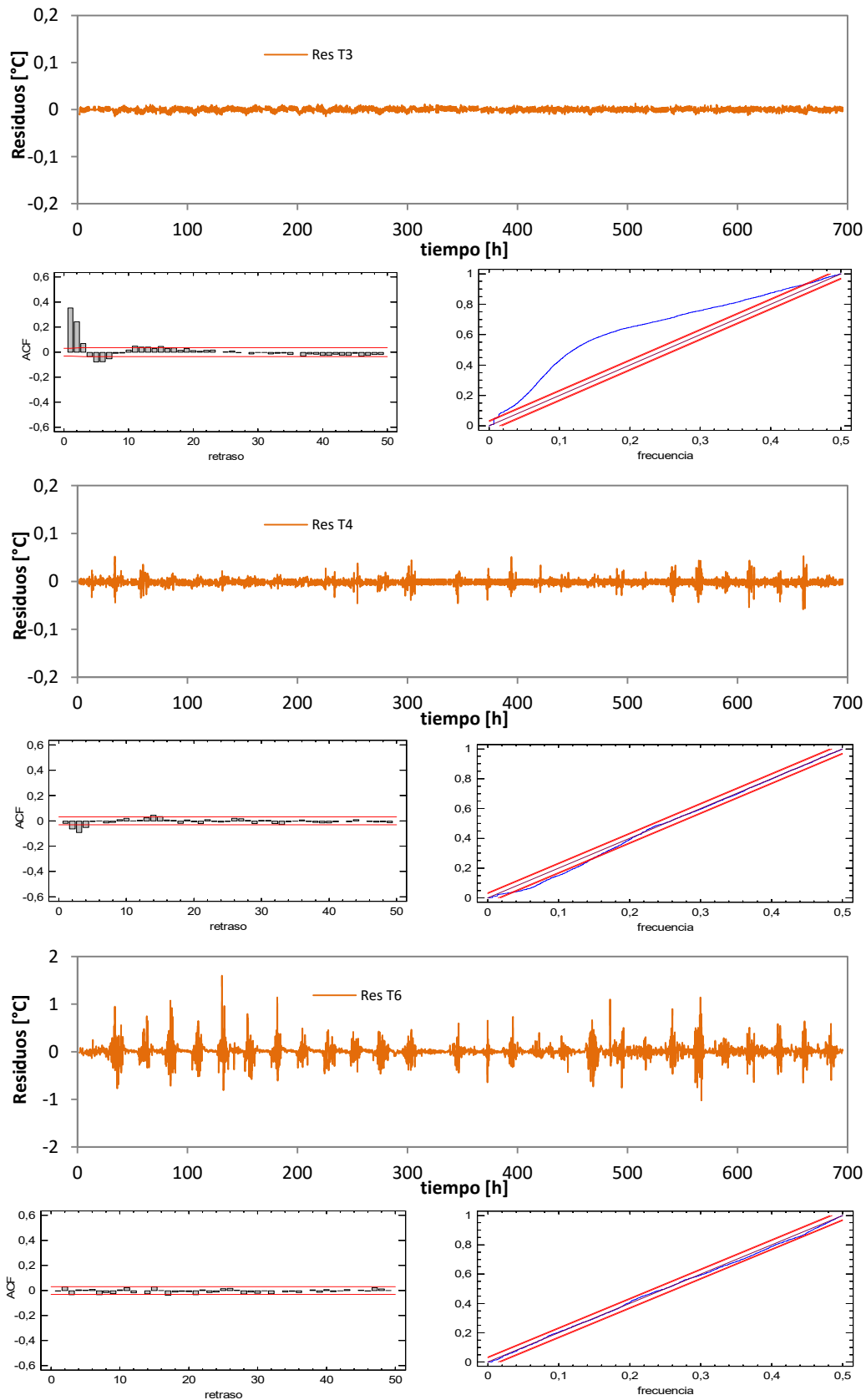


Figura D.14 – Ajuste del modelo completo del muro base con aislamiento

Una vez validado el proceso de identificación de parámetros se obtienen los resultados finales de propiedades térmicas de cada capa de la muestra recogidos en la Tabla D.11.

CAPA	[m <sup>2</sup> K/W]	e [%]	CAPA	[MJ/m <sup>2</sup> K]	e [%]
R <sub>tab</sub>	0.177	8.9	C <sub>tab</sub>	0.049	10.7
R <sub>ca</sub>	0.183	5.5	C <sub>perf</sub>	0.160	6.2
R <sub>perf</sub>	0.159	11.1	C <sub>SATE</sub>	0.009	15.9
R <sub>SATE</sub>	1.271	2.0	<b>C<sub>total</sub></b>	<b>0.218</b>	<b>7.6</b>
<b>R<sub>total</sub></b>	<b>1.790</b>	<b>3.8</b>			

Tabla D.11 – Propiedades térmicas por capa del modelo de celda para el muro base con aislamiento

## D.3 Modelo de fachada ventilada

El modelado del comportamiento térmico de la fachada ventilada es el apartado más complejo de la parte experimental. En las probetas de muro base las propiedades térmicas de la muestra permanecen constantes, sin embargo, para la fachada ventilada el proceso de convección varía la respuesta de la probeta en función de las condiciones de temperatura y radiación exteriores. El desarrollo del proceso de modelado de dichas fachadas activas es el hito más representativo de la segunda parte del presente trabajo de investigación. El modelado de la fachada ventilada se divide en dos pasos. El primero consiste en obtener los valores eficientes de las propiedades del flujo de aire en la cámara ventilada para las temperaturas y para las velocidades. Este objetivo se obtiene mediante el empleo de un modelo de volúmenes finitos definido en una herramienta de CFD. Una vez obtenidos los valores eficientes se pasa a definir un modelo en parámetros concentrados que permite reproducir el comportamiento de la fachada para, asu vez, emplearlo en un software de simulación a escala de edificio. A continuación se muestra los cálculos correspondientes a dichas fases de modelado de la probeta de fachada ventilada.

### D.3.1 Modelo CFD

En el apartado 5.2.2 de la memoria se define las características del modelo de CFD empleado para el estudio de la cámara de aire ventilada. Se muestran las características del mallado, el cual se a estudiado de forma paramétrica en base al tamaño de celda de forma que se obtienen los mismos resultados con el menor número posible de elementos. Y se emplean zonas de mayor definición para las cápas límite. También se definen los modelos de flotación, turbulencia, etc..., empleados. Pero aunque el modelo converja y se optimice en sus propiedades siempre es necesario validar los resultados con los datos experimentales. Este paso final es complejo de conseguir, ya que en la mayoría de casos no se disponen de dichos datos a

escala de probeta real como es el caso del ensayo *PASLINK*. Este es un aspecto a favor de la metodología de ensayo empleada frente a otros estudios sobre el comportamiento energético de fachadas ventiladas. El paso de validación es un paso complejo y costoso, ya que los primeros resultados se suelen alejar de los datos experimentales, lo que implica un proceso iterativo de ajuste, que debido al coste computacional de los modelos de *CFD* se alarga en el tiempo, exigiendo muchas horas de tratamiento de datos. Por ejemplo, el modelo estudiado tarda del orden de un día en resolver de forma dinámica el intervalo de tiempo empleado de 5 días.

Una vez obtenidos los resultados es necesario postprocesar los datos y compararlos con los valores equivalentes medidos en el ensayo. En función de las divergencias se ajustan las propiedades del modelo, y se repite el proceso hasta obtener resultados válidos. En el siguiente apartado se muestran los resultados de ajuste finales obtenidos para el modelo de *CFD*.

### D.3.1.1 Ajuste del modelo con datos experimentales

En la Figura D.15 y Figura D.16 se muestra la comparativa entre los resultados del modelo respecto a los valores medidos para las velocidades en la cámara de aire ventilada. La validación de un modelo cuando existe un número de puntos y variables de contraste elevado es compleja. En este caso se ha tomado como mejor modelo el que reduce el error medio ponderado de velocidades y temperaturas dando mayor relevancia a los datos correspondientes a la zona central de la muestra, ya que en la zona de entrada y salida se generan condiciones particulares de turbulencia que afectan a la propia medida experimental y difieren del comportamiento promedio de la muestra en general.

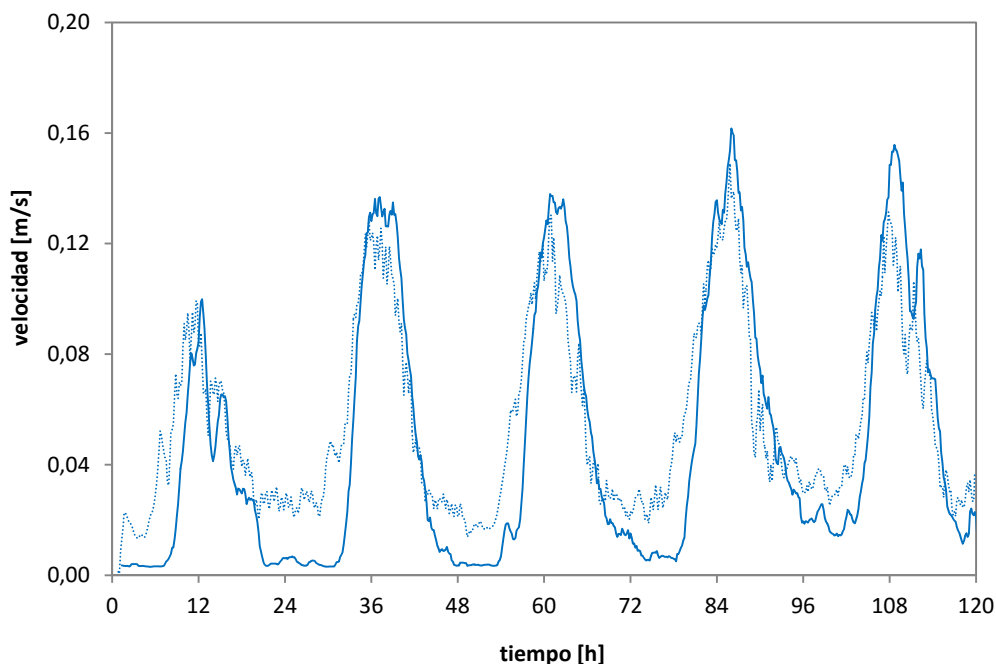


Figura D.15 –Validación del modelo *CFD* para las velocidades en la cámara ventilada

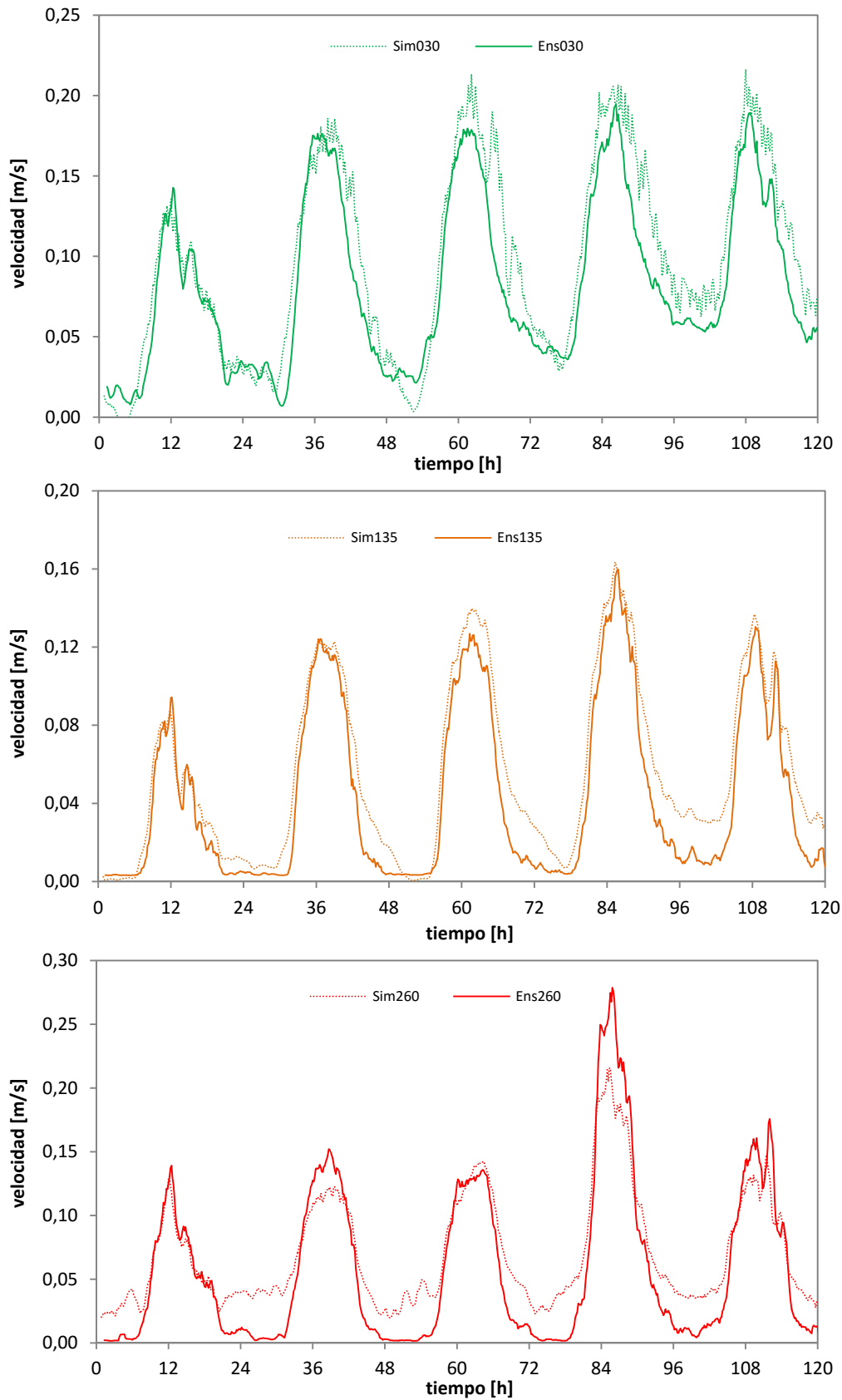


Figura D.16 –Validación del modelo CFD para las velocidades en la cámara ventilada

En la Figura D.17 y Figura D.18 se muestra el ajuste para temperaturas del aire en la cámara ventilada. El ajuste de las variables del aire dentro de la cámara ventilada es el aspecto más complicado. El modelo físico-matemático de la cámara de aire es el componente que mayor grado de definición necesita y donde mayor número de hipótesis de cálculo y simplificaciones se aplican. Por tanto, se considera que el ajuste obtenido es muy correcto y válido para realizar el estudio posterior de factores eficientes.

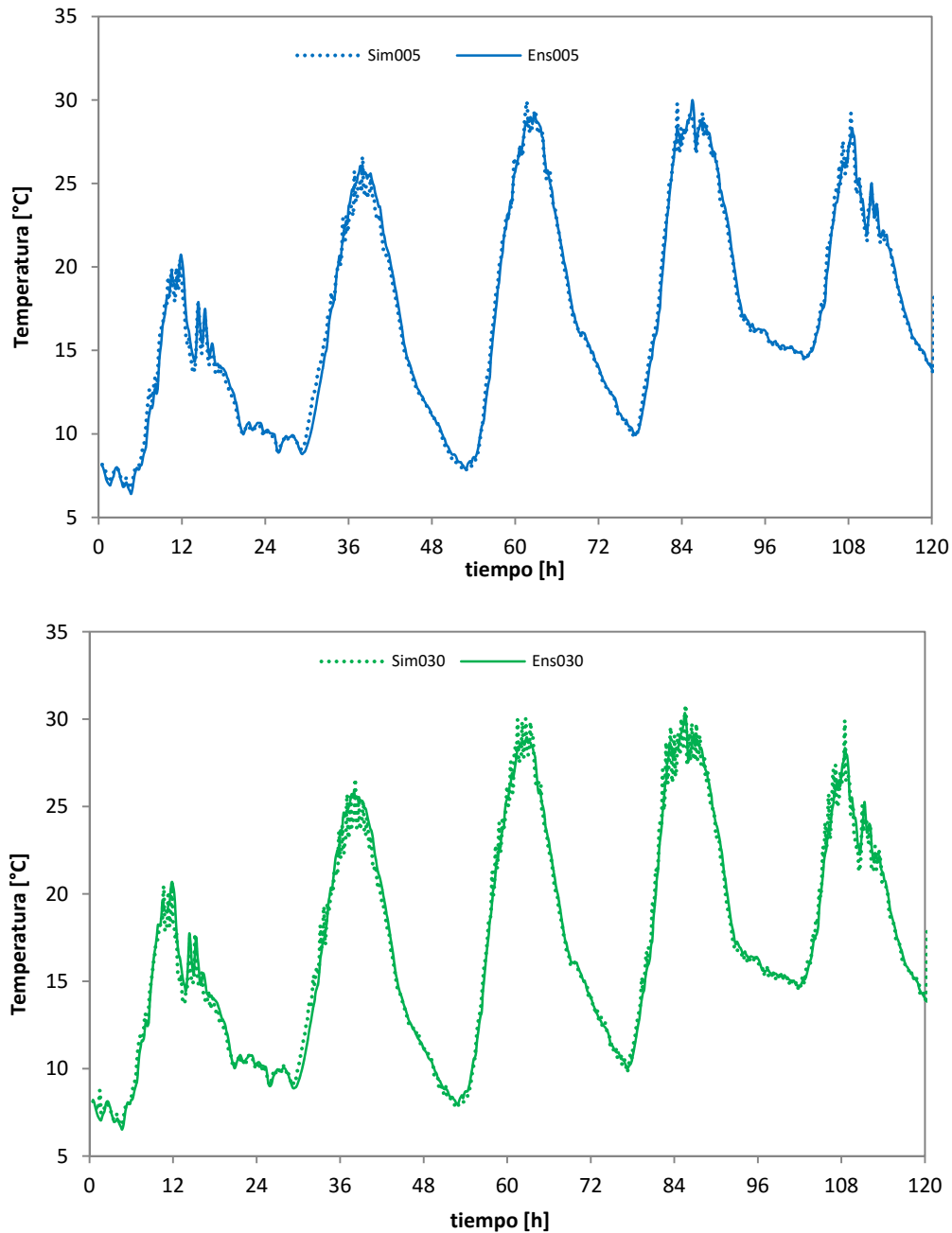


Figura D.17 –Validación del modelo CFD para las temperaturas en la cámara ventilada



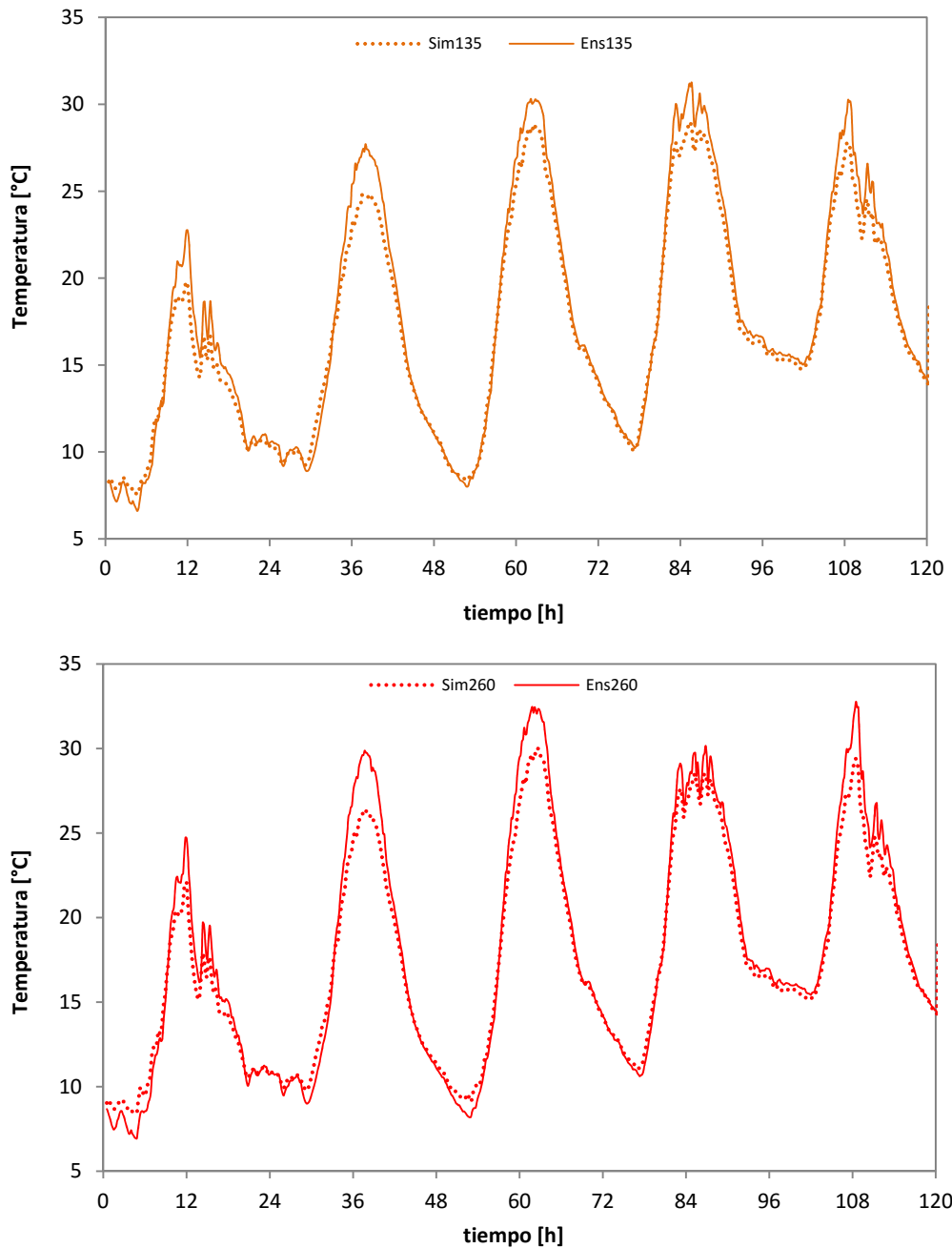


Figura D.18 –Validación del modelo CFD para las temperaturas en la cámara ventilada

Una vez contrastadas las variables del aire en la cámara ventilada se muestran los resultados para las temperaturas de las superficies que la conforman y para la superficie exterior de la fachada. En la Figura D.19 y en la Figura D.20 se muestra la comparativa entre los valores del modelo y experimentales de las temperaturas de la superficie del aislamiento que corresponde con la superficie interior de la cámara de aire definida como *Capa 5* de la muestra.

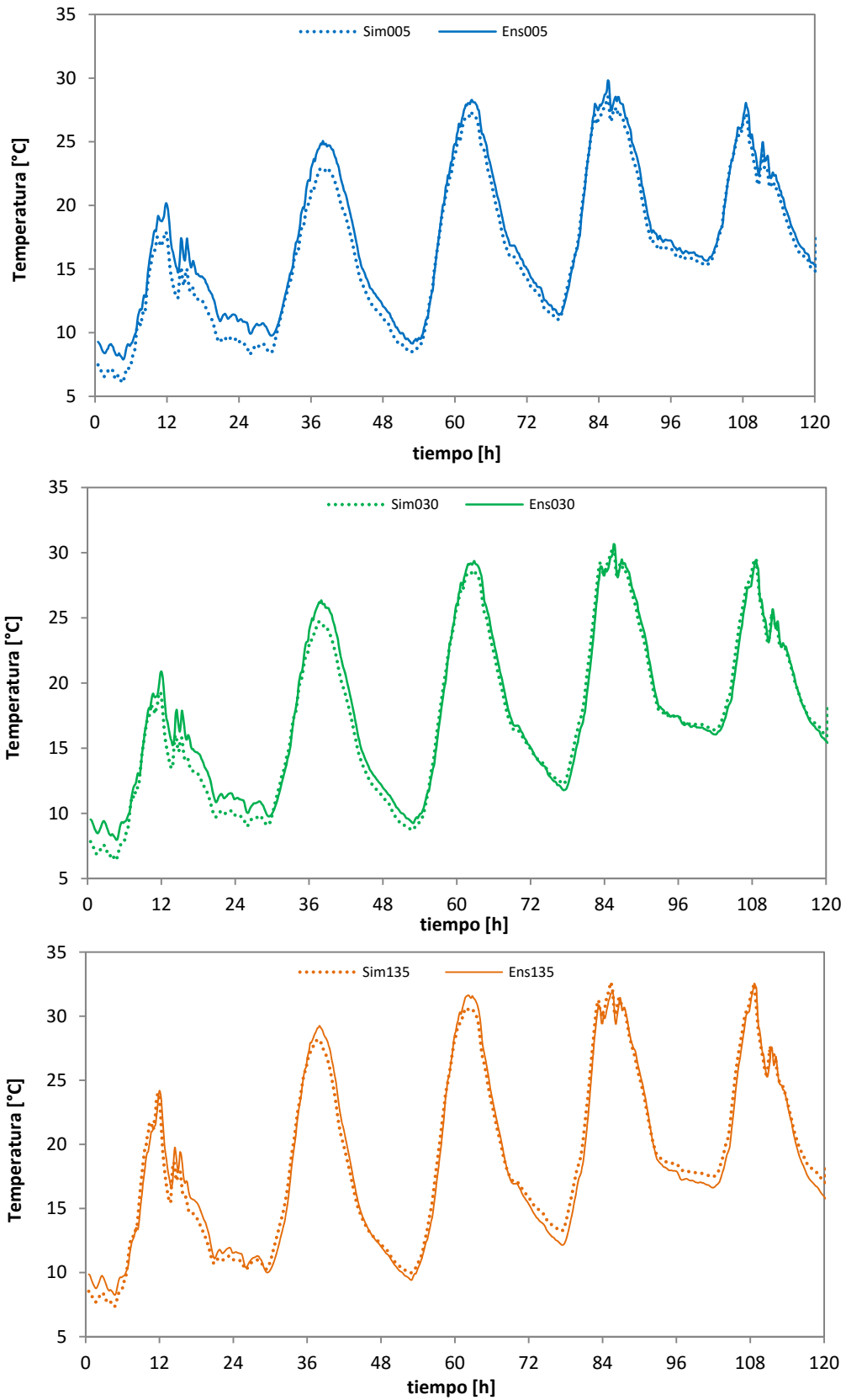


Figura D.19 –Validación del modelo CFD para las temperaturas en la capa 5, superficie aislante

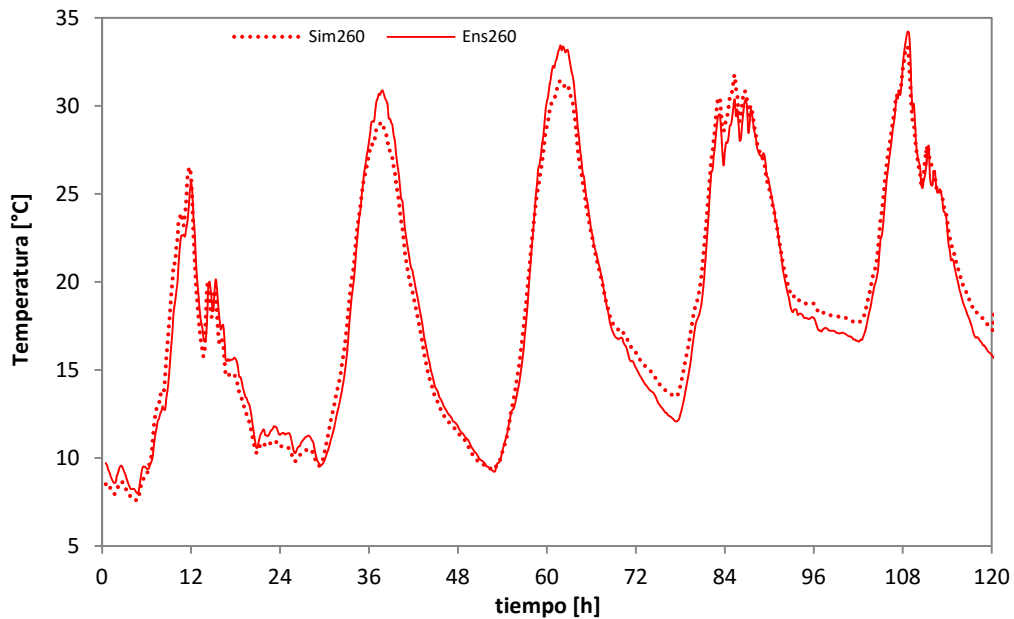


Figura D.20 –Validación del modelo CFD para las temperaturas en la capa 5, superficie aislante

De igual forma, en la Figura D.21 y en la Figura D.22 se muestra la comparativa para las temperaturas de la superficie de la placa de cemento, que configura la cara exterior de la cámara ventilada, y que se define como *Capa 6* en el esquema de la probeta.

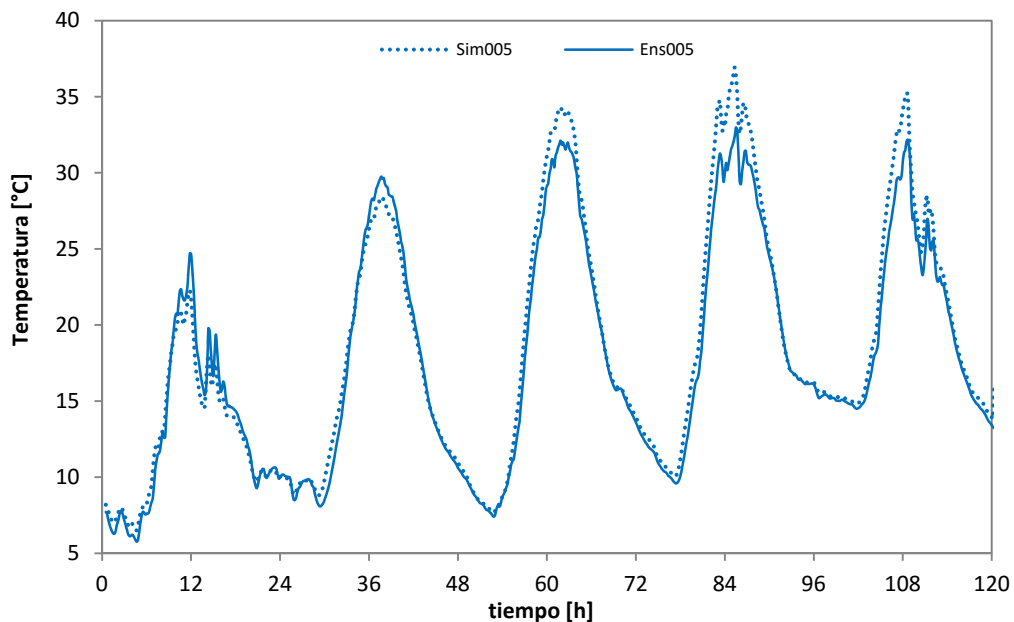


Figura D.21 –Validación del modelo CFD para las temperaturas en la capa 6, superficie placa de cemento

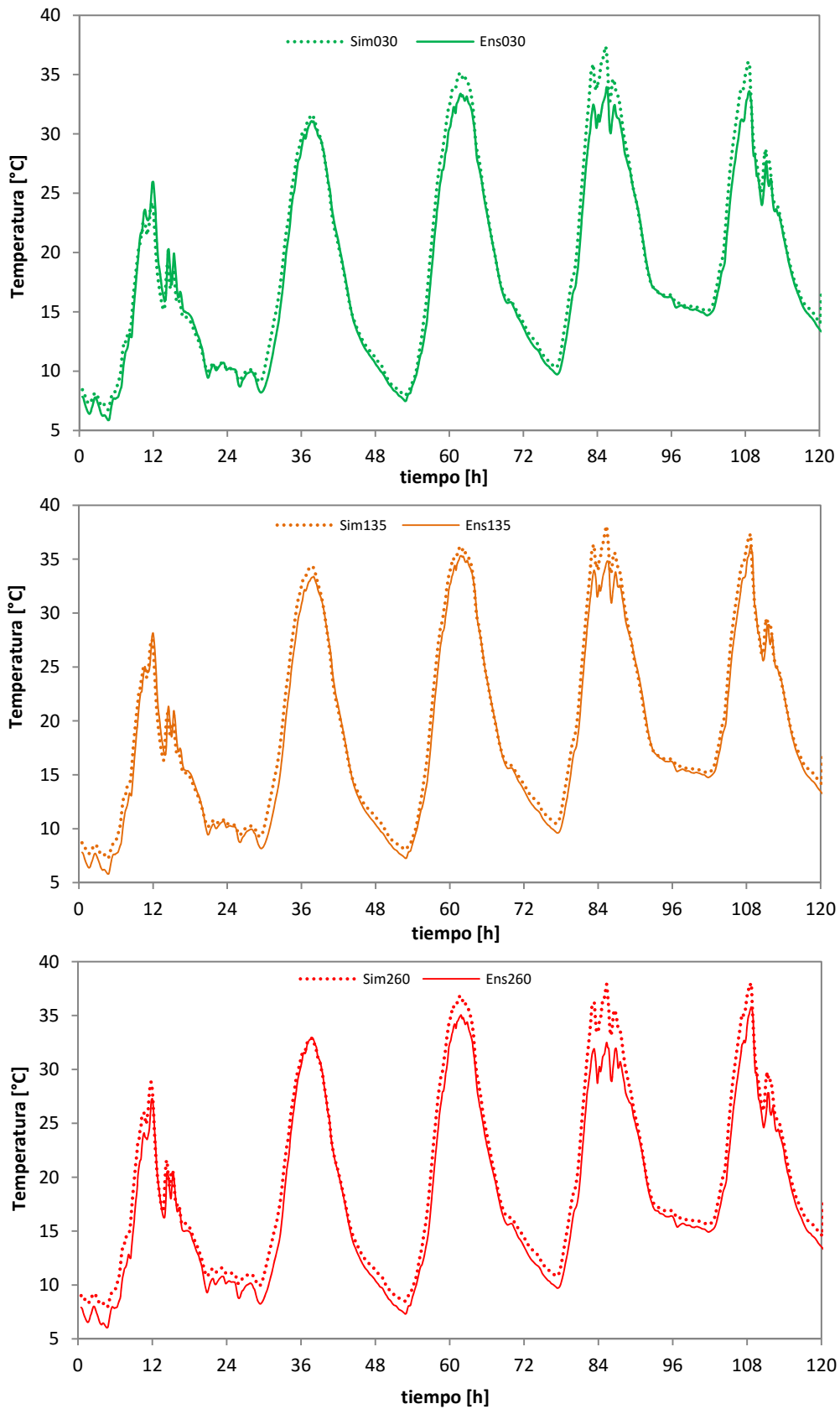


Figura D.22 –Validación del modelo CFD para las temperaturas en la capa 6, superficie placa de cemento

En la Tabla D.12 se recogen los errores medios obtenidos para cada una de las variables y cada punto de medida obtenidos.

Error Abs Velocidad [m/s]				
Altura [m]				
	0,05	0,30	1,35	2,60
FV-L	0,02	0,03	0,02	0,04

Error Abs Temperatura [°C]					
Altura [m]					
Capa		0,05	0,30	1,35	2,60
FV-L	5	1,0	0,8	0,8	0,9
	ca	0,4	0,5	0,8	0,9
	6	0,9	0,9	0,9	1,4

Tabla D.12 – Error absoluto de los modelos de volúmenes finitos en las dos tipologías de fachada ventilada

En la memoria, en el apartado de validación del modelo de CFD, se muestran una serie de imágenes correspondientes a los campos de temperaturas y velocidades del aire para cuatro instantes de tiempo representativos del comportamiento de la fachada ventilada. Por extensión del documento dichas imágenes se muestran en un tamaño reducido, a continuación se muestran con más detalla, de forma que se puede apreciar con más calidad la información del comportamiento de las diferentes capas de la muestra.

En la Figura D.23 y en la Figura D.24 se puede ver el comportamiento de la fachada a medido día, cuando la incidencia solar calienta la placa exterior de cemento que comienza a generar el proceso de flotación del aire dentro de la cámara ventilada. Pero aun está muy fría la superficie del aislante, de forma que el movimiento es lento y progresivo. En la Figura D.25 y en la Figura D.26 se muestra el estado de la fachada hacia el final de la tarde, cuando comienza a remitir la incidencia solar, de forma que la placa exterior comienza a enfriarse y la superficie del aislante pasa a ser la más caliente, pero debido a la inercia del movimiento, las velocidades siguen siendo continuas y con perfiles homogéneos.

En la Figura D.27 y en la Figura D.28 se muestra el estado correspondiente a la media noche, instante en el que se están enfriando por completo todas las superficies de la fachada y empieza a frenarse el movimiento de aire dentro de la cámara ventilada. Por último, en la Figura D.29 y en la Figura D.30 se muestra el instante de tiempo del amanecer, momento más fría del día, en el que el movimiento ascendente del aire es prácticamente nulo ó con zonas de reflujó y velocidades de descenso en la proximidad de la placa de cemento.

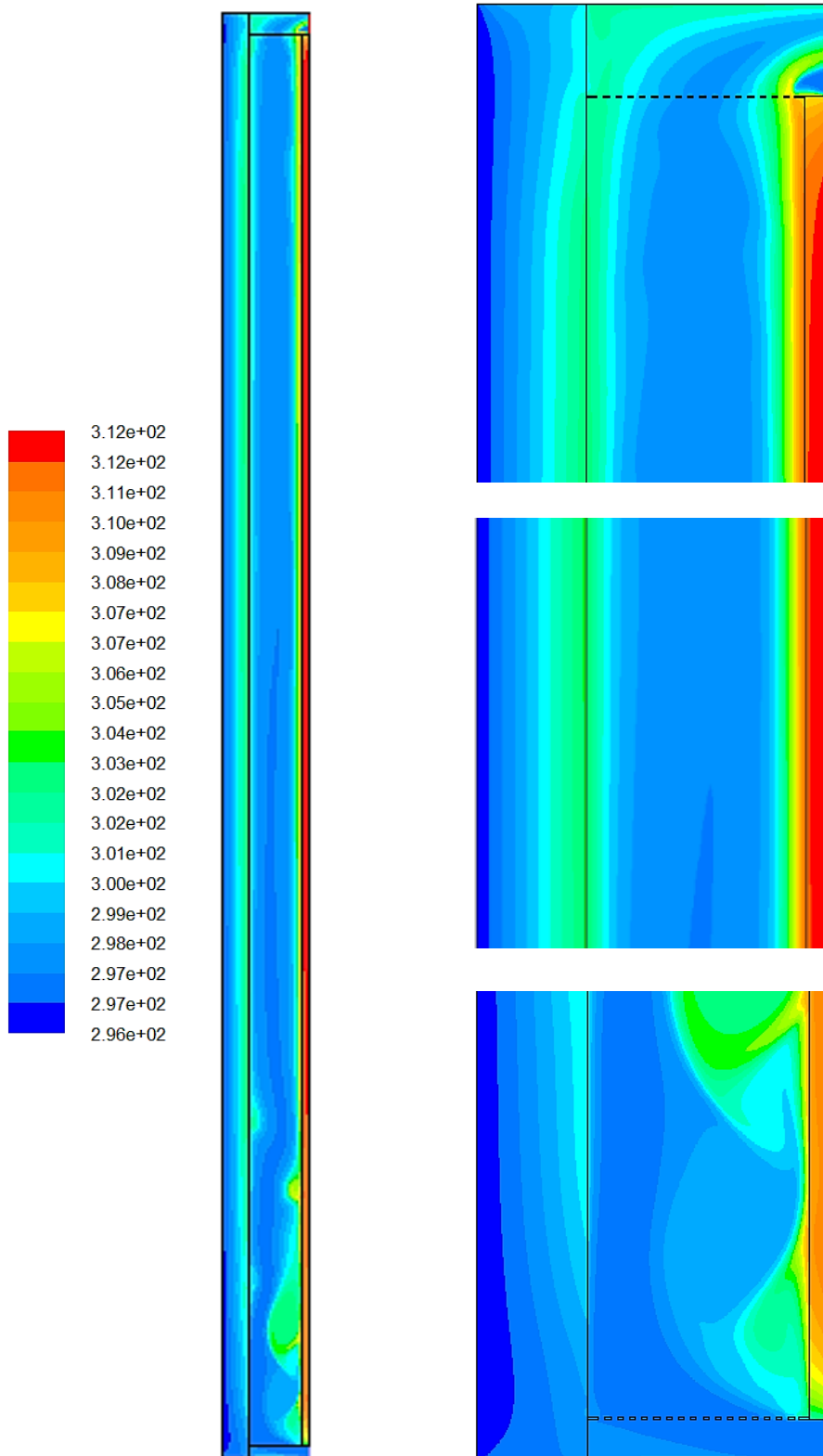


Figura D.23 –Campo de temperaturas para el instante de tiempo  $t = 60$  [h]

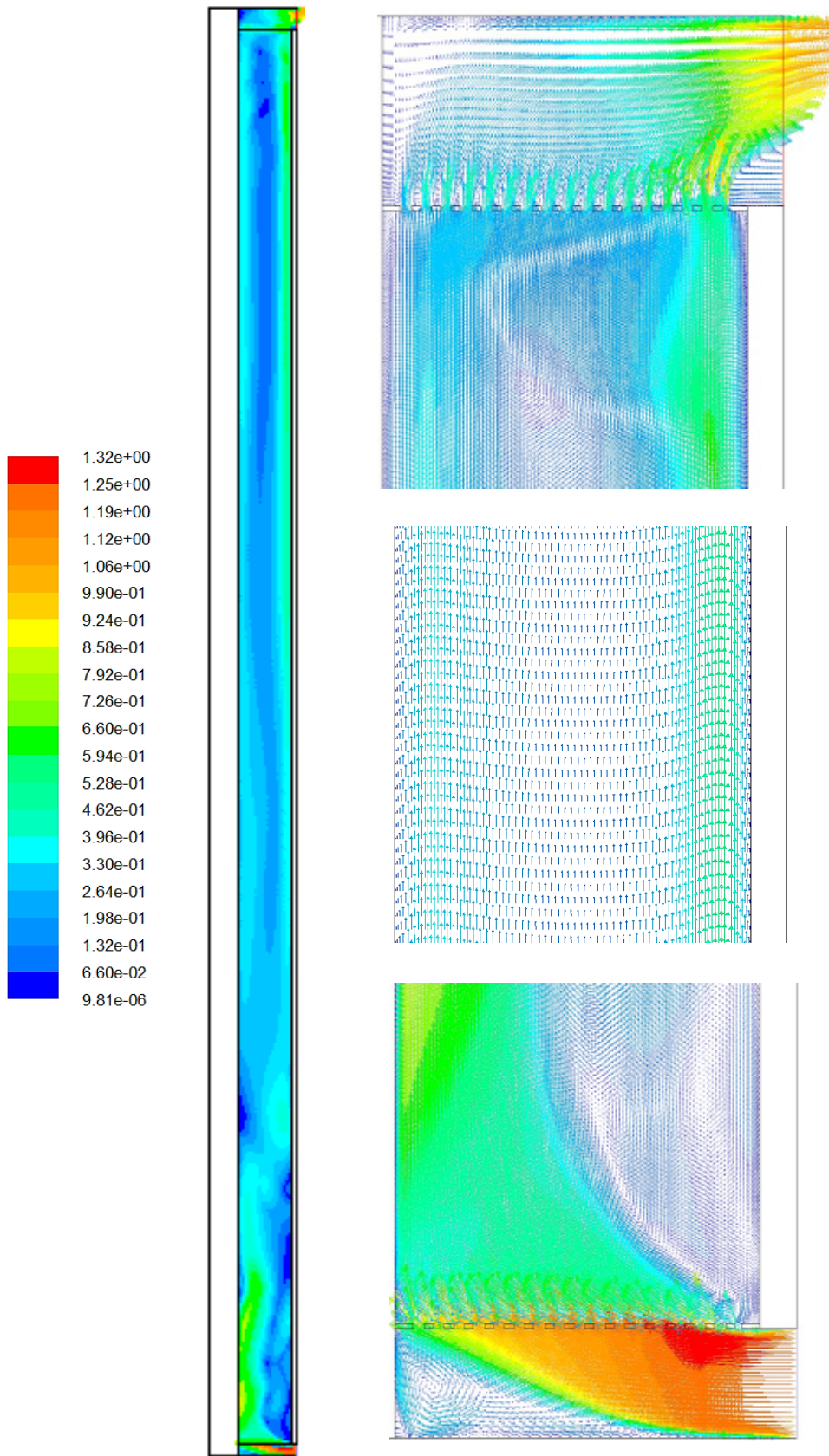


Figura D.24 –Campo de velocidades para el instante de tiempo  $t = 60$  [h]

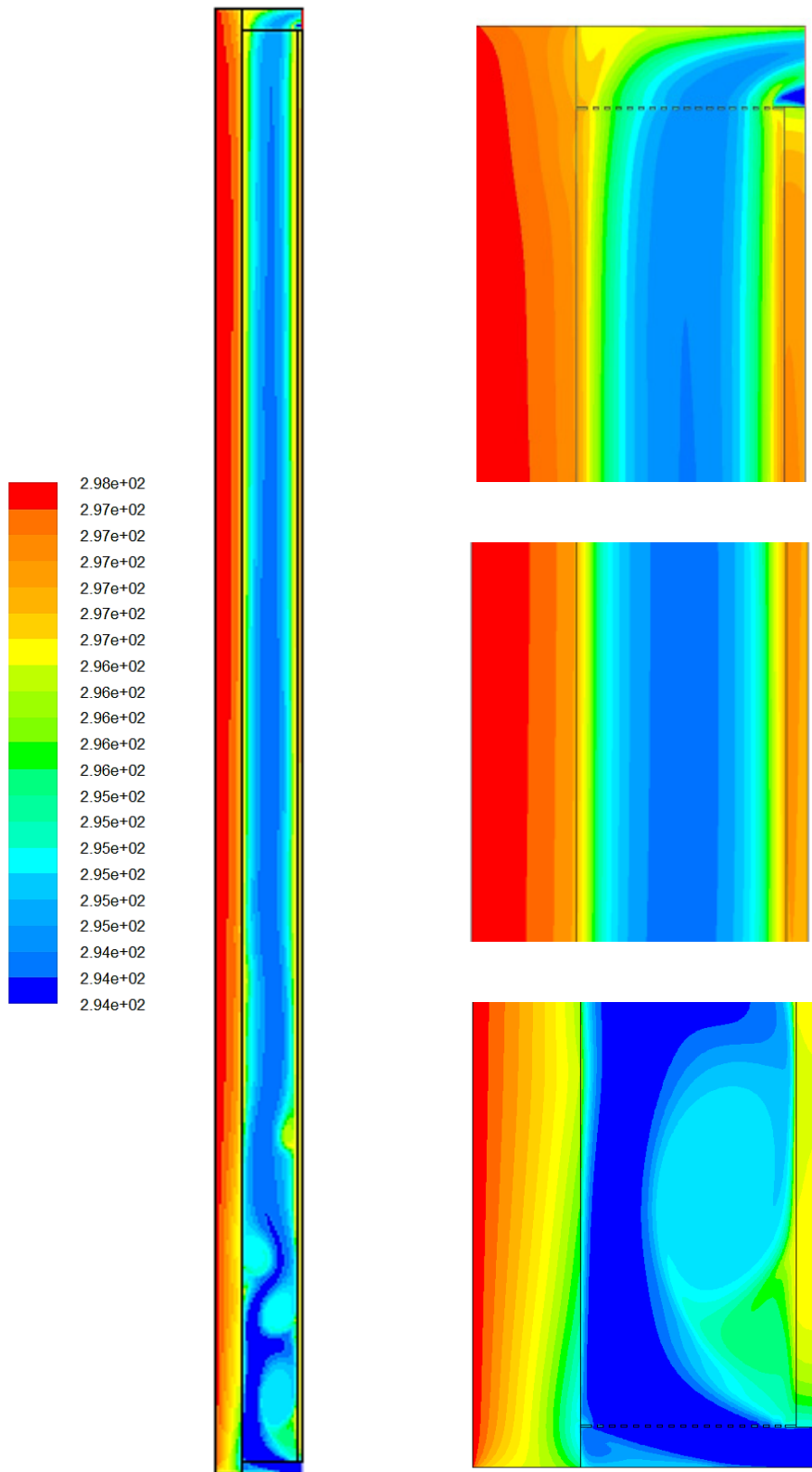


Figura D.25 –Campo de temperaturas para el instante de tiempo  $t = 66$  [h]



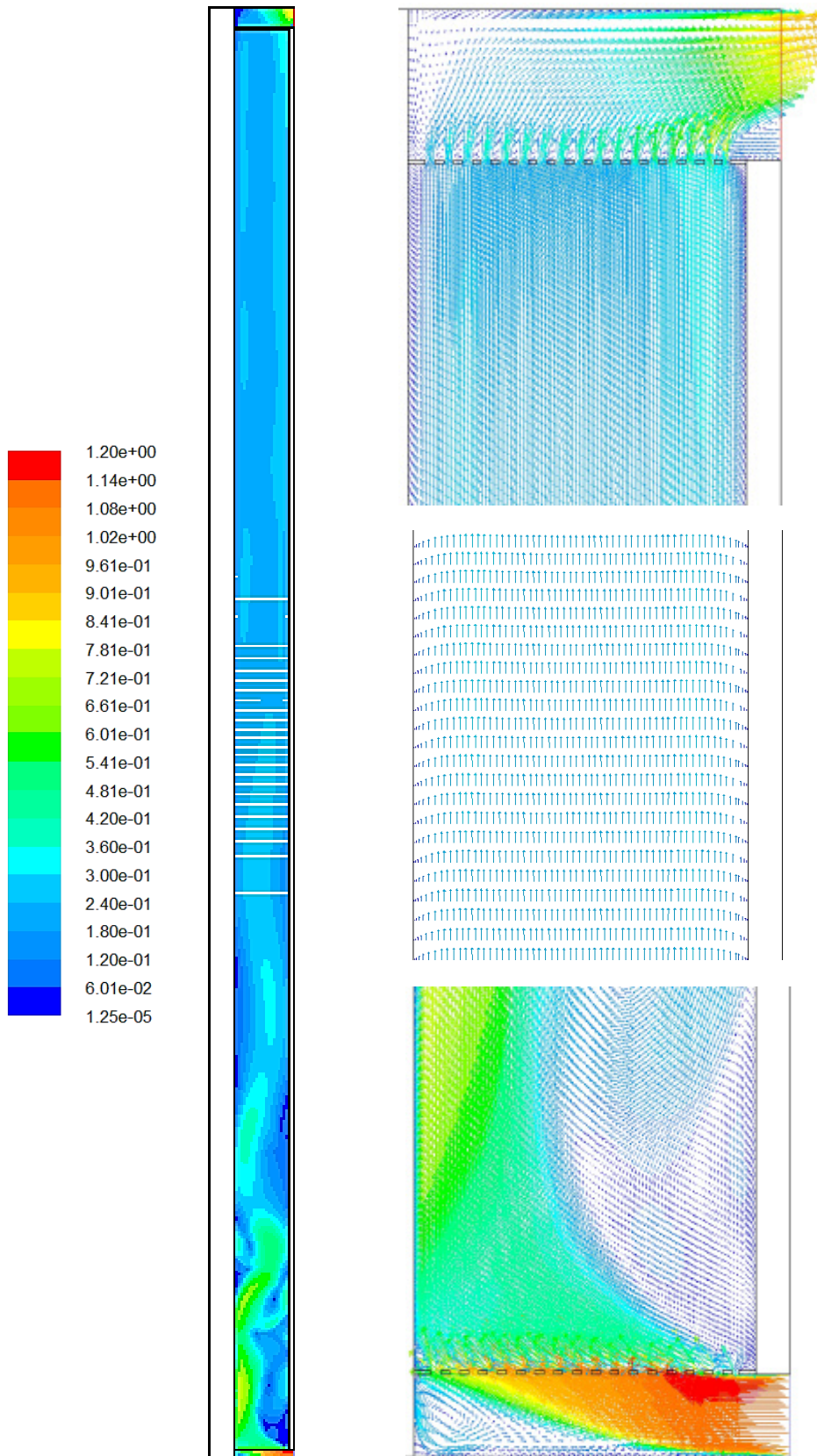


Figura D.26 –Campo de velocidades para el instante de tiempo  $t = 66$  [h]

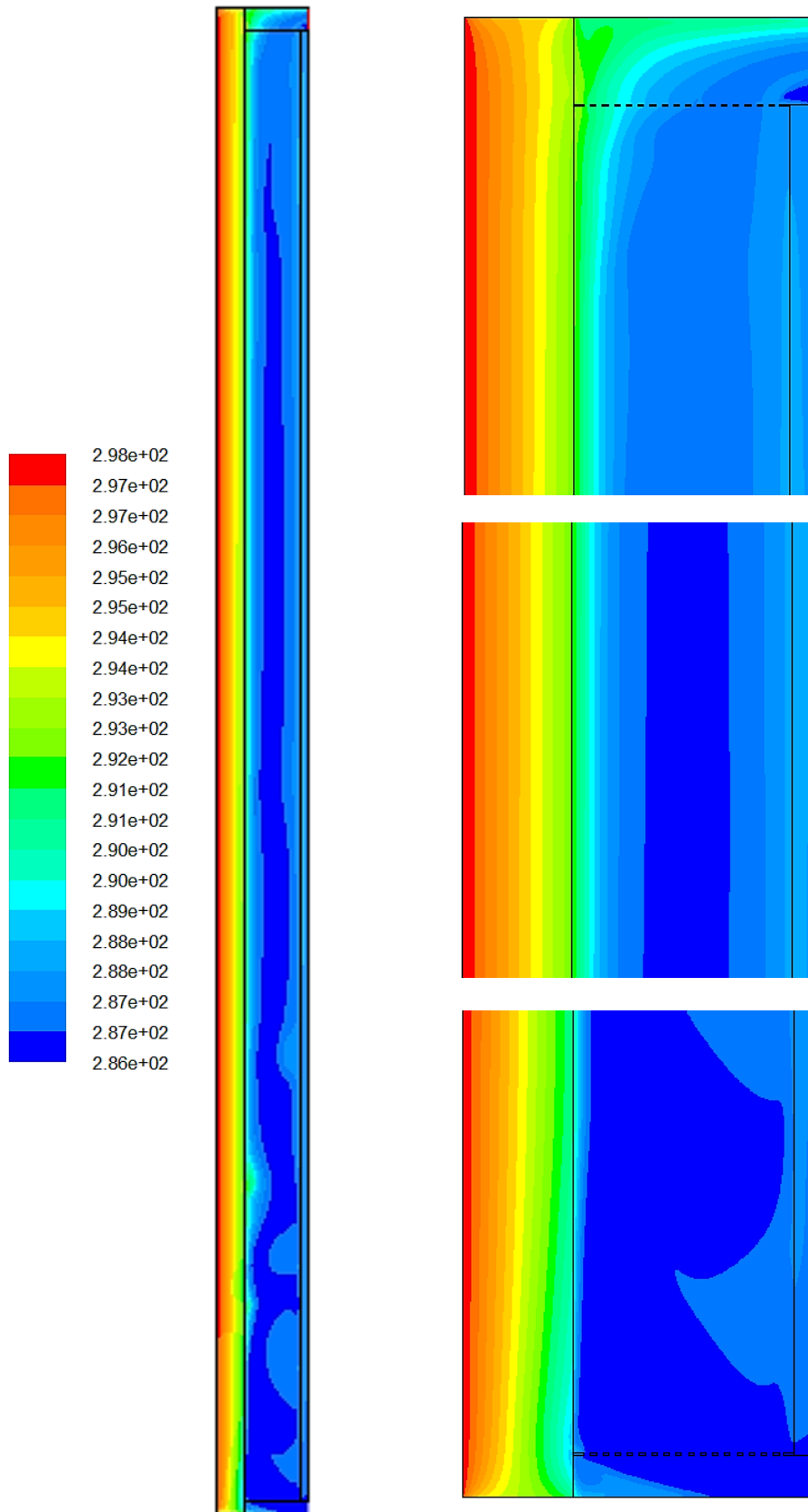


Figura D.27 –Campo de temperaturas para el instante de tiempo  $t = 72$  [h]

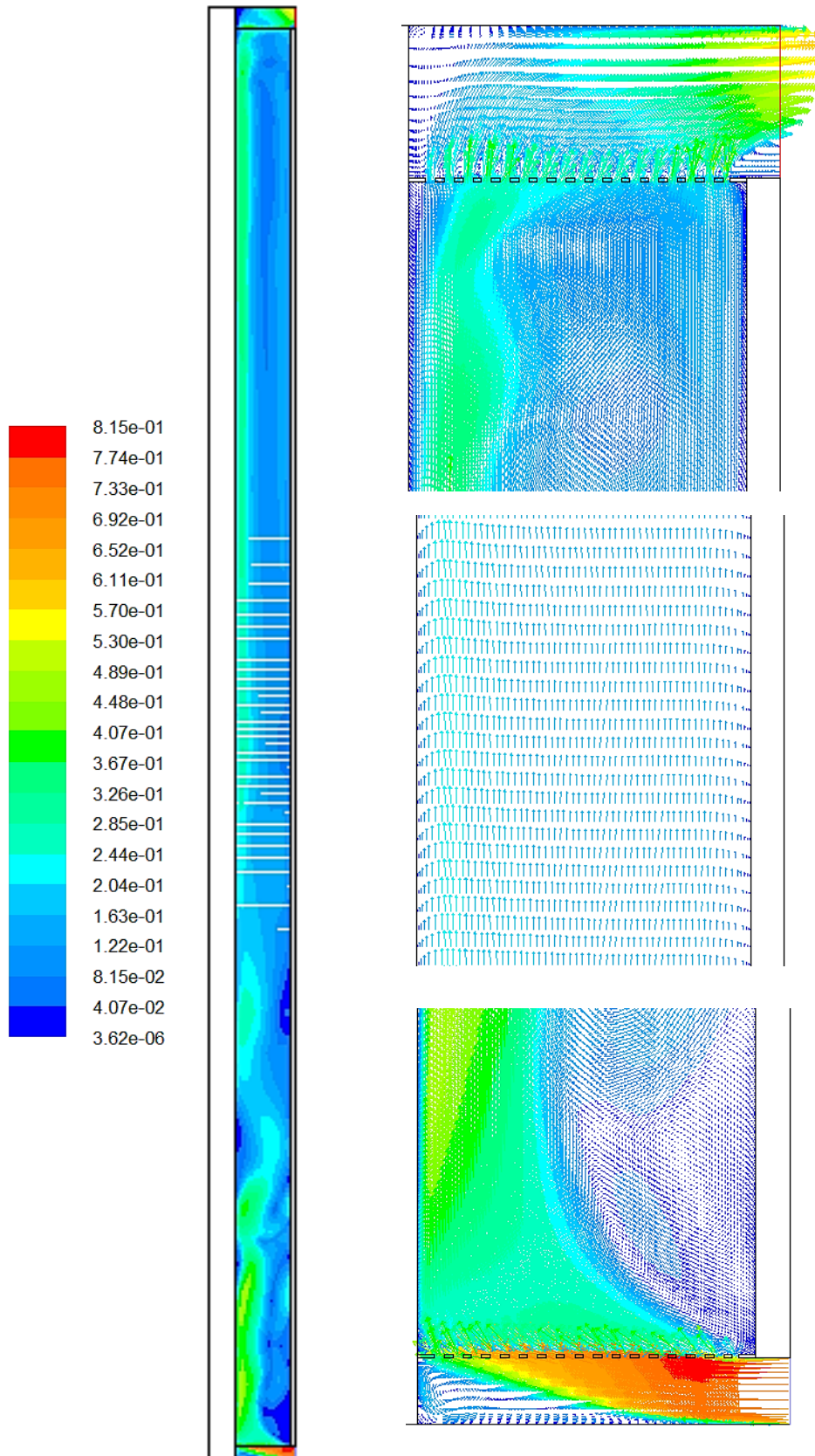


Figura D.28 –Campo de velocidades para el instante de tiempo  $t = 72$  [h]

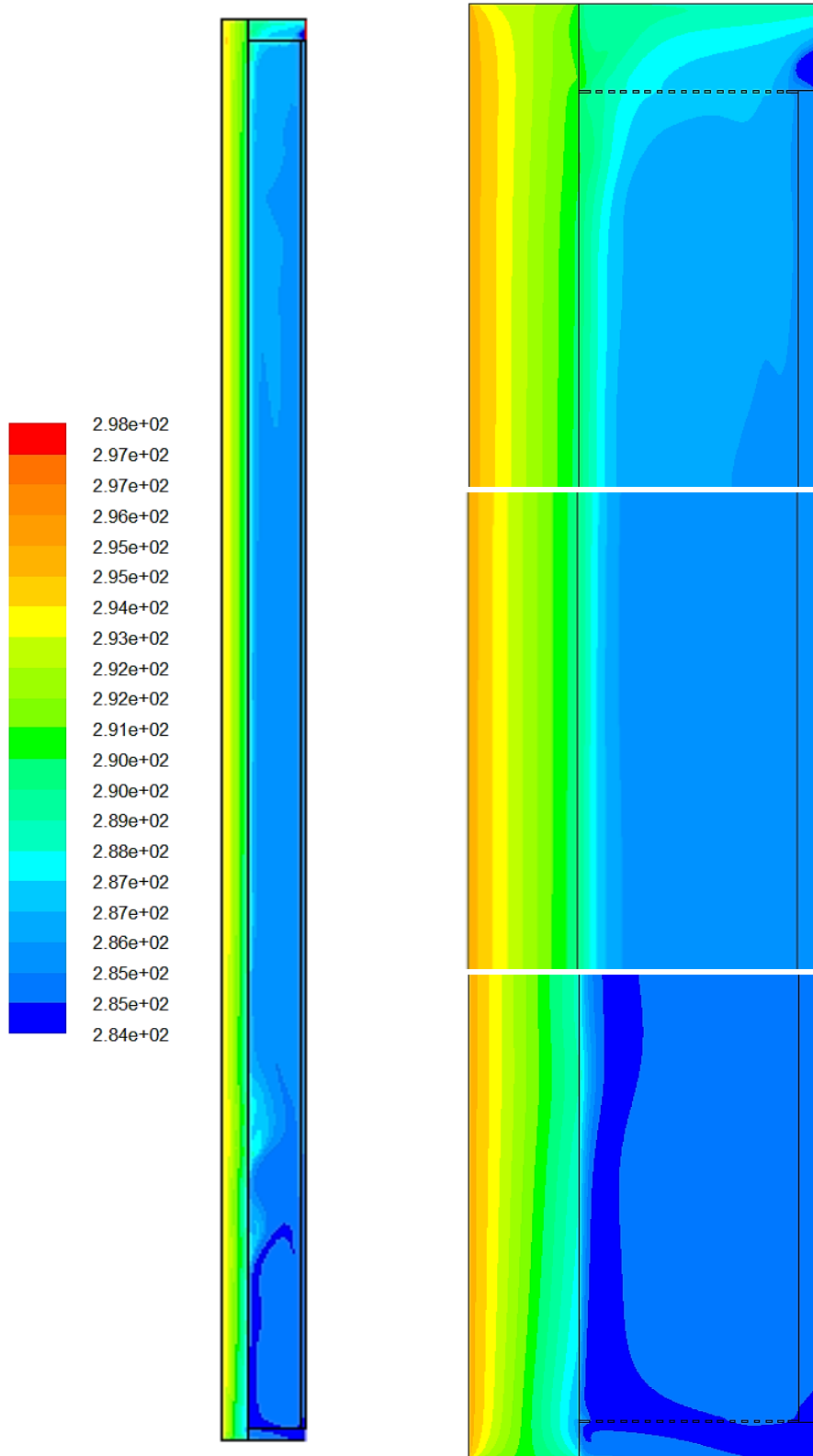


Figura D.29 –Campo de temperaturas para el instante de tiempo  $t = 78$  [h]

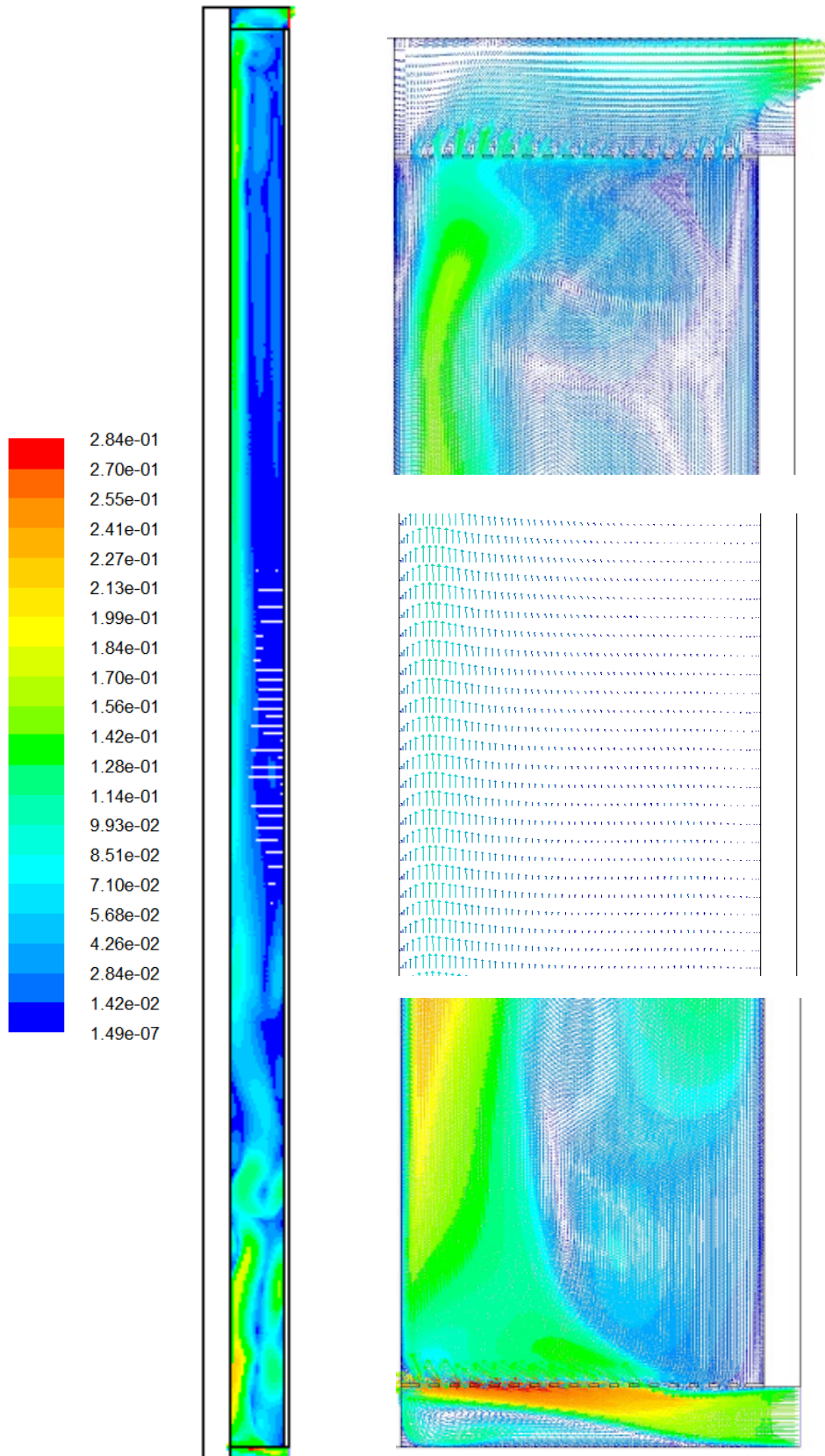


Figura D.30 –Campo de velocidades para el instante de tiempo  $t = 78$  [h]

### D.3.1.2 Factores de paso a valores eficientes de variables de ensayo

En la Tabla D.13 y Tabla D.14 se recogen las condiciones de temperatura y velocidad. En la columna  $f_{va}$  se indica el factor de corrección de la velocidad medida respecto a la velocidad eficiente, obtenida de integrar el perfil de velocidades en toda la sección de la cámara ventilada. Se incluyen todos los resultados disponibles, que se corresponden con 60 instantes de tiempo, obtenidos de analizar los datos cada dos horas en los cinco días en los que se ha realizado la simulación en CFD.

instante [h]	$T_{ext}$ [°C]	$T_{ca}$ [°C]	$T_{c5}$ [°C]	$T_{c6}$ [°C]	$u_{135}$ [m/s]	$\Gamma$	$f_{va}$	$e_{fva}$ [%]
2	7.63	8.23	9.41	7.79	0.004	-1.372	1.06	0.4
4	6.70	6.74	8.15	5.98	0.003	-1.536	1.07	1.4
6	9.65	8.87	9.75	8.15	0.003	-1.821	1.07	1.2
8	12.28	12.74	13.00	12.76	0.013	-0.927	1.06	0.5
10	17.37	20.66	20.17	23.49	0.095	1.174	1.06	0.3
12	14.55	19.30	20.41	22.56	0.070	0.659	1.05	0.6
14	14.41	18.15	18.72	20.44	0.086	0.747	1.05	1.1
16	13.29	15.70	16.29	16.61	0.038	0.357	1.04	2.1
18	12.14	13.79	14.44	14.10	0.029	-0.526	1.07	1.4
20	9.89	10.50	11.44	10.04	0.004	-1.498	1.04	1.3
22	10.03	10.63	11.36	10.25	0.004	-1.527	1.06	0.5
24	9.62	10.45	11.29	10.26	0.004	-1.221	1.05	0.9
26	9.28	9.73	10.55	9.29	0.003	-1.527	1.06	0.3
28	9.44	9.85	10.74	9.49	0.003	-1.404	1.06	0.0
30	11.76	10.00	10.59	9.34	0.003	-2.122	1.06	0.6
32	15.53	14.42	14.36	14.70	0.051	1.224	1.07	1.2
34	18.04	20.95	21.27	24.28	0.088	0.905	1.05	1.2
36	19.79	26.05	26.41	30.49	0.135	0.917	1.04	1.6
38	21.52	26.94	27.46	31.00	0.115	0.871	1.05	0.9
40	20.73	24.17	24.20	25.91	0.103	0.979	1.06	0.5
42	18.09	19.33	19.49	19.46	0.042	-0.158	1.03	3.2
44	14.06	14.42	14.97	14.02	0.010	-1.742	1.05	0.4
46	11.86	12.20	12.90	11.63	0.006	-1.830	1.05	1.1
48	10.62	10.79	11.67	10.16	0.003	-1.712	1.08	1.8
50	8.29	9.16	10.32	8.59	0.003	-1.489	1.07	0.8
52	7.43	8.18	9.41	7.54	0.003	-1.513	1.04	1.3
54	8.03	9.34	10.54	9.56	0.004	-0.822	1.06	0.0
56	14.81	14.55	14.69	14.90	0.040	0.603	1.06	0.2
58	20.44	22.90	22.90	25.97	0.100	1.002	1.07	1.5

Tabla D.13 – Factores de corrección de la velocidad en la cámara ventilada



instante [h]	$T_{ext}$ [°C]	$T_{ca}$ [°C]	$T_{c5}$ [°C]	$T_{c6}$ [°C]	$u_{135}$ [m/s]	$\Gamma$	$f_{va}$	$e_{fva}$ [%]
60	24.04	27.90	28.52	32.26	0.107	0.859	1.06	0.2
62	26.43	29.81	30.38	33.31	0.125	0.837	1.04	1.3
64	24.19	26.43	26.77	28.00	0.095	0.780	1.05	0.5
66	21.04	21.79	22.13	22.00	0.033	-0.392	1.06	0.1
68	16.55	17.16	17.84	16.75	0.011	-1.611	1.06	0.1
70	14.93	15.54	16.39	15.20	0.008	-1.401	1.08	1.6
72	13.07	13.57	14.69	13.04	0.009	-1.472	1.08	2.0
74	11.58	12.15	13.51	11.59	0.005	-1.408	1.06	0.6
76	9.86	10.68	12.23	10.08	0.004	-1.387	1.04	1.5
78	11.99	11.91	13.09	11.37	0.011	-1.461	1.05	1.1
80	16.25	16.72	17.41	17.32	0.037	-0.126	1.05	0.9
82	23.46	25.98	26.00	28.99	0.111	0.992	1.05	0.5
84	25.47	28.56	28.72	31.13	0.147	0.937	1.07	0.7
86	26.03	29.00	29.27	31.42	0.138	0.889	1.07	1.3
88	25.30	27.20	27.48	28.19	0.110	0.711	1.07	1.5
90	21.86	23.48	24.09	23.87	0.058	-0.367	1.05	0.6
92	16.88	17.97	19.05	17.82	0.030	-1.137	1.06	0.2
94	15.67	16.60	17.77	16.41	0.021	-1.163	1.08	1.6
96	15.28	15.95	17.17	15.55	0.009	-1.331	1.05	1.0
98	14.80	15.65	16.89	15.37	0.010	-1.231	1.07	0.8
100	14.45	15.33	16.59	15.09	0.009	-1.191	1.06	0.5
102	14.41	15.27	16.44	14.99	0.013	-1.246	1.06	0.2
104	16.98	18.30	19.17	18.97	0.032	-0.226	1.04	2.0
106	22.52	25.38	26.14	28.63	0.112	0.766	1.07	0.9
108	25.47	29.91	30.87	34.20	0.135	0.776	1.07	1.0
110	20.15	23.38	24.41	24.89	0.070	0.314	1.05	1.0
112	19.69	23.05	24.11	24.48	0.065	0.261	1.05	0.5
114	19.13	20.50	21.27	20.57	0.041	-0.911	1.06	0.2
116	16.35	17.04	18.21	16.51	0.017	-1.450	1.06	0.2
118	14.64	15.23	16.53	14.55	0.020	-1.521	1.07	1.4
120	13.37	13.96	15.49	13.28	0.008	-1.445	1.06	0.0

Tabla D.14 – Factores de corrección de la velocidad en la cámara ventilada

### D.3.2 Modelo de parámetros concentrados

En la Figura D.31 se muestra el modelo empleado para analizar el comportamiento completo de la fachada ventilada ligera. En la parte superior se muestra la parte correspondiente al muro base con aislamiento, de forma que su definición es idéntica a la del modelo de la Figura D.11, salvo que en este caso la capa de aislamiento no presenta el revestimiento superficial de mortero de la fachada exterior. Y en la parte inferior se muestra la parte del modelo que reproduce el comportamiento de la cámara ventilada y de la placa ligera exterior de cemento, hasta las condiciones ambientales exteriores.

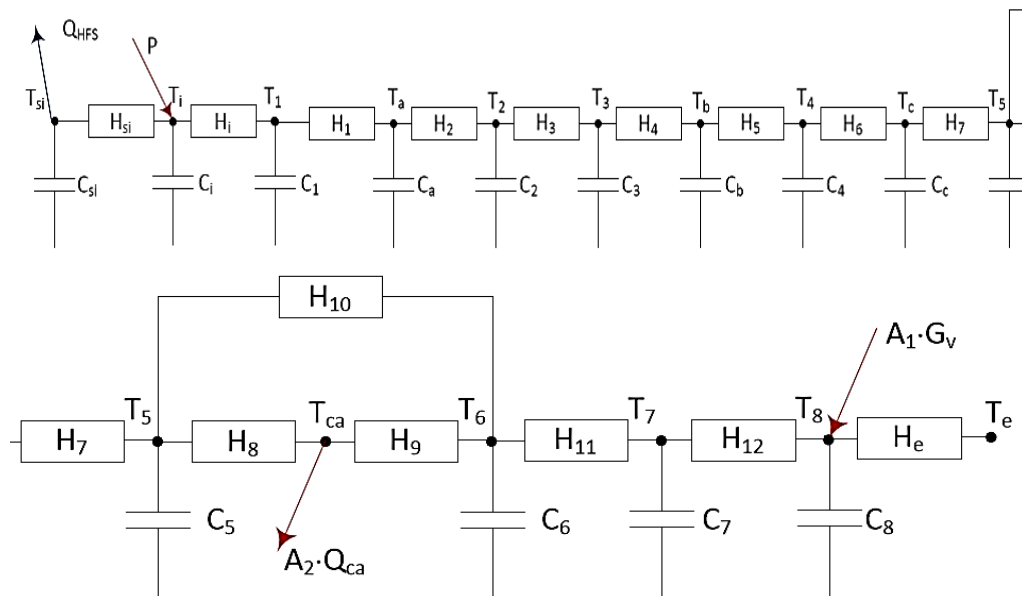


Figura D.31 – Modelo de celda para el muro base con la fachada ventilada ligera

Se trata del modelo más complejo que se resuelve en el presente trabajo de tesis, debido al orden orden, lo que implica un elevado número de variables, parámetros y funciones objetivo. Además, a esta complejidad hay que sumarle que las conductancias que representan el comportamiento de la cámara de aire ventilada son variables en el tiempo, dependiendo de la velocidad y temperaturas del aire y de las superficies que la conforman. Este aspecto se resuelve incluyendo en el modelo las ecuaciones algebraicas necesarias para representar ese comportamiento y pasando a variables de ajuste los coeficientes de dichas ecuaciones. Esto exige introducir como datos de entrada al modelo la velocidad medida de aire,  $v_{ca}$ , y el coeficiente de radiación entre superficies,  $H_{rad}$ . Las ecuaciones del modelo se muestran en [D.9], [D.10] y [D.11]. La resolución de un modelo de estas características con las herramientas de identificación de parámetros es muy compleja. Exige ir resolviendo el modelo de forma progresiva, es decir, primero se define una parte del modelo, se obtienen resultados fiables, se fijan, se amplía el modelo para obtener los resultados de las variables ampliadas, que se toman como valor inicial para una nueva resolución, esta vez con toda la parte del modelo variable. Este proceso se repite progresivamente hasta obtener un modelo completo en el cual todas las variables son libres, pero que parte de un estado inicial muy próximo a los valores definitivos de las variables que lo conforman.







variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
C <sub>7</sub>	1	50	500	1.79E+02	3.87E+01	0.813	-0.0014	0.0031
H <sub>12</sub>	100	1000	2000	1.52E+02	2.59E+01	91.552	-0.0016	-0.0009
C <sub>8</sub>	1	50	500	4.85E+01	2.19E+01	96.571	-0.0002	-0.0001
H <sub>e</sub>	1	150	300	1.77E+02	1.74E+01	42.453	0.0002	0.0013
A <sub>1</sub>	1	5	7	5.86E+00	5.09E-01	95.385	-0.0018	0.0001
A <sub>2</sub>	0.9	1	1.1	1.07E+00	5.74E-02	74.214	-0.0025	0.0044

Tabla D.16 – Resultados identificación parámetros para el modelo completo de fachada ventilada ligera

	a <sub>8</sub>	b <sub>8</sub>	a <sub>9</sub>	b <sub>9</sub>	P <sub>0</sub>	H <sub>si</sub>	C <sub>si</sub>	H <sub>i</sub>	C <sub>i</sub>	H <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>a</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>b</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>c</sub>
a <sub>8</sub>	1																					
b <sub>8</sub>	0.3	1																				
a <sub>9</sub>	-0.1	-0.5	1																			
b <sub>9</sub>	-0.4	0.0	0.1	1																		
P <sub>0</sub>	-0.2	0.1	-0.3	0.0	1																	
H <sub>si</sub>	-0.4	0.4	0.0	0.1	0.2	1																
C <sub>si</sub>	-0.3	-0.1	-0.5	0.0	-0.4	-0.4	1															
H <sub>i</sub>	-0.3	0.0	-0.2	-0.2	-0.5	-0.5	-0.2	1														
C <sub>i</sub>	0.3	-0.4	0.1	0.0	0.4	-0.4	-0.1	0.4	1													
H <sub>1</sub>	0.1	0.0	0.3	0.1	0.3	-0.4	0.2	0.4	0.2	1												
C <sub>1</sub>	-0.5	-0.3	-0.1	-0.1	0.4	-0.5	0.4	-0.1	-0.2	0.4	1											
C <sub>a</sub>	0.3	0.3	-0.3	-0.1	-0.2	0.3	0.2	0.3	0.1	0.0	-0.5	1										
H <sub>2</sub>	-0.3	-0.1	0.0	0.2	0.2	0.4	0.3	0.3	0.1	-0.2	-0.2	-0.4	1									
C <sub>2</sub>	0.1	-0.3	0.4	0.0	-0.4	0.2	-0.2	0.2	0.2	-0.4	0.0	-0.4	-0.2	1								
H <sub>3</sub>	-0.3	0.1	0.4	-0.2	-0.2	-0.4	0.4	0.5	0.3	0.4	0.5	0.4	-0.2	0.3	1							
C <sub>3</sub>	-0.2	-0.3	-0.1	-0.3	-0.3	0.2	0.4	0.0	-0.1	0.4	-0.2	-0.1	0.1	0.1	-0.5	1						
H <sub>4</sub>	-0.1	0.2	-0.2	0.2	0.2	0.1	-0.1	0.0	0.3	-0.4	0.1	0.1	-0.4	-0.2	0.0	0.1	1					
C <sub>b</sub>	0.1	-0.4	0.1	-0.1	-0.2	0.2	-0.1	-0.3	0.0	0.2	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.4	0.2	-0.5	1				
H <sub>5</sub>	0.0	0.0	0.4	0.5	-0.3	0.0	-0.1	0.3	0.3	-0.5	-0.3	0.4	0.0	-0.4	0.3	0.0	0.1	0.1	1			
C <sub>4</sub>	0.0	-0.1	0.1	0.3	0.0	-0.3	0.0	0.4	0.3	-0.5	-0.2	-0.1	0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.2	-0.1	0.3	1		
H <sub>6</sub>	0.4	0.2	-0.4	0.3	0.1	-0.4	-0.2	0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	0.1	-0.4	0.3	0.4	0.3	-0.3	-0.4	0.4	1	
C <sub>c</sub>	0.4	-0.2	0.0	-0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	-0.5	0.3	0.2	0.5	0.4	-0.1	0.1	-0.4	-0.4	-0.1	-0.5	-0.4	0.5	1
H <sub>7</sub>	-0.1	0.3	0.1	0.5	0.3	-0.2	-0.3	-0.5	-0.1	-0.2	-0.2	0.1	-0.1	0.5	0.0	-0.2	0.0	0.1	0.3	0.2	0.5	0.2
C <sub>5</sub>	-0.5	0.5	0.2	-0.1	0.3	0.1	0.3	0.4	0.3	-0.3	-0.3	0.3	-0.5	-0.2	0.0	-0.2	0.1	0.1	0.1	-0.1	-0.1	0.1
C <sub>6</sub>	0.4	-0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	-0.3	-0.2	0.0	-0.3	-0.5	-0.4	0.2	-0.5	-0.1	0.5	-0.2	-0.5	-0.2	-0.4	0.1	0.2
H <sub>11</sub>	-0.2	-0.2	0.0	-0.1	0.1	0.2	0.1	0.4	-0.2	-0.2	-0.2	0.5	0.2	-0.4	-0.1	-0.2	0.1	-0.4	-0.2	-0.3	0.3	-0.1
C <sub>7</sub>	0.1	-0.4	0.0	0.2	-0.2	0.5	-0.3	0.4	0.5	0.5	-0.2	0.5	0.0	0.5	-0.4	-0.2	0.0	0.1	0.0	0.2	0.3	0.1
H <sub>12</sub>	-0.2	0.1	-0.2	0.2	0.4	0.1	-0.4	-0.1	0.1	-0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	-0.5	0.4	0.1	0.3	0.4	-0.2	0.3	0.4
C <sub>8</sub>	-0.5	-0.4	0.2	-0.4	-0.4	0.4	0.4	0.2	0.4	-0.4	0.4	-0.4	-0.5	0.5	0.4	0.4	0.0	0.2	0.3	0.2	-0.1	-0.4
H <sub>e</sub>	0.4	0.3	-0.5	0.4	0.1	-0.3	0.4	0.3	0.4	-0.5	0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	0.2	0.3	-0.3	-0.4	-0.3	-0.1	0.4
A <sub>1</sub>	-0.3	-0.1	0.4	-0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.2	-0.5	-0.4	-0.4	0.2	0.1	0.5	0.1	0.0	-0.4	0.1	0.2	-0.2
A <sub>2</sub>	-0.3	-0.1	-0.4	-0.3	-0.5	0.1	0.2	-0.4	0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.2	-0.3	-0.3	-0.1	-0.4	0.0	0.4	-0.4	-0.3	0.2

Tabla D.17 – Resultados identificación parámetros para el modelo completo de fachada ventilada ligera

	H <sub>7</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	H <sub>11</sub>	C <sub>7</sub>	H <sub>12</sub>	C <sub>8</sub>	H <sub>e</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
H <sub>7</sub>	1									
C <sub>5</sub>	0.2	1								
C <sub>6</sub>	-0.5	-0.3	1							
H <sub>11</sub>	0.3	0.1	-0.5	1						
C <sub>7</sub>	0.0	0.3	-0.1	-0.3	1					
H <sub>12</sub>	-0.1	0.2	-0.4	0.0	-0.1	1				
C <sub>8</sub>	-0.2	0.4	-0.3	-0.2	0.2	0.1	1			
H <sub>e</sub>	0.4	0.3	0.4	-0.5	0.3	0.1	0.5	1		
A <sub>1</sub>	-0.4	0.0	0.4	0.3	-0.4	-0.2	-0.3	0.3	1	
A <sub>2</sub>	0.2	0.2	0.5	0.5	0.1	-0.1	0.3	0.4	0.3	1

Tabla D.18 – Resultados identificación parámetros para el modelo completo de fachada ventilada ligera

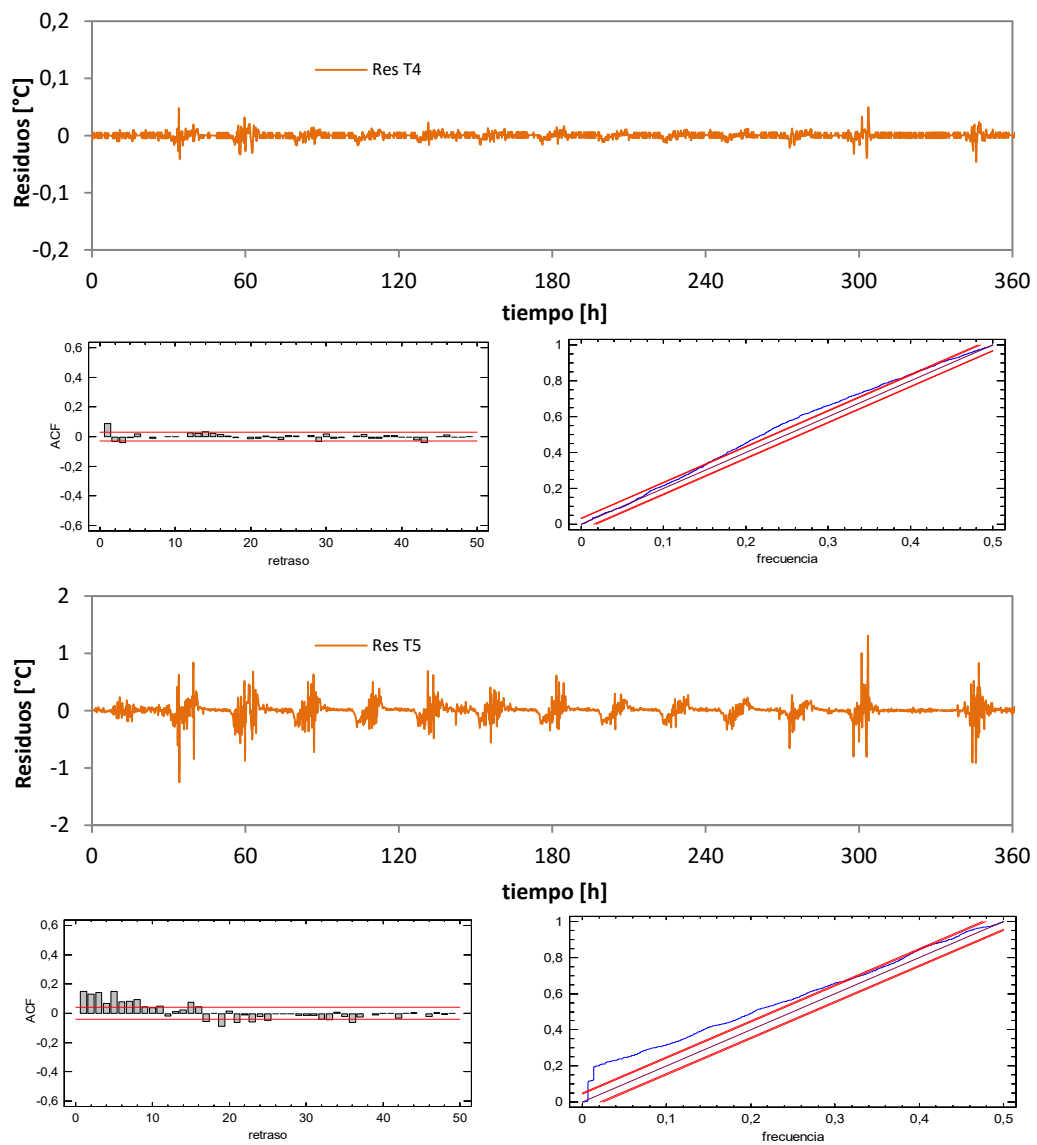


Figura D.32 – Ajuste del modelo completo de fachada ventilada ligera

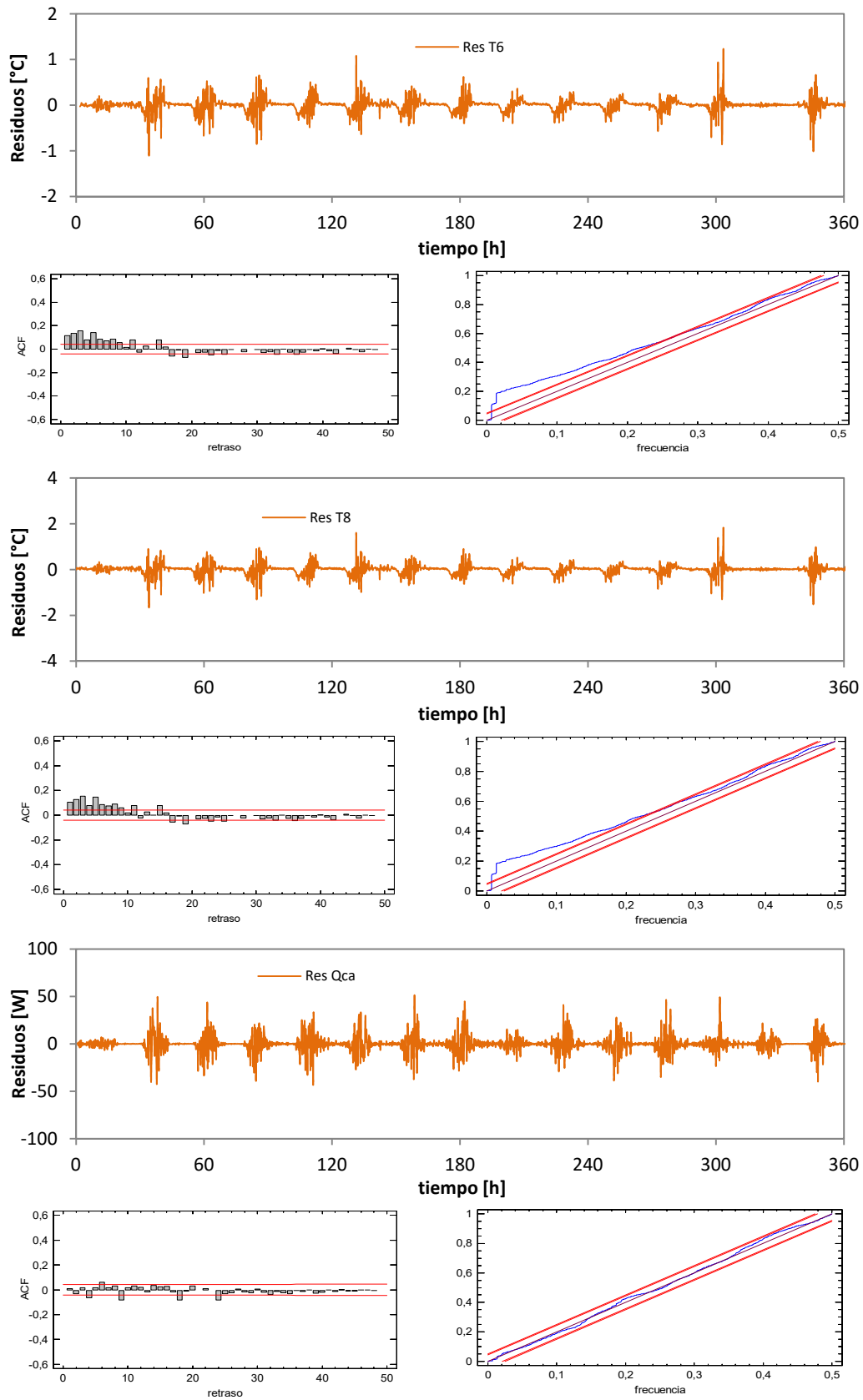


Figura D.33 – Ajuste del modelo completo de fachada ventilada ligera

En la Tabla D.19 se muestran los resultados finales de los parámetros térmicos de la cámara ventilada de la fachada ligera obtenida de los datos del modelo de parámetros concentrados resuelto mediante el proceso de identificación de parámetros.

	<i>parámetro</i>	<i>valor</i>	<i>unidades</i>	<i>u<sub>i</sub> [%]</i>
<i>aislante</i>	$R_{LR}$	1,132	$m^2K/W$	3,1
	$h_{c5}$	$1,81+131,46 \cdot v_{ca}$	$W/m^2K$	13,5
<i>cámara</i>	$h_{c6}$	$3,92+108,54 \cdot v_{ca}$	$W/m^2K$	5,7
<i>aire</i>	$P_0(H_{rad56})$	1,077	-	14,4
	$A(Q_{ca})$	1,067	-	5,4
<i>placa</i>	$R_{p-c}$	0,059	$m^2K/W$	12,1
<i>cemento</i>	$C_{p-c}$	0,023	$MJ/m^2K$	22,3
	$h_{ext}$	24,52	$W/m^2K$	9,8
<i>exterior</i>	$A(G_v)$	0,821	-	8,7

Tabla D.19 – Resultados del modelo de parámetros concentrados de la cámara de aire de la fachada ventilada ligera













*Makina eta Motor  
Termikoak Saila  
Departamento de Máquinas  
y Motores Térmicos*





# ANEXOS

## Caracterización Experimental del Comportamiento Energético de Fachadas Ventiladas

*César Escudero Revilla*  
2016

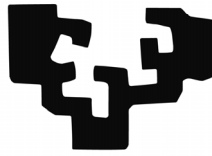


**Fotografía portada:**  
***James Natchwey***





eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea



*Makina eta Motor  
Termikoak Saila  
Departamento de Máquinas  
y Motores Térmicos*

## Anexos

# Caracterización Experimental del Comportamiento Energético de Fachadas Ventiladas

César Escudero Revilla  
(Ingeniero Industrial)

Universidad del País Vasco (UPV/EHU), en cumplimiento con los requisitos para el grado de doctor dentro del programa de doctorado Ingeniería Térmica del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos

Directores de Tesis:  
Dr. José María Pedro Sala Lizarraga  
Dr. Koldobika Martín Escudero

Vitoria-Gasteiz, 2016





# Índice

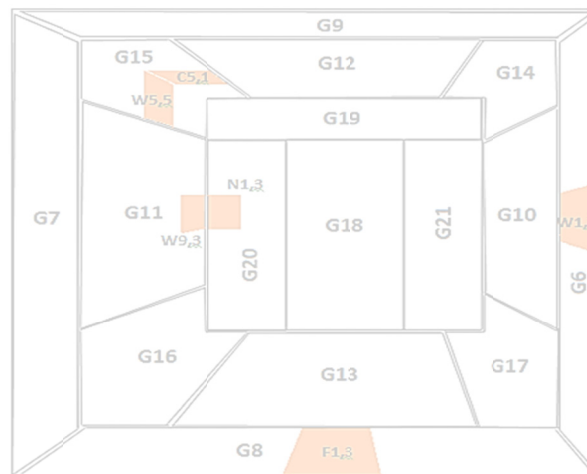


Anexo A.....	1
A.1 Rutinas de ensayo.....	3
A.2 Datos experimentales .....	5
A.2.1 Rutina ROLBS .....	5
A.2.2 Rutina PRBS.....	12
A.3 Modelos experimentales .....	18
A.3.1 Modelo de la celda .....	18
A.3.2 Modelo del muro de calibración.....	61
Anexo B.....	89
B.1 Datos experimentales.....	91
B.1.1 Primer componente .....	91
B.1.2 Segundo componente.....	96
B.2 Modelos matemáticos.....	101
B.2.2 Modelos del primer componente.....	101
B.2.3 Modelos del segundo componente.....	116
Anexo C.....	127
C.1 Muro base .....	129
C.1.1 Instrumentación de la muestra .....	129
C.1.2 Datos experimentales complementarios.....	131
C.2 Muro base con aislamiento .....	137
C.2.1 Instrumentación de la muestra .....	137
C.2.2 Datos experimentales complementarios.....	139
C.3 Fachada ventilada ligera .....	145
C.3.1 Instrumentación de la muestra .....	145
C.3.2 Datos experimentales ensayo de contraste .....	148
C.4 Fachada ventilada pesada.....	154
C.4.1 Instrumentación de la muestra .....	154
C.4.2 Datos experimentales ensayo de contraste .....	157
C.5 Fachada ventilada forzada .....	163
C.5.1 Instrumentación de la muestra .....	163
C.5.2 Datos experimentales ensayos de contraste .....	166
C.6 Ensayo de infiltraciones .....	171
Anexo D .....	175
D.1 Modelo de muro base sin aislamiento .....	177
D.1.1 Modelo unidimensional .....	177
D.1.2 Modelo completo.....	180
D.2 Modelo de muro base con aislamiento.....	184
D.2.1 Modelo unidimensional .....	184
D.2.2 Modelo completo .....	187
D.3 Modelo de fachada ventilada.....	192
D.3.1 Modelo CFD .....	192
D.3.2 Modelo de parámetros concentrados.....	211



# Anexo A

## Ensayo de Calibración





## A.1 Rutinas de ensayo

Como se indica en el apartado 2.1.1 del Capítulo 2 para la realización de los ensayos se emplea dos tipos de rutinas denominadas PRBS (Pseudo Random Binary Sequence) y ROLBS (Randomly Ordered Logarithmically distributed Binary Sequence). La forma de ambas secuencias se muestra en la Figura A.1.

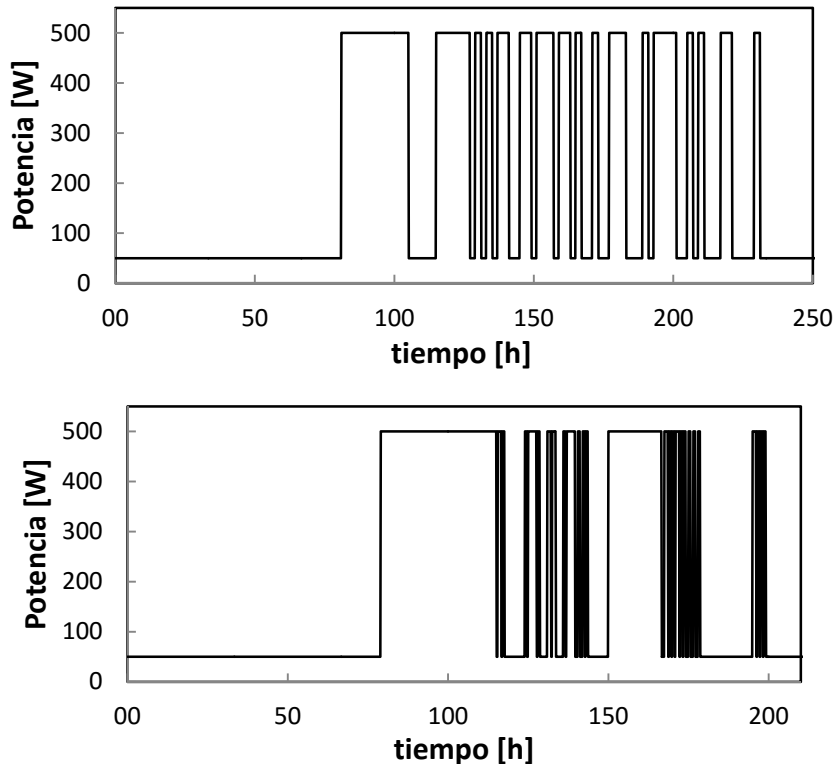


Figura A.1 – Rutina PRBS, gráfica superior, y rutina ROLBS, gráfica inferior

En la Tabla A.1 se recogen el patrón de ambas secuencias. En el caso de la rutina PRBS el intervalo mínimo de trabajo es de  $\Delta t = 2$  [h] y la duración del ciclo de calefactor es de  $T = 152$  [h], con un periodo previo de estabilización libre, sin calentamiento, de  $T_{inicial} = 72$  [h]. Esta rutina de ensayo permite analizar el comportamiento a frecuencias medias y por tanto, adecuado para muestras con una inercia representativa. En el caso de la rutina ROLBS, el intervalo mínimo es de  $\Delta t = 0,5$  [h], y la duración del ciclo de calentamiento es de  $T = 120$  [h]. Ambas rutinas son aplicables a cualquier tipo de muestra bajo ensayo, aunque la rutina PRBS es de mayor interés en el estudio de muestras con inercia representativa, y la rutina ROLBS está más orientada a muestras ligeras. Lo idóneo se realizar ambas rutinas en todos los ensayos, como ha sido el caso del presente trabajo de tesis, pero si no se dispone del tiempo necesario la rutina base de ensayo sería la rutina ROLBS. Estas rutinas han sido desarrolladas por la red PASLINK, y están recogidas dentro de la documentación y manuales asociados, pero en algunos casos es complicado acceder a dicha información. En este documento simplemente se quiere hacer más accesible dichos datos para otros investigadores.



PRBS		ROLBS		ROLBS	
$\Delta t$ [h]	calefactor	$\Delta t$ [h]	calefactor	$\Delta t$ [h]	Calefactor
72	0	72	0	1	0
24	1	36	1	0,5	1
10	0	0,5	0	1	0
12	1	1	1	0,5	1
2	0	0,5	0	1	0
2	1	6,5	1	0,5	1
2	0	0,5	0	16,5	0
2	1	0,5	1	1	1
2	0	0,5	0	0,5	0
4	1	2,5	1	0,5	1
4	0	0,5	0	0,5	0
4	1	0,5	1	0,5	1
2	0	2,5	0	0,5	0
6	1	1	1	0,5	1
2	0	0,5	0		
4	1	1	1		
2	0	2,5	0		
2	1	0,5	1		
4	0	0,5	0		
2	1	2,5	1		
4	0	1	0		
6	1	0,5	1		
6	0	1	0		
2	1	0,5	1		
2	0	0,5	0		
8	1	0,5	1		
4	0	6,5	0		
2	1	16,5	1		
2	0	0,5	0		
2	1	1	1		
6	0	0,5	0		
4	1	0,5	1		
8	0	0,5	0		
2	1	0,5	1		
		0,5	0		
		1	1		
		0,5	0		
		0,5	1		
		0,5	0		
		0,5	1		

Tabla A.1 – Secuencia de las rutinas PRBS y ROLBS

## A.2 Datos experimentales

El proceso de calibración se realiza aplicando las tres rutinas de ensayo usuales de trabajo, la rutina *PULSO*, *ROLBS* y *PRBS*. Este procedimiento de trabajo permite obtener unos factores de calibración más fiables y representativos del comportamiento global de la celda durante los ensayos, principalmente en la medida del flujo de calor que intercambia la envolvente de la sala de ensayos. En la memoria se expone un análisis detallado de los datos experimentales tomando como referencia la rutina *PULSO*, a continuación se muestran los datos del resto de ensayos que posteriormente se aplican al estudio de la medida de los efectos de borde y al proceso de identificación de parámetros de los modelos de la celda.

Además, el proceso de calibración corresponde con los primeros pasos en el uso de la celda *PASLINK*, y por tanto, es una fase fundamental para comenzar a conocer del comportamiento del equipo, junto con la repercusión del proceso de calibración en la fiabilidad de los resultados de ensayos posteriores durante el periodo de uso. Pero, sobre todo, es la primera toma de contacto fundamental con la metodología de trabajo. En esta primera fase no hay que escatimar en repetir las rutinas, en analizar con detalle todos los datos disponibles, comprender que sucede en cada uno de los ámbitos, como por ejemplo, medida del flujo de calor, perfiles de temperaturas, etc..., ya que es la fase en la que se deben ajustar correctamente todos los parámetros. Y aunque el equipo está diseñado con unos estándares de trazabilidad muy buenos, cada celda de ensayos es particular, y los técnicos que la empleen deben conocer su equipo con detalle para poder obtener resultados precisos y representativos.

### A.2.1 Rutina *ROLBS*

Para comenzar el proceso de calibración lo más idóneo es aplicar primero la rutina *PULSO* y posteriormente las dos rutinas con régimen aleatorio, el orden de estas puede ser cualquiera. En este caso, se comienza por la rutina *ROLBS*, y posteriormente se aplica la rutina *PRBS*. Este orden tiene como objetivo la detección de posibles errores de medida de las *tilas* o de las sondas de temperatura. La rutina *PULSO*, por su sencillez permite detectar malfuncionamientos de los sensores de medida, algún grupo específico de *tilas*, o algún sensor de las *multitilas*, o verificar la homogeneidad de las temperaturas del ambiente para el ajuste de la potencia de ventilación en la sala de ensayos. Por su complejidad, primero se comienza el análisis por la medida del flujo de calor y posteriormente se estudian las temperaturas.

#### A.2.1.1 Flujo de la envolvente

En la Figura A.2 se muestran la potencia eléctrica inyectada en el ventilador y el calefactor de la sala de ensayos junto al flujo total que atraviesa la envolvente. Como ya se comenta en la memoria, el rizado de la señal eléctrica es elevado debido a la red de abastecimiento. Este rizado, en principio no presenta mayor relevancia, pero posteriormente se emplea una *SAI*, *Sistema de Alimentación Ininterrumpida*, con un filtro que permite obtener una alimentación eléctrica de mayor calidad, lo que reduce el ruido en las medidas del conjunto de la instrumentación del ensayo, mejorando así, la calidad de la información que posteriormente se emplea en los procesos de identificación de parámetros, muy sensibles a dicho ruido.

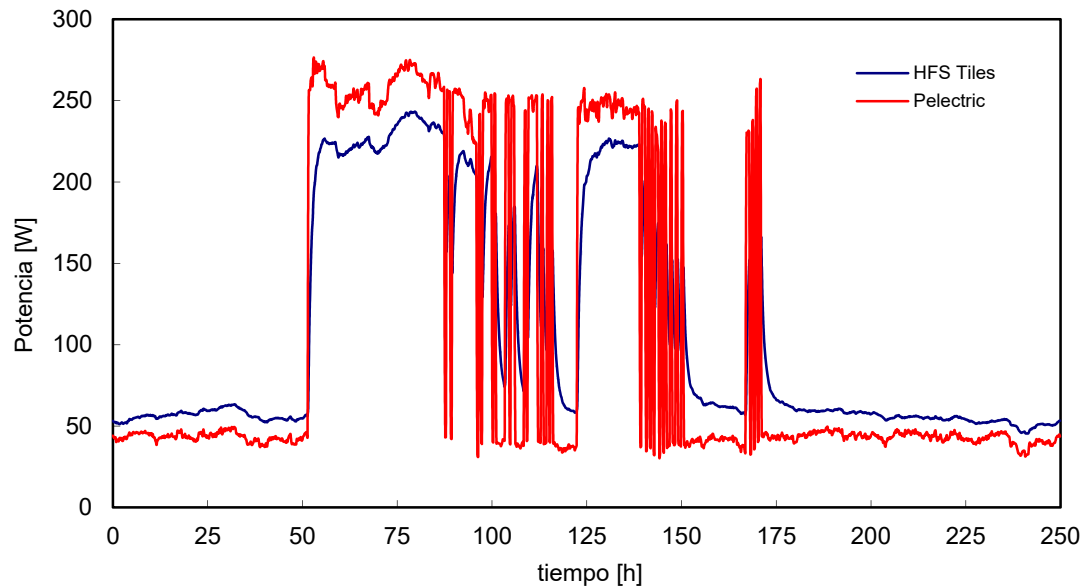


Figura A.2 – Potencia eléctrica de calentamiento y medida del flujo de las HFS Tiles para las rutinas ROLBS

Aunque la señal del flujo total de la envolvente sea correcta es necesario verificar que cada grupo se comporta adecuadamente, ya que la suma total puede emascarar algún comportamiento erróneo de algún grupo en particular. El primer paso es verificar los flujos medios por unidad de superficie para cada uno de dichos grupos que recubren las paredes interiores de la envolvente de la sala de ensayos, ver Figura A.3. Se debe cumplir que los flujos mínimos se obtienen en los grupos centrales de cada superficie, y dichos valores deben estar próximos entre sí. Los grupos de borde correspondientes a las esquinas longitudinales deben presentar un flujo superior a cualquiera de los flujos centrales que les rodean, y deben los superiores e inferiores deben parecerse entre sí. Los flujos de la cara norte deben ser homogéneos, y los flujos de los grupos de borde que rodean la muestra deben presentar los valores más elevados y con mayor divergencia entre sí.

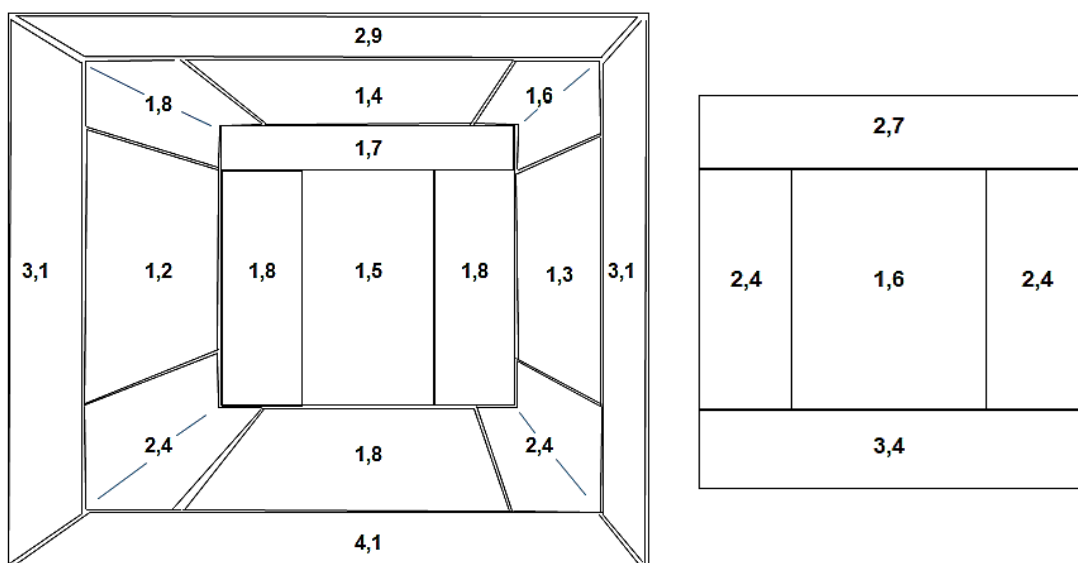


Figura A.3 – Flujos promedio por unidad de superficie en la cara norte, y envolvente de la sala de ensayos, izquierda, y en el muro de calibración, derecha, para la rutina ROLBS

El siguiente paso es analizar la evolución a lo largo del tiempo del flujo, comparando entre sí los grupos situados en zonas equicalentes, aplicando el chequeo de resultados esperados que se indica en la memoria. Los datos experimentales se muestran en la Figura A.4 a la Figura A.14. Como se puede observar, los resultados son similares en el comportamiento a los obtenidos en el estudio de la rutina *PULSO*, desarrollado con más detalle en la memoria.

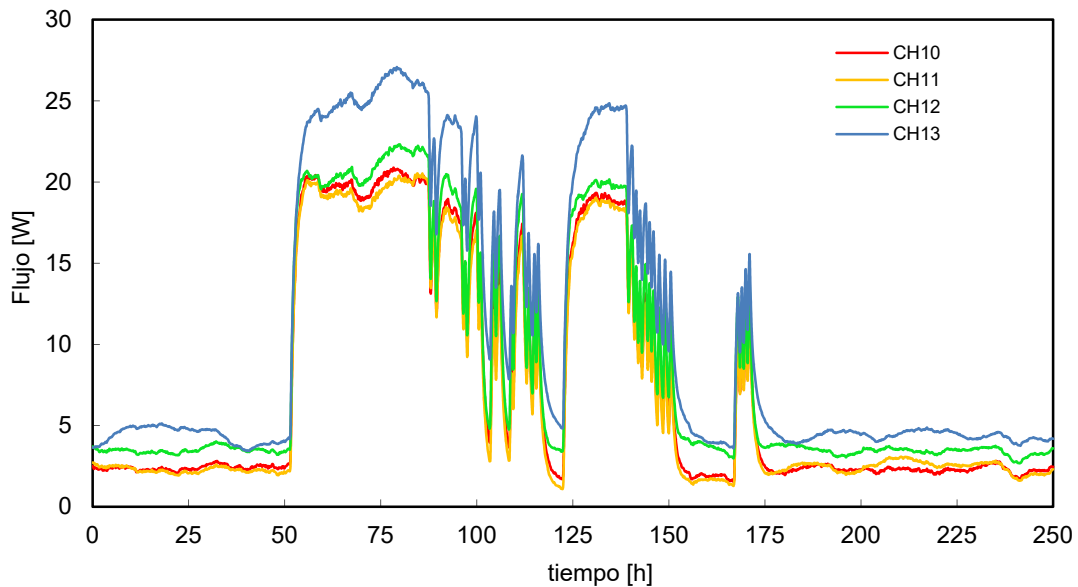


Figura A.4 – Flujo medido por los grupos centrales de la envolvente de la sala de ensayo

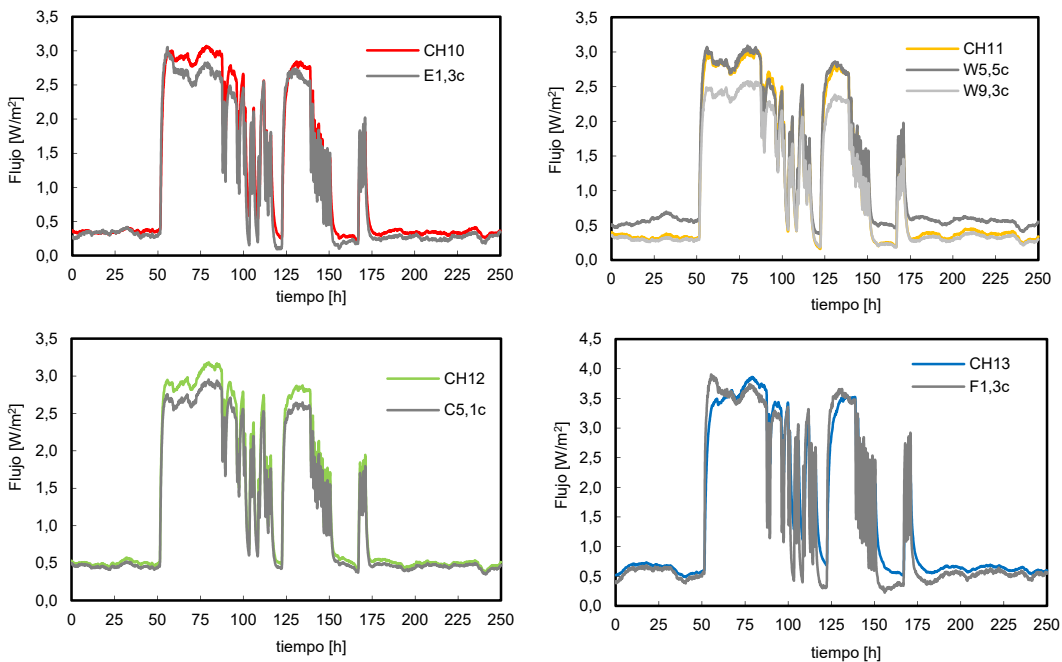


Figura A.5 – Señal de los sensores situados en la posición C de las *multitiles* y flujo por unidad de superficie de los grupos centrales equivalentes

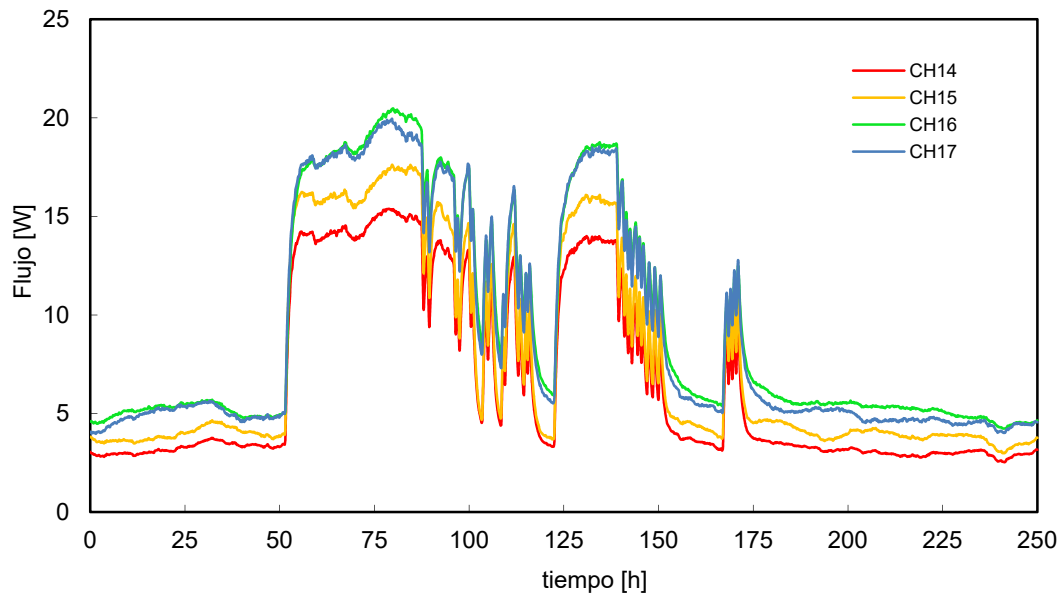


Figura A.6 – Flujo medido por los grupos de borde longitudinales, tipología 1, de la envolvente de la sala de ensayo

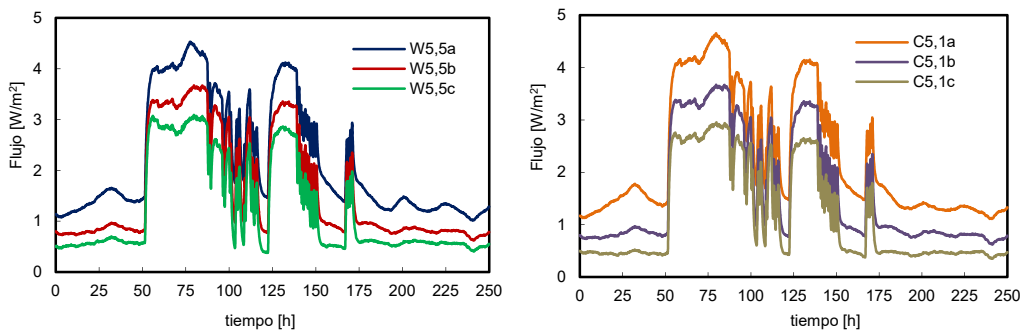


Figura A.7 – Flujo medido por los tres sensores de las *multitiles* empleadas para la caracterización de los efectos de borde longitudinales, tipología 1

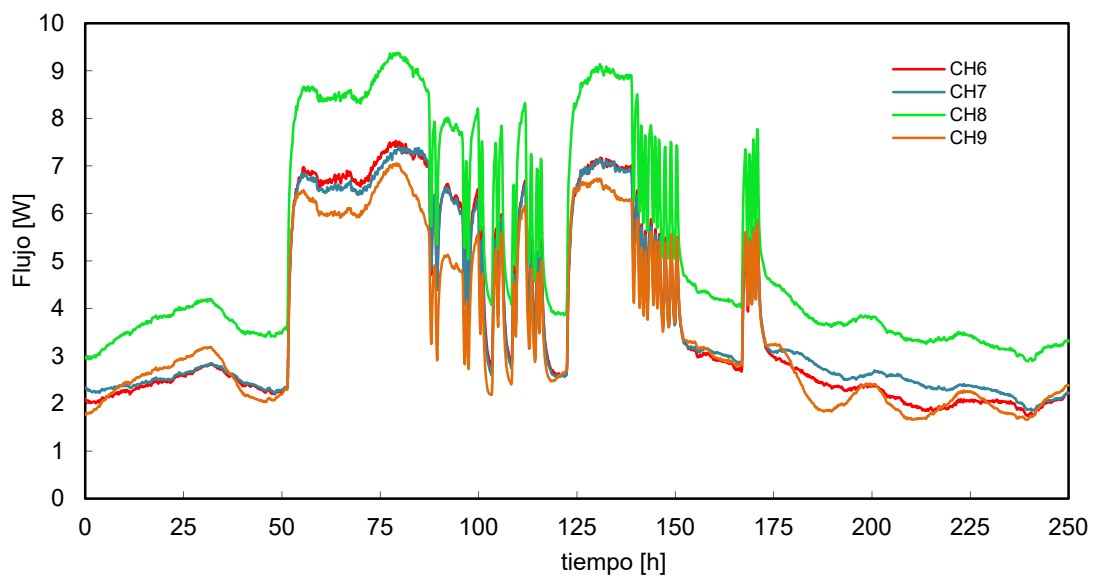


Figura A.8 – Flujo medido por los grupos de borde sur, tipología 2 y 3, de la envolvente de la sala de ensayo

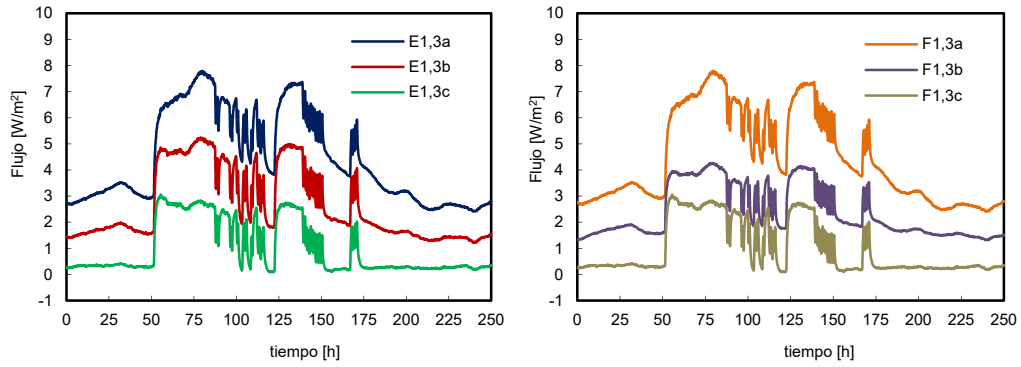


Figura A.9 – Flujo medido por los tres sensores de las *multitiles* empleadas para la caracterización de los efectos de borde sur, *tipología 2 y 3*

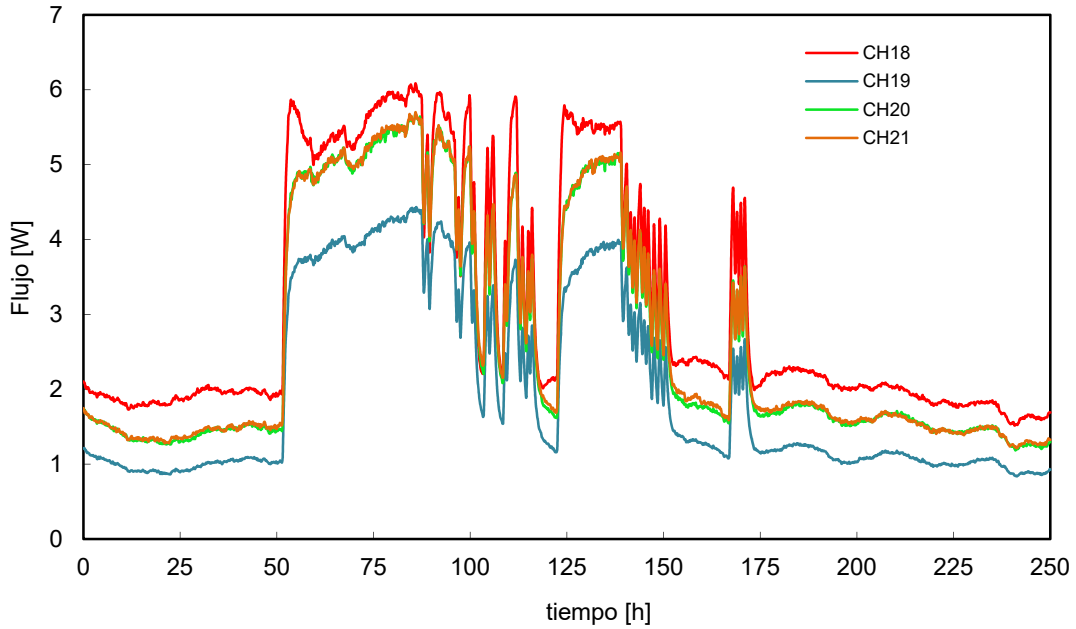


Figura A.10 – Flujo medido por los grupos de borde norte, *tipología 4*, de la envolvente de la sala de ensayo

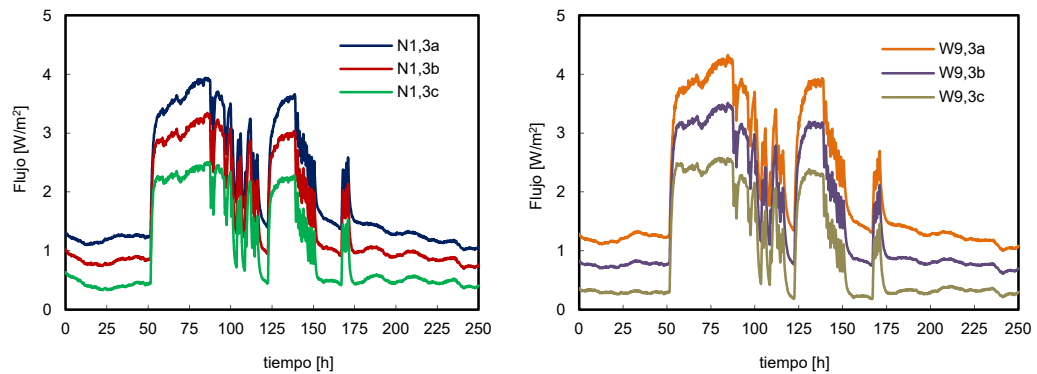


Figura A.11 – Flujo medido por los tres sensores de las *multitiles* empleadas para la caracterización de los efectos de borde norte, *tipología 4*

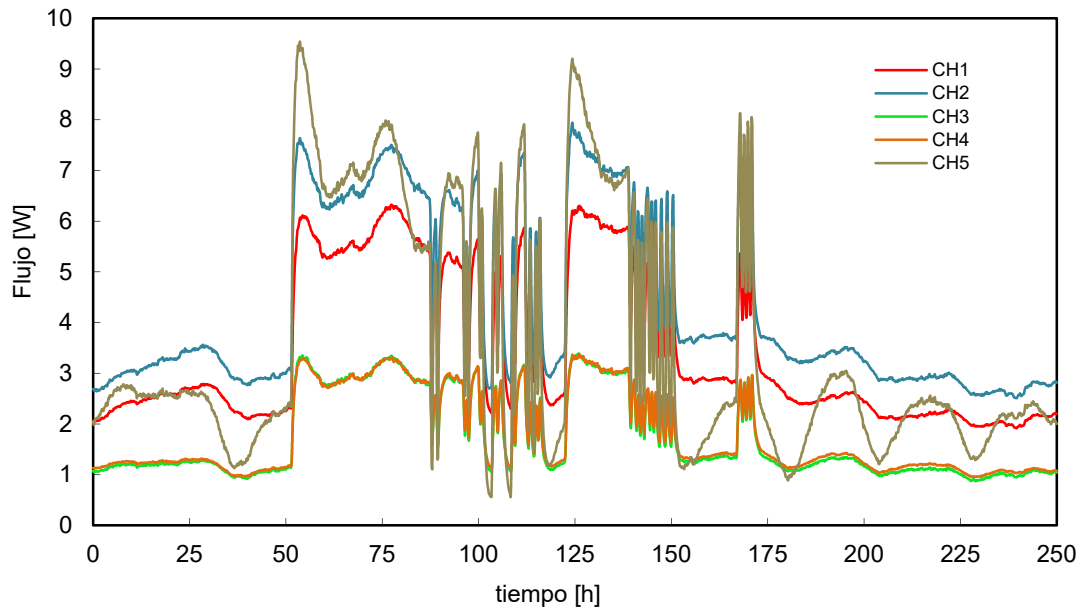


Figura A.12– Flujo medido por los grupos del muro de calibración

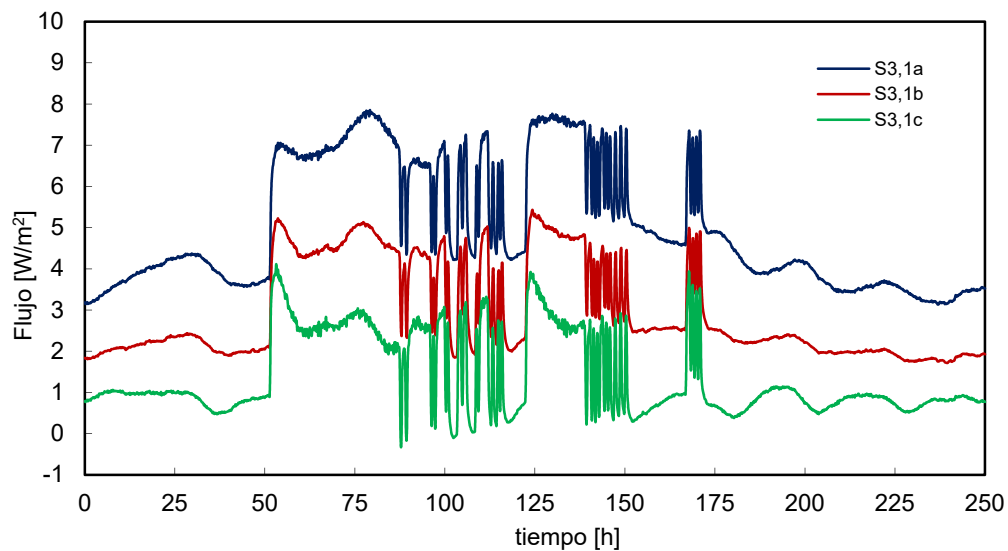


Figura A.13– Señal de los sensores situados en la posición C de las *multitiles* y flujo por unidad de superficie del grupo central del muro de calibración

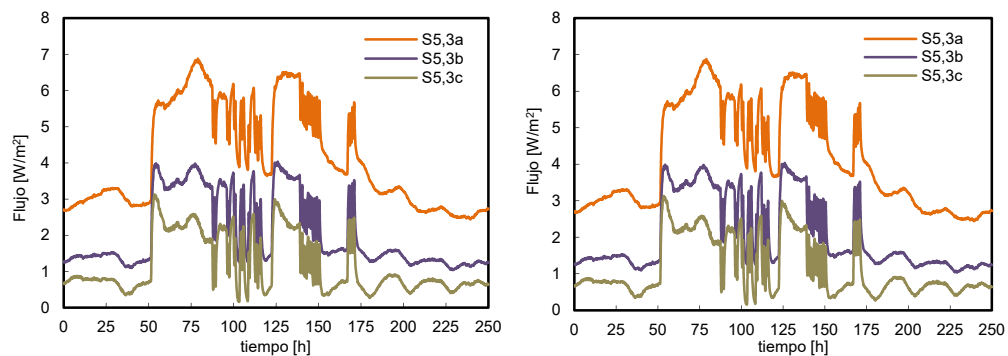


Figura A.14– Flujo medido por los tres sensores de las *multitiles* empleadas para la caracterización de los efectos de borde en el muro de calibración

### A.2.1.2 Temperaturas

El análisis de las temperaturas es fundamental para asegurar unas condiciones idóneas para el precoso de identificación de parámetros. Por un lado, se debe asegurar un salto de temperaturas suficiente entre el ambiente interior de la sala de ensayos y el exterior como para conseguir un flujo intercambiado con una incertidumbre reducida. Por otro lado, hay que asegur unas condiciones homogéneas de las temperaturas interiores del aire sala de ensayos de cara a simplificar los modelos de trabajo. El aseguramiento de estas condiciones se muestra desde la Figuras A.15 a la Figura A.17, para el periodo de ensayo en el que se aplica la rutina *ROLBS*.

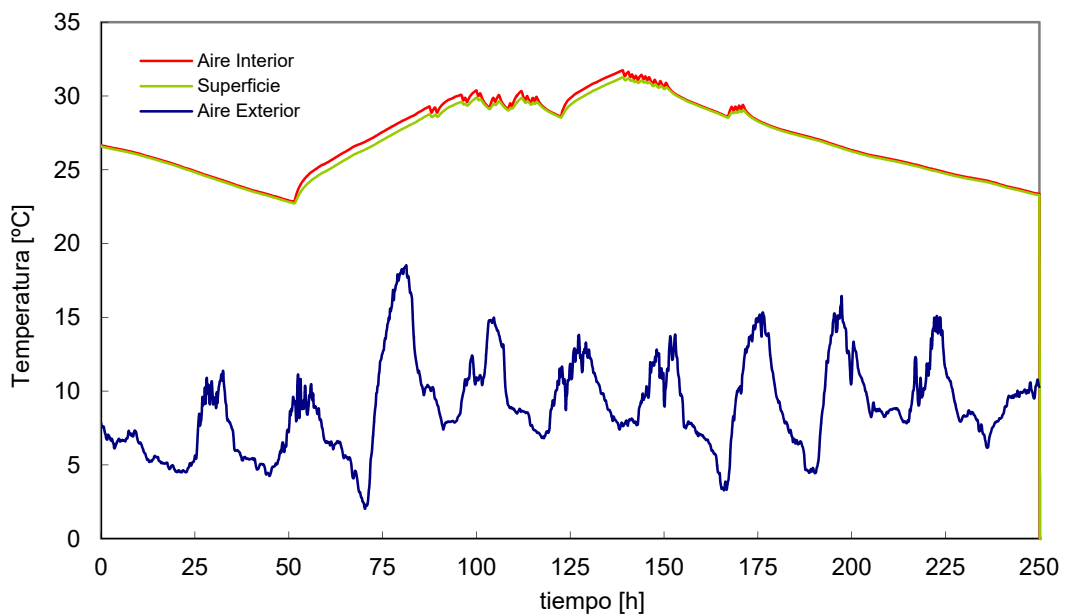


Figura A.15– Temperaturas de aire y superficie de la sala de ensayos y temperatura exterior ventilada para la rutina *ROLBS*

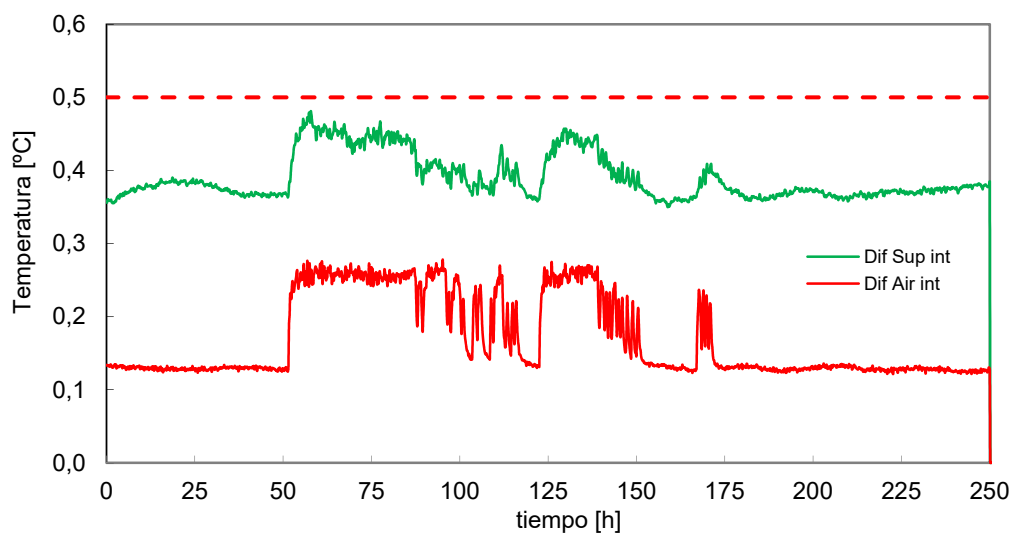


Figura A.16 – Diferencias máximas para las temperaturas de aire y superficie de la sala de ensayos durante la rutina *ROLBS*



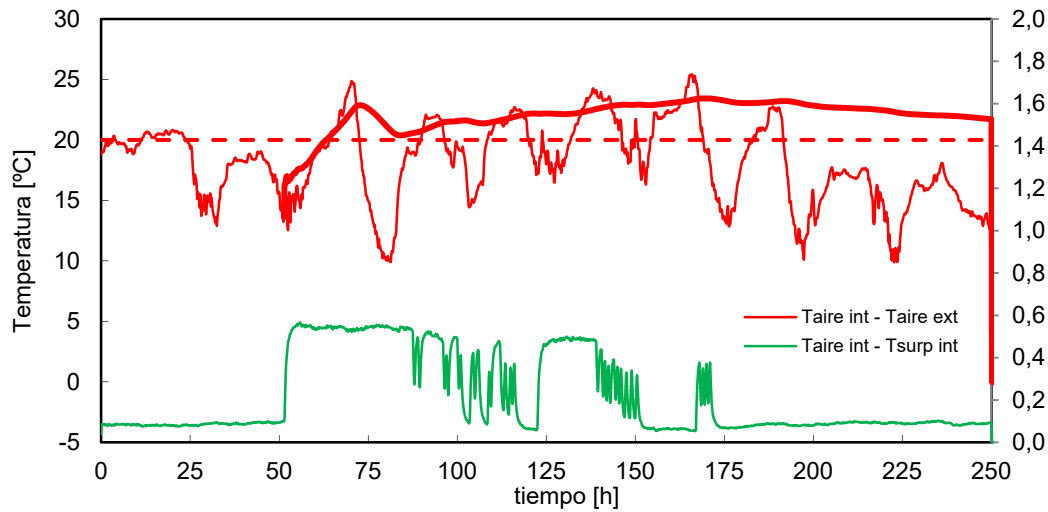


Figura A.17- Salto de temperatura entre el ambiente interior y el exterior, eje izquierdo, y entre ambiente y superficie, eje derecho, durante la rutina ROLBS

## A.2.2 Rutina PRBS

De igual forma a análisis realizado anteriormente se evalúa el comportamiento para la rutina PRBS, que permite estudiar la respuesta de la celda para frecuencias medias, de forma que se barre todo el espectro de trabajo.

### A.2.2.1 Flujo de la envolvente

En la Figura A.18 se muestran la potencia eléctrica y el flujo de calor en la sala de ensayos para la rutina PRBS, que corresponden con la tercera rutina de ensayo empleada para el proceso de calibración.

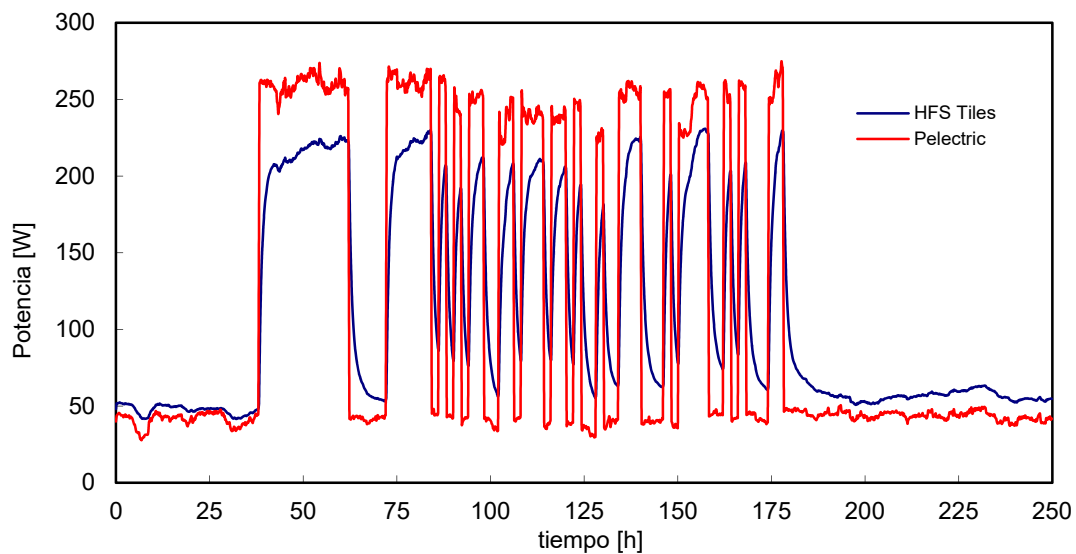


Figura A.18 - Potencia eléctrica de calentamiento y medida del flujo de las HFS Tiles para las rutinas PRBS

En la Figura A.20 se muestran los flujos medios por unidad de superficie que se dan durante este ensayo. Los valores don coherentes con los obtenidos en los anteriores ensayos y con las condiciones de la celda EGUZKI.

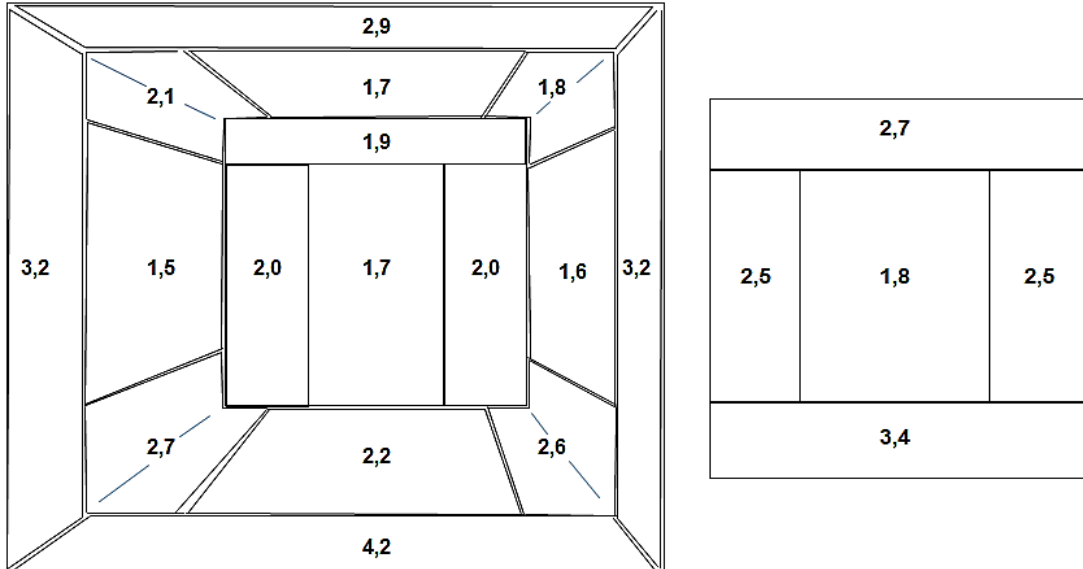


Figura A.19 – Flujos promedio por unidad de superficie en la cara norte, y envoltorio de la sala de ensayos, izquierda, y en el muro de calibración, derecha, para la rutina PRBS

Este mismo comportamiento se obtiene en el análisis de la evolución temporal de cada grupo de *tiles*, así como la evolución de los flujos de borde en las zonas de esquina como se muestra desde la Figura A.20 a la Figura A.30.

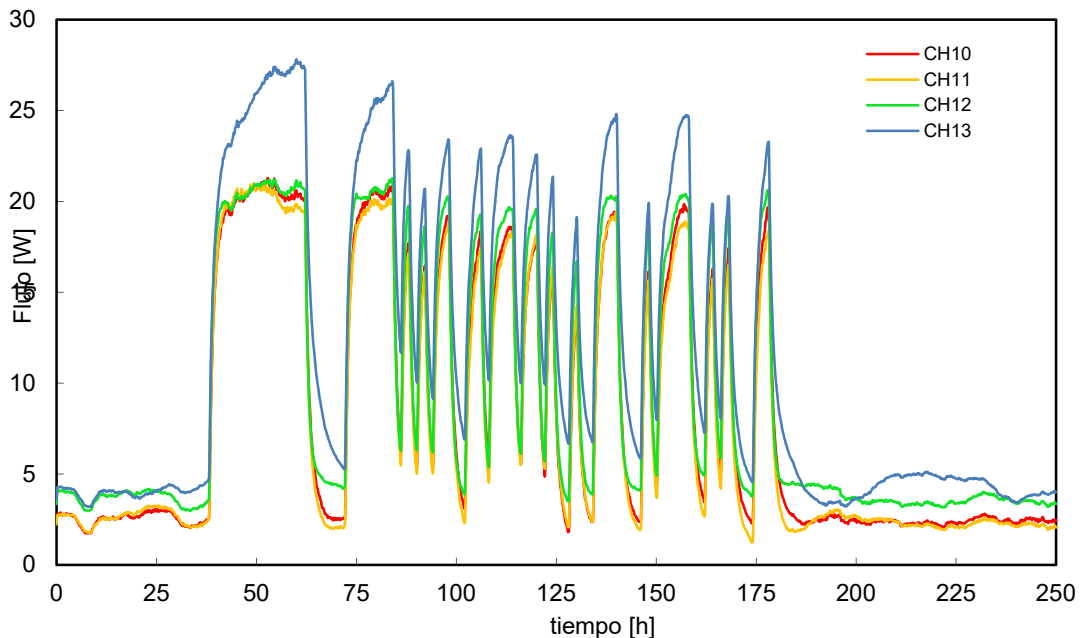


Figura A.20 – Flujo medido por los grupos centrales de la envoltorio de la sala de ensayo

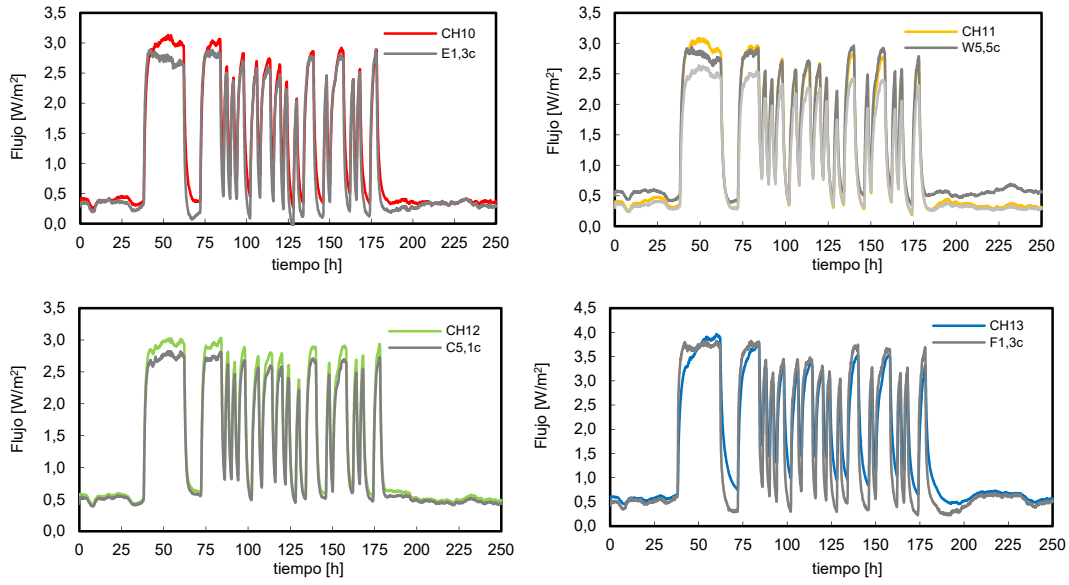


Figura A.21 – Señal de los sensores situados en la posición C de las *multitiles* y flujo por unidad de superficie de los grupos centrales equivalentes

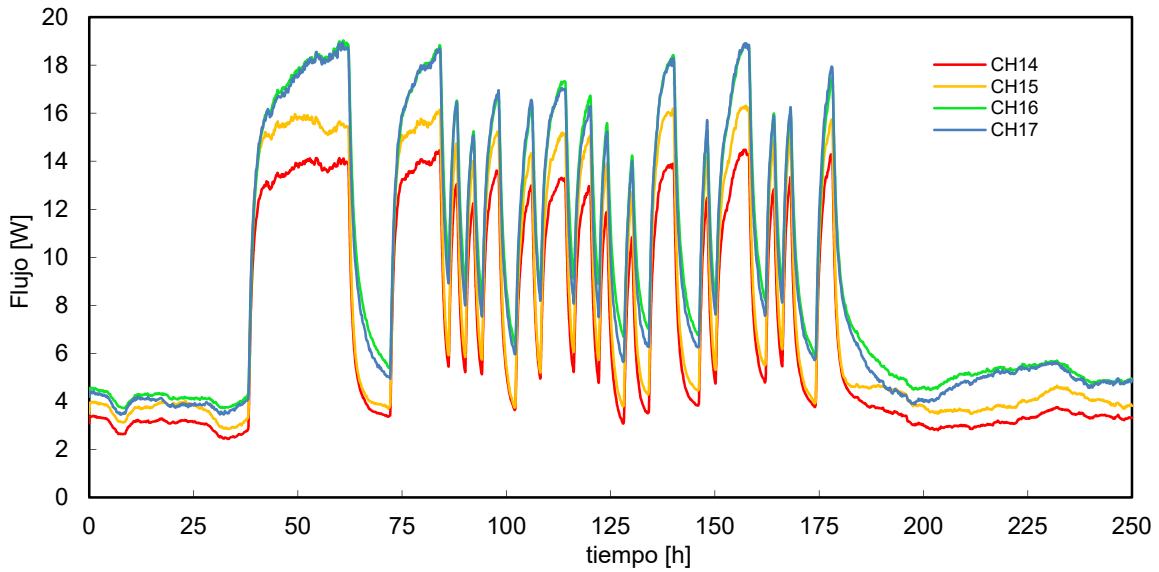


Figura A.22 – Flujo medido por los grupos de borde longitudinales, tipología 1, de la envolvente de la sala de ensayo

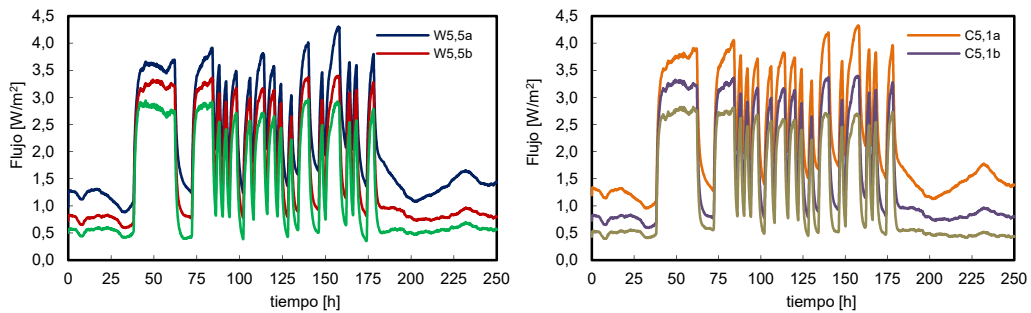


Figura A.23 – Flujo medido por los tres sensores de las *multitiles* empleadas para la caracterización de los efectos de borde longitudinales, tipología 1

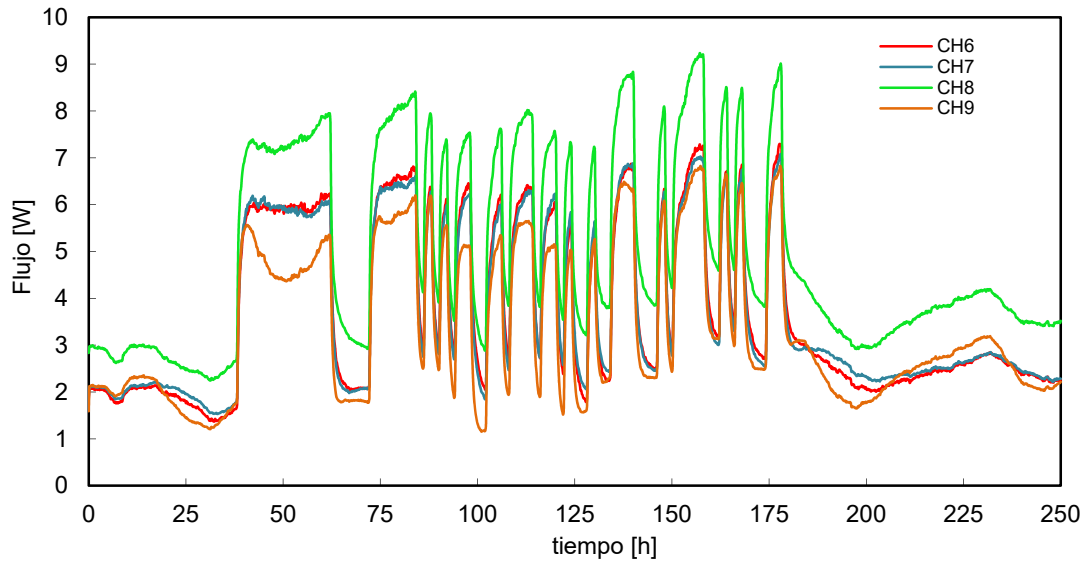


Figura A.24 – Flujo medido por los grupos de borde sur, *tipología 2 y 3*, de la envoltura de la sala de ensayo

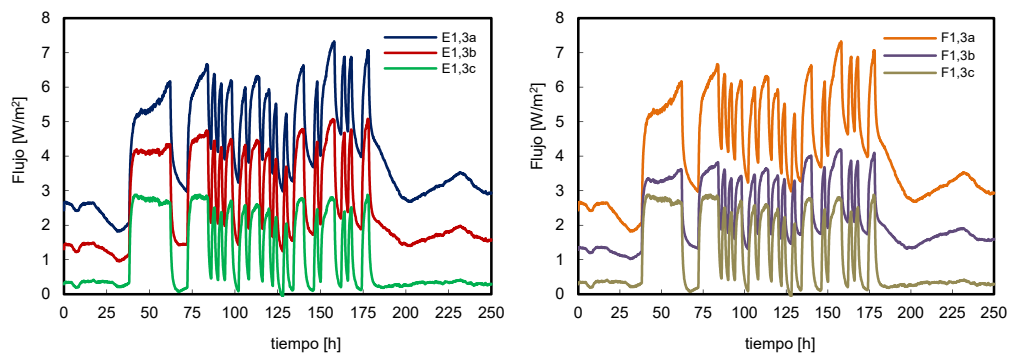


Figura A.25 – Flujo medido por los tres sensores de las *multitiles* empleadas para la caracterización de los efectos de borde sur, *tipología 2 y 3*

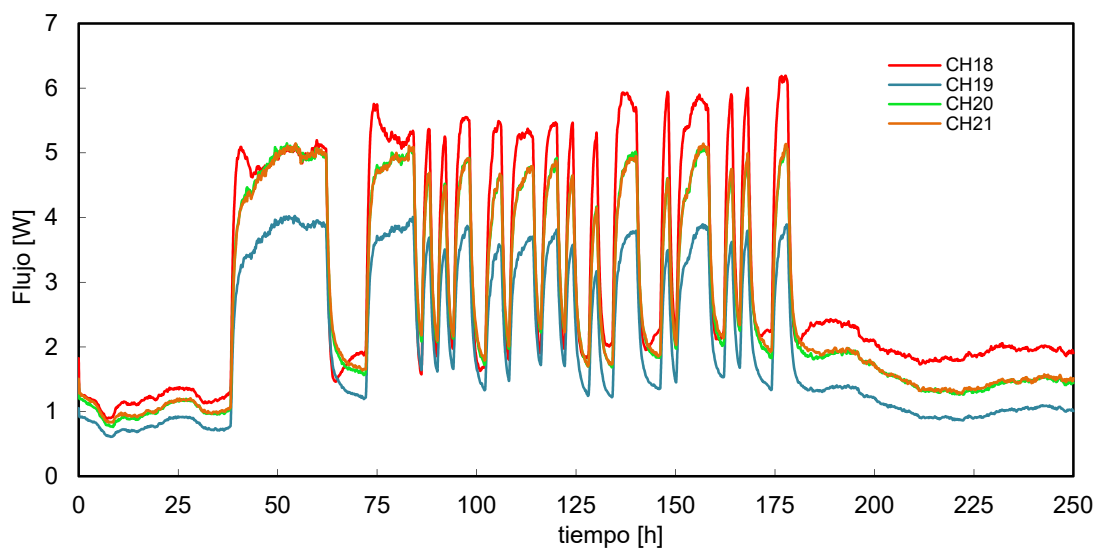


Figura A.26 – Flujo medido por los grupos de borde norte, *tipología 4*, de la envoltura de la sala de ensayo

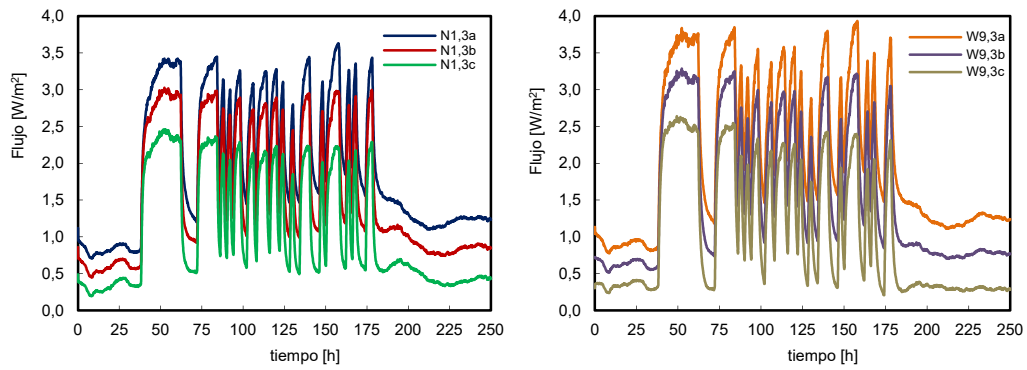


Figura A.27- Flujo medido por los tres sensores de las *multitiles* empleadas para la caracterización de los efectos de borde norte, tipología 4

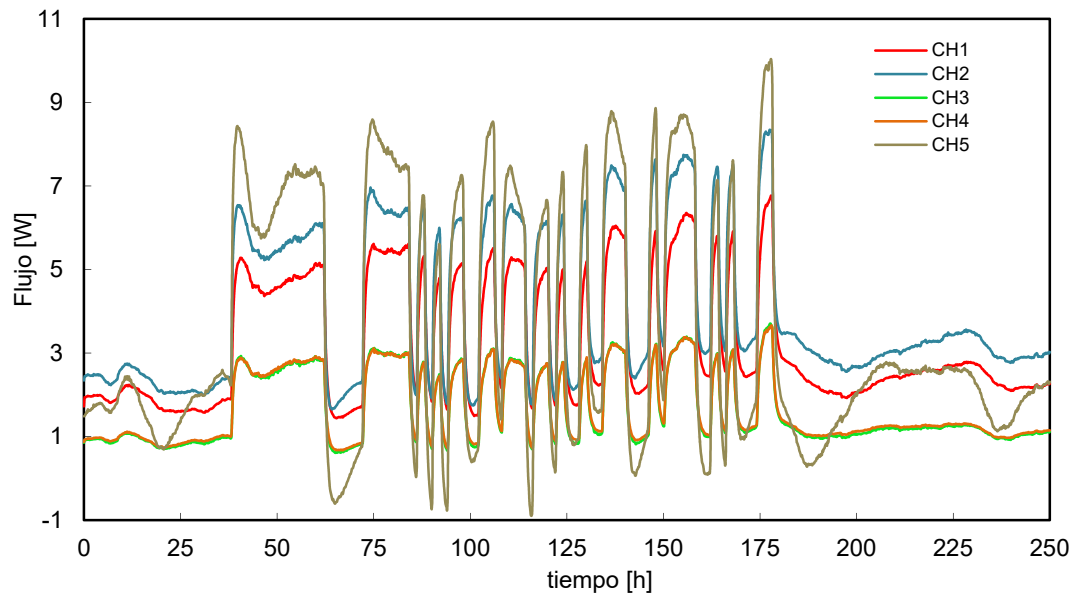


Figura A.28- Flujo medido por los grupos del muro de calibración

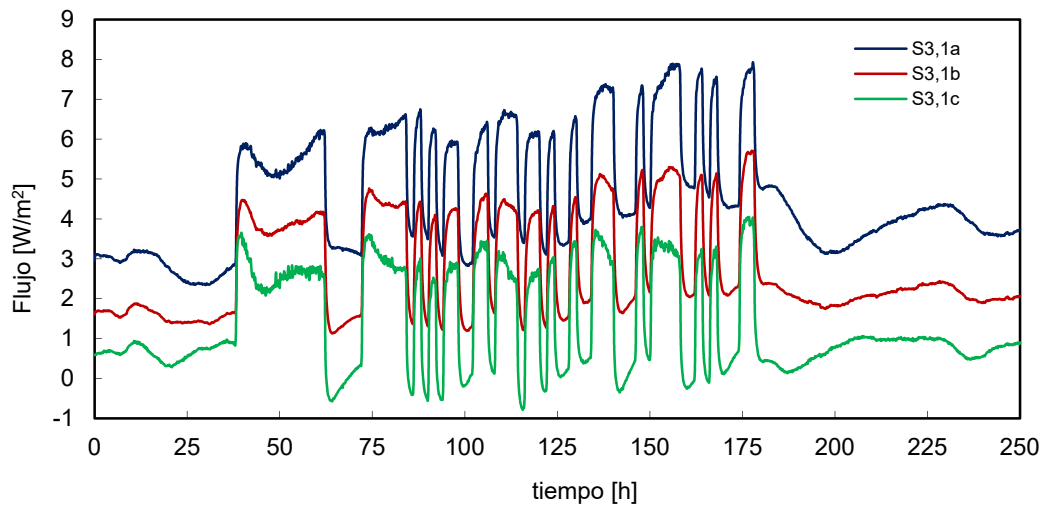


Figura A.29- Señal de los sensores situados en la posición C de las *multitiles* y flujo por unidad de superficie del grupo central del muro de calibración

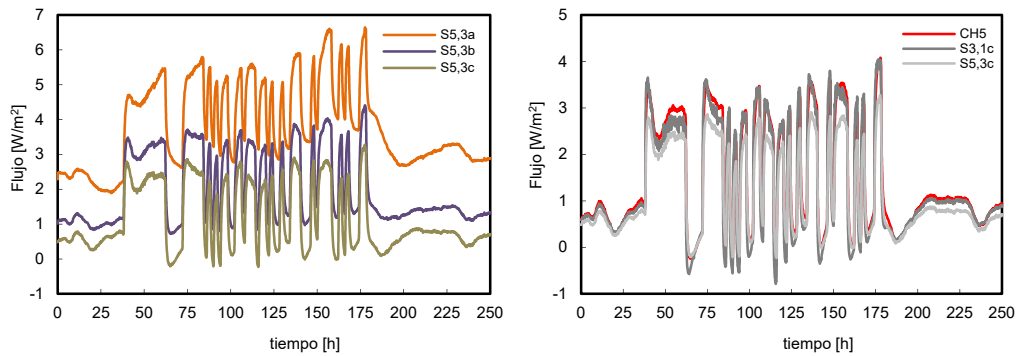


Figura A.30– Flujo medido por los tres sensores de las *multitiles* empleadas para la caracterización de los efectos de borde en el muro de calibración

### A.2.2.2 Temperaturas

Como se puede ver en las gráficas que van de la Figura A.31 a la Figura A.33, durante este periodo de ensayo se cumplen las condiciones de homogeneidad de temperaturas en el interior de la sala de ensayos y el salto de temperaturas entre ambientes.

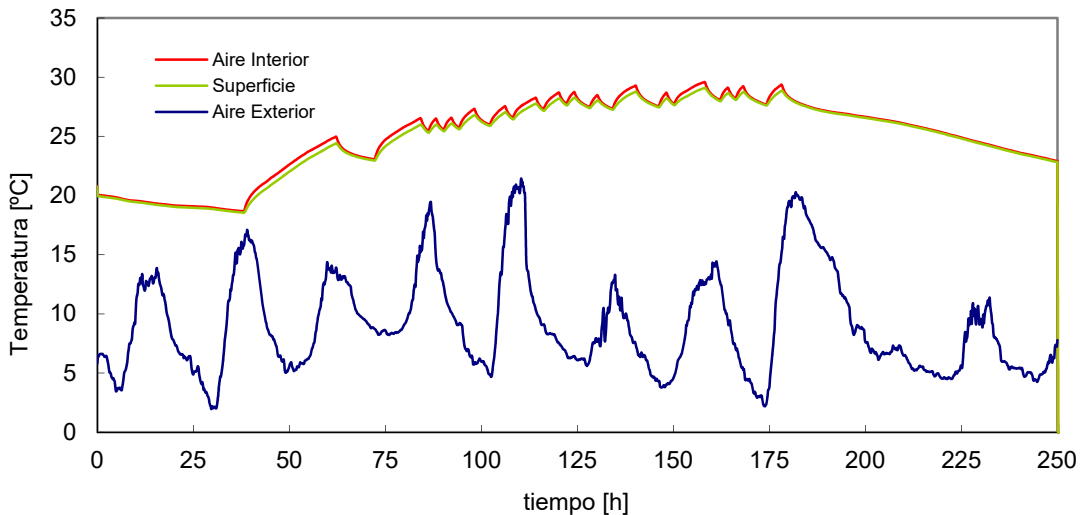


Figura A.31– Temperaturas aire y superficie de sala de ensayos y temperatura exterior ventilada para rutina PRBS

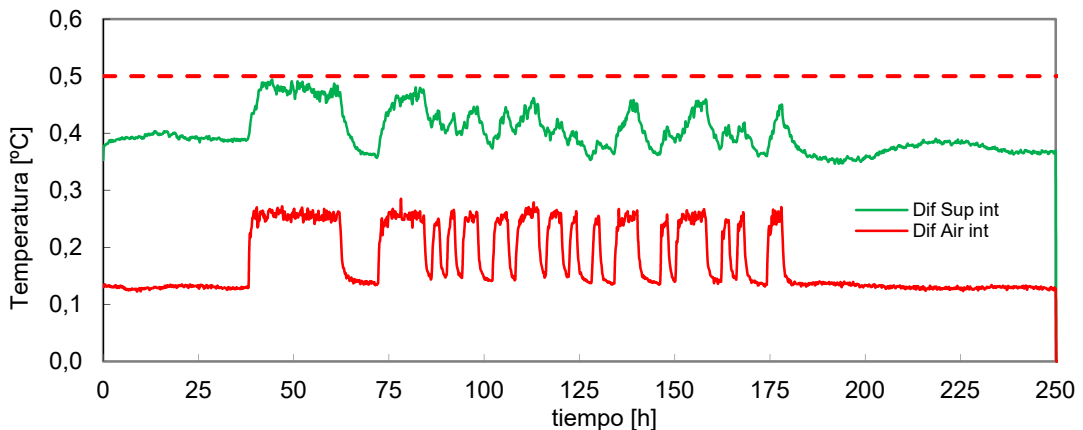


Figura A.32 – Diferencias máximas temperaturas aire y superficie de la sala de ensayos durante la rutina PRBS

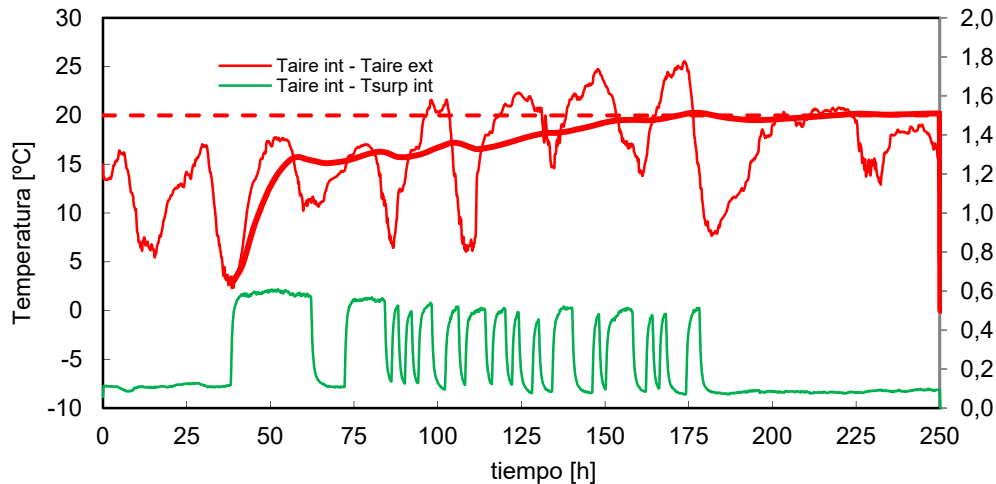


Figura A.33- Salto de temperatura entre el ambiente interior y el exterior, eje izquierdo, y entre ambiente y superficie, eje derecho, durante la rutina PRBS

## A.3 Modelos experimentales

Una vez revisada la calidad de los datos se puede pasar a la fase de modelado. No tiene ningún sentido comenzar con el proceso de identificación de parámetros sin antes conocer el comportamiento de la celda y que los datos que se emplean como función objetivo corresponden con los valores que se introducen en el modelo. Es decir, si no se obtiene una homogeneidad adecuada de la temperatura de aire interior es complicado poder conseguir un modelo con residuos que presenten un ajuste adecuado con un único nodo que represente dicho aire interior, por ejemplo. Por tanto, la fase de revisión de los datos experimentales es fundamental para dirigir la selección del modelo adecuado. Proceso que se define a continuación.

### A.3.1 Modelo de la celda

Como ya se indica en la memoria, el objetivo de diseño de la celda *PASLINK* es disponer de un equipo de ensayo que se pueda modelar mediante el sistema de parámetros más simple posible. Esto permite disponer mayor potencialidad de análisis en la definición de las muestras bajo ensayo. Para la obtención del modelo representativo de la celda *EGUZKI*, se han analizado los modelos recogidos en la Figura A.34. La elección del modelo definitivo se realiza en base a los resultados obtenidos en los parámetros de la celda, como son la transmitancia y la capacidad térmica, así como mediante el análisis de ajuste a patrón de ruido blanco de los residuos correspondientes a las funciones de objetivo empleadas en el proceso de identificación de parámetros. Para obtener unos resultados más fiables y representativos, el estudio se realiza empleando las tres rutinas de ensayo definidas, de forma que se contempla en los resultados el efecto de la respuesta en frecuencia de la celda. En la Tabla A.1 se recogen los resultados finales del estudio. Los valores de capacidades térmicas,  $C$ , están indicados en  $[M/K]$  y los de conductancias,  $H$ , en  $[W/K]$ . Los coeficientes de apertura de los flujos de calor,  $A$ , son adimensionales.

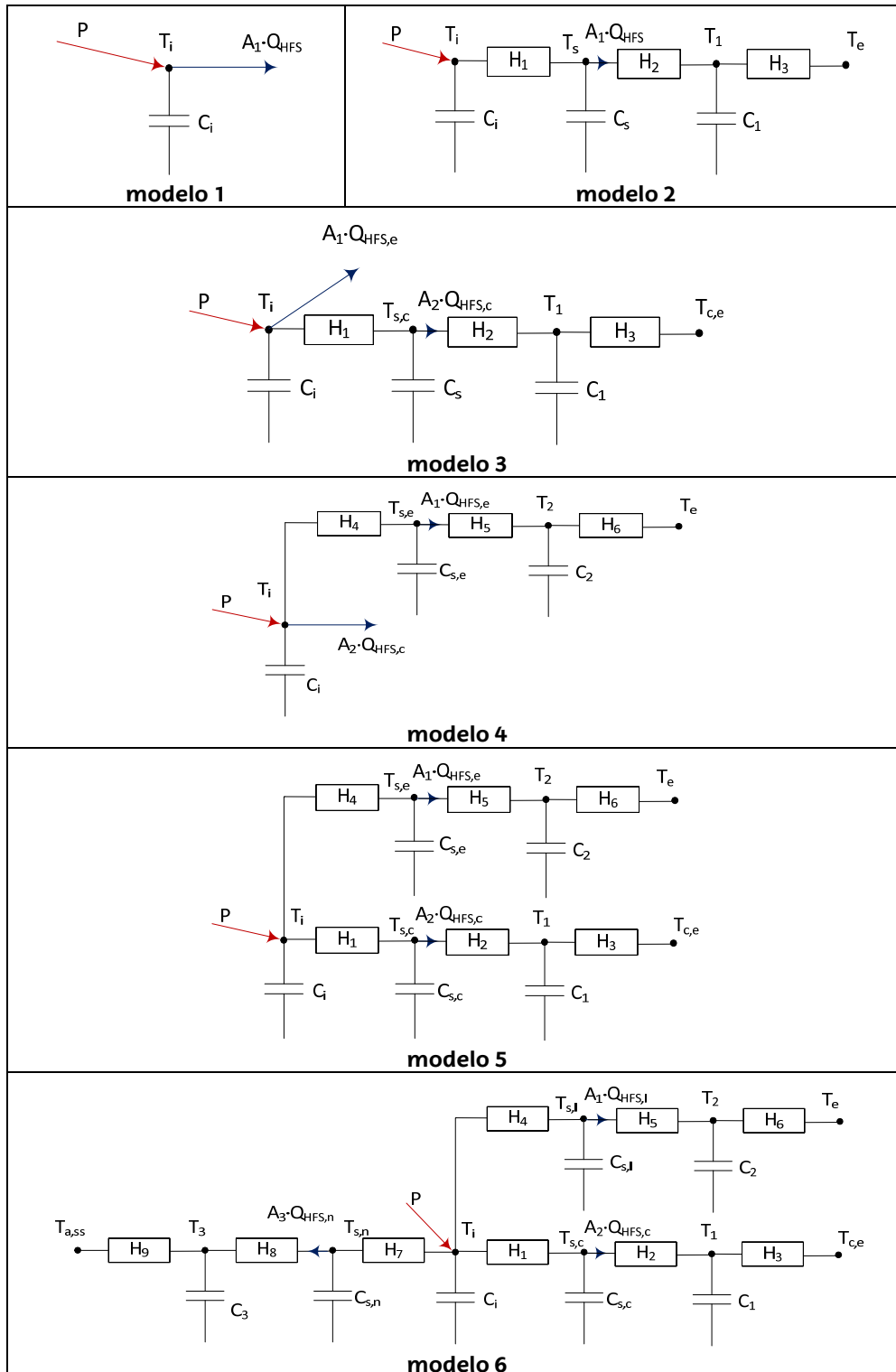


Figura A.34 – Modelos de representación del comportamiento térmico de la celda

En la memoria se realiza un análisis desarrollado del modelo 5, mostrando la definición de las ecuaciones, y estudiando la metodología de validación de los resultados del proceso de identificación de parámetros. A continuación se recogen los resultados totales para todos los modelos y las rutinas de ensayo.



	$C_i$	$C_s$	$C_{s,c}$	$C_{s,e}$	$C_{cel}$	$C_c$	$C_e$	$H_i$	$H_{i,c}$	$H_{i,e}$	$H_c$	$H_e$	$A_1$	$A_2$	$A_3$
modelo 1	0,651												1,075		
	0,557												1,060		
	0,595												1,046		
modelo 2	0,028	0,685			5,434			530,4							1,071
	0,324	0,355			5,329			446,6							1,042
	0,009	0,737			5,648			473,6							1,032
modelo 3		0,674	0,055			0,542		457,4	62,8		1,091		1,052	1,118	
		0,683	0,144			0,259		381,5	57,9		0,945		1,072	1,183	
		0,698	0,129			0,232		279,9	45,3		0,841		1,017	1,104	
modelo 4		0,833		0,853			3,973			334,6		5,379	1,038	1,061	
		0,705		0,405			4,992			323,6		5,135	0,983	1,331	
		0,915		0,446			4,555			234,6		3,641	1,066	1,098	
modelo 5	0,024	0,677	0,034	0,643	4,294	0,388	3,905	532,9	82,4	396,1	1,083	6,005	1,033	1,181	
	0,010	0,706	0,256	0,450	5,369	0,293	5,077	539,9	80,4	459,5	1,039	5,790	0,995	1,042	
	0,028	0,823	0,247	0,576	6,203	0,335	5,868	475,0	72,0	379,3	0,948	5,359	0,943	1,161	
modelo 6	0,022	0,750	0,282	0,470	5,871	0,631	5,240	499,1	86,1	346,5	0,906	5,977	1,035	1,176	1,057
	0,094	0,639	0,169	0,564	5,619	0,398	5,220	457,4	82,8	374,6	1,041	5,021	1,083	1,136	1,036
	0,026	0,798	0,193	0,497	5,623	0,260	5,364	364,6	62,2	311,4	0,928	5,821	0,938	1,096	1,084

Tabla A.1 – Resultados completos del proceso de identificación de parámetros en cada modelo, de arriba abajo, se indica el valor obtenido en el análisis de las rutinas PULSO, PRBS y ROLBS, respectivamente

### A.3.1.1 Modelo 1

Se trata del modelo más simple, formado por un único nodo que representa el ambiente interior de la celda con una única capacidad térmica, por tanto se trata de un modelo de primer orden. En la ecuación [A.1] se muestra la definición de dicho modelo con las variables de estado y las funciones de excitación. En la ecuación [A.2] se muestra la definición de las funciones objetivo.

$$[dT_i] = [0][T_i]dt + \left[ \frac{1}{C_i} \quad \frac{-A_1}{C_i} \right] \begin{bmatrix} P \\ Q_{HFS} \end{bmatrix} dt + [\sigma_i]dW \quad [A.1]$$

$$[T_{im}] = [1][T_i(t)] + [0] \begin{bmatrix} P(t) \\ Q_{HFS}(t) \end{bmatrix} + [s_i]de(t) \quad [A.2]$$

A continuación se muestran los resultados del modelo y el análisis de residuos para cada una de las rutinas ensayadas. Los valores de capacidades térmicas,  $C$ , están indicados en  $[W_{10min}/K]$ , y los valores de conductancias,  $H$ , en  $[W/K]$ .

#### Resultados rutina PULSO

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$T_i$	10.0	20.0	40.0	3.18E+01	4.76E-03	6688.1	0.0024	0.0018
$C_i$	1.0	1000	2000	1.09E+03	1.03E+00	183.1	-0.0001	0
$A_1$	0.5	1.0	1.5	1.08E+00	1.04E-03	1083.8	-0.0006	0.0011
$\sigma_i$	0.0	0.01	1.0	1.07E-02	3.16E-04	33.8	0	0
$s_i$	0.0	0.01	1.0	6.83E-06	6.45E-07	10.5	0	0

Tabla A.2 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina PULSO en el modelo 1

	$T_i$	$C_i$	$A_1$	$\sigma_i$	$s_i$
$T_i$	1				
$C_i$	0.0074	1			
$A_1$	0.0408	-0.4075	1		
$\sigma_i$	0.0317	-0.0565	-0.0547	1	
$s_i$	0.0024	0.0112	0.0321	-0.5689	1

Tabla A.3 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina *PULSO* en el modelo 1

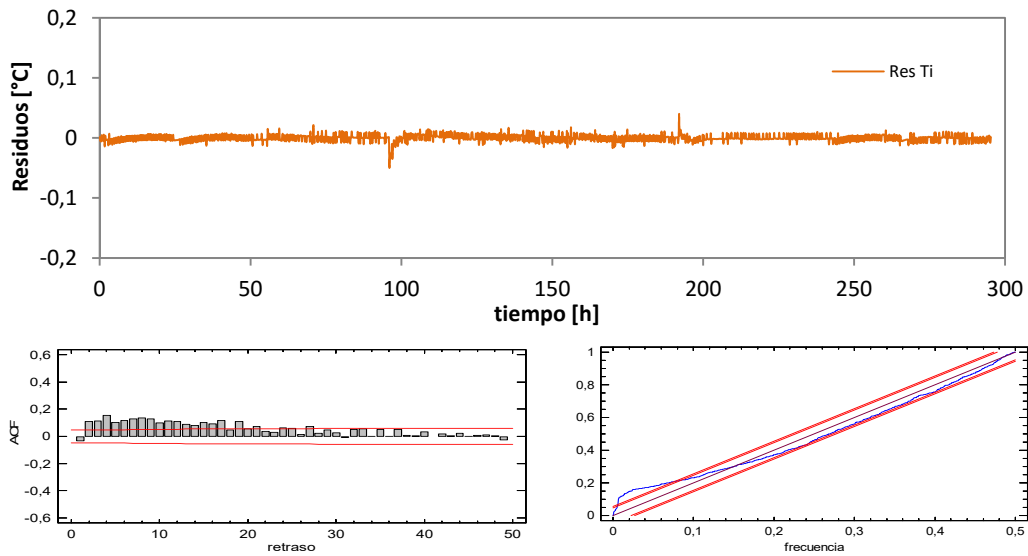


Figura A.35 – Análisis de residuos en el modelo 1 para la excitación *PULSO*

### Resultados rutina *PRBS*

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$T_i$	10.0	20.0	40.0	2.08E+01	8.51E-03	2443.7456	0	0
$C_i$	1.0	1000	2000	9.28E+02	7.10E-01	227.9236	0	0
$A_1$	0.5	1.0	1.5	1.06E+00	1.46E-03	619.4125	0.0001	0.0001
$\sigma_i$	0.0	0.01	1.0	2.06E-02	4.16E-04	49.5406	0	0
$s_i$	0.0	0.01	1.0	1.04E-16	1.80E-13	0.0006	0	0

Tabla A.4 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina *PRBS* en el modelo 1

	$T_i$	$C_i$	$A_1$	$\sigma_i$	$s_i$
$T_i$	1				
$C_i$	0.0074	1			
$A_1$	0.0408	-0.4075	1		
$\sigma_i$	0.0317	-0.0565	-0.0547	1	
$s_i$	0.0024	0.0112	0.0321	-0.5689	1

Tabla A.5 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina *PRBS* en el modelo 1

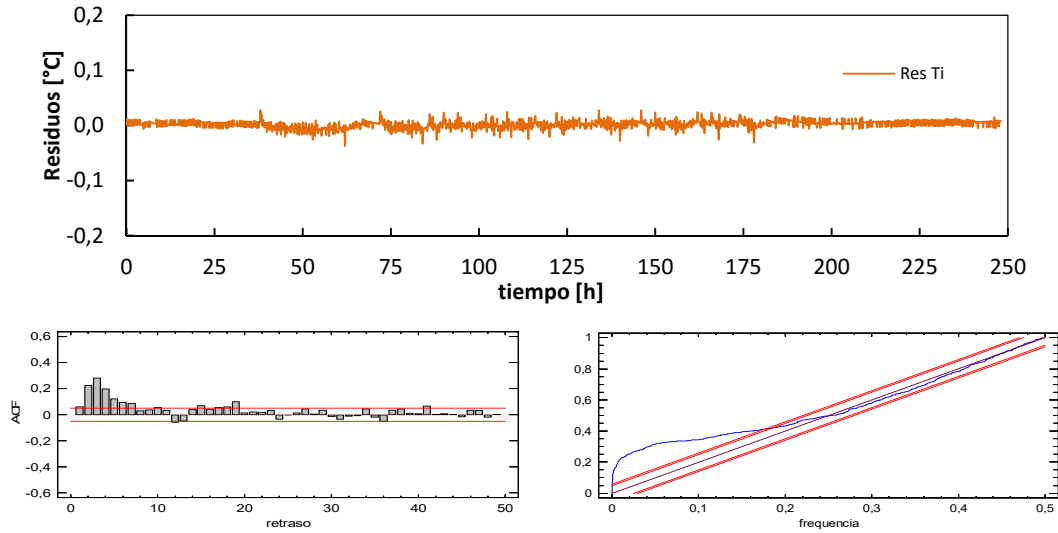


Figura A.36 – Análisis de residuos en el modelo 1 para la excitación PRBS

### Resultados rutina ROLBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$T_i$	10.0	20.0	40.0	2.42E+01	1.49E-02	1624.5772	-0.0001	0.0003
$C_i$	1.0	1000	2000	9.92E+02	1.75E+00	98.4324	0	0
$A_1$	0.5	1.0	1.5	1.05E+00	4.00E-03	223.458	0	0.0001
$\sigma_i$	0.0	0.01	1.0	1.66E-02	2.15E-03	7.7318	0	0
$s_i$	0.0	0.01	1.0	2.71E-17	4.59E-13	0.0001	0	0

Tabla A.6 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 1

	$T_i$	$C_i$	$A_1$	$\sigma_i$	$s_i$
$T_i$	1				
$C_i$	-0.0079	1			
$A_1$	0.0084	-0.1873	1		
$\sigma_i$	0.0889	-0.0089	0.0062	1	
$s_i$	0.0895	-0.0089	0.0036	0.0006	1

Tabla A.7 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 1

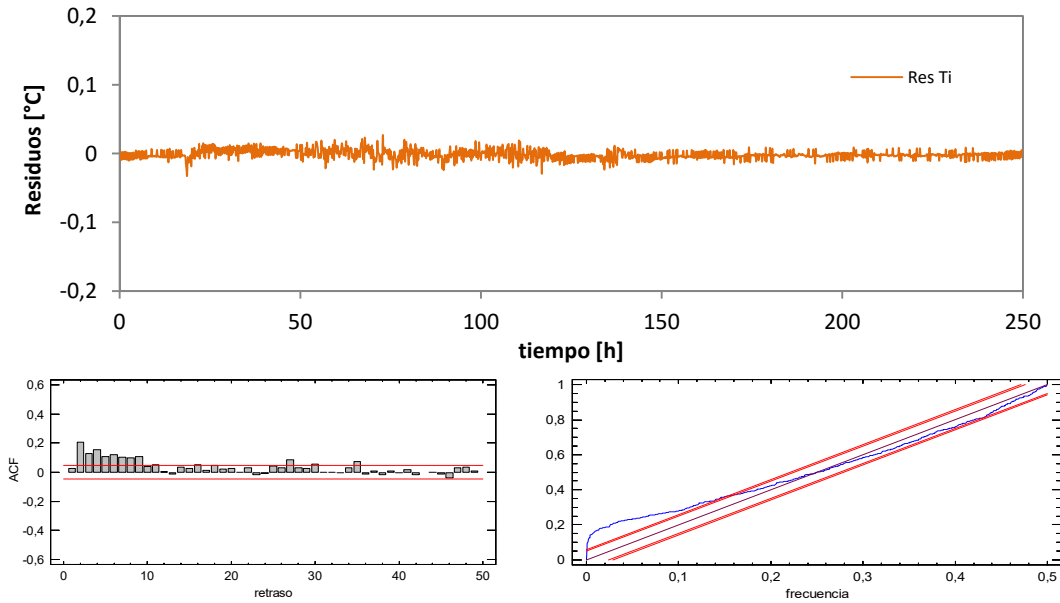


Figura A.37 – Análisis de residuos en el modelo 1 para la excitación ROLBS

### A.3.1.2 Modelo 2

En el segundo modelo se hace una diferenciación entre el ambiente interior y la envolvente de la sala de ensayos. El modelo pasa a ser de tercer orden y permite estimar las propiedades térmicas de la estructura de la celda. En la ecuación [A.3] se muestra la definición de dicho modelo con las variables de estado y las funciones de excitación. En la ecuación [A.4] se muestra la definición de las funciones objetivo.

$$\begin{bmatrix} dT_i \\ dT_s \\ dT_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{H_1}{c_i} & \frac{-H_1}{c_i} & 0 \\ \frac{H_1}{c_s} & \frac{-(H_1+H_2)}{c_s} & \frac{H_2}{c_s} \\ 0 & \frac{H_2}{c_1} & \frac{-(H_2+H_3)}{c_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_s \\ T_1 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \frac{1}{c_i} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_3}{c_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ T_e \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \sigma_i & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_s & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_1 \end{bmatrix} dW \quad [A.3]$$

$$\begin{bmatrix} T_{im} \\ T_{sm} \\ Q_{HFsm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & \frac{H_2}{A_1} & \frac{-H_2}{A_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i(t) \\ T_s(t) \\ T_1(t) \end{bmatrix} + [0] \begin{bmatrix} P(t) \\ T_e(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} s_i & 0 & 0 \\ 0 & s_{s,c} & 0 \\ 0 & 0 & s_1 \end{bmatrix} de(t) \quad [A.4]$$

El siguiente nivel de modelado de la celda, aún siendo sencillo, se complica en gran medida respecto a modelo 1. De ahí el interés de obtener un diseño de celda que responda al modelo más sencillo, de forma que se puede emplear toda la potencialidad de las herramientas de identificación de parámetros al estudio de la probeta bajo ensayo. A continuación se muestran los resultados del modelo y el análisis de residuos para cada una de las rutinas ensayadas.

### Resultados rutina PULSO

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$T_i$	10	20	40	3.18E+01	4.67E-02	680.6374	-0.00188	0.0018
$T_s$	10	20	40	3.18E+01	5.45E-03	5828.6817	-0.0055	0.0018
$T_1$	10	20	40	2.93E+01	1.03E-01	284.4967	-0.0073	0.0009
$H_1$	100	500	1000	5.30E+02	5.50E+00	96.5017	0.00043	0.0002
$C_i$	1	10	2000	4.67+01	1.59E-01	16.4626	-0.2742	-0.0001
$C_s$	1	1000	2000	1.14E+03	1.42E+00	134.1095	-0.09257	0.0001
$H_2$	5	10	500	2.70E+01	1.04E+00	25.8197	0.0029	0
$C_1$	1000	1500	5000	9.06E+03	4.16E+01	36.2743	-0.0757	-0.0005
$H_3$	5	10	100	8.68E+00	7.24E-01	11.9897	0.0046	-0.0003
$A_1$	0.5	1	1.5	1.07E+00	1.49E-03	757.6803	-0.0011	0.0011

Tabla A.8 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina PULSO en el modelo 2

	$T_i$	$T_s$	$T_1$	$H_1$	$C_i$	$C_s$	$H_2$	$C_1$	$H_3$	$A_1$
$T_i$	1									
$T_s$	0.27	1								
$T_1$	-0.34	-0.23	1							
$H_1$	-0.14	-0.34	0.13	1						
$C_i$	-0.11	-0.27	0.14	0.18	1					
$C_s$	-0.26	-0.16	0.31	0.10	0.14	1				
$H_2$	-0.36	-0.26	0.19	0.14	0.14	0.29	1			
$C_1$	-0.33	-0.24	0.24	0.11	0.24	0.19	0.26	1		
$H_3$	-0.13	-0.34	0.11	0.19	0.16	0.36	0.12	0.13	1	
$A_1$	-0.25	-0.17	0.28	0.10	0.19	-0.16	0.32	0.31	0.10	1

Tabla A.9 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina PULSO en el modelo 2

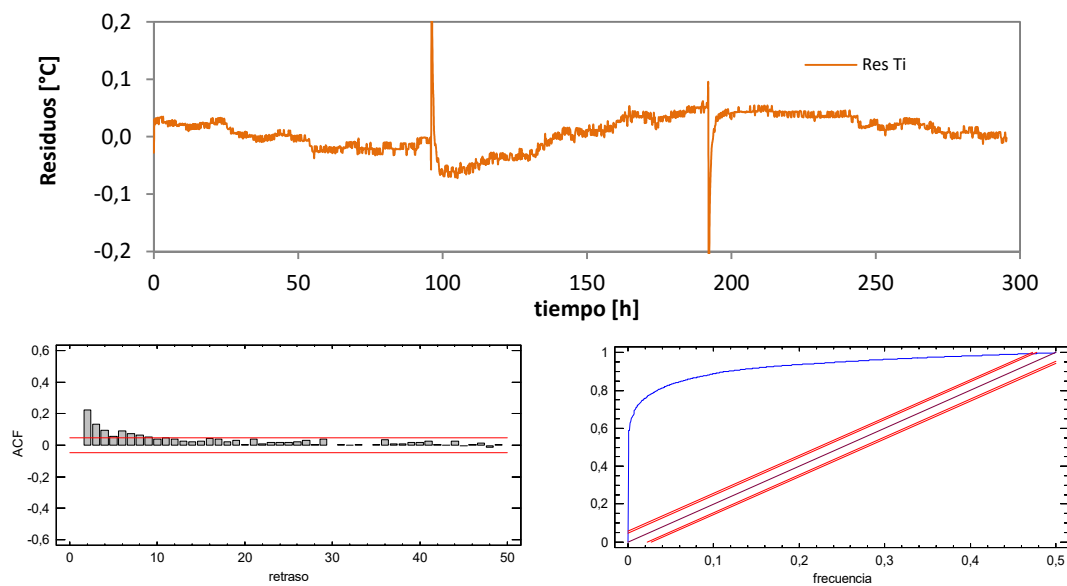


Figura A.38 – Análisis de residuos en el modelo 2 para la excitación PULSO

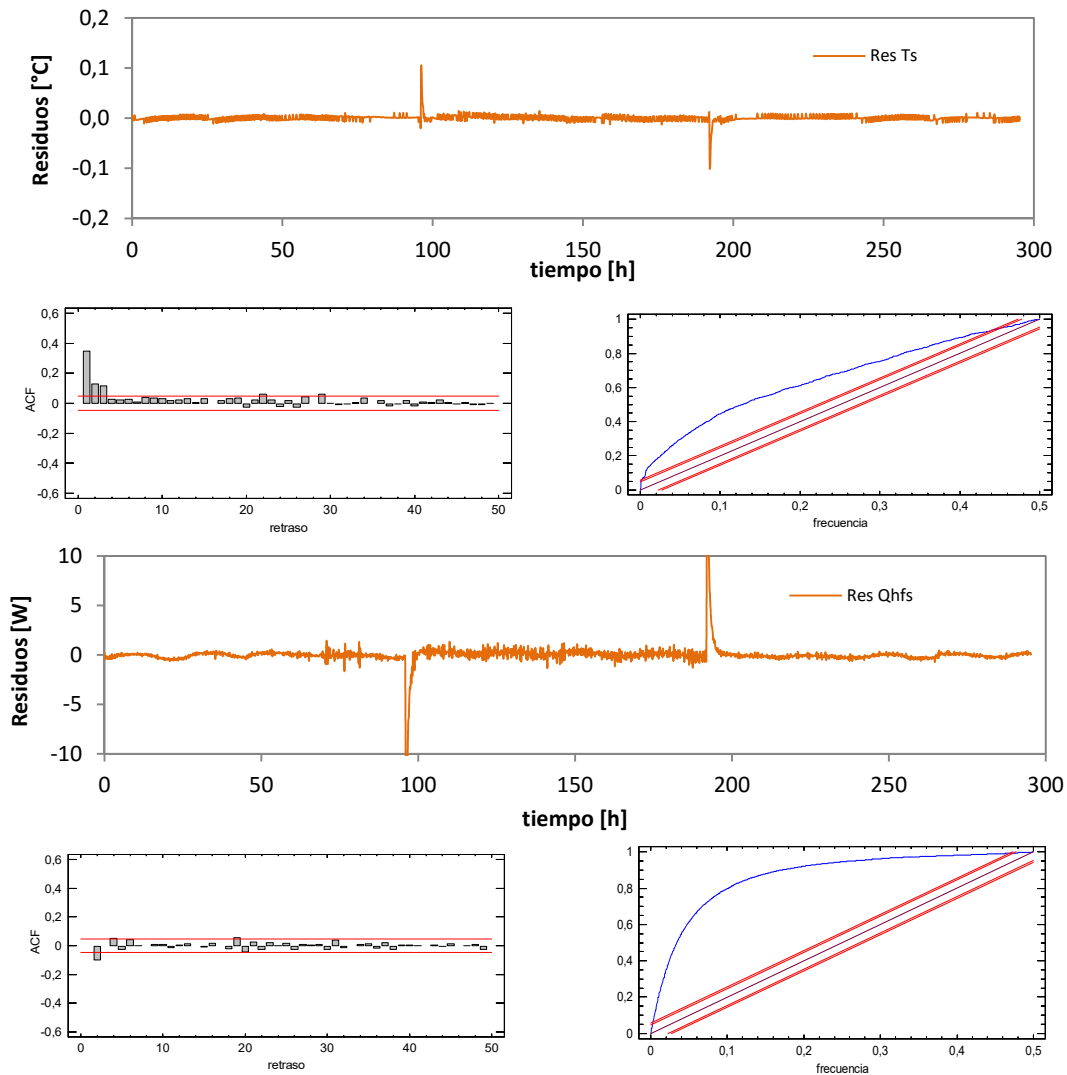


Figura A.39 – Análisis de residuos en el modelo 2 para la excitación PULSO

### Resultados rutina PRBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$T_i$	10	20	40	1.99E+01	5.61E-02	354.9914	0.0066	0
$T_s$	10	20	40	2.07E+01	1.66E-02	1242.2585	-0.0097	0
$T_1$	10	20	40	2.04E+01	6.15E-02	331.4612	0.0007	0
$H_1$	100	500	1000	4.47E+02	1.34E+00	334.1442	0.0005	0.0001
$C_i$	1	10	2000	5.40E+02	1.13E+00	79.6618	0.0008	0.009
$C_s$	1	1000	2000	5.91E+02	1.67E+00	58.9762	0.0001	-0.0002
$H_2$	5	10	500	1.76E+02	3.50E+00	50.2624	0	0.0001
$C_1$	1000	5000	10000	8.88E+03	1.64E+01	39.3346	0	-0.0015
$H_3$	5	10	100	6.45E+00	1.24E-01	52.2507	0	-0.0015
$A_1$	0.5	1	1.5	1.04E+00	1.17E-03	760.5452	0.0017	0.0001

Tabla A.10 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina PRBS en el modelo 2

	$T_i$	$T_s$	$T_1$	$H_1$	$C_i$	$C_s$	$H_2$	$C_1$	$H_3$	$A_1$
$T_i$	1									
$T_s$	0.19	1								
$T_1$	0.09	0.48	1							
$H_1$	-0.05	0.02	0.01	1						
$C_i$	0.12	0.03	0.01	-0.25	1					
$C_s$	-0.11	-0.03	0.00	0.30	-0.89	1				
$H_2$	0.08	-0.05	0.08	-0.04	0.12	-0.10	1			
$C_1$	-0.01	0.02	0.02	0.02	-0.02	0.02	-0.12	1		
$H_3$	-0.08	0.03	0.00	0.04	-0.03	0.01	-0.04	-0.02	1	
$A_1$	-0.01	0.02	0.01	0.16	0.11	-0.25	0.09	0.05	0.08	1

Tabla A.11 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina PRBS en el modelo 2

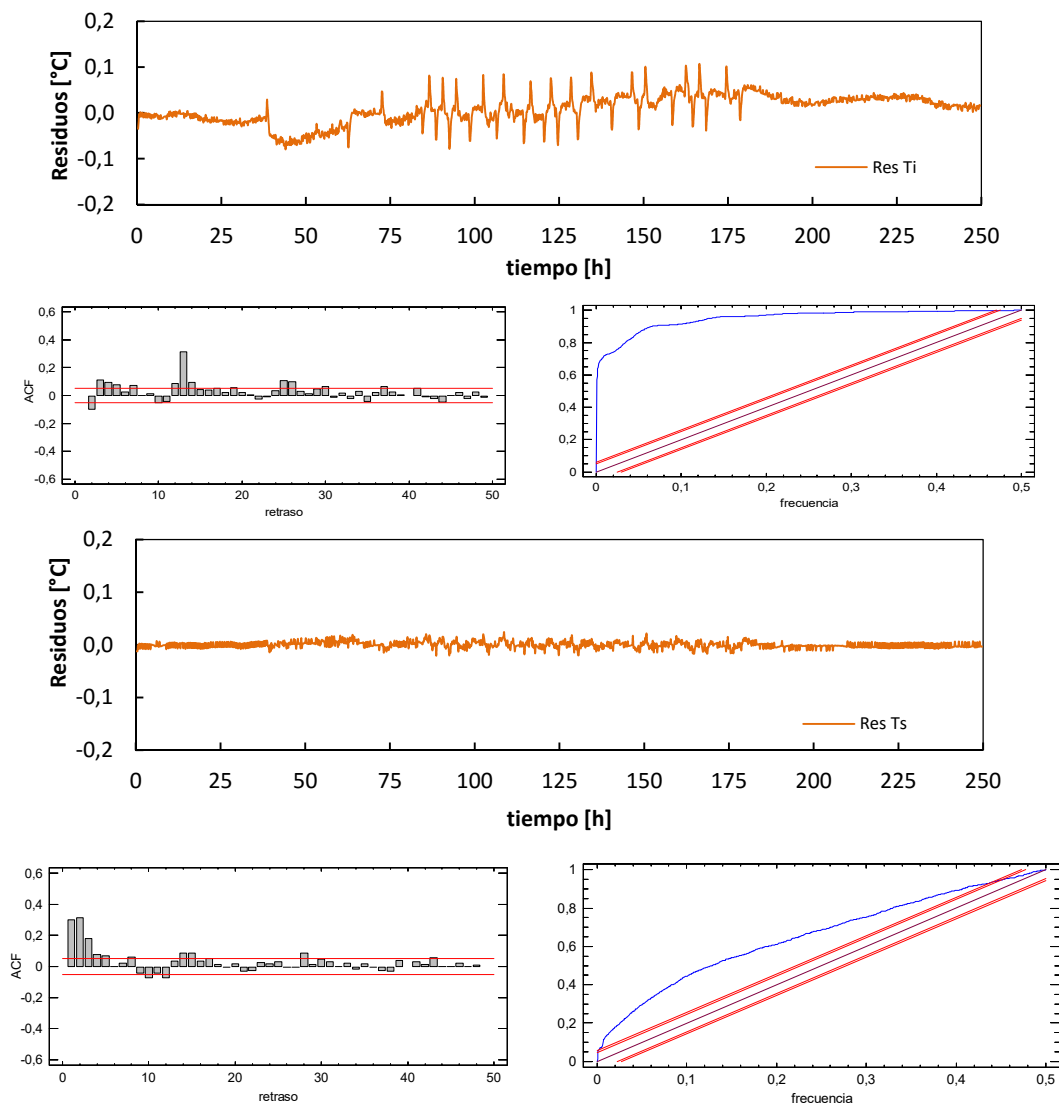


Figura A.40 – Análisis de residuos en el modelo 2 para la excitación PRBS

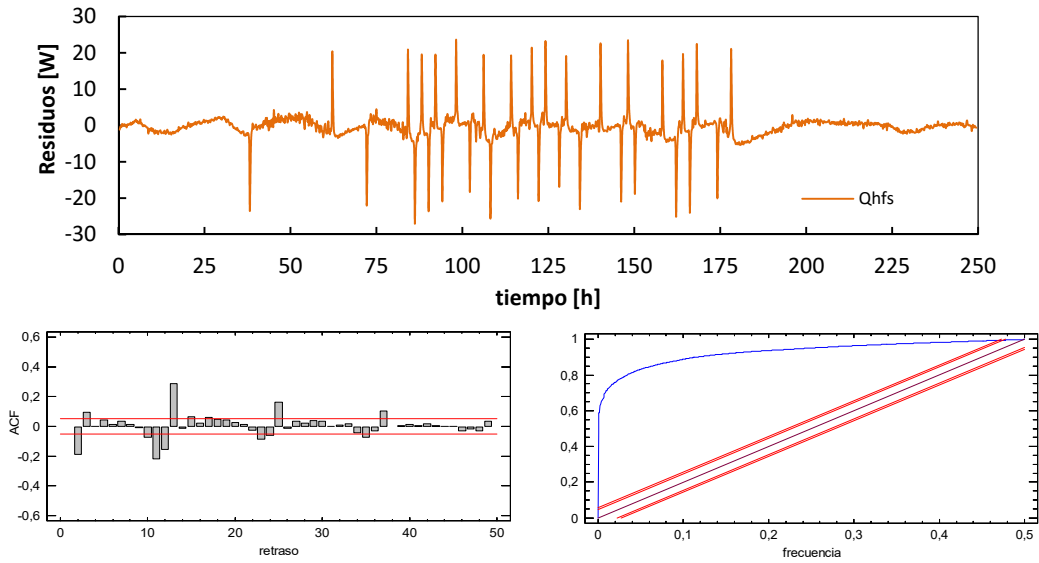


Figura A.41 – Análisis de residuos en el modelo 2 para la excitación PRBS

### Resultados rutina ROLBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$T_i$	10	20	40	2.42E+01	1.36E-02	1780.8776	0.0066	0
$T_s$	10	20	40	2.41E+01	4.70E-03	5128.6979	-0.0097	0
$T_1$	10	20	40	2.38E+01	1.79E-02	1331.7085	0.0007	0
$H_1$	100	500	1000	4.74E+02	1.20E+00	396.1788	0.0005	0.0001
$C_i$	1	10	2000	1.50E+01	1.50E+00	63.0633	0.0008	0.009
$C_s$	1	1000	2000	1.23E+03	2.17E+00	53.7641	0.0001	-0.0002
$H_2$	5	10	500	2.10E+02	5.35E+00	39.3135	0	0.0001
$C_1$	1000	5000	10000	9.41E+03	1.96E+01	37.6009	0	-0.0015
$H_3$	5	10	100	6.74E+00	1.13E-01	59.8046	0	-0.0015
$A_1$	0.5	1	1.5	1.03E+00	1.19E-03	740.8563	0.0017	0.0001

Tabla A.12 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 2

	$T_i$	$T_s$	$T_1$	$H_1$	$C_i$	$C_s$	$H_2$	$C_1$	$H_3$	$A_1$
$T_i$	1									
$T_s$	0.34	1								
$T_1$	0.09	0.42	1							
$H_1$	0.00	0.02	-0.02	1						
$C_i$	0.01	0.00	0.03	-0.19	1					
$C_s$	-0.03	0.00	-0.04	0.22	-0.84	1				
$H_2$	0.02	0.00	0.43	-0.01	0.16	-0.17	1			
$C_1$	-0.01	-0.01	-0.02	0.02	-0.02	0.01	-0.07	1		
$H_3$	0.01	0.03	0.04	0.01	0.03	-0.02	0.02	0.14	1	
$A_1$	0.00	-0.01	0.01	0.27	0.05	-0.19	0.09	0.02	0.10	1

Tabla A.13 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 2



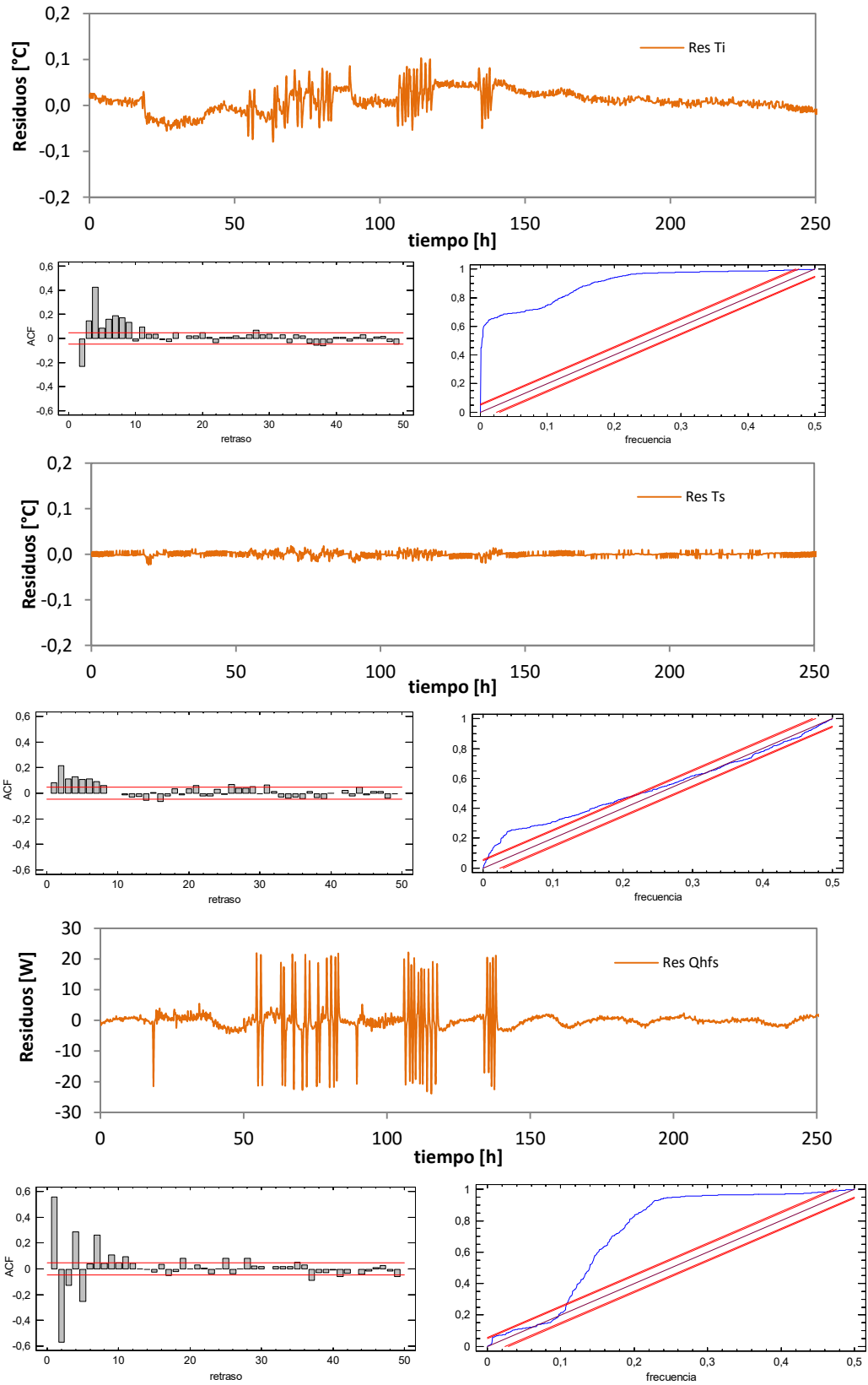


Figura A.42 – Análisis de residuos en el modelo 2 para la excitación ROLBS

### A.3.1.3 Modelo 3

Tras analizar los resultados del modelo 2, se puede ver que aunque los residuos son pequeños en todas las variables objetivo, el ajuste al patrón de ruido blanco no es muy correcto. Esto se puede deber a la diferencia en el comportamiento del muro de calibración respecto al resto de la envolvente de la sala de ensayos. Aunque la superficie de dicho muro de calibración es un porcentaje pequeño, el flujo es muy superior debido a que presenta mayores efectos de puentes térmicos, esto además también afecta a las temperaturas superficiales del mismo, que se diferencian de las temperaturas del resto de la envolvente. Para verificar este comportamiento previsto se define el modelo 3. En el cual se hace una discretización del flujo y temperatura de la envolvente propia de la sala de ensayos y del muro de calibración por separado. En la ecuación [A.5] se muestra la definición de dicho modelo con las variables de estado y las funciones de excitación. En la ecuación [A.6] se muestra la definición de las funciones objetivo.

$$\begin{bmatrix} dT_i \\ dT_{s,c} \\ dT_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{H_1}{C_i} & \frac{H_1}{C_i} & 0 \\ \frac{H_1}{C_{s,c}} & -(H_1 + H_2) & \frac{H_2}{C_{s,c}} \\ 0 & \frac{H_2}{C_1} & -(H_2 + H_3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_{s,c} \\ T_1 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} 1 & -\frac{A_1}{C_i} & 0 \\ \frac{1}{C_i} & \frac{-A_1}{C_i} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_3}{C_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ Q_{HFS,e} \\ T_{c,e} \end{bmatrix} dt + [\sigma]dt \quad [A.5]$$

$$\begin{bmatrix} T_i^m \\ T_{s,c}^m \\ Q_{HFS,c}^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & \frac{H_2}{A_2} & \frac{-H_2}{A_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_{s,c} \\ T_1 \end{bmatrix} + [0] \begin{bmatrix} P \\ Q_{HFS,e} \\ T_{c,e} \end{bmatrix} + [e] \quad [A.6]$$

A continuación se muestran los resultados del modelo y el análisis de residuos para cada una de las rutinas ensayadas.

#### Resultados rutina PULSO

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$T_i$	10	20	40	3.18E+01	6.07E-03	5242.4619	0.0035	0.0018
$T_{s,c}$	10	20	40	3.18E+01	4.35E-03	7309.1254	-0.0099	0.0018
$T_1$	10	20	40	2.85E+01	1.95E-01	146.5964	0.0018	0.0008
$H_1$	1	50	500	6.28E+01	2.80E+00	22.2818	-0.0006	0
$C_i$	10	1000	2000	9.57E+02	3.05E+01	58.8331	0.0007	0.0082
$C_{s,c}$	1	50	500	9.17E+01	2.96E+00	5.1764	0.0001	-0.0005
$H_2$	0.1	10	1000	3.66E+00	2.61E-01	14.0308	0	0
$C_1$	1	1000	2000	9.03E+02	1.05E+01	14.3876	0	0
$H_3$	0.1	6	100	1.55E+00	1.06E-01	14.7018	-0.0001	0
$A_1$	1	1.2	1.5	1.05E+00	7.96E-03	139.1471	0.0077	-0.0085
$A_2$	0.5	1	1.5	1.12E+00	5.21E-02	24.5885	0.0022	0.0039

Tabla A.14 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina PULSO en el modelo 3

	$T_i$	$T_{s,c}$	$T_1$	$H_1$	$C_i$	$C_{s,c}$	$H_2$	$C_1$	$H_3$	$A_1$	$A_2$
$T_i$	1										
$T_{s,c}$	0.21	1									
$T_1$	0.00	0.01	1								
$H_1$	-0.04	0.01	0.02	1							
$C_i$	0.09	0.01	-0.03	0.01	1						
$C_{s,c}$	-0.11	-0.01	0.01	0.36	-0.29	1					
$H_2$	-0.01	0.00	0.27	0.18	0.07	0.15	1				
$C_1$	-0.01	0.00	-0.15	0.17	0.06	0.15	0.20	1			
$H_3$	-0.02	0.00	-0.50	0.18	0.11	0.13	-0.07	0.23	1		
$A_1$	0.01	-0.01	0.01	-0.30	-0.17	-0.24	-0.19	-0.18	-0.20	1	
$A_2$	-0.01	0.01	-0.01	0.31	0.15	0.25	0.19	0.18	0.20	-0.33	1

Tabla A.15 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina *PULSO* en el modelo 3

En las tablas de resultados y coeficientes de covarianza no se muestran los datos correspondientes al comportamiento estadístico de las variables de estado,  $[\sigma]$ , y el error de las funciones objetivo,  $[e]$ , ya que aumenta en gran medida la dimensión de dichas tablas, sí que se analiza en la validación del modelo.

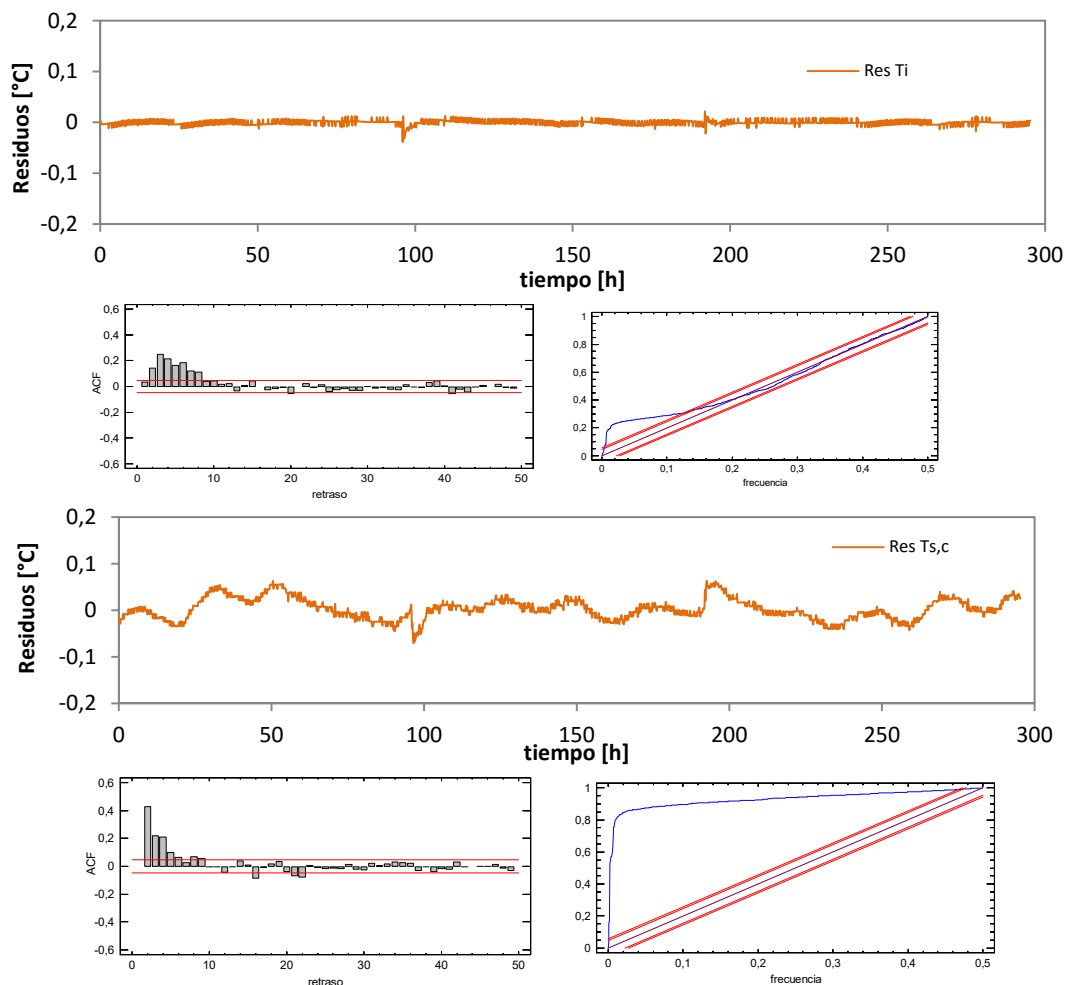


Figura A.43 – Análisis de residuos en el modelo 3 para la excitación *PULSO*

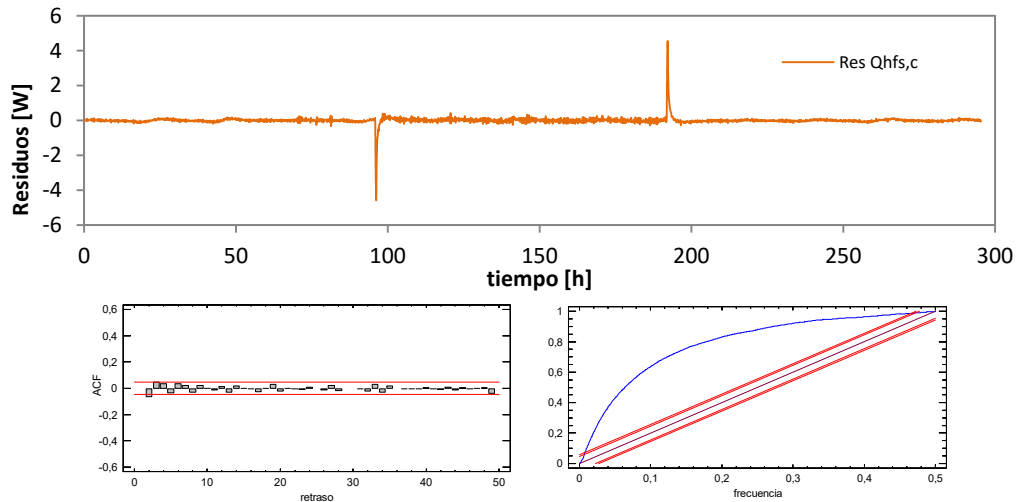


Figura A.44 – Análisis de residuos en el modelo 3 para la excitación PULSO

### Resultados rutina PRBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$T_i$	10	20	40	2.08E+01	6.53E-03	3182.0883	-0.0005	0
$T_{s,c}$	10	20	40	2.07E+01	2.63E-02	785.3445	-0.0005	0
$T_1$	10	20	40	2.03E+01	3.39E-02	597.7475	0.0002	0
$H_1$	1	50	500	5.79E+01	1.81E+00	32.066	-0.0001	0
$C_i$	10	1000	2000	9.72E+02	7.47E-01	210.1	-0.0006	0.0016
$C_{s,c}$	1	50	500	2.40E+02	1.98E+00	20.1673	0	0
$H_2$	0.1	10	1000	1.70E+01	5.70E-01	29.9114	0	0
$C_1$	1	1000	2000	4.32E+02	4.16E+00	17.3047	0	0
$H_3$	0.1	6	100	1.00E+00	2.58E-02	28.078	0	0
$A_1$	1	1.2	1.5	1.07E+00	4.24E-03	215.8239	-0.0004	0.0001
$A_2$	0.5	1	1.5	1.18E+00	2.09E-02	32.0907	0.0001	-0.001

Tabla A.16 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina PRBS en el modelo 3

	$T_i$	$T_{s,c}$	$T_1$	$H_1$	$C_i$	$C_{s,c}$	$H_2$	$C_1$	$H_3$	$A_1$	$A_2$
$T_i$	1										
$T_{s,c}$	0.11	1									
$T_1$	0.01	0.08	1								
$H_1$	0.03	0.02	-0.20	1							
$C_i$	-0.01	-0.05	0.04	-0.26	1						
$C_{s,c}$	0.03	0.04	-0.18	0.22	-0.47	1					
$H_2$	0.01	0.05	0.19	0.40	-0.21	-0.02	1				
$C_1$	0.01	0.03	-0.11	0.21	-0.40	0.32	0.40	1			
$H_3$	-0.02	0.01	-0.14	0.42	-0.21	0.07	0.07	0.43	1		
$A_1$	-0.04	-0.02	0.22	-0.32	0.23	-0.20	-0.35	-0.21	-0.38	1	
$A_2$	0.02	0.03	-0.18	0.29	-0.25	0.35	0.18	0.23	0.17	-0.28	1

Tabla A.17 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina PRBS en el modelo 3

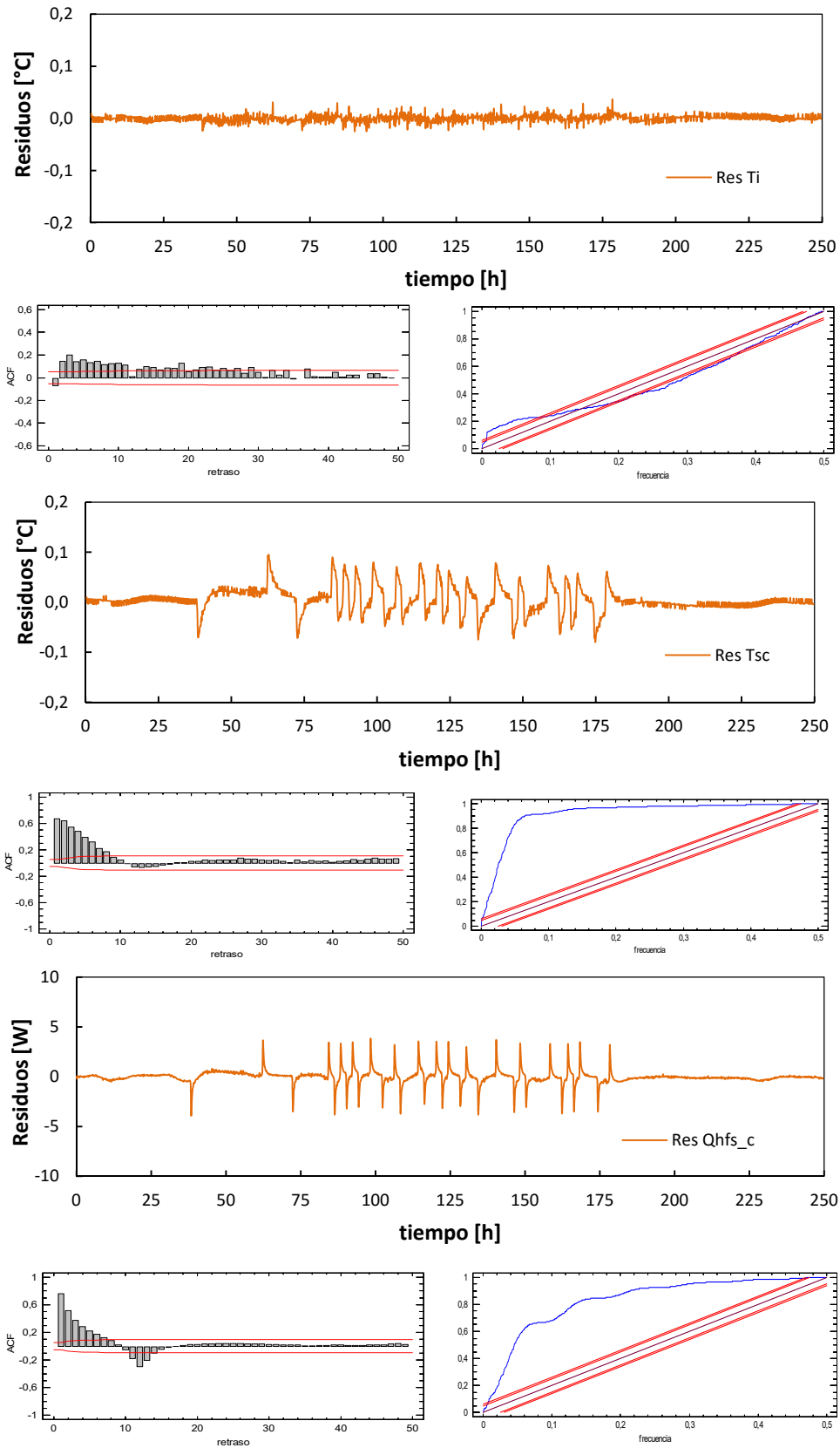


Figura A.46 – Análisis de residuos en el modelo 3 para la excitación PRBS

## Resultados rutina ROLBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$T_i$	10	20	40	2.42E+01	5.78E-03	4188.7538	-0.0042	0.0003
$T_{s,c}$	10	20	40	2.41E+01	1.47E-02	1636.5513	-0.004	0.0003
$T_1$	10	20	40	2.36E+01	4.05E-02	583.6111	0	0.0002
$H_1$	1	50	500	4.53E+01	4.54E+00	9.9741	-0.0003	0
$C_i$	10	1000	2000	9.97E+02	1.06E+00	156.074	0.0001	0.0027
$C_{s,c}$	1	50	500	2.15E+02	3.60E+00	9.9292	0	0
$H_2$	0.1	10	1000	1.41E+01	1.59E+00	8.8728	-0.0001	0
$C_1$	1	1000	2000	3.87E+02	7.36E+00	8.7735	0	0
$H_3$	0.1	6	100	8.94E-01	6.60E-02	9.3378	0	0
$A_1$	1	1.2	1.5	1.02E+00	1.01E-02	93.5165	0.0001	0.0002
$A_2$	0.5	1	1.5	1.10E+00	5.25E-02	9.8373	0.0004	-0.0961

Tabla A.18 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 3

	$T_i$	$T_{s,c}$	$T_1$	$H_1$	$C_i$	$C_{s,c}$	$H_2$	$C_1$	$H_3$	$A_1$	$A_2$
$T_i$	1										
$T_{s,c}$	0.07	1									
$T_1$	0.01	0.06	1								
$H_1$	-0.08	-0.17	-0.01	1							
$C_i$	0.05	0.12	-0.02	-0.25	1						
$C_{s,c}$	-0.08	-0.18	-0.01	0.32	-0.24	1					
$H_2$	-0.07	-0.15	0.26	0.30	-0.23	0.28	1				
$C_1$	-0.07	-0.15	-0.02	0.29	-0.22	0.27	0.26	1			
$H_3$	-0.07	-0.16	0.00	0.31	-0.23	0.30	0.28	0.28	1		
$A_1$	0.08	0.18	0.01	-0.33	0.24	-0.32	-0.29	-0.28	-0.31	1	
$A_2$	-0.08	-0.18	0.00	0.33	-0.25	0.32	0.30	0.29	0.31	-0.33	1

Tabla A.19 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 3

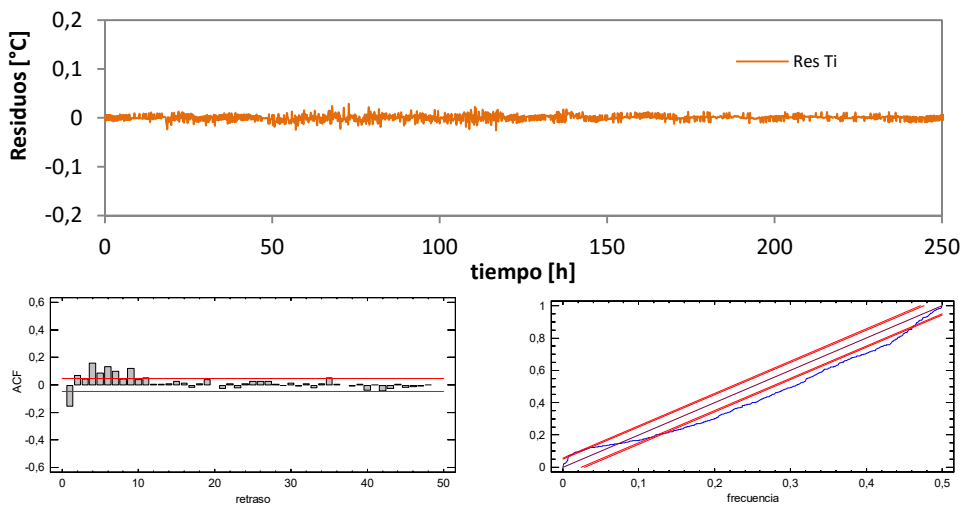


Figura A.47 – Análisis de residuos en el modelo 3 para la excitación ROLBS

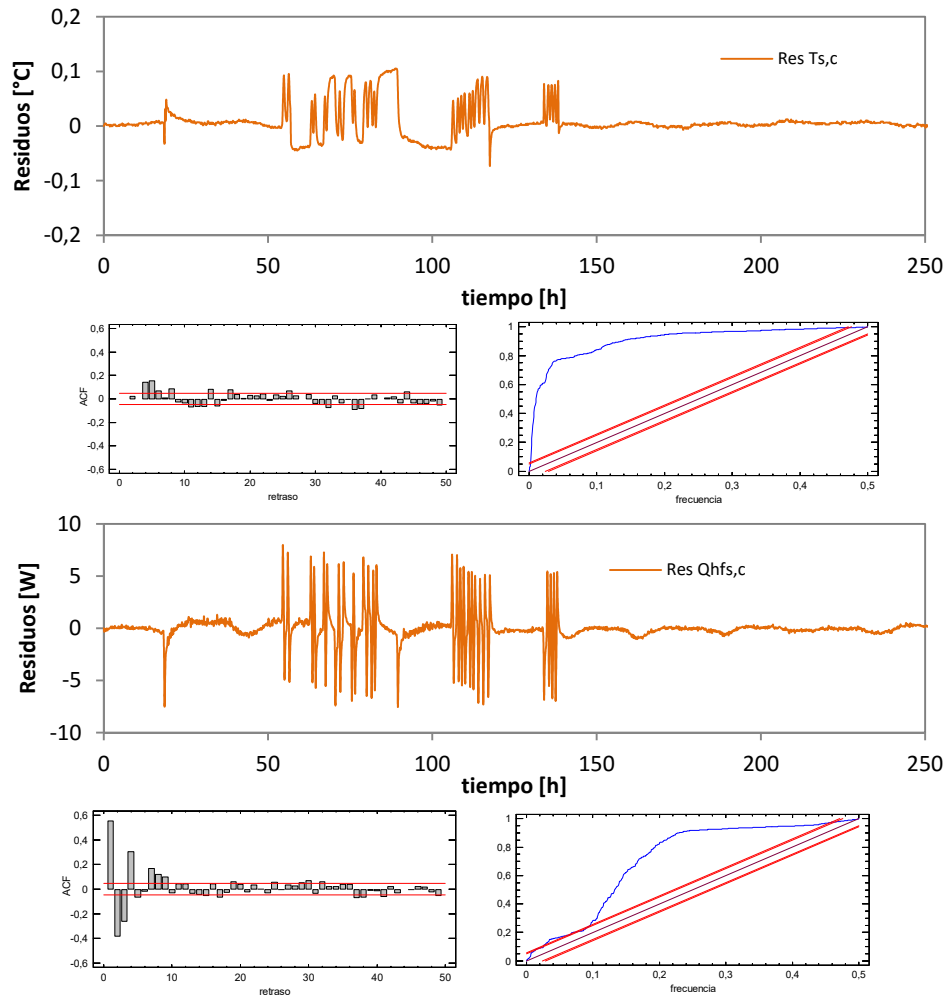


Figura A.48 – Análisis de residuos en el modelo 3 para la excitación ROLBS

### A.3.1.4 Modelo 4

El modelo 4 es un modelo idéntico al modelo 3 pero que intercambia los flujos de calor empleados como variable de entrada y función objetivo. Ahora se emplea el flujo de calor a través del muro de calibración,  $Q_{HFS,c}$ , como variable de excitación del modelo y el flujo de la envolvente,  $Q_{HFS,e}$ , como función de ajuste. Esto permite estimar las propiedades térmicas de la envolvente propia de la sala de ensayos. En la ecuación [A.7] se muestra la definición de dicho modelo con las variables de estado y las funciones de excitación. En la ecuación [A.8] se muestra la definición de las funciones objetivo.

$$\begin{bmatrix} dT_i \\ dT_{s,e} \\ dT_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{H_1}{C_i} & \frac{H_1}{C_i} & 0 \\ \frac{H_1}{C_{s,e}} & -(H_1 + H_2) & \frac{H_2}{C_{s,e}} \\ 0 & \frac{H_2}{C_1} & -(H_2 + H_3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_{s,e} \\ T_1 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \frac{1}{C_i} & -\frac{A_2}{C_i} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_3}{C_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ Q_{HFS,c} \\ T_e \end{bmatrix} dt + [\sigma]dt \quad [A.7]$$

$$\begin{bmatrix} T_i^m \\ T_{s,e}^m \\ Q_{HFS,e}^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & \frac{H_2}{A_1} & \frac{-H_2}{A_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_{s,e} \\ T_1 \end{bmatrix} + [0] \begin{bmatrix} P \\ Q_{HFS,c} \\ T_e \end{bmatrix} + [e] \quad [A.8]$$

A continuación se muestran los resultados del modelo y el análisis de residuos para cada una de las rutinas ensayadas.

### Resultados rutina PULSO

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
T <sub>i</sub>	10	20	40	3.18E+01	2.06E-02	1548.1391	-0.006	0.0018
T <sub>s,e</sub>	10	20	40	3.18E+01	3.60E-03	8841.3479	-0.0071	0.0018
T <sub>2</sub>	10	20	40	2.87E+01	3.47E-02	827.2679	-0.0053	0.0008
H <sub>4</sub>	10	500	1000	3.35E+02	8.23E-01	406.431	0	0
C <sub>i</sub>	1	100	500	3.05E+02	7.96E-03	212.8658	-0.009	-0.0004
C <sub>s,e</sub>	10	1000	3000	1.42E+03	1.46E-01	1618.785	-0.0072	0.0018
H <sub>5</sub>	1	10	1000	1.44E+01	8.67E-02	166.4019	-0.0979	0
C <sub>2</sub>	1	5000	10000	6.62E+03	2.47E+00	446.071	0.0002	0.0001
H <sub>6</sub>	1	6	100	8.58E+00	1.09E-01	49.2945	-0.0009	0
A <sub>1</sub>	0.5	1.2	1.5	1.04E+00	1.89E-02	145.4758	-0.0005	0.0002
A <sub>2</sub>	0.5	1.2	1.5	1.06E+00	2.90E-03	304.334	-0.0252	0.0004

Tabla A.20 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina PULSO en el modelo 4

	T <sub>i</sub>	T <sub>s,e</sub>	T <sub>2</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>i</sub>	C <sub>s,e</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>6</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
T <sub>i</sub>	1										
T <sub>s,e</sub>	0.13	1									
T <sub>2</sub>	-0.02	0.07	1								
H <sub>4</sub>	0.03	-0.11	-0.40	1							
C <sub>i</sub>	0.02	-0.05	-0.40	-0.04	1						
C <sub>s,e</sub>	0.02	-0.01	0.19	0.31	-0.46	1					
H <sub>5</sub>	0.01	0.06	0.21	-0.25	-0.25	0.45	1				
C <sub>2</sub>	0.04	0.02	0.44	0.05	-0.20	0.24	0.26	1			
H <sub>6</sub>	-0.04	0.04	-0.03	-0.01	-0.32	-0.37	-0.01	-0.42	1		
A <sub>1</sub>	-0.03	0.09	0.41	-0.27	0.04	-0.25	0.21	-0.03	-0.02	1	
A <sub>2</sub>	0.01	-0.15	-0.43	0.26	-0.01	0.24	-0.20	0.05	-0.04	-0.31	1

Tabla A.21 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina PULSO en el modelo 4



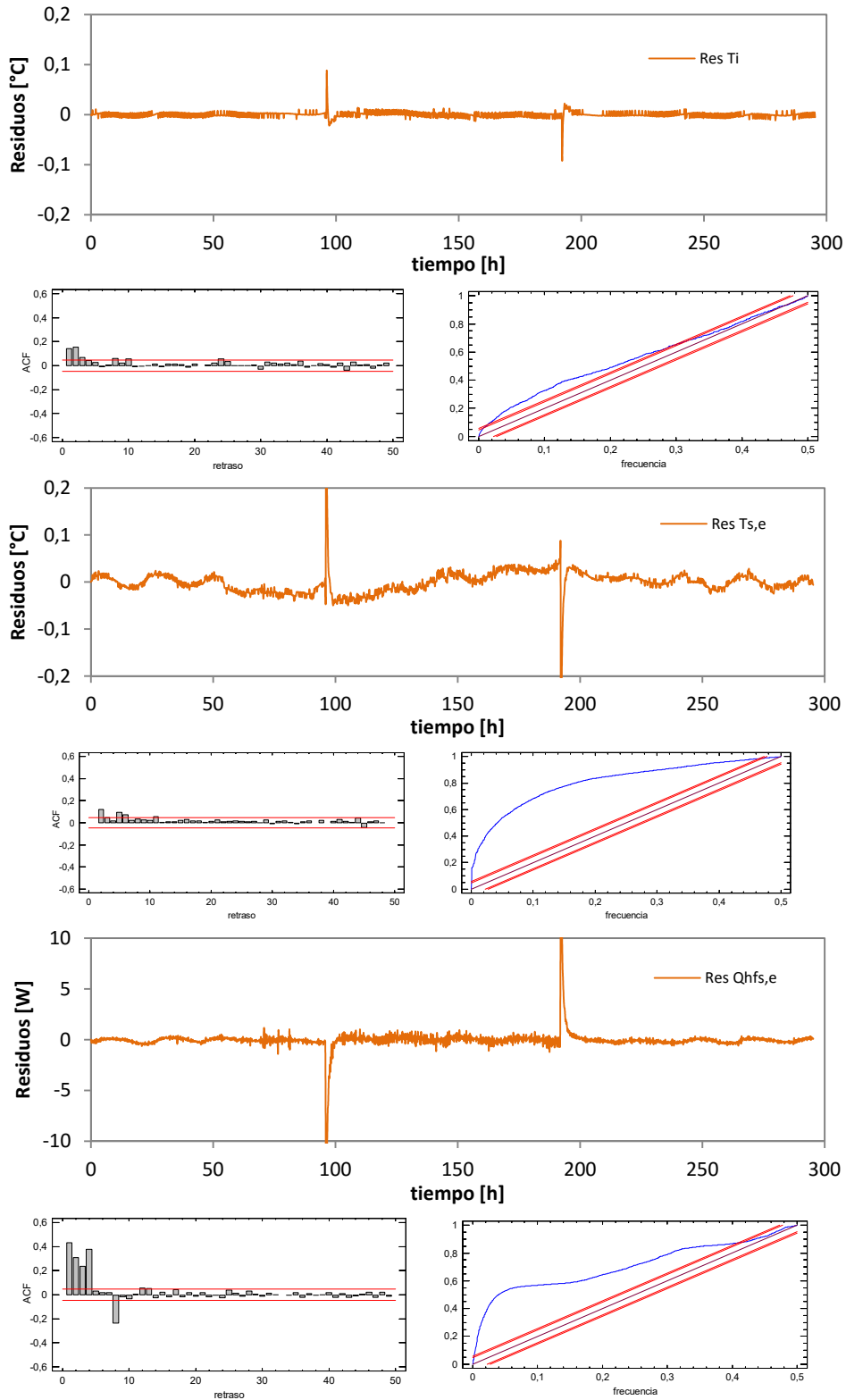


Figura A.49 – Análisis de residuos en el modelo 4 para la excitación PULSO

### Resultados rutina PRBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$T_i$	10	20	40	2.07E+01	3.33E-02	620.7915	-0.0001	0
$T_{s,e}$	10	20	40	2.07E+01	9.17E-03	2255.0561	-0.0053	0
$T_2$	10	20	40	2.04E+01	2.03E-02	1006.5585	0.0005	0
$H_4$	10	500	1000	3.24E+02	3.44E+00	94.1898	0	0
$C_i$	1	100	500	2.92E+02	1.12E+00	80.6075	-0.0001	0.0099
$C_{s,e}$	10	1000	3000	6.75E+02	2.05E+00	54.8512	0	0.0003
$H_5$	1	10	1000	1.42E+02	3.31E+00	43.0395	0	0
$C_2$	1	5000	10000	8.32E+03	1.61E+01	34.3079	0	0
$H_6$	1	6	100	5.34E+00	1.23E-01	41.6774	0	0
$A_1$	0.5	1.2	1.5	9.83E-01	5.67E-02	20.0609	0	0.0012
$A_2$	0.5	1.2	1.5	1.31E+00	9.41E-03	89.3373	-0.0001	-0.0001

Tabla A.22 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina PRBS en el modelo 4

	$T_i$	$T_{s,e}$	$T_2$	$H_4$	$C_i$	$C_{s,e}$	$H_5$	$C_2$	$H_6$	$A_1$	$A_2$
$T_i$	1										
$T_{s,e}$	0.33	1									
$T_2$	0.01	0.16	1								
$H_4$	-0.06	-0.07	0.00	1							
$C_i$	0.17	0.39	0.03	-0.25	1						
$C_{s,e}$	-0.20	-0.49	-0.02	0.31	-0.25	1					
$H_5$	-0.04	0.04	0.24	0.50	0.05	0.00	1				
$C_2$	-0.02	0.02	-0.03	0.39	-0.13	0.11	0.11	1			
$H_6$	0.00	0.03	0.01	0.46	-0.05	0.05	0.23	0.18	1		
$A_1$	0.04	0.03	0.00	-0.32	0.16	-0.22	-0.18	-0.39	-0.47	1	
$A_2$	-0.03	0.03	0.00	0.32	-0.13	0.14	0.18	0.40	0.48	-0.33	1

Tabla A.23 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina PRBS en el modelo 4

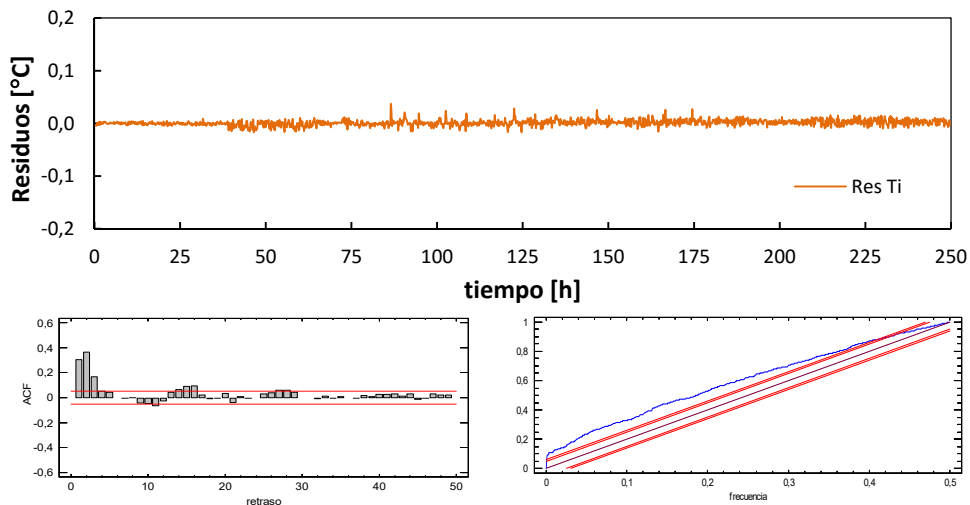


Figura A.50 – Análisis de residuos en el modelo 4 para la excitación PRBS

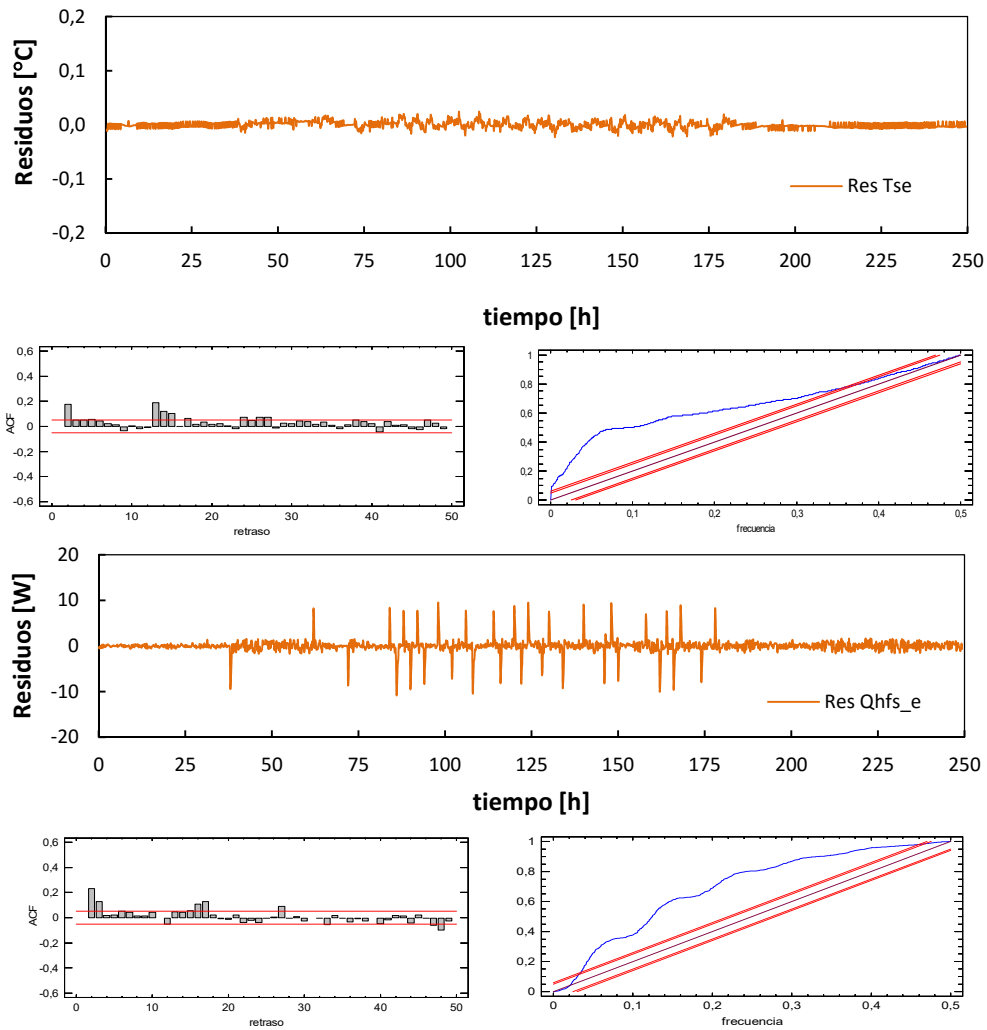


Figura A.51 – Análisis de residuos en el modelo 4 para la excitación PRBS

### Resultados rutina ROLBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$T_i$	10	20	40	2.42E+01	9.25E-03	2619.7522	-0.0001	0.0003
$T_{s,e}$	10	20	40	2.41E+01	8.71E-02	277.2572	0.0004	0.0003
$T_2$	10	20	40	2.38E+01	2.20E-02	1085.2363	0	0.0002
$H_4$	10	500	1000	2.35E+02	4.90E+00	47.8826	0	0
$C_i$	1	100	500	3.25E+02	2.08E+00	65.906	-0.0001	0.0007
$C_{s,e}$	10	1000	3000	7.43E+02	1.02E+01	12.114	0	0.0004
$H_5$	1	10	1000	1.03E+02	7.90E+00	13.078	0	0
$C_2$	1	5000	10000	7.59E+03	5.47E+01	7.8946	0	0
$H_6$	1	6	100	3.77E+00	9.15E-02	39.806	0	0
$A_1$	0.5	1.2	1.5	1.07E+00	4.44E-02	59.5866	0	0.0002
$A_2$	0.5	1.2	1.5	1.10E+00	6.90E-03	81.5508	0	-0.0071

Tabla A.24 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 4

	$T_i$	$T_{s,e}$	$T_2$	$H_4$	$C_i$	$C_{s,e}$	$H_5$	$C_2$	$H_6$	$A_1$	$A_2$
$T_i$	1										
$T_{s,e}$	0.25	1									
$T_2$	-0.11	-0.44	1								
$H_4$	-0.21	-0.30	0.40	1							
$C_i$	-0.20	-0.27	0.36	0.20	1						
$C_{s,e}$	-0.22	-0.33	0.43	0.31	0.26	1					
$H_5$	-0.21	-0.30	0.20	0.29	0.24	0.30	1				
$C_2$	0.22	0.32	-0.45	-0.28	-0.27	-0.32	-0.30	1			
$H_6$	-0.11	-0.49	0.20	0.20	0.31	0.17	0.48	-0.43	1		
$A_1$	0.17	0.24	-0.32	-0.31	-0.42	-0.26	-0.24	0.22	-0.20	1	
$A_2$	-0.15	-0.21	0.29	0.30	0.32	0.23	0.22	-0.19	0.20	-0.31	1

Tabla A.24 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 4

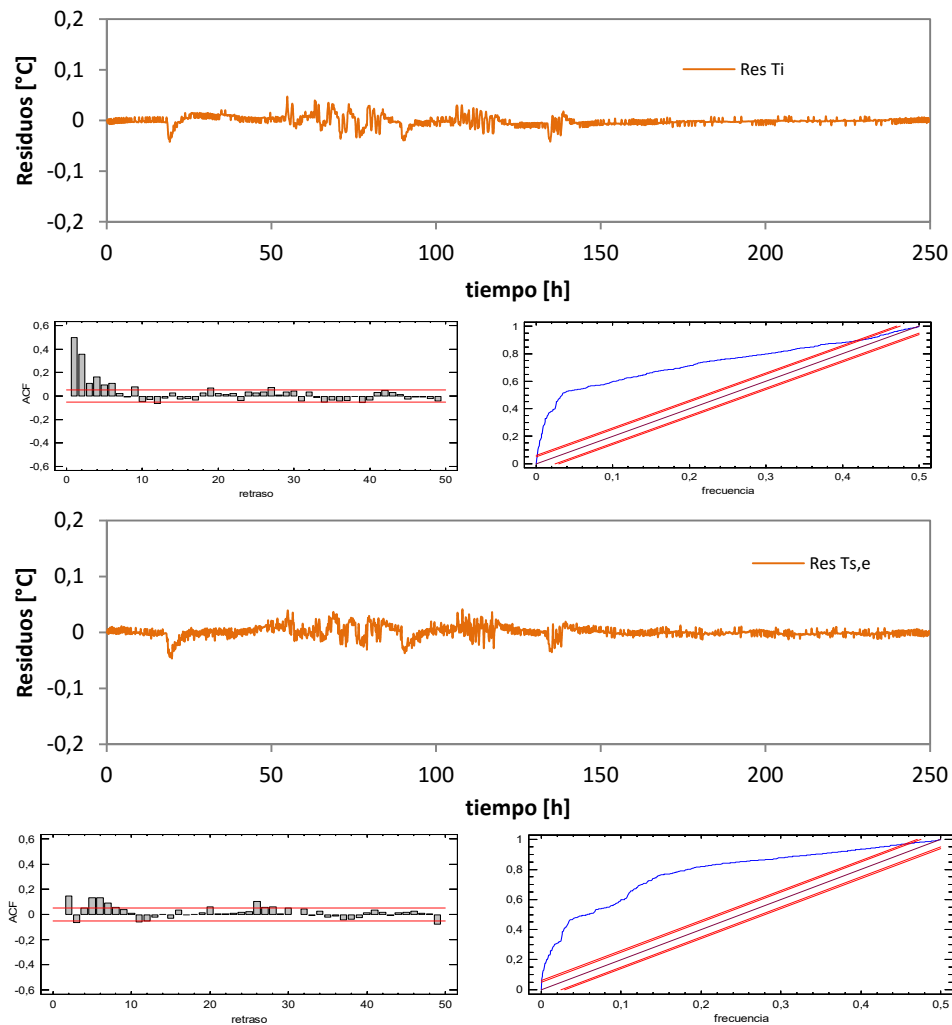


Figura A.52 – Análisis de residuos en el modelo 4 para la excitación ROLBS

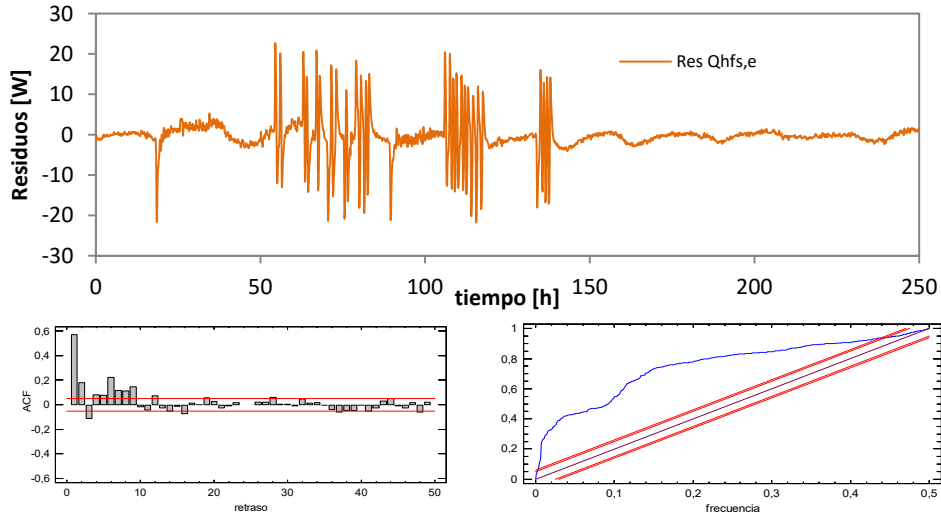


Figura A.53 – Análisis de residuos en el modelo 4 para la excitación ROLBS

### A.3.1.5 Modelo 5

En el modelo 5 se analiza simultáneamente la rama de la envolvente y la rama correspondiente al muro de calibración. El modelo comienza a ser de relativa complejidad al tratarse de un modelo de orden cinco, pero su estudio se puede llevar a cabo gracias a el análisis realizado en los modelos 3 y 4, de forma que se disponen de resultados previos de los parámetros que se pueden emplear como valores iniciales y se puede ajustar el intervalo de estudio de los mismos. En este caso se pueden emplear las dos medidas de flujo de las *tiles*,  $Q_{HFS,c}$  y  $Q_{HFS,e}$ , como funciones objetivo. En la ecuación [A.9] se muestra la definición de dicho modelo con las variables de estado y las funciones de excitación. En la ecuación [A.10] se muestra la definición de las funciones objetivo.

$$\begin{bmatrix} dT_i \\ dT_{s,c} \\ dT_1 \\ dT_{s,e} \\ dT_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(H_1 + H_4) & \frac{H_1}{C_i} & 0 & \frac{H_4}{C_i} & 0 \\ \frac{H_1}{C_{s,c}} & -(H_1 + H_2) & \frac{H_2}{C_{s,e}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_2}{C_1} & -(H_2 + H_3) & 0 & 0 \\ \frac{H_4}{C_{s,e}} & 0 & 0 & -(H_4 + H_5) & \frac{H_5}{C_{s,e}} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{H_5}{C_2} & -(H_5 + H_6) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_{s,c} \\ T_1 \\ T_{s,e} \\ T_2 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} 1 \\ C_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_2}{C_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_6}{C_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ T_{c,e} \\ T_e \end{bmatrix} dt + [\sigma]dt \quad [A.9]$$

$$\begin{bmatrix} T_i^m \\ T_{s,c}^m \\ T_{s,e}^m \\ Q_{HFS,e}^m \\ Q_{HFS,e}^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{H_5}{A_1} & \frac{-H_5}{A_1} \\ 0 & \frac{H_2}{A_2} & \frac{-H_2}{A_2} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_{s,c} \\ T_1 \\ T_{s,e} \\ T_2 \end{bmatrix} + [0] \begin{bmatrix} P \\ T_{c,e} \\ T_e \end{bmatrix} + [e] \quad [A.10]$$

A continuación se muestran los resultados del modelo y el análisis de residuos para cada una de las rutinas ensayadas.

### Resultados rutina PULSO

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
T <sub>i</sub>	10	30	40	3.11E+01	2.94E-01	105.9416	0	0.0015
T <sub>s,c</sub>	10	30	40	3.29E+01	1.78E-01	184.9312	0.0002	0.0026
T <sub>1</sub>	10	30	40	2.93E+01	3.24E-01	90.3456	-0.0001	0.0009
T <sub>s,e</sub>	10	30	40	3.22E+01	9.95E-02	323.487	0.0001	0.002
T <sub>2</sub>	10	30	40	2.57E+01	3.58E-01	71.8298	0	0.0004
H <sub>1</sub>	10	100	200	8.24E+01	1.67E+00	42.9826	0.0003	0.0009
H <sub>4</sub>	100	300	600	3.96E+02	1.04E+00	381.0895	0.0002	0.0005
C <sub>i</sub>	1	100	200	4.01E+01	4.19E-01	16.2283	0	0
C <sub>s,c</sub>	10	500	1000	5.67E+01	3.65E-01	25.9085	0.0007	-0.0002
H <sub>2</sub>	0.5	3	200	2.12E+00	8.54E-02	33.423	0.0007	0
C <sub>1</sub>	10	500	1000	6.47E+02	5.60E+00	19.2733	0.0001	0
H <sub>3</sub>	0.5	3	200	2.21E+00	6.99E-02	31.6869	0	0
C <sub>s,e</sub>	10	500	1500	1.07E+03	5.15E+00	34.6544	0	0.0001
H <sub>5</sub>	1	10	200	2.22E+01	2.02E-01	30.7472	0	0
C <sub>2</sub>	1000	5000	10000	6.51E+03	4.42E+01	24.5603	0	0
H <sub>6</sub>	1	10	200	8.23E+00	1.69E-01	22.1935	-0.0001	0
A <sub>1</sub>	0.8	1.2	1.5	1.03E+00	5.39E-03	201.8217	-0.0006	-0.0001
A <sub>2</sub>	0.8	1.2	1.5	1.18E+00	6.44E-03	209.4341	0	0.0084

Tabla A.25 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina PULSO en el modelo 5

	$T_i$	$T_{s,c}$	$T_1$	$T_{s,e}$	$T_2$	$H_1$	$H_4$	$C_i$	$C_{s,c}$	$H_2$	$C_1$	$H_3$	$C_{s,e}$	$H_5$	$C_2$	$H_6$	$A_1$	$A_2$
$T_i$	1																	
$T_{s,c}$	0.2	1																
$T_1$	-0.1	0.2	1															
$T_{s,e}$	0.4	0.4	-0.3	1														
$T_2$	0.0	-0.1	0.1	-0.1	1													
$H_1$	-0.4	-0.2	0.3	-0.2	0.1	1												
$H_4$	-0.3	-0.2	0.3	-0.3	0.1	0.2	1											
$C_i$	0.1	0.2	-0.4	0.3	-0.2	-0.3	-0.2	1										
$C_{s,c}$	-0.2	-0.2	0.4	-0.2	0.2	0.2	0.2	-0.3	1									
$H_2$	0.1	0.1	0.0	0.1	-0.1	-0.4	-0.4	0.4	-0.3	1								
$C_1$	0.2	0.2	-0.4	0.3	-0.2	-0.3	-0.3	0.3	-0.2	0.4	1							
$H_3$	0.2	0.2	-0.3	0.3	-0.2	-0.2	-0.2	0.2	-0.2	-0.1	0.3	1						
$C_{s,e}$	0.2	0.2	-0.4	0.2	-0.2	-0.3	-0.2	0.3	-0.3	0.4	0.3	0.2	1					
$H_5$	-0.1	-0.1	0.2	-0.2	0.2	0.4	0.2	-0.2	0.4	-0.1	-0.5	-0.3	-0.4	1				
$C_2$	0.2	0.1	-0.2	0.2	-0.1	-0.2	-0.5	0.2	-0.5	0.2	0.4	0.4	0.4	-0.4	1			
$H_6$	-0.3	-0.1	0.3	-0.2	0.2	0.2	0.4	-0.2	0.2	-0.3	-0.2	-0.5	-0.2	0.3	-0.4	1		
$A_1$	0.3	0.5	-0.2	0.2	-0.2	-0.2	-0.3	0.3	-0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	-0.1	0.2	-0.2	1	
$A_2$	0.0	0.1	-0.3	0.2	-0.2	-0.2	-0.2	0.5	-0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	-0.2	0.2	-0.2	0.1	1

Tabla A.26 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina *PULSO* en el modelo 5

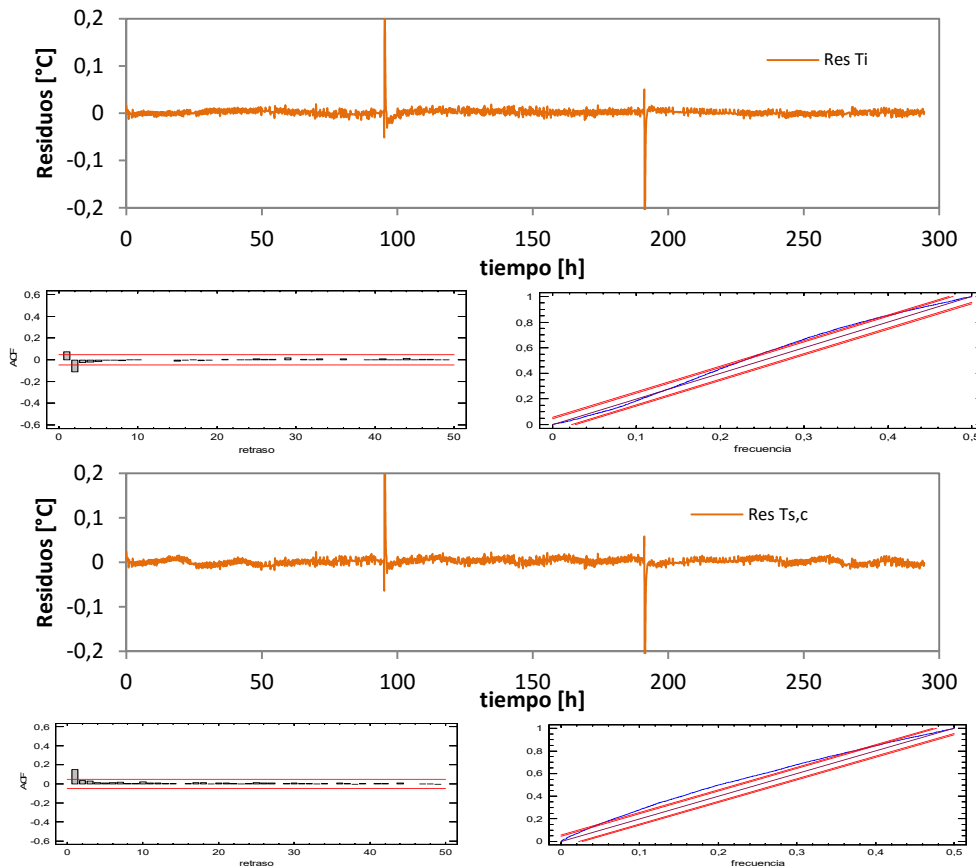


Figura A.54 – Análisis de residuos en el modelo 5 para la excitación *PULSO*

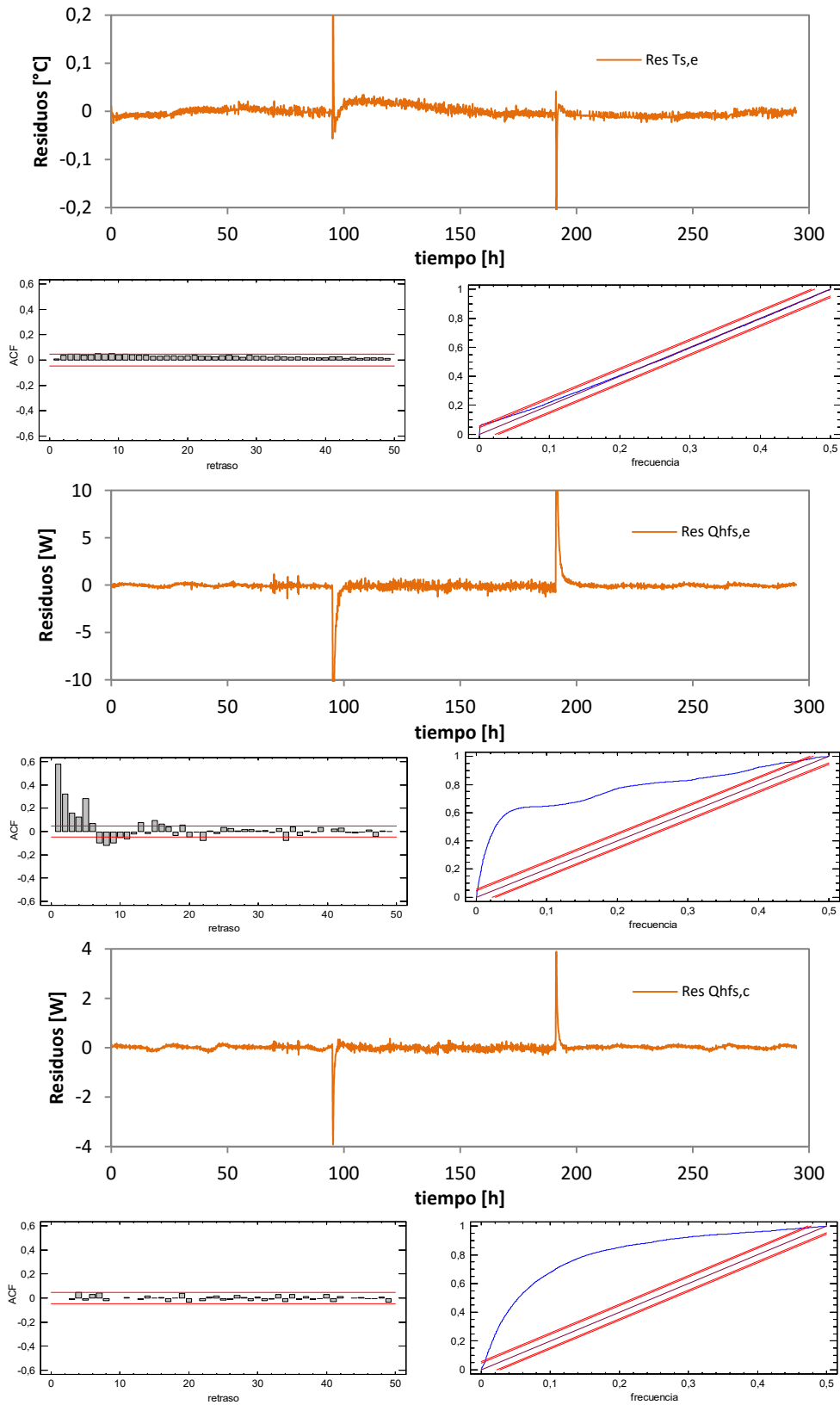


Figura A.55 – Análisis de residuos en el modelo 5 para la excitación PULSO



## Resultados rutina PRBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
T <sub>i</sub>	10	30	40	1.84E+01	1.94E-01	94.9206	-0.0001	-0.0002
T <sub>s,c</sub>	10	30	40	1.65E+01	1.11E-01	148.2274	-0.0001	-0.0003
T <sub>1</sub>	10	30	40	1.68E+01	1.37E-01	123.2384	0	-0.0001
T <sub>s,e</sub>	10	30	40	1.95E+01	7.51E-02	260.035	-0.0003	0
T <sub>2</sub>	10	30	40	1.97E+01	9.87E-02	199.4111	0.0000	0.0003
H <sub>1</sub>	10	100	200	8.04E+01	4.57E+00	314.7949	-0.0019	0.0002
H <sub>4</sub>	100	300	600	4.59E+02	1.49E+00	307.8105	0.0020	0.0014
C <sub>i</sub>	1	100	200	1.67E+01	2.69E-01	41.7682	0.0001	0
C <sub>s,c</sub>	10	500	1000	7.50E+02	1.57E+00	45.2	0	0
H <sub>2</sub>	0.5	3	200	9.89E+00	2.31E-01	42.7654	0.0001	0
C <sub>1</sub>	10	500	1000	4.88E+02	8.91E-01	91.2711	0	-0.0004
H <sub>3</sub>	0.5	3	200	1.16E+00	2.84E-03	212.4875	0	-0.0027
C <sub>s,e</sub>	10	500	1500	1.25E+02	1.32E+00	94.9274	-0.0001	0.0004
H <sub>5</sub>	1	10	200	1.88E+02	2.10E+00	89.3385	-0.0002	0.0001
C <sub>2</sub>	1000	5000	10000	8.46E+03	2.55E+00	226.5439	0	-0.0049
H <sub>6</sub>	1	10	200	5.97E+00	1.59E-01	44.255	0.0001	0
A <sub>1</sub>	0.8	1.2	1.5	9.95E-01	2.35E-03	422.557	-0.0011	0.0004
A <sub>2</sub>	0.8	1.2	1.5	1.04E+00	1.22E-03	445.3582	-0.0001	-0.0155

Tabla A.27 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina PRBS en el modelo 5

	T <sub>i</sub>	T <sub>s,c</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>s,e</sub>	T <sub>2</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>i</sub>	C <sub>s,c</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>s,e</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>6</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
T <sub>i</sub>	1																	
T <sub>s,c</sub>	-0.1	1																
T <sub>1</sub>	0.0	0.0	1															
T <sub>s,e</sub>	-0.1	-0.2	-0.1	1														
T <sub>2</sub>	0.0	-0.4	0.0	0.4	1													
H <sub>1</sub>	0.1	0.2	0.0	-0.1	-0.1	1												
H <sub>4</sub>	0.2	0.1	0.1	-0.2	0.1	0.5	1											
C <sub>i</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1										
C <sub>s,c</sub>	0.0	-0.3	0.1	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1									
H <sub>2</sub>	0.1	0.0	0.2	-0.1	0.0	-0.5	0.0	0.0	0.1	1								
C <sub>1</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1							
H <sub>3</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.4	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1						
C <sub>s,e</sub>	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1					
H <sub>5</sub>	0.0	0.2	-0.1	-0.2	-0.3	0.5	0.2	0.0	0.1	-0.2	0.0	0.0	-0.1	1				
C <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	-0.2	1			
H <sub>6</sub>	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.6	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.1	1		
A <sub>1</sub>	0.0	0.1	-0.1	0.0	0.0	0.3	0.5	0.0	-0.3	-0.2	0.0	0.0	-0.3	0.4	-0.1	0.0	1	
A <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.1	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.2	0.1	-0.3	1

Tabla A.28 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina PRBS en el modelo 5

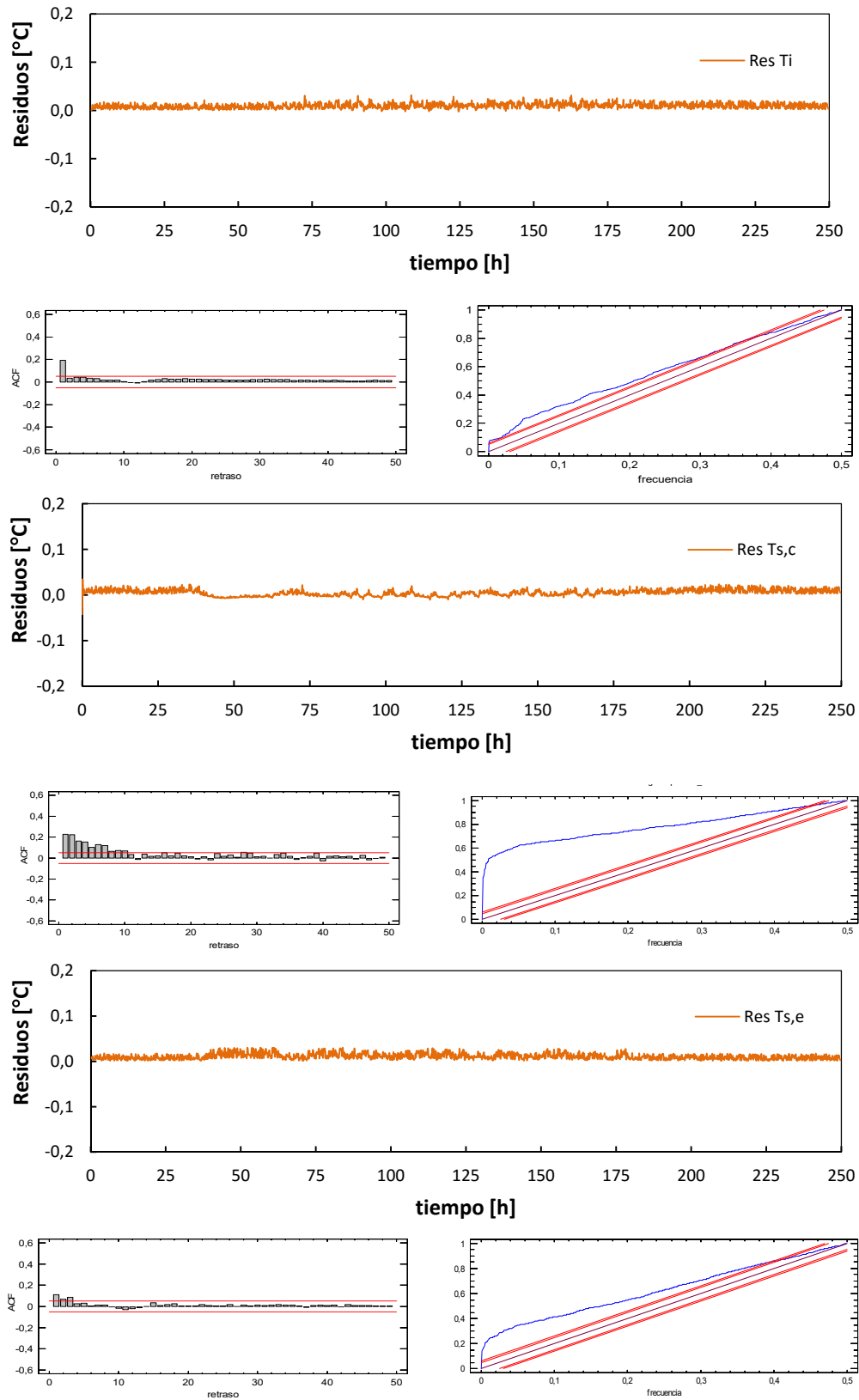


Figura A.56 – Análisis de residuos en el modelo 5 para la excitación PRBS

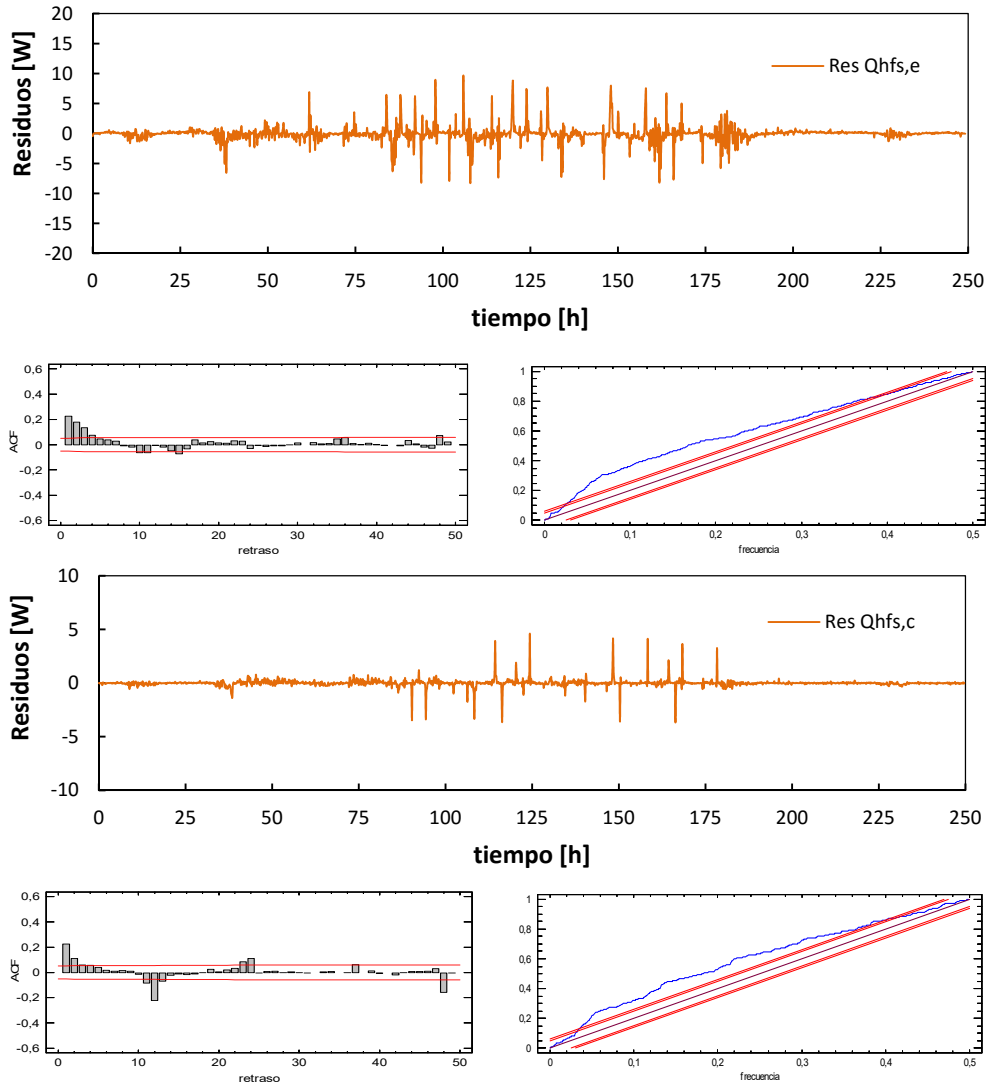


Figura A.57 – Análisis de residuos en el modelo 5 para la excitación PRBS

## Resultados rutina ROLBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
T <sub>i</sub>	10	30	40	2.42E+01	1.73E-02	1404.6677	0.0009	0.0001
T <sub>s,c</sub>	10	30	40	2.41E+01	1.25E-02	1935.326	-0.0004	0.0003
T <sub>1</sub>	10	30	40	2.35E+01	4.49E-02	523.9271	0.0002	0.0016
T <sub>s,e</sub>	10	30	40	2.41E+01	4.11E-03	5877.9777	0.0031	0.0003
T <sub>2</sub>	10	30	40	2.38E+01	1.56E-02	1522.083	-0.0009	0.0017
H <sub>1</sub>	10	100	200	7.20E+01	2.70E+00	26.6202	-0.0005	0
H <sub>4</sub>	100	300	600	3.79E+02	2.76E+00	145.9761	-0.0007	0.0006
C <sub>i</sub>	1	100	200	4.67E+01	1.54E+00	54.1869	0.0002	0.0031
C <sub>s,c</sub>	10	500	1000	4.12E+02	2.10E+00	22.7695	-0.0001	0
H <sub>2</sub>	0.5	3	200	1.94E+01	1.21E+00	15.955	-0.0001	0
C <sub>1</sub>	10	500	1000	5.58E+02	7.82E+00	13.981	0	-0.0001
H <sub>3</sub>	0.5	3	200	9.97E-01	1.08E-02	92.0843	-0.0125	8.3009
C <sub>s,e</sub>	10	500	1500	9.60E+02	1.76E+00	64.5638	0.0003	0.0003
H <sub>5</sub>	1	10	200	1.54E+02	3.45E+00	44.7612	0.0003	0.0001
C <sub>2</sub>	1000	5000	10000	9.78E+03	1.61E+01	42.589	0.0001	-0.001
H <sub>6</sub>	1	10	200	5.55E+00	9.91E-02	57.3397	0	0
A <sub>1</sub>	0.8	1.2	1.5	9.43E-01	5.85E-03	149.3222	-0.0024	0.0051
A <sub>2</sub>	0.8	1.2	1.5	1.16E+00	3.10E-02	27.1839	0.0001	0.0031

Tabla A.29 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 5

	T <sub>i</sub>	T <sub>s,c</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>s,e</sub>	T <sub>2</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>i</sub>	C <sub>s,c</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>s,e</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>6</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
T <sub>i</sub>	1																	
T <sub>s,c</sub>	0.1	1																
T <sub>1</sub>	0.0	0.1	1															
T <sub>s,e</sub>	0.4	0.1	0.0	1														
T <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.3	1													
H <sub>1</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1												
H <sub>4</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3	1											
C <sub>i</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	1										
C <sub>s,c</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	-0.3	-0.1	1									
H <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.2	-0.2	0.0	0.5	1								
C <sub>1</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	-0.4	0.0	0.4	0.3	1							
H <sub>3</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	-0.1	0.0	0.2	0.1	0.2	1						
C <sub>s,e</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.4	0.5	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	1					
H <sub>5</sub>	0.0	0.0	0.1	0.0	0.4	-0.2	0.2	0.1	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	0.1	1				
C <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3	0.3	-0.1	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	0.2	0.0	1			
H <sub>6</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.4	0.4	0.0	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0.2	0.1	0.2	1		
A <sub>1</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3	0.3	0.0	-0.3	-0.2	-0.5	-0.2	0.4	0.2	0.3	0.4	1	
A <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	-0.3	-0.1	0.3	0.2	0.5	0.2	-0.4	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3	1

Tabla A.30 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 5

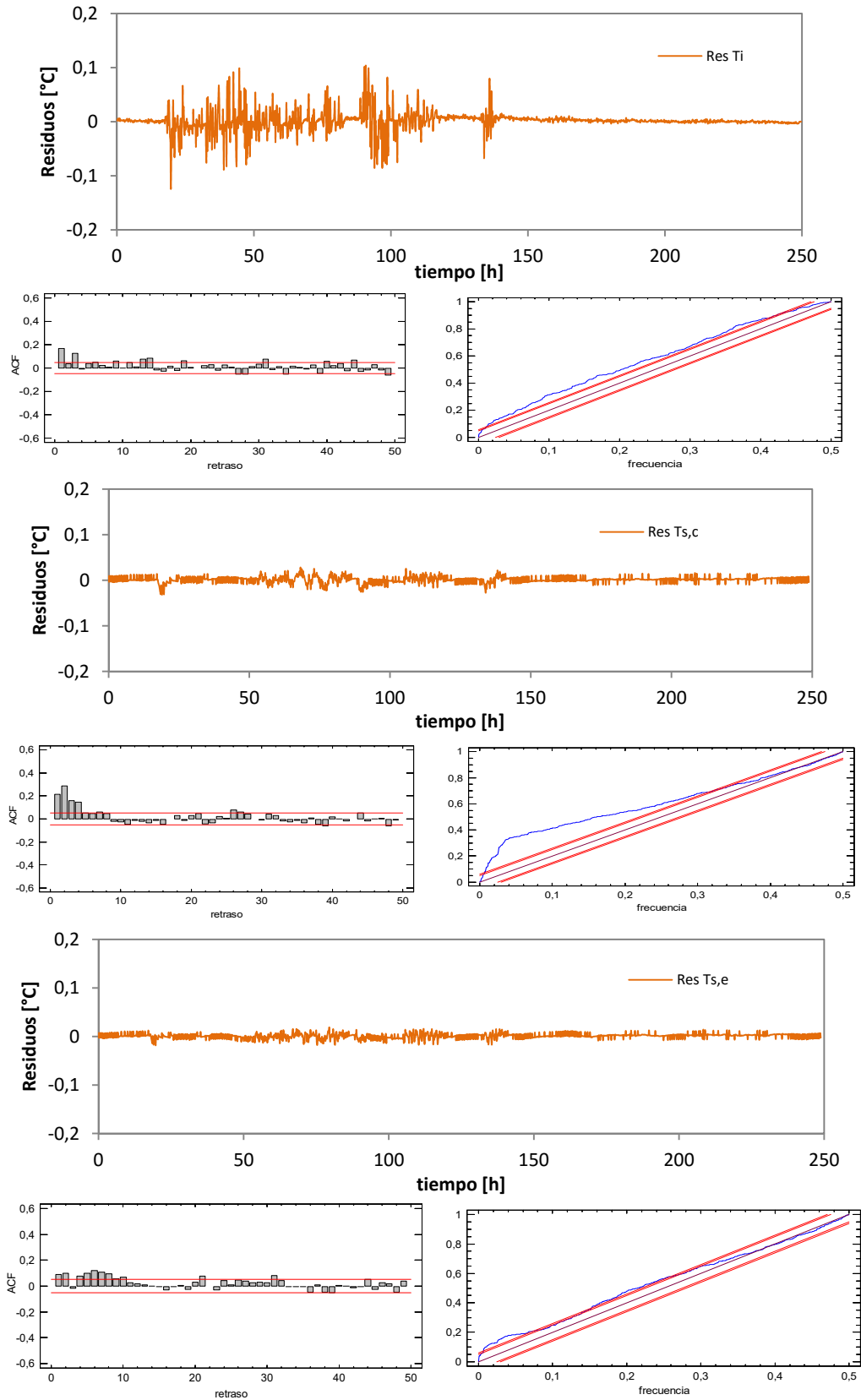


Figura A.58 – Análisis de residuos en el modelo 5 para la excitación ROLBS

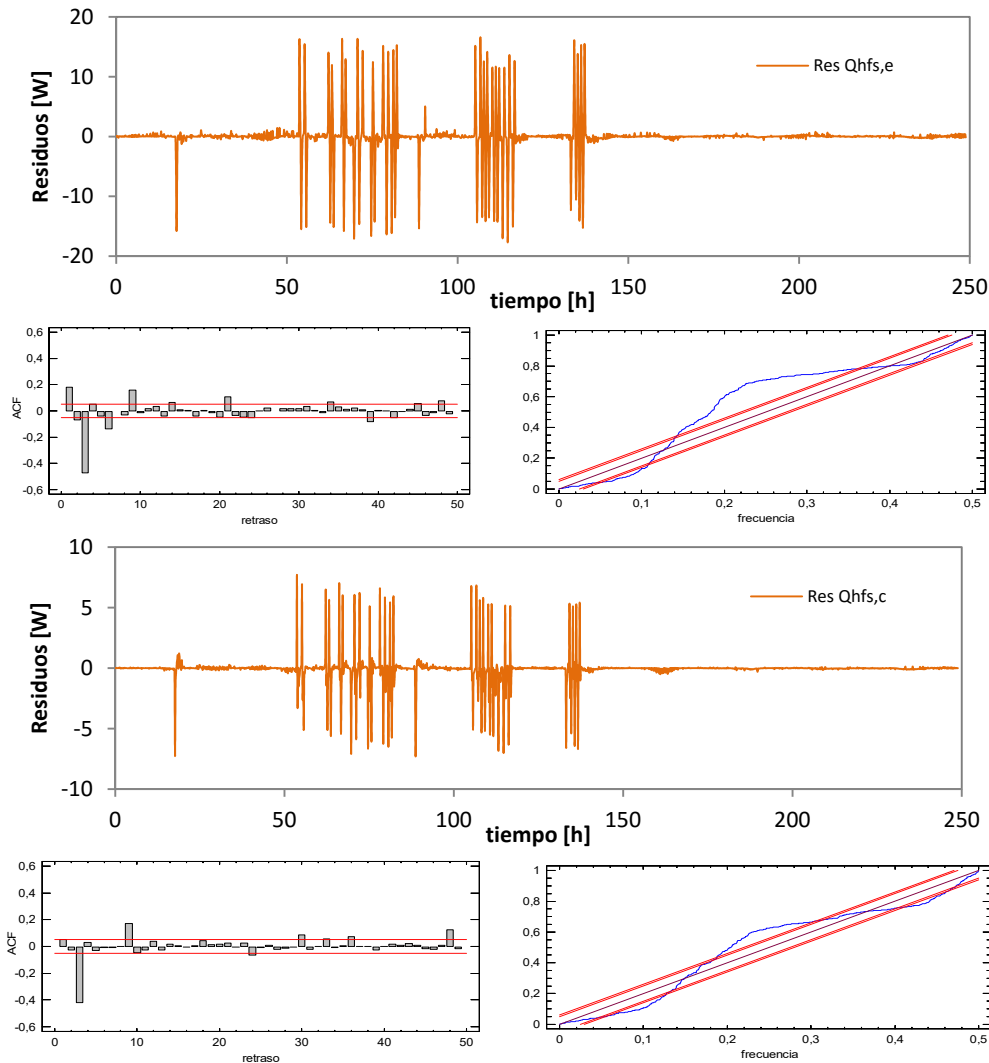


Figura A.59 – Análisis de residuos en el modelo 5 para la excitación ROLBS

### A.3.1.6 Modelo 6

En el modelo 6 se define unas de las configuraciones más completa de la celda. En este caso se suma al modelo 5 el flujo intercambiado por la cara norte. En principio se espera que mejore el ajuste debido a que dicha cara presenta unas condiciones muy diferentes al resto de la envolvente. Por ejemplo, la temperatura a la que está sometida es la de la sala de servicio y no la temperatura exterior. Además dispone de la particularidad de la puerta de acceso, que aún configurada de forma que se que mantenga la geometría constructiva del resto de la envolvente de la sala de ensayos, en cuanto al espesor de aislamiento, la configuración real implica diferente comportamiento. Por otro lado, el flujo de calor neto intercambiado por dicha cara norte es residual en relación al flujo que intercambia el resto de la envolvente, por lo que puede darse el caso de que el aumento de la complejidad del modelo no compense con la mejora en los resultados de ajuste al patrón de ruido blanco respecto al modelo anterior. En la ecuación [A.11] se muestra la definición de dicho modelo con las variables de estado y las funciones de excitación. En la ecuación [A.12] se muestra la definición de las funciones objetivo.

$$\begin{bmatrix} dT_i \\ dT_{s,c} \\ dT_1 \\ dT_{s,l} \\ dT_2 \\ dT_{s,n} \\ dT_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(H_1 + H_4 + H_7) & H_1 & 0 & H_4 & 0 & H_7 & 0 \\ C_i & C_i & 0 & C_i & 0 & C_i & 0 \\ H_1 & -(H_1 + H_2) & H_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ C_{s,c} & C_{s,c} & C_{s,c} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & H_2 & -(H_2 + H_3) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ C_1 & C_1 & C_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ H_4 & 0 & 0 & -(H_2 + H_3) & H_5 & 0 & 0 \\ C_{s,l} & 0 & 0 & C_{s,l} & C_{s,l} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & H_5 & -(H_5 + H_6) & 0 & 0 \\ C_2 & 0 & 0 & C_2 & C_2 & 0 & 0 \\ H_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & -(H_7 + H_8) & H_8 \\ C_{s,n} & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{s,n} & C_{s,n} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & H_8 & -(H_8 + H_9) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_3 & C_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_{s,c} \\ T_1 \\ T_{s,l} \\ T_2 \\ T_{s,n} \\ T_3 \end{bmatrix} dt$$

[A.11]

$$+ \begin{bmatrix} \frac{1}{C_i} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_3}{C_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_6}{C_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{H_9}{C_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ T_{c,e} \\ T_e \\ T_{a,ss} \end{bmatrix} dt + [c]dt$$

$$\begin{bmatrix} T_i^m \\ T_{s,c}^m \\ T_{s,e}^m \\ T_{s,n}^m \\ Q_{HFS,l}^m \\ Q_{HFS,c}^m \\ Q_{HFS,n}^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{H_5}{A_1} & -\frac{H_5}{A_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_2}{A_2} & -\frac{H_2}{A_2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{H_8}{A_3} & -\frac{H_8}{A_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_{s,c} \\ T_1 \\ T_{s,l} \\ T_2 \\ T_{s,n} \\ T_3 \end{bmatrix} + [0] \begin{bmatrix} P \\ T_{c,e} \\ T_e \\ T_{a,ss} \end{bmatrix} + [e]$$

[A.12]

### Resultados rutina PULSO

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	10	100	200	8.61E+01	4.89E-01	1759.5962	0.0067	0.0001
H <sub>4</sub>	100	300	600	2.97E+02	2.43E+00	122.2374	0.0012	0.0001
H <sub>7</sub>	5	50	200	4.96E+01	3.60E-01	137.7578	0.0083	0
C <sub>i</sub>	1	100	200	3.67E+01	1.14E-01	53.9298	-0.0048	0
C <sub>s,c</sub>	10	500	1000	4.70E+02	3.11E-01	251.7839	0.0184	0.0016
H <sub>2</sub>	0.5	3	200	1.61E+00	9.48E-02	35.9708	0	0
C <sub>1</sub>	10	500	1500	1.05E+03	6.54E-01	267.7491	0.0125	0.0001
H <sub>3</sub>	0.5	3	200	2.07E+00	3.85E-02	59.4094	0	0
C <sub>s,l</sub>	100	500	1000	5.13E+02	2.93E-01	221.159	0.0039	0.0001
H <sub>5</sub>	1	10	200	5.15E+00	4.18E-02	52.3771	-0.0009	-0.0002
C <sub>2</sub>	1000	5000	10000	1.46E+03	8.32E+00	174.8678	-0.0028	0.001
H <sub>6</sub>	1	10	500	2.70E+02	1.65E-02	42.6569	-0.0001	0
C <sub>s,n</sub>	1	500	1000	2.70E+02	3.25E-01	202.4922	0.0039	0.0001
H <sub>8</sub>	0.1	100	500	2.72E-01	4.57E-03	59.5017	0.0001	-0.0001
C <sub>3</sub>	1	100	500	3.29E+02	2.48E+00	132.6191	-0.0019	0.0006
H <sub>9</sub>	0.1	1	100	1.41E+00	3.92E-02	35.8472	0	0
A <sub>1</sub>	0.8	1.2	1.5	1.04E+00	3.41E-03	333.141	0.0036	0.0011
A <sub>2</sub>	0.8	1.2	1.5	1.18E+00	9.37E-04	1575.3271	-0.0003	0.3846
A <sub>3</sub>	0.8	1.2	1.5	1.06E+00	1.92E-03	294.8912	0	-0.0063

Tabla A.31 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina PULSO en el modelo 6

	H <sub>1</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>7</sub>	C <sub>i</sub>	C <sub>s,c</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>s,l</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>s,n</sub>	H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>9</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	
H <sub>1</sub>	1																			
H <sub>4</sub>	-0.3	1																		
H <sub>7</sub>	-0.2	0.2	1																	
C <sub>i</sub>	0.3	-0.2	-0.3	1																
C <sub>s,c</sub>	0.3	-0.3	-0.3	0.3	1															
H <sub>2</sub>	0.2	-0.2	-0.3	0.3	0.2	1														
C <sub>1</sub>	-0.2	0.3	0.3	-0.2	-0.4	-0.2	1													
H <sub>3</sub>	-0.3	0.4	0.2	-0.2	-0.4	-0.2	0.4	1												
C <sub>s,l</sub>	-0.3	0.3	0.3	-0.3	-0.3	-0.3	0.2	0.2	1											
H <sub>5</sub>	0.2	-0.3	-0.3	0.3	0.3	0.3	-0.2	-0.5	-0.3	1										
C <sub>2</sub>	-0.2	0.3	0.3	-0.3	-0.3	-0.3	0.2	0.2	0.3	-0.3	1									
H <sub>6</sub>	0.2	-0.1	-0.2	0.2	0.1	0.0	-0.1	0.0	-0.2	0.1	-0.1	1								
C <sub>s,n</sub>	0.3	-0.3	-0.3	0.3	0.3	0.3	-0.2	-0.2	-0.3	0.3	-0.3	0.1	1							
H <sub>8</sub>	0.0	-0.5	-0.5	0.3	0.4	0.5	-0.2	-0.4	-0.2	0.2	-0.2	-0.1	0.3	1						
C <sub>3</sub>	-0.2	0.2	0.5	-0.4	-0.2	-0.2	0.0	0.2	0.2	-0.2	0.4	0.0	-0.2	-0.1	1					
H <sub>9</sub>	-0.1	0.2	0.1	-0.1	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.1	-0.1	0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.1	1				
A <sub>1</sub>	-0.2	0.3	0.2	-0.2	-0.3	-0.2	0.3	0.3	0.2	-0.3	0.2	0.0	-0.2	-0.4	0.2	0.1	1			
A <sub>2</sub>	0.5	-0.2	-0.4	0.5	0.2	0.2	-0.3	-0.1	-0.5	0.2	-0.4	0.0	0.2	0.2	-0.4	-0.1	-0.2	1		
A <sub>3</sub>	-0.1	-0.1	0.1	-0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1	0.2	0.0	0.0	-0.2	-0.2	1	

Tabla A.32 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina PULSO en el modelo 6

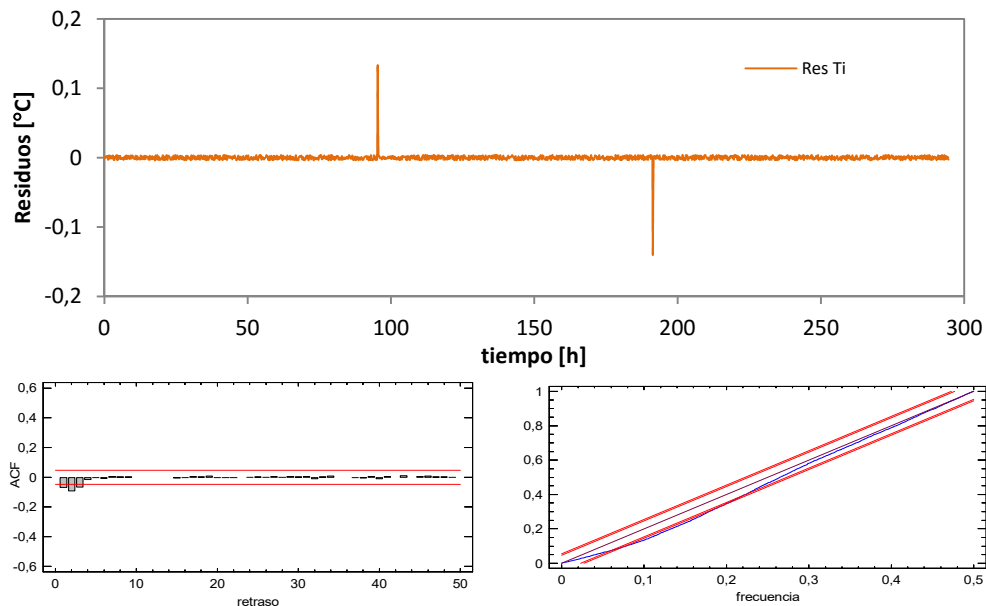


Figura A.60 – Análisis de residuos en el modelo 6 para la excitación PULSO



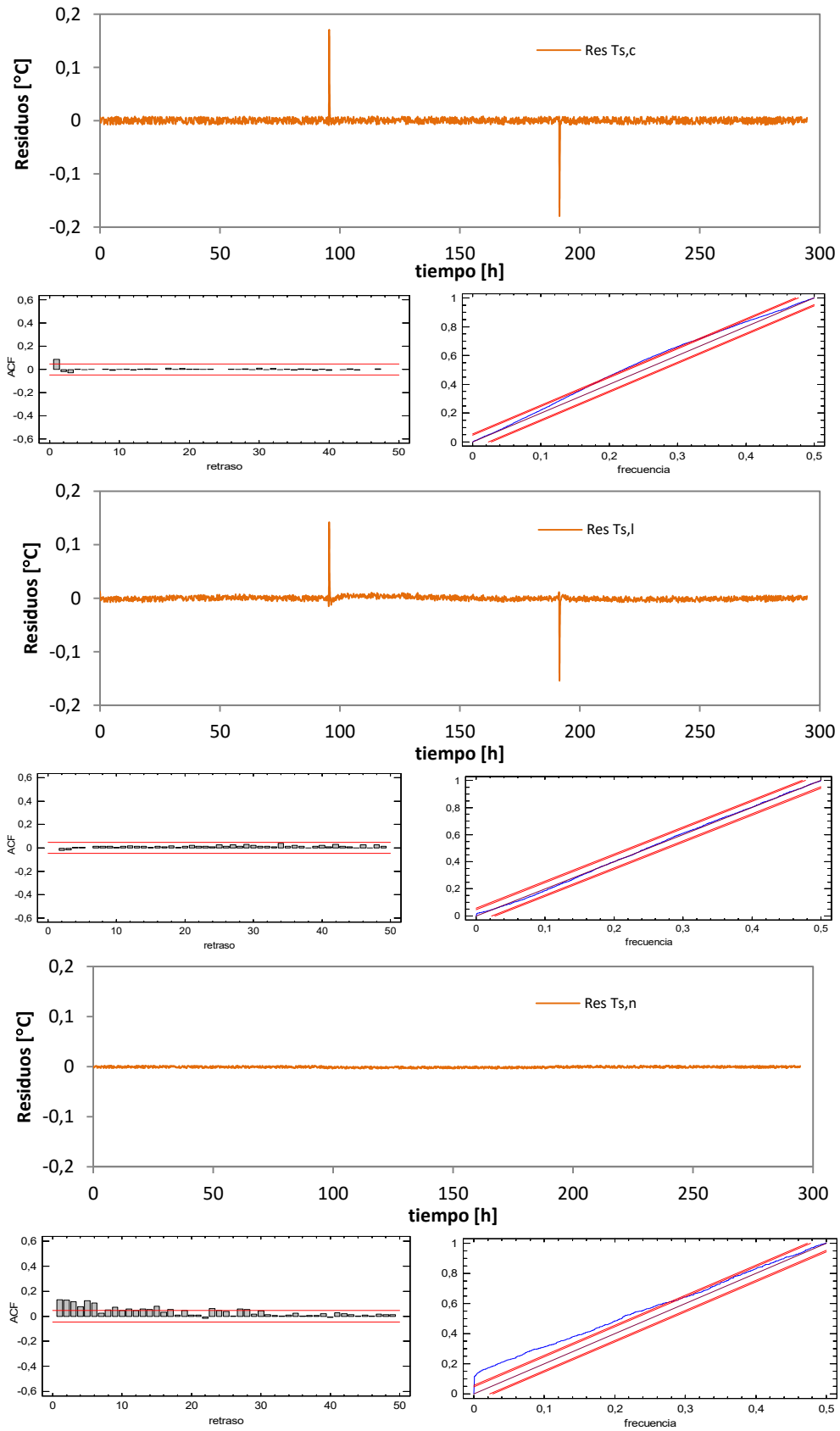


Figura A.61 – Análisis de residuos en el modelo 6 para la excitación PULSO

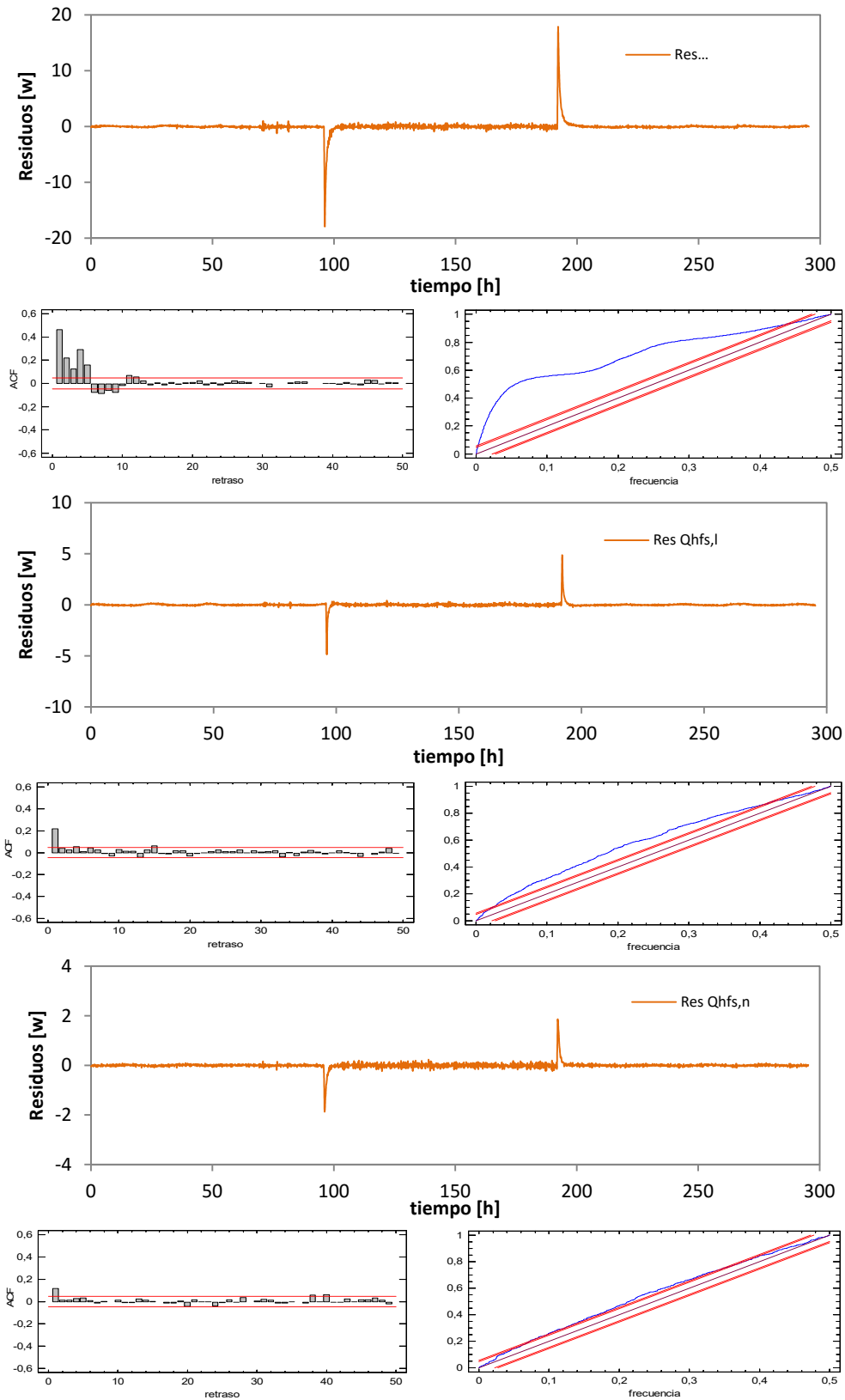


Figura A.62 – Análisis de residuos en el modelo 6 para la excitación PULSO

### Resultados rutina PRBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	10	100	200	8.28E+01	1.48E+00	55.8786	0	0
H <sub>4</sub>	100	300	600	3.32E+02	2.44E+00	135.9801	0.0001	0.0001
H <sub>7</sub>	5	50	200	4.27E+01	1.50E+00	28.4487	-0.0001	0
C <sub>i</sub>	1	100	200	1.57E+02	1.91E+00	31.4328	-0.0003	0.0004
C <sub>s,c</sub>	10	500	1000	2.82E+02	1.56E+00	30.1184	0	0
H <sub>2</sub>	0.5	3	200	2.10E+01	7.98E-01	26.2918	0	0
C <sub>1</sub>	10	500	1500	6.63E+02	4.80E+00	23.054	0	0
H <sub>3</sub>	0.5	3	200	1.10E+00	4.22E-02	25.9374	0	-0.0002
C <sub>s,l</sub>	100	500	1000	6.43E+02	1.92E+00	53.8984	-0.001	0.0002
H <sub>5</sub>	1	10	200	1.10E+02	1.89E+00	58.4402	0	0
C <sub>2</sub>	1000	5000	10000	8.20E+03	1.18E+01	45.8888	0	0
H <sub>6</sub>	1	10	500	4.51E+00	9.08E-02	49.6415	0	0
C <sub>s,n</sub>	1	500	1000	2.97E+02	7.05E-01	25.0352	0	0
H <sub>8</sub>	0.1	100	500	1.44E+01	5.45E-01	26.3583	0	0
C <sub>3</sub>	1	100	500	5.04E+02	2.03E+00	24.7778	0	0
H <sub>9</sub>	0.1	1	100	7.26E-01	2.64E-02	27.5439	0	0
A <sub>1</sub>	0.8	1.2	1.5	1.08E+00	6.25E-03	146.485	-0.0001	0.0113
A <sub>2</sub>	0.8	1.2	1.5	1.14E+00	1.50E-02	66.415	0.0001	7.3191
A <sub>3</sub>	0.8	1.2	1.5	1.04E+00	3.46E-02	28.7434	0	2.2057

Tabla A.33 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina PRBS en el modelo 6

	H <sub>1</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>7</sub>	C <sub>i</sub>	C <sub>s,c</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>s,l</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>s,n</sub>	H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>9</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
H <sub>1</sub>	1																		
H <sub>4</sub>	-0.2	1																	
H <sub>7</sub>	0.0	-0.2	1																
C <sub>i</sub>	0.1	-0.3	-0.2	1															
C <sub>s,c</sub>	0.2	-0.4	0.0	0.0	1														
H <sub>2</sub>	0.3	-0.2	0.0	0.1	0.1	1													
C <sub>1</sub>	0.3	-0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	1												
H <sub>3</sub>	0.3	-0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	1											
C <sub>s,l</sub>	-0.3	0.2	-0.1	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	1										
H <sub>5</sub>	-0.2	0.3	-0.3	0.1	-0.2	0.0	-0.1	-0.1	0.1	1									
C <sub>2</sub>	-0.2	0.3	-0.2	0.0	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.1	-0.1	1								
H <sub>6</sub>	-0.2	0.3	-0.2	0.0	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	1							
C <sub>s,n</sub>	0.0	-0.4	0.3	-0.4	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.2	-0.3	-0.2	-0.2	1						
H <sub>8</sub>	0.0	-0.2	0.3	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	0.3	1					
C <sub>3</sub>	0.0	-0.5	0.3	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	0.3	0.3	1				
H <sub>9</sub>	0.0	-0.2	0.3	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.3	-0.2	-0.2	0.3	0.3	0.3	1			
A <sub>1</sub>	-0.2	0.3	-0.2	-0.1	-0.5	-0.2	-0.2	-0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	1		
A <sub>2</sub>	0.3	-0.2	0.0	0.1	0.5	0.4	0.4	0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.2	1	
A <sub>3</sub>	0.0	-0.2	0.3	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.3	-0.2	-0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	-0.2	0.0	1

Tabla A.34 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina PRBS en el modelo 6

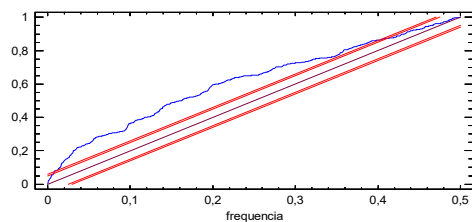
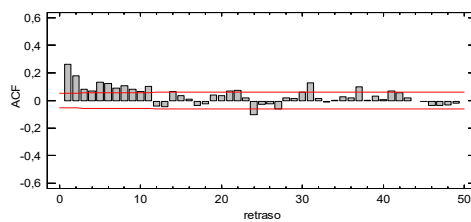
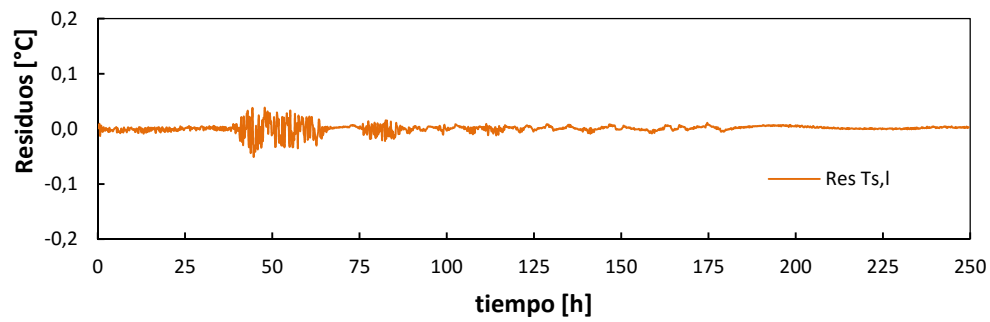
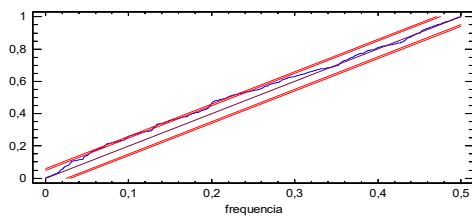
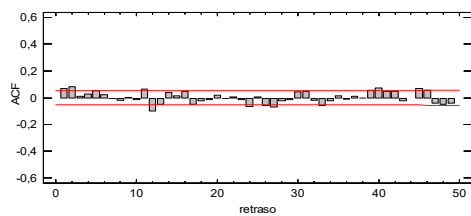
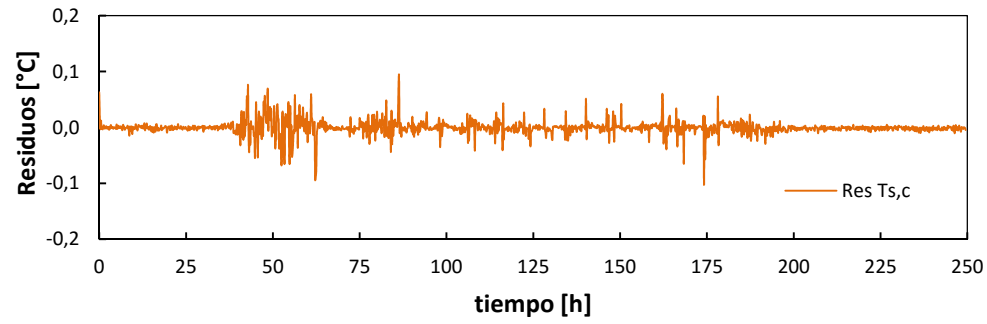
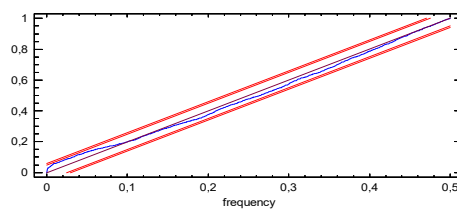
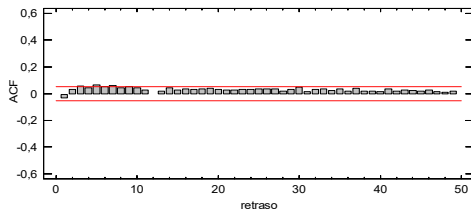
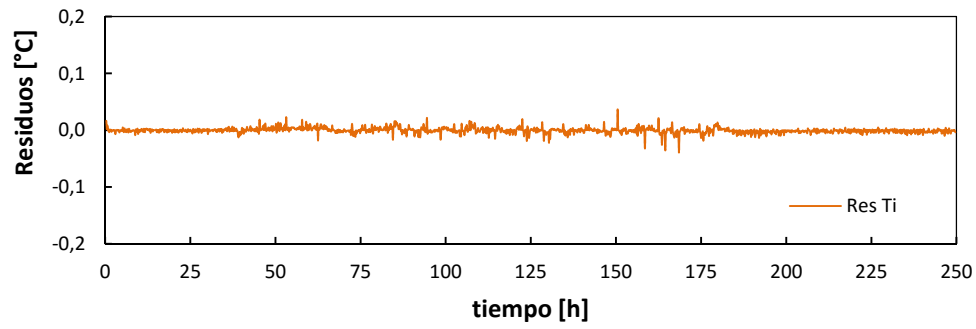


Figura A.63 – Análisis de residuos en el modelo 6 para la excitación PRBS

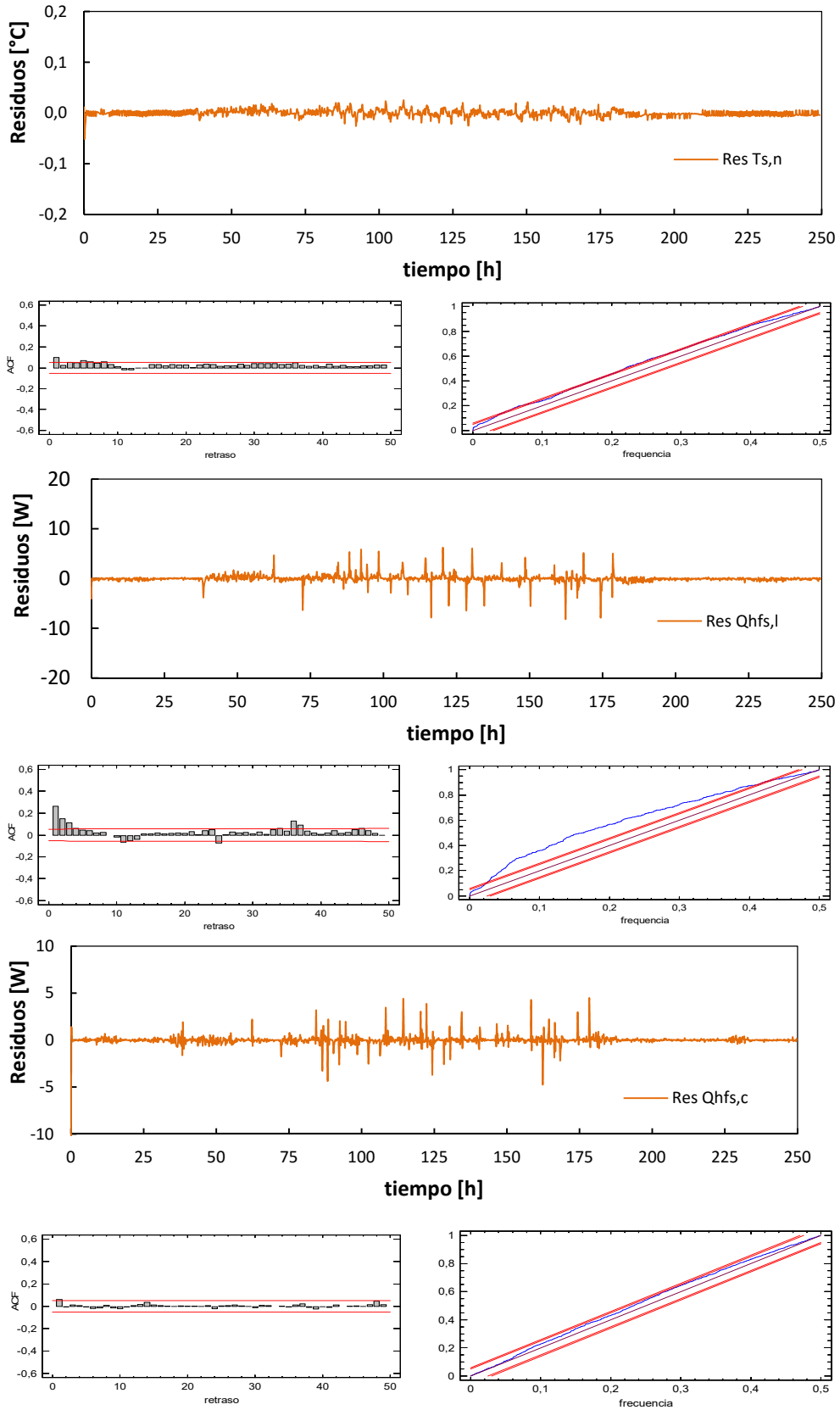


Figura A.64 – Análisis de residuos en el modelo 6 para la excitación PRBS

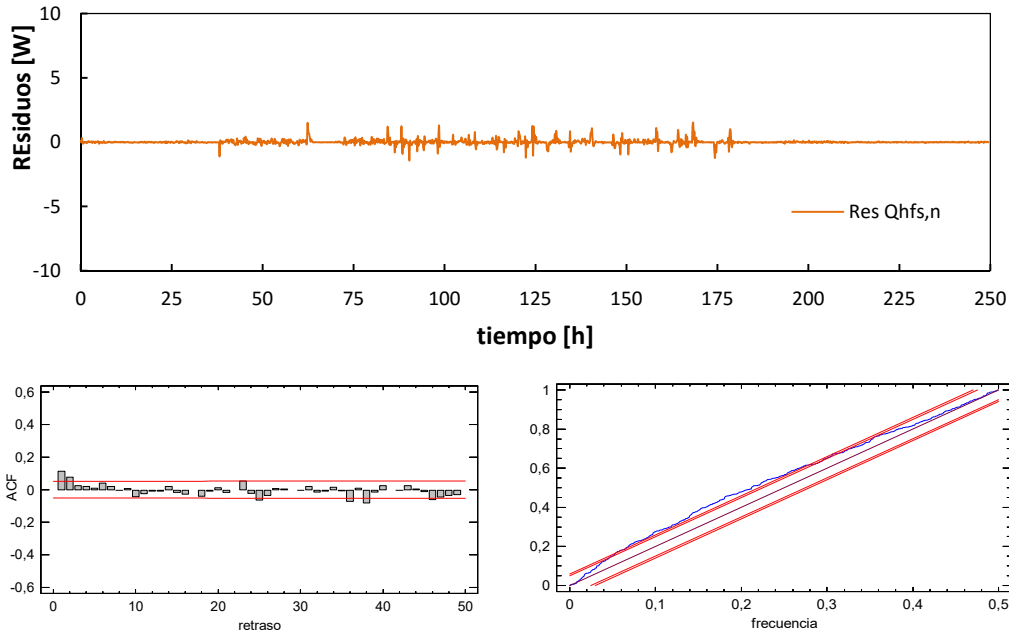


Figura A.65 – Análisis de residuos en el modelo 6 para la excitación PRBS

### Resultados rutina ROLBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	10	100	200	6.22E+01	2.71E+00	1554.0032	-0.0030	0.0034
H <sub>4</sub>	100	300	600	2.61E+02	5.60E-01	453.1604	-0.0003	0
H <sub>7</sub>	5	50	200	5.00E+01	6.74E-02	741.9822	-0.0019	0
C <sub>i</sub>	1	100	200	4.33E+01	6.82E-02	384.058	0.0003	0
C <sub>s,c</sub>	10	500	1000	3.22E+02	1.31E-01	2212.9337	-0.0077	0.0776
H <sub>2</sub>	0.5	3	200	1.71E+01	8.26E-02	207.2765	0.0002	0
C <sub>1</sub>	10	500	1500	4.33E+02	3.23E-01	396.9656	-0.0009	0
H <sub>3</sub>	0.5	3	200	9.82E-01	1.13E-02	105.1034	0	-0.0001
C <sub>s,l</sub>	100	500	1000	5.25E+02	2.89E-02	3839.7743	-0.0030	0.0003
H <sub>5</sub>	1	10	200	1.50E+02	4.91E-01	305.6297	-0.0009	0.0001
C <sub>2</sub>	1000	5000	10000	8.33E+03	1.19E+00	516.2195	-0.0013	0.0001
H <sub>6</sub>	1	10	500	4.78E+00	7.16E-02	66.7905	0	0
C <sub>s,n</sub>	1	500	1000	3.03E+02	1.06E-01	429.3755	-0.0004	0
H <sub>8</sub>	0.1	100	500	1.74E+01	1.38E-01	125.5773	-0.0002	0
C <sub>3</sub>	1	100	500	6.15E+02	1.58E+00	38.9058	-0.0005	0
H <sub>9</sub>	0.1	1	100	1.27E+00	1.33E-02	62.2658	0.0001	0
A <sub>1</sub>	0.8	1.2	1.5	9.38E-01	3.18E-03	294.9435	-0.0005	-0.0002
A <sub>2</sub>	0.8	1.2	1.5	1.10E+00	8.12E-03	118.6874	0.0001	0.0001
A <sub>3</sub>	0.8	1.2	1.5	1.08E+00	3.96E-03	273.5802	0.0001	0.0025

Tabla A.35 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 6

	H <sub>1</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>7</sub>	C <sub>i</sub>	C <sub>s,c</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>s,l</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>s,n</sub>	H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>9</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	
H <sub>1</sub>	1																			
H <sub>4</sub>	0.2	1																		
H <sub>7</sub>	-0.4	-0.5	1																	
C <sub>i</sub>	-0.4	-0.4	0.2	1																
C <sub>s,c</sub>	0.4	0.3	0.1	-0.3	1															
H <sub>2</sub>	-0.1	-0.2	0.2	0.1	0.2	1														
C <sub>1</sub>	0.2	0.2	-0.4	-0.3	0.3	-0.4	1													
H <sub>3</sub>	-0.2	0.3	-0.2	0.1	-0.3	-0.3	0.0	1												
C <sub>s,l</sub>	0.2	0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.3	0.4	0.2	1											
H <sub>5</sub>	0.2	0.2	-0.3	-0.3	0.3	-0.4	0.3	0.0	0.4	1										
C <sub>2</sub>	-0.5	-0.2	0.4	0.2	-0.2	0.2	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	1									
H <sub>6</sub>	0.2	0.4	-0.2	-0.2	0.2	0.0	0.2	-0.2	0.2	0.2	-0.2	1								
C <sub>s,n</sub>	-0.2	-0.2	0.4	0.2	-0.2	0.2	-0.2	0.0	-0.5	-0.3	0.2	-0.2	1							
H <sub>8</sub>	-0.2	-0.1	0.2	-0.4	0.2	0.3	0.2	-0.2	-0.2	0.3	-0.2	0.3	0.0	1						
C <sub>3</sub>	0.2	0.2	-0.2	-0.3	0.3	-0.2	0.3	-0.1	0.3	0.3	-0.3	0.2	-0.3	0.4	1					
H <sub>9</sub>	0.0	0.2	-0.4	-0.2	0.3	-0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	-0.4	0.2	-0.2	-0.1	0.3	1				
A <sub>1</sub>	-0.1	0.2	-0.3	0.2	-0.2	-0.4	-0.4	0.3	0.4	-0.4	0.2	-0.4	0.3	-0.2	-0.2	0.0	1			
A <sub>2</sub>	-0.4	-0.4	-0.1	0.2	-0.2	0.0	-0.2	0.3	-0.1	-0.2	0.2	-0.2	0.2	-0.4	-0.2	-0.1	0.4	1		
A <sub>3</sub>	0.0	0.0	0.1	-0.2	0.2	0.1	0.2	-0.1	-0.1	0.2	-0.1	0.1	-0.2	0.2	0.2	0.1	-0.1	-0.1	1	

Tabla A.36 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros para la rutina ROLBS en el modelo 6

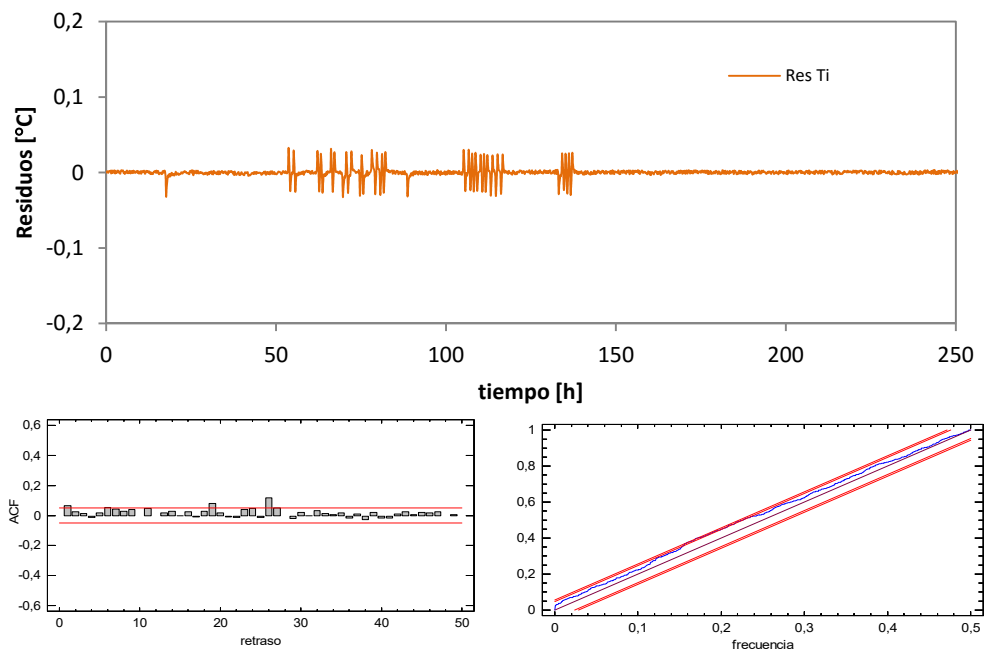


Figura A.66 – Análisis de residuos en el modelo 6 para la excitación ROLBS

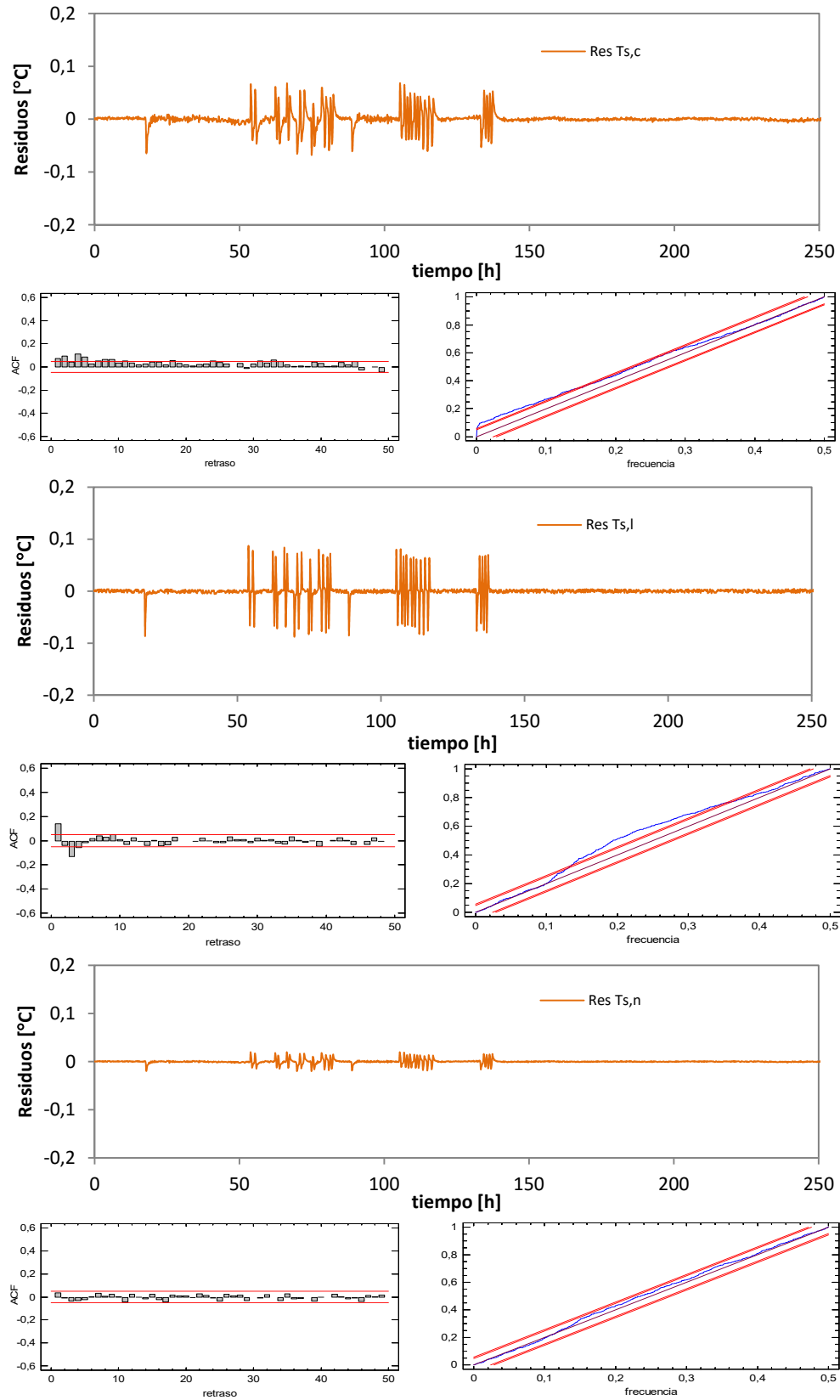


Figura A.67 – Análisis de residuos en el modelo 6 para la excitación ROLBS



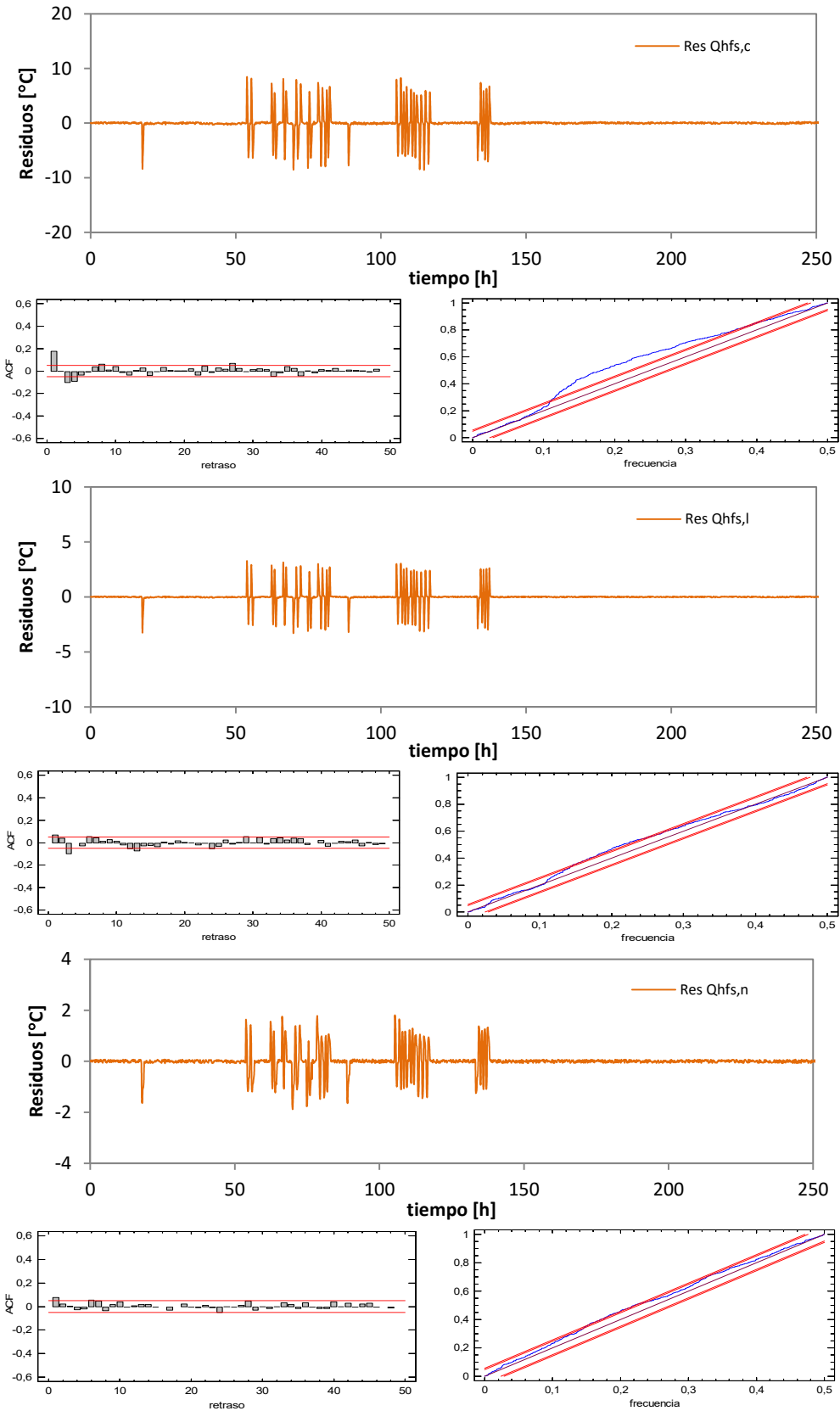


Figura A.67 – Análisis de residuos en el modelo 6 para la excitación ROLBS

## A.3.2 Modelo del muro de calibración

### A.3.1.1 Flujo unidimensional

Resultados de los modelos de identificación de parámetros para la determinación del modelo óptimo unidimensional del muro de calibración para la rutina ROLBS. Con el análisis de una rutina es suficiente para el proceso de optimización. En la Figura A.68 se muestra el modelo genérico que se emplea en el estudio, donde el subíndice  $N$  corresponde al orden del modelo.

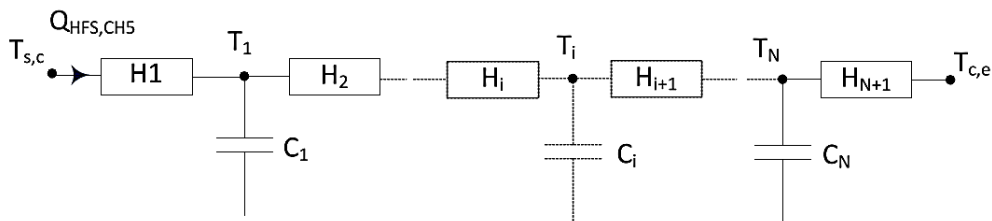


Figura A.68– Modelo unidimensional para la zona central del muro de calibración

A continuación se recogen los resultados del proceso de identificación de parámetros para cada orden de modelo. Como datos de alimentación al modelo se emplea los registrados durante la rutina *ROLBS*, ya que se trata de la rutina que exige mayor orden de modelo debido a su alta frecuencia. De forma que si se optimiza el modelo para dicha rutina se optimiza también para el resto de rutinas de ensayo.

### Modelo 1º orden

En las ecuaciones [A.13] y [A.14] se recoge la definición del modelo y la función objetivo, que en este caso se reduce únicamente al flujo central medido por el grupo CH5 de *tiles*. Posteriormente se muestran los resultados junto con el análisis de residuos.

$$[dT_1] = \left[ \frac{-(H_1 + H_2)}{C_1} \right] [T_1] dt + \left[ \frac{H_1}{C_1} \quad \frac{H_2}{C_1} \right] \begin{bmatrix} T_{s,c} \\ T_{c,e} \end{bmatrix} dt + [\sigma_1] dW \quad [\text{A.13}]$$

$$[Q_{HFS,CH5m}] = [H_1][T_1(t)] + [H_1 \quad 0] \begin{bmatrix} T_{s,c}(t) \\ T_{c,e}(t) \end{bmatrix} + [s_{CH5}] de(t) \quad [\text{A.14}]$$

variable	valor min.	valor inicial	valor max.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$H_1$	0.2	10	50	7.71E+00	7.21E-01	107.02	0	0
$H_2$	0.2	10	50	2.18E-03	2.03E-01	10.621	0	-0.0172
$C_1$	10	200	500	1.30E+02	1.99E+00	31.098	0	0.0008

Tabla A.37 – Resultados del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 1

	$H_1$	$H_2$	$C_1$
$H_1$	1		
$H_2$	-0.098	1	
$C_1$	0.133	0.040	1

Tabla A.38 – Coeficientes de correlación de las variables del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 1

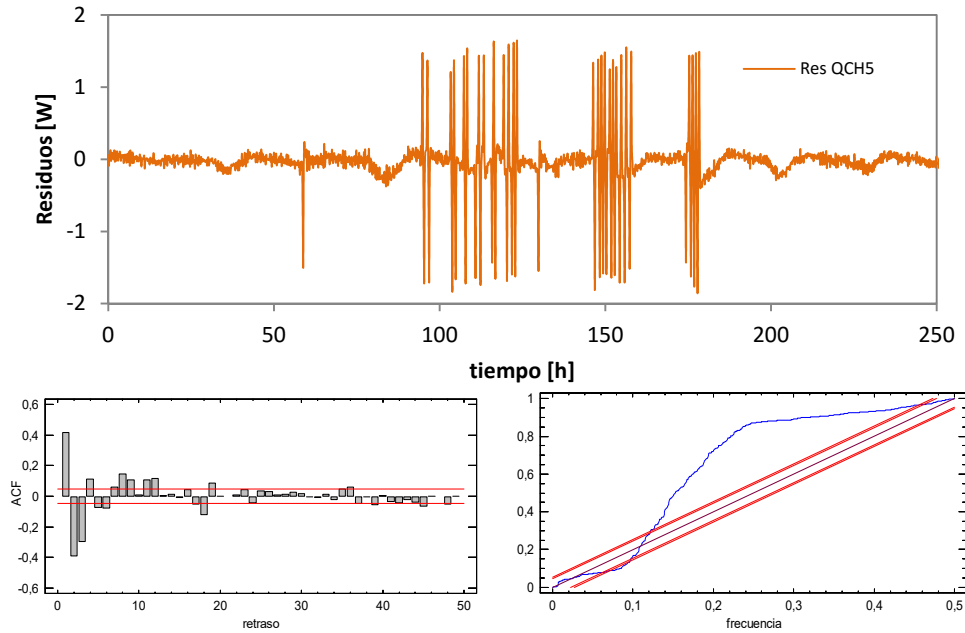


Figura A.69– Análisis del modelo unidimensional de orden 1 para el flujo central del muro de calibración

El proceso de identificación se obtiene sin introducir el error de las variables de entrada,  $T_{s,c}$  y  $T_{c,e}$  y el error de la función objetivo,  $Q_{HFS,CH5}$ . Como la herramienta empleada es el CTSM, en este caso, la forma de anular el componente de error de la función entrada es imponiendo un valor de  $s_{CH5} = 0$ . De esta forma se obtiene la incertidumbre del proceso de identificación de parámetros para la transmitancia total y para la capacidad térmica. En el caso de transmitancia  $H$ , ecuación [A.15], se obtiene de aplicar la expresión correspondiente a la propagación de incertidumbres de los valores de  $H_1$  y  $H_2$  del modelo, ecuación [A.16], junto con los errores del proceso de ajuste que se pueden tomar del resultado de la desviación estándar indicada en la Tabla A.37.

$$H = \frac{H_1 H_2}{H_1 + H_2} \quad [A.15]$$

$$u_{H\_mod} = \left[ \left( \frac{\partial H}{\partial H_1} \right)^2 u^2(H_1) + \left( \frac{\partial H}{\partial H_2} \right)^2 u^2(H_2) \right]^{1/2} \quad [A.16]$$

En el caso de la capacidad térmica, la incertidumbre se obtiene directamente del resultado del modelo. Y para modelos de orden mayor, se obtiene directamente como media geométrica de las incertidumbres de cada capacidad térmica individual. Los

resultados finales que se obtienen se muestran en la Tabla A.39, hay que tener en cuenta que los valores de capacidad térmica en el modelo están en unidades de [W10min/K] y las unidades de trabajo son en [MJ/K].

	valor	u [%]
H [W/K]	0.212	1.2
C [MJ/K]	0.078	1.5

Tabla A.39 – Resultados finales transmitancia y capacidad térmica junto con la incertidumbre del modelo de identificación de parámetros

Para determinar la incertidumbre final del resultado es necesario tener en cuenta el error de medida de las propias variables de entrada y de la función objetivo. Para ello, se introduce el error de cada variable en el modelo y se calcula el efecto en cada uno de los parámetros y en el resultado final, es decir, se determina un  $dU$  y  $dC$  asociado a cada error de medida de cada variable mencionada que participa del modelo. Los valores de  $dU$  y  $dC$  se obtiene como diferencia entre la transmitancia resultado respecto a la transmitancia base obtenida sin error en las variables medidas. Aplicando este proceso se obtienen los resultados de la Tabla A.40.

variable	$u_{\text{medida}}$	unidades	$dU$ [W/K]	$dC$ [MJ/K]
$T_{s,c}$	0.2	K	0.002	0.001
$T_{c,e}$	0.5	K	0.004	0.001
$Q_{CH5}$	0.1	W	0.006	0.004

Tabla A.40 – Efecto del error de las variables de medida en el resultado del modelo de identificación

De igual forma, si se considera la incertidumbre de propagación de los errores de calibración de las variables de medida a los resultados del modelo como la raíz de la suma de cuadrados se obtienen los resultados indicados en la Tabla A.41.

	u [%]
H [W/K]	3.2
C [MJ/K]	1.9

Tabla A.41 – Propagación del error de las variables de medida en el resultado del modelo de identificación

Por último, se toma como incertidumbre total la combinación de la incertidumbre del modelo y la incertidumbre propagada del error de las variables de medida se obtiene el resultados final mostrado en la Tabla A.42.

	u [%]
H [W/K]	3.4
C [MJ/K]	2.4

Tabla A.42 – Incertidumbre final de la transmitancia y la capacidad térmica de la zona con flujo unidimensional del muro de calibración

Este mismo proceso se aplica el resto de modelos de orden creciente con el que se analiza el comportamiento de la zona unidimensional del muro de calibración, que se muestra a continuación.

## Modelo 2º orden

En las ecuaciones [A.17] y [A.18] se recoge la definición del modelo para el modelo de orden 2, y en la Tabla A.43 los resultados del modelo y en la Tabla A.44 los coeficientes de correlación asociados.

$$\begin{bmatrix} dT_1 \\ dT_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-(H_1 + H_2)}{C_1} & \frac{H_2}{C_1} \\ \frac{H_2}{C_2} & \frac{-(H_2 + H_3)}{C_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \frac{H_1}{C_1} & 0 \\ 0 & \frac{H_3}{C_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{s,c} \\ T_{c,e} \end{bmatrix} dt + [\sigma]dW \quad [\text{A.17}]$$

$$[Q_{HFS,CH5m}] = [-H_1 \quad 0] \begin{bmatrix} T_1(t) \\ T_2(t) \end{bmatrix} + [H_1 \quad 0] \begin{bmatrix} T_{s,c}(t) \\ T_{c,e}(t) \end{bmatrix} + [S_{CH5}]de(t) \quad [\text{A.18}]$$

variable	valor min.	valor inicial	valor max.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	0.2	50	100	2.36E+00	7.62E-02	15.783	0	0
H <sub>2</sub>	0.2	50	100	1.12E+00	3.74E-02	15.3	0	0
C <sub>1</sub>	10	100	500	2.77E+01	5.22E-01	15.365	0	0
C <sub>2</sub>	10	100	500	1.04E+02	1.90E+00	15.866	0	0.0001
H <sub>3</sub>	0.2	50	100	3.08E-01	1.00E-02	15.703	0	0

Tabla A.43 – Resultados del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 2

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>
H <sub>1</sub>	1				
H <sub>2</sub>	0.184	1			
C <sub>1</sub>	0.195	0.185	1		
C <sub>2</sub>	0.195	0.188	0.186	1	
H <sub>3</sub>	0.195	0.178	0.187	0.196	1

Tabla A.44 – Coeficientes correlación variables del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 2

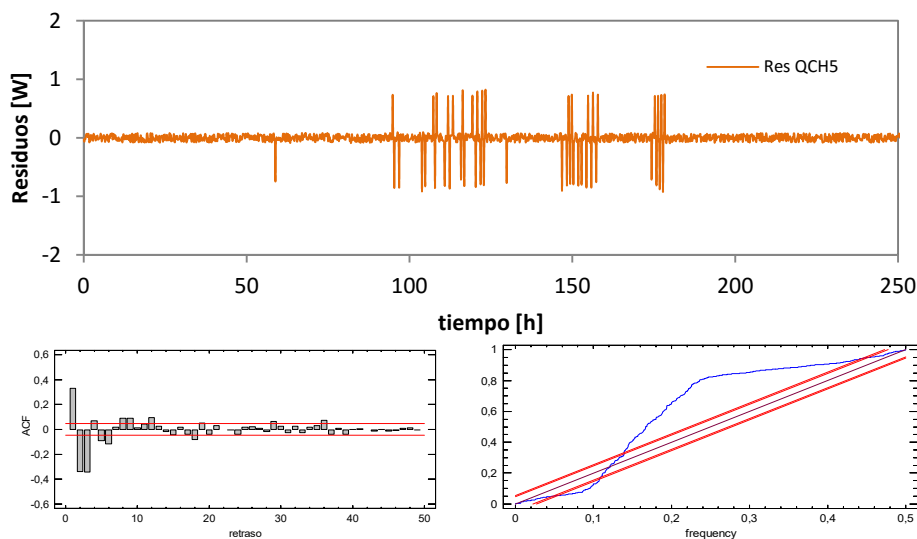


Figura A.70– Análisis del modelo unidimensional de orden 2 para el flujo central del muro de calibración

En la Tabla A.45 se recoge el estudio de propagación de incertidumbres asociado al error en las variables de medida.

variable	$u_{\text{medida}}$	unidades	dU [W/K]	dC [MJ/K]
$T_{s,c}$	0.2	K	0.003	0.001
$T_{c,e}$	0.5	K	0.005	0.001
$Q_{CH5}$	0.1	W	0.011	0.002

Tabla A.45 – Propagación del error de las variables de medida en el resultado del modelo 2

### Modelo 3º orden

En las ecuaciones [A.19] y [A.20] se recoge la definición del modelo para el modelo de orden 3, y en la Tabla A.46 los resultados del modelo y en la Tabla A.47 los coeficientes de correlación asociados.

$$\begin{bmatrix} dT_1 \\ dT_2 \\ dT_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-(H_1 + H_2)}{C_1} & \frac{H_2}{C_1} & 0 \\ \frac{H_2}{C_2} & \frac{-(H_2 + H_3)}{C_2} & \frac{H_3}{C_2} \\ 0 & \frac{H_3}{C_3} & \frac{-(H_3 + H_4)}{C_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \frac{H_1}{C_1} & 0 \\ 0 & \frac{H_4}{C_3} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{s,c} \\ T_{c,e} \end{bmatrix} dt + [\sigma]dW \quad [\text{A.19}]$$

$$[Q_{HFS,CH5m}] = [-H_1 \quad 0 \quad 0] \begin{bmatrix} T_1(t) \\ T_2(t) \\ T_3(t) \end{bmatrix} + [H_1 \quad 0] \begin{bmatrix} T_{s,c}(t) \\ T_{c,e}(t) \end{bmatrix} + [s_{CH5}]de(t) \quad [\text{A.20}]$$

variable	valor min.	valor inicial	valor max.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$H_1$	0.2	50	100	7.82E-01	1.39E-02	21.439	0	0
$H_2$	0.2	50	100	2.93E-01	5.78E-03	19.263	0	-0.0001
$C_1$	10	100	500	1.30E+01	5.28E-02	19.312	0	0
$C_2$	10	100	500	1.51E+01	3.00E-01	3.933	0	0
$H_3$	0.2	50	100	8.26E+00	8.78E-01	3.582	0	0
$C_3$	10	100	500	9.78E+01	9.11E-01	8.39	0	0.0014
$H_4$	0.2	50	100	5.06E+01	1.00E+00	19.267	0	0.0701

Tabla A.46 – Resultados del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 3

	$H_1$	$H_2$	$C_1$	$C_2$	$H_3$	$C_3$	$H_4$
$H_1$	1						
$H_2$	0.306	1					
$C_1$	0.301	0.292	1				
$C_2$	-0.031	-0.174	-0.055	1			
$H_3$	-0.006	-0.176	-0.013	0.303	1		
$C_3$	-0.102	-0.126	-0.136	0.013	0.217	1	
$H_4$	-0.083	-0.106	-0.074	0.171	0.129	0.401	1

Tabla A.47 – Coeficientes correlación variables del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 3

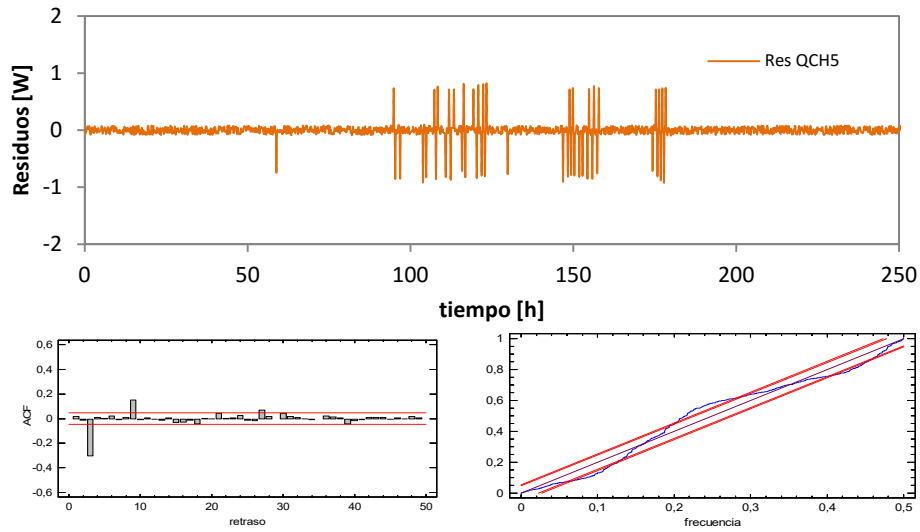


Figura A.71– Análisis del modelo unidimensional de orden 3 para el flujo central del muro de calibración

En la Tabla A.48 se recoge el estudio de propagación de incertidumbres asociado al error en las variables de medida.

variable	$u_{medida}$	unidades	$dU$ [W/K]	$dC$ [MJ/K]
$T_{s,c}$	0.2	K	0.001	0.001
$T_{c,e}$	0.5	K	0.002	0.001
$Q_{CH5}$	0.1	W	0.004	0.001

Tabla A.48 – Propagación del error de las variables de medida en el resultado del modelo 3

## Modelo 4º orden

En las ecuaciones [A.21] y [A.22] se recoge la definición del modelo para el modelo de orden 4, y en la Tabla A.49 los resultados del modelo y en la Tabla A.50 los coeficientes de correlación asociados.

$$\begin{bmatrix} dT_1 \\ dT_2 \\ dT_3 \\ dT_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-(H_1 + H_2)}{C_1} & \frac{H_2}{C_1} & 0 & 0 \\ \frac{H_2}{C_2} & \frac{-(H_2 + H_3)}{C_2} & \frac{H_3}{C_2} & 0 \\ 0 & \frac{H_3}{C_3} & \frac{-(H_3 + H_4)}{C_3} & \frac{H_4}{C_3} \\ 0 & 0 & \frac{H_4}{C_4} & \frac{-(H_4 + H_5)}{C_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \frac{H_1}{C_1} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_5}{C_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{s,c} \\ T_{c,e} \end{bmatrix} dt + [\sigma]dW \quad [A.21]$$

$$[Q_{HFS,CH5m}] = [-H_1 \quad 0 \quad 0 \quad 0] \begin{bmatrix} T_1(t) \\ T_2(t) \\ T_3(t) \\ T_4(t) \end{bmatrix} + [H_1 \quad 0] \begin{bmatrix} T_{s,c}(t) \\ T_{c,e}(t) \end{bmatrix} + [s_{CH5}]de(t) \quad [A.22]$$

variable	valor min.	valor inicial	valor max.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	0.2	50	200	7.66E-01	7.80E-03	252.05	0	-0.0001
H <sub>2</sub>	0.2	50	200	2.93E-01	3.44E-03	218.35	0	-0.002
C <sub>1</sub>	1	100	500	1.48E+01	4.06E-02	222.73	0	0
C <sub>2</sub>	1	100	500	9.70E+00	1.57E-01	37.67	0	0
H <sub>3</sub>	0.2	50	200	7.09E+00	4.82E-01	37.72	0	0
C <sub>3</sub>	1	100	500	2.45E+01	5.54E-01	26.9	0	0.0001
H <sub>4</sub>	0.2	50	200	2.54E+01	3.13E+00	20.85	0	0
C <sub>4</sub>	1	100	500	7.80E+01	3.32E-01	143.08	0	0.0395
H <sub>5</sub>	0.2	50	200	5.63E+01	9.84E-01	146.81	0	0.07

Tabla A.49 – Resultados del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 4

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>
H <sub>1</sub>	1								
H <sub>2</sub>	0.294	1							
C <sub>1</sub>	0.288	0.274	1						
C <sub>2</sub>	-0.120	-0.262	-0.098	1					
H <sub>3</sub>	0.158	-0.064	0.155	0.210	1				
C <sub>3</sub>	-0.318	-0.346	-0.275	0.392	-0.007	1			
H <sub>4</sub>	-0.328	-0.368	-0.265	0.197	0.001	0.293	1		
C <sub>4</sub>	0.123	0.089	0.097	-0.094	0.104	-0.231	-0.173	1	
H <sub>5</sub>	-0.367	-0.326	-0.289	0.343	-0.124	0.201	0.195	-0.078	1

Tabla A.50 – Coeficientes correlación variables del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 4

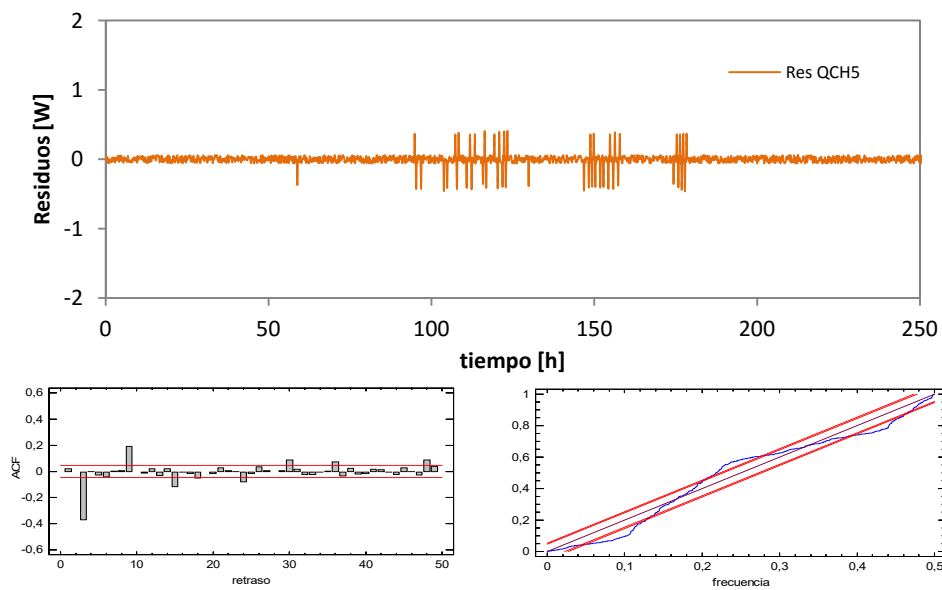


Figura A.72– Análisis del modelo unidimensional de orden 4 para el flujo central del muro de calibración



En la Tabla A.51 se recoge el estudio de propagación de incertidumbres asociado al error en las variables de medida.

variable	$u_{medida}$	unidades	dU [W/K]	dC [MJ/K]
$T_{s,c}$	0.2	K	0.001	0.001
$T_{c,e}$	0.5	K	0.002	0.001
$Q_{CH5}$	0.1	W	0.003	0.001

Tabla A.51 – Propagación del error de las variables de medida en el resultado del modelo 4

### Modelo 5º orden

En las ecuaciones [A.23] y [A.24] se recoge la definición del modelo para el modelo de orden 5, y en la Tabla A.52 los resultados del modelo y en la Tabla A.53 los coeficientes de correlación asociados.

$$\begin{bmatrix} dT_1 \\ dT_2 \\ dT_3 \\ dT_4 \\ dT_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-(H_1 + H_2)}{C_1} & \frac{H_2}{C_1} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{H_2}{C_2} & \frac{-(H_2 + H_3)}{C_2} & \frac{H_3}{C_2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_3}{C_3} & \frac{-(H_3 + H_4)}{C_3} & \frac{H_4}{C_3} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_4}{C_4} & \frac{-(H_4 + H_5)}{C_4} & \frac{H_5}{C_4} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{H_5}{C_5} & \frac{-(H_5 + H_6)}{C_5} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \frac{H_1}{C_1} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_5}{C_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{s,c} \\ T_{c,e} \end{bmatrix} dt + [\sigma]dW \quad [A.23]$$

$$[Q_{HFS,CH5m}] = [-H_1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} T_1(t) \\ T_2(t) \\ T_3(t) \\ T_4(t) \\ T_5(t) \end{bmatrix} + [H_1 \ 0] \begin{bmatrix} T_{s,c}(t) \\ T_{c,e}(t) \end{bmatrix} + [S_{CH5}]de(t) \quad [A.24]$$

variable	valor min.	valor inicial	valor max.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$H_1$	0.2	50	500	5.36E-01	1.13E-02	632.3	0.009	0.006
$H_2$	0.2	50	500	3.92E-01	9.64E-03	41.87	0	0.008
$C_1$	1	100	500	6.33E+00	2.31E-01	40.736	0	-0.009
$C_2$	1	100	500	8.64E+00	2.37E-01	14.955	0	0
$H_3$	0.2	50	500	2.63E+00	8.89E-03	18.54	0.0032	0.007
$C_3$	1	100	500	2.05E+01	5.09E-01	97.346	0.0057	0.008
$H_4$	0.2	50	500	5.76E+01	7.28E-03	59.91	0	0
$C_4$	1	100	500	8.20E+01	4.79E-01	91.086	0.0007	0.006
$H_5$	0.2	50	500	6.12E+01	2.38E-03	12.09	0	0
$C_5$	1	100	500	8.94E+00	4.94E-01	77.833	0	0
$H_6$	0.2	50	500	5.24E+01	4.53E-05	30.298	0	0.005

Tabla A.52 – Resultados del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 5

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>
H <sub>1</sub>	1										
H <sub>2</sub>	0.23	1									
C <sub>1</sub>	0.32	0.29	1								
C <sub>2</sub>	0.27	0.28	0.26	1							
H <sub>3</sub>	0.19	0.41	0.41	0.18	1						
C <sub>3</sub>	0.28	0.33	0.18	0.24	0.05	1					
H <sub>4</sub>	0.08	0.23	0.34	0.15	0.32	0.02	1				
C <sub>4</sub>	0.30	0.26	0.30	0.24	0.41	0.28	0.32	1			
H <sub>5</sub>	0.04	0.02	0.48	0.24	0.19	0.33	0.29	0.13	1		
C <sub>5</sub>	0.13	0.21	0.24	0.31	0.16	0.28	0.19	0.31	0.09	1	
H <sub>6</sub>	0.04	0.28	0.20	0.38	0.17	0.22	0.31	0.25	0.23	0.01	1

Tabla A.53 – Coeficientes correlación variables del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 5

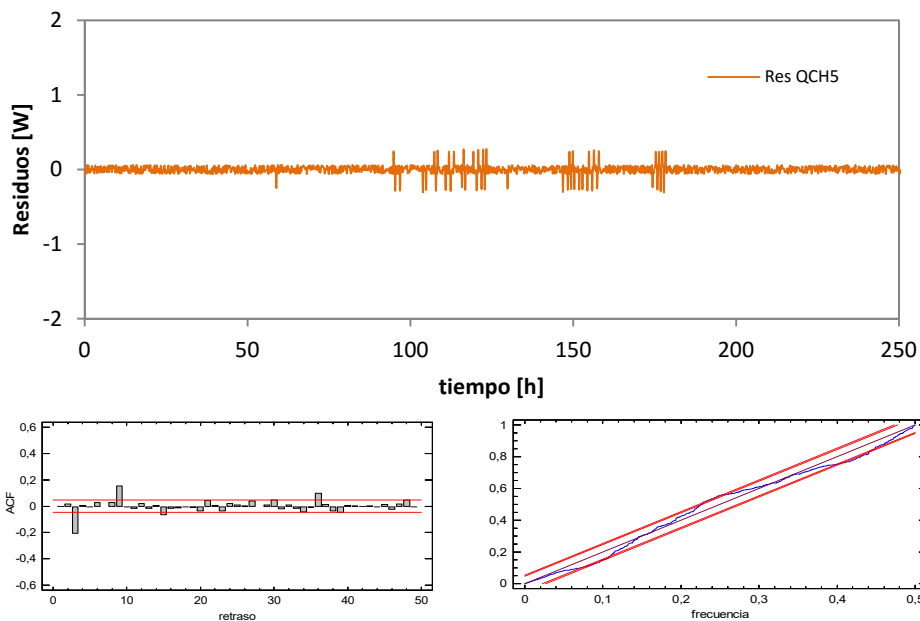


Figura A.73– Análisis del modelo unidimensional de orden 5 para el flujo central del muro de calibración

En la Tabla A.54 se recoge el estudio de propagación de incertidumbres asociado al error en las variables de medida.

variable	u <sub>medida</sub>	unidades	dU [W/K]	dC [MJ/K]
T <sub>s,c</sub>	0.2	K	0.001	0.001
T <sub>c,e</sub>	0.5	K	0.001	0.001
Q <sub>CH5</sub>	0.1	W	0.002	0.001

Tabla A.54 – Propagación del error de las variables de medida en el resultado del modelo 5

## Modelo 6º orden

En las ecuaciones [A.25] y [A.26] se recoge la definición del modelo para el modelo de orden 6, y en la Tabla A.55 los resultados del modelo y en la Tabla A.56 los coeficientes de correlación asociados.

$$\begin{bmatrix} dT_1 \\ dT_2 \\ dT_3 \\ dT_4 \\ dT_5 \\ dT_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-(H_1 + H_2)}{C_1} & \frac{H_2}{C_1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{H_2}{C_2} & \frac{-(H_2 + H_3)}{C_2} & \frac{H_3}{C_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_3}{C_3} & \frac{-(H_3 + H_4)}{C_3} & \frac{H_4}{C_3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_4}{C_4} & \frac{-(H_4 + H_5)}{C_4} & \frac{H_5}{C_4} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{H_5}{C_5} & \frac{-(H_5 + H_6)}{C_5} & \frac{H_6}{C_5} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{H_6}{C_6} & \frac{-(H_6 + H_7)}{C_6} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \end{bmatrix} dt \quad [A.25]$$

$$+ \begin{bmatrix} \frac{H_1}{C_1} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_5}{C_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{s,c} \\ T_{c,e} \end{bmatrix} dt + [\sigma] dW$$

$$[Q_{HFS,CH5m}] = [-H_1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} T_1(t) \\ T_2(t) \\ T_3(t) \\ T_4(t) \\ T_5(t) \\ T_6(t) \end{bmatrix} + [H_1 \ 0] \begin{bmatrix} T_{s,c}(t) \\ T_{c,e}(t) \end{bmatrix} + [SCH5] de(t) \quad [A.26]$$

variable	valor min.	valor inicial	valor max.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	0.2	50	500	5.20E-01	1.46E-03	13.720	-0.0034	0.0025
H <sub>2</sub>	0.2	50	500	3.60E-01	9.03E-03	20.43	0.0022	0.0046
C <sub>1</sub>	1	100	500	5.43E+01	1.05E-01	96.59	0	0
C <sub>2</sub>	1	100	500	2.01E+01	1.90E-01	27.4	0	-0.0003
H <sub>3</sub>	0.2	50	500	8.75E+00	1.24E-02	25.22	-0.0045	0.0037
C <sub>3</sub>	1	100	500	1.02E+01	8.43E-01	34.191	0	0
H <sub>4</sub>	0.2	50	500	3.22E+01	1.31E-02	97.3	0	0.0044
C <sub>4</sub>	1	100	500	1.63E+01	2.75E-01	7.243	0	0
H <sub>5</sub>	0.2	50	500	6.94E+01	6.58E-03	16.056	0.0048	0.0046
C <sub>5</sub>	1	100	500	2.71E+00	5.52E-01	56.77	-0.0043	0.0020
H <sub>6</sub>	0.2	50	500	5.40E+01	6.74E-03	97.9	0	0
C <sub>6</sub>	1	100	500	2.41E+01	7.86E-01	57.64	0	0
H <sub>7</sub>	0.2	50	500	1.42E+02	4.70E-03	40.69	0.0042	0

Tabla A.55 – Resultados del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 6

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>
H <sub>1</sub>	1												
H <sub>2</sub>	0.34	1											
C <sub>1</sub>	0.33	0.01	1										
C <sub>2</sub>	0.30	0.19	0.30	1									
H <sub>3</sub>	0.19	0.19	0.33	0.25	1								
C <sub>3</sub>	0.16	0.23	0.25	0.02	0.24	1							
H <sub>4</sub>	0.32	0.17	0.06	0.20	0.19	0.18	1						
C <sub>4</sub>	0.18	0.28	0.27	0.42	0.29	0.30	0.21	1					
H <sub>5</sub>	0.24	0.17	0.30	0.28	0.18	0.30	0.29	0.31	1				
C <sub>5</sub>	0.21	0.24	0.29	0.36	0.27	0.32	0.21	0.40	0.39	1			
H <sub>6</sub>	0.20	0.18	0.25	0.50	0.39	0.30	0.46	0.21	0.02	0.40	1		
C <sub>6</sub>	0.19	0.29	0.23	0.39	0.22	0.17	0.30	0.23	0.24	0.46	0.29	1	
H <sub>7</sub>	0.19	0.28	0.40	0.18	0.07	0.14	0.31	0.12	0.28	0.26	0.28	0.28	1

Tabla A.56 – Coeficientes correlación variables del proceso de identificación de parámetros en el modelo de orden 6

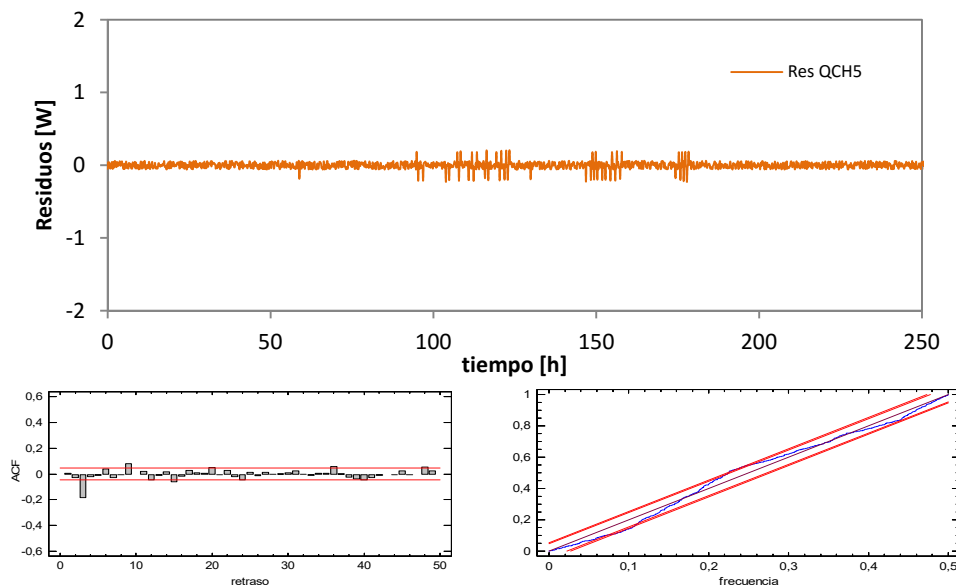


Figura A.74– Análisis del modelo unidimensional de orden 6 para el flujo central del muro de calibración

En la Tabla A.57 se recoge el estudio de propagación de incertidumbres asociado al error en las variables de medida.

variable	u <sub>medida</sub>	unidades	dU [W/K]	dC [MJ/K]
T <sub>s,c</sub>	0.2	K	0.001	0.001
T <sub>c,e</sub>	0.5	K	0.001	0.001
Q <sub>CH5</sub>	0.1	W	0.002	0.001

Tabla A.57 – Propagación del error de las variables de medida en el resultado del modelo 6

En la Tabla A.58 se recoge el resumen de resultados obtenidos en el proceso de análisis del modelo de flujo unidimensional en el muro de calibración. Estos mismos resultados se muestran en las gráficas de la Figura A.75.

N	1	2	3	4	5	6	media	$\sigma$
H [W/K]	0.212	0.219	0.207	0.203	0.206	0.205	<b>0.205</b>	<b>0.006</b>
C [MJ/K]	0.078	0.079	0.076	0.076	0.076	0.077	<b>0.076</b>	<b>0.001</b>
e [%]	3.4	6.5	0.9	-1.3	0.4	0.0		
	2.4	3.6	-1.0	0.1	0.2	0.7		

Tabla A.58 – Resultados del proceso de identificación para la transmitancia y capacidad térmica de la zona central del muro de calibración

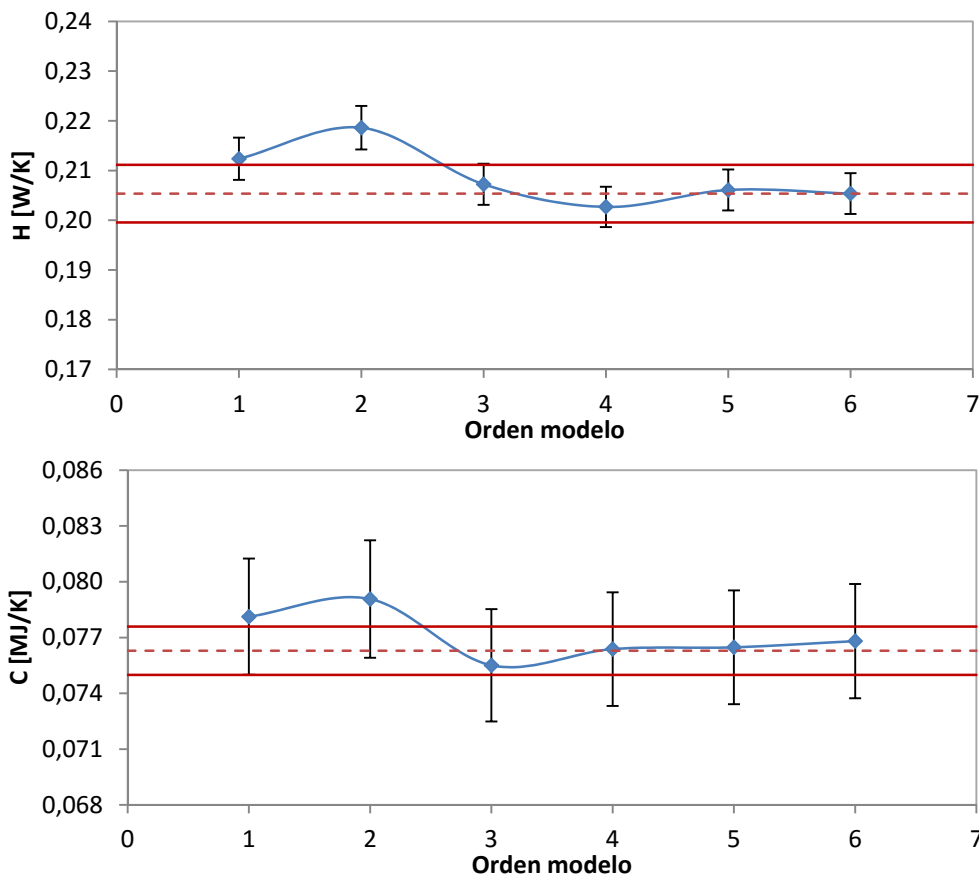


Figura A.75 – Resultados en función del orden del modelo, para el flujo central del muro de calibración

En vista de los resultados, se considera que el modelo óptimo para caracterizar el muro de calibración es el modelo de tercer orden, ya que presenta un comportamiento próximo al de ruido blanco y los resultados de  $H$  y  $C$  se ajustan a los valores medios obtenidos y están dentro del rango de la desviación estándar. Otro indicativo de que este modelo ya es suficiente para la caracterización del muro es que presenta valores de conductancia muy elevados y valores de capacidades térmicas muy reducidos, valores despreciables dentro del valor final. Esta respuesta es típica en los modelos de identificación de parámetros, ya que en el momento en el que se obtiene el modelo

mínimo necesario para representar el comportamiento de la muestra bajo estudio, aunque se aumente el orden del modelo no se obtienen mejores resultados, ya que los parámetros añadidos no presentan peso en el resultado al tomar valores muy alejados del valor total. Aún así, la experiencia en el trabajo con herramientas de identificación indica que el mejor modelo es aquel que presenta un orden más del mínimo necesario, esos parámetros que toman valores despreciables le permiten a la herramienta ajustar de una forma más adecuada la función objetivo gracias los grados de libertad añadidos. Pero si estos son muchos, el modelo no aporta mayor mejora, y si un aumento importante en la complejidad y en la posibilidad de cometer errores en el ajuste.

### A.3.1.2 Flujo de borde

Para estudiar los efectos de borde que se producen en el muro de calibración se emplea un modelo como el mostrado en la Figura A.68 de tercer orden, como se ha determinado en el apartado anterior. La única diferencia en dicho modelo, definido en las ecuaciones [A.19] y [A.20], es que se emplea el flujo de las *tilas* correspondientes a los grupos CH1, CH2, CH3 y CH4 como función objetivo. A continuación se muestran los resultados del proceso de identificación de parámetros para las tres rutinas de ensayo aplicadas en el proceso de calibración.

#### Resultados rutina *PULSO*

variable	valor min.	valor inicial	valor max.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	0.2	10	500	2.43E+00	1.09E-01	111.7111	-0.0257	0
H <sub>2</sub>	0.2	10	500	1.57E+01	7.09E-01	86.5838	-0.0001	0.0001
C <sub>1</sub>	1	100	500	1.55E+02	2.19E+01	30.1808	-0.0001	0.0002
C <sub>2</sub>	1	100	500	1.09E+02	1.58E+01	8.7806	0.0004	0.0001
H <sub>3</sub>	0.2	10	500	3.04E+00	1.36E-01	1.5244	-0.0004	0

Tabla A.59 – Resultados del proceso de identificación de parámetros en el modelo de borde para la rutina *PULSO*

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>
H <sub>1</sub>	1				
H <sub>2</sub>	0.225	1			
C <sub>1</sub>	-0.102	-0.214	1		
C <sub>2</sub>	0.027	0.077	-0.014	1	
H <sub>3</sub>	-0.001	0.102	-0.023	0.332	1

Tabla A.60 – Coeficientes correlación variables del proceso de identificación de parámetros en el modelo de borde para la rutina *PULSO*

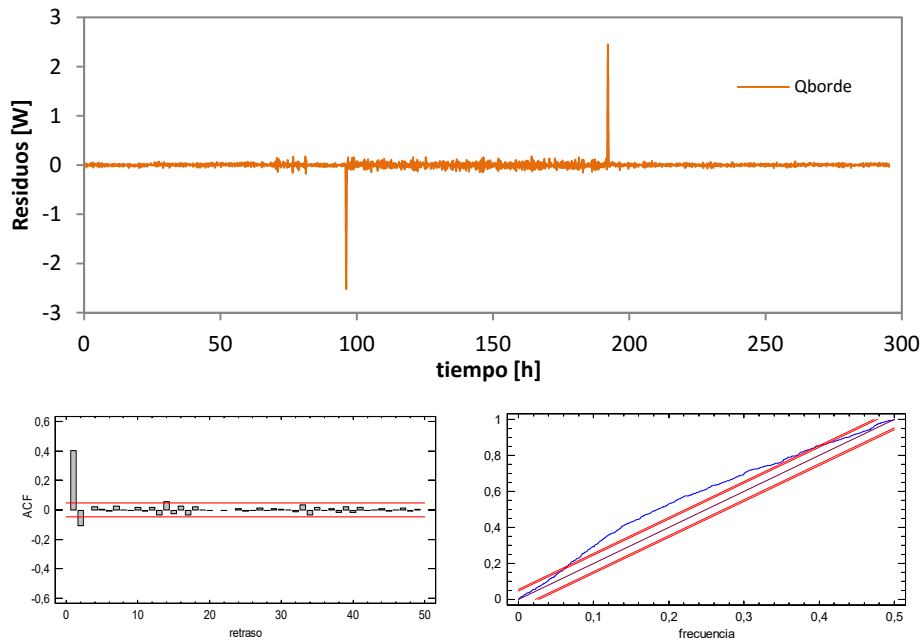


Figura A.76– Análisis del modelo para el flujo de borde del muro de calibración en la rutina PULSO

### Resultados rutina PRBS

variable	valor min.	valor inicial	valor max.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	0.2	10	500	1.27E+00	2.17E-02	10.0296	0	0
H <sub>2</sub>	0.2	10	500	1.22E+00	7.87E-02	2.656	0	0
C <sub>1</sub>	1	100	500	1.46E+02	8.91E+00	6.6086	0	0.2999
C <sub>2</sub>	1	100	500	1.45E+02	1.33E+01	4.4086	0	0.2099
H <sub>3</sub>	0.2	10	500	5.42E+01	1.01E+01	0.9171	0	0.0181

Tabla A.61 – Resultados del proceso de identificación de parámetros en el modelo de borde para la rutina PRBS

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>
H <sub>1</sub>	1				
H <sub>2</sub>	0.002	1			
C <sub>1</sub>	0.000	-0.015	1		
C <sub>2</sub>	0.001	-0.004	-0.008	1	
H <sub>3</sub>	-0.001	-0.025	-0.019	0.167	1

Tabla A.62 – Coeficientes correlación variables del proceso de identificación de parámetros en el modelo de borde para la rutina PRBS

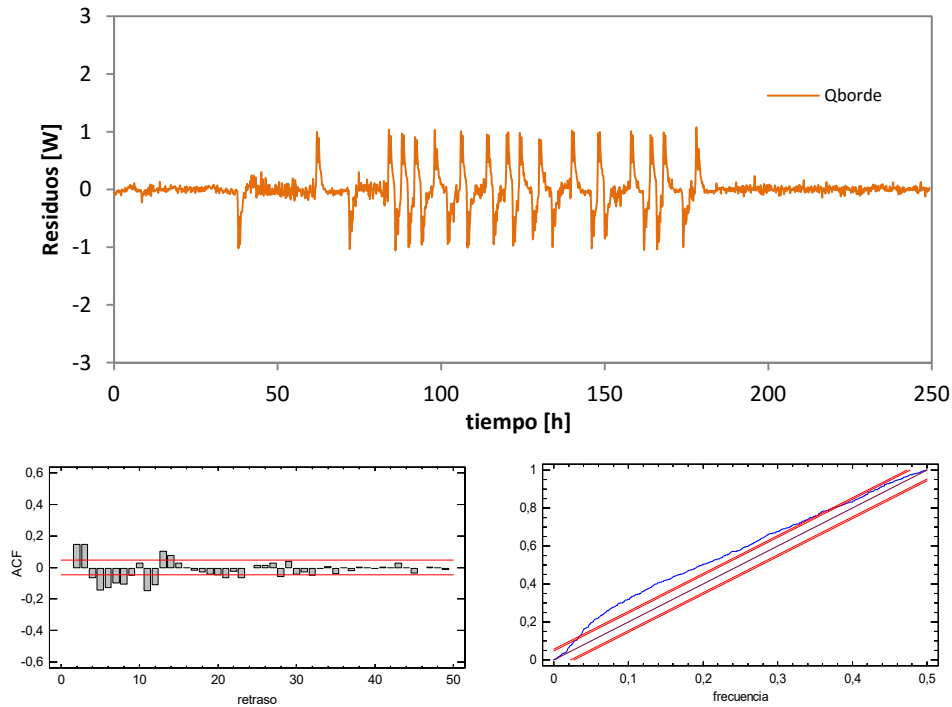


Figura A.77– Análisis del modelo para el flujo de borde del muro de calibración en la rutina PRBS

### Resultados rutina ROLBS

variable	valor min.	valor inicial	valor max.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	0.2	10	500	1.28E+00	1.81E-02	16.0003	0	0
H <sub>2</sub>	0.2	10	500	1.16E+00	9.25E-02	2.8419	0.0045	0
C <sub>1</sub>	1	100	500	4.39E+02	2.79E+01	17.729	0	0.0012
C <sub>2</sub>	1	100	500	9.22E+00	5.91E+00	1.7631	0.078	0.0001
H <sub>3</sub>	0.2	10	500	6.29E+01	1.27E+01	1.1185	0.2635	0.0001

Tabla A.63 – Resultados del proceso de identificación de parámetros en el modelo de borde para la rutina ROLBS

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>
H <sub>1</sub>	1				
H <sub>2</sub>	-0.010	1			
C <sub>1</sub>	-0.002	-0.057	1		
C <sub>2</sub>	0.107	0.012	-0.007	1	
H <sub>3</sub>	0.012	0.031	0.008	0.097	1

Tabla A.64 – Coeficientes correlación variables del proceso de identificación de parámetros en el modelo de borde para la rutina ROLBS



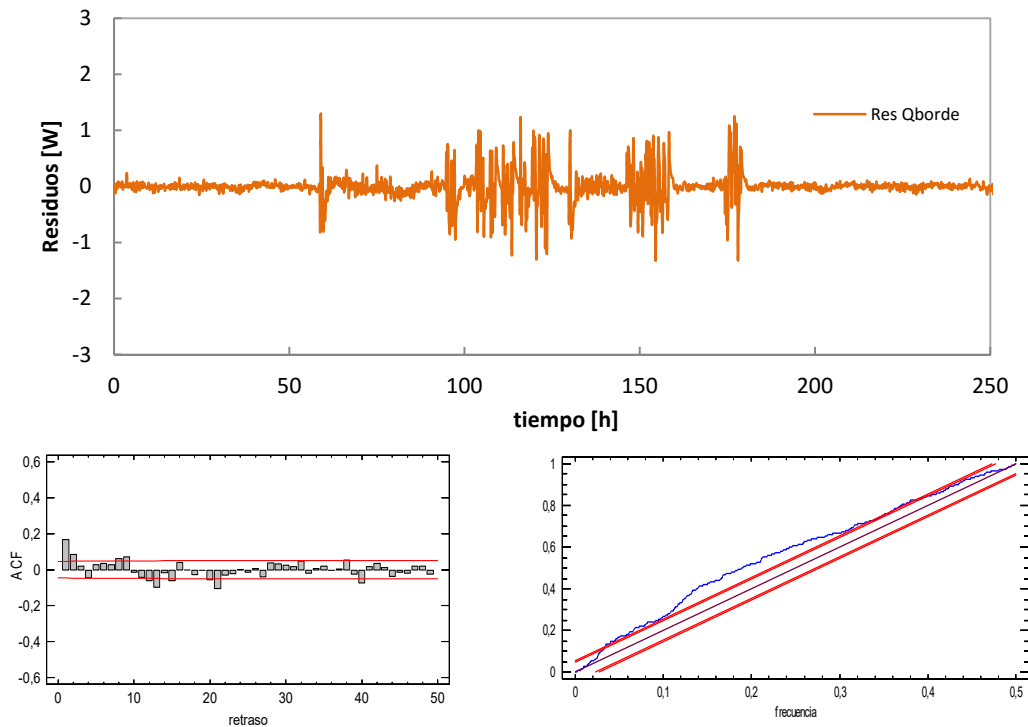


Figura A.78 – Análisis de los efectos de borde del muro de calibración para la excitación ROLBS

En la Tabla A.65 se recoge el resumen de los datos obtenidos en el estudio del flujo de borde que se produce en el muro de calibración.

	H [W/K]	C [MJ/K]
PULSO	0.611	0.277
PRBS	0.607	0.261
ROLBS	0.598	0.274
<b>media</b>	<b>0.605</b>	<b>0.270</b>
<b><math>\sigma</math></b>	<b>0.004</b>	<b>0.005</b>

Tabla A.65 – Resultados del proceso de identificación para la transmitancia y capacidad térmica de la zona de borde del muro de calibración

### A.3.1.3 Modelo a escala de celda

A continuación se muestran los resultados del proceso de identificación para el modelo completo de la celda con el muro de calibración teniendo en cuenta la zona de flujo unidimensional y la zona de flujo de borde, ver Figura A.79. En [A.27] y [A.28] se indica las ecuaciones que representan al modelo. Como variables de excitación del modelo se emplean las medidas de potencia inyectada en la sala de ensayos, flujo de calor de la envolvente, temperatura del ambiente exterior y radiación solar incidente sobre la

superficie de la muestra,  $[P, Q_{HFS,e}, T_e, G_v]$ . Y como funciones objetivo se emplea la temperatura de ambiente interior de la sala de ensayos, la temperatura de la superficie interior de la envoltura, la temperatura interior y exterior del muro de calibración,  $[T_i, T_{s,c}, T_{s,e}, T_{c,e}]$ .

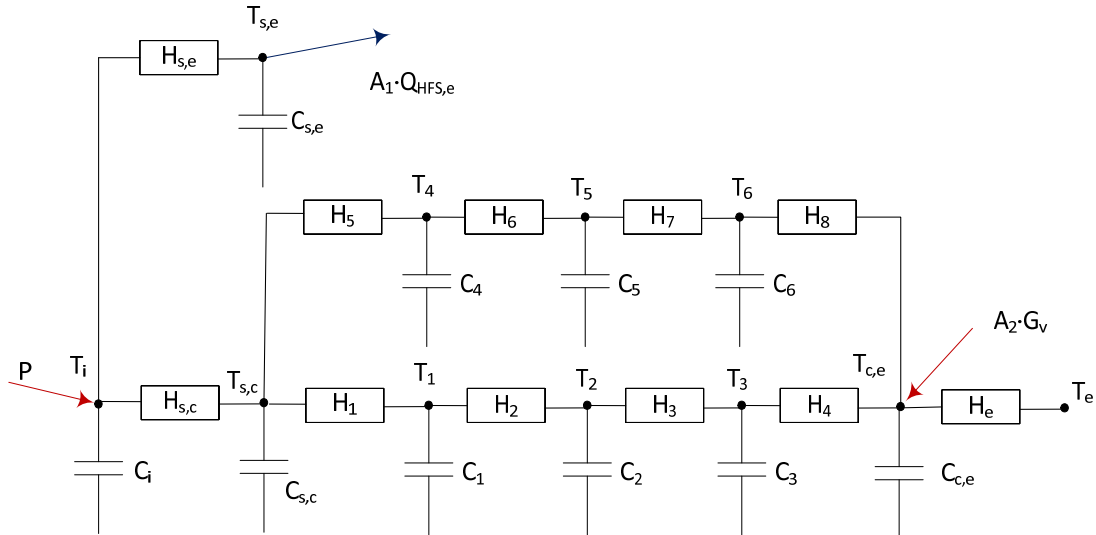


Figura A.79 – Modelo de caracterización para el muro de calibración

$$\begin{bmatrix} dT_1 \\ dT_{s,c} \\ dT_1 \\ dT_2 \\ dT_3 \\ dT_{c,e} \\ dT_4 \\ dT_5 \\ dT_6 \\ dT_{s,e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-(H_{s,c} + H_{s,e})}{C_i} & \frac{H_{s,c}}{C_i} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{H_{s,e}}{C_i} \\ \frac{H_{s,c}}{C_{s,c}} & \frac{-(H_{s,e} + H_1 + H_5)}{C_{s,c}} & \frac{H_1}{C_{s,c}} & 0 & 0 & 0 & \frac{H_5}{C_{s,c}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_1}{C_1} & \frac{-(H_1 + H_2)}{C_1} & \frac{H_2}{C_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_2}{C_2} & \frac{-(H_2 + H_3)}{C_2} & \frac{H_3}{C_2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{H_3}{C_3} & \frac{-(H_3 + H_4)}{C_3} & \frac{H_4}{C_3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{H_4}{C_{c,e}} & \frac{-(H_4 + H_6)}{C_{c,e}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_5}{C_4} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-(H_5 + H_6)}{C_4} & \frac{H_6}{C_4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-(H_6 + H_7)}{C_5} & \frac{H_7}{C_5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{H_7}{C_6} & 0 & \frac{-(H_7 + H_8)}{C_6} & 0 & 0 \\ \frac{H_{s,e}}{C_{s,e}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-H_{s,e}}{C_{s,e}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_{s,c} \\ T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_{c,e} \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \\ T_{s,e} \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \frac{1}{C_i} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-A_1}{C_{s,e}} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ Q_{HFS,e} \\ T_e \\ G_v \end{bmatrix} dt + [e] dt \quad [A.27]$$

$$\begin{bmatrix} T_i^m \\ T_{s,c}^m \\ T_{c,e}^m \\ T_{s,e}^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_{s,c} \\ T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_{c,e} \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \\ T_{s,e} \end{bmatrix} + [0] \begin{bmatrix} P \\ Q_{HFS,e} \\ T_e \\ G_v \end{bmatrix} + [e] \quad [A.28]$$

## Resultados rutina PULSO

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	df/dPar	dPen/dPar
H <sub>s,c</sub>	10	70	150	5.96E+01	8.01E+00	33.4676	0	0
H <sub>s,e</sub>	100	350	500	2.40E+02	6.81E+00	22.2749	-0.0002	-0.0001
C <sub>i</sub>	10	40	100	3.06E+01	4.76E+00	1.5296	-0.0005	-0.0016
C <sub>s,c</sub>	100	280	400	2.72E+02	9.94E+00	4.0943	0.0016	0
H <sub>1</sub>	0.2	1	100	2.55E+01	5.28E+00	5.7592	0.0007	0
H <sub>5</sub>	0.2	10	500	1.53E+00	2.33E-01	7.0812	-0.0014	-0.0008
C <sub>1</sub>	1	50	150	3.86E+01	4.28E+00	3.4428	0.0006	0.0003
H <sub>2</sub>	0.2	1	100	4.35E-01	2.36E-02	24.3100	-0.0004	-0.0001
C <sub>2</sub>	1	50	150	1.41E+01	1.49E+00	7.8405	0.0002	0
H <sub>3</sub>	0.2	1	100	4.37E-01	6.09E-02	3.0381	0.0006	0.0002
C <sub>3</sub>	1	50	150	4.22E+01	5.72E+00	0.6293	-0.0005	-0.0002
H <sub>4</sub>	0.2	1	100	6.23E+01	3.50E+00	10.0604	-0.0006	-0.0003
C <sub>c,e</sub>	1	50	100	4.43E+01	1.74E+00	4.1492	0.0001	0.0022
H <sub>e</sub>	5	25	50	1.94E+01	4.24E-01	13.7667	0	-0.0013
C <sub>4</sub>	10	100	500	2.95E+02	5.69E+01	0.3277	0.0001	0.0004
H <sub>6</sub>	0.2	10	500	2.37E+00	1.51E-01	13.7608	0.0002	-0.0007
C <sub>5</sub>	10	100	500	5.04E+01	4.19E+01	3.7894	0.0008	-0.0004
H <sub>7</sub>	0.2	10	500	1.15E+01	2.46E-01	10.2720	0.0022	-0.0004
H <sub>8</sub>	0.2	10	500	2.28E+00	2.47E-01	31.9214	-0.0011	0
C <sub>6</sub>	10	100	500	6.50E+01	2.73E+01	24.9670	0.0004	-0.0004
C <sub>s,e</sub>	500	900	1500	8.73E+02	3.43E+01	0.0186	-0.0005	0.0020
A <sub>2</sub>	0.1	0.5	0.9	3.21E-01	7.48E-02	24.3490	0	0
A <sub>1</sub>	0.9	1	1.1	1.04E+00	4.61E-03	20.4272	-0.0004	0.0011

Tabla A.66 – Resultados identificación parámetros para la rutina PULSO en el modelo completo de muro de calibración

	H <sub>s,c</sub>	H <sub>s,e</sub>	C <sub>i</sub>	C <sub>s,c</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>c,e</sub>	H <sub>e</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>5</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>s,e</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	
H <sub>s,c</sub>	1																							
H <sub>s,e</sub>	0.5	1																						
C <sub>i</sub>	0.0	0.6	1																					
C <sub>s,c</sub>	0.2	0.8	0.5	1																				
H <sub>1</sub>	0.1	0.3	0.7	0.5	1																			
H <sub>5</sub>	0.2	0.4	0.3	0.9	0.1	1																		
C <sub>1</sub>	0.2	0.1	0.2	0.7	0.9	0.8	1																	
H <sub>2</sub>	0.2	0.8	0.3	0.7	0.3	0.7	0.5	1																
C <sub>2</sub>	0.3	0.9	0.7	0.7	0.8	1.0	0.4	0.0	1															
H <sub>3</sub>	0.3	0.8	0.2	0.1	0.7	0.4	1.0	0.9	0.1	1														
C <sub>3</sub>	0.5	0.7	0.1	0.2	0.2	0.8	0.2	0.7	0.3	0.1	1													
H <sub>4</sub>	0.2	0.4	0.7	0.3	0.6	0.0	0.1	0.8	0.7	0.6	0.4	1												
C <sub>c,e</sub>	0.5	0.9	0.8	0.5	0.4	0.9	0.4	0.7	0.1	0.8	0.1	0.7	1											
H <sub>e</sub>	0.8	0.4	0.6	0.5	0.2	0.7	0.2	0.5	0.9	0.2	0.6	0.2	0.9	1										
C <sub>4</sub>	1.0	0.8	0.4	0.5	0.8	0.9	0.9	0.7	0.6	0.4	0.3	0.2	0.6	0.4	1									
H <sub>6</sub>	0.7	1.0	0.6	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	0.1	0.9	0.4	0.8	0.0	0.9	0.1	1								
C <sub>5</sub>	0.1	0.0	0.3	0.9	0.9	0.4	0.7	1.0	1.0	0.1	1.0	0.5	0.6	0.4	0.7	0.4	1							
H <sub>7</sub>	0.7	0.2	0.5	0.7	0.1	0.6	0.2	0.2	0.7	0.6	0.2	0.7	0.5	0.5	0.6	0.1	0.6	1						
H <sub>8</sub>	0.7	0.5	0.1	0.5	0.2	0.3	0.8	0.3	0.0	1.0	0.8	0.3	0.4	0.1	1.0	0.6	0.1	0.6	1					
C <sub>6</sub>	0.9	0.2	0.5	0.4	0.3	0.6	0.7	1.0	0.3	0.7	0.0	0.0	0.3	0.2	0.3	0.9	1.0	0.6	0.0	1				
C <sub>s,e</sub>	0.2	0.5	0.9	0.3	0.9	0.4	0.3	0.1	0.4	0.4	0.7	0.8	0.8	0.7	0.4	0.6	0.7	0.6	0.2	0.7	1			
A <sub>2</sub>	0.0	0.5	0.8	0.1	1.0	0.4	0.9	0.8	0.2	0.1	0.2	0.4	0.9	0.7	0.4	0.8	0.6	0.0	0.0	0.3	0.2	1		
A <sub>1</sub>	0.9	0.9	0.8	0.9	0.2	0.6	0.5	0.7	0.2	0.6	0.7	0.6	0.9	0.6	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.2	1	

Tabla A.67 – Coeficientes de correlación parámetros modelo completo muro calibración para la rutina PULSO

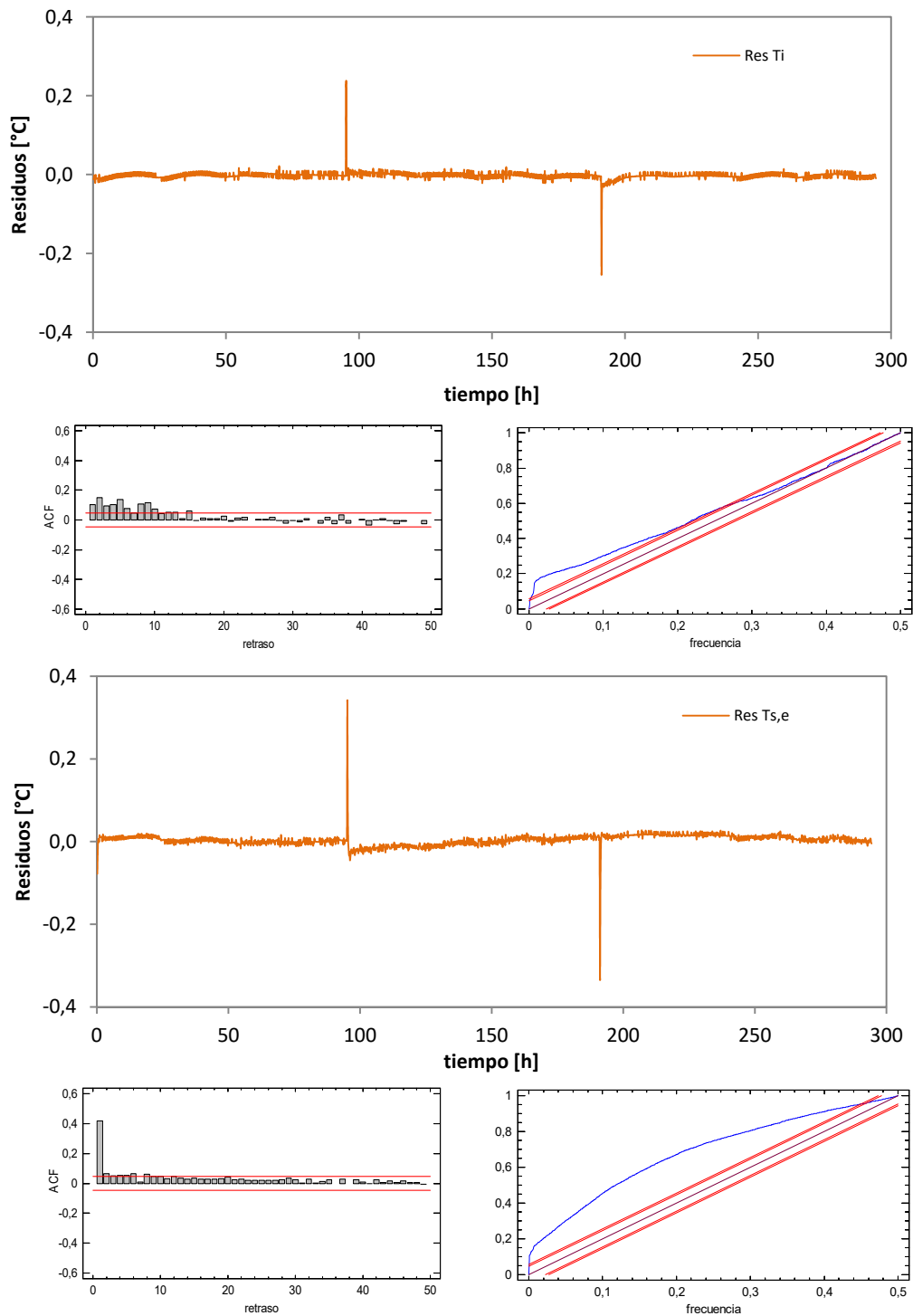


Figura A.80 – Análisis de residuos de las temperaturas en el modelo del muro de calibración, excitación PULSO

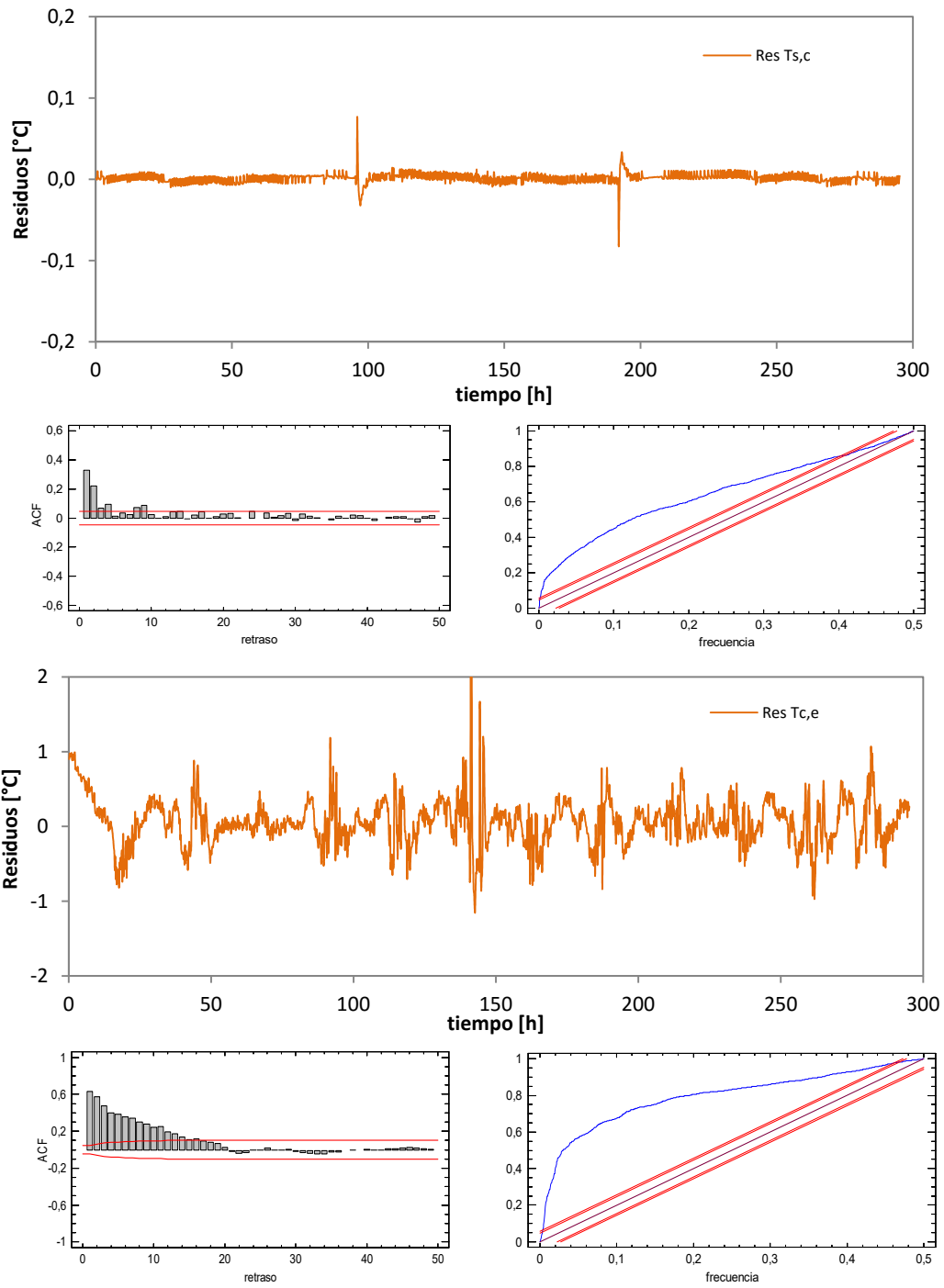


Figura A.81 – Análisis de residuos de las temperaturas en el modelo del muro de calibración, excitación PULSO

## Resultados rutina PRBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>5,c</sub>	10	70	150	4.77E+01	3.06E+00	97.223	0.0019	0.0034
H <sub>5,e</sub>	100	350	500	3.52E+02	8.69E+00	57.829	-0.0025	0
C <sub>i</sub>	10	40	100	7.51E+01	9.02E+00	88.065	0.002	-0.003
C <sub>5,c</sub>	100	280	400	2.43E+02	8.83E+00	2.313	-0.0037	-0.0029
H <sub>1</sub>	0.2	1	100	1.45E+01	2.68E+00	63.97	0.0047	-0.0004
H <sub>5</sub>	0.2	10	500	6.59E-01	7.44E-02	81.109	0.0028	0.0019
C <sub>1</sub>	1	50	150	1.37E+01	4.96E+00	11.6455	0.0036	0.0031
H <sub>2</sub>	0.2	1	100	2.21E-01	1.90E-02	2.523	0.0021	0.0036
C <sub>2</sub>	1	50	150	6.09E+01	9.11E+00	0.1786	0.0030	-0.003
H <sub>3</sub>	0.2	1	100	3.65E+00	3.73E-02	74.842	-0.0045	0.0037
C <sub>3</sub>	1	50	150	6.33E+01	5.35E+00	28.295	0.0033	0.0020
H <sub>4</sub>	0.2	1	100	4.08E+00	1.83E-01	56.452	-0.0017	0.0043
C <sub>c,e</sub>	1	50	100	5.84E+00	3.96E+00	29.117	-0.0015	-0.0027
H <sub>e</sub>	5	25	50	2.30E+01	8.97E+00	9.4336	0.0022	0.0046
C <sub>4</sub>	10	100	500	5.02E+02	5.23E+00	75.264	-0.0033	-0.0015
H <sub>6</sub>	0.2	10	500	1.43E+02	9.02E-02	47.049	0.0006	-0.0034
C <sub>5</sub>	10	100	500	1.45E+00	4.69E+01	39.480	-0.0001	-0.0033
H <sub>7</sub>	0.2	10	500	8.90E+01	1.77E-01	51.810	0.0029	-0.0022
H <sub>8</sub>	0.2	10	500	1.10E+02	6.04E-01	31.126	0.0005	-0.003
C <sub>6</sub>	10	100	500	4.40E+02	3.06E+01	1.4267	0.0028	0.0001
C <sub>5,e</sub>	500	900	1500	9.35E+02	8.89E+00	87.365	-0.0034	-0.0029
A <sub>2</sub>	0.1	0.5	0.9	2.66E-01	2.32E-02	4.8759	-0.0049	-0.0011
A <sub>1</sub>	0.9	1	1.1	2.65E+01	4.25E+00	59.336	-0.0012	0.002

Tabla A.68 – Resultados identificación parámetros para la rutina PRBS en el modelo completo de muro de calibración

	H <sub>5,c</sub>	H <sub>5,e</sub>	C <sub>i</sub>	C <sub>5,c</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>c,e</sub>	H <sub>e</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>5</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>5,e</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	
H <sub>5,c</sub>	1																							
H <sub>5,e</sub>	0.1	1																						
C <sub>i</sub>	0.8	0.7	1																					
C <sub>5,c</sub>	0.1	0.4	0.1	1																				
H <sub>1</sub>	0.8	0.5	0.9	0.5	1																			
H <sub>5</sub>	0.6	0.1	0.3	0.4	0.7	1																		
C <sub>1</sub>	0.9	0.8	0.3	0.3	0.7	0.0	1																	
H <sub>2</sub>	0.1	0.6	0.3	0.0	0.5	0.8	0.4	1																
C <sub>2</sub>	0.3	0.3	0.5	0.5	0.6	0.4	0.3	0.9	1															
H <sub>3</sub>	0.2	0.1	0.5	1.0	0.3	0.0	0.8	0.0	0.6	1														
C <sub>3</sub>	0.9	0.2	0.7	1.0	0.3	0.4	0.7	0.2	0.3	0.0	1													
H <sub>4</sub>	0.8	0.6	0.1	0.9	0.1	0.5	0.3	0.6	1.0	0.1	0.9	1												
C <sub>c,e</sub>	0.9	0.2	0.7	0.2	0.5	0.5	0.9	0.0	0.8	0.6	0.7	0.4	1											
H <sub>e</sub>	0.9	0.4	0.2	0.1	1.0	0.4	0.6	0.5	0.5	0.7	0.8	0.4	0.1	1										
C <sub>4</sub>	0.8	0.9	0.1	0.5	0.7	0.2	0.8	0.8	0.7	0.4	0.9	0.7	0.1	0.1	1									
H <sub>6</sub>	0.6	0.7	0.5	0.7	0.5	0.4	0.5	0.3	0.8	0.1	0.3	0.8	0.9	0.7	0.8	1								
C <sub>5</sub>	0.8	0.9	0.8	0.5	0.8	0.8	0.0	0.5	0.6	1.0	0.3	0.7	0.8	0.8	0.6	0.0	1							
H <sub>7</sub>	0.9	0.6	0.8	0.7	0.2	0.4	0.8	0.0	0.1	0.2	0.1	0.5	0.0	0.4	0.4	0.4	1.0	1						
H <sub>8</sub>	0.3	0.4	0.1	1.0	0.5	0.4	0.2	0.4	0.5	0.8	0.7	0.0	1.0	0.8	0.9	0.3	0.4	0.5	1					
C <sub>6</sub>	0.9	0.6	0.1	0.8	0.1	0.1	0.6	0.3	0.4	0.9	0.8	0.3	0.2	0.1	0.4	0.8	0.4	0.4	0.9	1				
C <sub>5,e</sub>	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	1.0	1.0	0.5	0.4	0.6	0.2	0.2	0.1	0.4	0.9	0.9	0.7	0.9	0.2	1			
A <sub>2</sub>	0.2	0.4	0.9	0.8	0.1	0.1	0.8	0.1	0.9	0.7	0.8	0.3	0.9	0.7	0.2	0.2	0.2	0.0	0.8	1.0	0.9	1		
A <sub>1</sub>	0.1	0.8	0.3	0.3	0.4	0.9	0.3	0.0	0.9	0.3	0.4	0.3	0.6	0.3	0.6	0.5	0.5	0.3	0.7	0.8	0.6	0.5	1	

Tabla A.69 – Coeficientes de correlación parámetros modelo completo muro calibración para la rutina PRBS

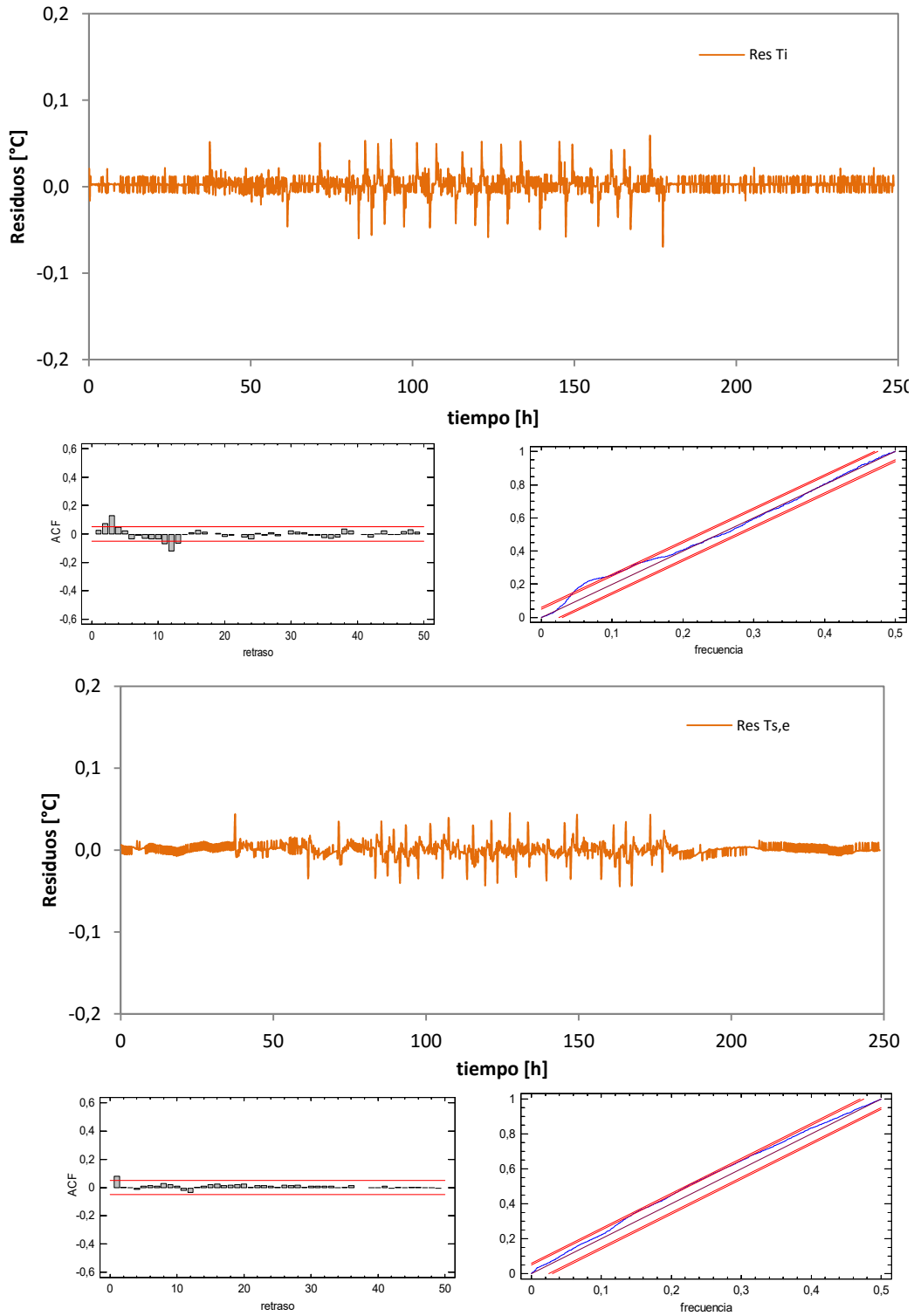


Figura A.82 – Análisis de residuos de las temperaturas en el modelo del muro de calibración, excitación PRBS

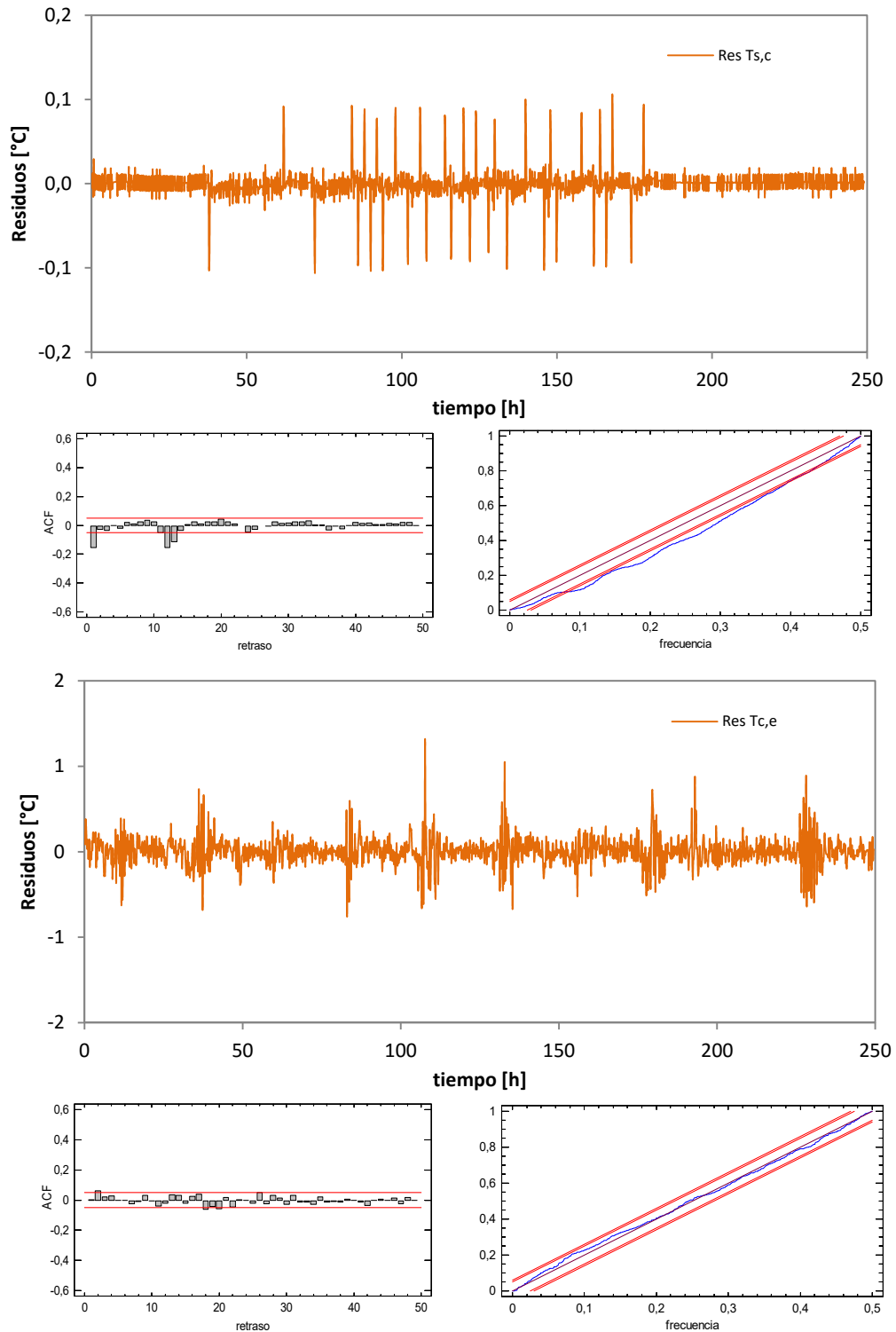


Figura A.83 – Análisis de residuos de las temperaturas en el modelo del muro de calibración, excitación PRBS



## Resultados rutina ROLBS

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>s,c</sub>	10	70	150	5.95E+01	6.67E+00	77.292	0.0024	0
H <sub>s,e</sub>	100	350	500	3.98E+02	8.27E+00	85.170	0	0
C <sub>i</sub>	10	40	100	6.83E+01	1.82E+00	9.2447	-0.0032	0.0024
C <sub>s,c</sub>	100	280	400	2.99E+02	2.00E+00	10.109	-0.0026	0
H <sub>1</sub>	0.2	1	100	6.17E+00	2.33E+00	7.456	0.0019	0.0047
H <sub>5</sub>	0.2	10	500	4.62E+00	1.27E+00	5.7969	0.0018	0.0029
C <sub>1</sub>	1	50	150	3.74E+01	4.67E+00	41.803	0.0049	-0.0033
H <sub>2</sub>	0.2	1	100	2.54E-01	2.94E-02	71.925	0	0.0017
C <sub>2</sub>	1	50	150	6.11E+01	1.22E+01	96.821	0.0033	-0.0047
H <sub>3</sub>	0.2	1	100	3.11E+00	1.70E-01	3.993	-0.0021	0.0012
C <sub>3</sub>	1	50	150	5.29E+00	2.74E+00	89.368	-0.0042	0.0029
H <sub>4</sub>	0.2	1	100	2.89E+01	2.25E+00	59.850	0.0045	-0.0009
C <sub>c,e</sub>	1	50	100	2.66E+00	9.54E-01	55.511	0.0042	0
H <sub>e</sub>	5	25	50	2.11E+01	4.93E+00	33.4387	-0.0026	0
C <sub>4</sub>	10	100	500	2.91E+02	1.88E+01	18.947	0	0.0029
H <sub>6</sub>	0.2	10	500	1.83E+00	1.25E-01	90.754	-0.0016	-0.0034
C <sub>5</sub>	10	100	500	3.10E+01	1.06E+01	21.289	0.0029	0
H <sub>7</sub>	0.2	10	500	1.25E+00	2.08E-01	58.376	0	0.0020
H <sub>8</sub>	0.2	10	500	5.47E+01	2.16E-01	49.605	0.0031	0.0008
C <sub>6</sub>	10	100	500	8.48E+01	3.12E+01	60.642	0	-0.0041
C <sub>s,e</sub>	500	900	1500	9.32E+02	7.50E+00	79.204	-0.0048	0.0019
A <sub>2</sub>	0.1	0.5	0.9	2.98E-01	4.56E-03	91.854	-0.0025	0.0046
A <sub>1</sub>	0.9	1	1.1	9.64E-01	8.33E-02	0.1302	0.0038	0.0017

Tabla A.70 – Resultados identificación parámetros para la rutina ROLBS en el modelo completo de muro de calibración

	H <sub>s,c</sub>	H <sub>s,e</sub>	C <sub>i</sub>	C <sub>s,c</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>c,e</sub>	H <sub>e</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>5</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>s,e</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	
H <sub>s,c</sub>	1																							
H <sub>s,e</sub>	0.3	1																						
C <sub>i</sub>	0.6	0.9	1																					
C <sub>s,c</sub>	0.1	1.0	0.1	1																				
H <sub>1</sub>	0.3	0.8	0.3	0.8	1																			
H <sub>5</sub>	0.3	0.7	0.5	0.6	0.6	1																		
C <sub>1</sub>	0.2	0.3	0.8	0.8	0.6	0.2	1																	
H <sub>2</sub>	0.9	0.4	0.2	0.5	0.2	0.9	0.9	1																
C <sub>2</sub>	0.8	0.8	0.3	0.3	0.0	0.9	0.3	0.6	1															
H <sub>3</sub>	0.9	0.3	1.0	0.8	0.6	0.7	0.6	0.9	0.4	1														
C <sub>3</sub>	0.3	0.4	0.6	0.5	0.2	0.8	0.5	0.1	0.2	0.3	1													
H <sub>4</sub>	0.6	0.4	0.5	0.0	0.7	0.2	0.8	0.4	0.2	0.2	0.9	1												
C <sub>c,e</sub>	0.4	0.7	0.7	0.6	0.7	0.2	0.0	0.9	0.9	0.9	0.1	0.8	1											
H <sub>e</sub>	0.9	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	1.0	0.3	0.9	0.2	0.8	0.7	0.2	1										
C <sub>4</sub>	0.8	0.8	0.3	0.1	0.7	0.1	0.5	0.2	0.6	0.6	0.7	0.5	0.3	1.0	1									
H <sub>6</sub>	0.4	0.1	0.9	0.0	0.9	0.1	0.0	0.8	0.0	0.2	0.2	0.2	0.7	0.7	0.2	1								
C <sub>5</sub>	0.2	0.9	0.6	0.5	0.7	0.4	0.5	0.8	0.3	0.6	0.2	0.4	0.5	0.6	0.1	0.4	1							
H <sub>7</sub>	0.8	0.6	0.1	0.4	0.3	0.2	1.0	0.2	0.4	0.5	0.8	0.5	0.1	0.3	0.1	0.8	0.2	1						
H <sub>8</sub>	0.0	0.1	0.9	0.0	0.3	0.2	0.3	0.2	0.4	0.5	0.4	0.7	0.4	0.9	0.8	0.7	0.5	0.7	1					
C <sub>6</sub>	0.8	0.9	0.6	0.8	0.2	0.7	0.1	0.3	0.2	0.4	0.8	0.8	0.1	0.4	0.5	0.9	0.4	0.9	0.6	1				
C <sub>s,e</sub>	0.9	0.4	0.3	1.0	0.3	0.1	0.0	0.9	0.1	0.8	0.6	0.6	0.2	0.2	0.6	0.1	0.6	0.7	0.8	0.6	1			
A <sub>2</sub>	0.8	0.3	0.0	0.6	1.0	0.8	1.0	0.9	0.7	0.7	1.0	0.8	0.1	0.8	0.4	0.2	0.7	0.8	0.4	0.4	0.2	1		
A <sub>1</sub>	0.7	0.0	0.2	0.8	0.1	0.1	0.6	0.8	0.3	0.3	0.7	0.6	0.5	0.8	0.8	0.9	0.0	1.0	0.3	0.1	1.0	0.7	1	

Tabla A.71 – Coeficientes de correlación parámetros modelo completo muro calibración para la rutina ROLBS

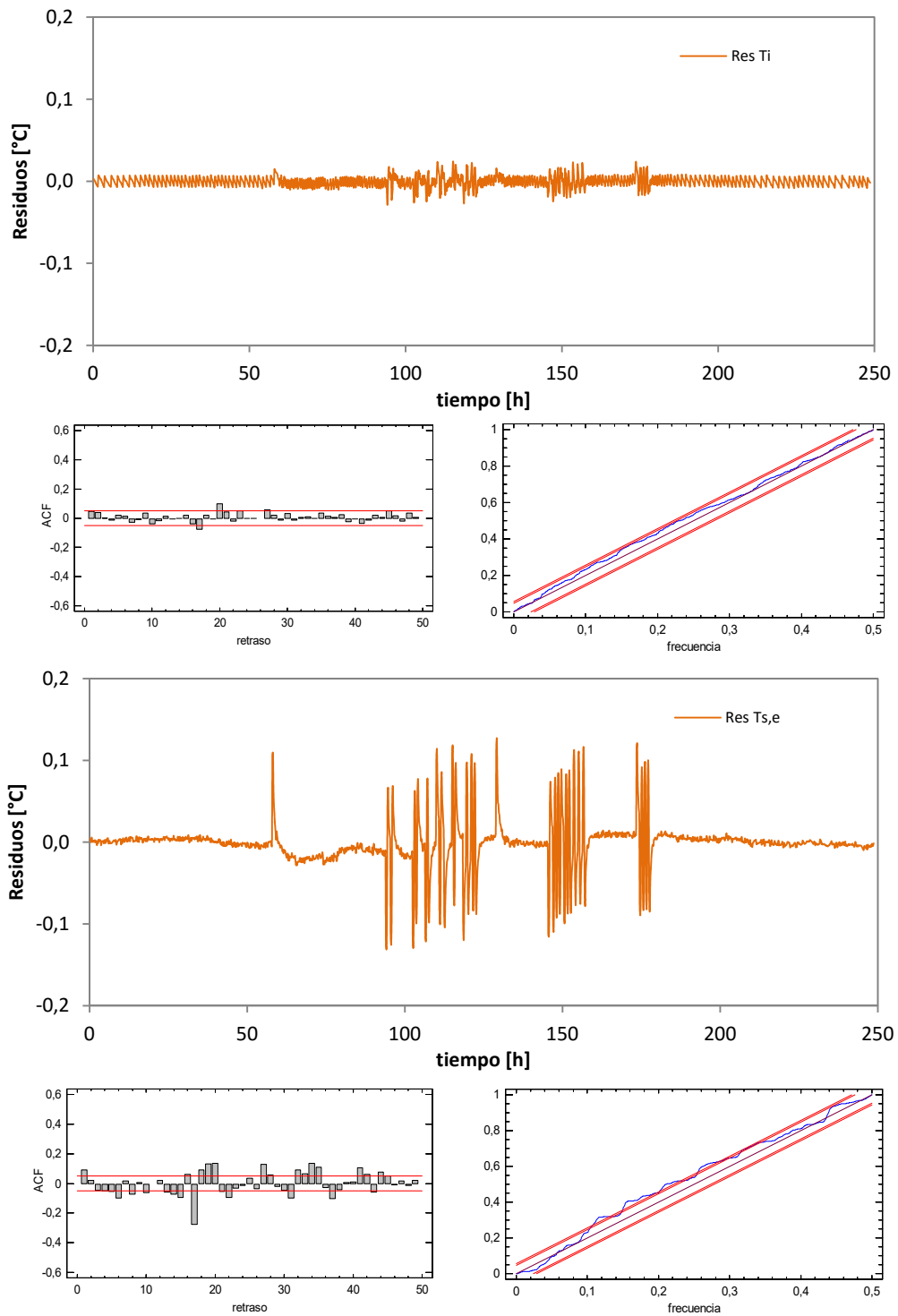


Figura A.84 – Análisis de residuos de las temperaturas en el modelo del muro de calibración, excitación ROLBS

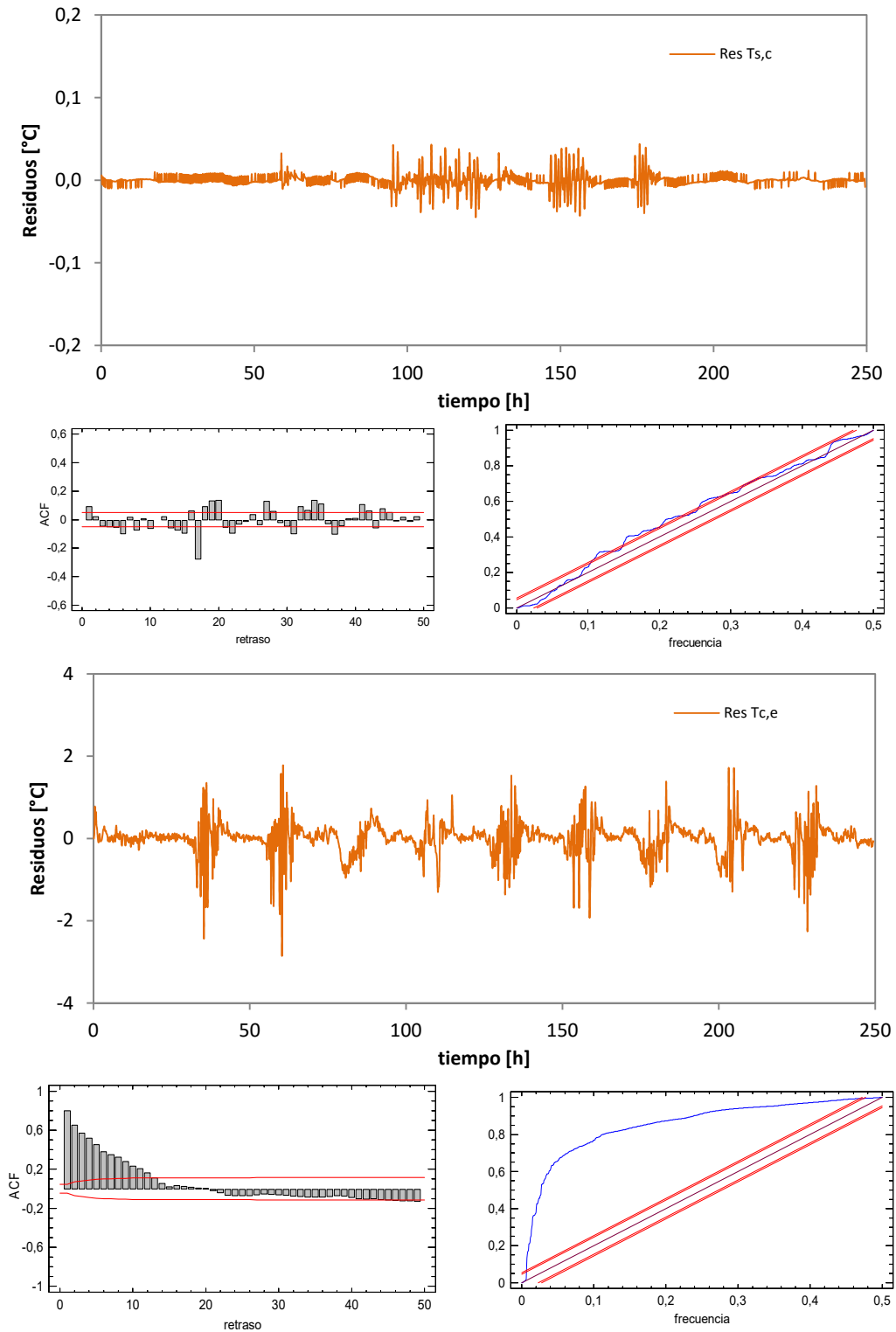


Figura A.85 – Análisis de residuos de las temperaturas en el modelo del muro de calibración, excitación ROLBS

Una vez estudiadas todas las rutinas, se analizan los resultados obtenidos para la conductancia,  $H$ , y la capacidad térmica de cada una de las ramas del modelo, que a su vez representan la zona central del muro de calibración, donde se producen condiciones de flujo unidimensional, y para la zona de borde, donde el flujo es bidimensional. También se analiza el comportamiento de la superficie exterior del muro de calibración frente a las condiciones ambientales mediante los parámetros de apertura solar,  $A_{Gv}$ , y coeficiente de convección exterior,  $H_e$ . En la Tabla A.72 se muestra dicho resumen de resultados totales.

	centro		borde		$A_{Gv}$	$H_{ce}$
	H [W/K]	C [W/m <sup>2</sup> K]	H [MJ/K]	C [MJ/m <sup>2</sup> K]	[-]	[MJ/K]
PULSO	0.215	0.064	0.625	0.266	0.321	19.545
PRBS	0.196	0.084	0.648	0.285	0.265	22.986
ROLBS	0.224	0.063	0.633	0.245	0.298	21.098
medio	<b>0.212</b>	<b>0.070</b>	<b>0.635</b>	<b>0.265</b>	<b>0.295</b>	<b>21.210</b>
$\sigma$	0.014	0.012	0.012	0.020	0.028	1.723
ref	0.205	0.076	0.605	0.270		
Dif [%]	3.1	-8.0	4.9	-1.8		

Tabla A.72 – Resultados finales del estudio de caracterización del muro de calibración



# Anexo B

## ENSAYO IQ-Test





## B.1 Datos experimentales

El estudio de trazabilidad *IQ-Test* está configurado por el ensayo de dos componentes, el primero formado por un muro opaco con la zona central desmontable y que se sustituya por una ventana de referencia en el segundo ensayo. A su vez, en este estudio se realizan dos ensayos por muestra, el primero con el componente situado a ras del interior del portamuestras y el segundo con la muestra a ras del exterior. Ambas configuraciones tienen aspectos positivos y negativos, respecto a efectos de puente térmico y respecto al sombreado del componente. Esta duplicidad del estudio permite caracterizar dichos efectos y seleccionar la ubicación óptima de las probetas en el desarrollo de los ensayos posteriores. A continuación se muestran los datos de ensayo que no se recogen en la Memoria debido a su extensión.

### B.1.1 Primer componente

En los siguientes apartados se recogen los resultados de la verificación de infiltraciones al inicio y fin de los dos ensayos del muro opaco y los datos de flujos de envolvente en la sala de ensayos y la temperatura de las diferentes capas de la probeta para el muro opaco.

#### B.1.1.1 Ensayo de infiltraciones

En la Tabla B.1 se indican los valores de renovación de aire que se dan en la sala de ensayos debido a infiltraciones para el componente opaco durante los dos periodos de ensayo que se le aplican. En la Figura B.1 y Figura B.2 se muestran los datos de la prueba.

	$m_a$ [ren/h]	
	INICIO	FIN
OPACO-1	0.090	0.134
OPACO-2	0.156	0.224

Tabla B.1 – Resultado de la prueba de infiltraciones para el inicio y fin de los dos ensayos realizados al muro opaco

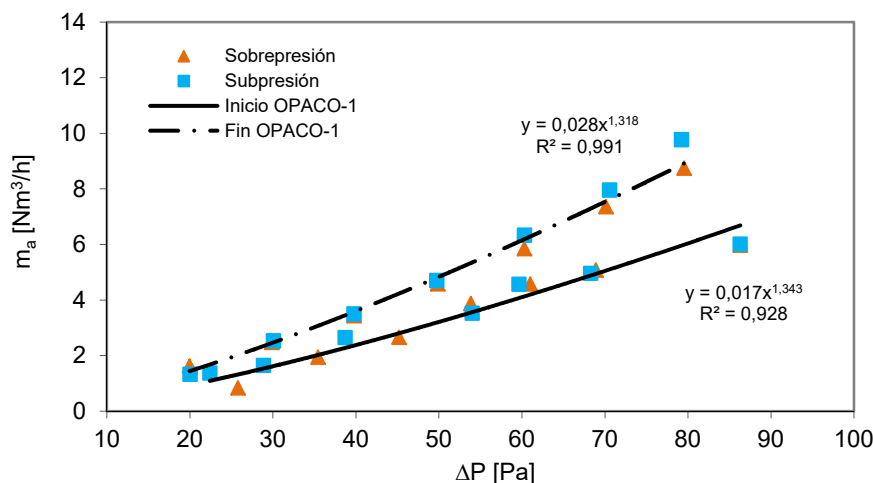


Figura B.1 – Medida de las infiltraciones para el primer ensayo del muro opaco



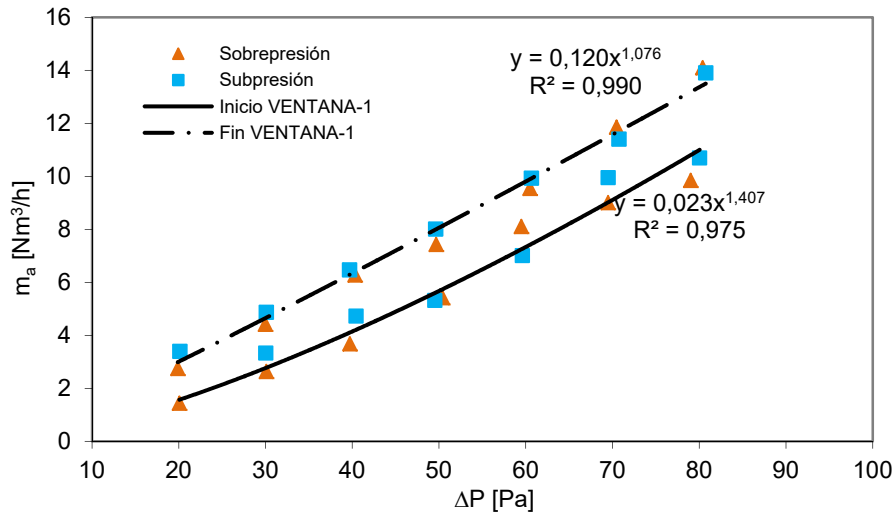


Figura B.2 – Medida de las infiltraciones para el segundo ensayo del muro opaco

Se realiza una prueba previa al inicio del ensayo, de forma que se aplican medidas de sellado hasta que se obtienen tasas aceptables de infiltraciones. Y una vez finalizado, antes de acceder a la sala de ensayos, se realiza de nuevo la prueba de infiltraciones. Repasando los resultados, se puede observar que la colocación de la probeta a ras del exterior en el portamuestras complica el sellado, ya que se obtienen valores más altos de infiltraciones, incluso en el inicio del ensayo.

### B.1.1.2 Flujos y temperaturas

A continuación se muestran las medidas de flujo de calor en la envolvente durante el primer ensayo del muro opaco. Verificar la correcta medida de los grupos de *tiles* es fundamental para obtener resultados fiables durante el proceso de identificación de parámetros.

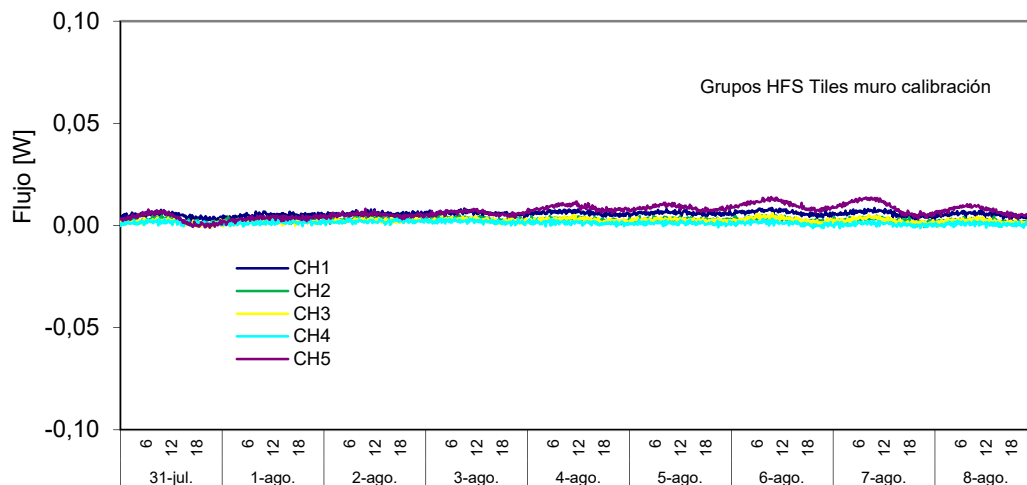


Figura B.3 –Ruido de medida del flujo registrado por las tiles durante el primer ensayo del muro opaco

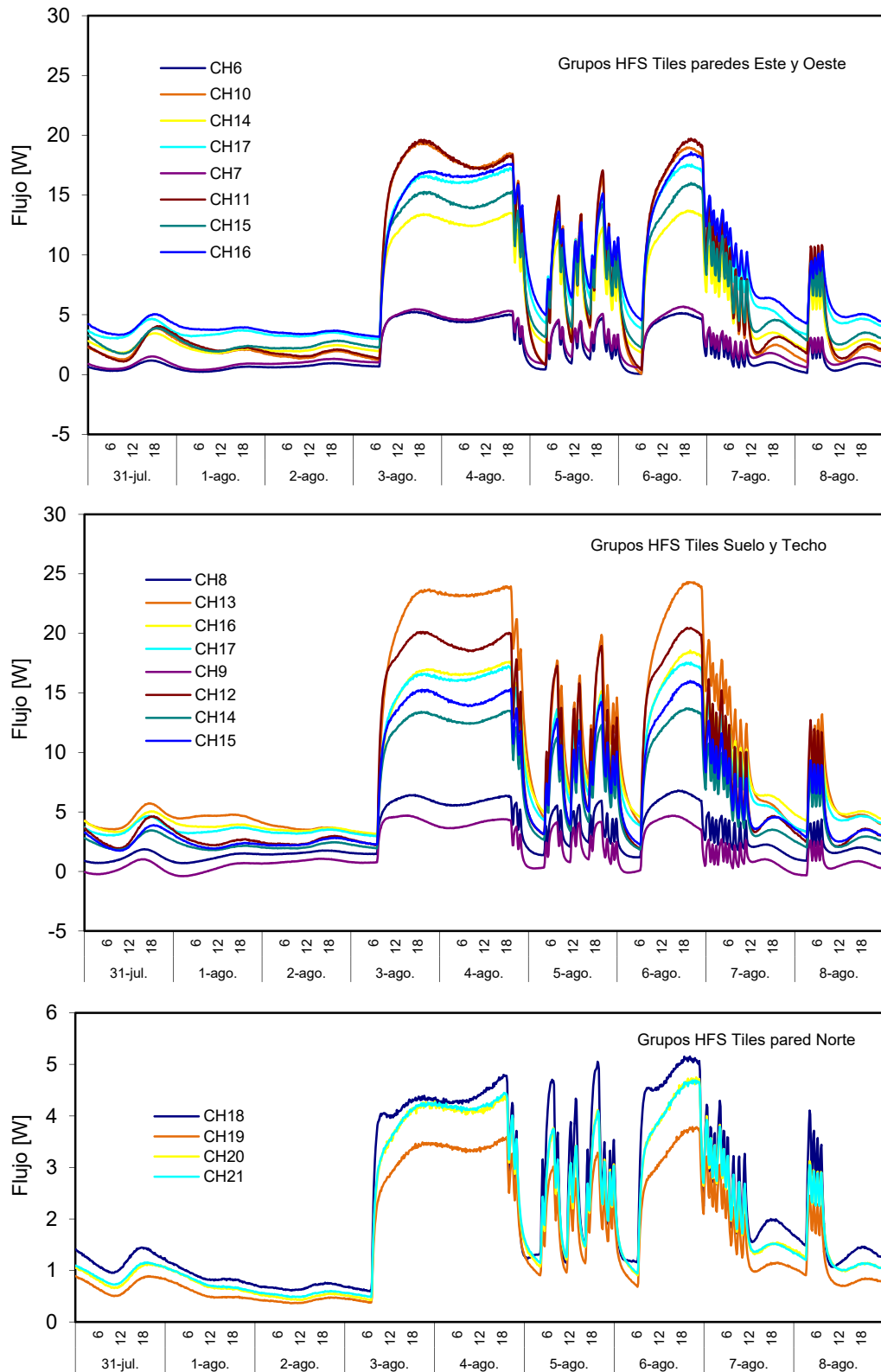


Figura B.4 – Flujos de calor registrados por cada grupo de HFS Tiles durante el primer ensayo del muro opaco

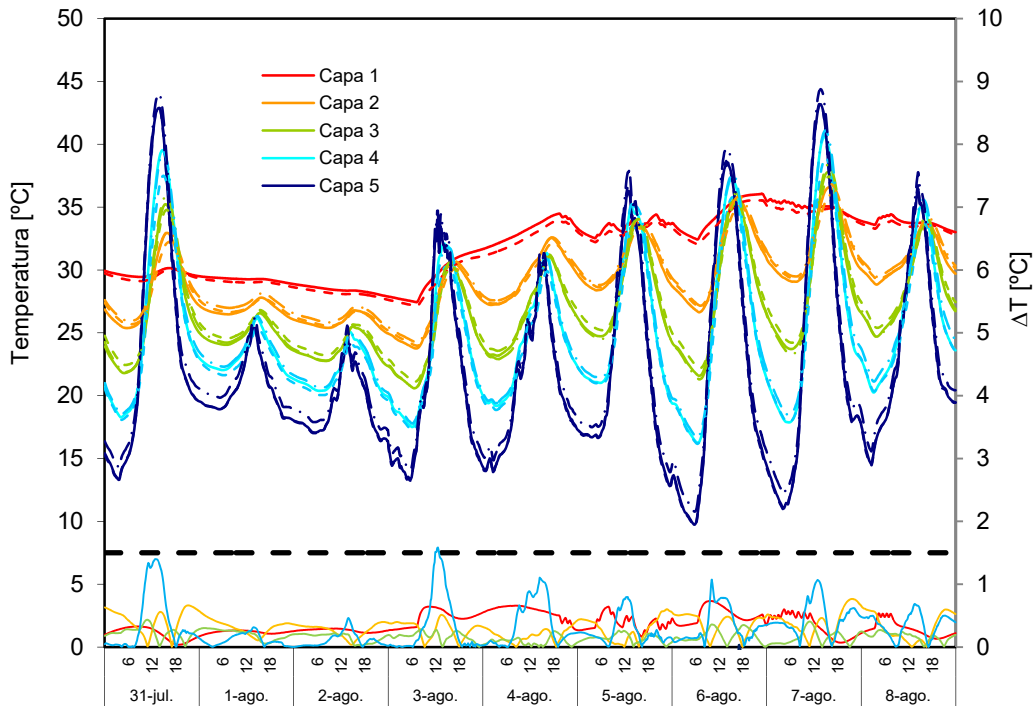


Figura B.5-Evolución de los perfiles de temperatura a lo largo del espesor del muro opaco, para la zona central, lateral y esquina inferior en el primer ensayo

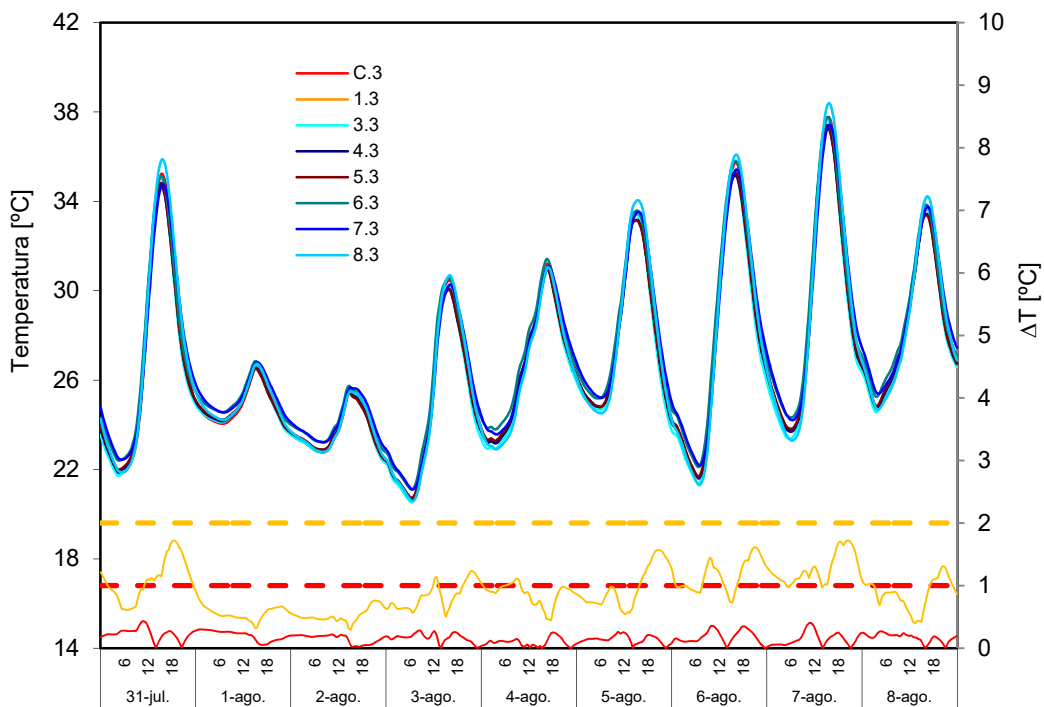


Figura B.6-Evolución de las temperaturas en el plano central del muro opaco para el primer ensayo

En la Figura B.3 se muestra el ruido de medida de las *tiles* junto la cadena de medida del sistema de adquisición. Esta señal de ruido se obtiene puentando los terminales de los grupos correspondientes al muro de calibración que están libres durante el desarrollo de los ensayos normales. Se puede ver que el ruido de medida es muy pequeño, dos

ordenes de magnitud inferior a la señal de flujo media medida. Por lo tanto, la precisión de medida del flujo es elevada. En la Figura B.4 se recogen las señales del total de grupos de *tiles* de la envolvente. Se puede ver que se cumple el chequeo que se indica en la página 155 de la memoria. A continuación se muestran las temperaturas correspondientes a la propia muestra de muro opaco. En la Figura B.5 se muestran los perfiles de temperatura para cada capa de la muestra y en cada uno de los ejes de medida de la muestra que se corresponden con el eje central, la zona de borde y la zona de esquina. En la Figura B.6 se muestran las temperaturas en la capa central de la probeta. En la Figura B.7 y en la Figura B.8 se muestran los flujos puntuales registrados mediante los fluxímetros instalados en el interior y en la superficie del muro opaco.

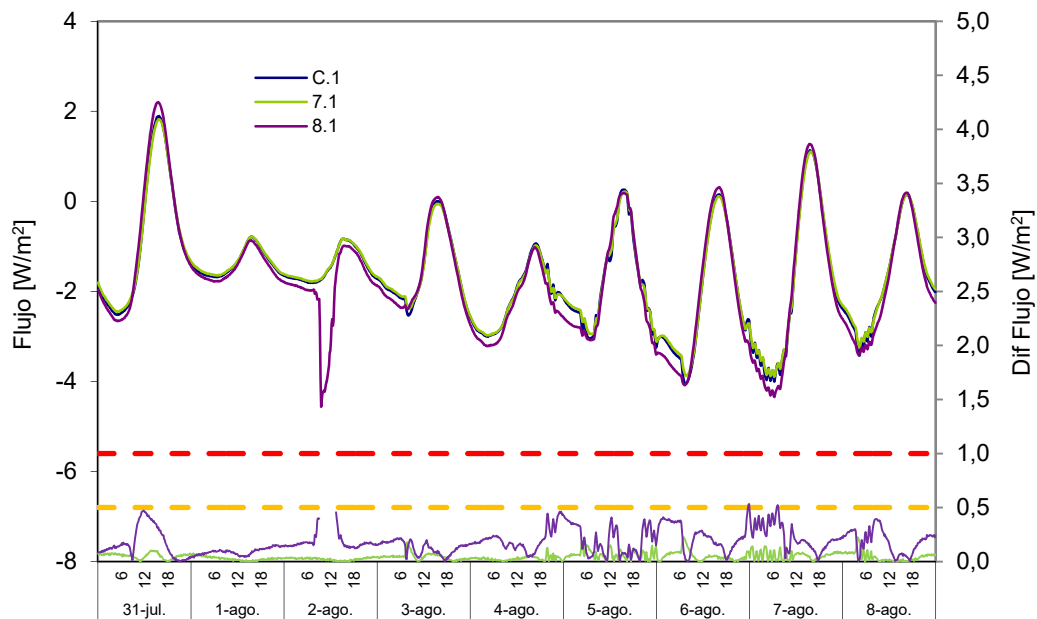


Figura B.7 – Señal de los fluxímetros integrados en la cara interior del muro opaco durante el primer ensayo

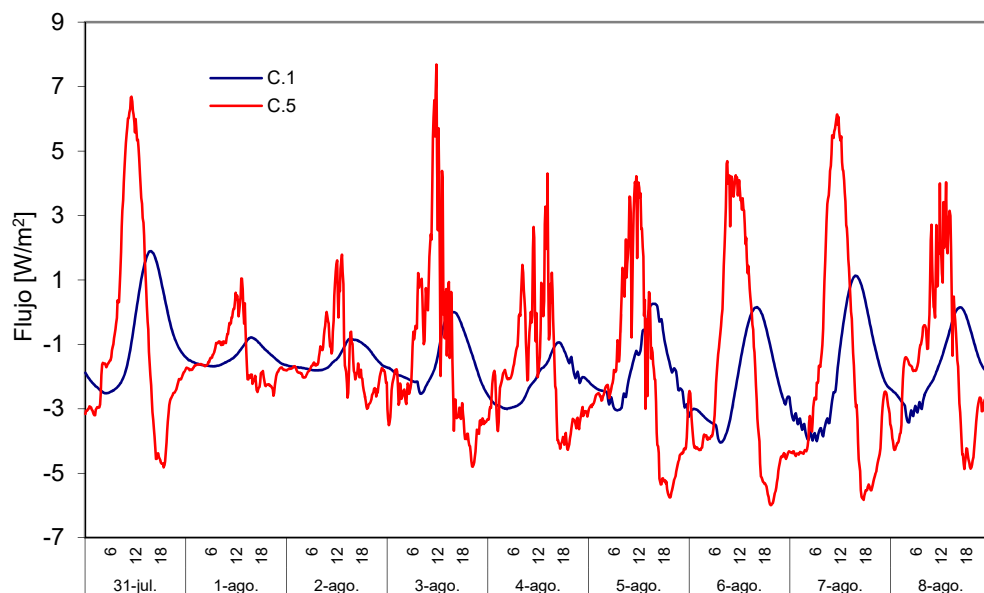


Figura B.8 – Flujos en la zona central del muro opaco en la cara interior y exterior durante el primer ensayo

## B.1.2 Segundo componente

En los siguientes apartados se recogen los resultados de la verificación de infiltraciones al inicio y fin de los dos ensayos del muro opaco y los datos de flujos de envolvente en la sala de ensayos y la temperatura de las diferentes capas de la probeta para el muro con la ventana de referencia.

### B.1.2.1 Ensayo de infiltraciones

En la Tabla B.2 se indican los valores de renovación de aire que se dan en la sala de ensayos debido a infiltraciones para el componente con la ventana durante los dos periodos de ensayo que se le aplican.

	$m_a$ [ren/h]	
	INICIO	FIN
VENTANA-1	0.139	0.145
VENTANA-2	0.136	0.171

Tabla B.2 – Resultado prueba de infiltraciones para el inicio y fin de los dos ensayos realizados al muro con la ventana

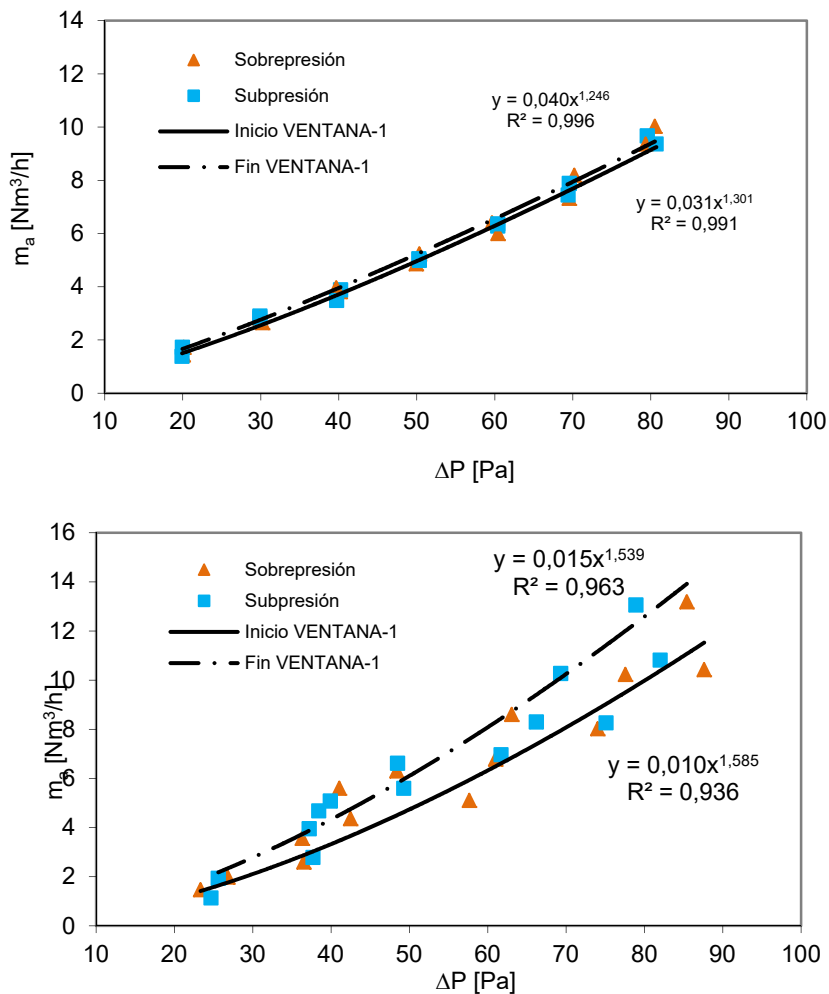


Figura B.9 – Medida de las infiltraciones para el muro con ventana

En la Figura B.9 se muestran los datos de la prueba, la gráfica superior corresponde al primer ensayo y la gráfica inferior al segundo. En el caso del segundo componente se puede ver que las infiltraciones son algo más altas que para el caso del muro opaco. Es de esperar ya que existen más juntas, pero aún así, los valores son reducidos y se mantienen entre el inicio y fin del periodo de estudio.

### B.1.2.2 Flujos y temperaturas

A continuación se muestran las medidas de flujo de calor en la envolvente durante el primer ensayo del muro con la ventana.

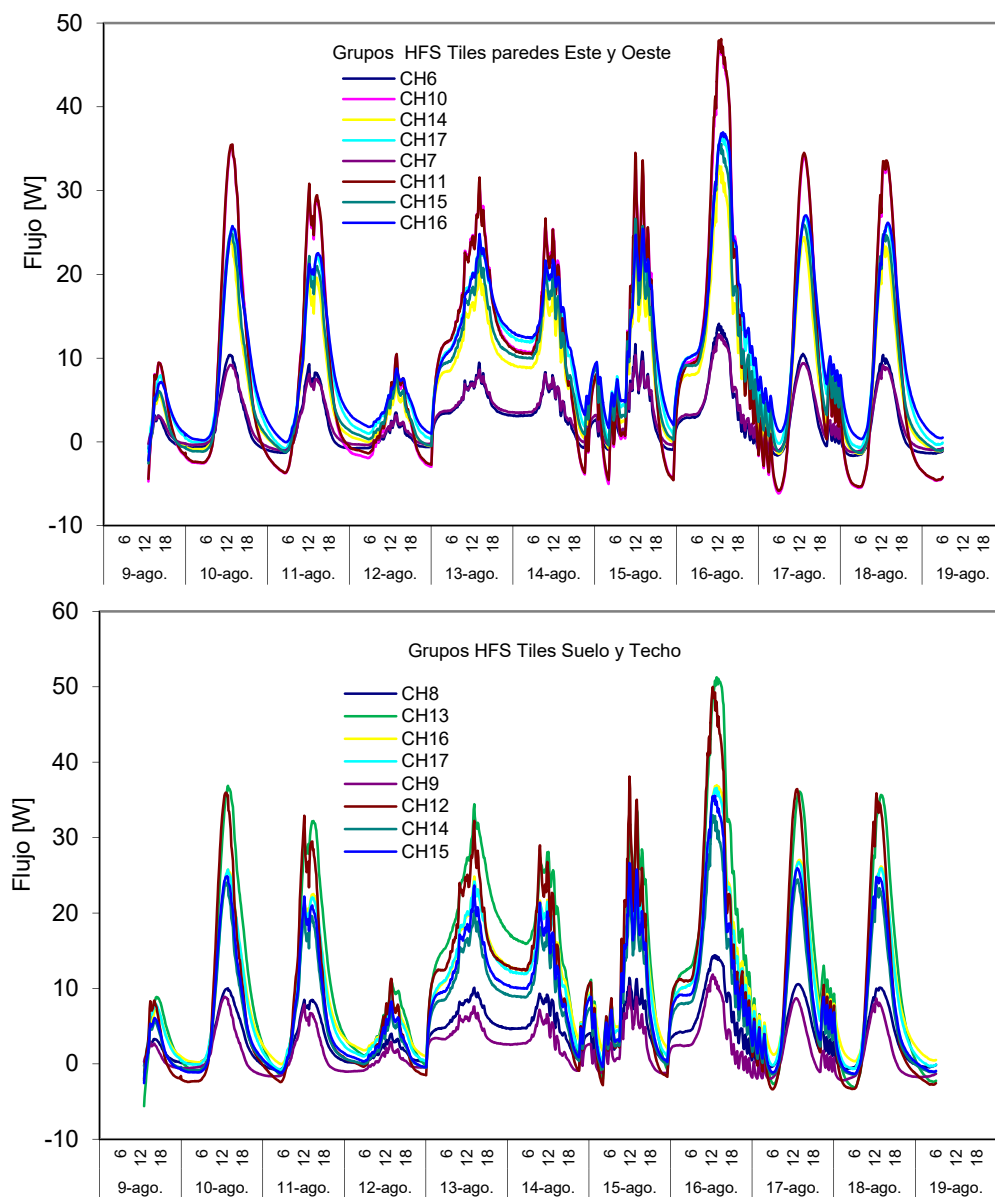


Figura B.10 – Flujos de calor registrados por cada grupo de HFS Tiles durante el primer ensayo del muro con ventana

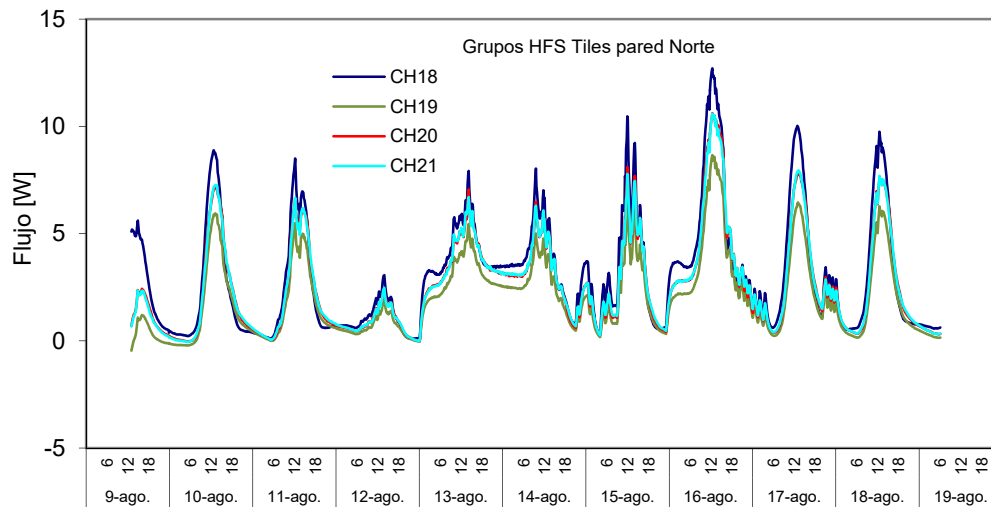


Figura B.11 – Flujos de calor registrados por cada grupo de HFS Tiles durante el primer ensayo del muro con ventana

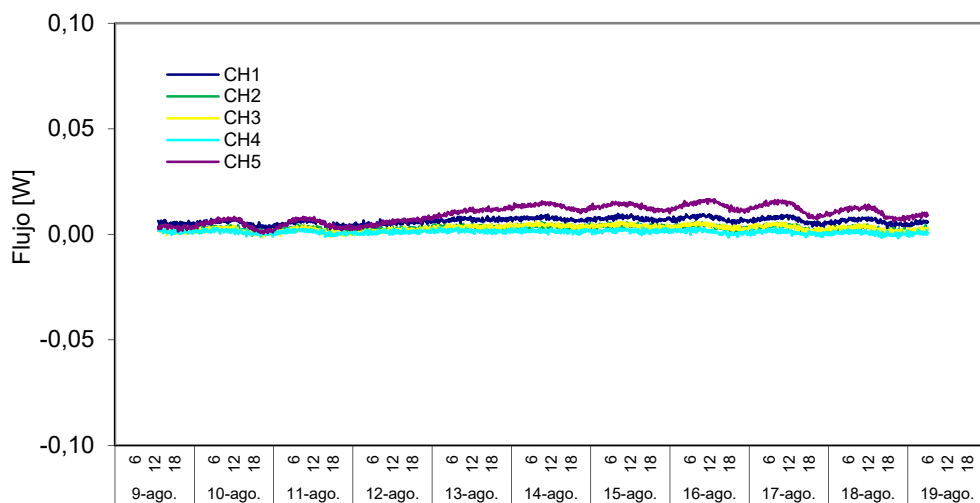


Figura B.12 –Ruido de medida del flujo registrado por las tiles durante el primer ensayo del muro con ventana

En la Figura B10 y en la Figura B.11 se puede ver que los flujos de la envolvente se ven afectados por la ganancia solar que atraviesa la ventana de la probeta, generando un aumento claro del flujo de calor saliente en la sala de ensayos que no está asociado a la rutina de calentamiento. Pero en todos los casos, se mantienen los criterios de comportamiento para grupos equivalentes, por lo que dicha ganancia solar no está afectando a la medida del flujo, gracias a la cortina de apantallamiento que se coloca tras la ventana. En la Figura B.12 se puede ver cómo el ruido de la señal de flujo sigue siendo muy pequeño, aunque sí se puede apreciar el efecto de la radiación solar.

A continuación se muestran las temperaturas correspondientes a la propia muestra de muro con ventana. En la Figura B.13 se recogen las temperatura media registrada por las sondas de aire de la sala de ensayos respecto a la registrada por la sonda de cuerpo negro. Se puede ver que la diferencia entre ambas es siempre inferior a 0,5 °C por lo que no existe un intercambio radiativo representativo dentro de la sala de ensayos, de forma que se puede considerar que la cortina situada tras la ventana del segundo

componente está realizando su función adecuadamente y la medida del flujo de la envolvente es correcta ya que las *tilas* no se ven afectadas por radiación directa. En este primer ensayo del segundo componente no se coloca sonda de temperatura en la cámara de aire entre la ventana y la cortina de protección. Pero analizando los datos, se ve que es interesante disponer de este dato para mejorar el modelo y verificar la eficiencia en la ganancia solar dentro de la sala de ensayos, por lo que se incluye en el conjunto de instrumentación propia de la muestra para el segundo ensayo.

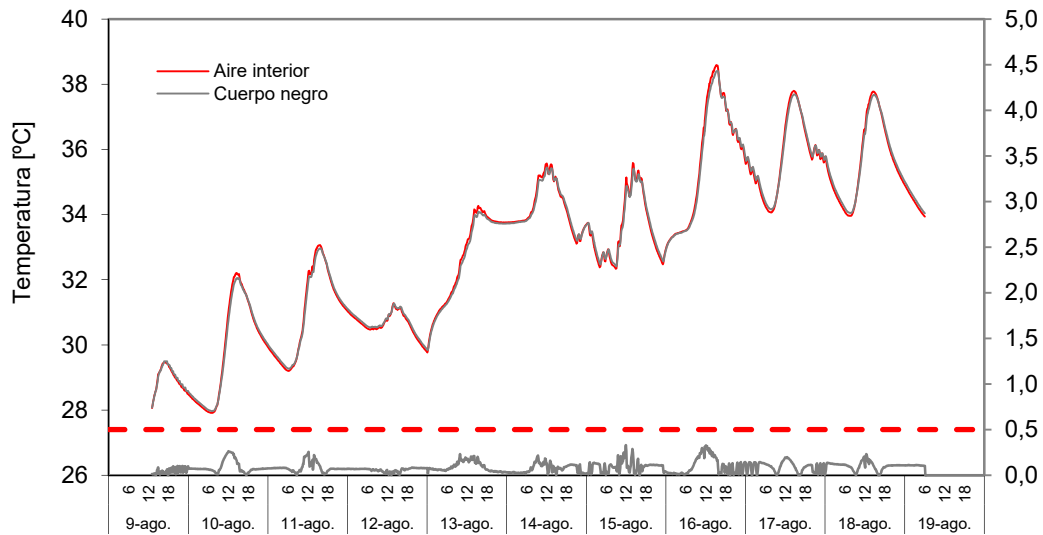


Figura B.13 –Ruido de medida del flujo registrado por las *tilas* durante el primer ensayo del muro con ventana

En la Figura B.14 se muestran las temperaturas registradas por las sondas de superficie instaladas en ambos vidrios de la ventana. En la Figura B.15 se determina la temperatura media del aire de la cámara y el salto de temperaturas entre vidrios, estos dos parámetros determinan el movimiento de convección dentro de dicha cámara y participan de forma determinante en el valor real de transmitancia del componente de ventana, cómo se puede ver en el apartado correspondiente de la memoria.

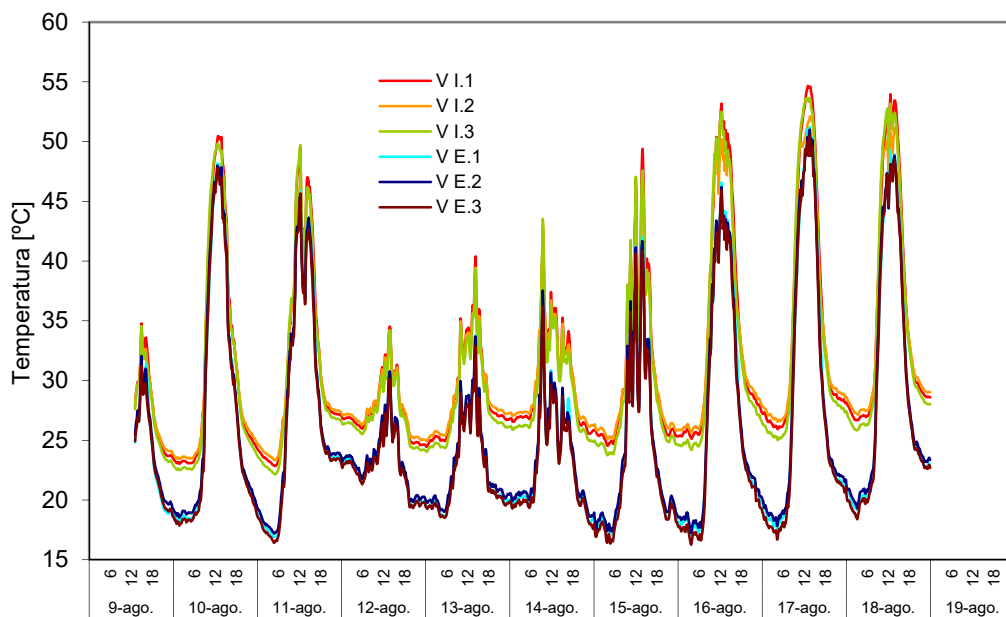


Figura B.14 –Temperaturas en los vidrios de la ventana durante el primer periodo de ensayo



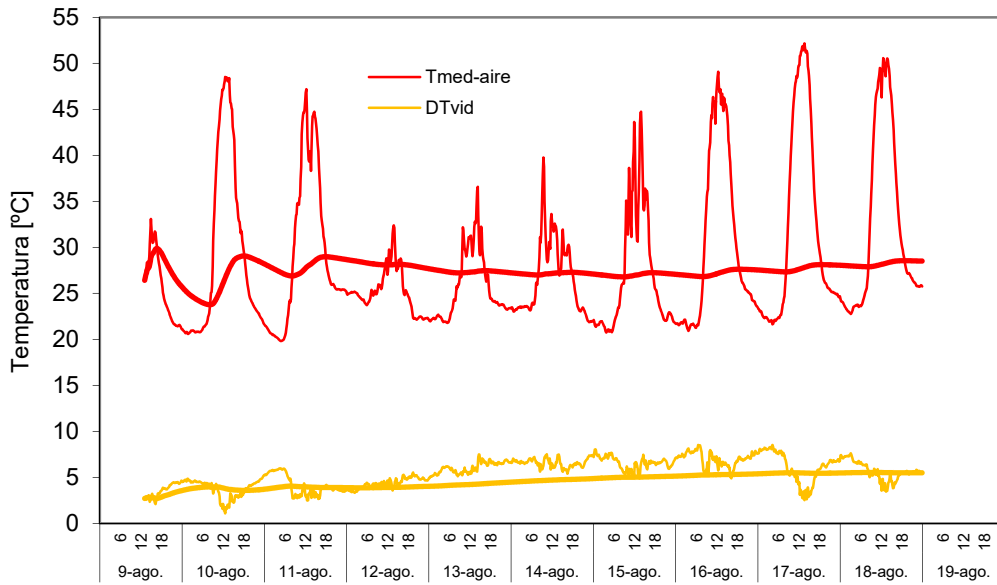


Figura B.15 –Temperaturas media aire cámara y salto de temperatura entre vidrios durante el primer ensayo

En la Figura B.16 se pueden ver los perfiles de temperatura en el anillo perimetral de la muestra para el punto central del lado inferior y para la zona de esquina. Se puede observar como las mayores diferencias entre los dos ejes se producen en las superficies más exteriores. Durante este ensayo la sonda de temperaturas de la zona de esquina en la primera capa dio error de lectura, problema que se repara durante el segundo ensayo.

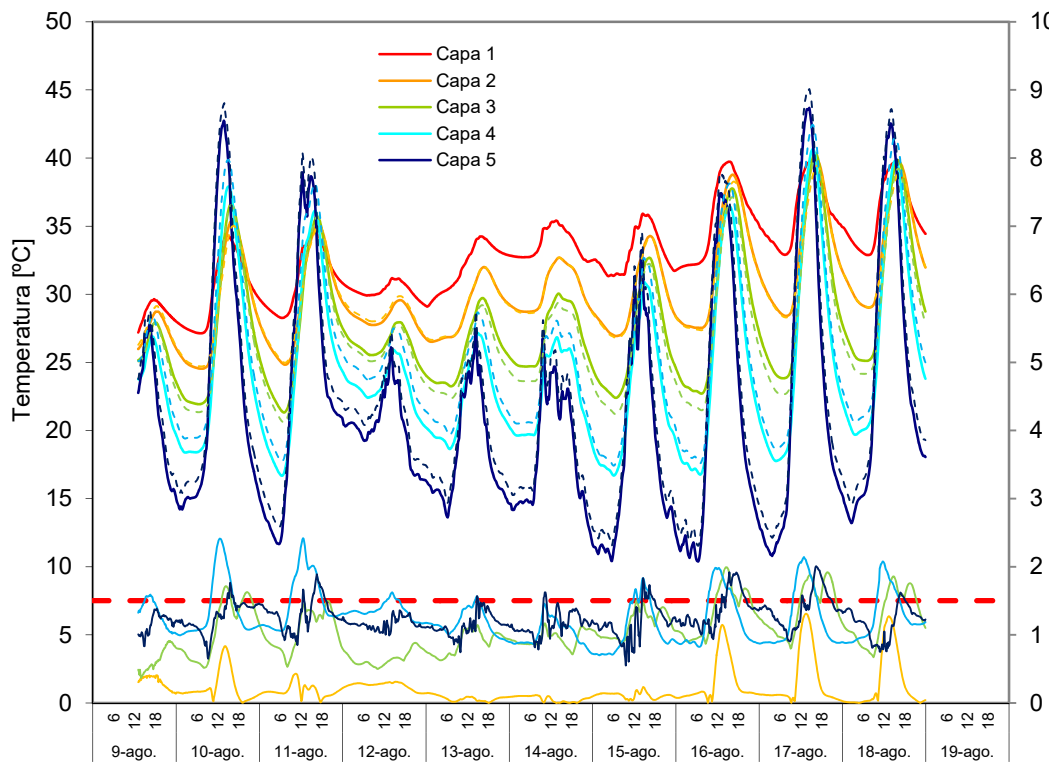


Figura B.16 –Perfiles de temperatura en el anillo perimetral para la zona central y la zona de esquina

Otra forma de cuatificar los efectos de borde es analizar la homogeneidad de temperaturas en la capa central, en la que se dispone de todo el mapa de sondas. Se puede observar que las diferencias medias son inferiores a 1,5°C y este valor no se supera salvo en periodos puntuales y con un margen reducido.

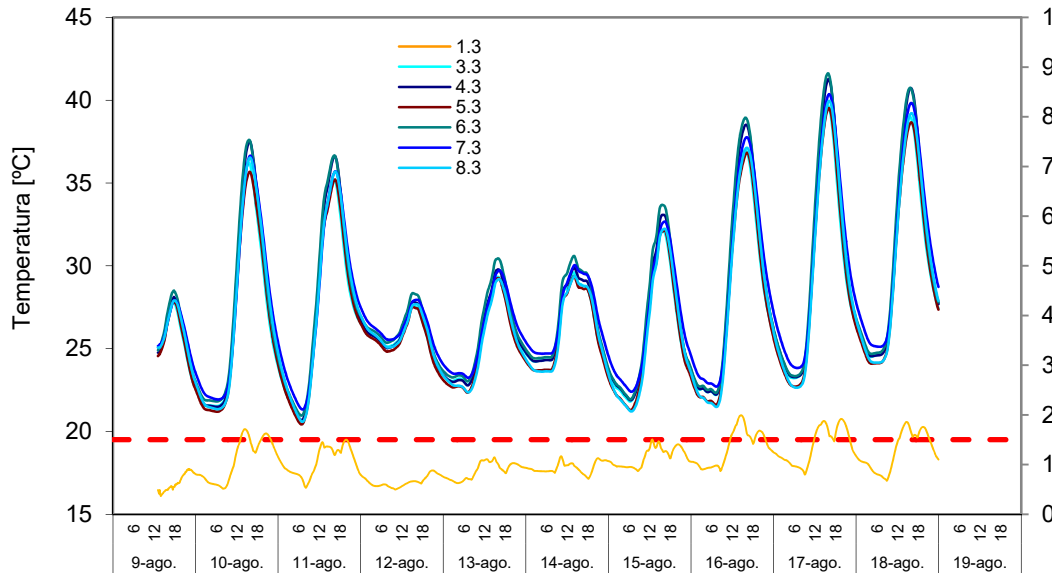


Figura B.17 –Campo temperaturas en la capa central del anillo perimetral de la segunda muestra del IQ-Test

## B.2 Modelos matemáticos

Una vez validados los datos experimentales se pasa a trabajar en los modelos de indentificación de parámetros, a continuación se muestran los resultados completos del conjunto de modelos que se han empleado para el análisis de las propiedades térmicas de los dos componentes del ensayo IQ-Test.

### B.2.2 Modelos del primer componente

En el proceso de trabajo del ensayo IQ-Test, primero se determinan las propiedades en la zona central del muro opaco y posteriormente se determinan los valores globales de toda la probeta. De forma que se puede restar la conductancia de la zona central al valor completo y calcular la conductancia del anillo perimetral que sirve como base para el estudio del segundo componente.

#### B.2.2.1 Modelo unidimensional

Para el análisis de la zona central con condiciones de flujo unidimensional se emplea un modelo de segundo orden como el que se muestra en la Figura B.18. Las ecuaciones que lo definen son idénticas a las ya espuestas en [A.17] y [A.18] para los modelos

unidimensionales del muro de calibración. En este caso se emplea un modelo de segundo orden ya que si el muro de calibración, que presenta el doble de espesor que el muro opaco del primer componente del IQ-Test, se representa por un modelo de tercer orden, se considera que con un orden inferior se obtienen resultados fiables, reduciendo el número de parámetros en la identificación.

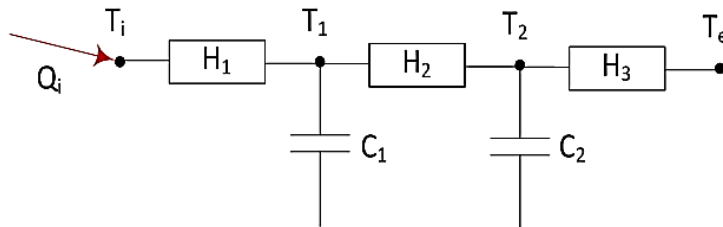


Figura B.18– Modelo segundo orden para la determinación transmitancia del perfil central,  $U_A$ , del muro opaco

A continuación se muestran los resultados del proceso de identificación para cada una de los dos periodos de ensayo realizados.

### 1º ensayo

variable	valor min.	valor inicial	valor max.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$H_1$	0.1	1	1000	3.28E-01	2.18E-02	93.861	0	0
$H_2$	0.1	1	1000	3.38E-01	7.95E-03	11.154	0	-0.0112
$C_1$	0.5	5	50	4.03E+00	1.55E+00	72.277	0.005	0.0002
$C_2$	0.5	5	50	9.15E+00	1.51E-01	86.984	0	0
$H_3$	0.1	1	1000	6.18E+01	1.71E+00	53.698	0.0033	0

Tabla B.3 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para el primer ensayo en la zona centra muro opaco

	$H_1$	$H_2$	$C_1$	$C_2$	$H_3$
$H_1$	1				
$H_2$	0.432	1			
$C_1$	0.091	0.343	1		
$C_2$	0.196	0.333	0.326	1	
$H_3$	0.161	0.058	0.401	0.094	1

Tabla B.4 – Coeficientes correlación para el primer ensayo en la zona centra muro opaco

variable	$u_{medida}$	unidades	dU [W/m <sup>2</sup> K]	dC [MJ/m <sup>2</sup> K]
$T_i$	0.2	K	0.001	0.120
$T_e$	0.5	K	0.002	0.200
$Q_i$	0.4	W/m <sup>2</sup>	0.004	0.480

Tabla B.5 – Efecto del error de las variables de medida en el resultado del modelo de identificación

## 2º ensayo

variable	valor min.	valor inicial	valor max.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	0.1	1	1000	2.89E-01	3.84E-03	0.902	0.185	0.880
H <sub>2</sub>	0.1	1	1000	4.39E-01	8.34E-03	0.046	0.387	0.963
C <sub>1</sub>	0.5	5	50	9.47E+00	3.03E-01	0.024	0.368	0.745
C <sub>2</sub>	0.5	5	50	4.01E+00	8.06E-01	0.788	0.636	0.332
H <sub>3</sub>	0.1	1	1000	2.63E+00	2.22E-02	0.903	0.499	0.559

Tabla B.6 – Resultados del proceso de identificación de parámetros para el segundo ensayo zona centra muro opaco

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>
H <sub>1</sub>	1				
H <sub>2</sub>	0.054	1			
C <sub>1</sub>	0.243	0.090	1		
C <sub>2</sub>	0.128	0.421	0.203	1	
H <sub>3</sub>	0.206	0.413	0.153	0.319	1

Tabla B.7 – Coeficientes correlación para el segundo ensayo en la zona centra muro opaco

variable	u <sub>medida</sub>	unidades	dU [W/m <sup>2</sup> K]	dC [MJ/m <sup>2</sup> K]
T <sub>i</sub>	0.2	K	0.0012	0.113
T <sub>e</sub>	0.5	K	0.0012	0.189
Q <sub>i</sub>	0.4	W/m <sup>2</sup>	0.0036	0.454

Tabla B.8 – Efecto del error de las variables de medida en el resultado del modelo de identificación

En la Tabla B.9 se recogen los valores finales de resistencia y capacidad térmica que se obtienen de los resultados de los modelos de identificación de parámetros. Hay que recordar que en el modelo de identificación de obtienen conductancias y los valores de capacidad térmica están en unidades de C<sub>i</sub> [W<sub>10min</sub>]. Estas son unidades raras de capacidad, pero se obtienen así debido a que el flujo está en [W] y el intervalo de tiempo para el cálculo es de 10 [min].

	R <sub>A</sub> [m <sup>2</sup> K/W]	C <sub>A</sub> [KJ/m <sup>2</sup> K]	Residuo [W]
1º ensayo	6,027	7,908	0,17
2º ensayo	6,117	8,090	0,15

Tabla B.9 – Resultados del modelo para el perfil central

Con estos datos y aplicando la propagación de errores se obtienen los resultados finales para la transmitancia del perfil central indicados en la Tabla B.10. Estos resultados son lo que se emplean para el primer estudio del ensayo de interlaboratorios.

	$U_A$ [W/m <sup>2</sup> K]	$e_{UA}$ [%]
1º ensayo	0,166	5,3
2º ensayo	0,164	2,9

Tabla B.10 – Resultados finales transmitancia unidimensional  $U_A$  para el perfil central del muro opaco

### B.2.2.2 Modelo completo

Una vez determinada la transmitancia del eje central, el siguiente dato del interlaboratorios es el cálculo de la transmitancia completa del componente opaco empleando un modelo a escala de celda. El modelo empleado se muestra en la Figura B.19. Las ecuaciones del mismo se indican en [B.1] y [B.2].

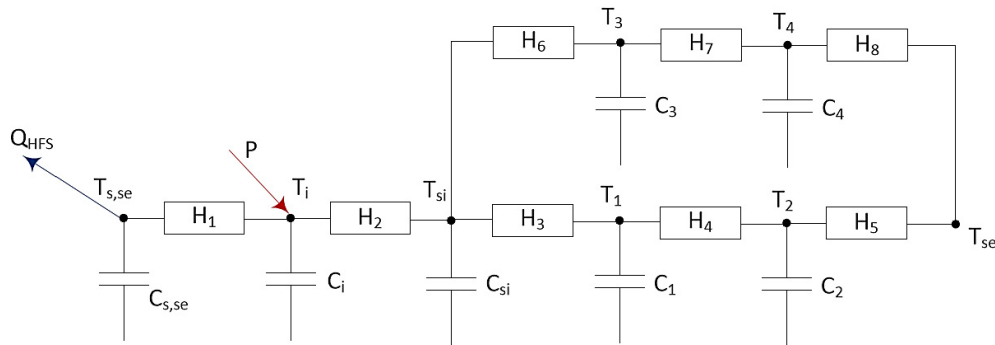


Figura B.19 – Modelo del muro opaco completo con dos ramas para representar el efecto de borde

$$\begin{bmatrix} dT_{s,se} \\ dT_i \\ dT_{si} \\ dT_1 \\ dT_2 \\ dT_3 \\ dT_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-H_1}{C_{s,se}} & \frac{H_1}{C_{s,se}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{H_1}{C_i} & \frac{-(H_1 + H_2)}{C_i} & \frac{H_2}{C_i} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_2}{C_{si}} & \frac{-(H_2 + H_3 + H_6)}{C_{si}} & \frac{H_3}{C_{si}} & 0 & \frac{H_6}{C_{si}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_3}{C_1} & \frac{-(H_3 + H_4)}{C_1} & \frac{H_4}{C_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{H_4}{C_2} & \frac{-(H_4 + H_5)}{C_2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_6}{C_3} & 0 & 0 & \frac{-(H_6 + H_7)}{C_3} & \frac{H_7}{C_3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{H_7}{C_4} & \frac{-(H_7 + H_8)}{C_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{s,se} \\ T_i \\ T_{si} \\ T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} -1 \\ C_{s,se} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{C_i} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_5}{C_2} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_8}{C_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ Q_{HFS,e} \\ T_{se} \end{bmatrix} dt + [\sigma] dt \quad [B.1]$$

$$\begin{bmatrix} T_{s,se}^m \\ T_i^m \\ T_{si}^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{s,se} \\ T_i \\ T_{si} \\ T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix} + [0] \begin{bmatrix} P \\ Q_{HFS,e} \\ T_{se} \end{bmatrix} + [e] \quad [B.2]$$

En este caso particular se podrían emplear las temperaturas interiores registradas en el componente de muro opaco como funciones de entrada al modelo, de forma que se mejoraría en gran medida la precisión de los resultados. Sin embargo, es complejo que se pueda disponer de esta información en otros ensayos, por lo tanto, se debe determinar las propiedades del componente a través de los datos propios de la celda. A continuación se muestran los resultados del proceso de identificación de parámetros.

### 1º ensayo

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
<b>H<sub>1</sub></b>	100	300	1000	3.56E+02	4.02E+00	85.7383	0.00016	0.00024
<b>C<sub>s,se</sub></b>	500	1000	1500	9.02E+02	2.81E+01	36.2098	0.00012	0.00042
<b>C<sub>i</sub></b>	1	50	200	3.75E+01	2.64E+00	24.7917	0.00037	-0.00035
<b>H<sub>2</sub></b>	10	50	200	6.87E+01	2.31E+00	23.3196	-0.00046	0.00041
<b>C<sub>si</sub></b>	1	50	100	4.83E+01	2.67E+01	73.9725	-0.00028	-0.00026
<b>H<sub>3</sub></b>	0.6	1	1000	1.07E+00	2.26E-04	47.3765	-0.00032	0
<b>H<sub>6</sub></b>	0.6	1	1000	2.27E+00	1.35E-01	50.1433	-0.00034	0.00031
<b>C<sub>1</sub></b>	1	250	500	3.80E+01	1.54E+01	96.0384	-0.00015	0
<b>H<sub>4</sub></b>	0.6	1	1000	1.46E+00	4.40E-02	11.8472	-0.00049	-0.00028
<b>C<sub>2</sub></b>	1	250	500	4.02E+01	9.26E+00	31.1362	0.00026	0.00050
<b>H<sub>5</sub></b>	0.6	1	1000	2.20E+01	4.52E-02	98.9031	0	0.00022
<b>C<sub>3</sub></b>	1	250	500	7.42E+01	3.98E+00	2.1728	-0.00029	0.00028
<b>H<sub>7</sub></b>	0.6	1	1000	2.96E+00	8.29E-03	85.7467	-0.00036	-0.00024
<b>C<sub>4</sub></b>	1	250	500	1.28E+02	2.67E+01	84.4039	0	0.00042
<b>H<sub>8</sub></b>	0.6	1	1000	3.01E+01	1.26E-01	80.3147	0.00013	0

Tabla B.11 – Resultados identificación parámetros para 1º ensayo en el modelo completo de muro opaco

	H <sub>1</sub>	C <sub>s,se</sub>	C <sub>i</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>si</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>7</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>8</sub>
<b>H<sub>1</sub></b>	1														
<b>C<sub>s,se</sub></b>	0.6	1													
<b>C<sub>i</sub></b>	0.6	0.1	1												
<b>H<sub>2</sub></b>	0.2	0.4	0.1	1											
<b>C<sub>si</sub></b>	0.4	0.2	0.2	0.1	1										
<b>H<sub>3</sub></b>	0.6	0.4	0.4	0.6	0.2	1									
<b>H<sub>6</sub></b>	0.6	0.3	0.0	0.5	0.6	0.6	1								
<b>C<sub>1</sub></b>	0.6	0.6	0.3	0.5	0.4	0.1	0.5	1							
<b>H<sub>4</sub></b>	0.4	0.2	0.2	0.2	0.1	0.5	0.3	0.1	1						
<b>C<sub>2</sub></b>	0.5	0.1	0.1	0.4	0.3	0.0	0.1	0.5	0.4	1					
<b>H<sub>5</sub></b>	0.2	0.1	0.4	0.4	0.2	0.0	0.6	0.0	0.3	0.1	1				
<b>C<sub>3</sub></b>	0.2	0.1	0.2	0.4	0.0	0.1	0.5	0.5	0.4	0.1	0.5	1			
<b>H<sub>7</sub></b>	0.5	0.5	0.5	0.1	0.5	0.1	0.1	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	1		
<b>C<sub>4</sub></b>	0.2	0.1	0.6	0.1	0.4	0.5	0.2	0.1	0.5	0.1	0.3	0.1	0.3	1	
<b>H<sub>8</sub></b>	0.4	0.0	0.4	0.4	0.2	0.5	0.0	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.2	1

Tabla B.12 – Coeficientes de correlación parámetros modelo completo muro opaco para 1º ensayo

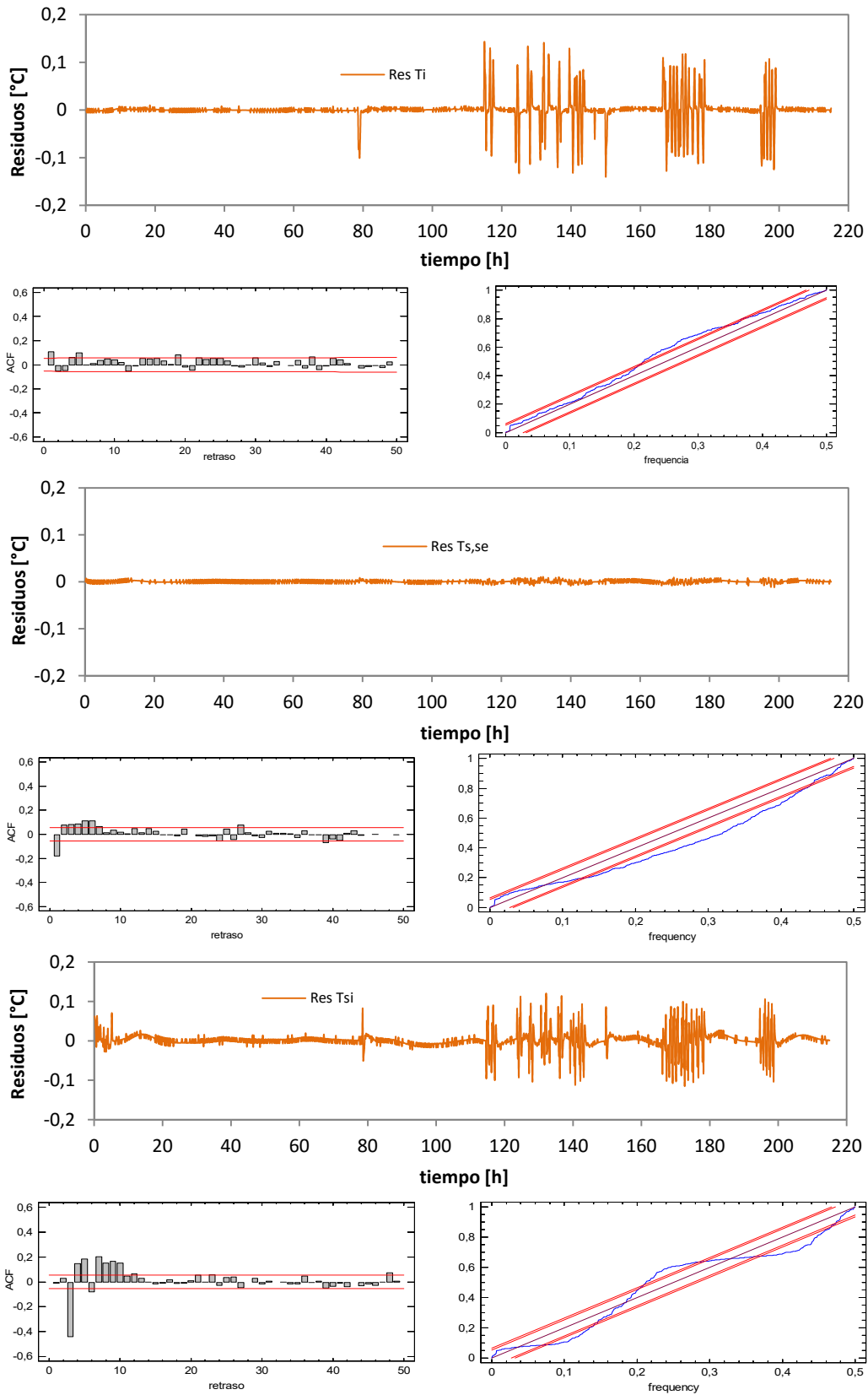


Figura B.20 – Ajuste del modelo para el primer ensayo del muro opaco

## 2º ensayo

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	100	300	1000	3.47E+02	7.93E+00	16.8653	0.00077	0.00042
C <sub>s,se</sub>	500	1000	1500	9.24E+02	1.39E+01	11.6812	0.00067	0.00059
C <sub>i</sub>	1	50	200	4.88E+01	2.57E+00	37.5728	0.00073	0.00070
H <sub>2</sub>	10	50	200	6.47E+01	3.49E-01	75.2596	0.00079	0.00087
C <sub>si</sub>	1	50	100	1.03E+02	9.40E+00	24.2198	0.00095	0.00041
H <sub>3</sub>	0.6	1	1000	1.74E+00	6.64E-02	8.6567	0.00020	0
H <sub>6</sub>	0.6	1	1000	2.86E+00	2.69E-03	77.0433	0.00041	0.00029
C <sub>1</sub>	1	250	500	3.11E+01	2.82E+00	94.8852	0.00052	0
H <sub>4</sub>	0.6	1	1000	1.37E+00	9.31E-03	75.9915	0.00018	0.00044
C <sub>2</sub>	1	250	500	5.25E+01	7.96E+00	28.7426	0.00098	0.00085
H <sub>5</sub>	0.6	1	1000	2.16E+02	2.53E+01	19.9403	0	0.00017
C <sub>3</sub>	1	250	500	5.65E+01	4.24E+00	5.3987	0.00068	0.00096
H <sub>7</sub>	0.6	1	1000	1.97E+00	6.51E-02	3.7502	0.00019	0.00045
C <sub>4</sub>	1	250	500	6.27E+01	5.29E+00	37.0835	0	0.00024
H <sub>8</sub>	0.6	1	1000	2.61E+00	2.25E-01	1.9595	0.00004	0

Tabla B.13 – Resultados identificación parámetros para 2º ensayo en el modelo completo de muro opaco

	H <sub>1</sub>	C <sub>s,se</sub>	C <sub>i</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>si</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>7</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>8</sub>
H <sub>1</sub>	1														
C <sub>s,se</sub>	0.6	1													
C <sub>i</sub>	0.3	0.2	1												
H <sub>2</sub>	0.4	0.1	0.5	1											
C <sub>si</sub>	0.2	0.4	0.6	0.3	1										
H <sub>3</sub>	0.3	0.5	0.1	0.3	0.0	1									
H <sub>6</sub>	0.2	0.3	0.1	0.3	0.1	0.5	1								
C <sub>1</sub>	0.6	0.3	0.4	0.5	0.2	0.1	0.2	1							
H <sub>4</sub>	0.2	0.5	0.3	0.2	0.0	0.1	0.5	0.4	1						
C <sub>2</sub>	0.5	0.4	0.6	0.1	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	1					
H <sub>5</sub>	0.1	0.2	0.0	0.3	0.6	0.6	0.1	0.2	0.6	0.3	1				
C <sub>3</sub>	0.4	0.3	0.1	0.0	0.5	0.3	0.5	0.2	0.6	0.4	0.2	1			
H <sub>7</sub>	0.4	0.3	0.4	0.0	0.3	0.1	0.3	0.4	0.5	0.1	0.2	0.4	1		
C <sub>4</sub>	0.4	0.4	0.6	0.6	0.3	0.1	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.1	0.4	1	
H <sub>8</sub>	0.6	0.6	0.1	0.3	0.5	0.6	0.3	0.2	0.4	0.1	0.5	0.5	0.0	0.4	1

Tabla B.14 – Coeficientes de correlación parámetros modelo completo muro opaco para 2º ensayo



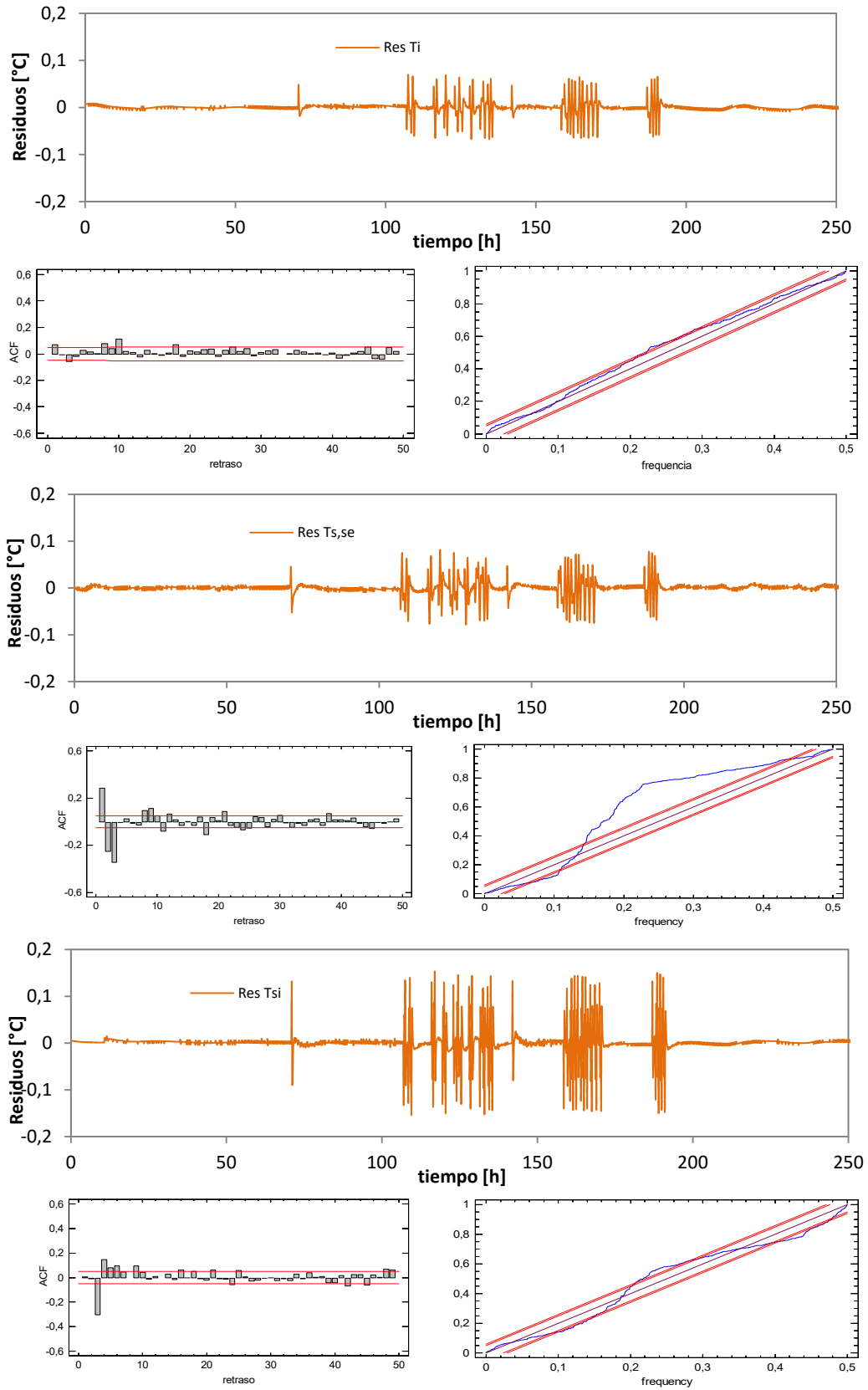


Figura B.21 – Ajuste del modelo para el segundo ensayo del muro opaco

En base a los resultados obtenidos en los dos modelos de identificación de parámetros se obtienen los valores de propiedades térmicas recogidos en la Tabla B.15.

		RAMA 1	RAMA 2
1º ENSAYO	<b>U</b> [W/K]	0,599	1,231
	<b>C</b> [MJ/K]	0,061	0,136
2º ENSAYO	<b>U</b> [W/K]	0,763	0,806
	<b>C</b> [MJ/K]	0,081	0,102

Tabla B.15 – Valores de conductancias y capacidades térmicas de cada rama del modelo de celda completo para el muro opaco

Con estos datos y aplicando la propagación de incertidumbres, Tabla B.16 y Tabla B.17, del ensayo se obtienen los resultados finales indicados en la Tabla B.18 que corresponden a los valores que se emplean para el estudio de interlaboratorios correspondientes al valor de transmitancia total obtenido de la celda para el muro opaco completo.

variable	$u_{medida}$	unidades	dU [W/m <sup>2</sup> K]	dC [MJ/m <sup>2</sup> K]
<b>Q<sub>HFS</sub></b>	1	W	0.008	0.005
<b>p<sub>e</sub></b>	0.3	W	0.002	0.001
<b>T<sub>se</sub></b>	0.5	K	0.018	0.011

Tabla B.16 – Efecto del error de las variables de medida en el resultado del modelo de identificación para el primer ensayo

variable	$u_{medida}$	unidades	dU [W/m <sup>2</sup> K]	dC [MJ/m <sup>2</sup> K]
<b>Q<sub>HFS</sub></b>	1.7	W	0.010	0.008
<b>p<sub>e</sub></b>	0.4	W	0.010	0.001
<b>T<sub>se</sub></b>	0.5	K	0.025	0.015

Tabla B.17 – Efecto del error de las variables de medida en el resultado del modelo de identificación para el segundo ensayo

	<b>U</b> [W/K]	<b>C</b> [MJ/K]	$e_U$ [%]	$e_C$ [%]
<b>1º ensayo</b>	1,830	0,197	2,8	25,8
<b>2º ensayo</b>	1,569	0,183	3,5	13,4

Tabla B.18 – Resultados del valor de transmitancia **U** y capacidad térmica **C** para el muro opaco completo

En cuanto a la muestra de muro opaco, queda por valorar si la ubicación de la probeta en el portamuestras representa una diferencia efectiva en la interacción con la radiación solar incidente debido a sombras. Para ello se amplía el modelo de celda completo a las funciones de excitación correspondientes a las condiciones exteriores registradas por la sonda de temperatura ventilada y por el solarímetro vertical situado sobre la muestra, ver Figura B.22. Las ecuaciones del modelo se muestran en [B.3] y [B.4].



## 1º ensayo

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	100	300	1000	4.56E+02	1.04E+00	57.0485	0	0.00179
C <sub>s,se</sub>	500	1000	1500	8.19E+02	5.05E+00	66.0263	0.00468	0.00190
C <sub>i</sub>	1	50	200	5.59E+01	4.05E+00	77.0987	0	0
H <sub>2</sub>	10	50	200	5.75E+01	9.02E-01	4.8147	-0.00210	0.00173
C <sub>si</sub>	1	50	100	8.54E+01	5.03E+00	88.2668	-0.00220	0.00275
H <sub>3</sub>	0.6	1	1000	7.73E-01	5.75E-02	23.9228	-0.00424	0
H <sub>6</sub>	0.6	1	1000	2.41E+00	1.55E-01	48.5600	-0.00048	-0.00323
C <sub>1</sub>	1	250	500	3.09E+01	5.51E+00	86.5588	0	-0.00077
H <sub>4</sub>	0.6	1	1000	1.55E+01	1.21E+00	2.0669	0.00455	-0.00059
C <sub>2</sub>	1	250	500	6.21E+01	9.07E+00	10.1520	0	0
H <sub>5</sub>	0.6	1	1000	1.82E+02	5.77E-01	24.7198	0.00467	-0.00343
C <sub>3</sub>	1	250	500	6.57E+01	2.81E+00	28.6418	-0.00198	-0.00445
H <sub>7</sub>	0.6	1	1000	3.12E+00	1.68E-01	58.5331	-0.00443	0.00386
C <sub>4</sub>	1	250	500	9.50E+01	1.84E+01	46.4829	0.00134	0
H <sub>8</sub>	0.6	1	1000	5.55E+00	1.22E+00	97.8623	0.00187	-0.00188
H <sub>e</sub>	10	150	500	1.26E+02	6.18E+00	94.9916	-0.00330	0
A <sub>1</sub>	0.1	3	7	1.95E+00	4.42E-01	37.8222	0.00166	0.00301

Tabla B.19 – Resultados identificación parámetros para 1º ensayo en el modelo completo de muro opaco con las variables de ambiente exterior

	H <sub>1</sub>	C <sub>s,se</sub>	C <sub>i</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>si</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>7</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>8</sub>	H <sub>e</sub>	A <sub>1</sub>
H <sub>1</sub>	1																
C <sub>s,se</sub>	0.1	1															
C <sub>i</sub>	0.4	0.3	1														
H <sub>2</sub>	0.7	0.5	0.7	1													
C <sub>si</sub>	0.8	0.7	0.8	0.2	1												
H <sub>3</sub>	0.1	0.3	0.2	0.5	0.0	1											
H <sub>6</sub>	0.2	0.7	0.3	0.7	0.8	0.6	1										
C <sub>1</sub>	0.4	0.9	0.1	0.1	0.5	0.2	0.7	1									
H <sub>4</sub>	0.3	0.9	0.2	0.7	0.5	0.9	0.3	0.2	1								
C <sub>2</sub>	0.3	0.3	0.2	0.4	0.5	0.9	0.1	0.8	0.1	1							
H <sub>5</sub>	0.3	0.4	0.2	0.0	0.3	0.6	0.4	0.0	0.2	0.3	1						
C <sub>3</sub>	0.1	0.4	0.2	0.7	0.8	0.4	0.6	0.7	0.4	0.1	0.3	1					
H <sub>7</sub>	0.5	0.4	0.1	0.9	0.2	0.2	0.8	0.3	0.2	0.6	0.5	0.8	1				
C <sub>4</sub>	0.2	0.3	0.3	0.0	0.3	0.7	0.4	0.5	0.3	0.5	0.8	0.9	0.3	1			
H <sub>8</sub>	0.1	0.8	0.1	0.6	0.4	0.9	0.3	0.4	0.5	0.3	0.8	0.7	0.5	0.2	1		
H <sub>e</sub>	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.1	0.6	0.3	0.4	0.0	0.3	0.2	0.0	0.8	1	
A <sub>1</sub>	0.7	0.3	0.8	0.1	0.6	0.1	0.4	0.2	0.2	0.1	0.3	0.2	0.4	0.1	0.2	0.7	1

Tabla B.20 – Coeficientes de correlación parámetros modelo completo exterior del muro opaco para 1º ensayo

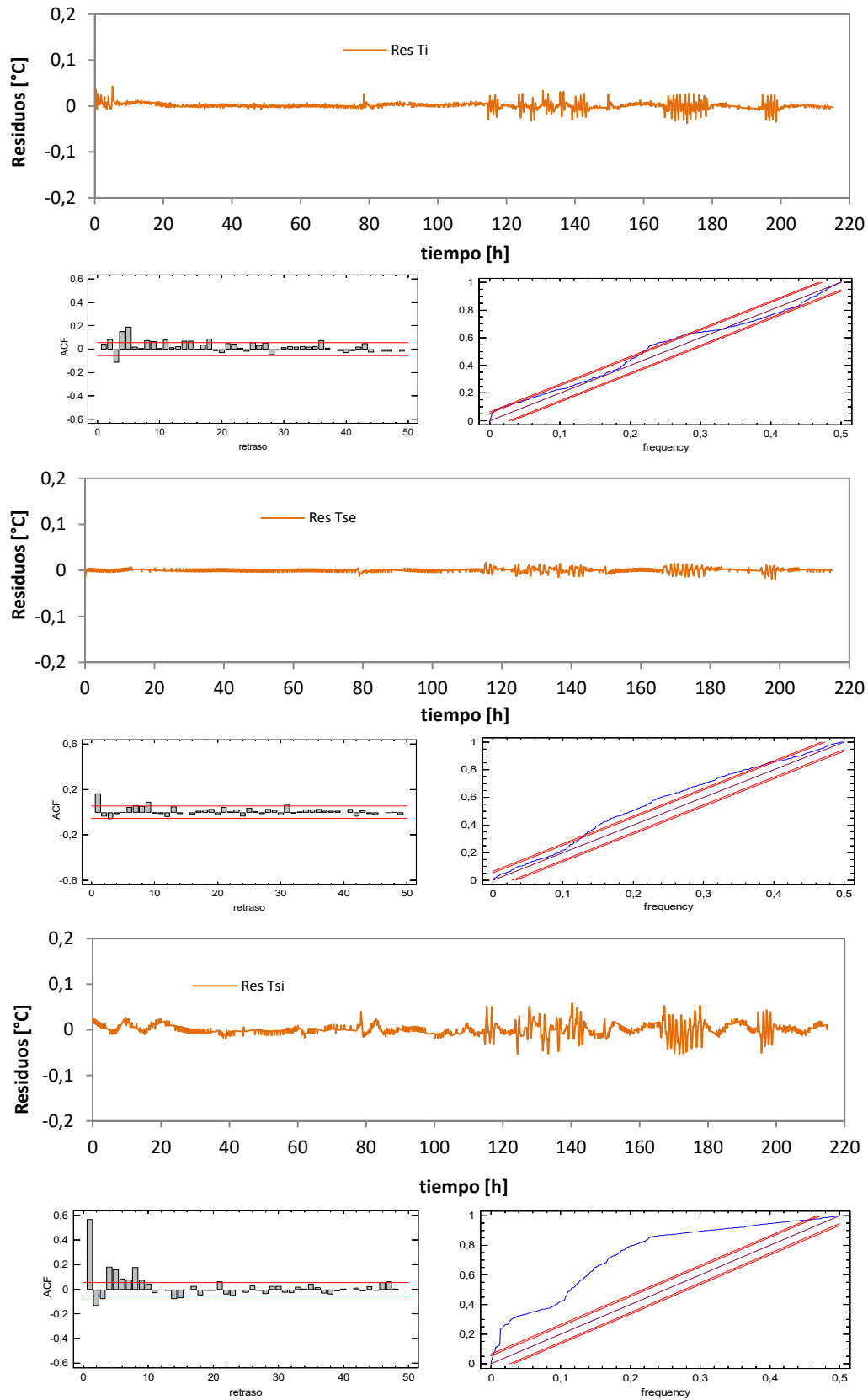


Figura B.23 – Ajuste del modelo para el primer ensayo del muro opaco con condiciones exteriores

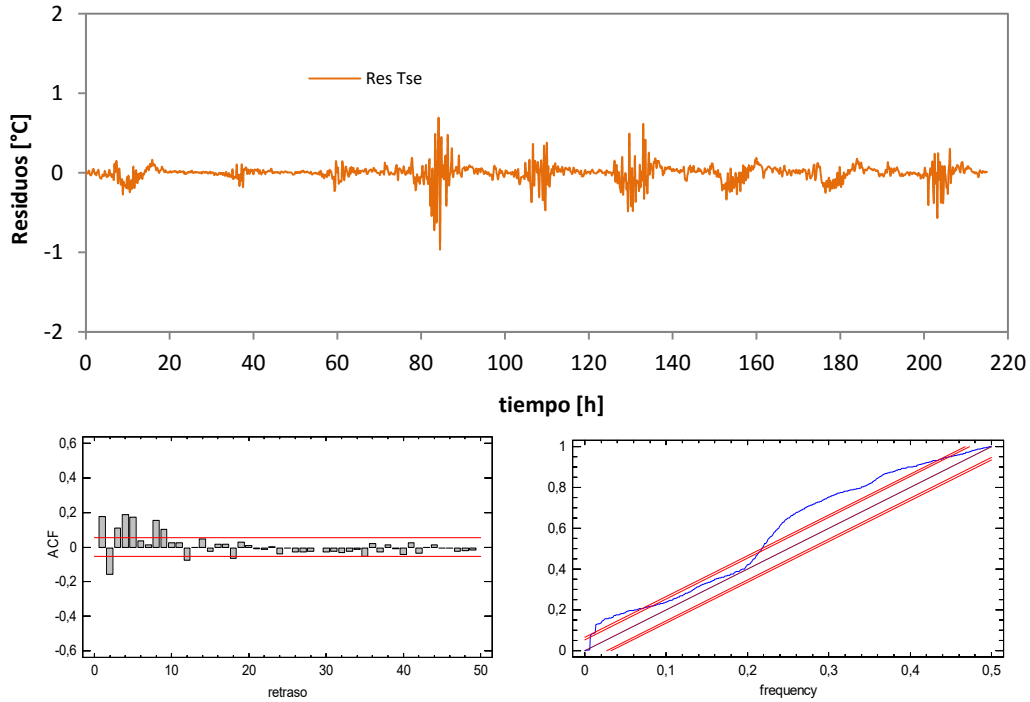


Figura B.24 – Ajuste del modelo para el primer ensayo del muro opaco con condiciones exteriores

## 2º ensayo

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	100	300	1000	2.90E+02	3.67E+01	87.2623	-0.00149	0.00461
C <sub>s,se</sub>	500	1000	1500	8.91E+02	8.96E+01	38.6521	0.00352	-0.00361
C <sub>1</sub>	1	50	200	6.54E+01	9.96E+00	83.2884	0	-0.00446
H <sub>2</sub>	10	50	200	6.23E+01	6.99E+00	25.9227	-0.00413	0
C <sub>si</sub>	1	50	100	8.96E+01	1.43E+01	4.2742	0.00269	0.00411
H <sub>3</sub>	0.6	1	1000	6.44E+00	1.24E-01	8.6494	0.00366	0
H <sub>6</sub>	0.6	1	1000	3.27E+00	4.18E-01	32.4600	0	-0.00228
C <sub>1</sub>	1	250	500	4.22E+01	1.79E+00	78.2838	-0.00394	0.00069
H <sub>4</sub>	0.6	1	1000	1.32E+00	7.90E-02	52.9734	0.00177	0
C <sub>2</sub>	1	250	500	8.25E+01	1.62E+01	91.5313	0	0.00242
H <sub>5</sub>	0.6	1	1000	4.52E+00	1.61E-01	29.7900	0.00360	-0.00441
C <sub>3</sub>	1	250	500	2.86E+01	2.02E+00	52.4876	0	0
H <sub>7</sub>	0.6	1	1000	8.57E-01	1.35E-01	11.9653	-0.00285	0.00361
C <sub>4</sub>	1	250	500	7.04E+01	1.84E+01	84.8449	-0.00463	-0.00230
H <sub>8</sub>	0.6	1	1000	7.45E+01	3.13E+00	58.0730	0	0.00472
H <sub>e</sub>	10	150	500	1.01E+02	6.97E+00	22.0486	0	0.00478
A <sub>1</sub>	0.1	3	7	2.04E+00	5.23E-01	1.4947	0.00065	0.00447

Tabla B.21 – Resultados identificación parámetros para 2º ensayo en el modelo completo de muro opaco con las variables de ambiente exterior

	H <sub>1</sub>	C <sub>s,se</sub>	C <sub>i</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>si</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>7</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>8</sub>	H <sub>e</sub>	A <sub>1</sub>
H <sub>1</sub>	1																
C <sub>s,se</sub>	0.7	1															
C <sub>i</sub>	0.6	0.5	1														
H <sub>2</sub>	0.2	0.1	0.7	1													
C <sub>si</sub>	0.3	0.1	0.1	0.9	1												
H <sub>3</sub>	0.2	0.9	0.8	0.8	0.3	1											
H <sub>6</sub>	0.6	0.7	0.1	0.4	0.2	0.5	1										
C <sub>1</sub>	0.6	0.0	0.7	0.7	0.2	0.3	0.5	1									
H <sub>4</sub>	0.0	0.9	0.8	0.2	0.2	0.7	0.8	0.6	1								
C <sub>2</sub>	0.9	0.8	0.4	0.9	0.6	0.5	0.4	0.6	0.0	1							
H <sub>5</sub>	0.3	0.8	0.4	0.0	0.8	0.9	0.6	0.9	0.5	0.5	1						
C <sub>3</sub>	0.2	0.9	0.2	0.4	0.3	0.8	0.1	0.6	0.8	0.5	0.9	1					
H <sub>7</sub>	0.2	0.5	0.2	0.1	0.1	0.7	0.2	0.3	0.2	0.6	0.0	0.4	1				
C <sub>4</sub>	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.6	0.7	0.1	0.0	0.8	0.7	0.3	1			
H <sub>8</sub>	0.4	0.6	0.4	0.9	0.4	0.2	0.5	0.5	0.7	0.7	0.1	0.2	0.9	0.8	1		
H <sub>e</sub>	0.5	0.2	0.3	0.5	0.0	0.8	0.8	0.8	0.2	0.7	0.6	0.1	0.3	0.8	0.4	1	
A <sub>1</sub>	0.7	0.7	0.6	0.2	0.8	0.1	0.4	0.7	0.7	0.3	0.6	0.5	0.3	0.8	0.4	0.0	1

Tabla B.22 – Coeficientes de correlación parámetros modelo completo exterior del muro opaco para 2º ensayo

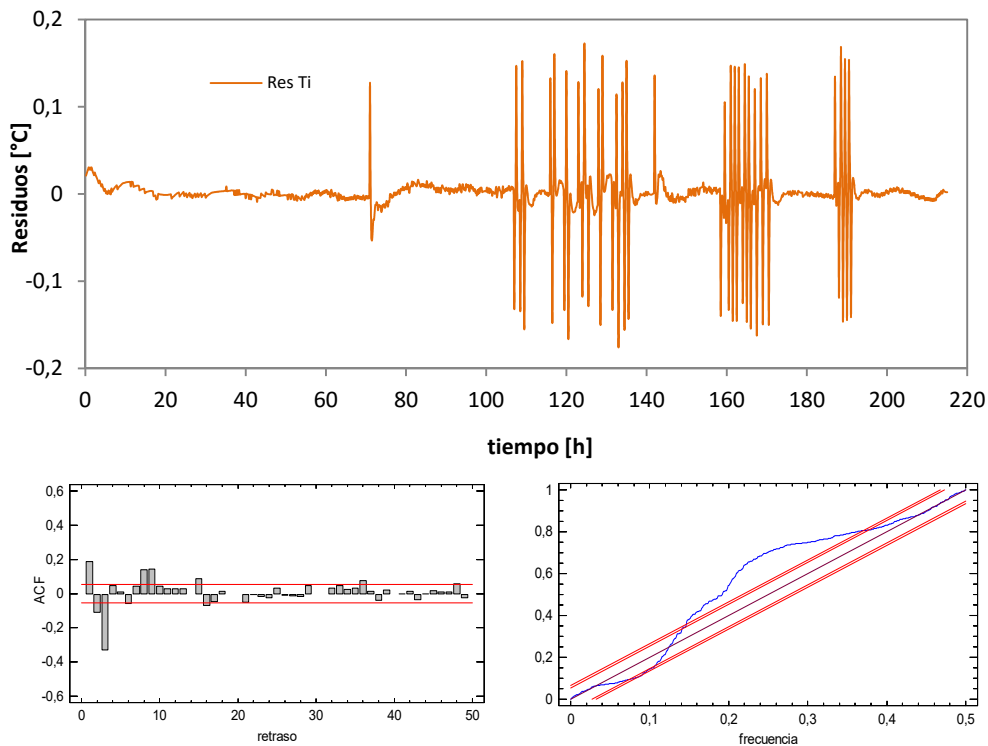


Figura B.25 – Ajuste del modelo para el segundo ensayo del muro opaco con condiciones exteriores

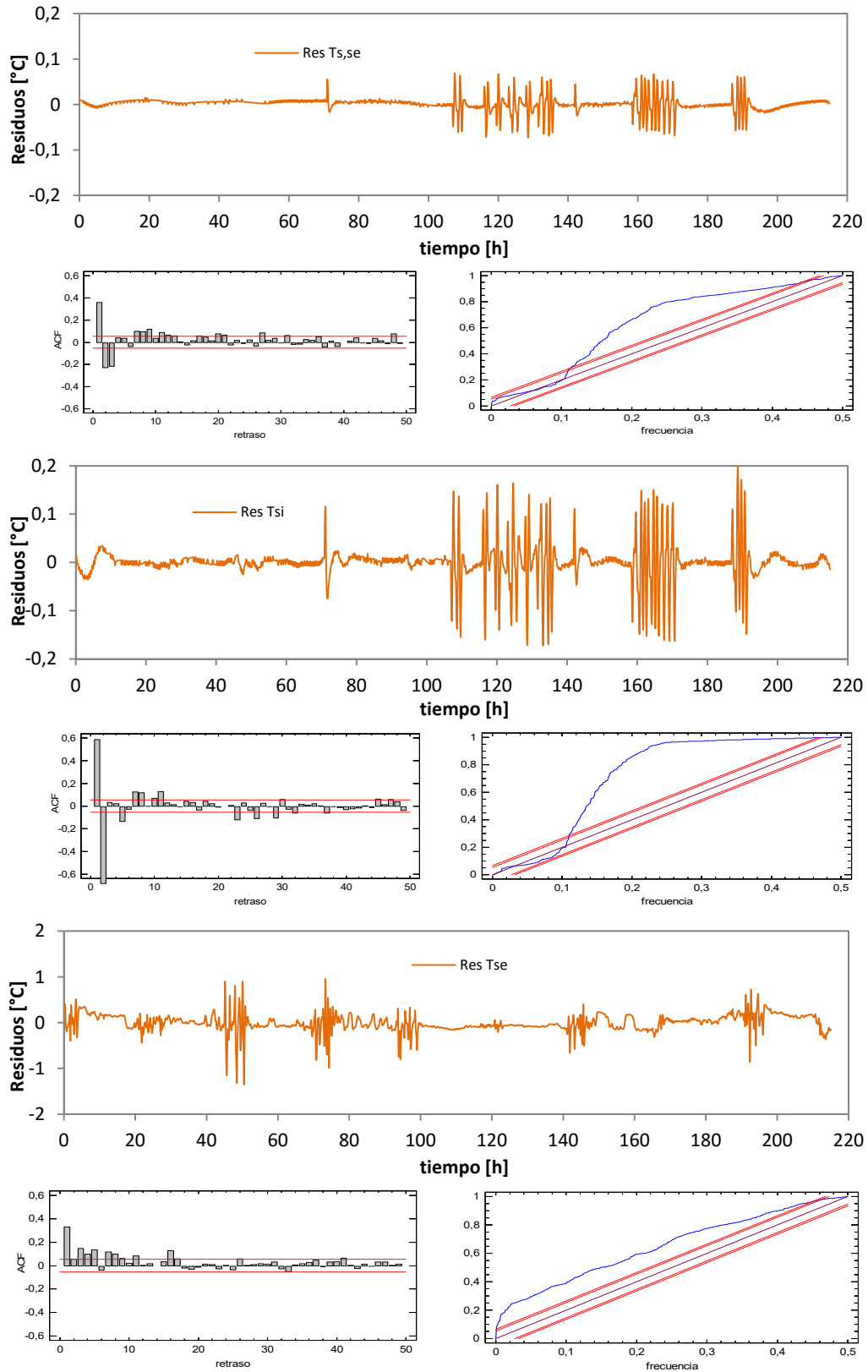


Figura B.26 – Ajuste del modelo para el segundo ensayo del muro opaco con condiciones exteriores



Con los resultados de los modelos que contemplan las condiciones de temperatura exterior y radiación solar se obtienen los datos mostrados en la Tabla B.23. Se puede concluir que la colocación de la muestra en el portaprobetas no es representativa de cara a efectos de ganancia solar o de coeficiente de transmisión de calor por convección.

	$H_e$ [W/K]	$h_e$ [W/m <sup>2</sup> K]	$A_{Gv}$ [m <sup>2</sup> ]	$A_{Gv}$ [-]
1º ENSAYO	121.6	16.82	1.947	0.269
2º ENSAYO	101.1	13.98	2.042	0.282

Tabla B.23 – Parámetros del intercambio de calor de la superficie del muro opaco con el ambiente exterior

### B.2.3 Modelos del segundo componente

Una vez caracterizado el primer componente, se retira la zona central del muro opaco y se sustituye por la ventana de referencia. La colocación de dicha ventana esta definida con precisión en las norma del ensayo interlaboratorios de forma que los efectos de borde seán similares entre centros participantes. A continuación se desarrollan los modelos de identificación de parámetros empleados en el estudio del segundo componente y los resultados que se obtienen.

#### Modelo simple

El modelo más simple que representa el segundo componente es el que se muestra en la Figura B.27, y cuyas ecuaciones se indican en [B.4] y [B.5].

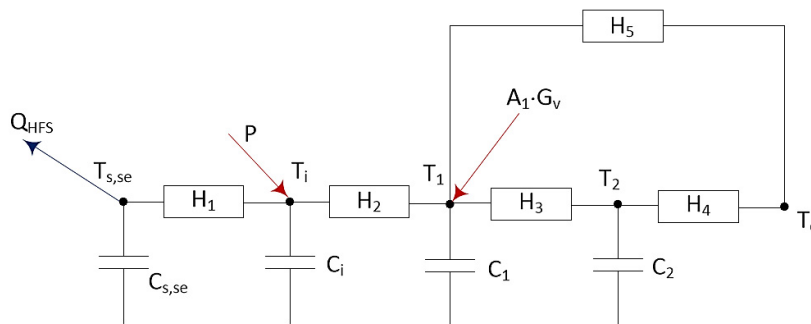


Figura B.27 – Modelo simple de la segunda muestra del IQ-Test

$$\begin{bmatrix} dT_{s,se} \\ dT_i \\ dT_1 \\ dT_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-H_1}{C_{s,se}} & \frac{H_1}{C_{s,se}} & 0 & 0 \\ \frac{H_1}{C_i} & -(H_1 + H_2) & \frac{H_2}{C_i} & 0 \\ 0 & \frac{H_2}{C_1} & -(H_2 + H_3 + H_5) & \frac{H_3}{C_1} \\ 0 & 0 & \frac{H_3}{C_2} & -(H_3 + H_4) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{s,se} \\ T_i \\ T_1 \\ T_2 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ C_{s,se} & \frac{1}{C_i} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{A_1}{C_1} & \frac{H_5}{C_1} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{H_4}{C_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{HFS} \\ P \\ G_v \\ T_e \end{bmatrix} dt + [\sigma]dt \quad [B.4]$$

$$\begin{bmatrix} T_{s,se}^m \\ T_i^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{s,se} \\ T_i \\ T_1 \\ T_2 \end{bmatrix} + [0] \begin{bmatrix} Q_{HFS} \\ P \\ G_v \\ T_e \end{bmatrix} + [e] \quad [B.5]$$

En este caso se representa reproducen las dos partes de la muestra, muro perimetral mediante una rama con inercia térmica, y la ventana mediante un sola conductancia y sin inercia térmica. La ganancia solar se linca a un nodo interior de la sala de ensayos diferente al nodo de temperatura medida, ya que corresponde con la temperatura del aire en la cámara que se genera entre la cortina y la superficie de la muestra, ya que corresponde con la zona en la que se produce realmente esa entrada directa de flujo y, además, presenta unos coeficiente de convección diferentes a los del resto de superficies de la sala de ensayos. A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada periodo de enayo realizado. Se puede observar que los ajustes a ruido blanco no son muy buenos, por lo que el modelo, aunque aproximado, ya que los resultados si son muy cercanos a los valores finales, no reproduce por completo el comportamiento real del componente y, por tanto, exige un aumento en su definición.

## 1º ensayo

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
<b>H<sub>1</sub></b>	100	300	1000	5.68E+02	5.77E+00	68.2549	-0.0044	-0.0046
<b>C<sub>s,se</sub></b>	500	1000	1500	9.78E+02	5.61E+01	95.4879	-0.0013	-0.0015
<b>C<sub>i</sub></b>	1	50	200	8.34E+01	6.00E+00	43.4769	0	0.0043
<b>H<sub>2</sub></b>	10	50	200	7.58E+01	7.18E-01	44.9105	0.0047	-0.0019
<b>C<sub>1</sub></b>	1	50	100	1.82E+01	2.58E+00	24.1541	-0.0009	0.0015
<b>H<sub>3</sub></b>	0.6	1	1000	3.45E+00	4.64E-01	93.7100	0	0.0040
<b>H<sub>5</sub></b>	0.6	1	1000	5.21E+00	5.63E-01	80.0091	0.0027	0
<b>C<sub>2</sub></b>	1	250	500	2.74E+02	3.38E+01	87.1255	0	0.0046
<b>H<sub>4</sub></b>	0.6	1	1000	2.61E+00	1.41E-01	54.7450	0.0014	0.0049
<b>A<sub>1</sub></b>	0.1	1	1.8	1.49E+00	9.46E-02	22.8934	0.0040	0

Tabla B.24 – Resultados identificación parámetros para 1º ensayo en el modelo simple del muro con ventana

	H <sub>1</sub>	C <sub>s,se</sub>	C <sub>i</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>4</sub>	A <sub>1</sub>
<b>H<sub>1</sub></b>	1									
<b>C<sub>s,se</sub></b>	0.21	1								
<b>C<sub>i</sub></b>	0.31	0.55	1							
<b>H<sub>2</sub></b>	0.22	0.02	0.47	1						
<b>C<sub>1</sub></b>	0.46	0.23	0.37	0.38	1					
<b>H<sub>3</sub></b>	0.56	0.43	0.22	0.43	0.54	1				
<b>H<sub>5</sub></b>	0.26	0.59	0.15	0.36	0.07	0.13	1			
<b>C<sub>2</sub></b>	0.17	0.01	0.08	0.60	0.39	0.23	0.48	1		
<b>H<sub>4</sub></b>	0.26	0.05	0.24	0.01	0.32	0.04	0.50	0.10	1	
<b>A<sub>1</sub></b>	0.14	0.37	0.13	0.03	0.46	0.42	0.18	0.48	0.08	1

Tabla B.25 – Coeficientes de correlación parámetros modelo simple del muro con ventana para 1º ensayo

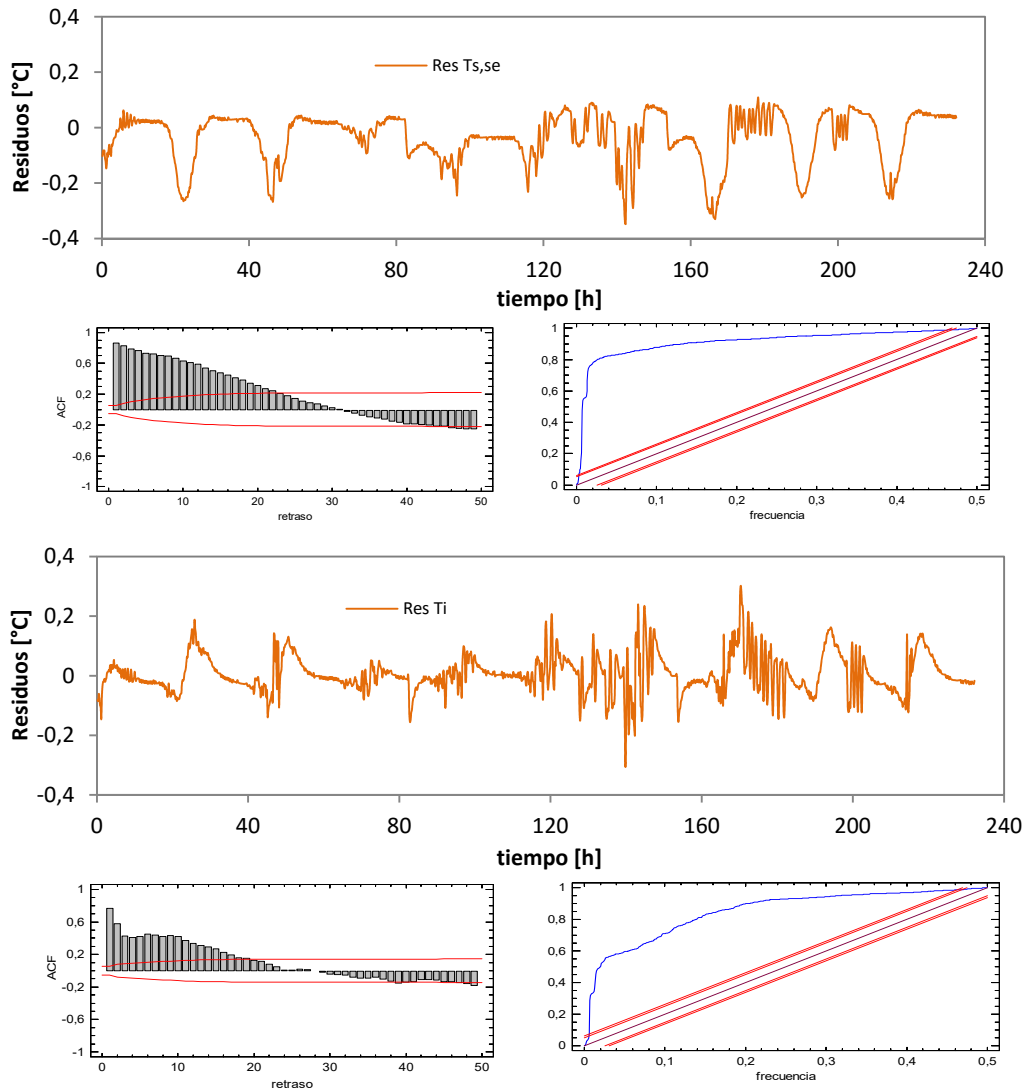


Figura B.28 – Ajuste del modelo para el primer ensayo del muro con ventana en el modelo simple

## 2º ensayo

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
$H_1$	100	300	1000	3.86E+02	6.22E+01	47.8255	0.0015	0.0020
$C_{s,se}$	500	1000	1500	9.81E+02	6.04E+01	26.6858	0.0045	0.0027
$C_1$	1	50	200	3.90E+01	5.02E-01	52.4892	-0.0015	0.0026
$H_2$	10	50	200	4.95E+01	6.87E-01	86.7224	-0.0043	0.0042
$C_1$	1	50	100	6.63E+01	6.91E+00	70.6388	0.0048	-0.0048
$H_3$	0.6	1	1000	2.25E+00	2.50E-01	48.1325	0.0040	0
$H_5$	0.6	1	1000	4.93E+00	6.49E-01	14.1684	-0.0019	0
$C_2$	1	250	500	2.27E+02	3.67E+01	31.3701	0	0.0034
$H_4$	0.6	1	1000	3.54E+00	3.24E-01	11.7806	-0.0033	0.0025
$A_1$	0.1	1	1.8	1.15E+00	3.63E-02	62.2355	-0.0014	0

Tabla B.26 – Resultados identificación parámetros para 2º ensayo en el modelo simple del muro con ventana

	$H_1$	$C_{s,se}$	$C_i$	$H_2$	$C_1$	$H_3$	$H_5$	$C_2$	$H_4$	$A_1$
$H_1$	1									
$C_{s,se}$	0.19	1								
$C_i$	0.47	0.00	1							
$H_2$	0.33	0.41	0.54	1						
$C_1$	0.33	0.24	0.56	0.49	1					
$H_3$	0.04	0.36	0.25	0.31	0.07	1				
$H_5$	0.17	0.12	0.17	0.32	0.36	0.21	1			
$C_2$	0.60	0.23	0.03	0.32	0.27	0.05	0.27	1		
$H_4$	0.29	0.43	0.37	0.08	0.17	0.25	0.18	0.26	1	
$A_1$	0.05	0.13	0.27	0.10	0.09	0.41	0.60	0.59	0.46	1

Tabla B.27 – Coeficientes de correlación parámetros modelo simple del muro con ventana para 2º ensayo

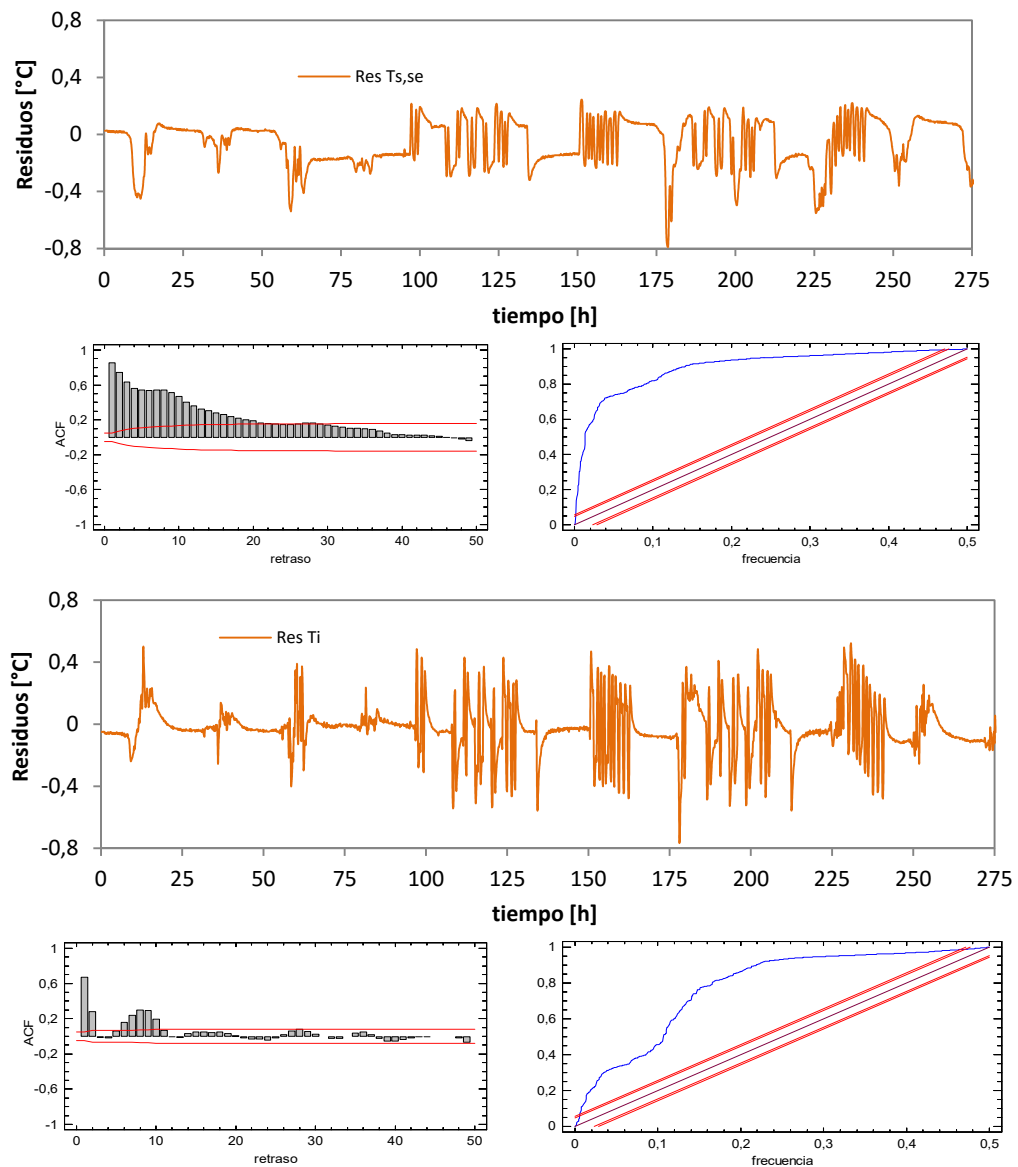


Figura B.29 – Ajuste del modelo para el segundo ensayo del muro con ventana en el modelo simple

## Modelo ampliado

El modelo simple es insuficiente para representar con precisión el comportamiento real de la probeta del segundo componente del ensayo IQ-Test. En principio, la parte de la ventana es la que menor complejidad representa, sin embargo la parte opaca es más delicada. Por un lado, es necesario ampliar el orden del modelo para poder representar adecuadamente la capacidad térmica del perímetro aislante, y por otro lado, la superficie exterior esta recibiendo incidencia solar que genera periodos en los que la superficie exterior es mayor que la temperatura de la superficie interior. Esta situación es imposible de reproducir con el modelo simple definido previamente. Por estas cuestiones se define un modelo ampliado como el que se muestra en la Figura B.30. En las ecuaciones [B.6] y [B.7].

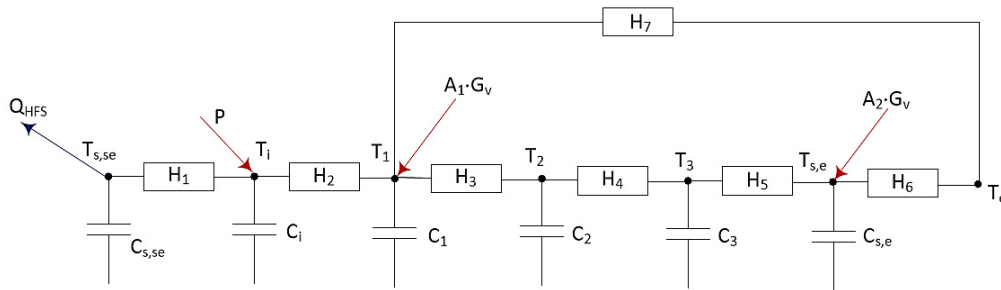


Figura B.30 – Modelo ampliado de la segunda muestra del IQ-Test

$$\begin{bmatrix} dT_{s,se} \\ dT_i \\ dT_1 \\ dT_2 \\ dT_3 \\ dT_{se} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-H_1}{C_{s,se}} & \frac{H_1}{C_{s,se}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{H_1}{C_i} & \frac{-(H_1 + H_2)}{C_i} & \frac{H_2}{C_i} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_2}{C_1} & \frac{-(H_2 + H_3 + H_7)}{C_1} & \frac{H_3}{C_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_3}{C_2} & \frac{-(H_3 + H_4)}{C_2} & \frac{H_4}{C_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{H_4}{C_3} & \frac{-(H_4 + H_5)}{C_3} & \frac{H_5}{C_3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{H_5}{C_{se}} & \frac{-(H_5 + H_6)}{C_{se}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{s,se} \\ T_i \\ T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_{se} \end{bmatrix} dt \quad [B.6]$$

$$+ \begin{bmatrix} \frac{-1}{C_{s,se}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{C_i} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{A_1}{C_1} & \frac{H_7}{C_1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{A_2}{C_{se}} & \frac{H_6}{C_{se}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{HFS} \\ P \\ G_v \\ T_e \end{bmatrix} dt + [\sigma]dt$$

$$\begin{bmatrix} T_{s,se}^m \\ T_i^m \\ T_1^m \\ T_2^m \\ T_3^m \\ T_{se}^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{s,se} \\ T_i \\ T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_{se} \end{bmatrix} + [0] \begin{bmatrix} Q_{HFS} \\ P \\ G_v \\ T_e \end{bmatrix} + [e] \quad [B.7]$$

A continuación se recogen los resultados de los modelos de identificación de parámetros junto con el análisis de ruido blanco de los residuos de las funciones objetivo.

## 1º ensayo

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	100	300	1000	2.57E+02	7.74E+01	56.7507	0.0001	-0.0003
C <sub>s,se</sub>	500	1000	1500	9.77E+02	8.24E+01	95.4879	-0.0004	0.0002
C <sub>i</sub>	1	50	200	7.52E+01	5.16E-01	43.4769	-0.0001	-0.0005
H <sub>2</sub>	10	50	200	9.80E+01	2.34E-01	44.9105	0.0003	0.0000
C <sub>1</sub>	1	50	100	5.10E+01	1.92E+00	24.1541	-0.0004	-0.0003
H <sub>3</sub>	0.6	1	1000	2.02E+02	4.78E-01	93.7100	0.0004	0.0004
H <sub>7</sub>	0.6	1	1000	5.73E+00	2.57E-01	80.0091	0.0002	0.0004
C <sub>2</sub>	1	100	500	1.07E+02	2.89E+01	87.1255	0.0001	0.0002
H <sub>4</sub>	0.6	1	1000	2.85E+00	3.21E-01	54.7450	-0.0003	-0.0004
C <sub>3</sub>	1	100	500	7.14E+01	6.69E+00	22.8934	0.0000	0.0004
H <sub>5</sub>	0.6	1	1000	2.19E+00	4.87E-02	22.8934	0.0001	0.0002
C <sub>se</sub>	1	50	100	9.82E+01	2.59E+00	22.8934	0.0000	0.0002
H <sub>6</sub>	0.6	1	1000	1.25E+02	3.09E-01	22.8934	-0.0004	-0.0003
A <sub>1</sub>	0.1	1	1.8	1.06E+00	1.04E-01	22.8934	-0.0003	0.0005
A <sub>2</sub>	0.1	1	5	1.61E+00	3.57E-01	22.8934	0.0005	0.0002

Tabla B.28 – Resultados identificación parámetros para 1º ensayo en el modelo ampliado del muro con ventana

	H <sub>1</sub>	C <sub>s,se</sub>	C <sub>i</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>7</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>se</sub>	H <sub>6</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
H <sub>1</sub>	1														
C <sub>s,se</sub>	0.18	1													
C <sub>i</sub>	0.46	0.09	1												
H <sub>2</sub>	0.27	0.40	0.03	1											
C <sub>1</sub>	0.42	0.22	0.07	0.08	1										
H <sub>3</sub>	0.38	0.02	0.51	0.23	0.54	1									
H <sub>7</sub>	0.45	0.25	0.31	0.60	0.46	0.17	1								
C <sub>2</sub>	0.13	0.07	0.26	0.04	0.06	0.10	0.19	1							
H <sub>4</sub>	0.40	0.57	0.26	0.40	0.41	0.49	0.13	0.24	1						
C <sub>3</sub>	0.36	0.11	0.08	0.45	0.32	0.07	0.51	0.21	0.08	1					
H <sub>5</sub>	0.28	0.01	0.52	0.47	0.06	0.24	0.53	0.15	0.44	0.17	1				
C <sub>se</sub>	0.10	0.07	0.25	0.51	0.37	0.42	0.20	0.47	0.48	0.11	0.31	1			
H <sub>6</sub>	0.02	0.28	0.35	0.35	0.06	0.51	0.35	0.38	0.38	0.06	0.15	0.28	1		
A <sub>1</sub>	0.36	0.54	0.48	0.35	0.39	0.58	0.09	0.20	0.41	0.41	0.09	0.52	0.46	1	
A <sub>2</sub>	0.30	0.24	0.53	0.17	0.27	0.43	0.30	0.28	0.12	0.31	0.38	0.11	0.53	0.06	1

Tabla B.29 – Coeficientes de correlación parámetros modelo ampliado del muro con ventana para 1º ensayo

variable	u <sub>medida</sub>	unidades	dU [W/m <sup>2</sup> K]	dC [MJ/m <sup>2</sup> K]	dgA [m <sup>2</sup> ]
Q <sub>HFS</sub>	1	W	0.006	0.039	0.009
P	0.5	W	0.006	0.017	0.004
G <sub>v</sub>	1.5	W	0.041	0.022	0.002
T <sub>e</sub>	0.5	K	0.089	0.062	0.005

Tabla B.30 – Efecto del error de las variables de medida en el resultado del modelo de identificación en el modelo ampliado para el primer ensayo

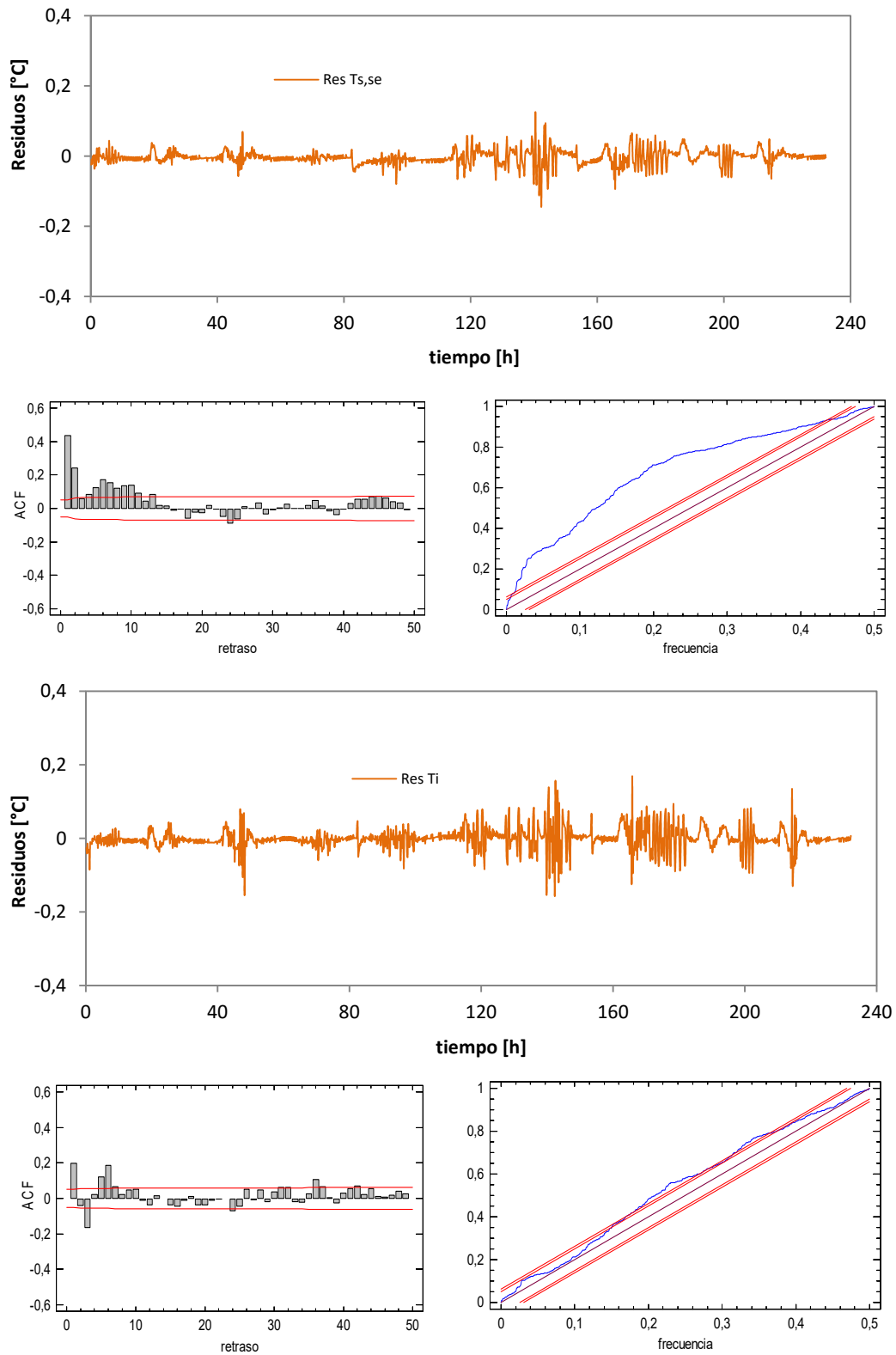


Figura B.31 – Ajuste del modelo para el primer ensayo del muro con ventana en el modelo ampliado

## 2º ensayo

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	100	300	1000	3.00E+02	9.82E+01	65.1649	0.0017	-0.0010
C <sub>s,se</sub>	500	1000	1500	1.10E+03	2.17E+01	58.2212	0.0040	-0.0004
C <sub>i</sub>	1	50	200	2.94E+01	2.94E+01	49.7937	0.0012	-0.0046
H <sub>2</sub>	10	50	200	6.72E+01	4.52E+00	1.5591	0.0023	0.0025
C <sub>1</sub>	1	50	100	5.73E+01	9.03E+00	86.8745	-0.0009	0.0030
H <sub>3</sub>	0.6	1	1000	5.97E+00	6.23E-02	24.6662	0.0023	0.0036
H <sub>7</sub>	0.6	1	1000	5.38E+00	2.48E-01	70.3356	0.0039	0.0026
C <sub>2</sub>	1	100	500	3.42E+01	4.30E+00	35.8863	-0.0043	-0.0036
H <sub>4</sub>	0.6	1	1000	1.70E+00	4.65E-02	56.2171	0.0012	-0.0010
C <sub>3</sub>	1	100	500	1.25E+02	1.73E+01	28.9478	0.0023	-0.0002
H <sub>5</sub>	0.6	1	1000	6.95E+00	1.10E-01	96.2672	-0.0002	-0.0033
C <sub>se</sub>	1	50	100	8.56E+01	4.61E+00	71.7773	0.0015	0.0005
H <sub>6</sub>	0.6	1	1000	1.83E+02	8.14E-01	55.6629	0.0011	0.0047
A <sub>1</sub>	0.1	1	1.8	1.01E+00	8.56E-02	84.2077	-0.0008	-0.0012
A <sub>2</sub>	0.1	1	5	1.70E+00	8.31E-02	12.4660	-0.0044	0.0024

Tabla B.31 – Resultados identificación parámetros para 2º ensayo en el modelo ampliado del muro con ventana

	H <sub>1</sub>	C <sub>s,se</sub>	C <sub>i</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>7</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>se</sub>	H <sub>6</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
H <sub>1</sub>	1														
C <sub>s,se</sub>	0.55	1													
C <sub>i</sub>	0.49	0.55	1												
H <sub>2</sub>	0.16	0.22	0.25	1											
C <sub>1</sub>	0.01	0.30	0.51	0.48	1										
H <sub>3</sub>	0.22	0.45	0.35	0.50	0.55	1									
H <sub>7</sub>	0.03	0.46	0.39	0.12	0.17	0.07	1								
C <sub>2</sub>	0.59	0.38	0.44	0.50	0.14	0.49	0.35	1							
H <sub>4</sub>	0.05	0.51	0.20	0.24	0.09	0.55	0.48	0.27	1						
C <sub>3</sub>	0.41	0.54	0.12	0.10	0.04	0.37	0.29	0.45	0.03	1					
H <sub>5</sub>	0.32	0.41	0.28	0.50	0.38	0.02	0.21	0.29	0.27	0.03	1				
C <sub>se</sub>	0.26	0.42	0.37	0.39	0.13	0.29	0.05	0.35	0.57	0.06	0.32	1			
H <sub>6</sub>	0.19	0.26	0.28	0.33	0.28	0.26	0.53	0.06	0.14	0.52	0.02	0.27	1		
A <sub>1</sub>	0.11	0.33	0.14	0.37	0.20	0.21	0.10	0.59	0.44	0.30	0.49	0.32	0.47	1	
A <sub>2</sub>	0.58	0.28	0.45	0.24	0.07	0.47	0.42	0.24	0.21	0.01	0.06	0.43	0.36	0.56	1

Tabla B.32 – Coeficientes de correlación parámetros modelo ampliado del muro con ventana para 2º ensayo

variable	u <sub>medida</sub>	unidades	dU [W/m <sup>2</sup> K]	dC [MJ/m <sup>2</sup> K]	dgA [m <sup>2</sup> ]
Q <sub>HFS</sub>	1	W	0.008	0.047	0.007
P	0.5	W	0.007	0.049	0.001
G <sub>v</sub>	1.5	W	0.039	0.026	0.004
T <sub>e</sub>	0.5	K	0.051	0.059	0.008

Tabla B.33 – Efecto del error de las variables de medida en el resultado del modelo de identificación en el modelo ampliado para el segundo ensayo



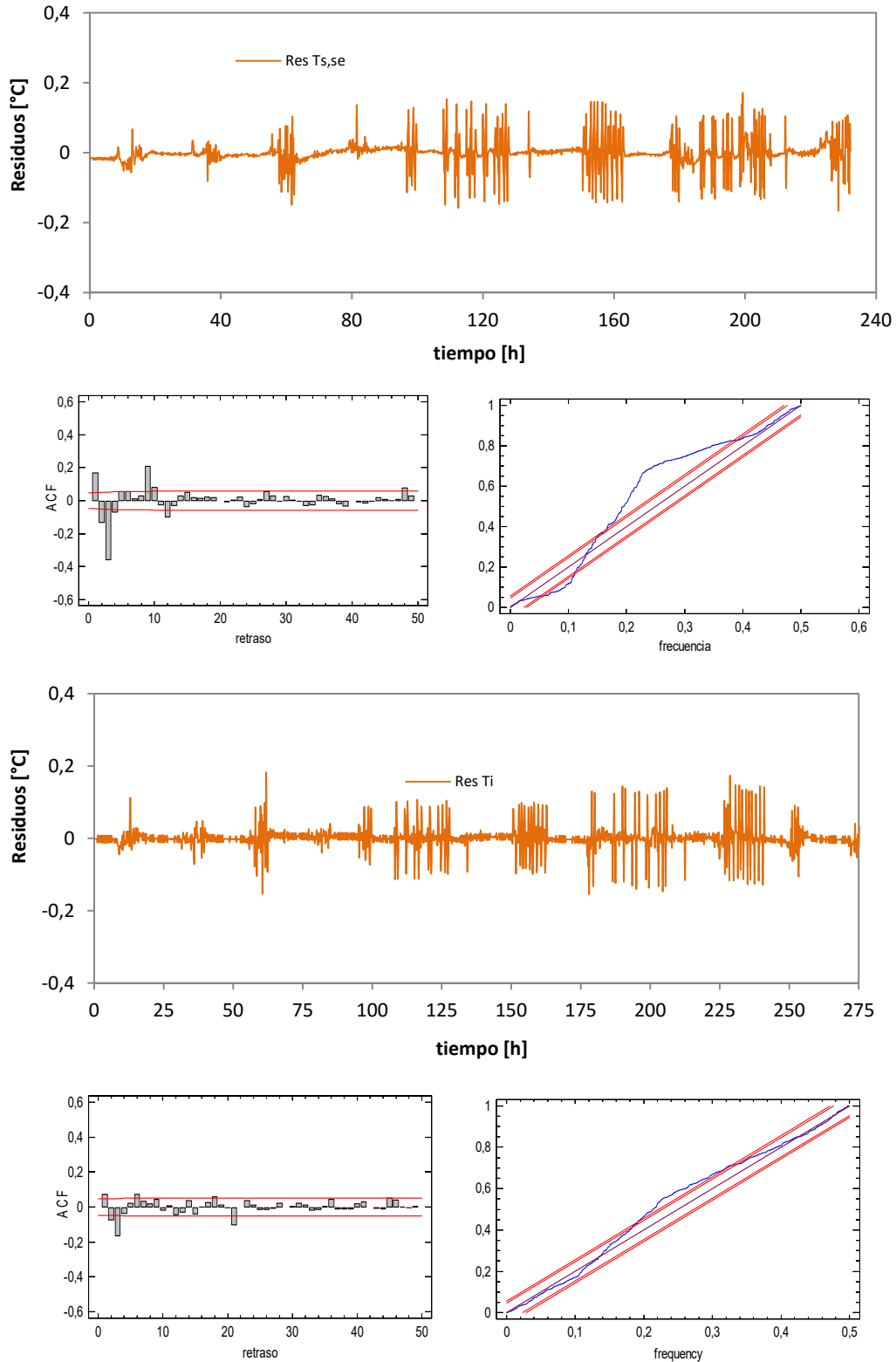


Figura B.33 – Ajuste del modelo para el segundo ensayo del muro con ventana en el modelo ampliado

En base a los datos obtenidos con el modelo ampliado del segundo componente, y teniendo en cuenta los resultados de los ensayos del muro opaco, junto con las incertidumbres de medida, se obtienen los valores recogidos en la Tabla B.34.

	Muro Completo			Ventana			
	Opaco + Ventana						
	UA [W/K]	UA [W/K]	gA [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> K]	e <sub>U</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	g [-]	e <sub>g</sub> [-]
1º ENSAYO	6,95	5,43	1,06	2,89	0,22	0,57	0,06
2º ENSAYO	6,48	5,22	1,01	2,78	0,18	0,54	0,05

Tabla B.34 – Resultados de los dos ensayos del segundo componente del IQ-Test

De cara al ensayo interlaboratorio, se emplean los resultados obtenidos en el segundo ensayo, tanto para el primer componente como para el segundo. Ya que, cómo se ha detectado en el estudio de las dos posiciones de la muestra dentro del portaprobetas, la colocación a ras del interior reduce los efectos de puentes térmicos, mejorando la precisión del ensayo sin afectar a los parámetros exteriores, coeficiente de convección y factor solar.



# Anexo C

## Caracterización experimental de fachadas



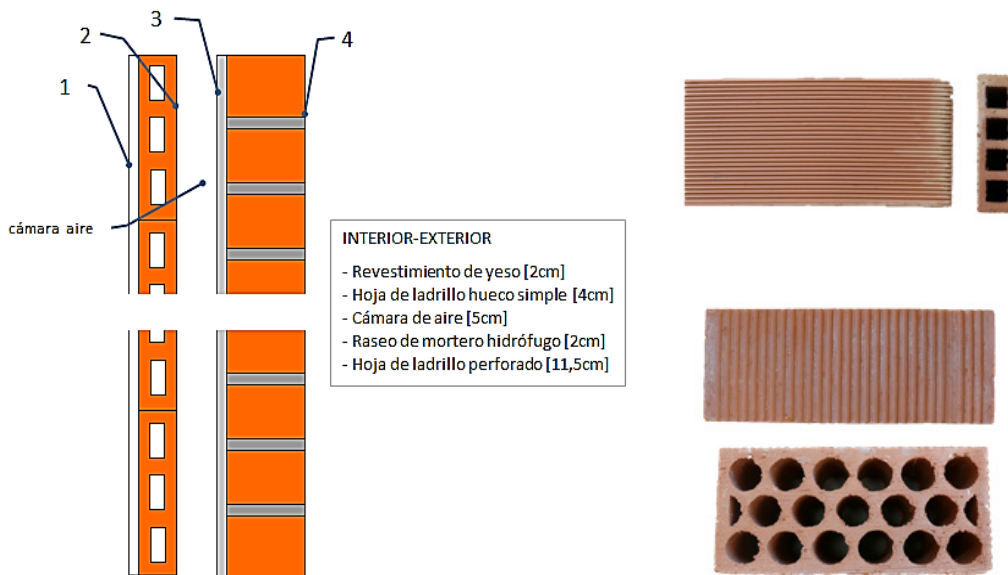


## C.1 Muro base

Debido a la gran cantidad de información respecto a la instrumentación instalada en las probetas ensayadas, así como los datos de los ensayos de contraste, en la Memoria se indican los valores fundamentales. A continuación se desarrollan con más detalle estos aspectos de los ensayos experimentales.

### C.1.1 Instrumentación de la muestra

El primer componente de ensayo es un muro de doble hoja formada por fábrica de ladrillo. En la Figura C.1 se muestran las características de la muestra y un detalle de los bloques cerámicos empleados.



Aunque se trata de la probeta de ensayo más sencilla, su caracterización precisa es fundamental, ya que sirve como base para el resto de ensayos de la presente tesis, salvo en el caso de la probeta de fachada ligera forzada. En la Tabla C.1 se muestra el número de sensores instalados en dicha probeta.

MAGNITUD	CARACTERÍSTICAS	Nº SENSORES					
		CAPA 1	CAPA 2-3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6	
MURO BASE	Temperatura	PT100, clase A, conexión 4 hilos	5	3	3		
	Flujo de calor	Ahlborn FQA-0801-H	3	1			

Tabla C.1 – Sensores instaladas en la probeta del muro base y en el muro aislado

En total, se instalan 15 sensores de temperatura y 4 sensores de flujo de calor, en la Figura C.2 se muestran la distribución de dichos sensores en las diferentes capas que conforman la muestra. Las diferentes sondas se referencian mediante el

procedimiento estandarizado de trazabilidad de la metodología *PASLINK*, así como mediante un referencia propia de la muestra que facilita su análisis y tratamiento posterior. También se emplean los número de referencia de las sondas propias de la base de datos de instrumentación del Área Térmica, AT, del Laboratorio de Control de la Calidad en la Edificación, LCCE, que permiten asociar las calibraciones correspondientes.

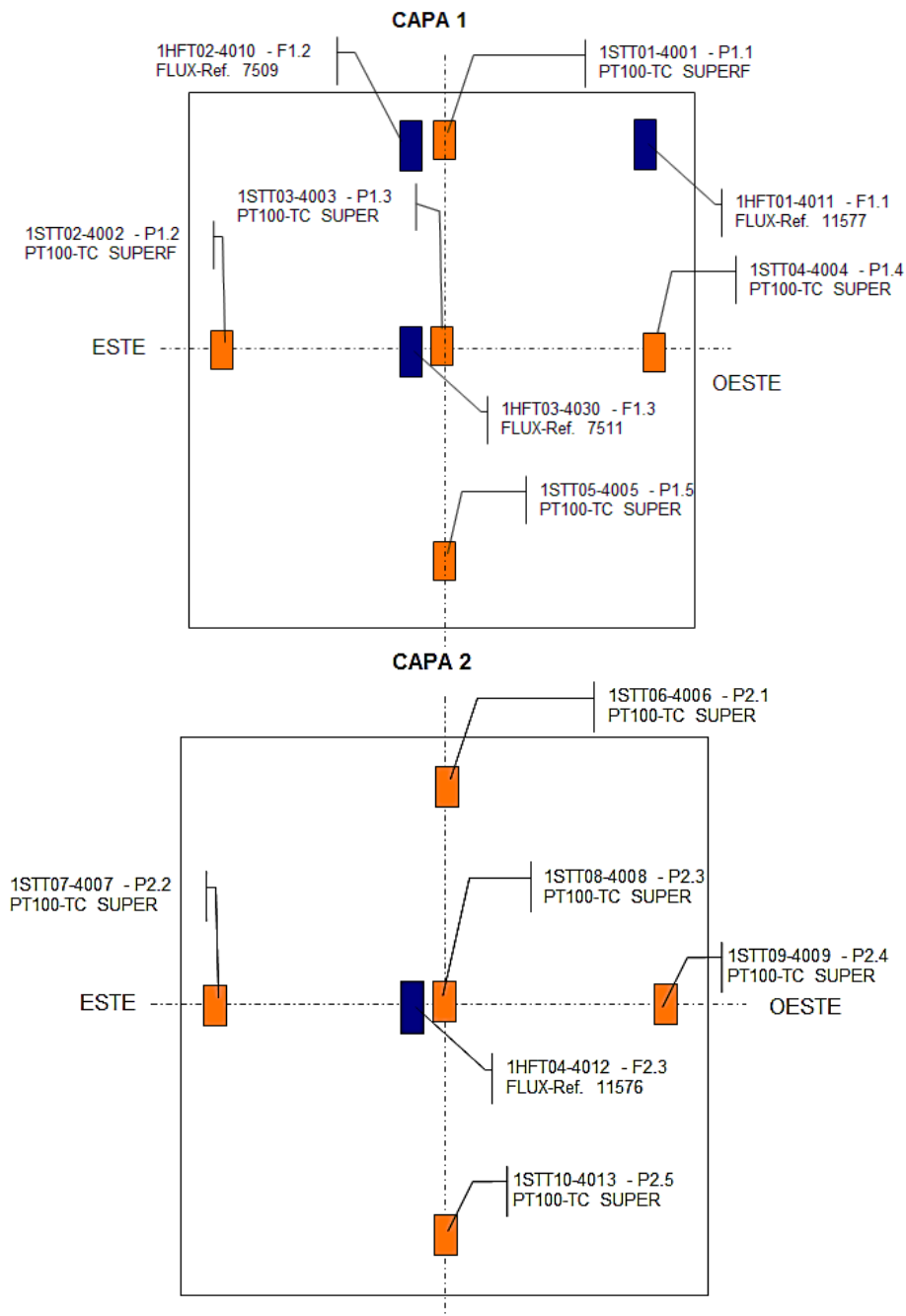


Figura C.2 – Disposición de las sondas en las capas de la muestra de muro base

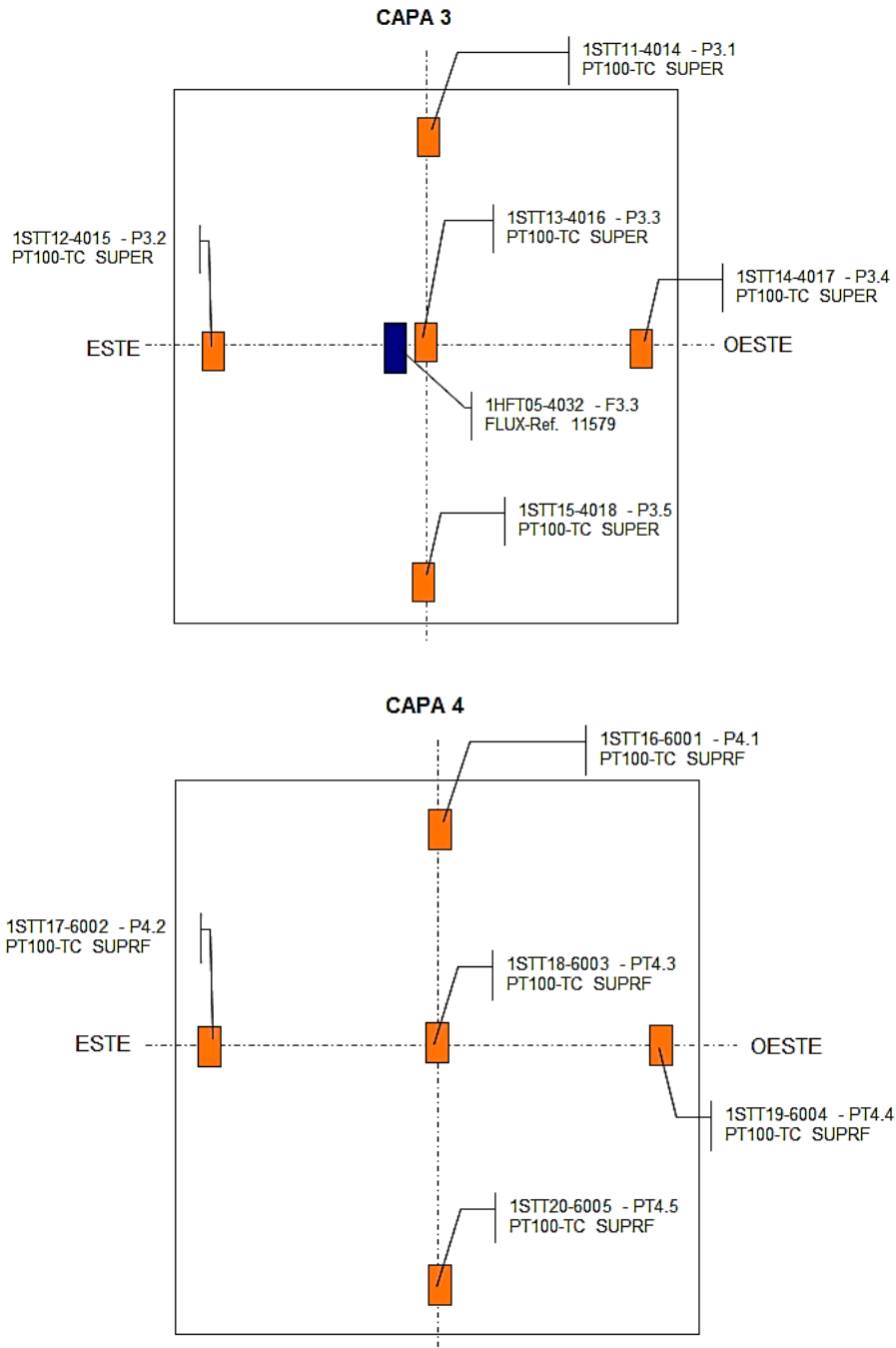


Figura C.3 – Disposición de las sondas en las capas de la muestra de muro base

### C.1.2 Datos experimentales complementarios

A continuación se recogen los datos complementarios del ensayo que se realiza sobre la muestra de muro base y que no se indican en la Memoria debido a su extensión. En la Figura C.4 se muestran las temperaturas de control del entorno de la sala de ensayos. Por un lado, las temperaturas de aire en cubierta y suelo de la celda, así como la registrada por la estación meteorológica situada a 10 [m] de altura. También se



muestran la temperatura de aire de la sala de servicio junto con la temperatura superficial de la pared de acceso a la sala de ensayos.

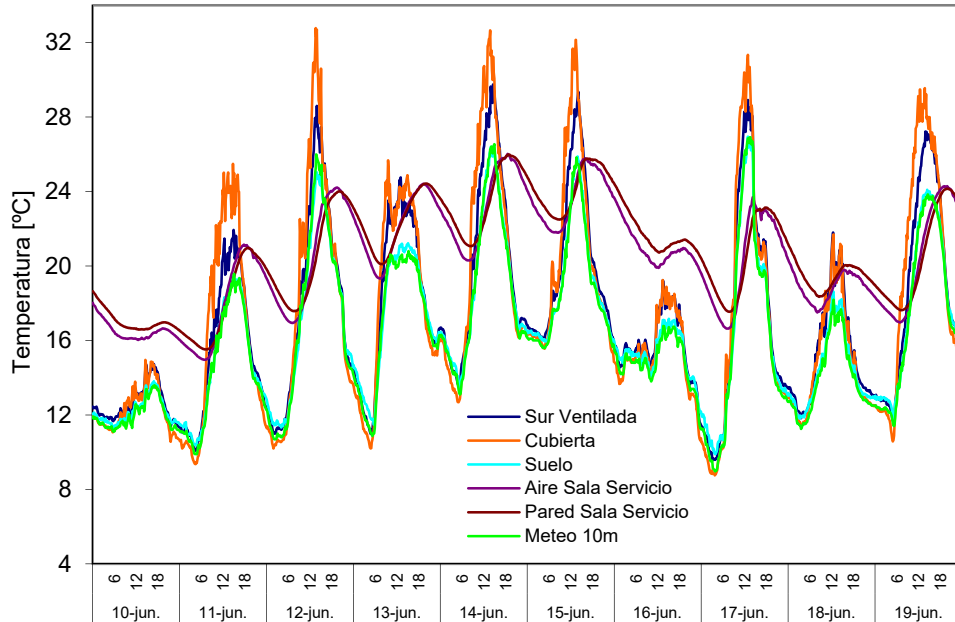


Figura C.4 – Temperaturas del entorno de la celda durante el ensayo del muro base

En la Figura C.5 y en la Figura C.6 se muestran las temperaturas registradas por las sonda de aire y de superficie en la sala de ensayos. La media de estas sondas se emplean para determinar la temperas empleadas en los modelos para representar el comportamiento de la celda.

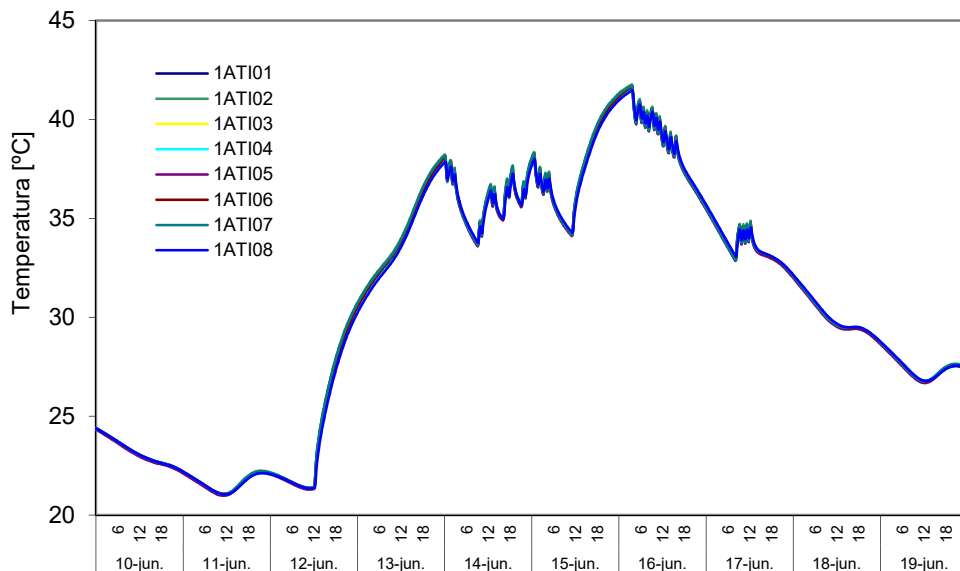


Figura C.5 – Temperaturas de aire en la sala de ensayo durante el ensayo del muro base

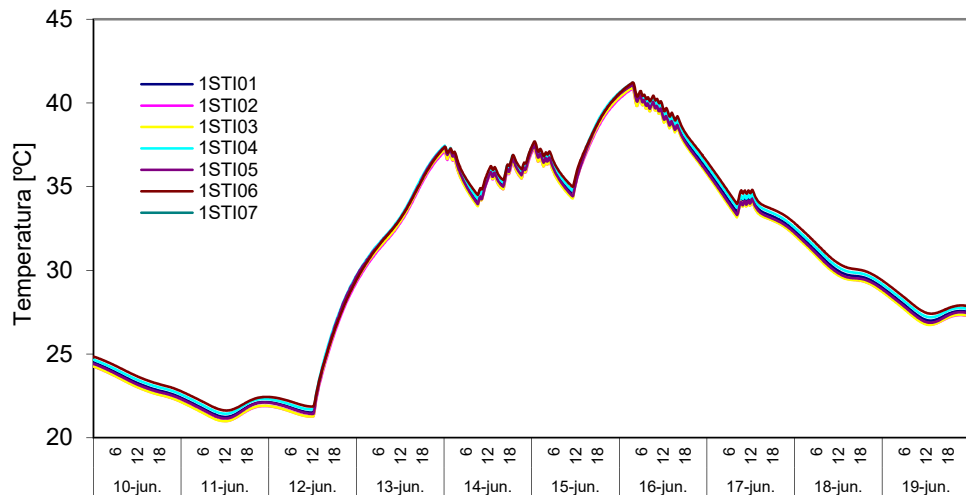


Figura C.6 – Temperaturas de superficie en la sala de ensayo durante el ensayo del muro base

En la Figura C.7 y Figura C.8 se muestran los flujos de calor que registra cada grupo de tiles de la envolvente de la sala de ensayos.

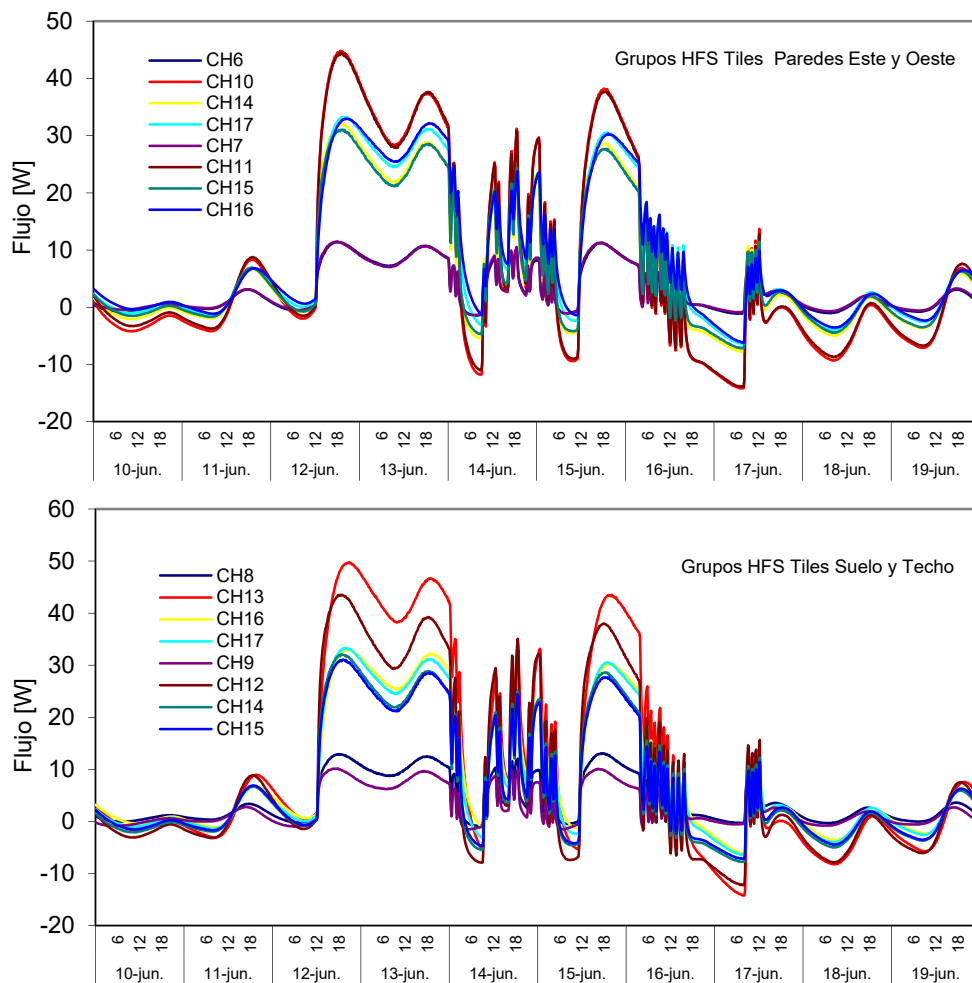


Figura C.7 – Flujos de calor medidos por los grupos de tiles durante el ensayo del muro base

En la Figura C.8 y en la Figura C.9 se muestran las señales de los sensores de las multitiles situadas en los grupos de borde de referencia. Estos flujos permiten determinar, para cada instante, los factores de corrección de las lecturas de flujo en dichas zonas donde el flujo es bidimensional.

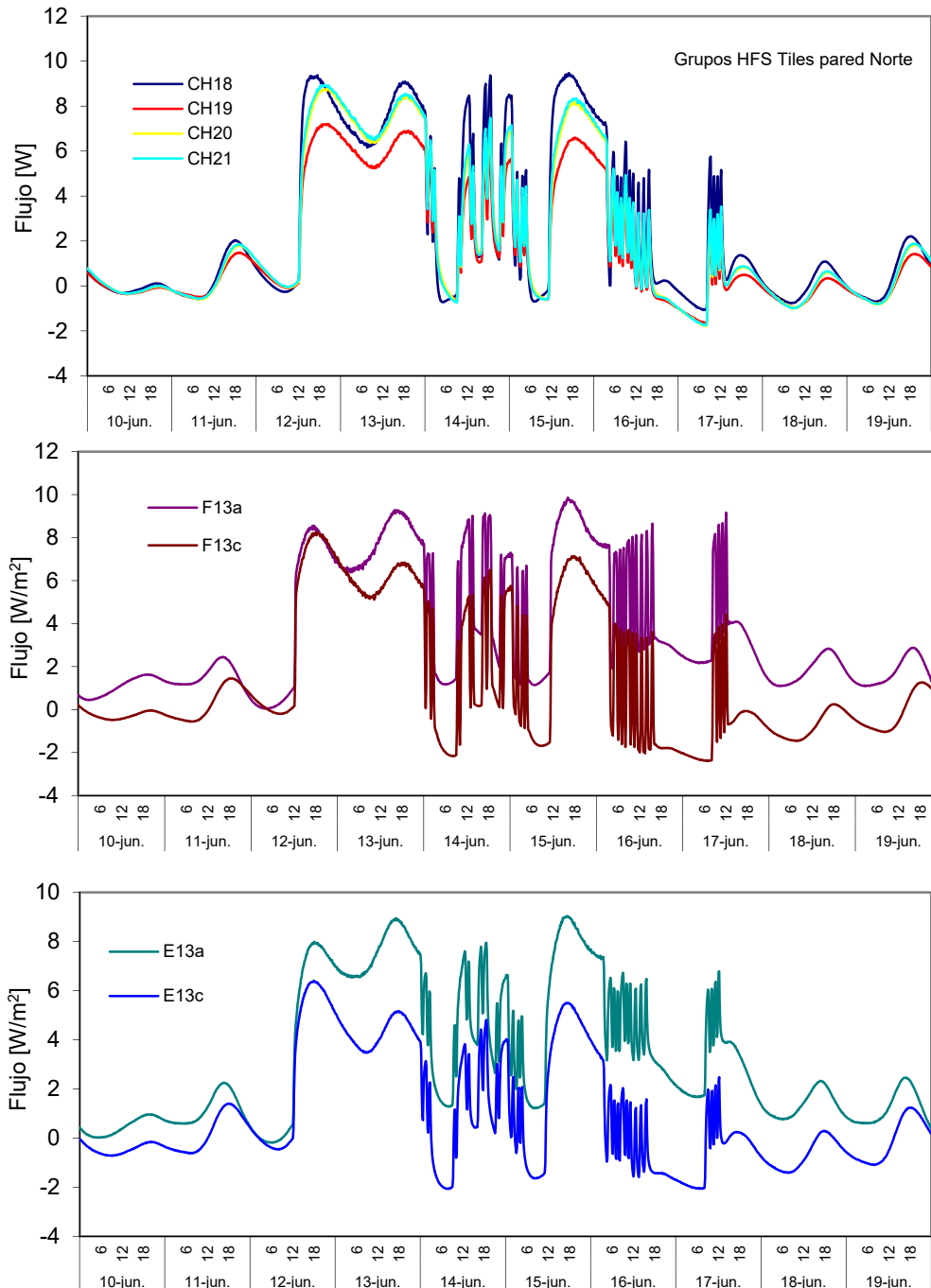


Figura C.8 – Flujos de calor medidos por las *multitiles* las durante el ensayo del muro base

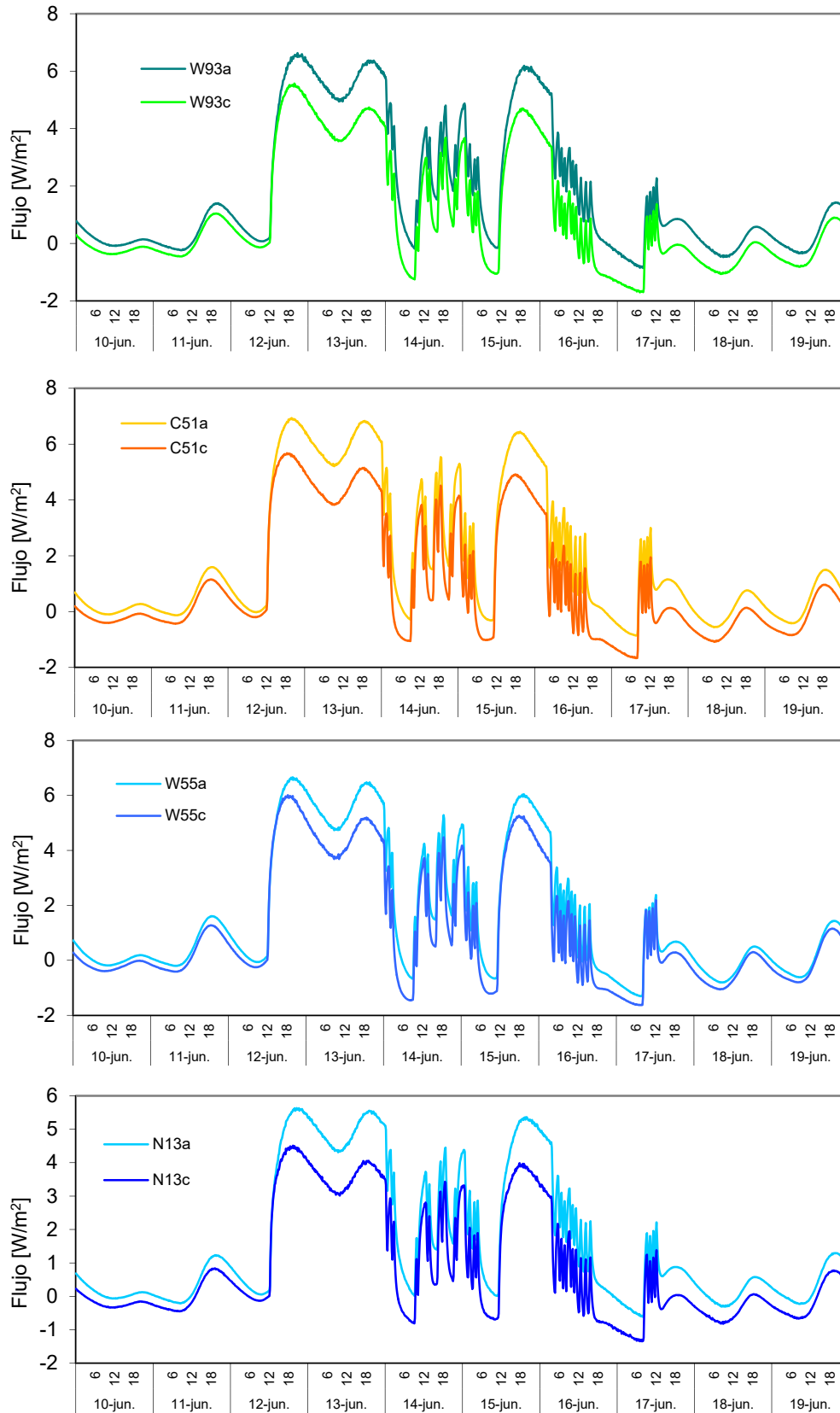


Figura C.9 – Flujos de calor medidos por las *multitiles* las durante el ensayo del muro base

En las Figuras C.10 y Figuras C.11 se muestran las lecturas de cada sonda de temperatura instalada en las diferentes capas de la muestra de muro base.

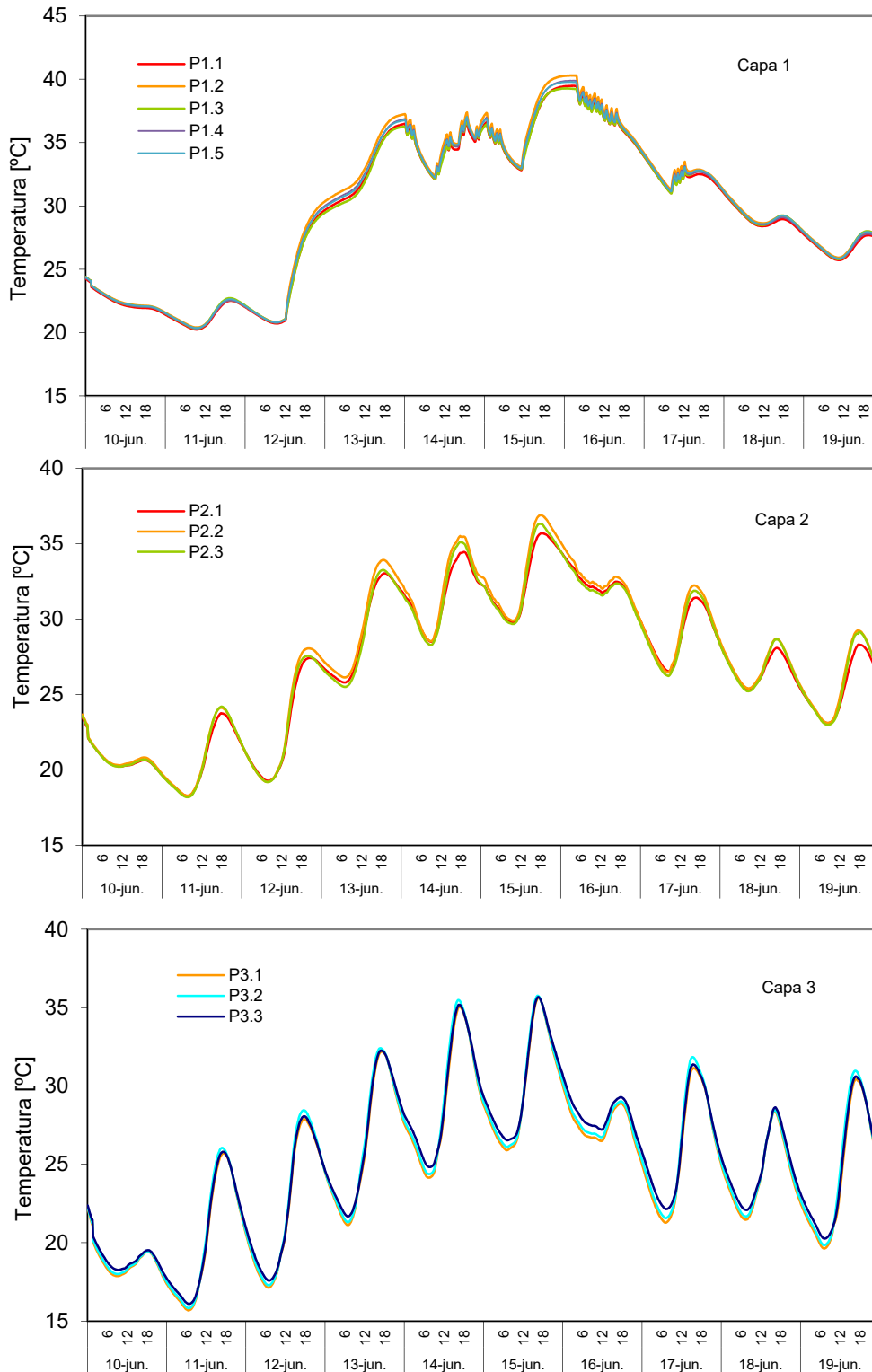


Figura C.10 – Temperaturas en cada capa durante el ensayo del muro base

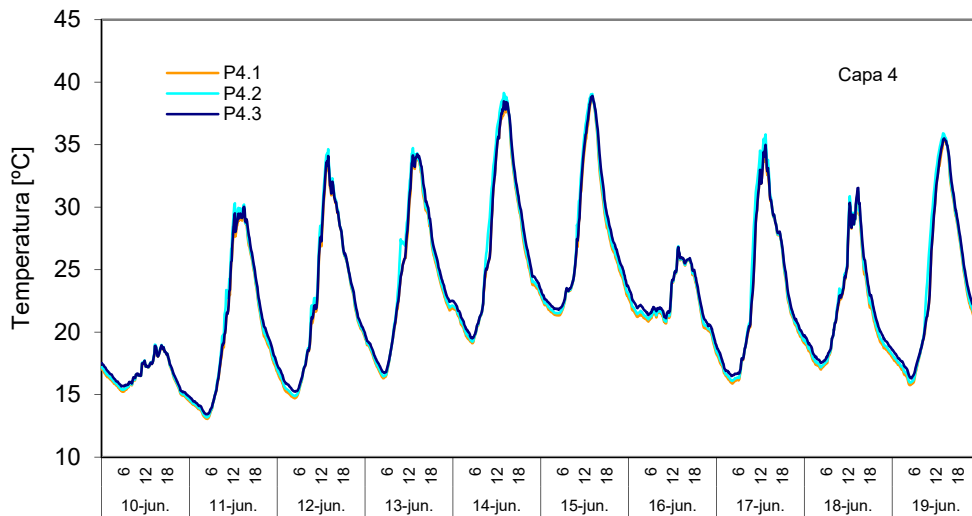


Figura C.11 – Temperaturas en cada capa durante el ensayo del muro base

## C.2 Muro base con aislamiento

La colocación del aislamiento sobre la superficie exterior es sencilla y directa. A continuación se muestran los datos de instrumentación añadida sobre la probeta y los datos experimentales complementarios para obtener las variables de análisis mostradas en la Memoria.

### C.2.1 Instrumentación de la muestra

En la Figura C.12 se muestra el esquema de montaje del aislante rematado por una capa de mortero con malla de tracción. En la Tabla C.2 se indica la instrumentación total instalada en la probeta.

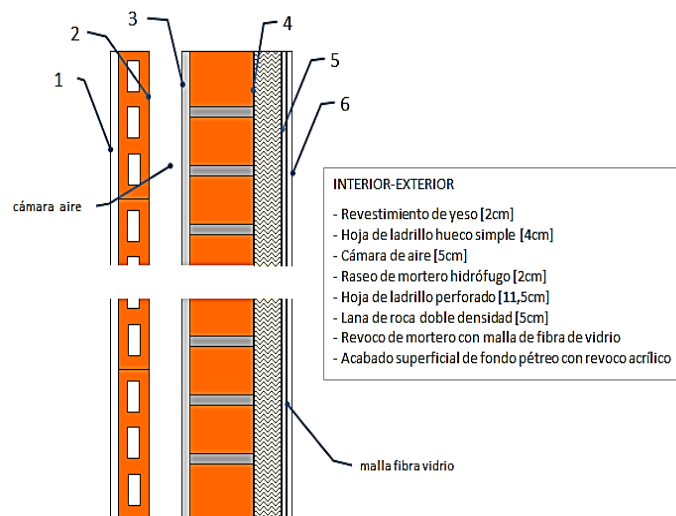


Figura C.12 – Solución constructiva del SATE aplicado al muro base

	MAGNITUD	CARACTERÍSTICAS	Nº SENSORES				
			CAPA 1	CAPA 2-3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6
MURO BASE +SATE	Temperatura	PT100, clase A, conexión 4 hilos	5	5			5
	Temperatura	Termopar tipo T			5	5	
	Flujo de calor	Ahlborn FQA-0801-H	3	1	2	2	

Tabla C.2 – Sensores instaladas en la probeta del muro base y en el muro aislado

En total se instalan 30 sondas de temperatura de las cuales 20 son PT100 y 10 son termopares tipo T. Se emplean termopares en las intercapas en las que la sondas se recubre de mortero, yeso, o algún tipo de masa húmeda que puede dañar la termorresistencia. Además se instalan 8 sensores de flujo de calor. En la Figura C.13 y en la Figura C.14 se muestra la distribución de la instrumentación colocada que difiere de la instrumentación original del muro base ya mostrada.

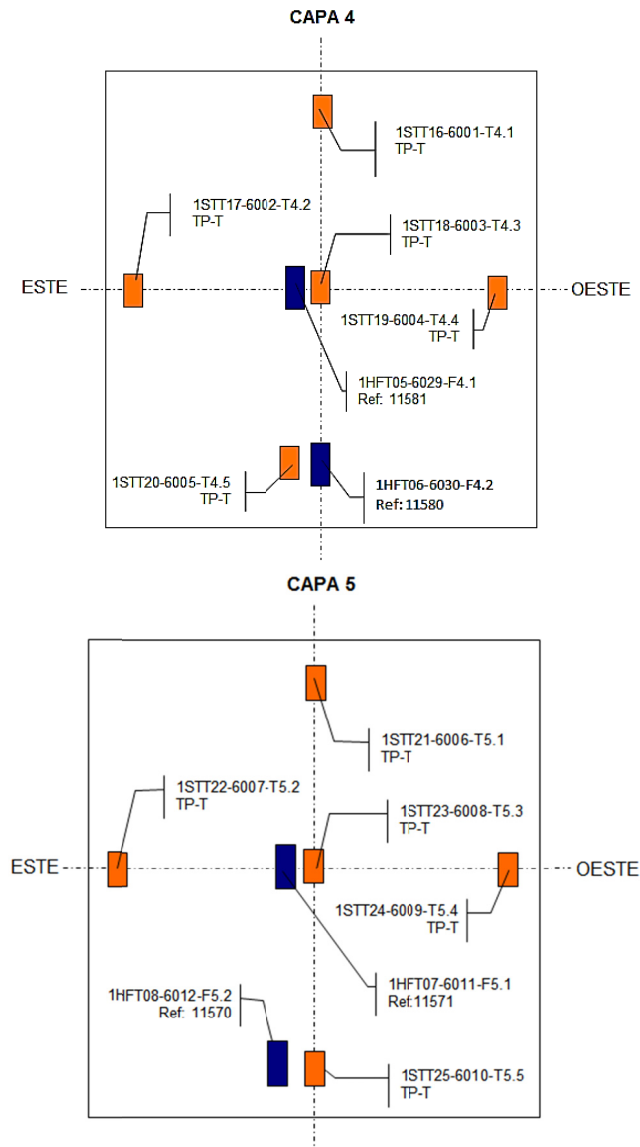


Figura C.13 – Instrumentación añadida al muro base con aislamiento

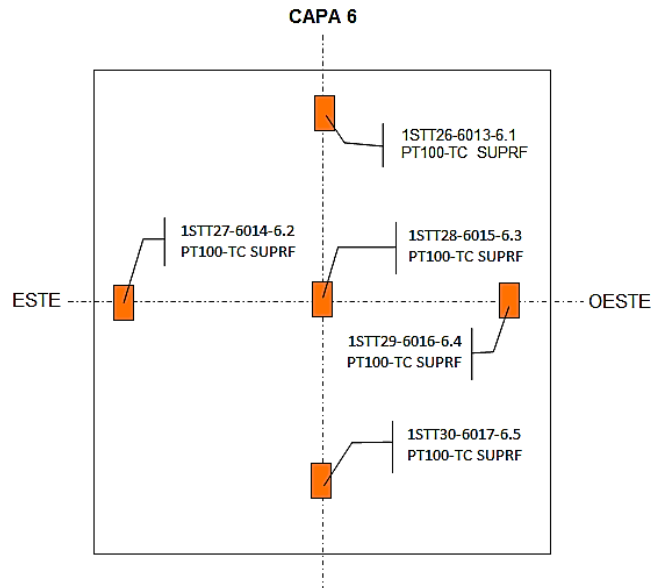


Figura C.14 – Instrumentación añadida al muro base con aislamiento

## C.2.2 Datos experimentales complementarios

Como en el caso del muro base, la caracterización experimental se realiza mediante un único periodo de ensayo. En el presente apartado se muestran los datos complementarios que se registran en el ensayo que no se muestran en la memoria debido a su extensión. En la Figura C.15 y en la Figura C.16 se muestran las temperaturas registradas por las sonda de aire y de superficie en la sala de ensayos. La media de estas sondas se emplean para determinar la temperas empleadas en los modelos para representar el comportamiento de la celda.

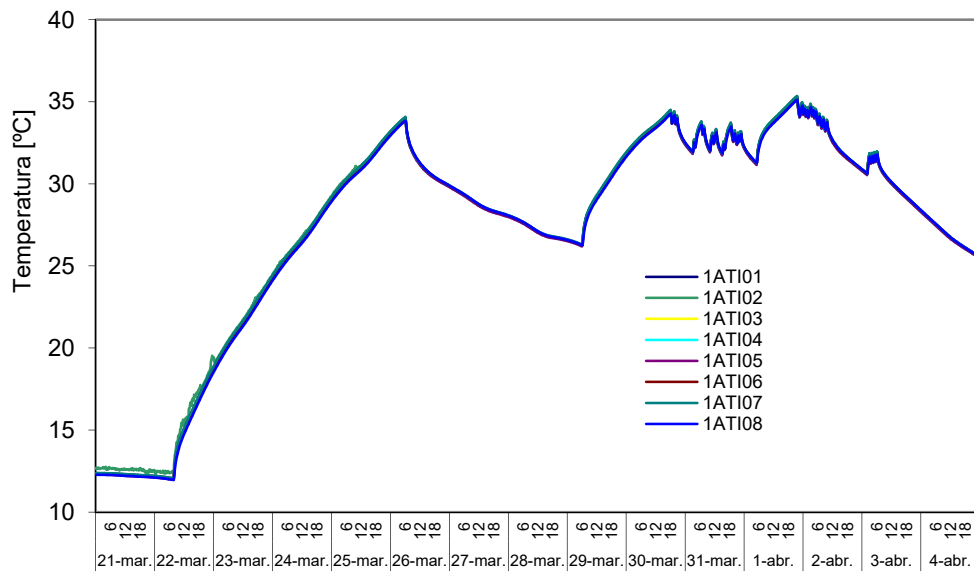


Figura C.15 – Temperaturas de aire en la sala de ensayo durante el ensayo del muro base con aislamiento



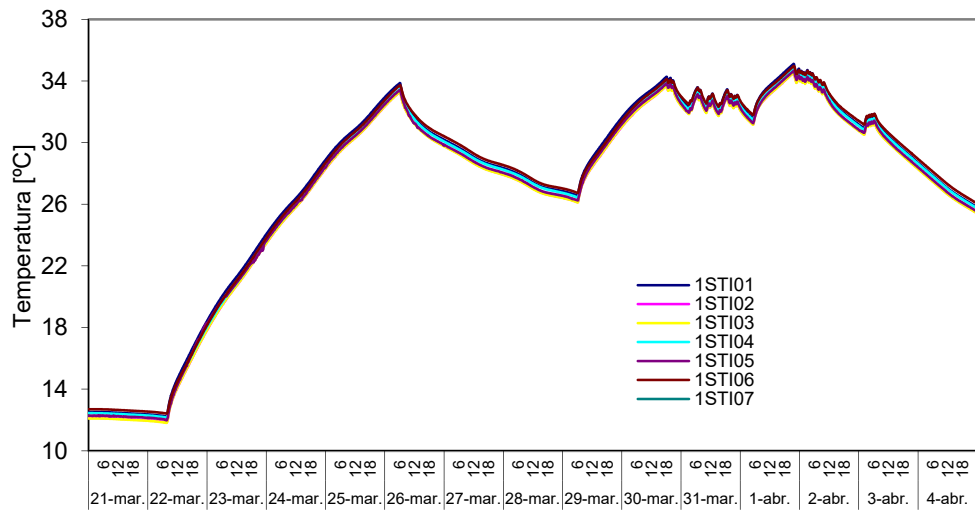


Figura C.16 – Temperaturas superficie envolvente celda durante el ensayo del muro base con aislamiento

En la Figura C.17 y Figura C.18 se muestran los flujos de calor que registra cada grupo de *tilas* de la envolvente de la sala de ensayos.

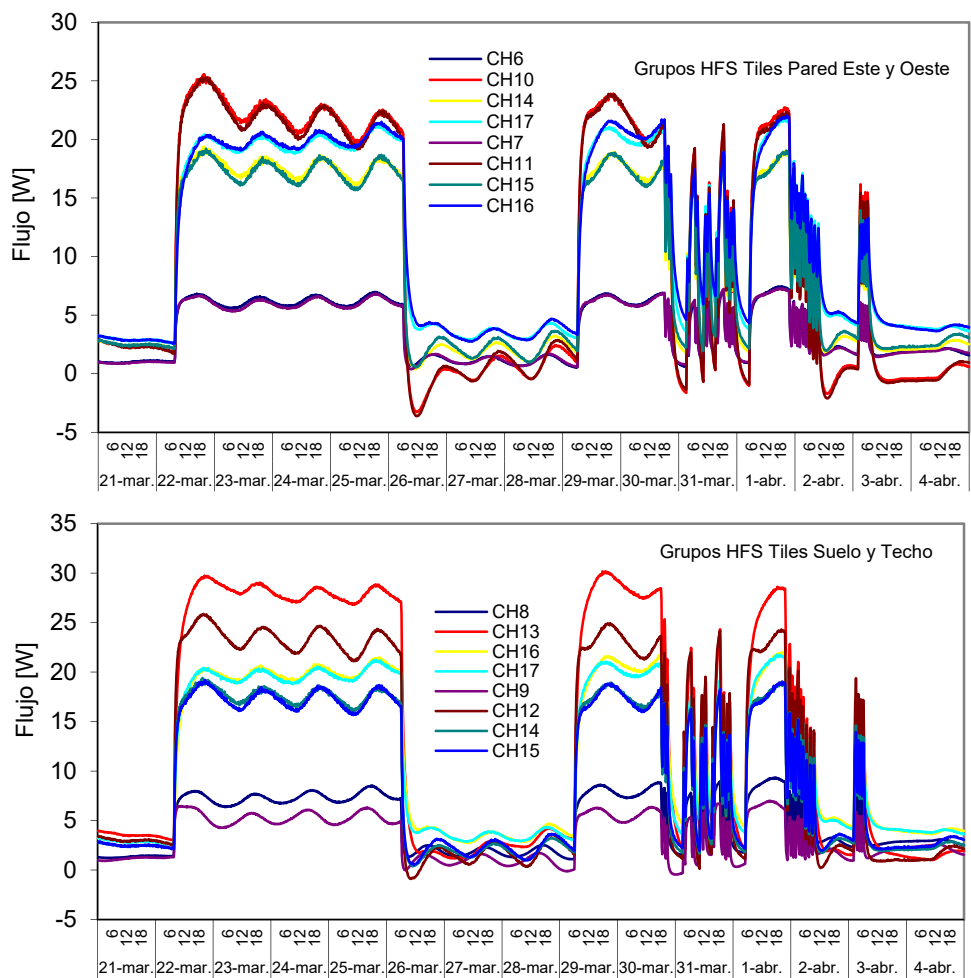


Figura C.17 – Flujos de calor medidos por grupos de *tilas* durante el ensayo del muro base con aislamiento

En la Figura C.18 y en la Figura C.19 se muestran las señales de los sensores de las multitiles situadas en los grupos de borde de referencia.

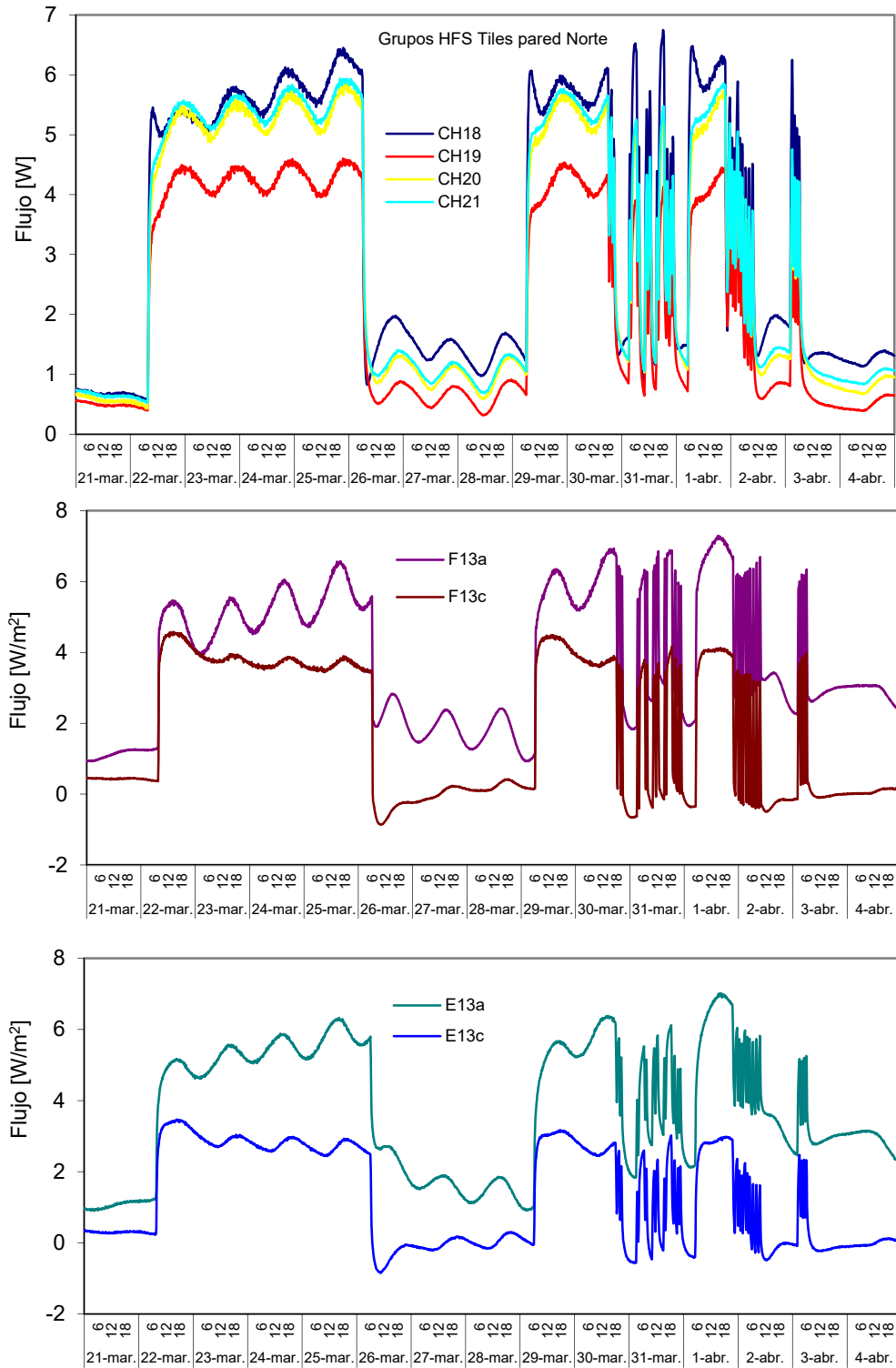


Figura C.18 – Flujos de calor medidos por las multitiles las durante el ensayo del muro base con aislamiento

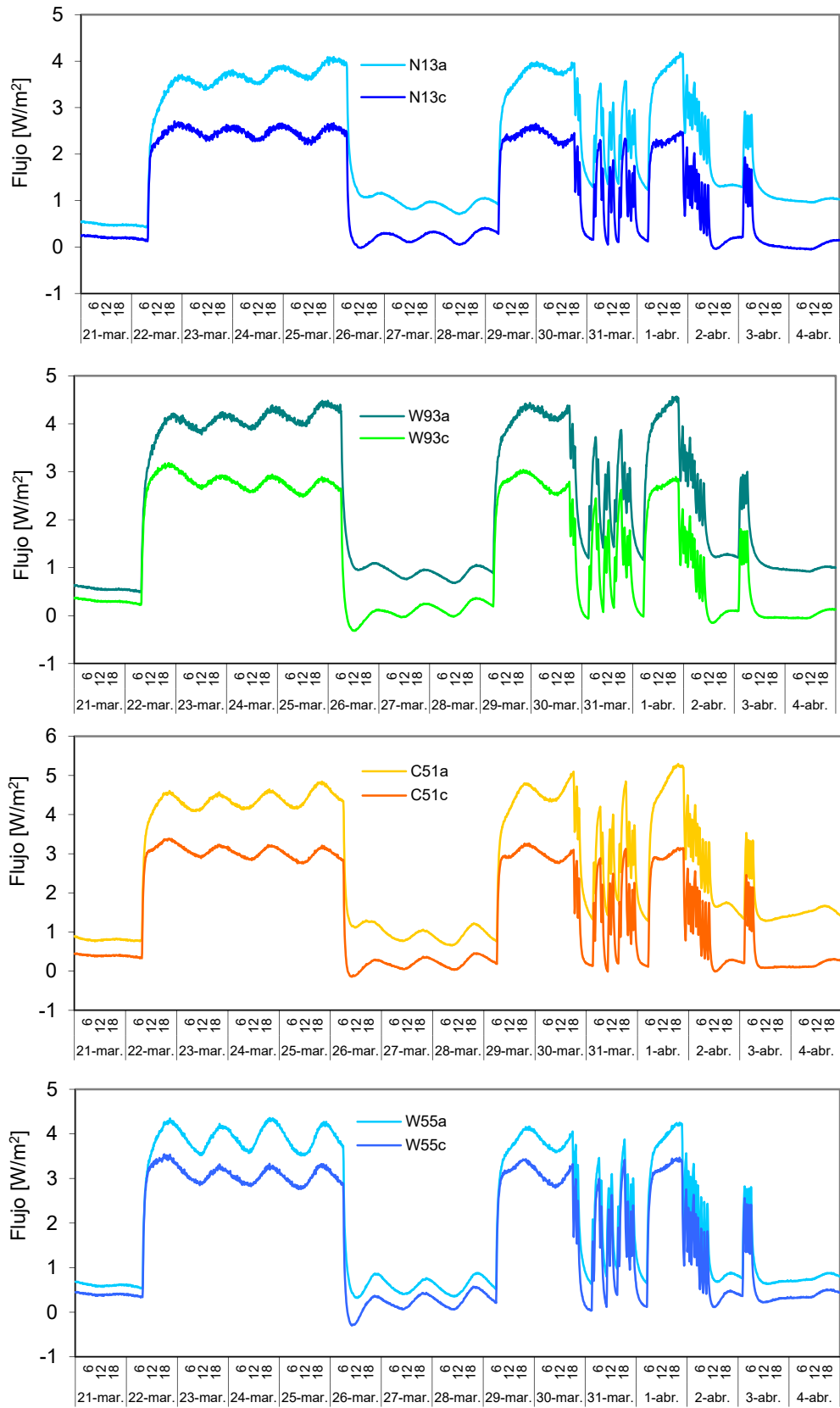


Figura C.19 – Flujos de calor medidos por las *multitiles* las durante el ensayo del muro base con aislamiento

En las Figuras C.20 y Figuras C.21 se muestran las lecturas de cada sonda de temperatura instalada en las diferentes capas de la muestra de muro base con aislamiento.

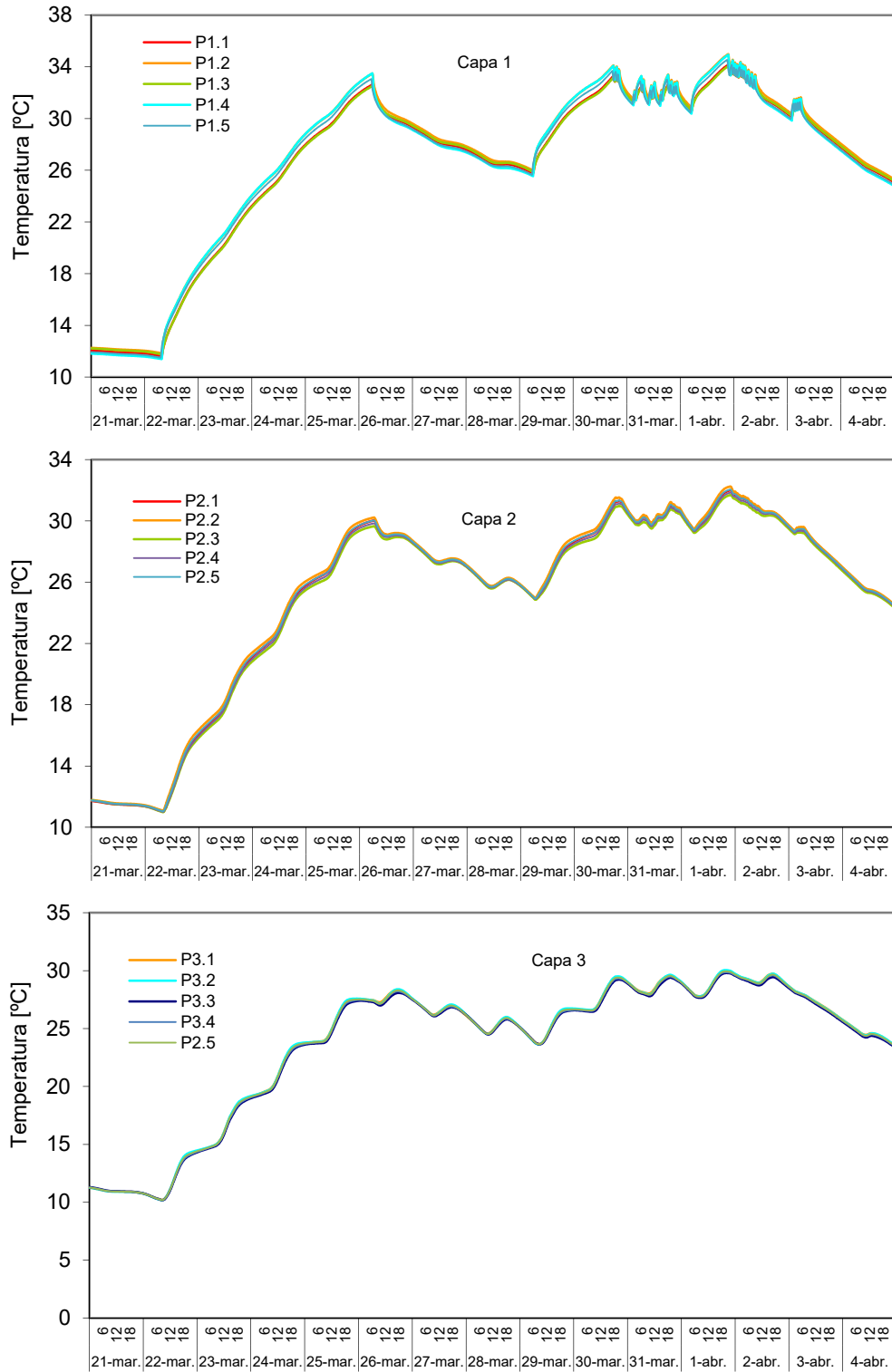


Figura C.20 – Temperaturas en cada capa durante el ensayo del muro base con aislamiento

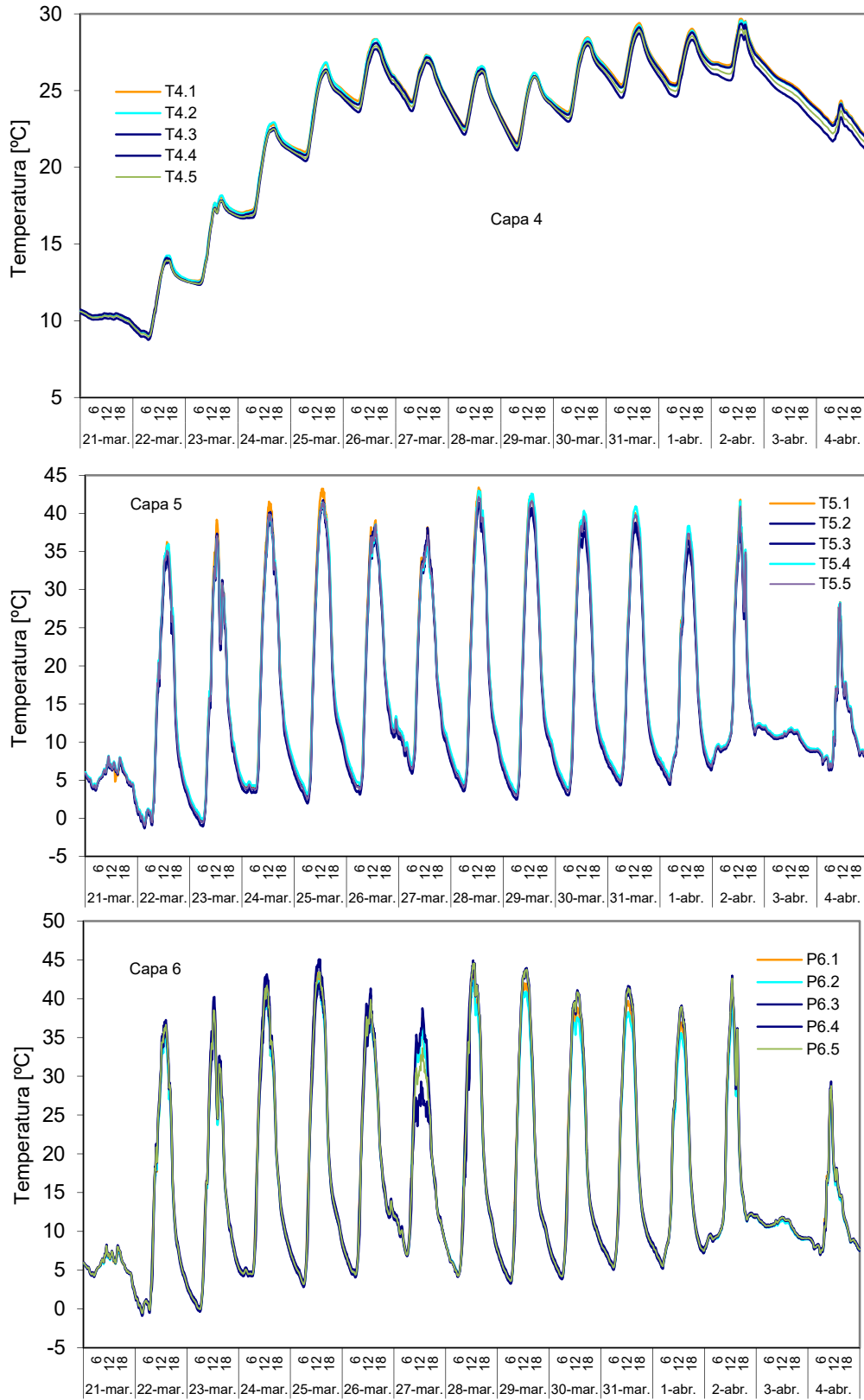


Figura C.21 – Temperaturas en cada capa durante el ensayo del muro base con aislamiento

## C.3 Fachada ventilada ligera

En el caso de las probetas de fachada ventilada la caracterización experimental se complica. La componente activa de la cámara de aire ventilada implica un cambio en el proceso de transmisión de calor asociado a las condiciones del ambiente exterior. Por esta razón, se modifica la configuración de las sondas a colocar en la cámara de aire. La decisión del número, tipo y posición de dichas sondas es muy importante de cara a disponer de la información suficiente como para modelizar adecuadamente el comportamiento de la fachada. En este ámbito hay poca información disponible, por esa razón se han realizado simulaciones previas mediante modelos de CFD para determinar la posición idónea de cara a poder registrar los puntos más representativos de proceso de convección empleando la instrumentación mínima necesaria, ya que emplear muchas sondas complica el proceso de medida y adquisición y aumenta las probabilidades de fallos en el sistema. Por otro lado, se realizan dos periodos de ensayos, el primero se puede emplear para el proceso de modelado de los fenómenos de transmisión de calor en la cámara ventilada, y el segundo periodo como verificación de la validez de dichos modelos, y en su caso, reajustar las divergencias detectadas. Un ejemplo de esta aplicación de contraste se muestra en la Memoria para la fachada ventilada ligera. Además, se aumenta la cantidad de información disponible para futuros estudios en el ámbito de cámaras ventiladas. A continuación se indican la instrumentación empleada en la probeta y los datos correspondientes al periodo de contraste que no se recogen en el documento de la Memoria debido a su extensión.

### C.3.1 Instrumentación de la muestra

En la Figura C.22 se muestra el esquema de capas que configuran la muestra de fachada ventilada ligera. Hasta la capa 4 la configuración es idéntica a la del muro base con aislamiento, ver Tabla C., y para el resto de capas nuevas, los esquemas de colocación de las sondas se muestran en la Figura C.23, en la Figura C.24 y en la Figura C.25.

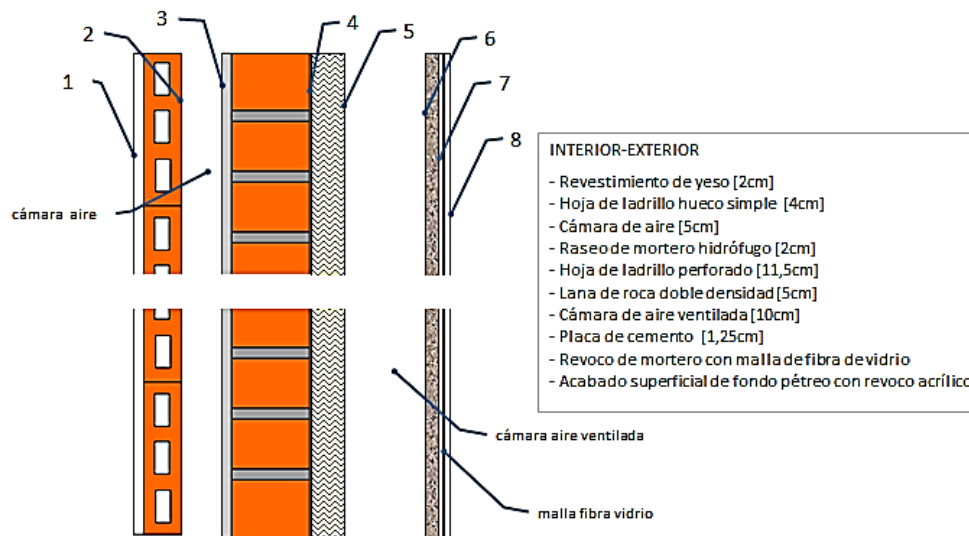


Figura C.22 – Solución constructiva de la fachada ventilada ligera

	MAGNITUD	CARACTERÍSTICAS	Nº SENSORES						
			CAPA 1	CAPA 2-3	CAPA 4	CAPA 5-6	CAPA 7	CAPA 8	CA
MURO BASE + FV L	Temperatura	PT100, clase A, conexión 4 hilos	5	5		6		6	6
	Temperatura	Termopar tipo T			5		6		
	Flujo de calor	Ahlborn FQA-0801-H	3	1		3			
	Velocidad aire	Ahlborn FVA-605-TA-1							4

Tabla C.3 – Sensores instalados en la probeta de fachada ventilada ligera

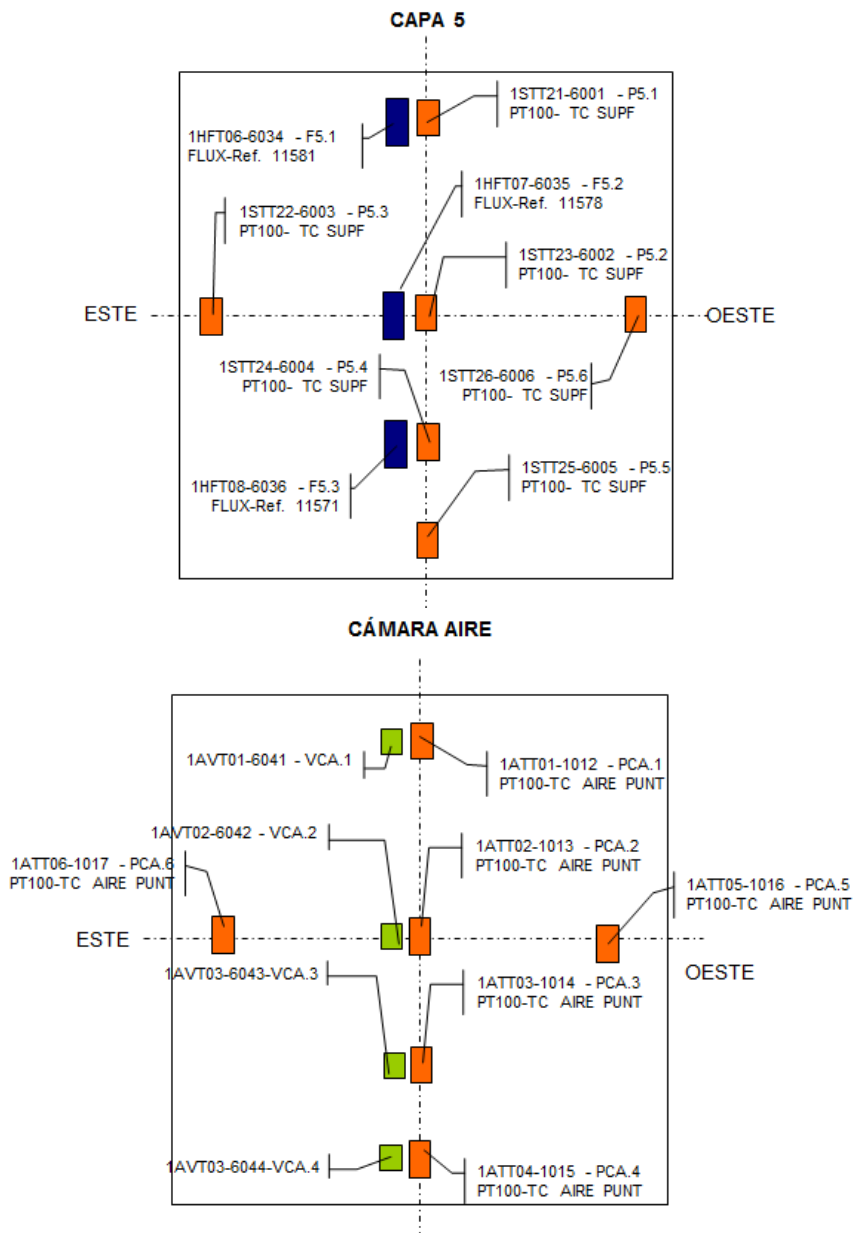


Figura C.23 – Esquema de montaje de las sondas en la muestra de fachada ventilada ligera

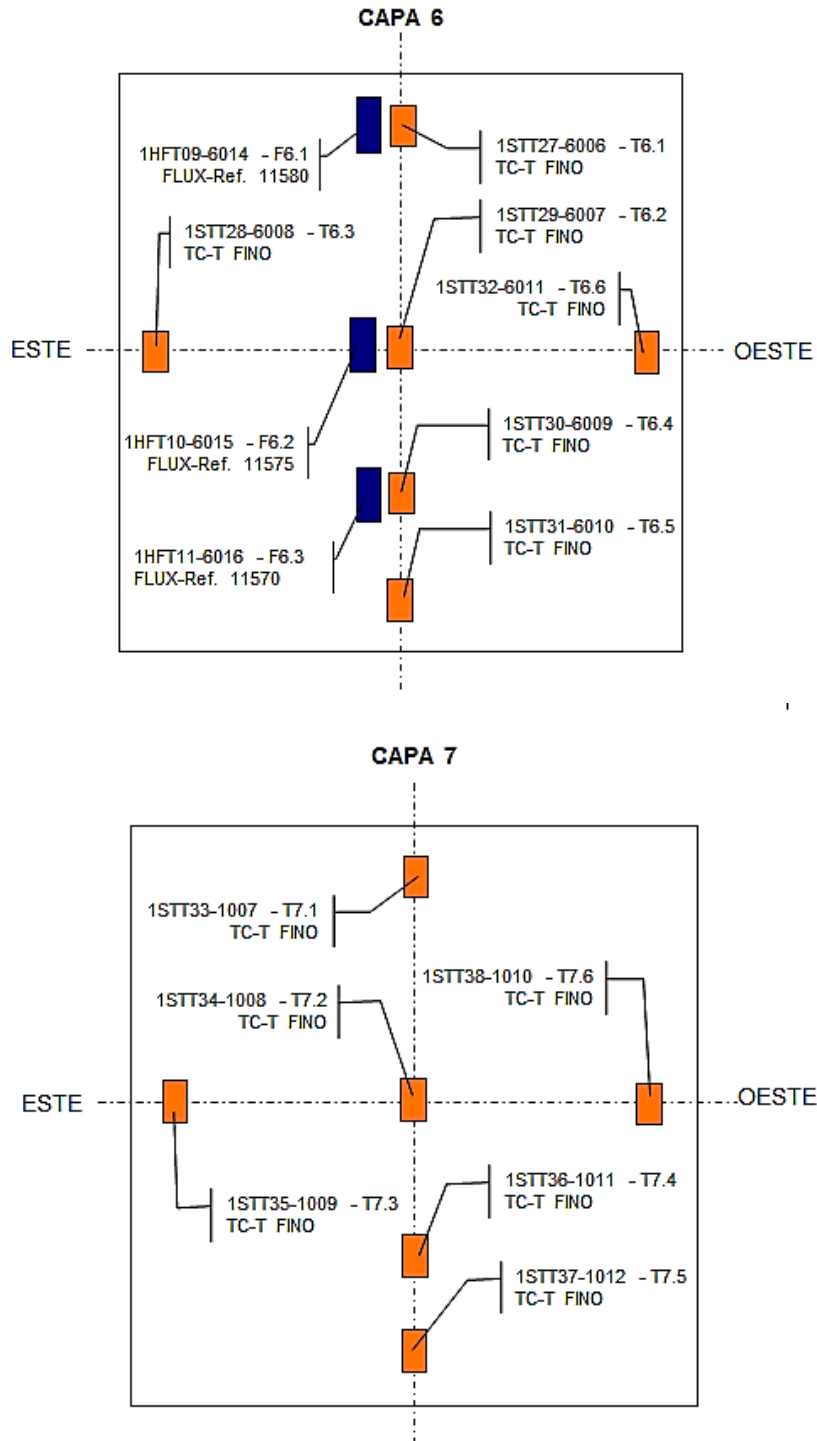


Figura C.24 – Esquema de montaje de las sondas en la muestra de fachada ventilada ligera



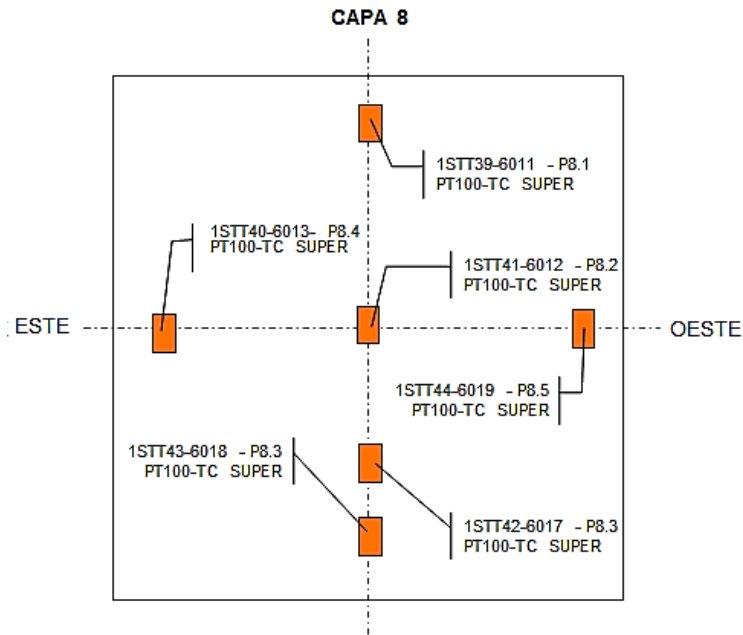


Figura C.25 – Esquema de montaje de las sondas en la muestra de fachada ventilada ligera

### C.3.2 Datos experimentales ensayo de contraste

En la Figura C.26 y en la Figura C.27 se recogen los datos correspondientes a las condiciones ambientales durante el periodo de ensayo de contraste.

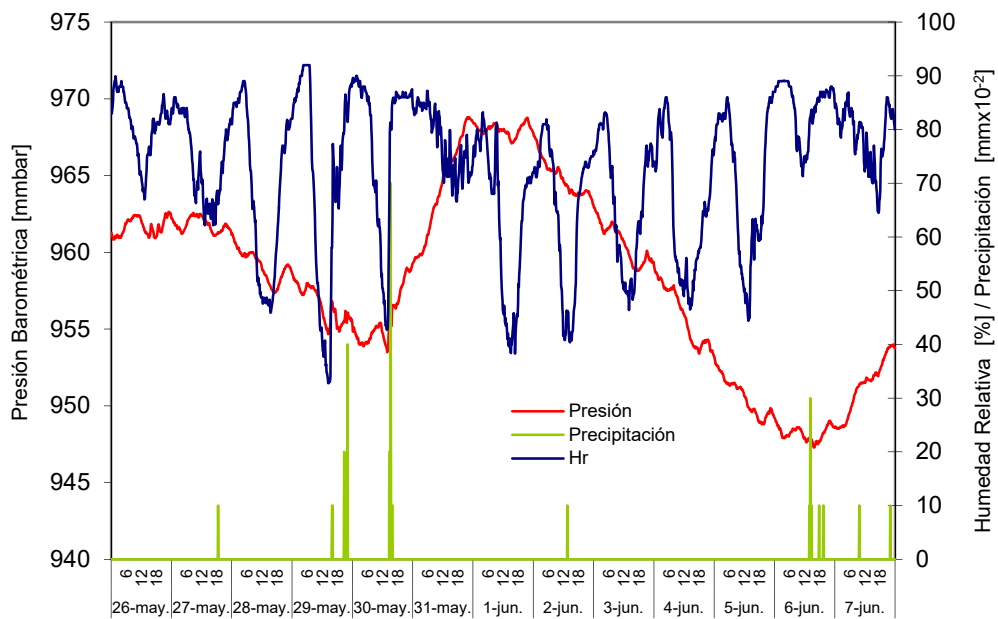


Figura C.26 – Condiciones ambientales en el ensayo de la fachada ventilada ligera periodo de contraste

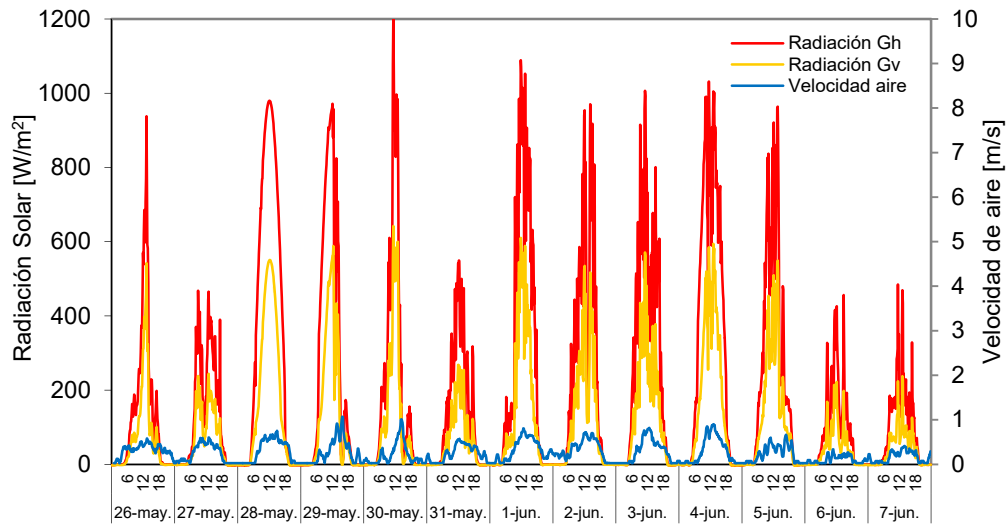


Figura C.27 – Radiación solar y velocidad de viento durante el ensayo de la fachada ventilada ligera

En la Figura C.28 se muestra la potencia inyectada en la sala de ensayo mediante la rutina de control y la evolución de las temperaturas interiores respecto a la temperatura de ambiente.

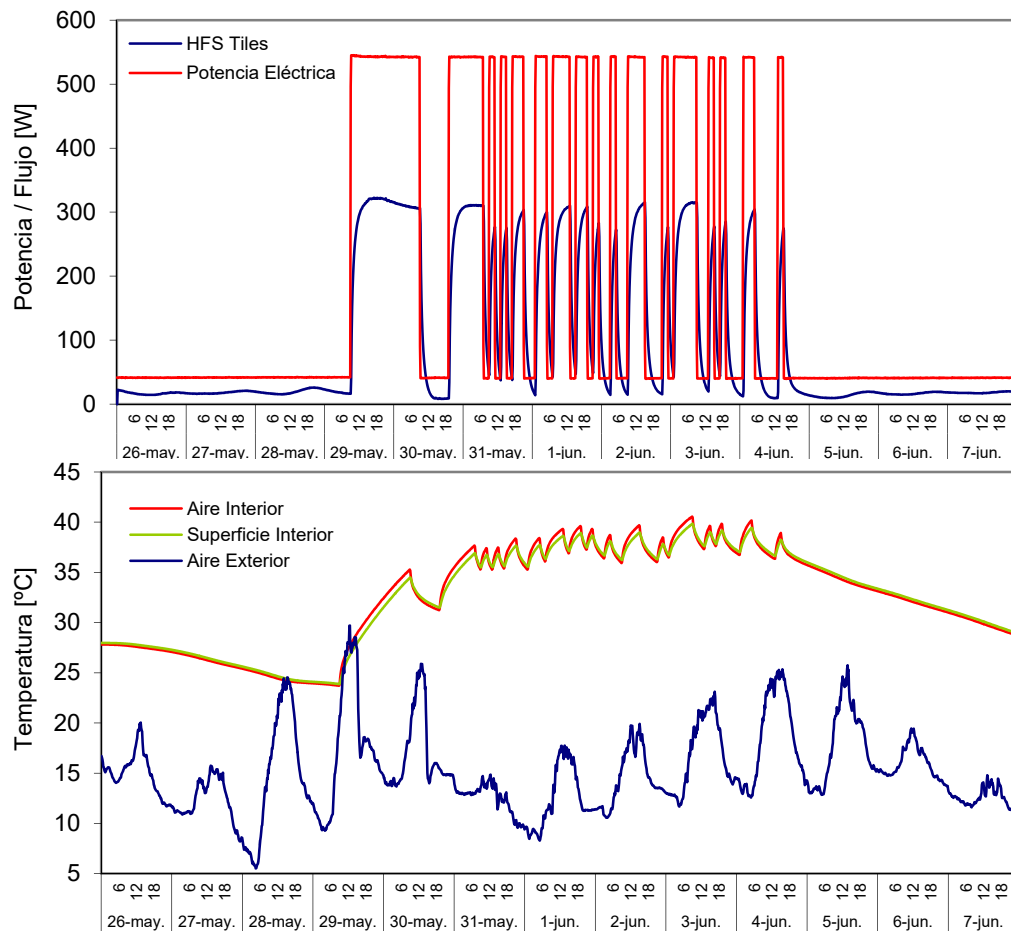


Figura C.28 – Condiciones de la sala de ensayo para la fachada ventilada ligera en el periodo de contraste

Para el periodo de contraste se modifica la rutina de ensayo, en este caso se aplica la rutina PRBS, de esta se dispone de más información sobre el comportamiento de la fachada ventilada, y si el modelo de convección es sensible al comportamiento en frecuencia de las excitaciones. En la Figura C.29 se verifica la homogeneidad de las temperaturas de aire y superficie interior de la sala de ensayos para el periodo de contraste, así como el cálculo del salto medio de temperaturas entre ambientes.

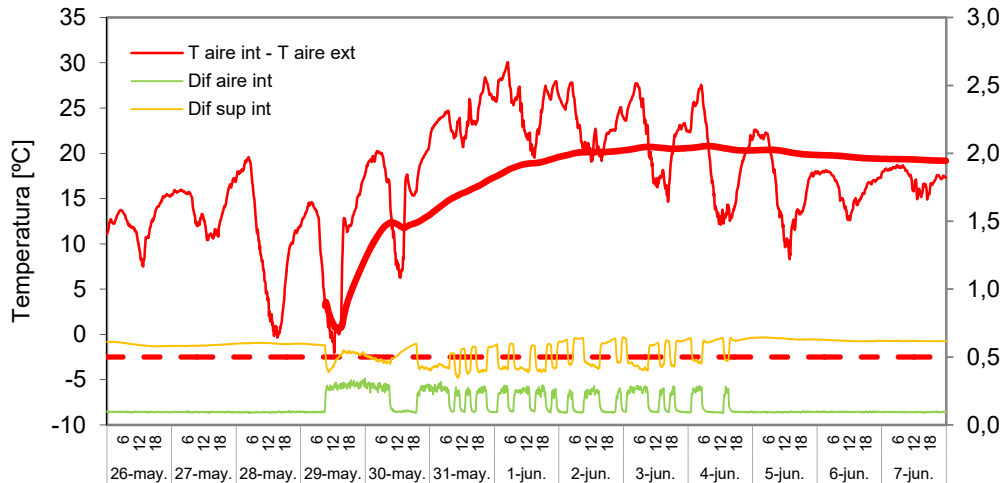


Figura C.29– Salto de temperaturas entre ambientes y homogeneidad de las condiciones en la sala de ensayo para la fachada ventilada ligera en el periodo de contraste

En la Figura C.30 se muestran las temperaturas medias en cada una de las capas de la probeta.

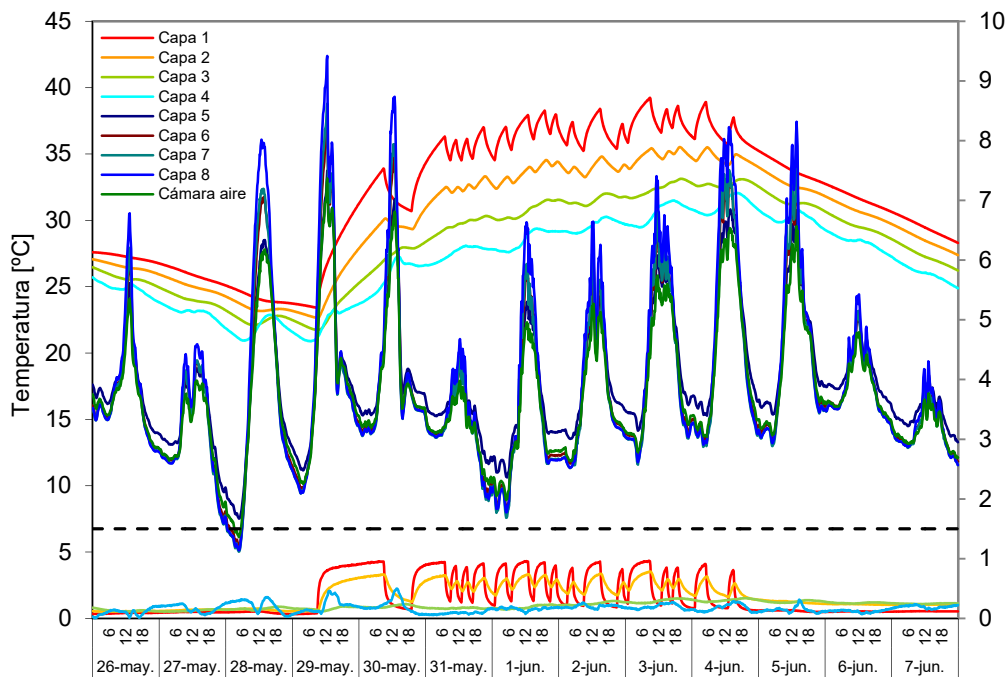


Figura C.30– Temperaturas en la probeta de fachada ventilada ligera

En la Figura C.31 se muestran los flujos puntuales medidos por las fluxímetros colocados en el punto central en las capas de mayor interés de la probeta de fachada ligera. Y en la Figura C.32 se muestran la comparativa de flujos medidos en la superficie interior de la muestra para dicho punto central respecto a flujo medido en las zonas de borde de la probeta. Esta comparativa permite evaluar el efecto de dichas zonas.

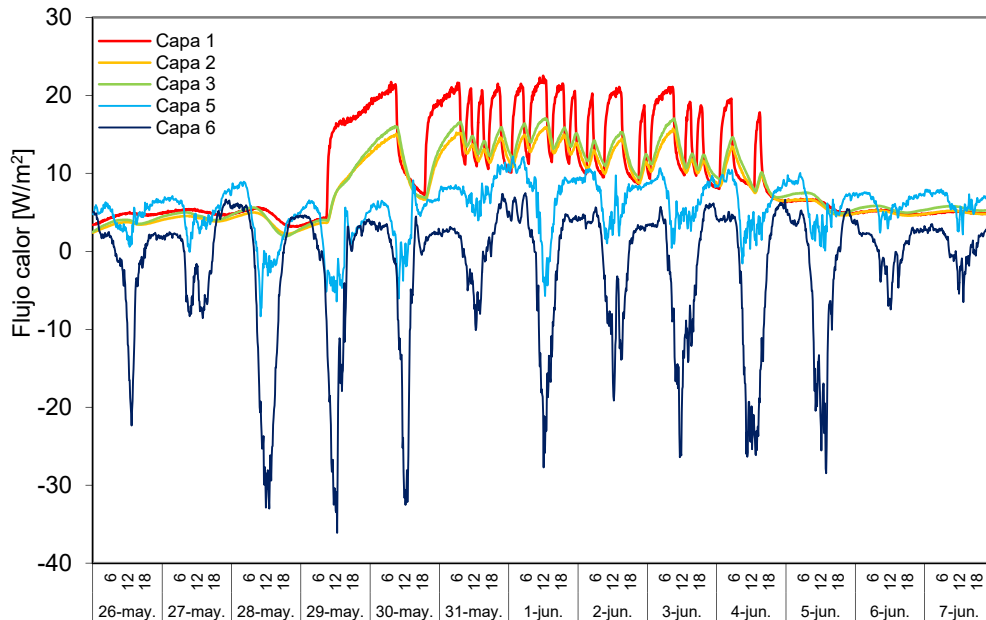


Figura C.31– Flujos de calor puntuales medidos en la zona central de la fachada ventilada ligera para cada una de las capas más representativas durante el periodo de contraste

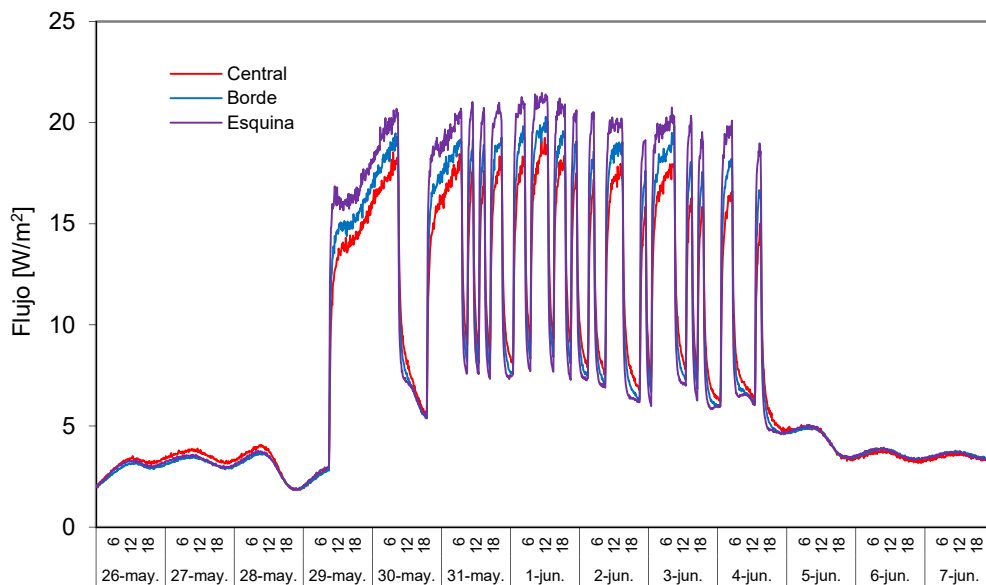


Figura C.32– Flujos superficiales en la cara interior, capa 1, para la muestra de fachada ventilada ligera

En la Figura C.24 se muestra la evolución de temperaturas en altura para la cámara de aire y las superficies que la conforman.

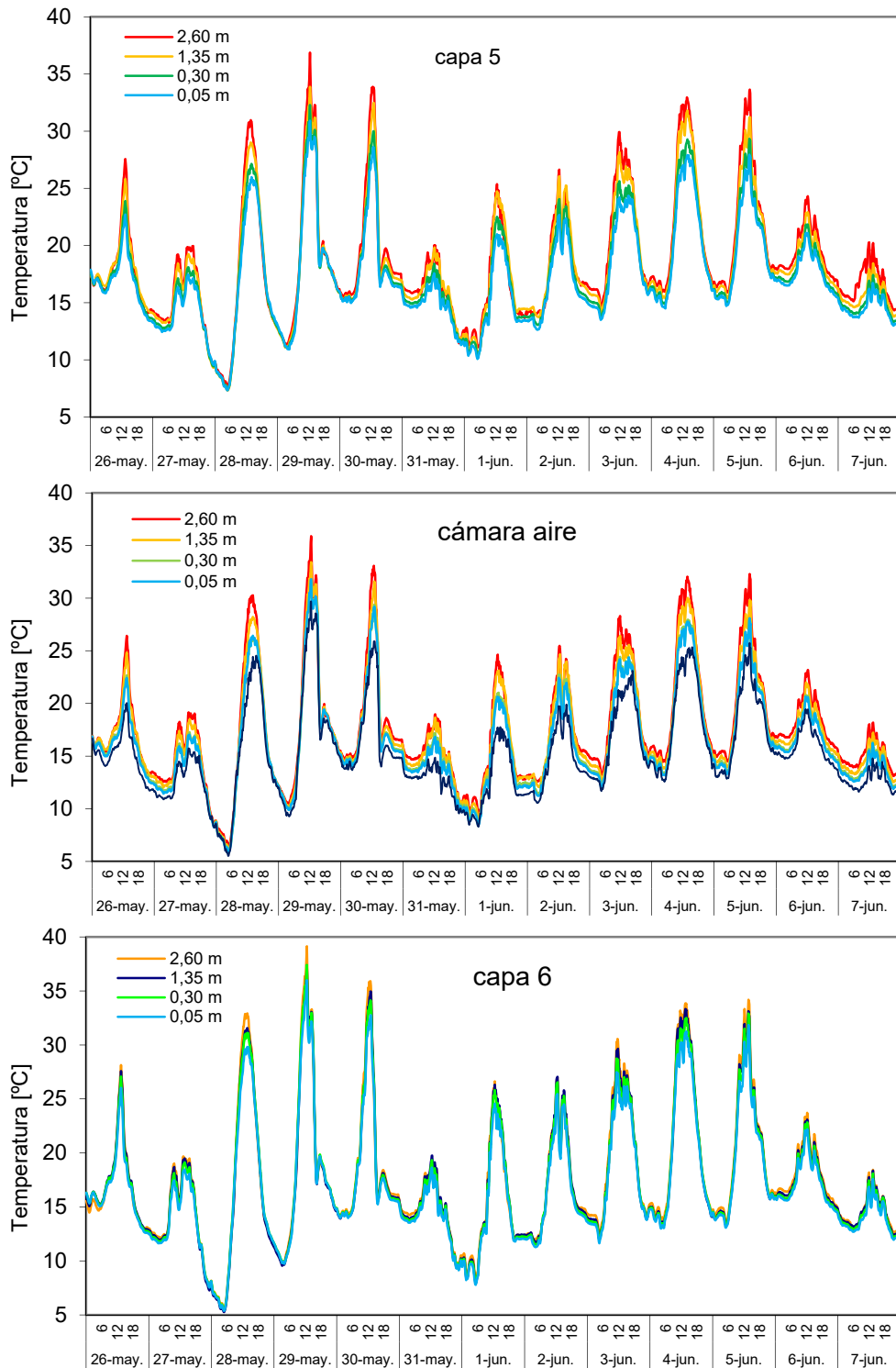


Figura C.24 – Temperaturas en función de la altura en el eje central de la cámara ventilada

En la Figura C.26 se muestra la velocidad de aire medida en la cámara ventilada por los termoanemómetros en función de la altura. En la Figura C.27 se muestran los flujos intercambiados por las superficies que conforman la cámara de aire registrados por los fluxímetros instalados.

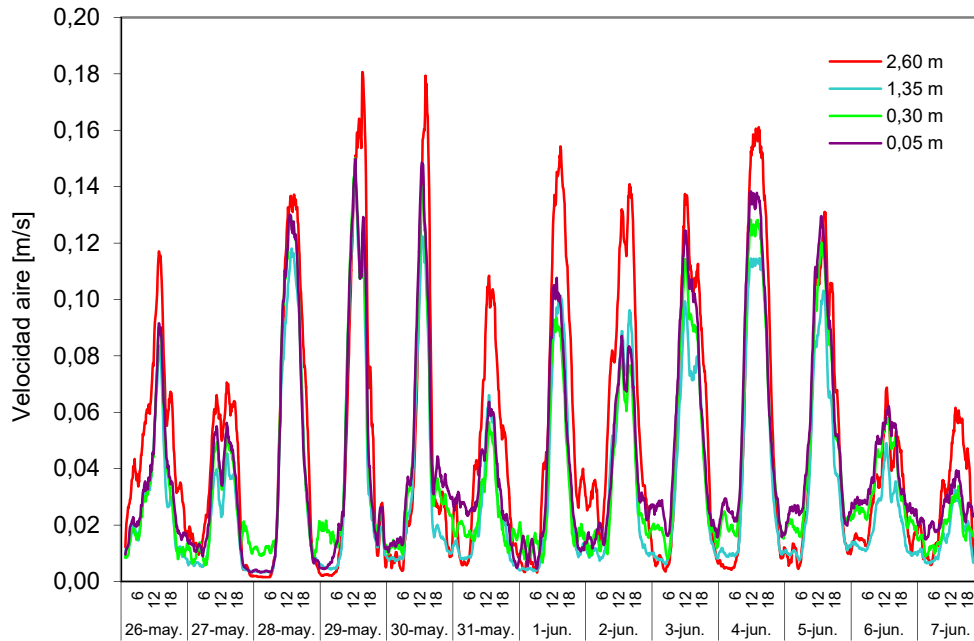


Figura c.25 – Velocidades de aire en la cámara ventilada para el eje central en función de la altura

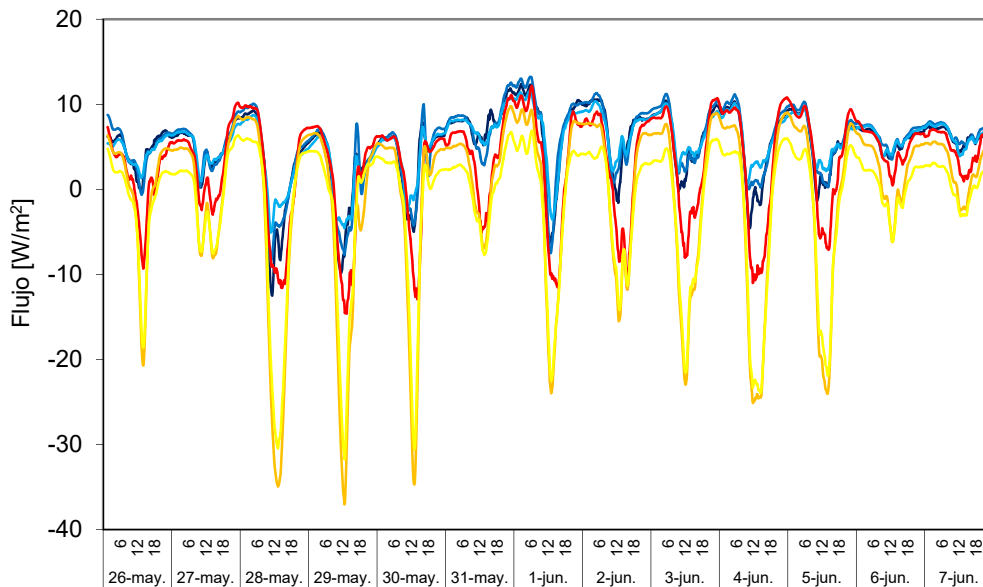


Figura c.26 – Flujos de calor puntuales medidos en las superficies que conforman la cámara ventilada para el eje central en función de la altura

## C.4 Fachada ventilada pesada

De la experiencia adquirida mediante el ensayo de la probeta de fachada ventilada ligera se plantean modificaciones sobre la instrumentación instalada en la muestra de fachada pesada. Un claro ejemplo es el empleo de sondas de medida de diferencia de presión, de cara a caracterizar las pérdidas de carga en las zonas de entrada y salida de la cámara ventilada. Esta variable se ha mostrado de gran necesidad a la hora de ajustar los modelos CFD. Así mismo, se añade al grupo de sondas una termopila para medir con mayor precisión el salto de temperaturas que se produce dentro de la cámara de aire, junto con la medida de la homogeneidad de dicho salto a lo largo de la toda la muestra, lo que permite valorar la fiabilidad de la hipótesis de flujo bidimensional dentro de la probeta. A continuación se muestran los esquemas de instrumentación instalados en la probeta y los datos correspondientes al periodo de contraste realizado.

### C.4.1 Instrumentación de la muestra

En la Figura C.27 se muestra un esquema constructivo de la probeta de fachada ventilada pesada con la descripción de cada capa que la conforma. En la Tabla C.4 se recoge el número y tipología de sensores instalados.

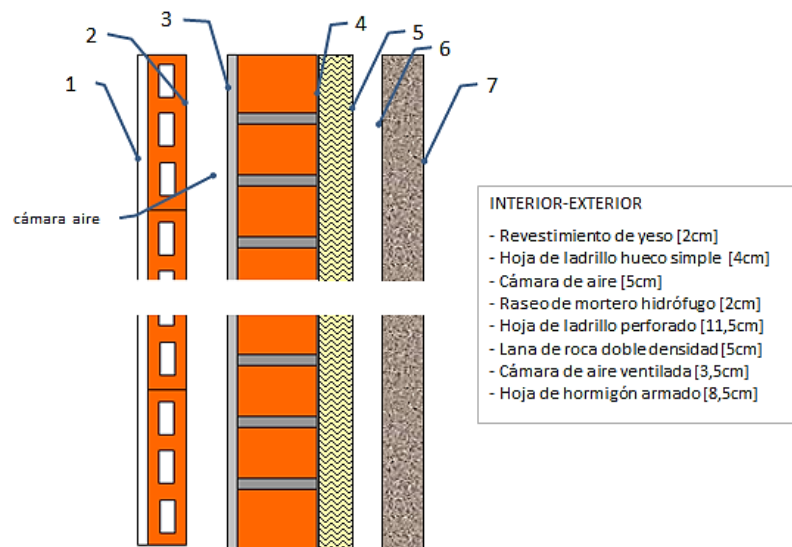


Figura C.27 – Solución constructiva de la fachada ventilada pesada

MAGNITUD	CARACTERÍSTICAS	Nº SENSORES						
		CAPA 1	CAPA 2-3	CAPA 4	CAPA 5-6	CA	CAPA 7	
<b>MURO BASE + FV P</b>	Temperatura	PT100, clase A, conexión 4 hilos	5	5		6	10	5
	Temperatura	Termopila tipo T			5			
	Dif Temperatura	Temopila tipo T 10 puntas					1	
	Flujo de calor	Ahlborn FQA-0801-H	3	1				
	Velocidad aire	Ahlborn FVA-605-TA-1					4	
	Dif Presión	Ahlborn FD8612DPS/APS					3	

Tabla c.4 – Sensores instalados en la probeta de la fachada ventilada pesada

En la Figura C.28 y en la Figura C.29 se muestran los esquemas de montaje de los sensores para las capas nuevas asociadas a la probeta de fachada ventilada pesada.

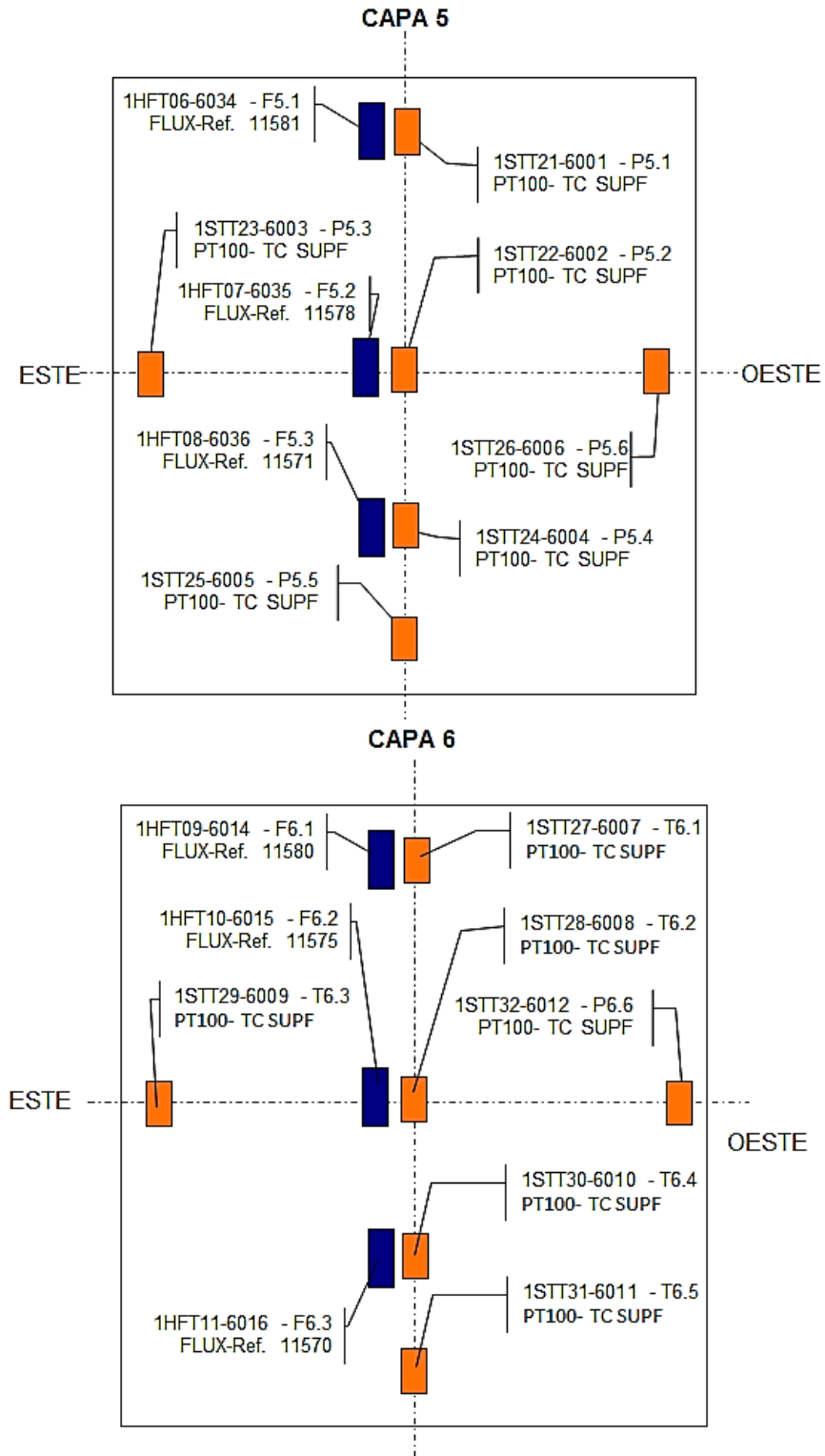


Figura C.28 – Instrumentación instalada en la fachada ventilada pesada



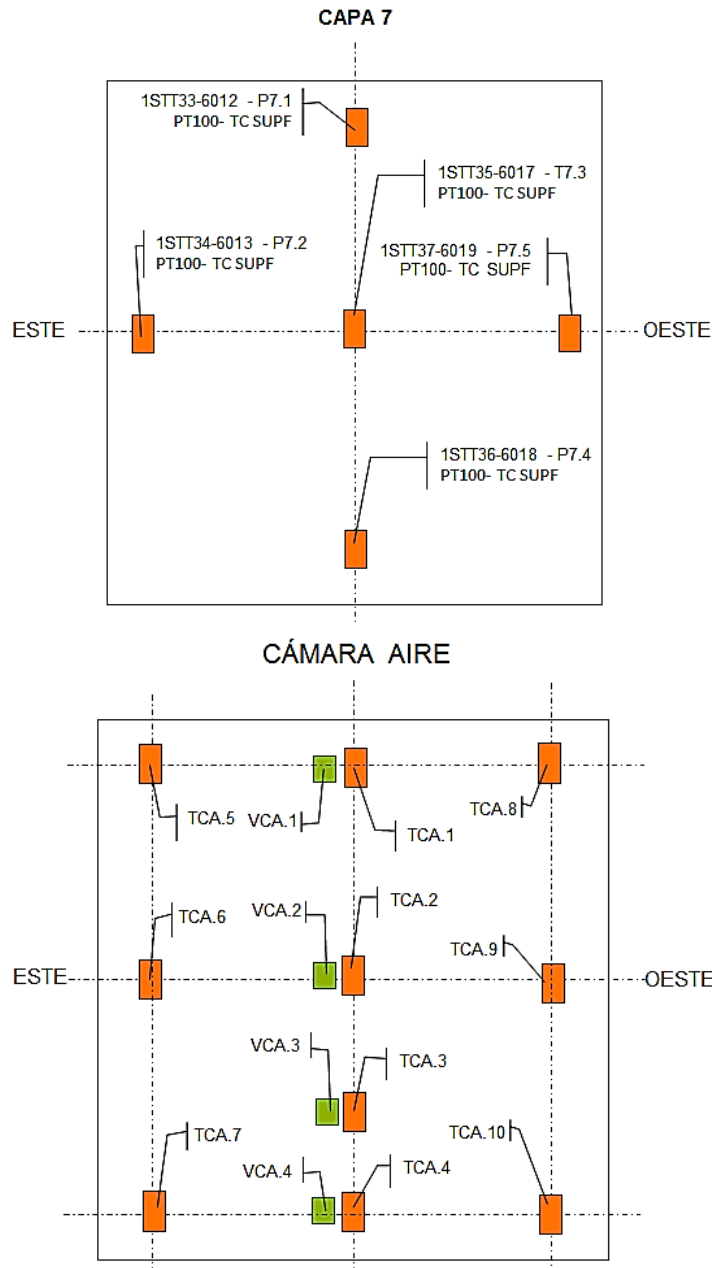


Figura C.29 – Instrumentación instalada en la fachada ventilada pesada

En el esquema correspondiente a las sondas de la cámara de aire mostrado en la imagen inferior de la Figura C.29 no se ha definido la nomenclatura total de la instrumentación ya que la imagen sería compleja de visualizar, por tanto, se ha indicado la definición propia del ensayo que se emplea en el posterior análisis específico de datos. En la Figura C.30 se muestra el esquema de montaje de la termopila y de las tres sondas de presión diferencial aprovechando el montaje de manguitos de presión instalados para medir la pérdida de presión en la entrada y en la salida respecto al exterior. El montaje de manguitos se realiza de esta forma ya que los sensores empleados son de presión diferencial, lo que permite ampliar la precisión respecto a la medida de las presiones absolutas y la resta posterior.

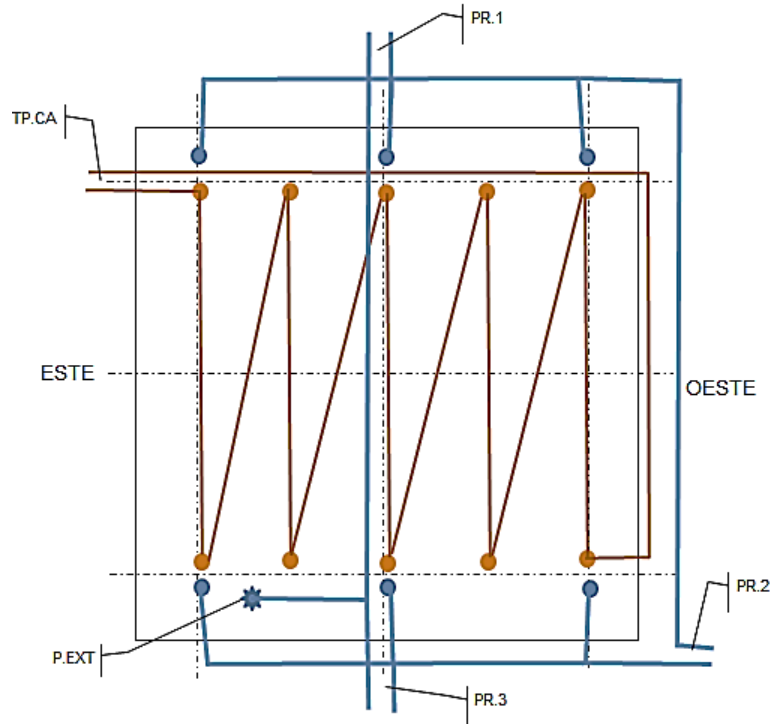


Figura C.30 – Montaje termopila y manguitos de presión en la probeta de fachada ventilada pesada

## C.4.2 Datos experimentales ensayo de contraste

En la Figura C.31 y en la Figura C.32 se muestran las condiciones ambientales bajo las cuales se desarrolla el periodo de ensayo que se emplea como contraste para el modelado de la muestra de fachada ventilada pesada.

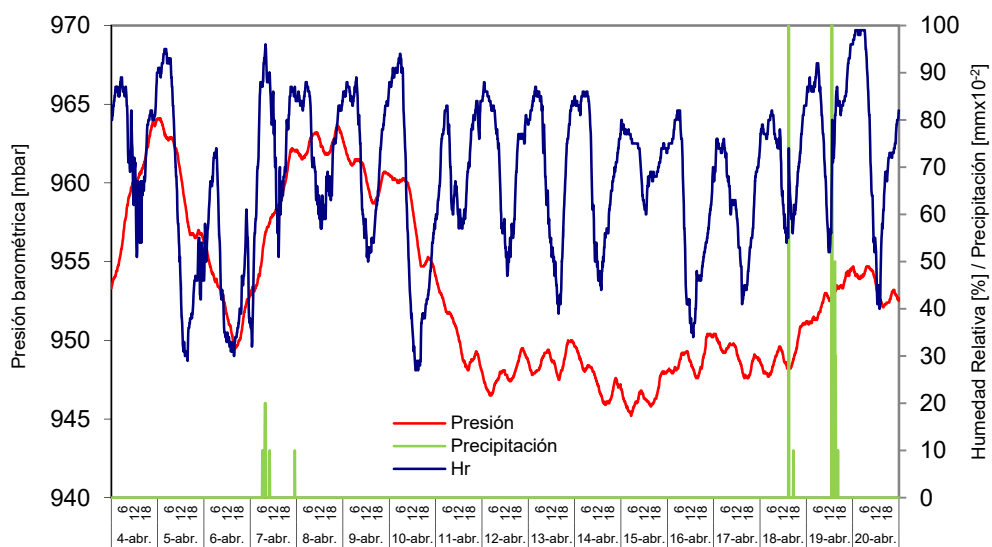


Figura C.31 – Condiciones ambientales ensayo de fachada ventilada pesada durante periodo de contraste

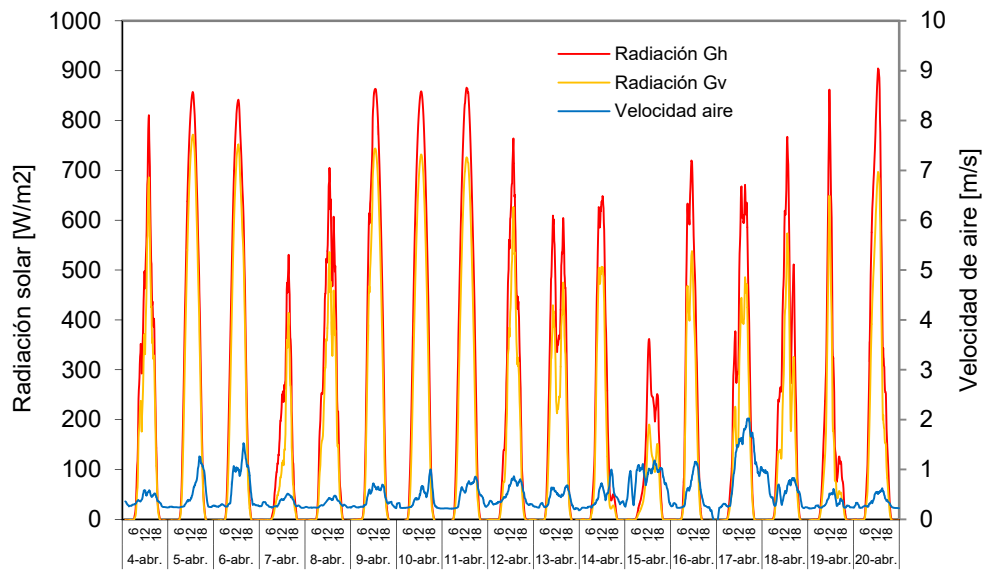


Figura C.32 – Radiación solar y velocidad de viento durante ensayo de contraste fachada ventilada pesada

En la Figura C.33 se muestra la rutina de ensayo y el flujo de calor intercambiado por la envolvente. En este caso no se aplica una de las rutinas de ensayo estándar sino que se emplea una excitación escalón. Este cambio se realiza debido a la elevada inercia de la muestra, y se busca el estudio de la respuesta a escalón. Se aprecian dos picos singulares en la señal de flujo de calor para los días 14 y 16 de abril. Esto se debe a que, por razones ajenas al estudio, se entró en la sala de ensayos.

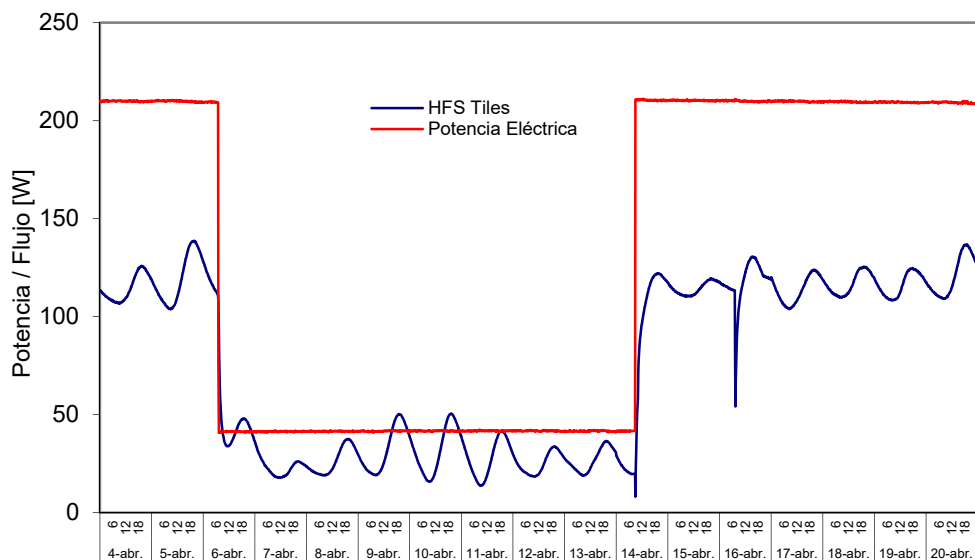


Figura C.33 – Potencia introducida y flujo de calor de la envolvente de la sala de ensayos para la fachada ventilada pesada

En la Figura C.34 y en la Figura C.35 se analizan las condiciones de temperatura de la sala de ensayos. Y en la Figura C.36 se muestra la temperatura media de cada capa junto con las diferencias máximas en las capas interiores del muro base.

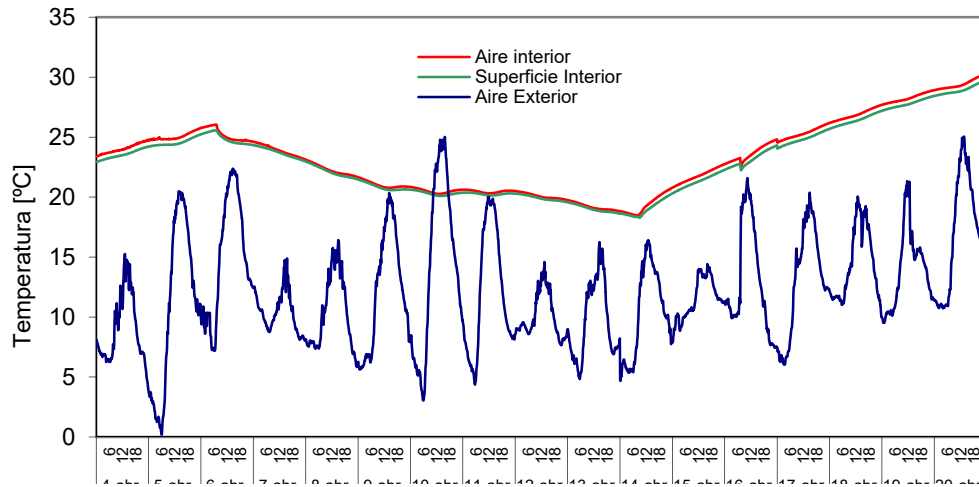


Figura C.34– Temperatura de la sala de ensayos y ambiental para la fachada ventilada pesada

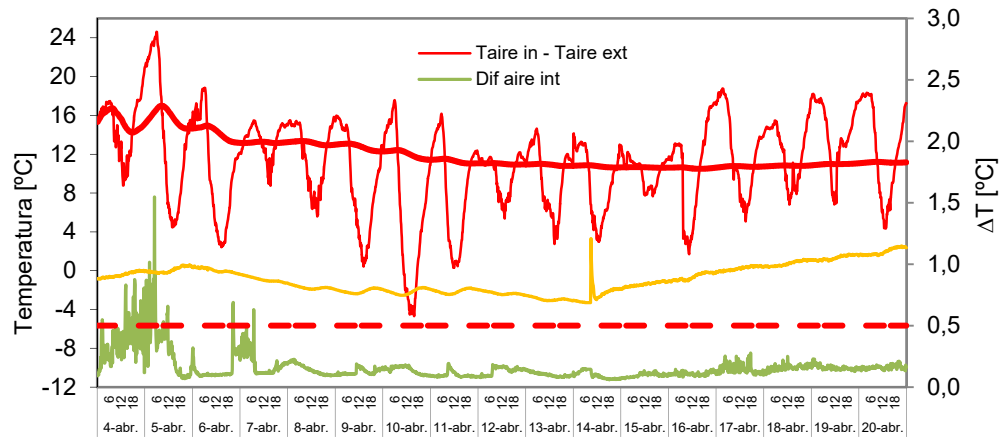


Figura C.35 – Salto de temperaturas entre ambientes y homogeneidad de las condiciones en la sala de ensayo para la fachada ventilada pesada

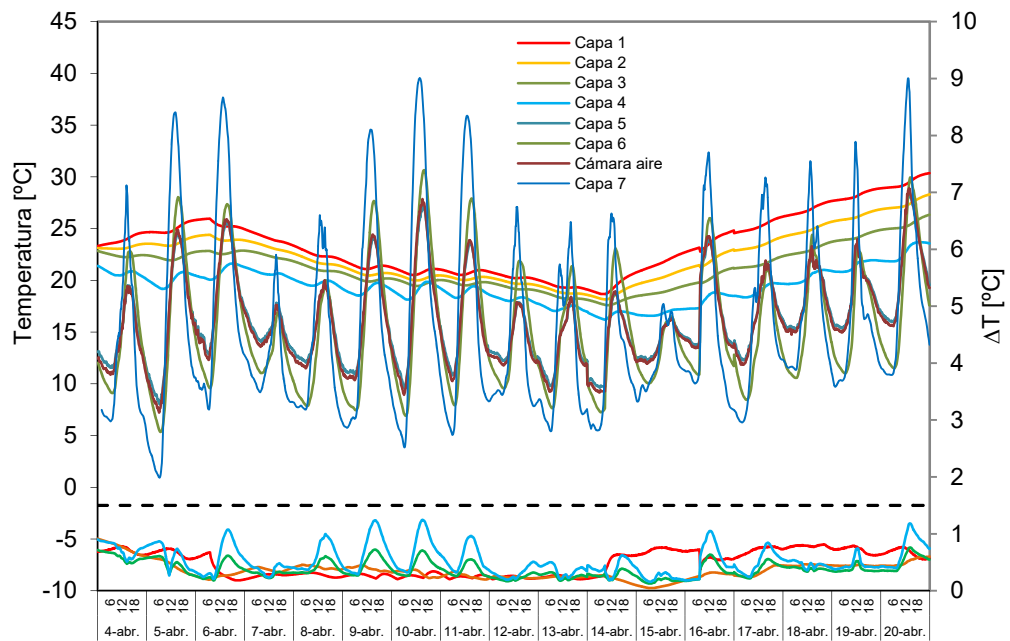


Figura C.36 – Temperaturas en la probeta de fachada ventilada pesada

Una vez analizadas las condiciones de temperatura, se evalúan los flujos de calor en la probeta. En la Figura C.37 se muestran los flujos en las capas interiores del muro de doble hoja. Y en la Figura C.38 la homogeneidad de flujos en la superficie interior de la muestra.

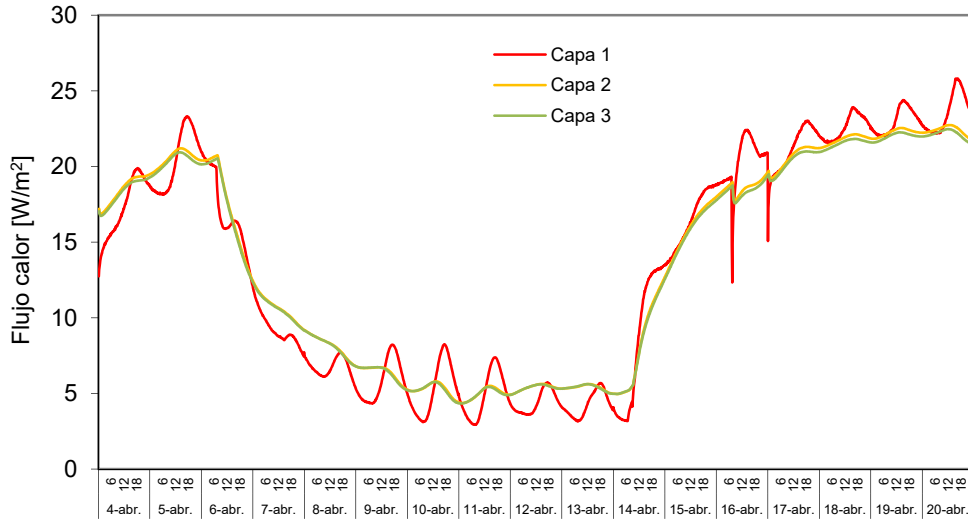


Figura C.37 – Flujos de calor puntuales medidos en la zona central del muro base en la probeta de fachada ventilada pesada

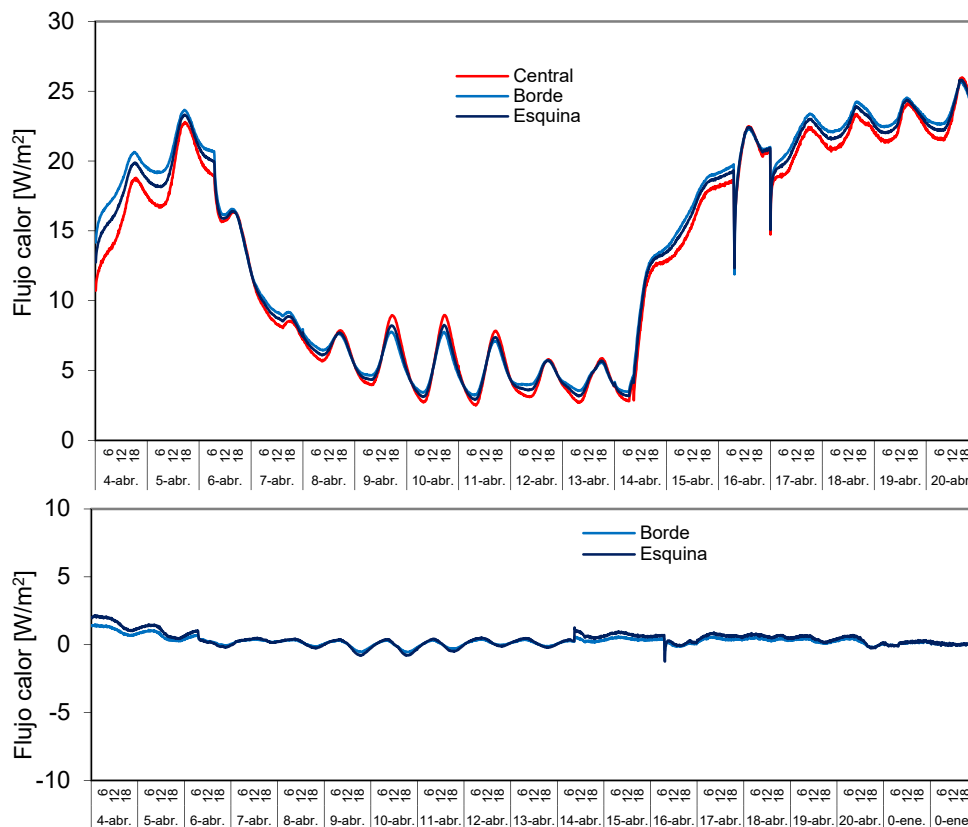


Figura C.38 – Flujos superficiales en la cara interior, capa 1, para la muestra de fachada ventilada pesada

En la Figura C.39 se muestra la evolución de las temperaturas en función de la altura en las superficies y en el aire de la cámara ventilada.

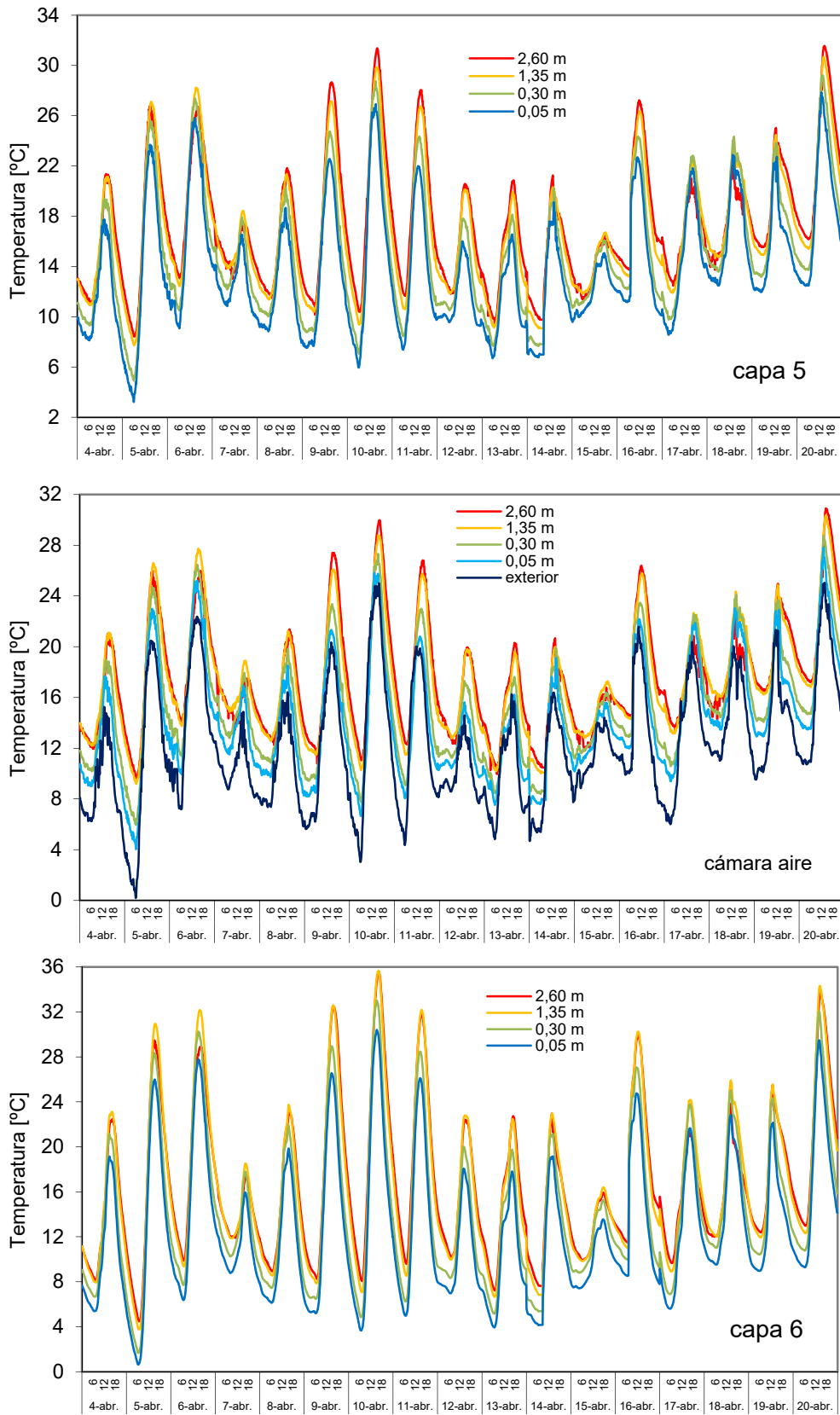


Figura C.39 –Temperatura en altura en el eje central de la cámara ventilada probeta de fachada pesada

En la Figura C.40 se muestra la comparativa entre el salto de temperatura que experimental el aire dentro de la cámara ventilada registrado por la termopila respecto a la diferencia entre las sondas de temperatura de aire instaladas en el eje central.

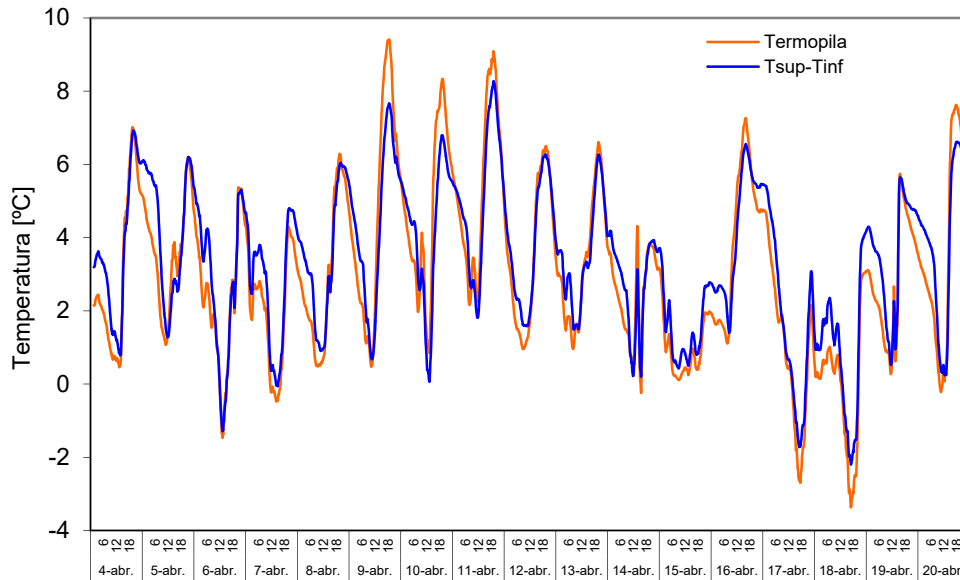


Figura C.40 – Salto de temperatura en la cámara de aire ventilada medido por la termopila y por las sondas instaladas en el eje central de la muestra

En la Figura C.41 se muestran las lecturas de velocidad del aire dentro de la cámara ventilada en función de la altura.

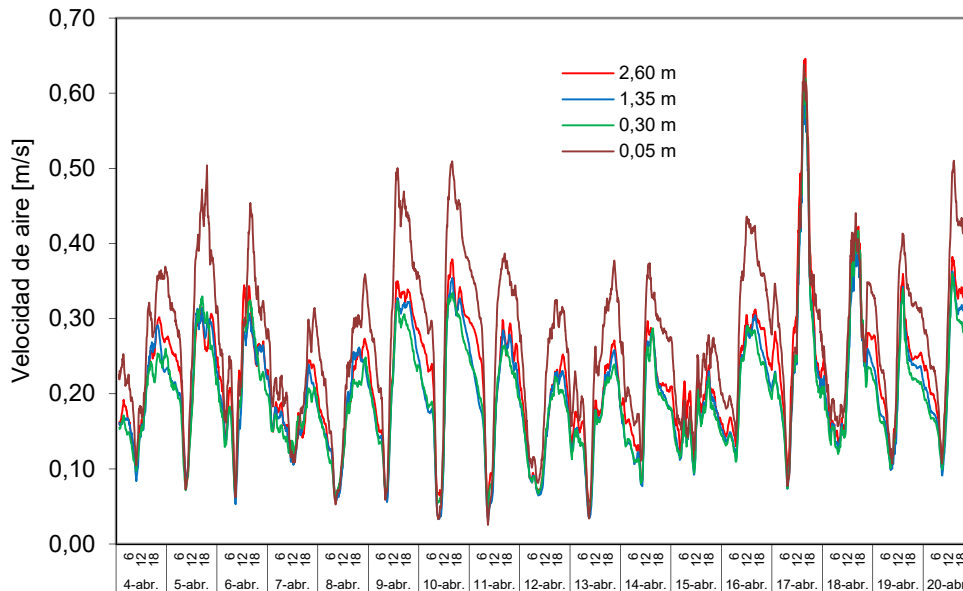


Figura C.41 – Velocidades de aire cámara ventilada para el eje central en altura para la fachada pesada

En la Figura C.42 se muestran las señales de presión diferencias que se producen en la entrada y salida de la cámara ventilada en comparación con la velocidad de viento que se produce en el exterior.

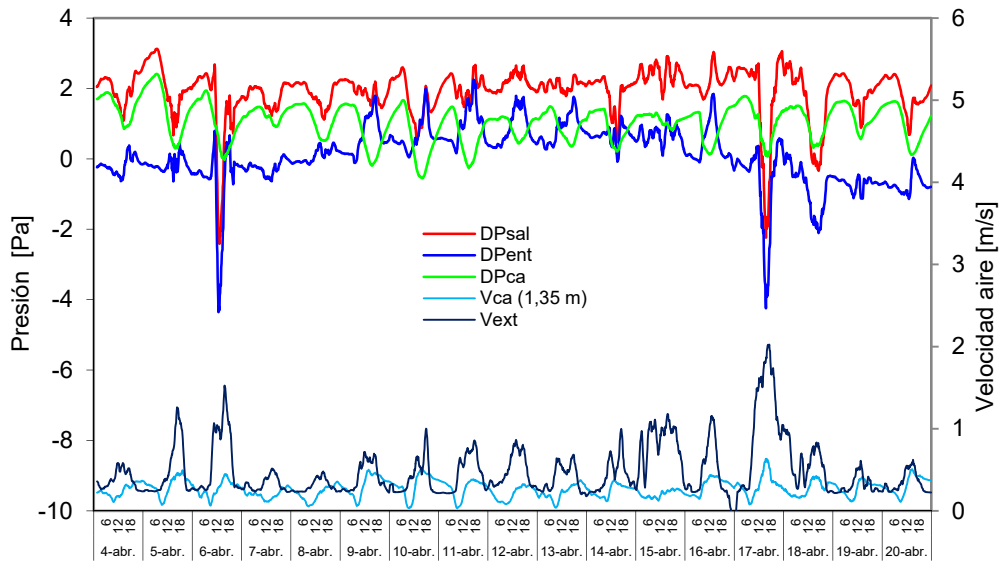


Figura C.42– Caída de presión en la fachada pesada y velocidades de aire exterior y de aire dentro de la cámara ventilada

## C.5 Fachada ventilada forzada

En este caso, las propiedades de la fachada son totalmente diferentes a las de las fachadas analizadas previamente. Por un lado la construcción es ligera y de carácter industrializable, frente a la construcción más convencional de las anteriores. Y por otro lado, al forzar el movimiento de aire dentro de la cámara ventilada se obtiene un comportamiento desligado en parte de las condiciones exteriores, permitiendo además, obtener una mejor eficacia de absorción de calor por la cortina de aire. A continuación se muestra la instrumentación instalada en la probeta y los datos del ensayo de contraste.

### C.5.1 Instrumentación de la muestra

Con la experiencia obtenida de los ensayos anteriores, y debido a las características propias de la muestra de fachada forzada se modifica el esquema de instrumentación empleada en el ensayo. En la Tabla C.5 se recogen el listado de sondas colocadas en cada capa de la probeta. Al disponer de menos capas se puede ampliar el número de sondas instaladas en la cámara de aire.

	MAGNITUD	CARACTERÍSTICAS	Nº SENSORES		
			CAPA 1-2-3	CA	TOLVA
FV FORZADA	Temperatura	PT100, clase A, conexión 4 hilos	5	12	1
	Dif Temperatura	Termopila tipo T 10 puntas		1	
	Velocidad aire	Ahlborn FVA-605-TA-1		1	
	Caudal aire	KIMO CP300-ALETAS DEBIMO			1
	Dif Presión	Ahlborn FD8612DPS/APS		3	

Tabla C.5 – Sensores instalados en la probeta de fachada ventilada forzada



Esto permite obtener una mejor información del comportamiento del aire en toda la superficie de la probeta, además se analiza un perfil transversal de la cámara en el punto central. En la Figura C.43 se muestra el esquema constructivo donde se puede apreciar la simplicidad constructiva. La probeta presenta sólo tres superficies, y la hoja interior se reduce a la capa de aislamiento directamente.

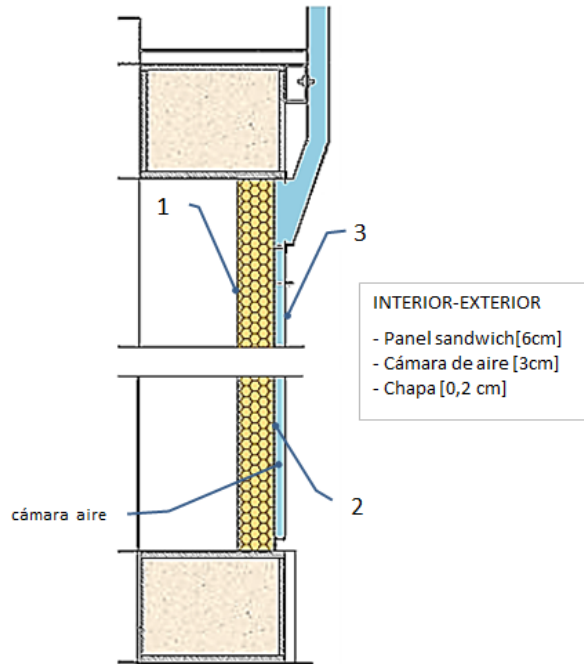


Figura C.43 – Solución constructiva de la fachada ventilada forzada

En la Figura C.44 se muestra la disposición de las sondas de temperatura instaladas en las tres capas.

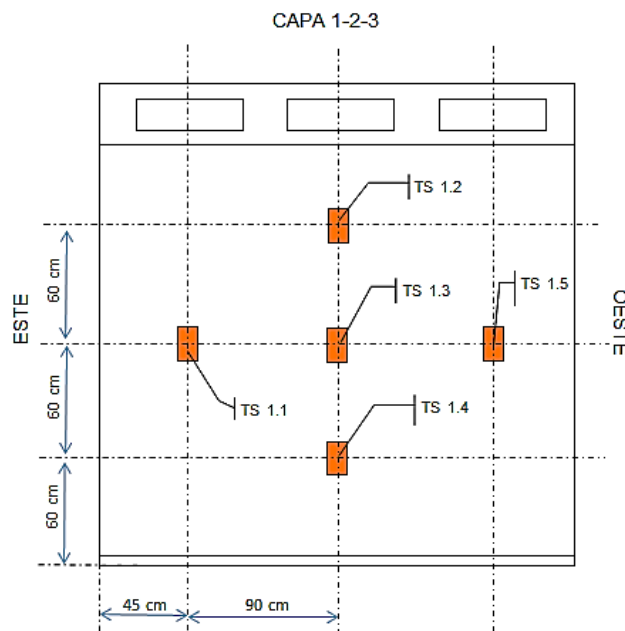


Figura C.44 – Esquema de montaje de las sondas de temperatura en las tres capas de la muestra

En la Figura C.45 se muestran las sondas colocadas en la cámara de aire ventilada, tanto de temperaturas, velocidad de aire, y diferencia de presión.

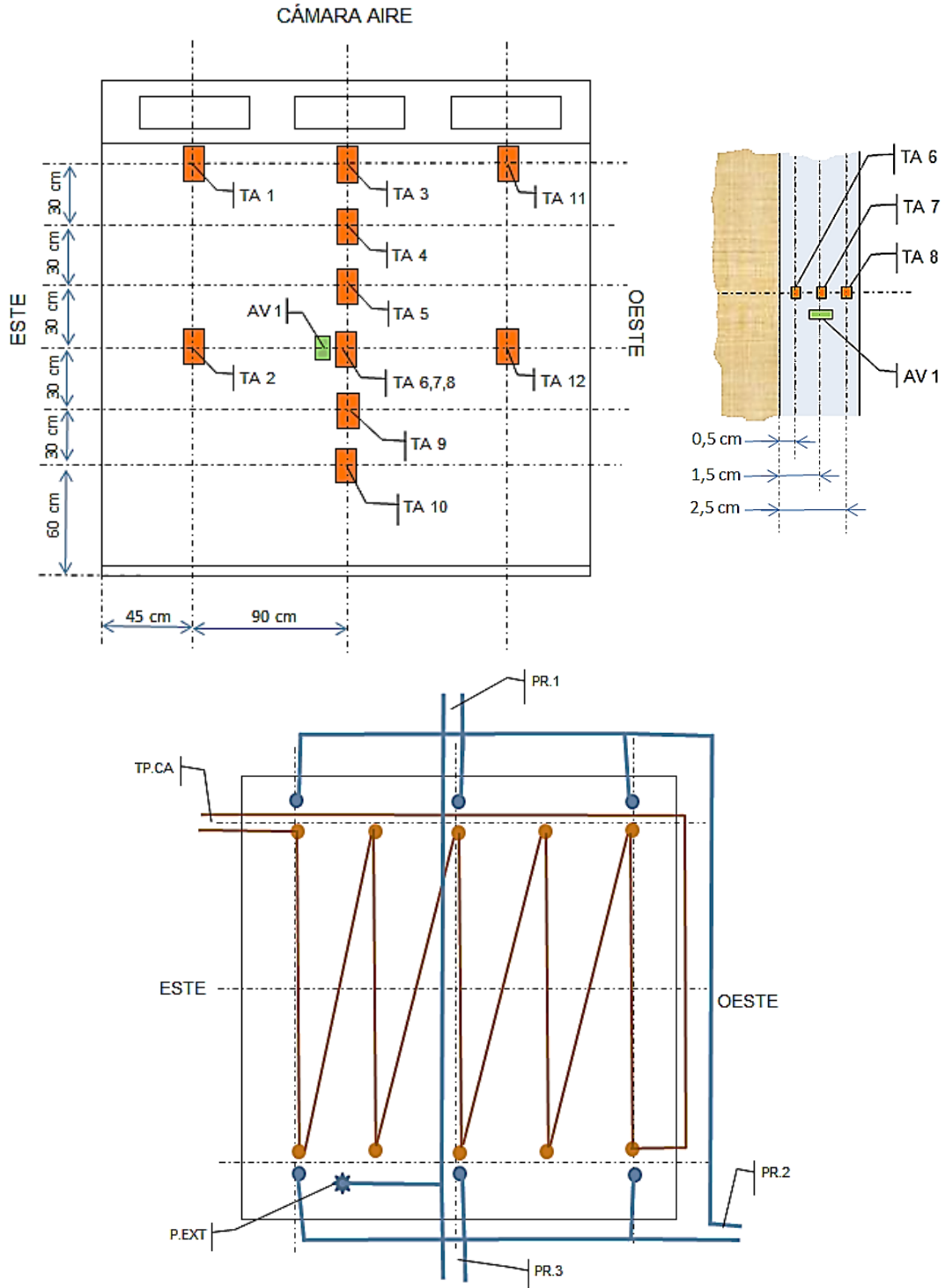


Figura C.45 – Esquema de montaje de las sondas en la cámara de aire

### C.5.2 Datos experimentales ensayos de contraste

En la Figura C.46 y en la Figura C.47 se muestran los datos de las condiciones ambientales durante el periodo de ensayo de contraste realizado a la probeta de fachada ventilada forzada.

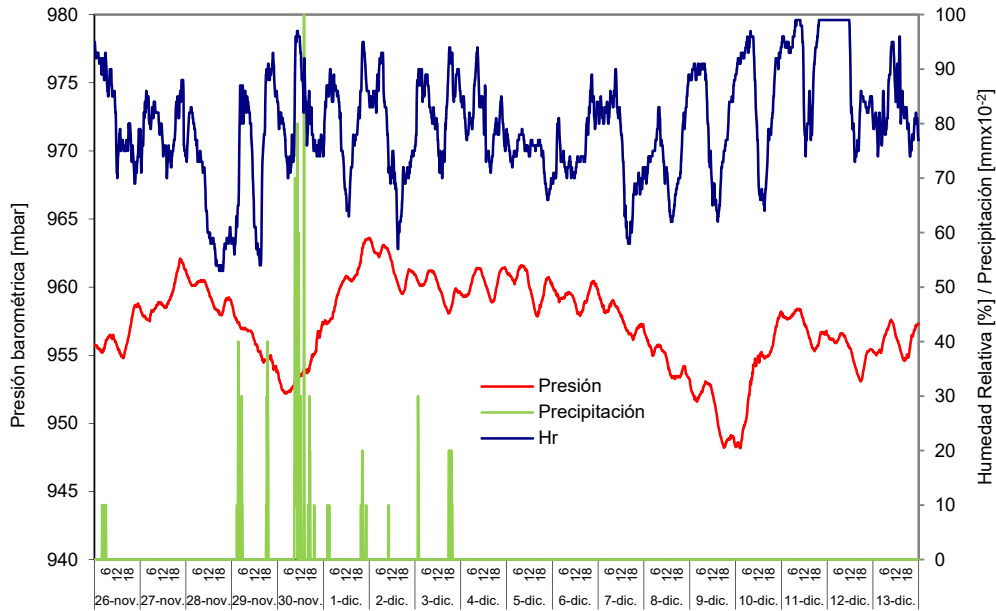


Figura C.46 – Condiciones ambientales durante el ensayo de la fachada ventilada forzada durante el periodo de contraste

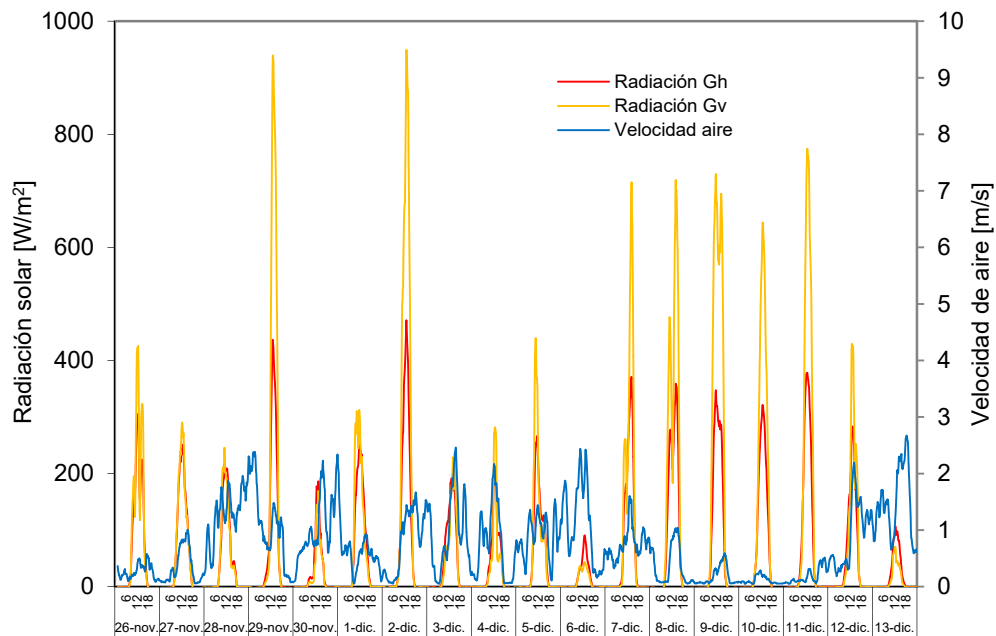


Figura C.47 – Radiación solar y velocidad de viento durante el ensayo de modelado de la fachada ventilada forzada

En la Figura C.48 y en la Figura C.49 se muestran la evolución de los flujos de calor y temperaturas en la sala de ensayos.

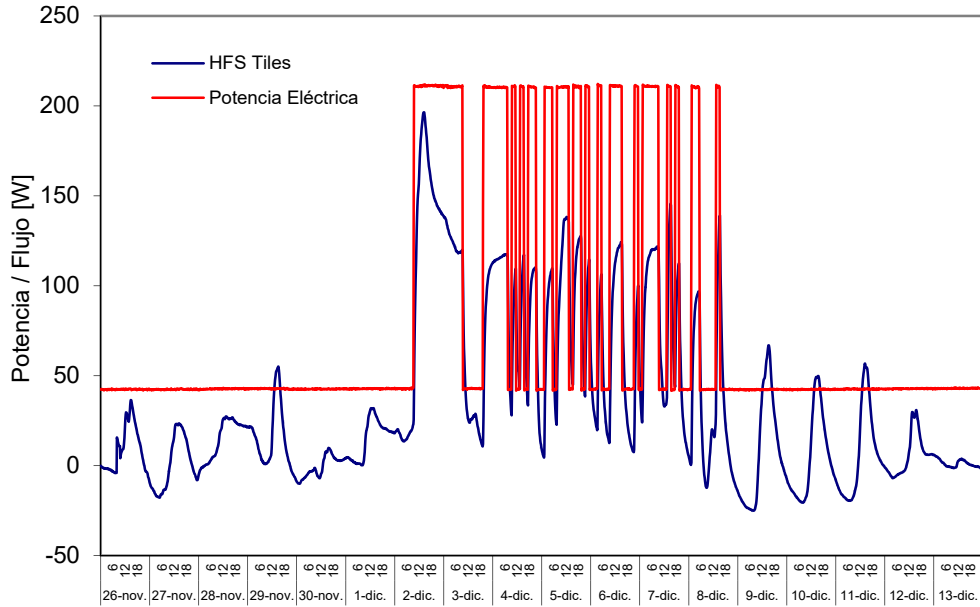


Figura C.48 – Potencia introducida y flujo de calor de la envolvente de la sala de ensayos para la fachada ventilada forzada

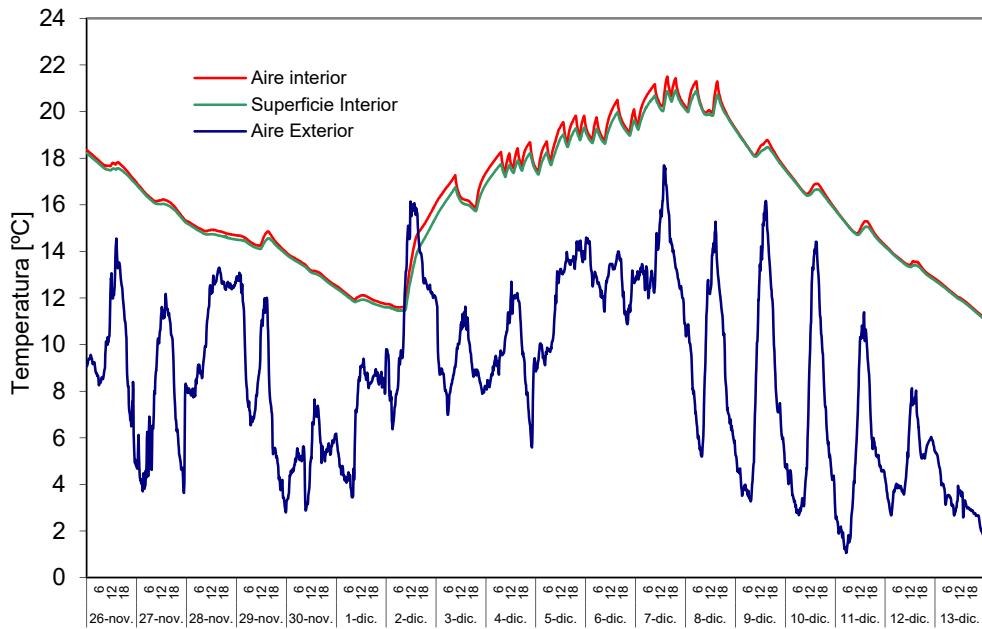


Figura C.49 – Temperatura de la sala de ensayos y ambiental para la fachada ventilada forzada

En la Figura C.50 se analiza la homogeneidad de temperaturas de la sala de temperaturas y el salto entre ambientes.

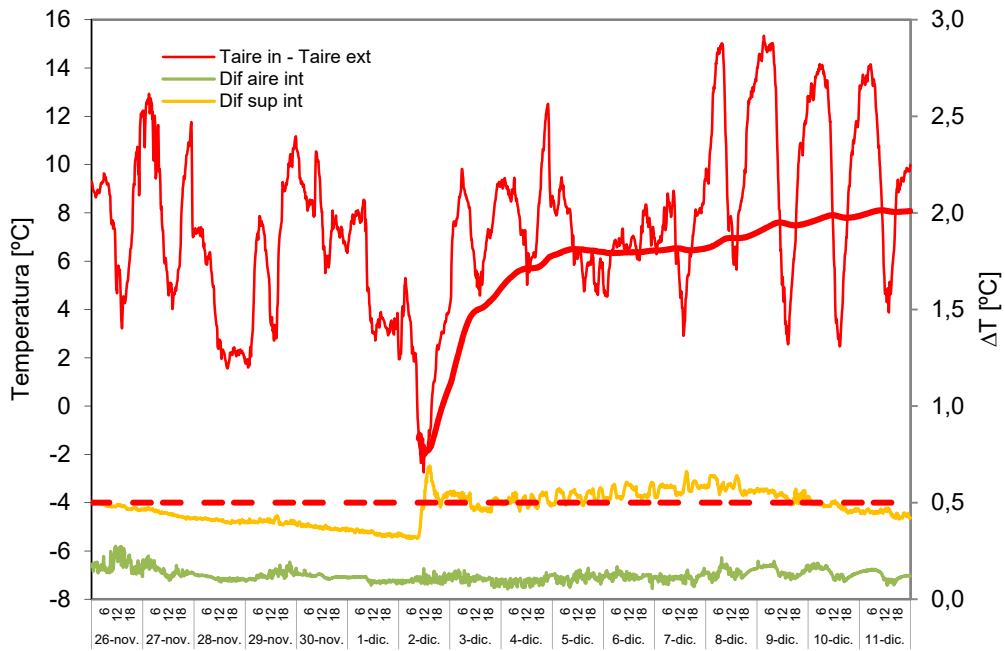


Figura C.50– Salto de temperaturas entre ambientes y homogeneidad de las condiciones en la sala de ensayo para la fachada ventilada forzada

En la Figura C.51 se muestran las temperaturas medias en cada capa de la probeta de fachada forzada, y la homogeneidad en la superficie interior.

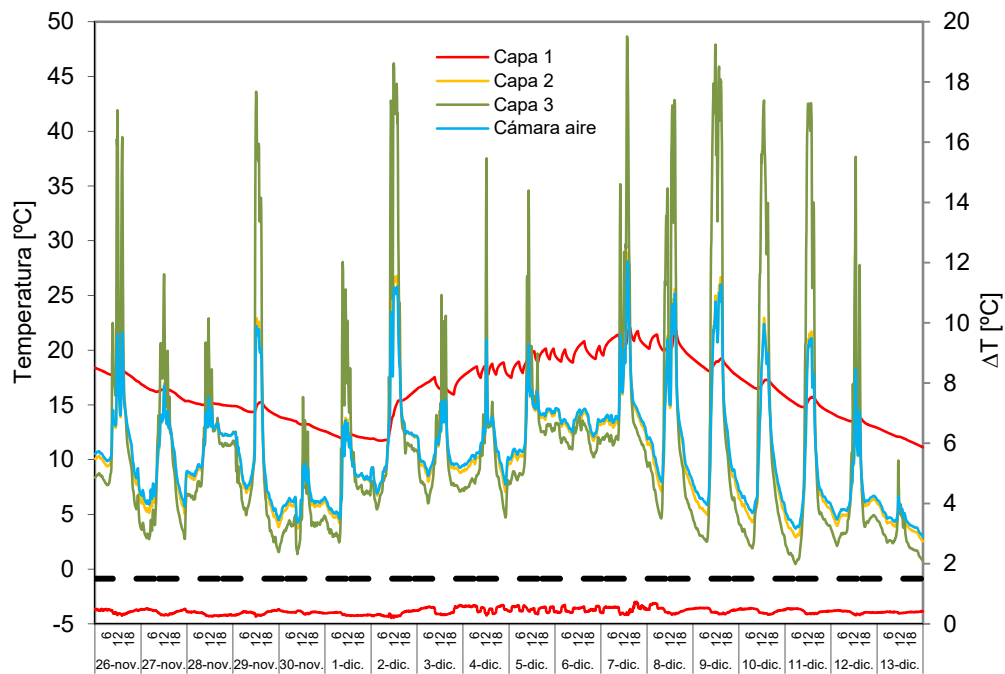


Figura C.51 – Temperaturas en la probeta de fachada ventilada forzada

En la Figura C.52 se muestran la evolución de la temperatura del aire de la cámara ventilada en función de la altura, junto con las temperaturas de las superficies que la conforman.

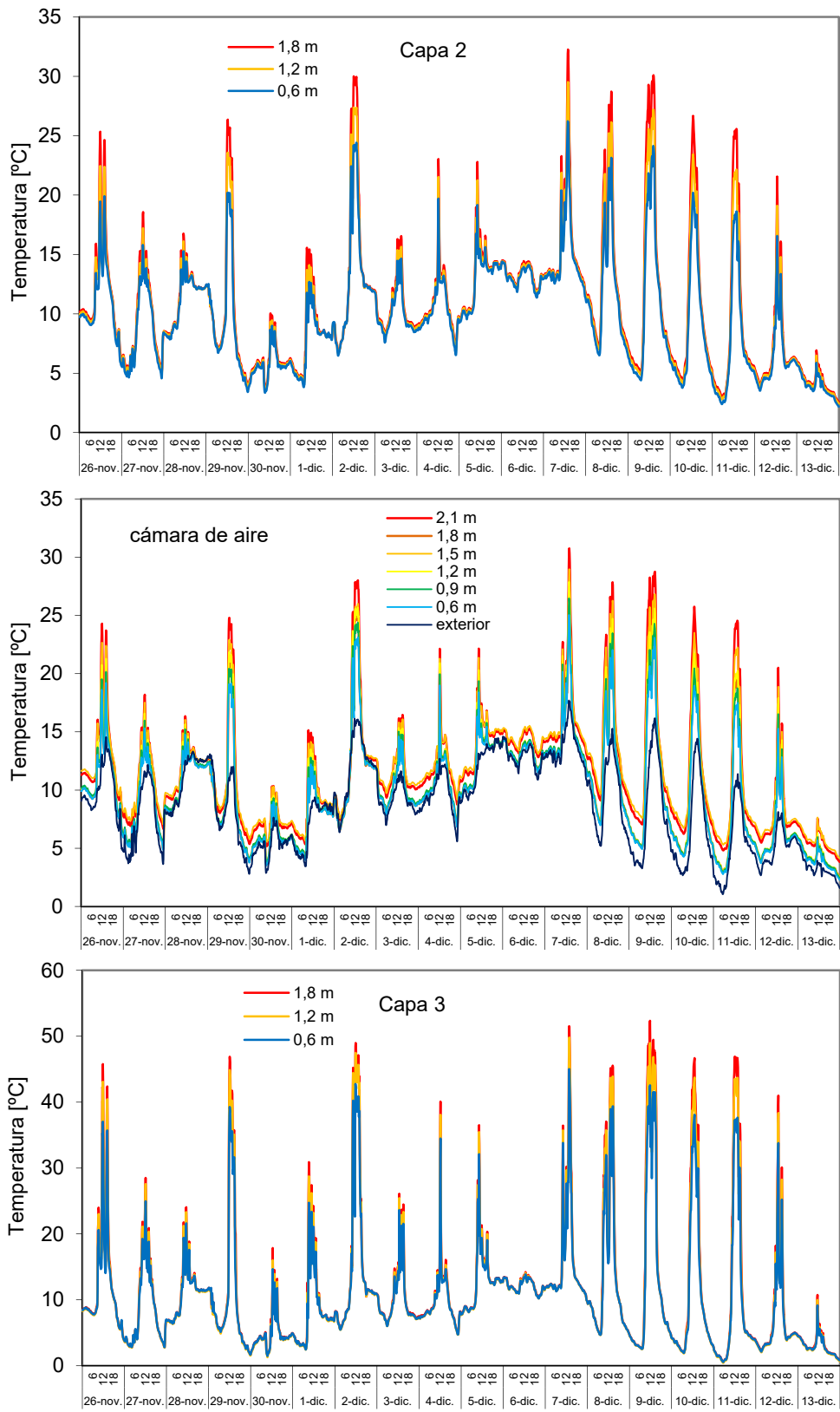


Figura C.52–Temperatura en función de la altura en el eje central de la cámara ventilada en la probeta de fachada forzada

En la Figura C.53 se muestra la comparativa entre la diferencia de temperaturas entrada-salida del aire en la cámara ventilada medida por la termopila y por las sondas de temperatura puntuales.

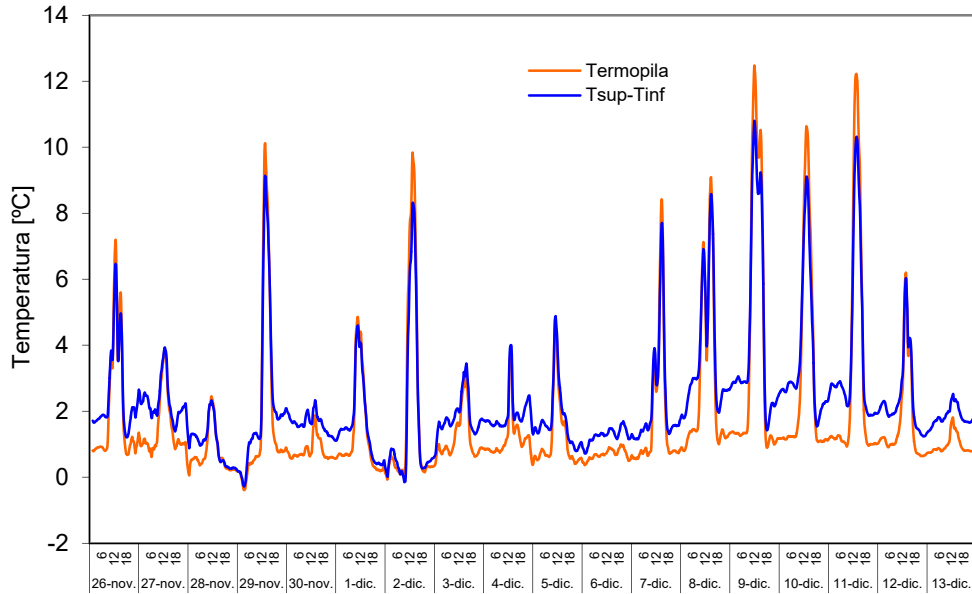


Figura C.53 – Salto de temperatura en la cámara de aire ventilada medido por la termopila y por las sondas instaladas en el eje central de la muestra

En la Figura C.54 se muestra la comparativa entre el caudal de aire medido en la tolva de extracción frente a la velocidad de aire puntual medida por el termoanemómetro situado en el punto central de la cámara de aire a media altura de la probeta.

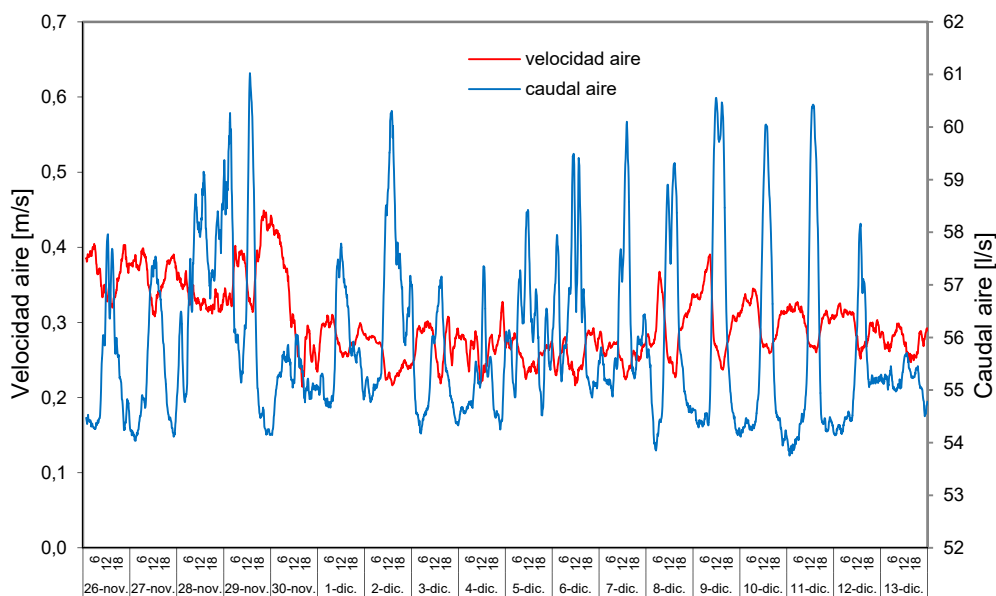


Figura C.54 – Caudal de aire circulante por la cámara ventilada y velocidad de aire en el punto central de la muestra

En la Figura C.55 se muestran las lecturas de las sondas de diferencia de presión instaladas en la zona de entrada y salida respecto al caudal de aire circulante por la fachada.

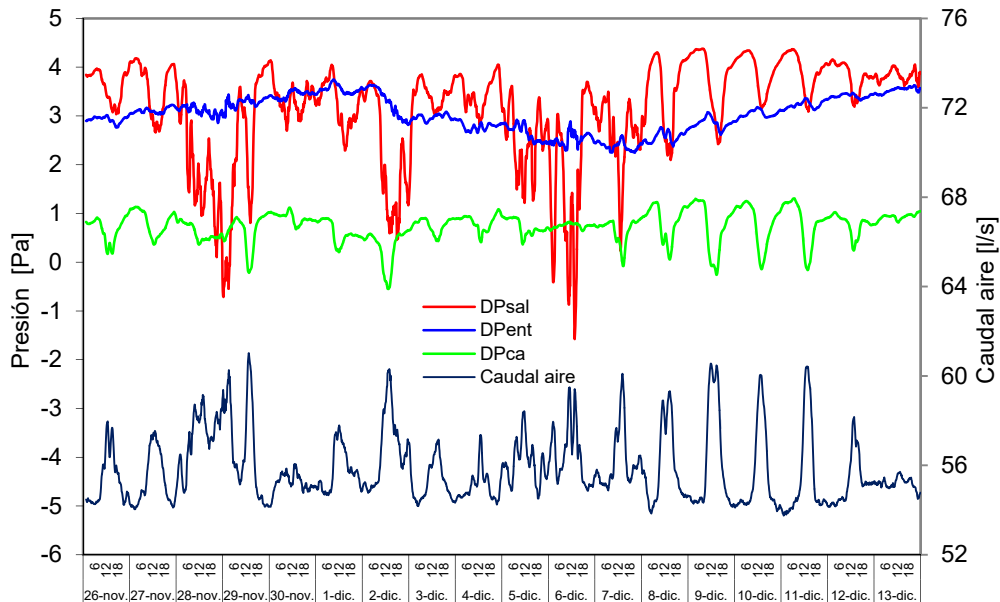


Figura C.55– Caída de presión en la fachada forzada y caudal de aire circulante por la cámara ventilada

## C.6 Ensayo de infiltraciones

El análisis de las insiltraciones es un punto importante de cara a la incertidumbre del ensayo. A continuación se muestra en la Tabla C.6 los caudales de infiltraciones obtenidos con salto de presiones de  $\Delta P = 50$  [Pa], entre la sala de ensayos y el ambiente exterior. Según los requisitos del ensayo *PASLINK*, el caudal máximo admisible para que las infiltraciones no tengan un efecto representativo en la incertidumbre de ensayo es de  $m_a^{max} = 18$  [ $Nm^3/h$ ], para la celda *EGUZKI*, que equivale a 0,5 [ren/h] de ambiente de la sala de ensayos.

	$m_a$ [ $Nm^3/h$ ]	
	INICIO	FIN
MURO BASE	10,6	14,2
MURO BASE + SATE	7,8	13,9
FV LIGERA	10,0	16,5
FV PESADA	9,4	15,0
FV FORZADA	14,4	17,5

Tabla C.6 – Medida de infiltraciones en los ensayos de las probetas analizadas

Antes de iniciar el periodo de ensayo se realiza una prueba de presión, midiendo el caudal de infiltraciones aplicando condiciones de sobrepresión y condiciones de subpresión, hasta un salto del orden de 100 [Pa] y decreciendo en intervalos de 10



[Pa]. Los datos experimentales se ajustan a una función potencia que se emplea para determinar el valor fiable de caudal de renovación de referencia. Si el caudal de infiltraciones supera el límite admisible o se acerca al mismo se realiza un sellado de juntas y apriete del sistema de portamuestras hasta alcanzar valores admisibles. Una vez verificado este punto se inicia el periodo de ensayo de la muestra. Una vez finalizado el mismo, antes de acceder a la sala de ensayos se realiza otra prueba de presión para verificar que durante el periodo de ensayo las condiciones no se han modificados sustancialmente y el ensayo se puede dar por válido. En esta segunda prueba de presión es norma obtener caudales más altos debido a que los cordones de sellante se retraen con los ciclos de calor y frio del periodo de ensayo, generando un aumento de las infiltraciones. A continuación, en la Figura C.56 y en la Figura C.57 se muestran los datos exactos de las diferentes pruebas de presión realizadas a cada ensayo.

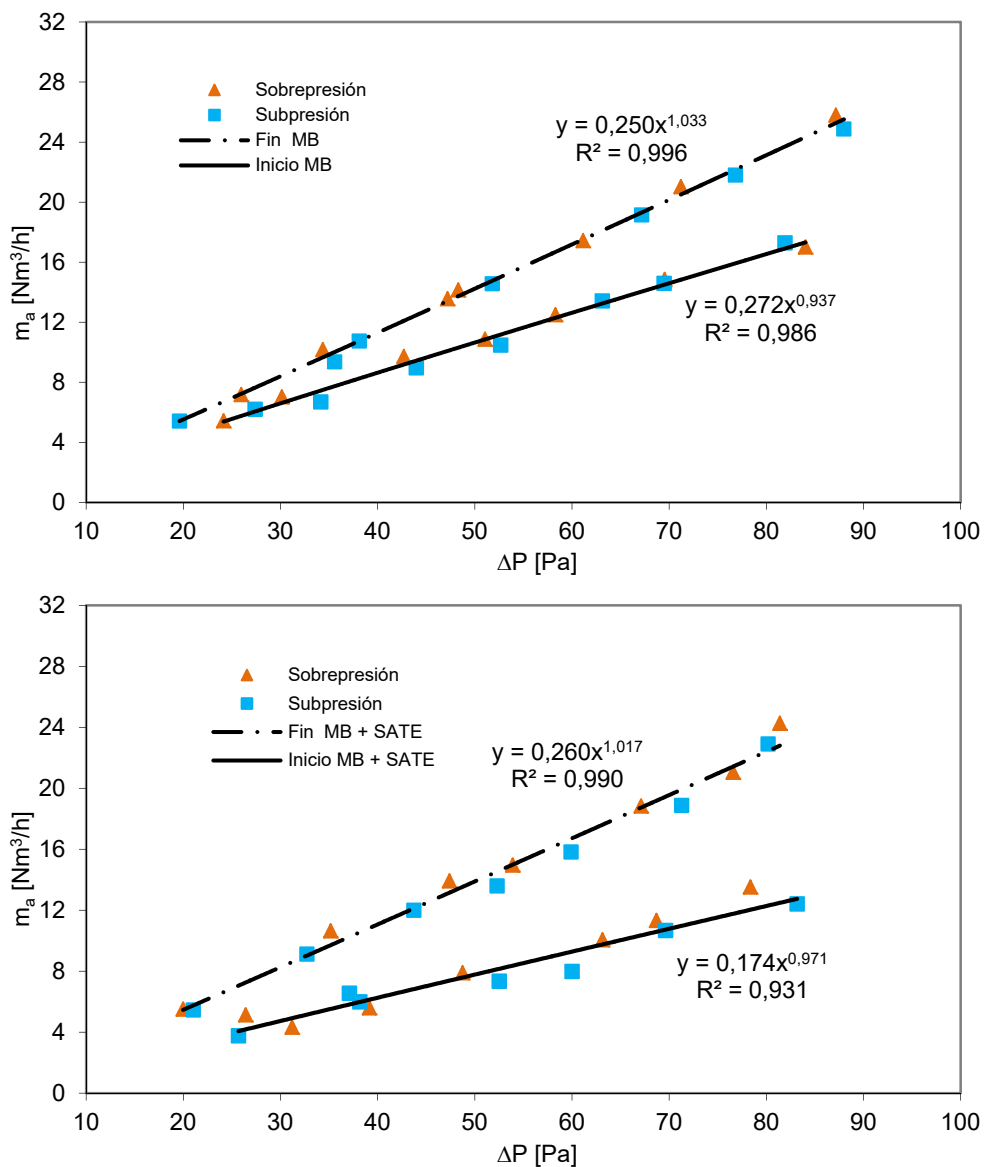


Figura C.56- Prueba de infiltraciones realizada a cada probeta al inicio y fin del ensayo

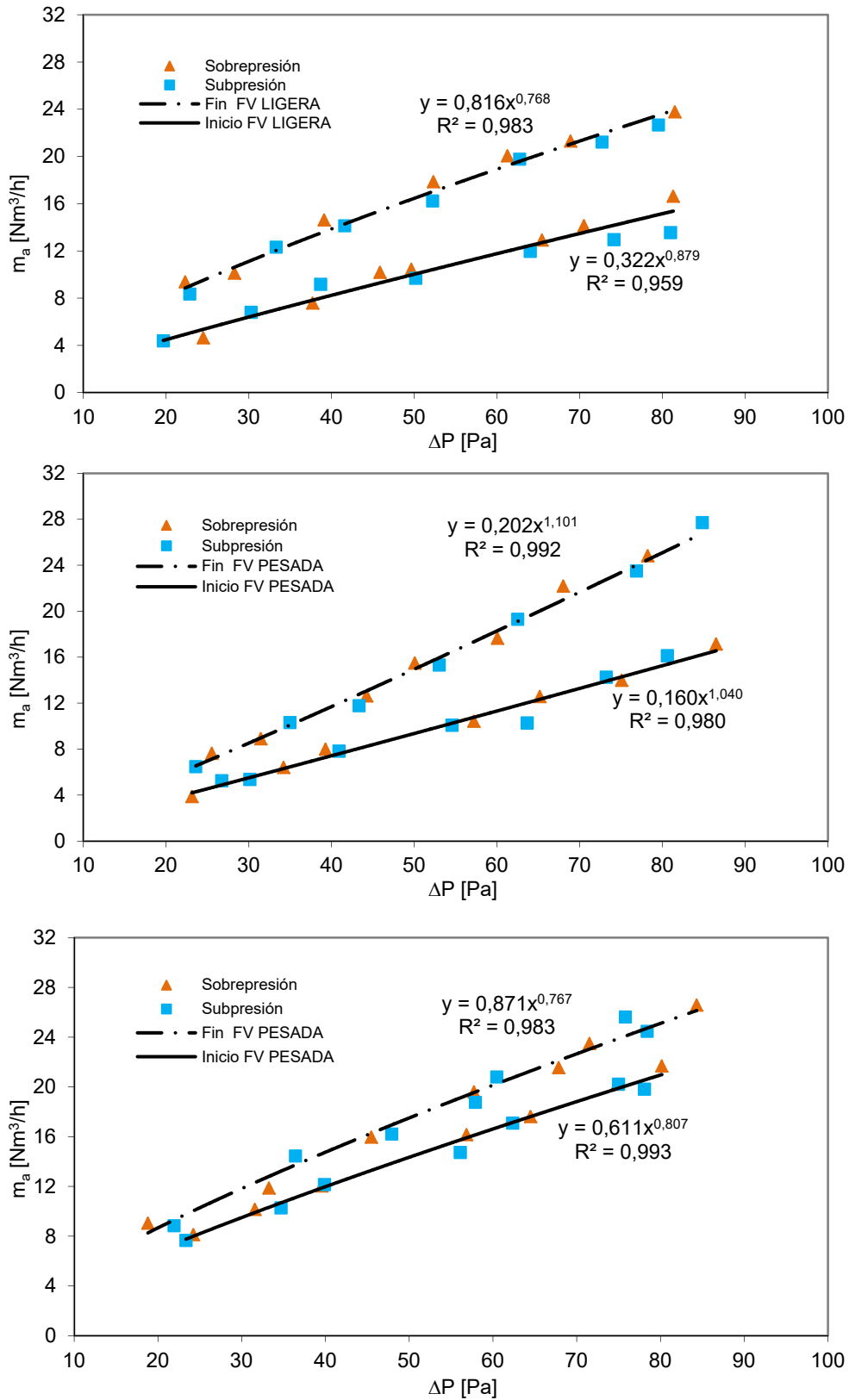
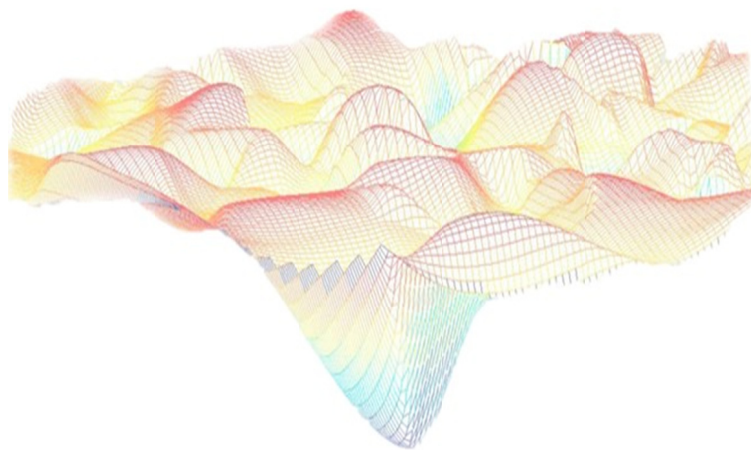


Figura C.57– Prueba de infiltraciones realizada a cada probeta al inicio y fin del ensayo



# Anexo D

## Modelos matemáticos de las fachadas





## D.1 Modelo de muro base sin aislamiento

El ensayo del muro base tiene un carácter fundamental, no tanto por la complejidad de la probeta sino por ser el primer ensayo de una muestra eterogénea frente a las características homogéneas del muro de calibración y de los componentes del IQ-Test. Este ensayo permite obtener un primer resultado de incertidumbre aplicado a muestras de fachada real. Además, por tratarse de la solución constructiva que sirve como base para dos de las fachadas ventiladas bajo estudio, su adecuada caracterización es fundamental para obtener precisión en el análisis de flujos intercambiados en las superficies de las cámaras ventiladas. Por esta razón, el proceso de análisis se configura de forma similar al empleado en el ensayo IQ-Test, primero se analiza el flujo unidimensional mediante las sondas de temperatura y fluxímetros puntuales instalados en la zona central de la muestra y después se analiza la probeta completa con un modelo a escala de celda. A continuación se muestran los resultados de dichos modelos.

### D.1.1 Modelo unidimensional

En la Figura D.1 se muestra el modelo del muro base para el análisis de condiciones de flujo unidimensional. El modelo es de cuarto orden y se representan las diferentes capas que lo conforman. El tabique interior se modela entre los nodos  $T_1$  y  $T_2$ , la cámara de aire entre los nodos  $T_2$  y  $T_3$ , y la hoja exterior mediante los nodos  $T_3$  y  $T_4$ .

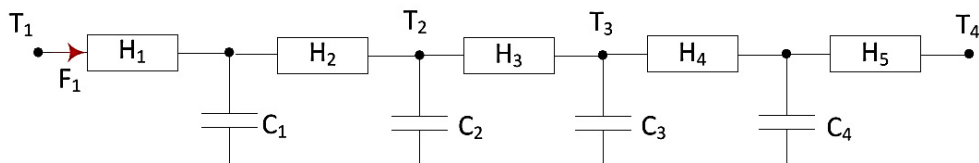


Figura D.1 – Modelo flujo unidimensional del muro base sin aislamiento

Las ecuaciones [D.1] y [D.2] recogen las características del modelo y la definición de las funciones objetivo, que corresponden con las temperaturas de las capas interiores de la muestra,  $T_2$  y  $T_3$ , y el flujo en la superficie interior,  $F_1$ .

$$\begin{bmatrix} dT_{12} \\ dT_2 \\ dT_3 \\ dT_{34} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-(H_1 + H_2)}{C_1} & \frac{H_2}{C_1} & 0 & 0 \\ \frac{H_2}{C_2} & \frac{-(H_2 + H_3)}{C_2} & \frac{H_3}{C_2} & 0 \\ 0 & \frac{H_3}{C_3} & \frac{-(H_3 + H_4)}{C_3} & \frac{H_4}{C_3} \\ 0 & 0 & \frac{H_4}{C_4} & \frac{-(H_4 + H_5)}{C_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{12} \\ T_2 \\ T_3 \\ T_{34} \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \frac{H_1}{C_1} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_5}{C_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_4 \end{bmatrix} dt + [\sigma]dt \quad [D.1]$$

$$\begin{bmatrix} T_2^m \\ T_3^m \\ F_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -H_1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{12} \\ T_2 \\ T_3 \\ T_{34} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ H_1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_4 \end{bmatrix} + [e] \quad [D.2]$$

En la Tabla D.1 y en la Tabla D.2 se muestran los resultados del proceso de identificación de parámetros junto con el análisis de residuos, Figura D.3 y Figura D.4.

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	0,1	10	1000	8.38E+00	3.43E-01	27,692	0	0,0040
H <sub>2</sub>	0,1	10	1000	1.79E+01	1.06E-01	96,157	0,0047	0
C <sub>1</sub>	1	100	1500	5.49E+01	8.22E-01	73,235	0,0031	0,0044
C <sub>2</sub>	1	100	1500	2.68E+01	6.23E-01	96,970	-0,0016	-0,0045
H <sub>3</sub>	0,1	10	1000	5.34E+00	9.28E-02	92,449	0	0
C <sub>3</sub>	1	100	1500	2.28E+02	3.02E+01	13,231	-0,0042	0
H <sub>4</sub>	0,1	10	1000	1.15E+01	3.63E+00	3,626	0	0,0022
C <sub>4</sub>	1	100	1500	3.36E+01	6.22E+00	66,426	0,0042	-0,0018
H <sub>5</sub>	0,1	10	1000	1.54E+01	1.70E+00	97,062	0,0043	0,0044

Tabla D.1 – Resultados identificación parámetros para el modelo unidimensional del muro base

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>
H <sub>1</sub>	1								
H <sub>2</sub>	0,27	1							
C <sub>1</sub>	0,06	0,20	1						
C <sub>2</sub>	0,47	0,33	0,44	1					
H <sub>3</sub>	0,23	0,47	0,30	0,17	1				
C <sub>3</sub>	0,08	0,47	0,01	0,07	0,12	1			
H <sub>4</sub>	0,07	0,12	0,01	0,14	0,29	0,41	1		
C <sub>4</sub>	0,02	0,25	0,34	0,15	0,32	0,22	0,44	1	
H <sub>5</sub>	0,44	0,09	0,37	0,19	0,25	0,46	0,00	0,07	1

Tabla D.2 – Coeficientes de correlación parámetros modelo unidimensional del muro base

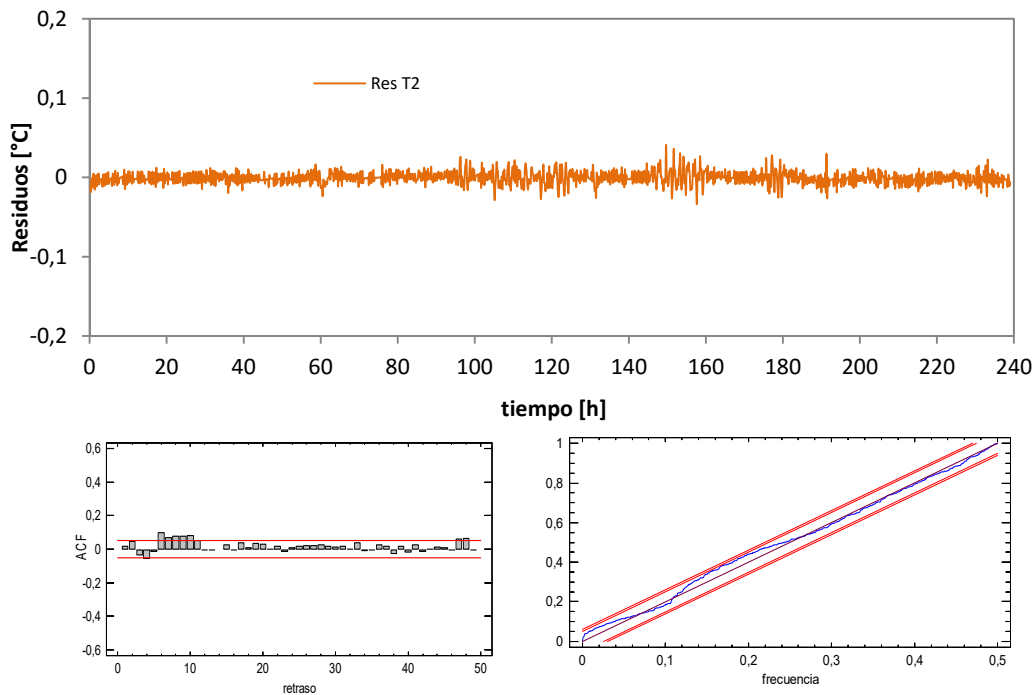


Figura D.2 – Ajuste del modelo unidimensional del muro base

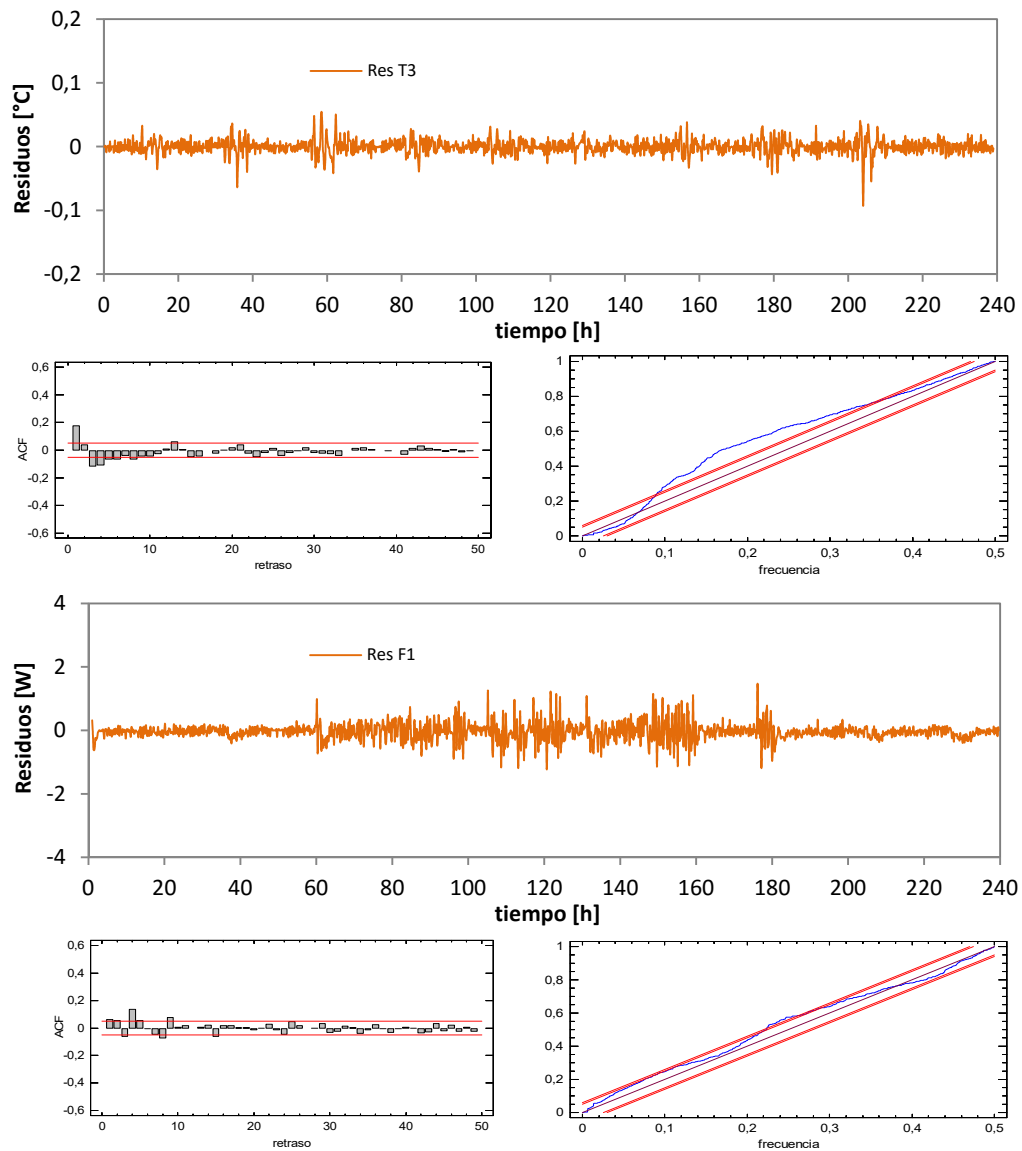


Figura D.3 – Ajuste del modelo unidimensional del muro base

En la Tabla D.3 se muestran los resultados finales de las propiedades térmicas del muro base obtenidas a través de los resultados del modelo de identificación.

CAPA	[m <sup>2</sup> K/W]	e [%]	CAPA	[MJ/m <sup>2</sup> K]	e [%]
R <sub>tab</sub>	0,175	2,9	C <sub>tab</sub>	0,049	1,8
R <sub>ca</sub>	0,187	1,7	C <sub>perf</sub>	0,157	13,9
R <sub>perf</sub>	0,152	18,0	<b>C<sub>total</sub></b>	<b>0,207</b>	<b>11,0</b>
<b>R<sub>total</sub></b>	<b>0,514</b>	<b>6,9</b>			

Tabla D.3 – Propiedades de cada capa del modelo unidimensional de muro base



## D.1.2 Modelo completo

En la Figura D.4 se muestra el modelo completo a escala de celda, en el que se tiene en cuenta la radiación solar incidente sobre la superficie exterior. En la ecuación [D.3] y en la ecuación [D.4] se muestra su expresión matricial.

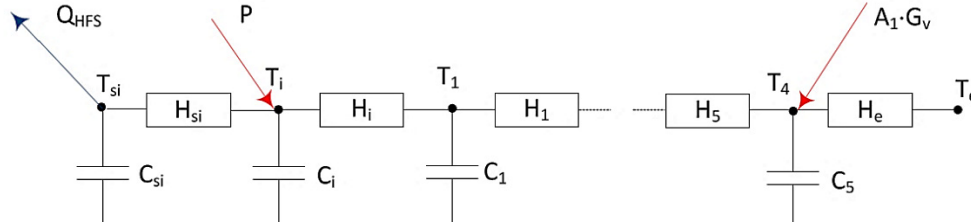


Figura D.4 – Modelo flujo completo del muro base sin aislamiento

$$\begin{bmatrix} dT_{si} \\ dT_i \\ dT_1 \\ dT_{12} \\ dT_2 \\ dT_3 \\ dT_{34} \\ dT_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-H_{si}}{C_{si}} & \frac{H_{si}}{C_{si}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{H_{si}}{C_i} & \frac{-(H_{si} + H_i)}{C_i} & \frac{H_i}{C_i} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_i}{C_1} & \frac{-(H_i + H_1)}{C_1} & \frac{H_1}{C_1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-(H_1 + H_2)}{C_{12}} & \frac{H_2}{C_{12}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{H_2}{C_2} & \frac{-(H_2 + H_3)}{C_2} & \frac{H_3}{C_2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{H_3}{C_3} & \frac{-(H_3 + H_4)}{C_3} & \frac{H_4}{C_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{H_4}{C_4} & \frac{-(H_4 + H_5)}{C_4} & \frac{H_5}{C_4} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{H_5}{C_5} & \frac{-(H_5 + H_e)}{C_5} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{si} \\ T_i \\ T_1 \\ T_{12} \\ T_2 \\ T_3 \\ T_{34} \\ T_4 \end{bmatrix} dt \quad [D.3]$$

$$+ \begin{bmatrix} \frac{-1}{C_{si}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{C_i} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_e}{C_5} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{A_1}{C_5} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{HFS} \\ P \\ T_e \\ G_v \end{bmatrix} dt + [\sigma] dt$$

$$\begin{bmatrix} T_{si}^m \\ T_i^m \\ T_1^m \\ T_2^m \\ T_3^m \\ T_4^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_1 \\ T_{12} \\ T_2 \\ T_3 \\ T_{34} \\ T_4 \end{bmatrix} + [0] \begin{bmatrix} Q_{HFS} \\ P \\ T_e \\ G_v \end{bmatrix} + [e] \quad [D.4]$$

En la Tabla D.3 y en la Tabla D.4 se muestran los resultados del proceso de identificación de parámetros junto con el análisis de residuos, Figura D.6 y Figura D.7.

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>si</sub>	100	250	500	3.41E+02	9.89E+00	70.207	-0.0005	-0.0039
C <sub>si</sub>	100	1000	2000	9.79E+02	4.72E+01	69.372	-0.0042	-0.0032
C <sub>i</sub>	1	50	100	5.89E+01	6.19E+00	12.952	-0.0044	0.0013
H <sub>i</sub>	1	50	100	6.27E+01	1.06E+00	54.845	-0.0002	-0.0042
C <sub>1</sub>	10	500	1000	2.14E+02	1.13E+01	6.942	0.0038	-0.0044
H <sub>1</sub>	1	10	100	7.44E+01	3.55E+00	70.089	0.0026	-0.0007
H <sub>2</sub>	1	10	100	1.02E+02	4.13E+00	81.745	-0.0038	0.0014
C <sub>12</sub>	10	500	1000	1.49E+02	1.95E+01	31.286	0.0038	0.0010
C <sub>2</sub>	10	500	1000	1.82E+02	3.79E+00	75.355	-0.0030	0.0027
H <sub>3</sub>	10	50	100	3.90E+01	1.11E+00	70.111	0.0044	-0.0004
C <sub>3</sub>	100	1000	2000	9.69E+01	2.31E+00	9.414	-0.0039	0.0008
H <sub>4</sub>	10	100	500	1.54E+02	7.52E-01	29.116	0.0031	0.0045
C <sub>4</sub>	100	1000	2000	3.45E+02	1.56E+01	27.421	0.0040	-0.0042
H <sub>5</sub>	10	100	500	7.42E+01	9.06E-01	33.667	0.0031	-0.0011
C <sub>5</sub>	100	1000	2000	9.05E+01	4.10E+00	10.393	-0.0011	0.0015
H <sub>e</sub>	10	200	500	1.71E+02	2.02E+01	63.901	-0.0046	0.0008
A <sub>1</sub>	1	4	7	5.81E+00	6.78E-01	21.375	0.0013	-0.0015

Tabla D.3 – Resultados identificación parámetros para el modelo completo del muro base

	H <sub>si</sub>	C <sub>si</sub>	C <sub>i</sub>	H <sub>i</sub>	C <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	H <sub>e</sub>	A <sub>1</sub>
H <sub>si</sub>	1																
C <sub>si</sub>	0.22	1															
C <sub>i</sub>	0.29	0.01	1														
H <sub>i</sub>	0.48	0.02	0.60	1													
C <sub>1</sub>	0.15	0.49	0.21	0.27	1												
H <sub>1</sub>	0.58	0.54	0.61	0.05	0.19	1											
H <sub>2</sub>	0.52	0.28	0.21	0.18	0.12	0.29	1										
C <sub>12</sub>	0.66	0.60	0.09	0.67	0.50	0.48	0.47	1									
C <sub>2</sub>	0.31	0.28	0.37	0.15	0.37	0.17	0.32	0.38	1								
H <sub>3</sub>	0.36	0.55	0.24	0.28	0.34	0.66	0.45	0.31	0.08	1							
C <sub>3</sub>	0.08	0.26	0.29	0.15	0.13	0.05	0.00	0.57	0.13	0.31	1						
H <sub>4</sub>	0.49	0.11	0.63	0.11	0.31	0.59	0.12	0.48	0.63	0.50	0.02	1					
C <sub>4</sub>	0.36	0.59	0.29	0.41	0.65	0.43	0.20	0.64	0.12	0.25	0.07	0.43	1				
H <sub>5</sub>	0.15	0.48	0.29	0.55	0.07	0.34	0.24	0.00	0.52	0.65	0.04	0.28	0.36	1			
C <sub>5</sub>	0.48	0.59	0.56	0.46	0.23	0.30	0.03	0.15	0.16	0.19	0.45	0.52	0.08	0.28	1		
H <sub>e</sub>	0.53	0.58	0.47	0.57	0.33	0.51	0.49	0.56	0.24	0.40	0.59	0.39	0.29	0.07	0.14	1	
A <sub>1</sub>	0.33	0.29	0.23	0.44	0.27	0.23	0.37	0.18	0.34	0.07	0.45	0.33	0.20	0.08	0.66	0.03	1

Tabla D.4 – Coeficientes de correlación parámetros modelo completo del muro base

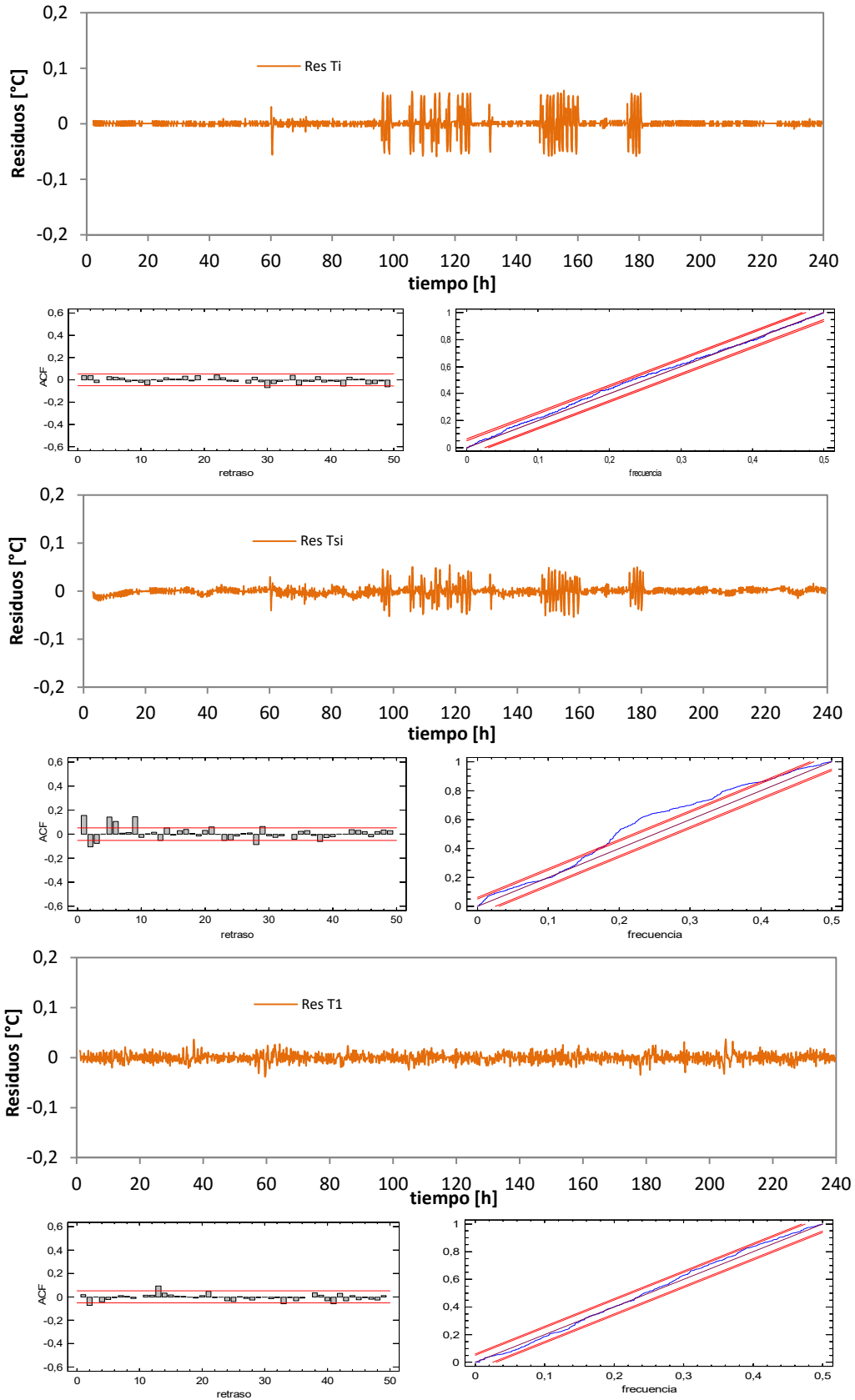


Figura D.6 – Ajuste del modelo completo del muro base

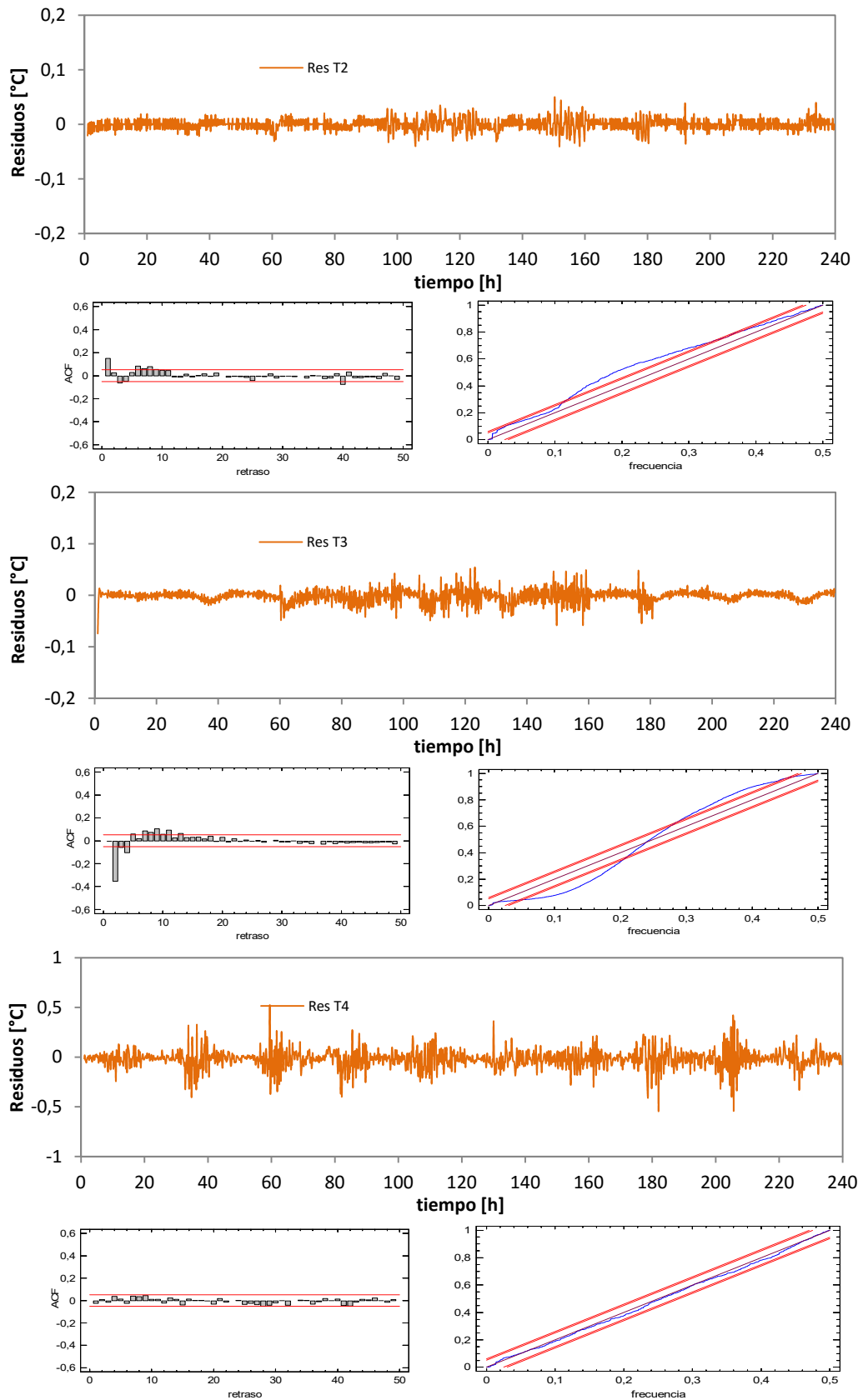


Figura D.7 – Ajuste del modelo completo del muro base

Una vez validados los resultados del modelo de identificación en la Tabla D.5 se muestran los resultados finales para las propiedades térmicas correspondientes a cada capa del muro base, junto con la incertidumbre final del ensayo.

CAPA	[m <sup>2</sup> K/W]	e [%]	CAPA	[MJ/m <sup>2</sup> K]	e [%]
R <sub>tab</sub>	0,168	4,3	C <sub>tab</sub>	0,045	6,3
R <sub>ca</sub>	0,185	2,8	C <sub>perf</sub>	0,162	3,9
R <sub>perf</sub>	0,144	1,0	<b>C<sub>total</sub></b>	<b>0,208</b>	<b>4,4</b>
<b>R<sub>total</sub></b>	<b>0,496</b>	<b>2,8</b>			

Tabla D.5 –Propiedades del modelo de celda completo para el muro base

## D.2 Modelo de muro base con aislamiento

En todo proceso de estudio experimental es necesario complementar los resultados de las medidas y ensayos con la incertidumbre que acompaña a los mismos, para así, poder tomar decisiones de su validez y del rango de aplicación. Entendiendo el concepto de incertidumbre como una cuantificación de la calidad del resultado indicado, y como una herramienta fundamental para la declaración de conformidad con respecto a unas especificaciones o procedimientos. El proceso de medida se estudia de forma que se identifique el máximo número de causas de error, controlando sus valores por debajo de un límite admisible, y trasladando su efecto en la expresión de la incertidumbre del resultado. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra el diagrama causa-efecto en el procedimiento *PASLINK*. En dicho diagrama se recogen el conjunto de fuentes que participan de la incertidumbre del ensayo.

### D.2.1 Modelo unidimensional

Siguiendo la misma metodología para el muro base con aislamiento, primero se determina el comportamiento unidimensional mediante las sondas de temperatura y flujo situadas en la zona central de la muestra y posteriormente se analiza el componente completo. En la Figura D.8 se muestra el modelo ampliado para representar la capa de aislamiento. Aunque la capa de aislamiento no tiene una capacidad térmica representativa, de cara al ajuste del modelo durante el proceso de identificación de parámetros es más correcto representarla mediante dos conductancias y una capacidad. Las que ecuaciones que representan dicho modelo se muestran en [D.5] y en [D.6].

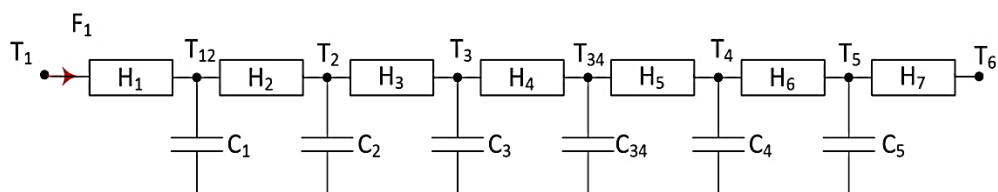


Figura D.8 – Modelo flujo unidimensional del muro base con aislamiento

$$\begin{bmatrix} dT_{12} \\ dT_2 \\ dT_3 \\ dT_4 \\ dT_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-(H_1 + H_2)}{C_1} & \frac{H_{12}}{C_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{H_2}{C_2} & \frac{-(H_2 + H_3)}{C_2} & \frac{H_3}{C_3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_3}{C_3} & \frac{-(H_3 + H_4)}{C_3} & \frac{H_4}{C_3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H_4}{C_{34}} & \frac{-(H_4 + H_5)}{C_{34}} & \frac{H_5}{C_{34}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{H_5}{C_4} & \frac{-(H_5 + H_6)}{C_4} & \frac{H_6}{C_4} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{H_6}{C_5} & \frac{-(H_6 + H_7)}{C_5} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{12} \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \frac{H_1}{C_1} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{H_7}{C_5} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_6 \end{bmatrix} dt \quad [D.5]$$

$$\begin{bmatrix} T_2^m \\ T_3^m \\ T_4^m \\ F_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -H_1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{12} \\ T_2 \\ T_3 \\ T_{34} \\ T_4 \\ T_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_6 \end{bmatrix} + [e] \quad [D.6]$$

En la Tabla D.6 y en la Tabla D.7 se muestran los resultados del proceso de identificación de parámetros junto con el análisis de residuos, Figura D.9 y Figura D.10.

variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
H <sub>1</sub>	0.1	10	1000	1.71E+01	4.93E-01	33.638	-0.0049	0
H <sub>2</sub>	0.1	10	1000	8.53E+00	2.96E-01	6.436	0	-0.0037
C <sub>1</sub>	1	100	1500	2.39E+01	7.67E+00	38.158	-0.0033	0
C <sub>2</sub>	1	100	1500	5.74E+01	2.18E+00	54.400	0.0021	-0.0041
H <sub>3</sub>	0.1	10	1000	5.43E+00	2.90E-01	57.259	-0.0049	0.0019
C <sub>3</sub>	1	100	1500	8.50E+01	4.63E+00	94.190	0	0
H <sub>4</sub>	0.1	10	1000	1.10E+01	5.46E-01	51.812	0.0029	-0.0043
C <sub>34</sub>	1	100	1500	1.07E+02	1.48E+01	78.168	-0.0011	0
H <sub>5</sub>	0.1	10	1000	1.56E+01	2.00E-01	54.377	0.0017	-0.0047
C <sub>4</sub>	1	100	1500	6.90E+01	1.86E+00	69.459	-0.0021	0.0016
H <sub>6</sub>	0.1	10	1000	3.07E+00	1.87E-01	18.399	0.0027	-0.0015
C <sub>5</sub>	1	100	1500	1.47E+01	4.47E+00	2.945	0.0046	-0.0042
H <sub>7</sub>	0.1	10	1000	9.76E-01	5.14E-02	10.321	0	0

Tabla D.6 – Resultados identificación parámetros para el modelo unidimensional del muro base con aislamiento

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>34</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>5</sub>	H <sub>7</sub>
H <sub>1</sub>	1												
H <sub>2</sub>	-0.20	1											
C <sub>1</sub>	0.06	-0.46	1										
C <sub>2</sub>	0.09	-0.29	0.43	1									
H <sub>3</sub>	-0.45	0.03	-0.12	0.25	1								
C <sub>3</sub>	-0.11	0.21	0.21	0.26	0.23	1							
H <sub>4</sub>	-0.05	-0.06	0.31	-0.22	0.22	0.02	1						
C <sub>34</sub>	-0.36	0.14	-0.12	0.14	0.45	0.32	-0.48	1					
H <sub>5</sub>	0.26	-0.16	0.43	0.29	-0.29	0.01	0.36	0.08	1				
C <sub>4</sub>	-0.04	-0.24	-0.23	-0.15	0.11	0.38	0.11	0.01	0.15	1			
H <sub>6</sub>	-0.21	0.09	-0.37	-0.45	0.36	0.42	0.26	0.36	-0.16	-0.22	1		
C <sub>5</sub>	-0.36	-0.03	0.21	-0.42	0.09	0.17	0.49	0.17	0.44	-0.27	-0.49	1	
H <sub>7</sub>	0.07	-0.19	0.27	-0.45	0.03	0.25	0.31	-0.02	-0.41	-0.08	-0.39	-0.46	1

Tabla D.7 – Coeficientes de correlación parámetros modelo unidimensional del muro base con aislamiento

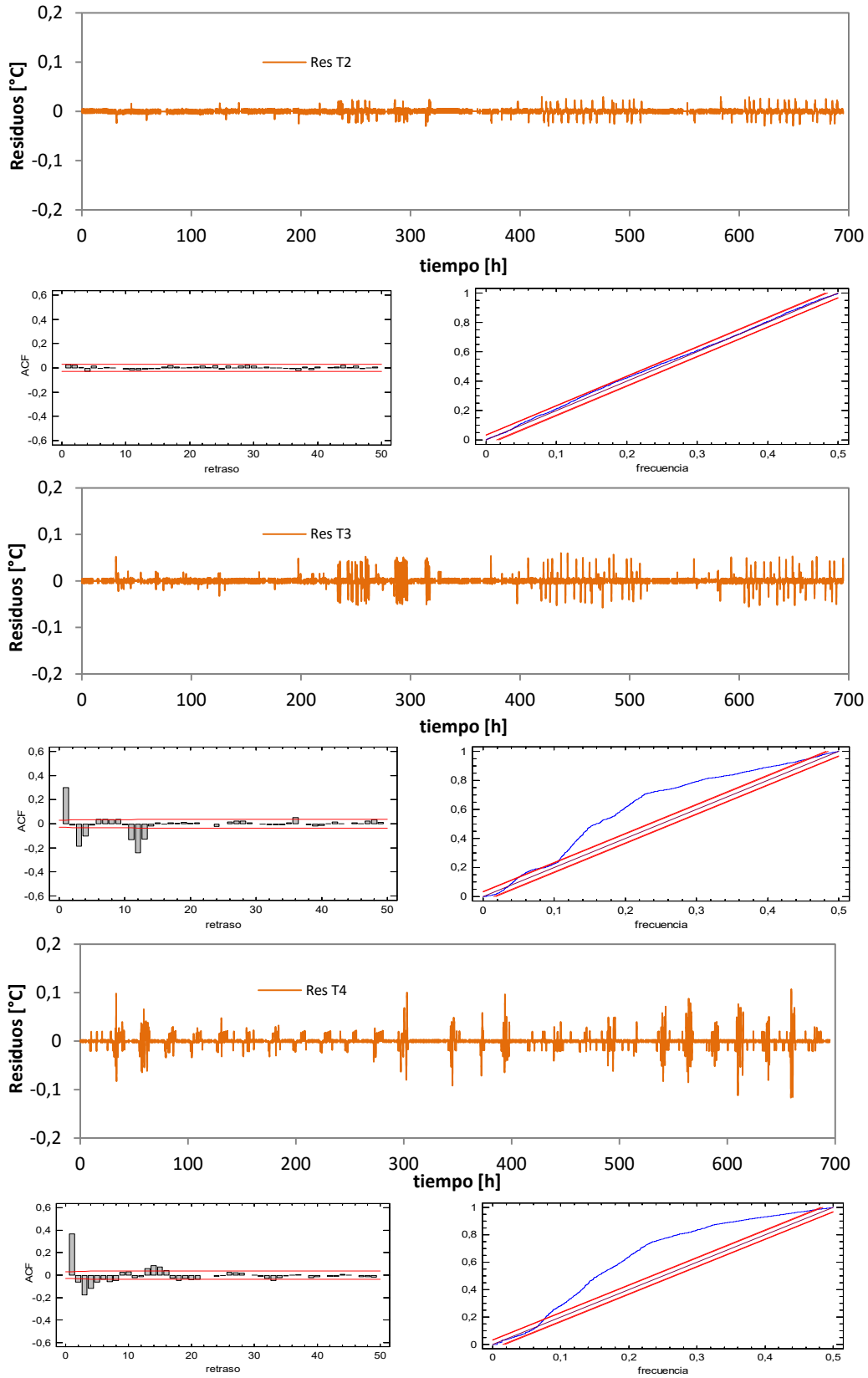


Figura D.9 – Ajuste del modelo unidimensional del muro base con aislamiento

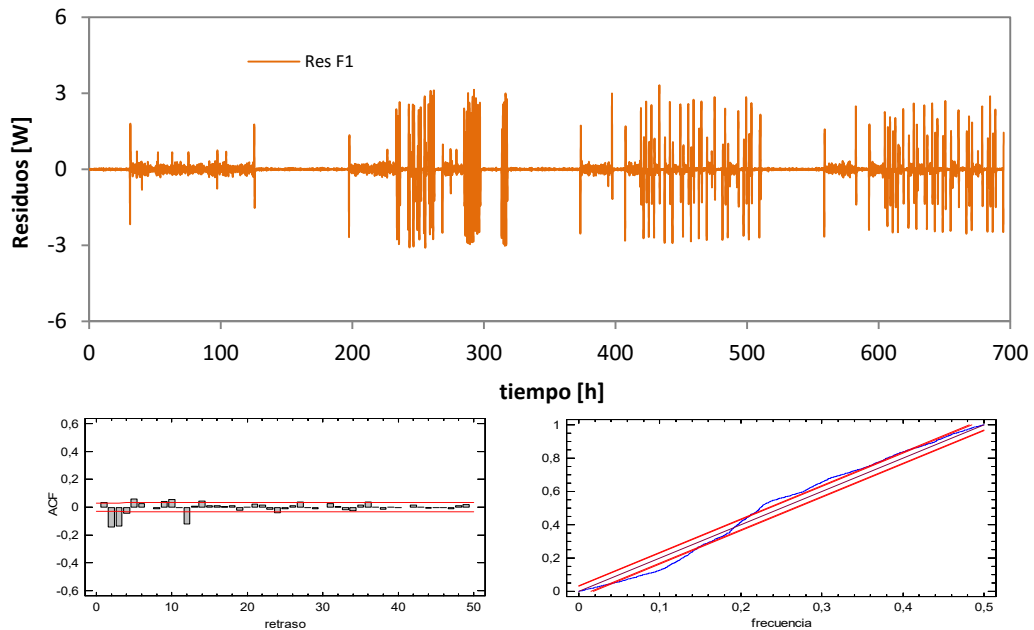


Figura D.10 – Ajuste del modelo unidimensional del muro base con aislamiento

Una vez validado el proceso de identificación de parámetros se obtienen los resultados finales de propiedades térmicas de cada capa de la muestra recogidos en la Tabla D.8.

CAPA	[m <sup>2</sup> K/W]	e [%]	CAPA	[MJ/m <sup>2</sup> K]	e [%]
R <sub>tab</sub>	0,176	3,2	C <sub>tab</sub>	0,049	12,1
R <sub>ca</sub>	0,184	5,1	C <sub>perf</sub>	0,156	8,2
R <sub>perf</sub>	0,155	3,3	C <sub>SATE</sub>	0,009	30,5
R <sub>SATE</sub>	1,350	5,2	<b>C<sub>total</sub></b>	<b>0,214</b>	<b>9,6</b>
<b>R<sub>total</sub></b>	<b>1,864</b>	<b>4,8</b>			

Tabla D.8 – Propiedades del modelo unidimensional para el muro base con aislamiento

## D.2.2 Modelo completo

Una vez resuelto el modelo unidimensional y verificados los resultados obtenidos se pasa a analizar el modelo a escala de celda, como se muestra en la Figura D.11, cuyas ecuaciones se recogen en [D.7] y [D.8].

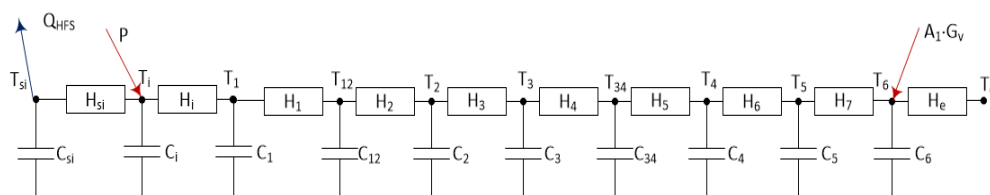


Figura D.11 – Modelo de celda para el muro base con aislamiento exterior





	$H_{si}$	$C_{si}$	$C_i$	$H_i$	$C_1$	$H_1$	$H_2$	$C_{12}$	$C_2$	$H_3$	$C_3$	$H_4$	$C_{34}$	$H_5$	$C_4$	$H_6$	$C_5$	$H_7$	$C_6$	$H_e$	$A_1$	
$H_{si}$	1																					
$C_{si}$	-0.3	1																				
$C_i$	0.1	0.4	1																			
$H_i$	0.0	-0.3	-0.2	1																		
$C_1$	0.3	0.1	0.5	0.4	1																	
$H_1$	0.0	0.1	-0.5	0.0	0.1	1																
$H_2$	0.2	0.4	-0.3	0.4	-0.3	0.2	1															
$C_{12}$	-0.1	0.4	0.0	0.3	0.2	0.2	-0.1	1														
$C_2$	0.2	0.5	-0.3	0.1	0.3	-0.3	0.5	0.0	1													
$H_3$	0.0	0.0	0.4	0.4	0.4	0.4	-0.1	0.4	0.3	1												
$C_3$	0.5	0.0	0.3	0.4	-0.1	0.1	0.2	-0.3	-0.1	0.2	1											
$H_4$	-0.2	0.2	-0.2	-0.4	0.4	0.3	-0.3	0.1	-0.3	0.2	-0.4	1										
$C_{34}$	0.1	-0.4	-0.1	0.5	0.1	0.3	-0.3	-0.3	0.4	0.0	-0.2	-0.2	1									
$H_5$	-0.3	0.4	-0.2	0.1	0.0	0.3	0.0	0.2	-0.2	-0.4	0.1	-0.3	-0.1	1								
$C_4$	0.2	-0.4	-0.3	-0.4	0.2	-0.1	0.2	-0.3	0.4	-0.1	0.4	0.2	0.4	0.1	1							
$H_6$	-0.3	-0.3	0.2	0.2	0.2	-0.4	-0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.0	-0.3	0.5	0.0	1						
$C_5$	-0.3	0.0	0.5	0.4	-0.5	0.1	0.3	0.0	-0.2	0.2	0.2	-0.1	-0.5	-0.1	0.5	0.4	1					
$H_7$	-0.1	0.2	-0.5	0.0	-0.1	0.2	0.1	-0.5	0.3	-0.3	0.3	0.5	-0.1	-0.1	0.4	0.5	-0.3	1				
$C_6$	0.2	-0.1	-0.1	-0.4	-0.2	-0.2	0.0	-0.5	-0.5	0.3	0.1	-0.3	0.0	0.2	-0.4	0.0	-0.3	-0.1	1			
$H_e$	0.4	0.3	0.1	0.0	0.3	-0.4	-0.3	0.1	0.4	0.0	0.4	0.4	0.2	-0.4	-0.3	-0.3	0.2	0.1	-0.4	1		
$A_1$	0.1	0.0	0.4	-0.1	0.0	-0.4	-0.2	0.1	0.2	0.2	-0.3	-0.3	-0.4	0.4	0.3	-0.1	0.1	-0.2	-0.2	0.4	1	

Tabla D.10 – Coeficientes de correlación parámetros modelo completo del muro base con aislamiento

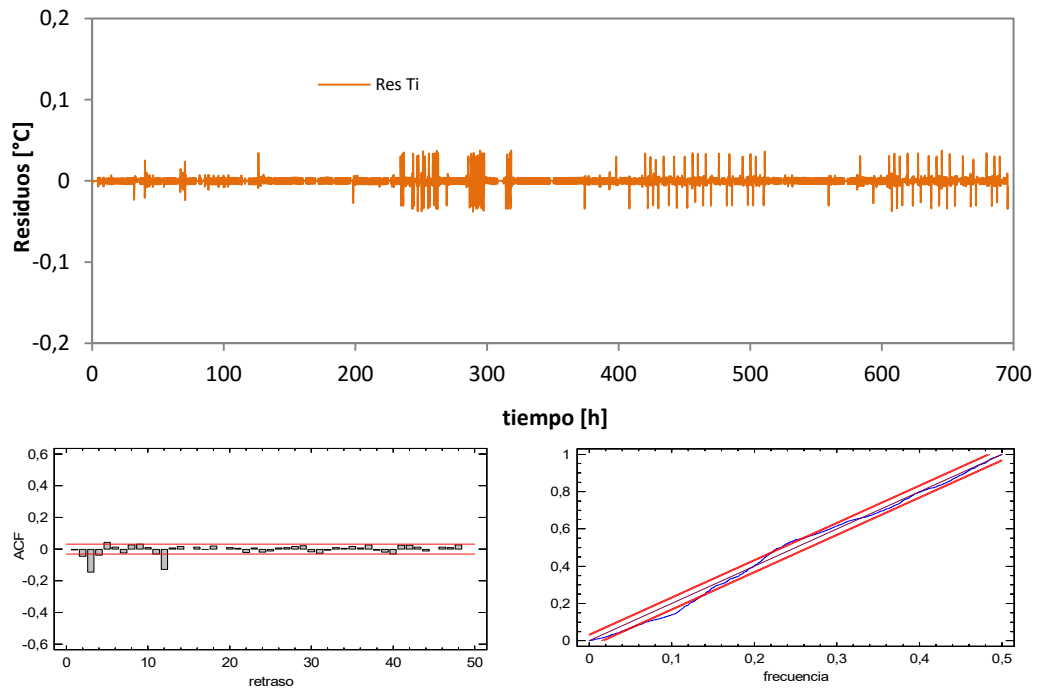


Figura D.12 – Ajuste del modelo completo del muro base con aislamiento

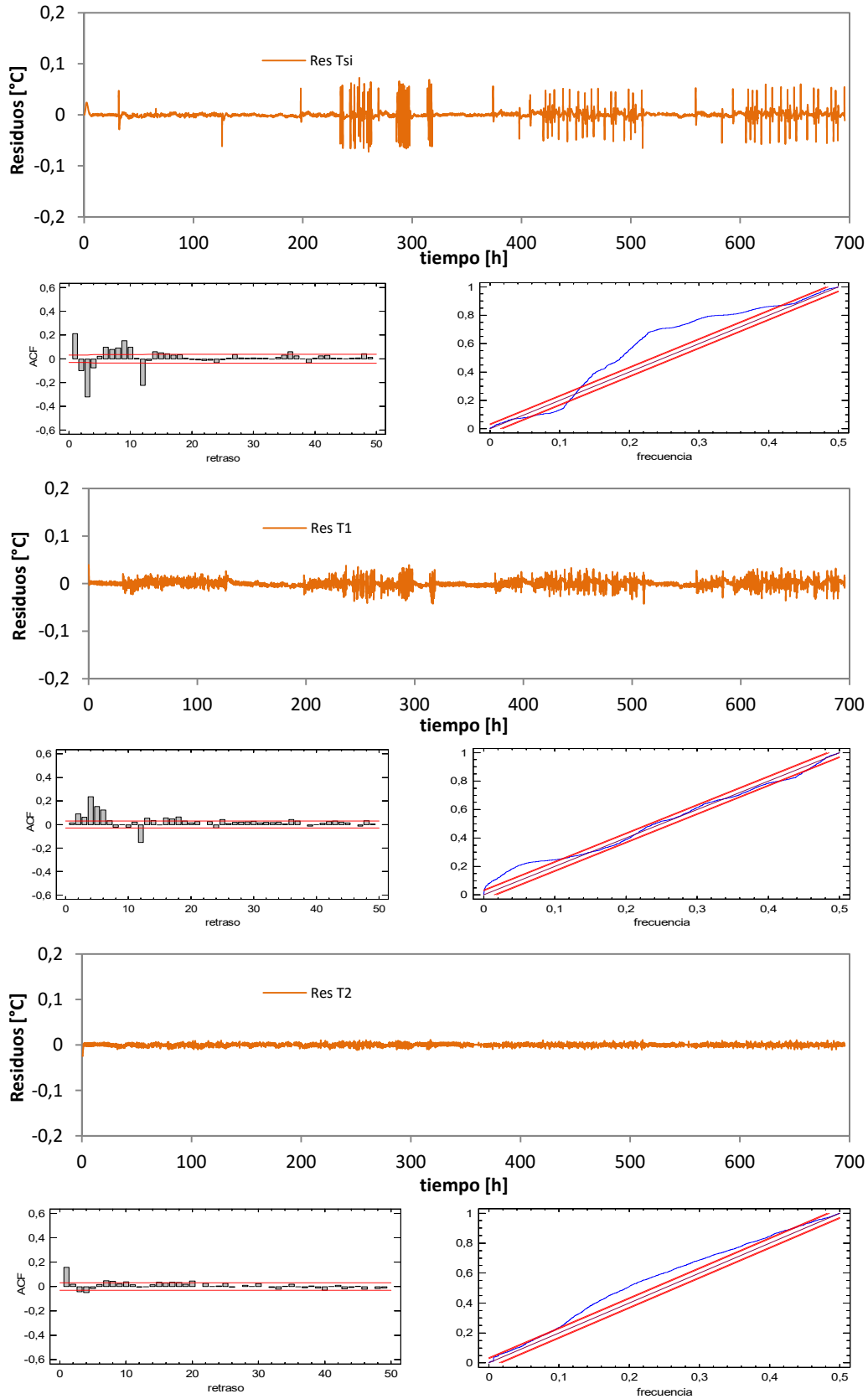


Figura D.13 – Ajuste del modelo completo del muro base con aislamiento

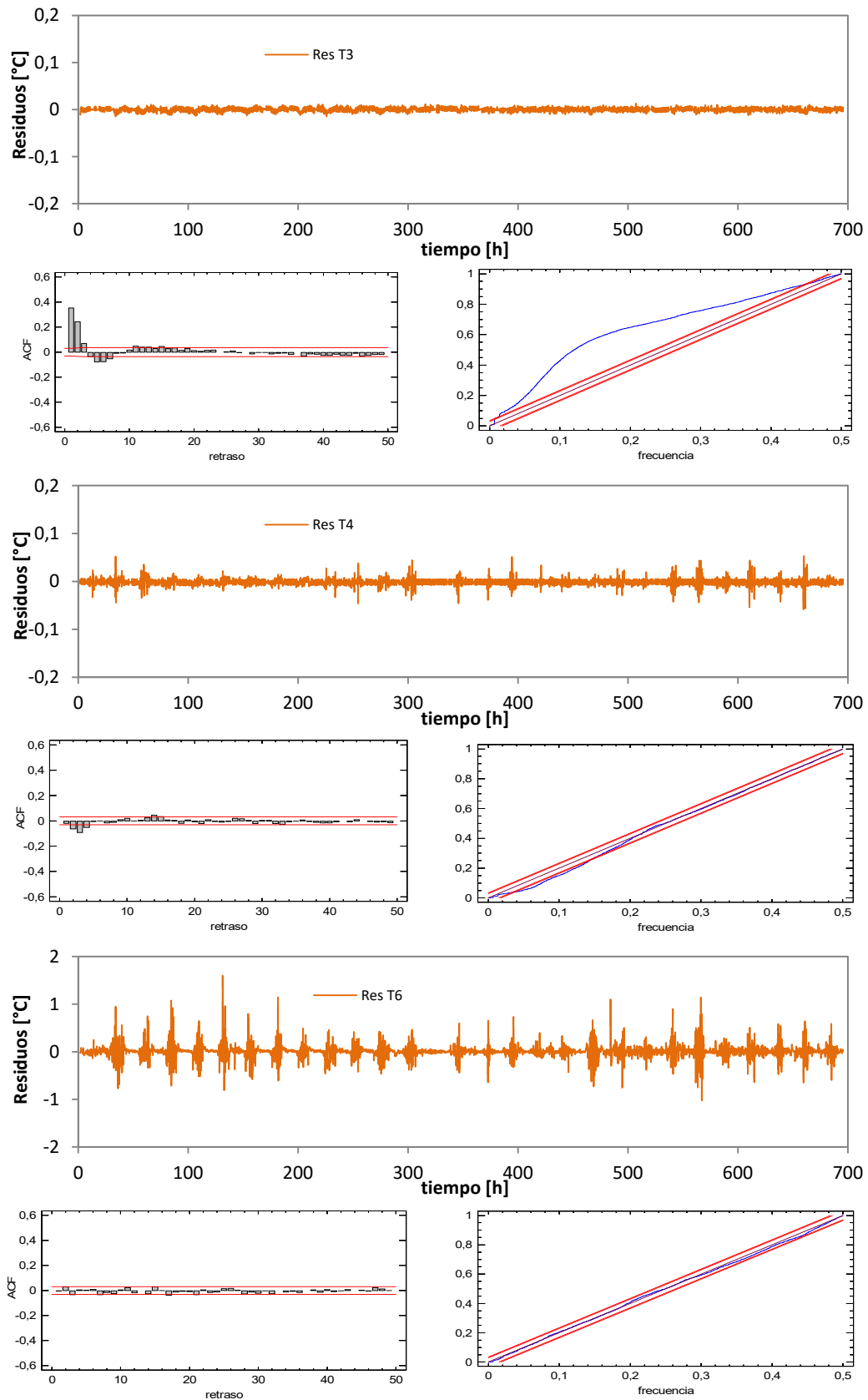


Figura D.14 – Ajuste del modelo completo del muro base con aislamiento

Una vez validado el proceso de identificación de parámetros se obtienen los resultados finales de propiedades térmicas de cada capa de la muestra recogidos en la Tabla D.11.

CAPA	[m <sup>2</sup> K/W]	e [%]	CAPA	[MJ/m <sup>2</sup> K]	e [%]
R <sub>tab</sub>	0.177	8.9	C <sub>tab</sub>	0.049	10.7
R <sub>ca</sub>	0.183	5.5	C <sub>perf</sub>	0.160	6.2
R <sub>perf</sub>	0.159	11.1	C <sub>SATE</sub>	0.009	15.9
R <sub>SATE</sub>	1.271	2.0	<b>C<sub>total</sub></b>	<b>0.218</b>	<b>7.6</b>
<b>R<sub>total</sub></b>	<b>1.790</b>	<b>3.8</b>			

Tabla D.11 – Propiedades térmicas por capa del modelo de celda para el muro base con aislamiento

## D.3 Modelo de fachada ventilada

El modelado del comportamiento térmico de la fachada ventilada es el apartado más complejo de la parte experimental. En las probetas de muro base las propiedades térmicas de la muestra permanecen constantes, sin embargo, para la fachada ventilada el proceso de convección varía la respuesta de la probeta en función de las condiciones de temperatura y radiación exteriores. El desarrollo del proceso de modelado de dichas fachadas activas es el hito más representativo de la segunda parte del presente trabajo de investigación. El modelado de la fachada ventilada se divide en dos pasos. El primero consiste en obtener los valores eficientes de las propiedades del flujo de aire en la cámara ventilada para las temperaturas y para las velocidades. Este objetivo se obtiene mediante el empleo de un modelo de volúmenes finitos definido en una herramienta de CFD. Una vez obtenidos los valores eficientes se pasa a definir un modelo en parámetros concentrados que permite reproducir el comportamiento de la fachada para, asu vez, emplearlo en un software de simulación a escala de edificio. A continuación se muestra los cálculos correspondientes a dichas fases de modelado de la probeta de fachada ventilada.

### D.3.1 Modelo CFD

En el apartado 5.2.2 de la memoria se define las características del modelo de CFD empleado para el estudio de la cámara de aire ventilada. Se muestran las características del mallado, el cual se a estudiado de forma paramétrica en base al tamaño de celda de forma que se obtienen los mismos resultados con el menor número posible de elementos. Y se emplean zonas de mayor definición para las cápas límite. También se definen los modelos de flotación, turbulencia, etc..., empleados. Pero aunque el modelo converja y se optimice en sus propiedades siempre es necesario validar los resultados con los datos experimentales. Este paso final es complejo de conseguir, ya que en la mayoría de casos no se disponen de dichos datos a

escala de probeta real como es el caso del ensayo *PASLINK*. Este es un aspecto a favor de la metodología de ensayo empleada frente a otros estudios sobre el comportamiento energético de fachadas ventiladas. El paso de validación es un paso complejo y costoso, ya que los primeros resultados se suelen alejar de los datos experimentales, lo que implica un proceso iterativo de ajuste, que debido al coste computacional de los modelos de *CFD* se alarga en el tiempo, exigiendo muchas horas de tratamiento de datos. Por ejemplo, el modelo estudiado tarda del orden de un día en resolver de forma dinámica el intervalo de tiempo empleado de 5 días.

Una vez obtenidos los resultados es necesario postprocesar los datos y compararlos con los valores equivalentes medidos en el ensayo. En función de las divergencias se ajustan las propiedades del modelo, y se repite el proceso hasta obtener resultados válidos. En el siguiente apartado se muestran los resultados de ajuste finales obtenidos para el modelo de *CFD*.

### D.3.1.1 Ajuste del modelo con datos experimentales

En la Figura D.15 y Figura D.16 se muestra la comparativa entre los resultados del modelo respecto a los valores medidos para las velocidades en la cámara de aire ventilada. La validación de un modelo cuando existe un número de puntos y variables de contraste elevado es compleja. En este caso se ha tomado como mejor modelo el que reduce el error medio ponderado de velocidades y temperaturas dando mayor relevancia a los datos correspondientes a la zona central de la muestra, ya que en la zona de entrada y salida se generan condiciones particulares de turbulencia que afectan a la propia medida experimental y difieren del comportamiento promedio de la muestra en general.

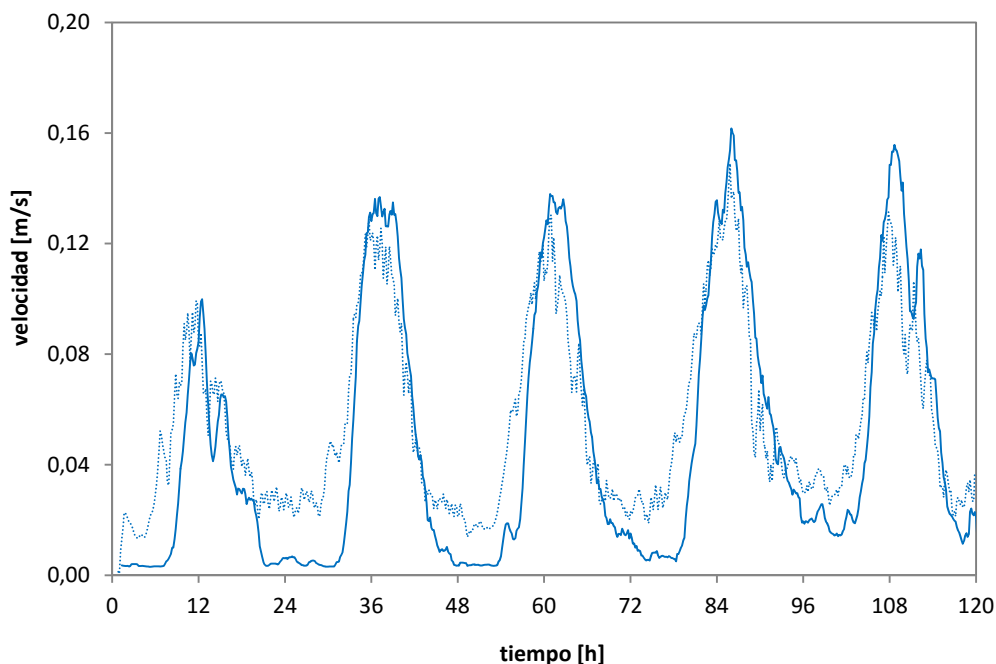


Figura D.15 –Validación del modelo *CFD* para las velocidades en la cámara ventilada

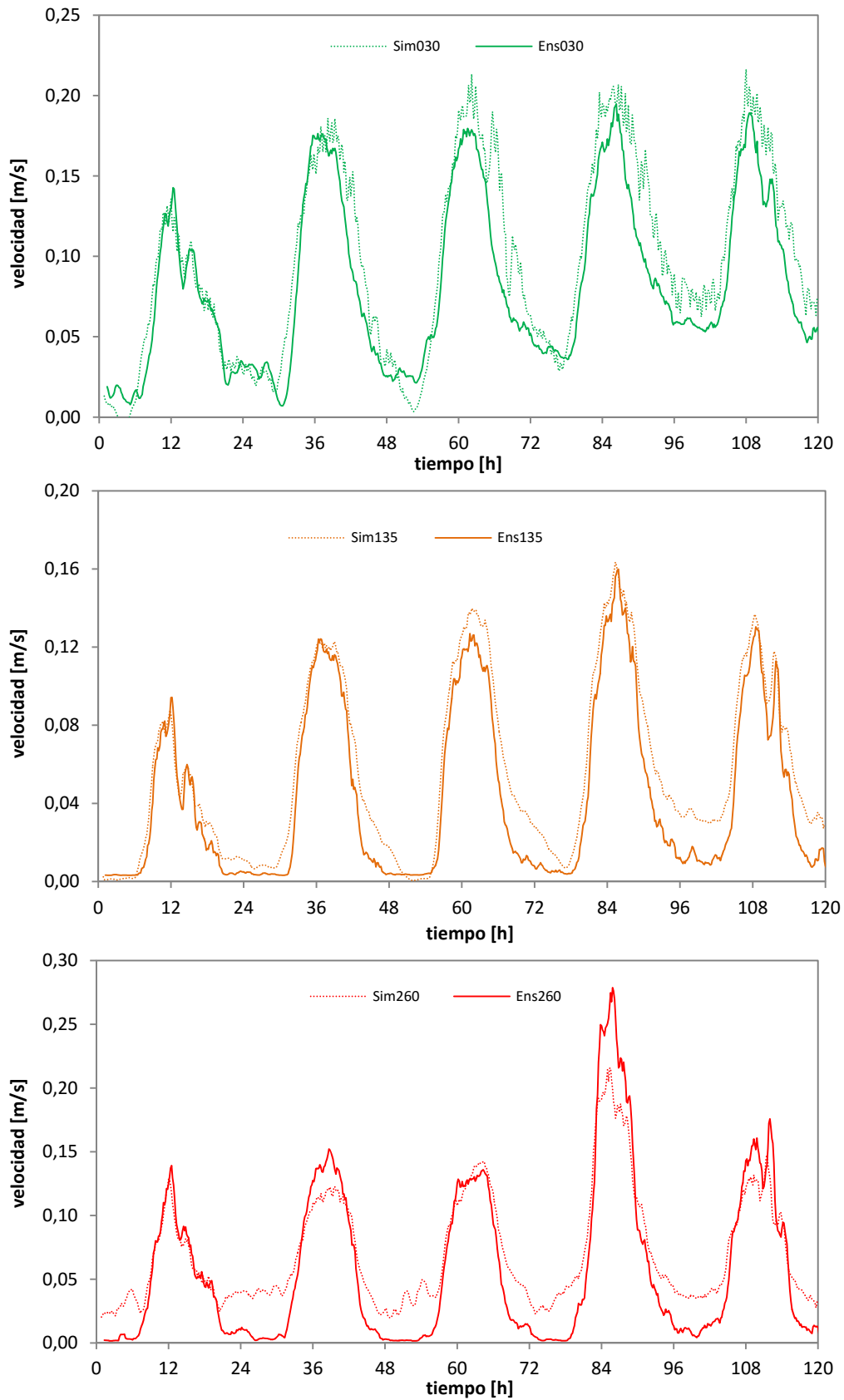


Figura D.16 –Validación del modelo CFD para las velocidades en la cámara ventilada

En la Figura D.17 y Figura D.18 se muestra el ajuste para temperaturas del aire en la cámara ventilada. El ajuste de las variables del aire dentro de la cámara ventilada es el aspecto más complicado. El modelo físico-matemático de la cámara de aire es el componente que mayor grado de definición necesita y donde mayor número de hipótesis de cálculo y simplificaciones se aplican. Por tanto, se considera que el ajuste obtenido es muy correcto y válido para realizar el estudio posterior de factores eficientes.

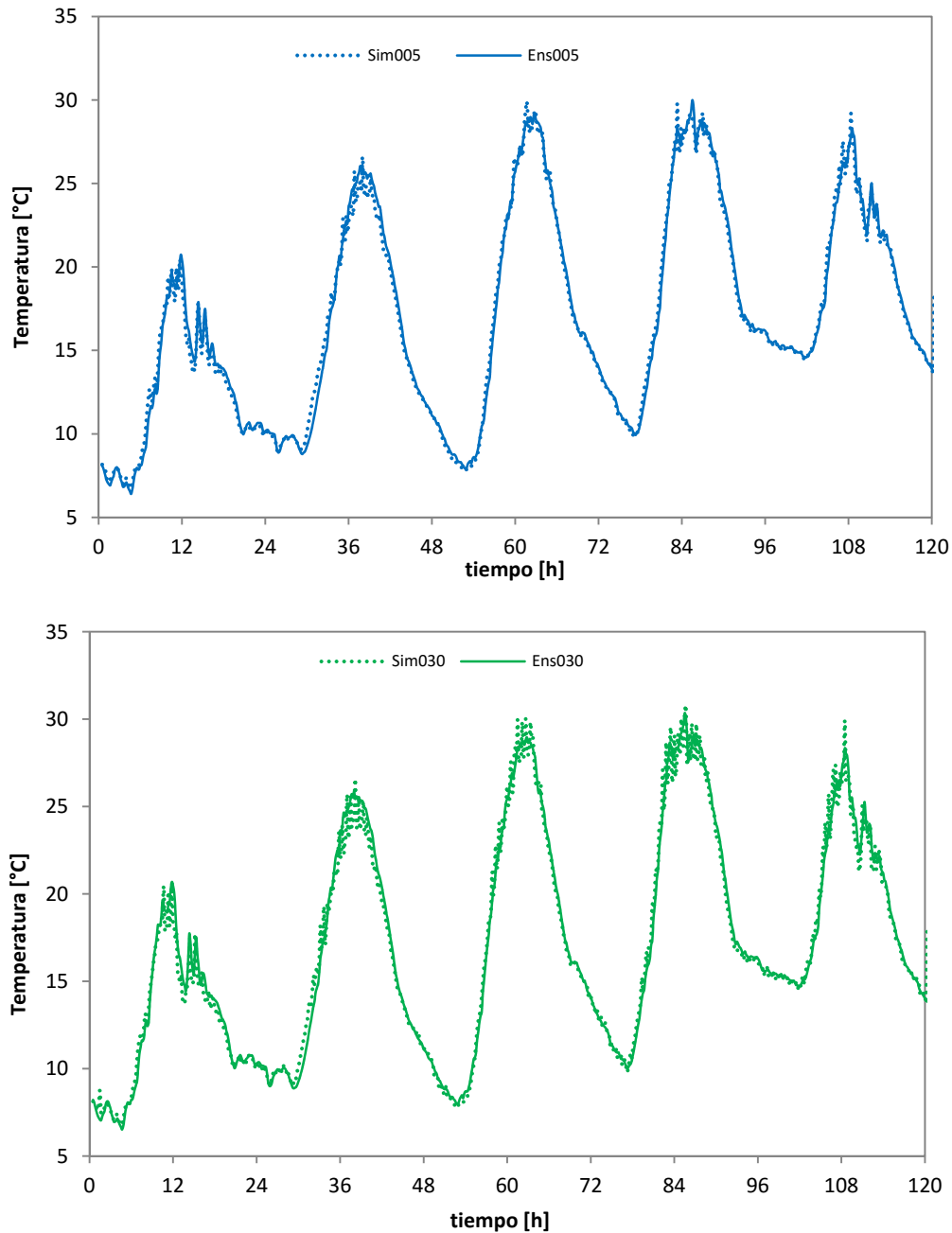


Figura D.17 –Validación del modelo CFD para las temperaturas en la cámara ventilada



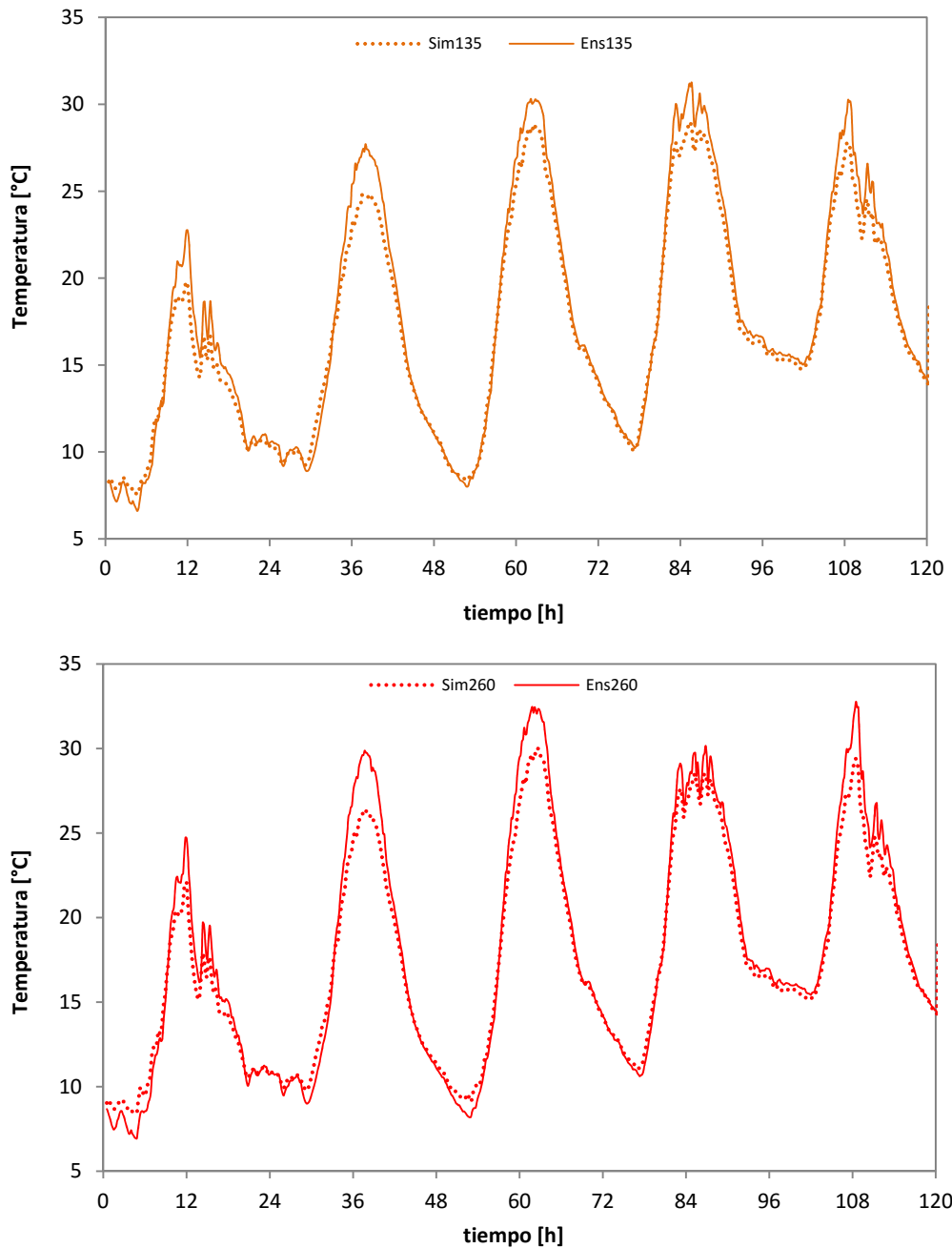


Figura D.18 –Validación del modelo CFD para las temperaturas en la cámara ventilada

Una vez contrastadas las variables del aire en la cámara ventilada se muestran los resultados para las temperaturas de las superficies que la conforman y para la superficie exterior de la fachada. En la Figura D.19 y en la Figura D.20 se muestra la comparativa entre los valores del modelo y experimentales de las temperaturas de la superficie del aislamiento que corresponde con la superficie interior de la cámara de aire definida como *Capa 5* de la muestra.

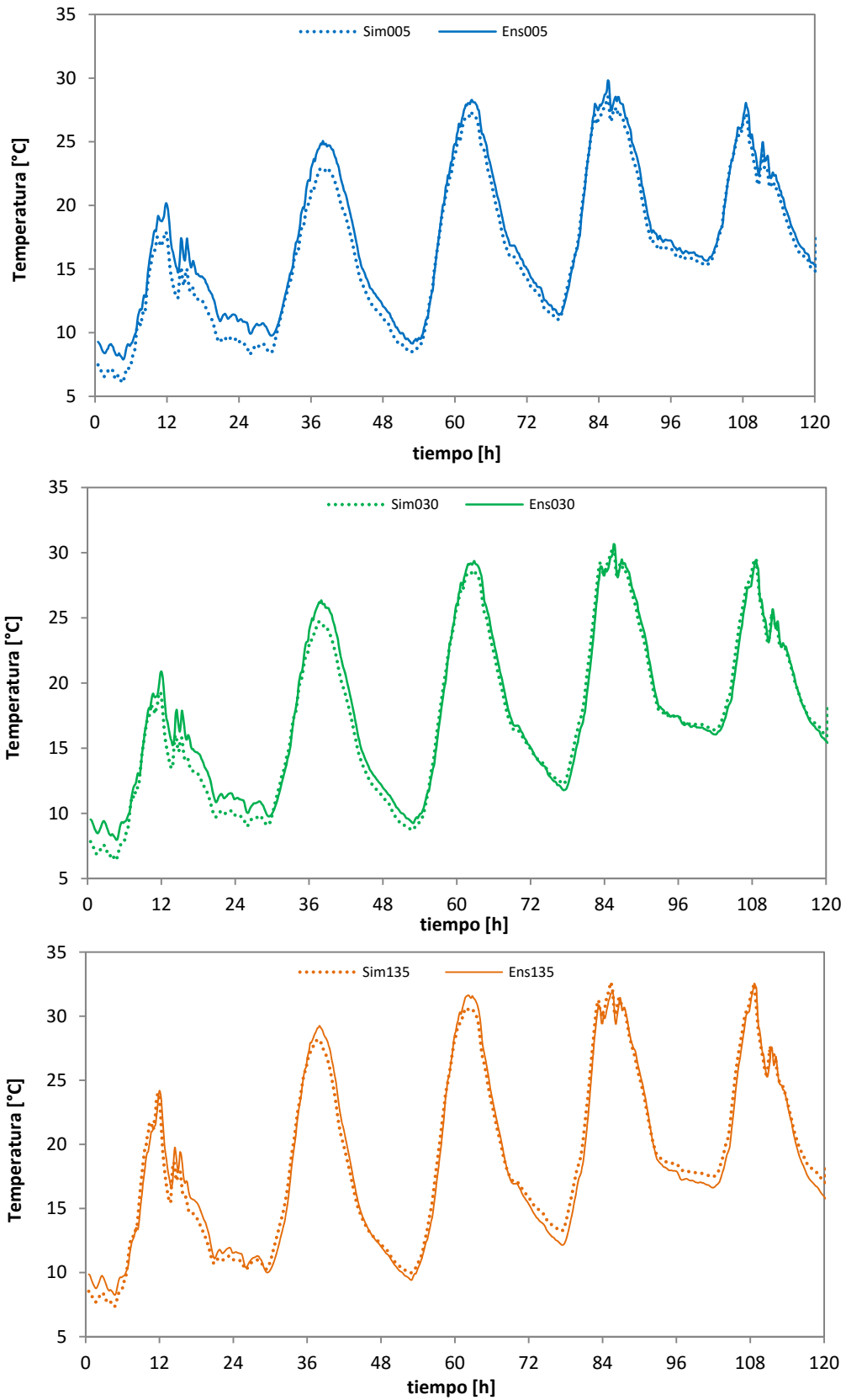


Figura D.19 –Validación del modelo CFD para las temperaturas en la capa 5, superficie aislante

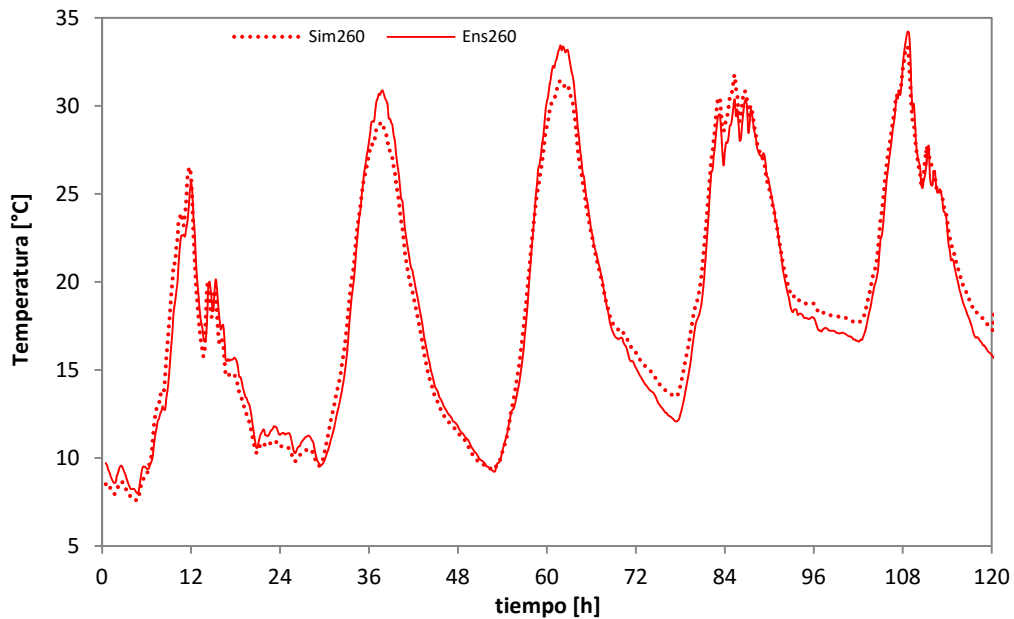


Figura D.20 –Validación del modelo CFD para las temperaturas en la capa 5, superficie aislante

De igual forma, en la Figura D.21 y en la Figura D.22 se muestra la comparativa para las temperaturas de la superficie de la placa de cemento, que configura la cara exterior de la cámara ventilada, y que se define como *Capa 6* en el esquema de la probeta.

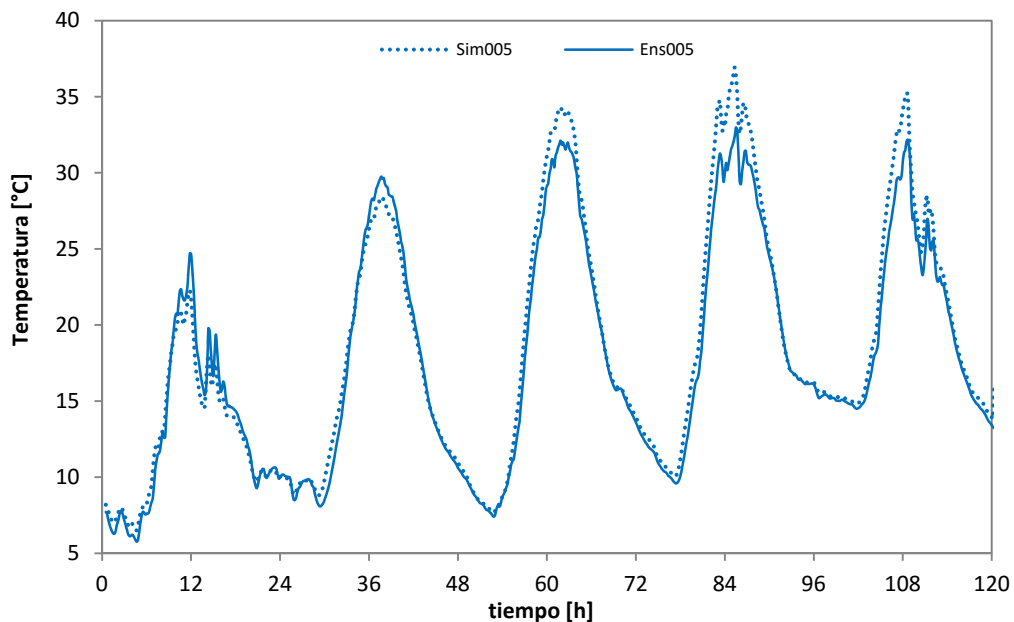


Figura D.21 –Validación del modelo CFD para las temperaturas en la capa 6, superficie placa de cemento

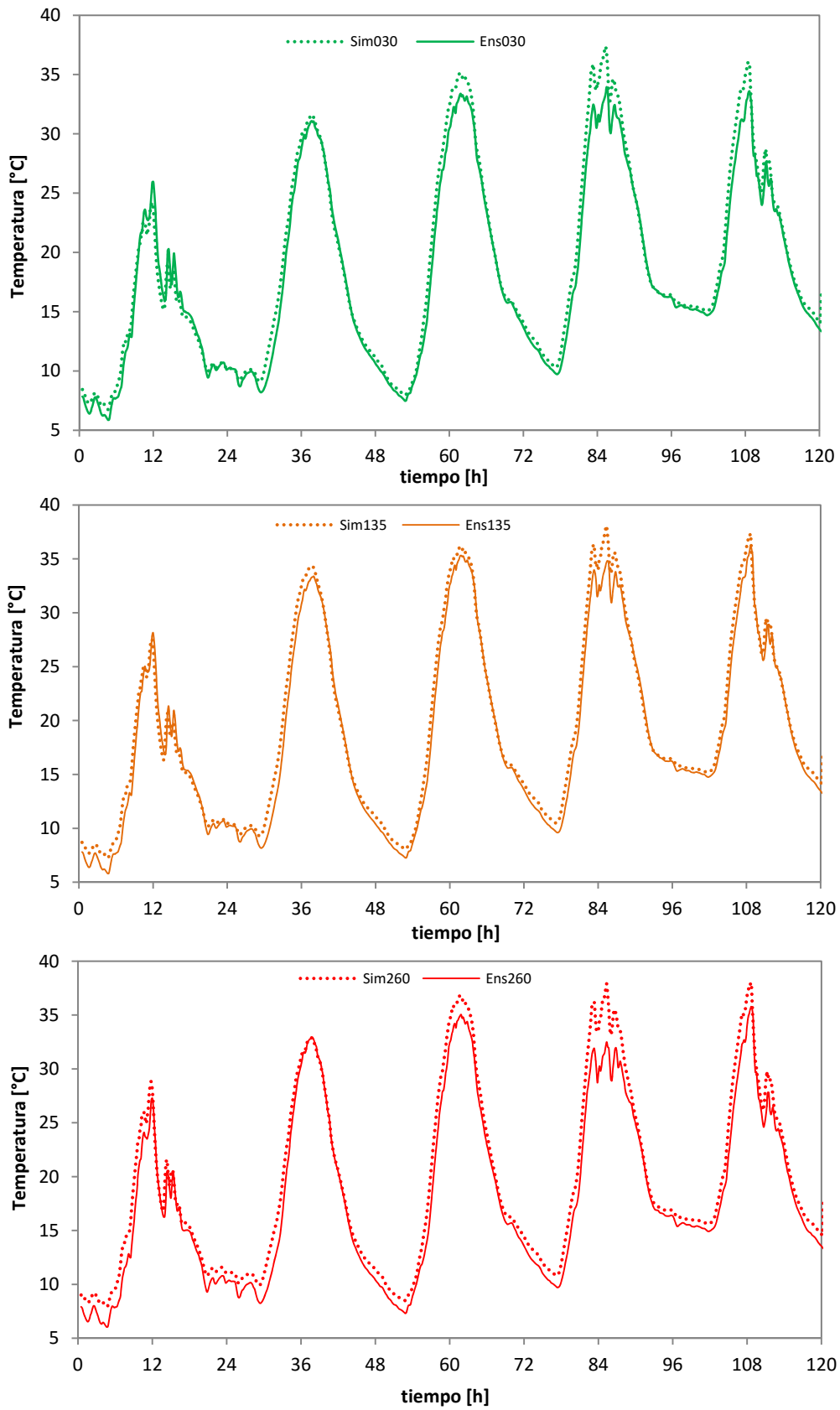


Figura D.22 –Validación del modelo CFD para las temperaturas en la capa 6, superficie placa de cemento

En la Tabla D.12 se recogen los errores medios obtenidos para cada una de las variables y cada punto de medida obtenidos.

Error Abs Velocidad [m/s]				
Altura [m]				
	0,05	0,30	1,35	2,60
FV-L	0,02	0,03	0,02	0,04

Error Abs Temperatura [°C]					
Altura [m]					
Capa		0,05	0,30	1,35	2,60
FV-L	5	1,0	0,8	0,8	0,9
	ca	0,4	0,5	0,8	0,9
	6	0,9	0,9	0,9	1,4

Tabla D.12 – Error absoluto de los modelos de volúmenes finitos en las dos tipologías de fachada ventilada

En la memoria, en el apartado de validación del modelo de CFD, se muestran una serie de imágenes correspondientes a los campos de temperaturas y velocidades del aire para cuatro instantes de tiempo representativos del comportamiento de la fachada ventilada. Por extensión del documento dichas imágenes se muestran en un tamaño reducido, a continuación se muestran con más detalla, de forma que se puede apreciar con más calidad la información del comportamiento de las diferentes capas de la muestra.

En la Figura D.23 y en la Figura D.24 se puede ver el comportamiento de la fachada a medido día, cuando la incidencia solar calienta la placa exterior de cemento que comienza a generar el proceso de flotación del aire dentro de la cámara ventilada. Pero aun está muy fría la superficie del aislante, de forma que el movimiento es lento y progresivo. En la Figura D.25 y en la Figura D.26 se muestra el estado de la fachada hacia el final de la tarde, cuando comienza a remitir la incidencia solar, de forma que la placa exterior comienza a enfriarse y la superficie del aislante pasa a ser la más caliente, pero debido a la inercia del movimiento, las velocidades siguen siendo continuas y con perfiles homogéneos.

En la Figura D.27 y en la Figura D.28 se muestra el estado correspondiente a la media noche, instante en el que se están enfriando por completo todas las superficies de la fachada y empieza a frenarse el movimiento de aire dentro de la cámara ventilada. Por último, en la Figura D.29 y en la Figura D.30 se muestra el instante de tiempo del amanecer, momento más fría del día, en el que el movimiento ascendente del aire es prácticamente nulo ó con zonas de reflujos y velocidades de descenso en la proximidad de la placa de cemento.

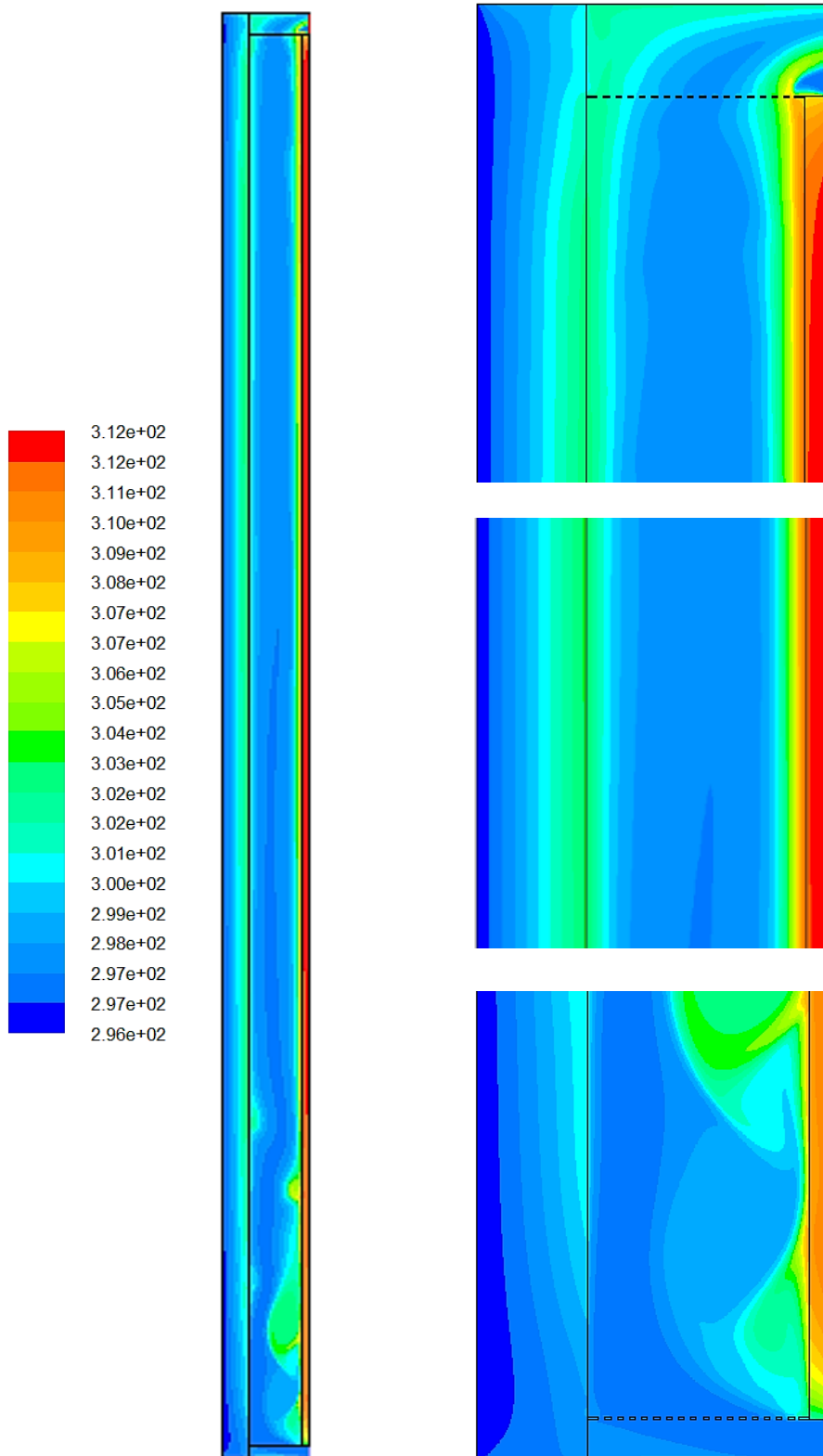


Figura D.23 –Campo de temperaturas para el instante de tiempo  $t = 60$  [h]

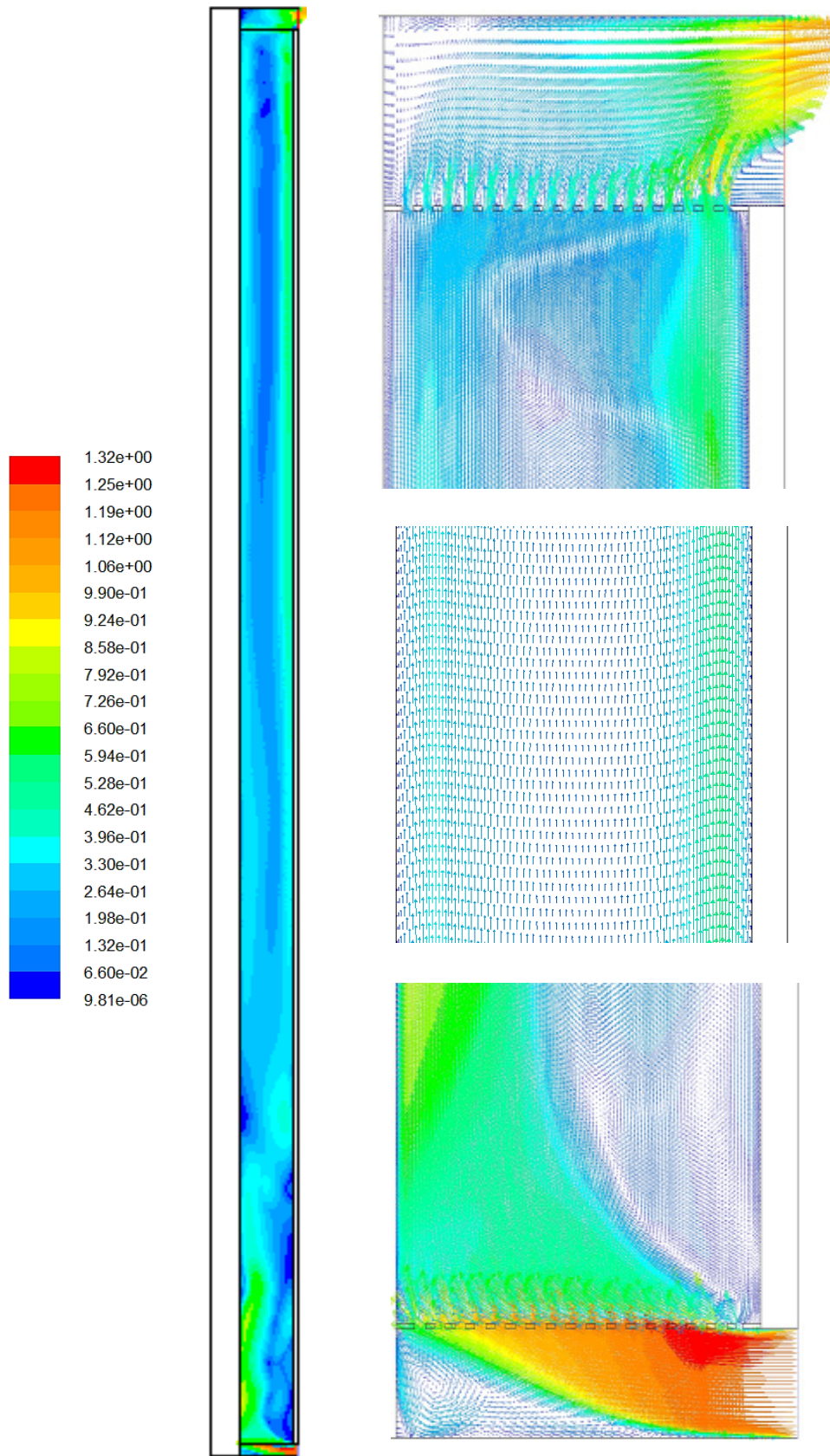


Figura D.24 –Campo de velocidades para el instante de tiempo  $t = 60$  [h]

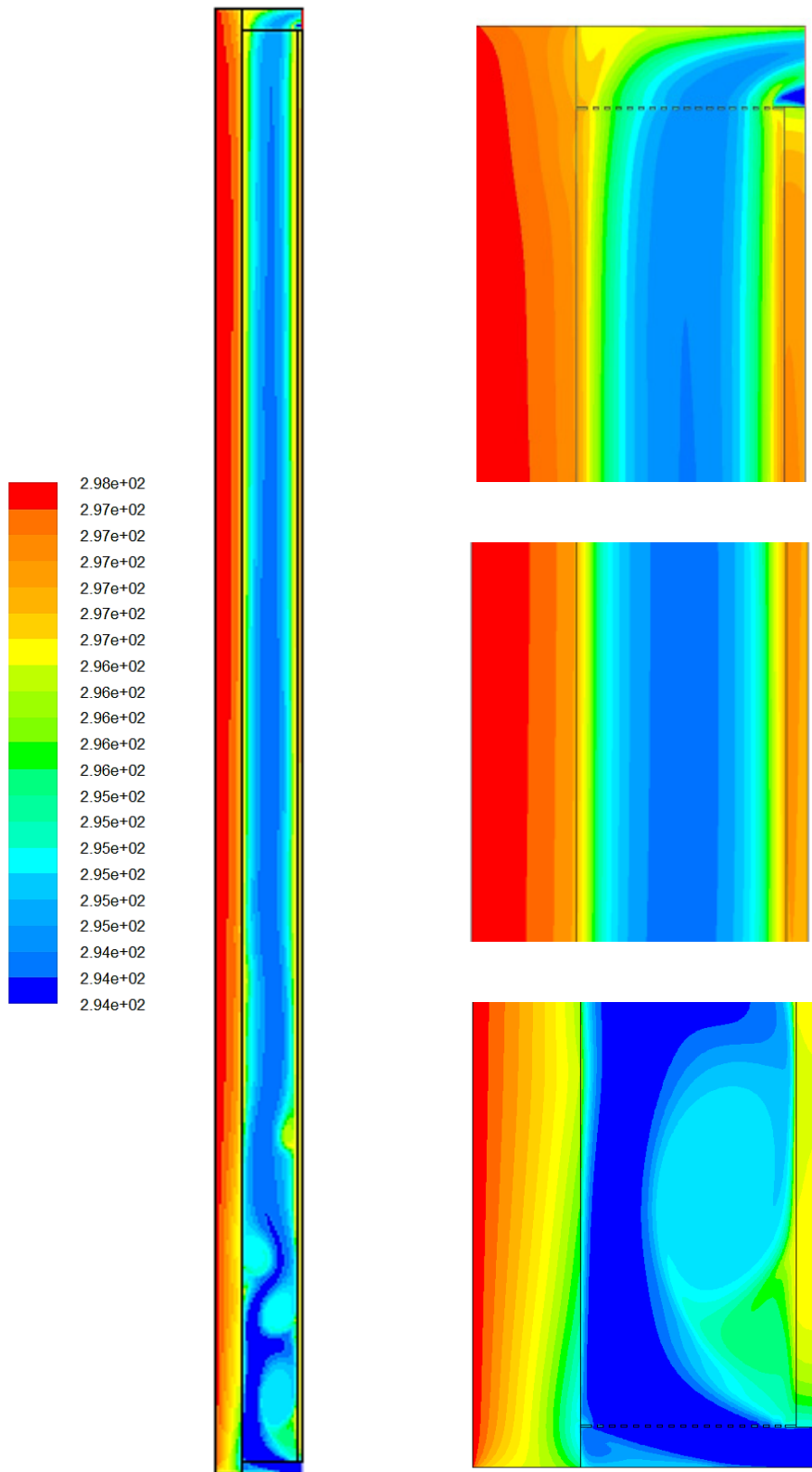


Figura D.25 –Campo de temperaturas para el instante de tiempo  $t = 66$  [h]



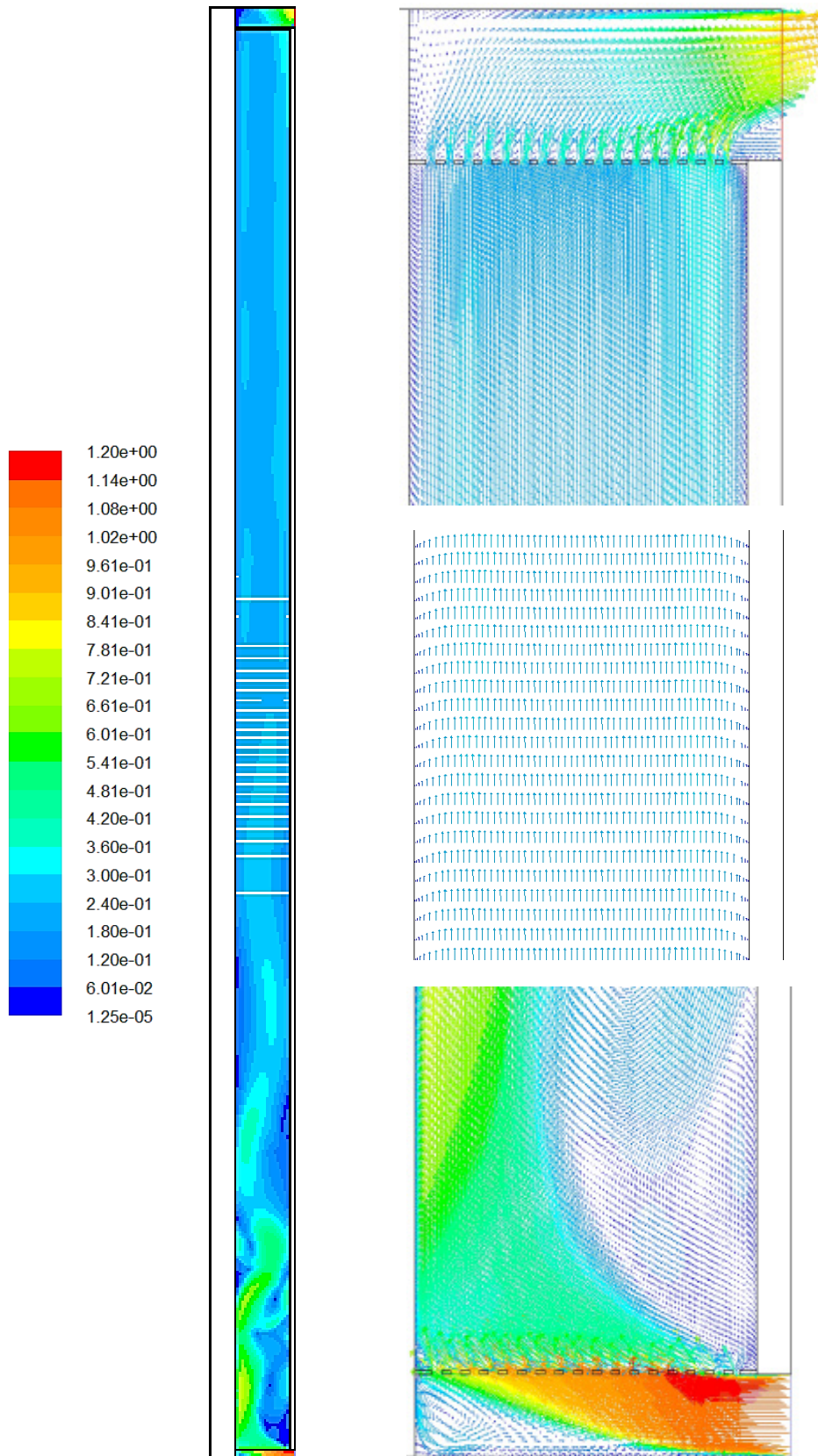


Figura D.26 –Campo de velocidades para el instante de tiempo  $t = 66$  [h]

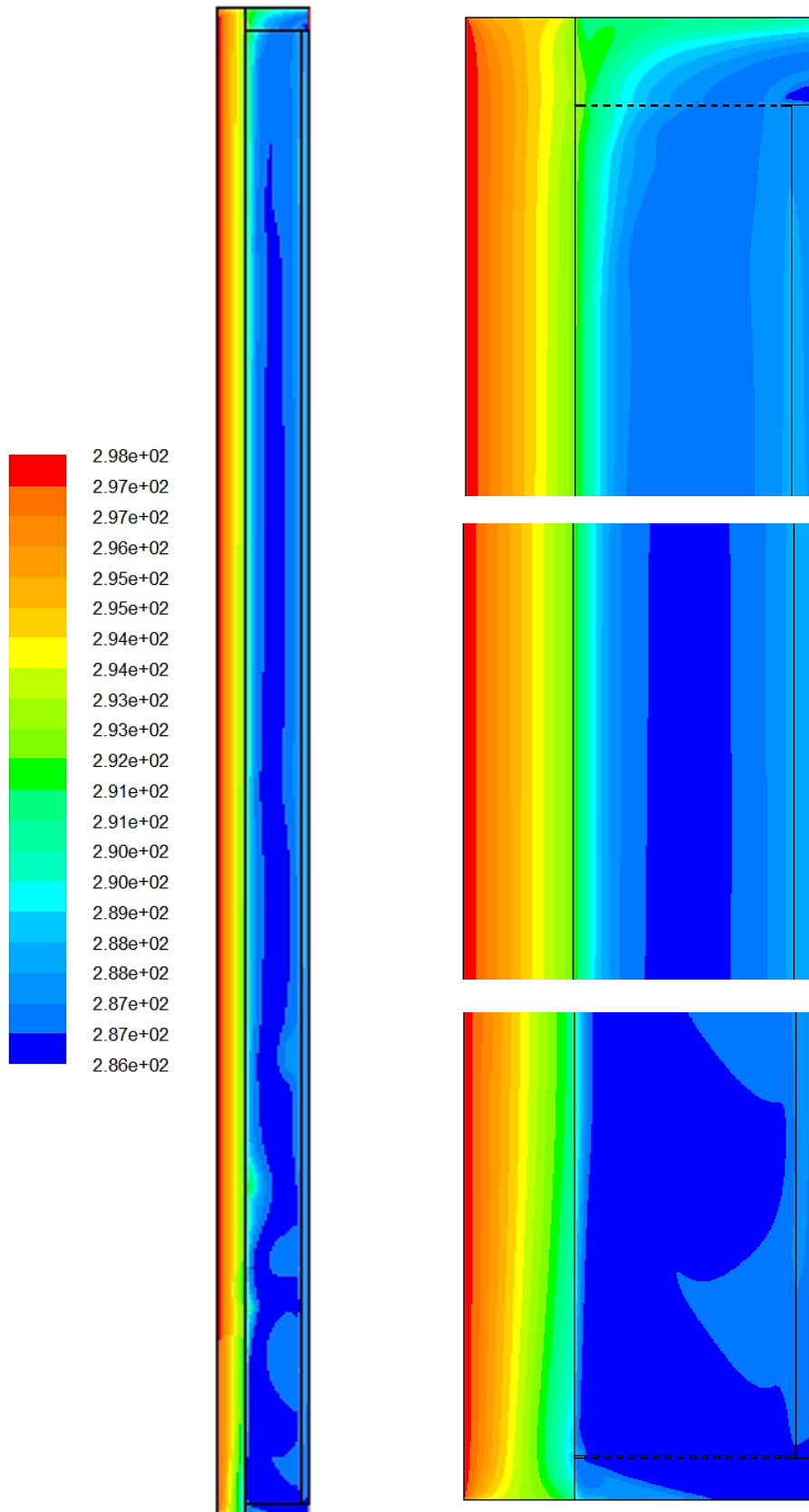


Figura D.27 –Campo de temperaturas para el instante de tiempo  $t = 72$  [h]

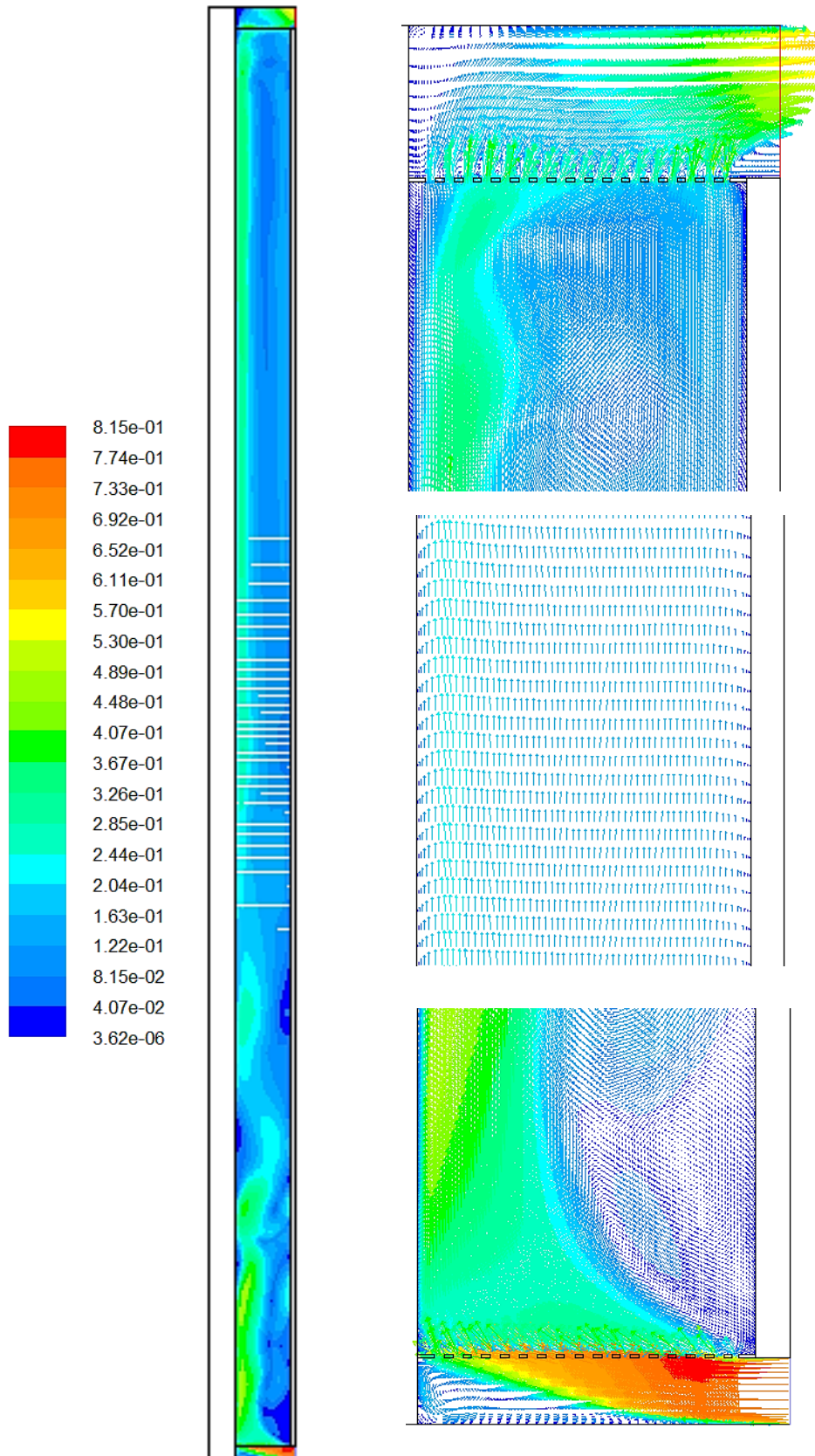


Figura D.28 –Campo de velocidades para el instante de tiempo  $t = 72$  [h]

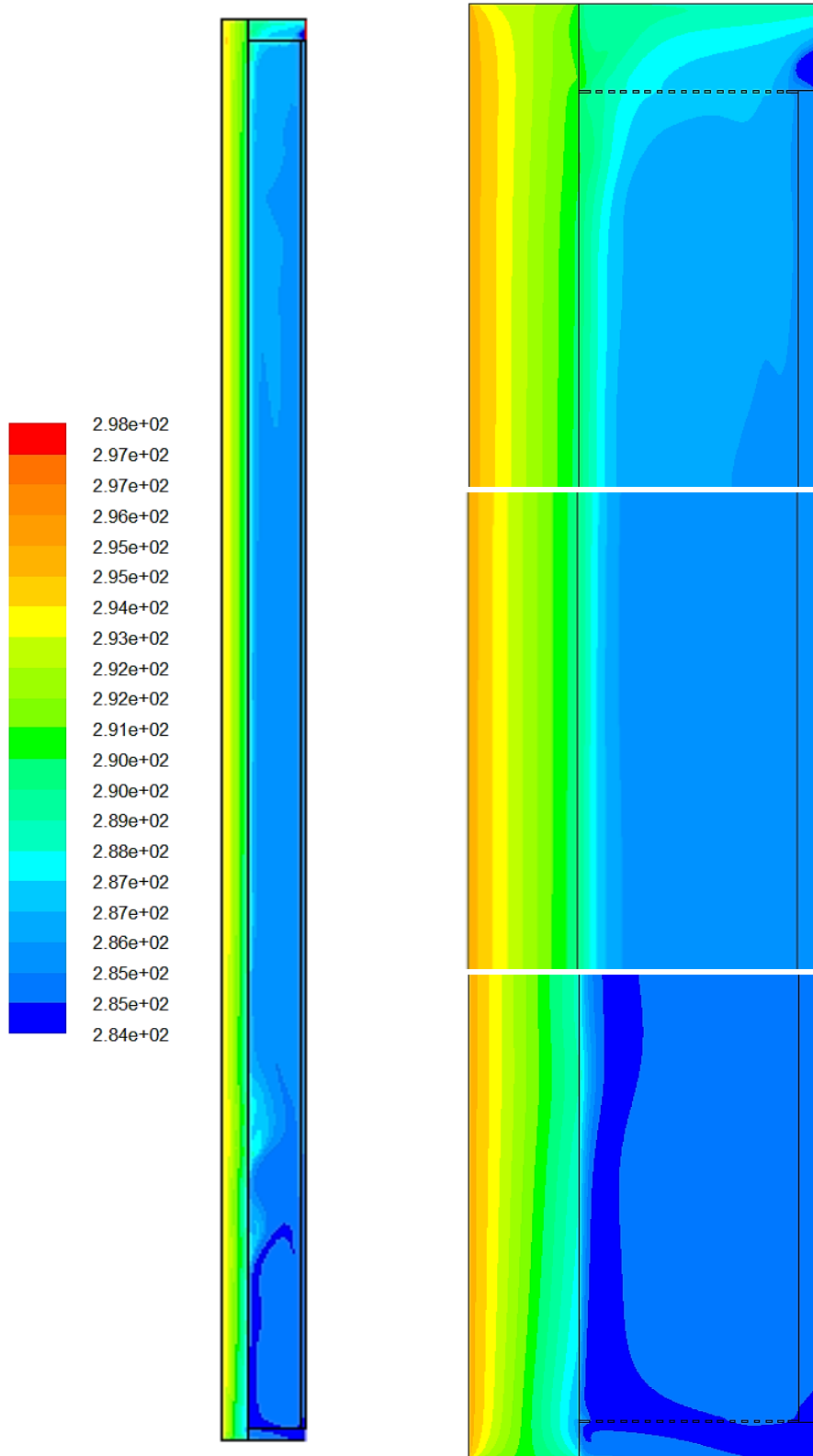


Figura D.29 –Campo de temperaturas para el instante de tiempo  $t = 78$  [h]

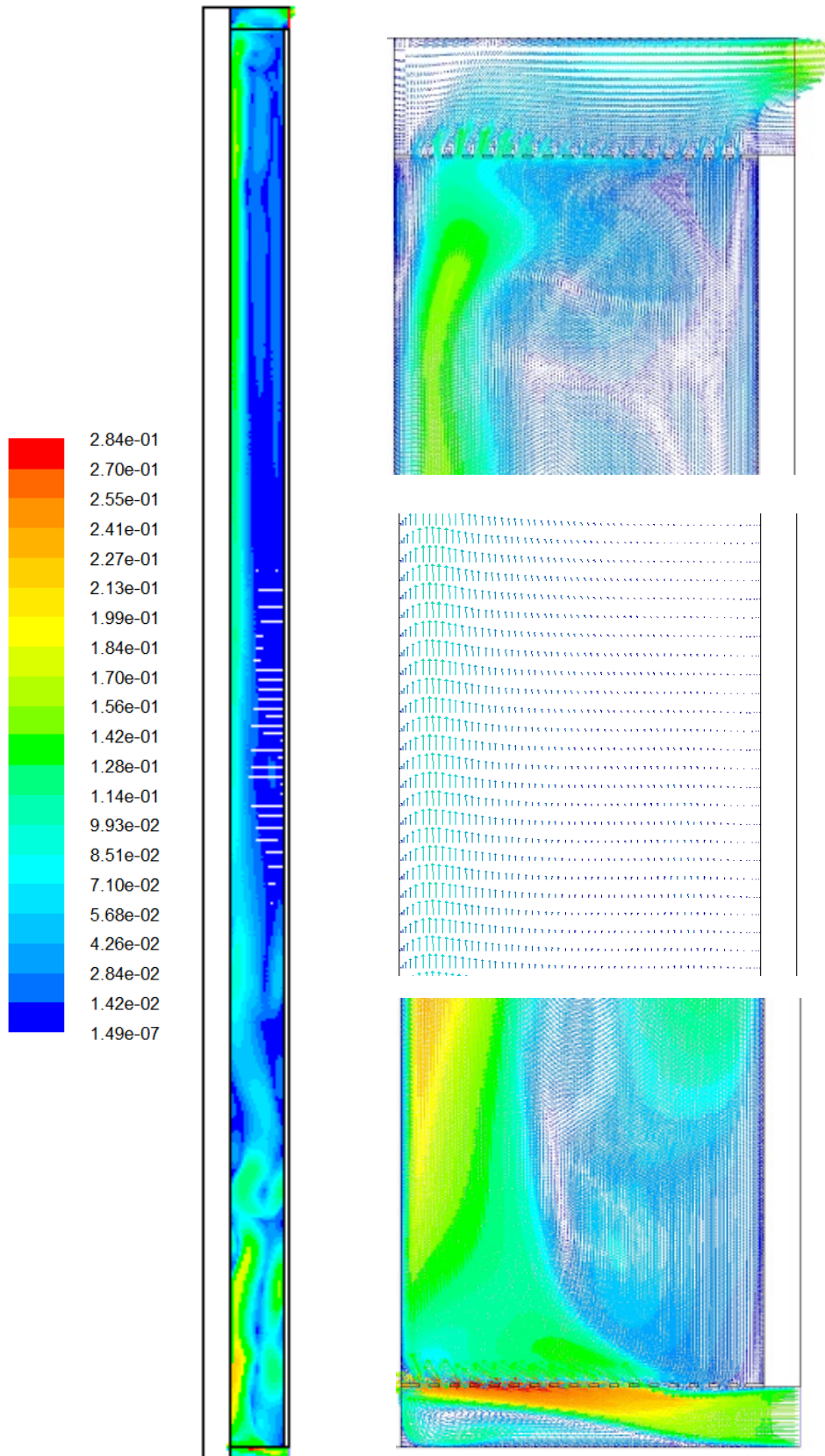


Figura D.30 –Campo de velocidades para el instante de tiempo  $t = 78$  [h]

### D.3.1.2 Factores de paso a valores eficientes de variables de ensayo

En la Tabla D.13 y Tabla D.14 se recogen las condiciones de temperatura y velocidad. En la columna  $f_{va}$  se indica el factor de corrección de la velocidad medida respecto a la velocidad eficiente, obtenida de integrar el perfil de velocidades en toda la sección de la cámara ventilada. Se incluyen todos los resultados disponibles, que se corresponden con 60 instantes de tiempo, obtenidos de analizar los datos cada dos horas en los cinco días en los que se ha realizado la simulación en CFD.

instante [h]	$T_{ext}$ [°C]	$T_{ca}$ [°C]	$T_{c5}$ [°C]	$T_{c6}$ [°C]	$u_{135}$ [m/s]	$\Gamma$	$f_{va}$	$e_{fva}$ [%]
2	7.63	8.23	9.41	7.79	0.004	-1.372	1.06	0.4
4	6.70	6.74	8.15	5.98	0.003	-1.536	1.07	1.4
6	9.65	8.87	9.75	8.15	0.003	-1.821	1.07	1.2
8	12.28	12.74	13.00	12.76	0.013	-0.927	1.06	0.5
10	17.37	20.66	20.17	23.49	0.095	1.174	1.06	0.3
12	14.55	19.30	20.41	22.56	0.070	0.659	1.05	0.6
14	14.41	18.15	18.72	20.44	0.086	0.747	1.05	1.1
16	13.29	15.70	16.29	16.61	0.038	0.357	1.04	2.1
18	12.14	13.79	14.44	14.10	0.029	-0.526	1.07	1.4
20	9.89	10.50	11.44	10.04	0.004	-1.498	1.04	1.3
22	10.03	10.63	11.36	10.25	0.004	-1.527	1.06	0.5
24	9.62	10.45	11.29	10.26	0.004	-1.221	1.05	0.9
26	9.28	9.73	10.55	9.29	0.003	-1.527	1.06	0.3
28	9.44	9.85	10.74	9.49	0.003	-1.404	1.06	0.0
30	11.76	10.00	10.59	9.34	0.003	-2.122	1.06	0.6
32	15.53	14.42	14.36	14.70	0.051	1.224	1.07	1.2
34	18.04	20.95	21.27	24.28	0.088	0.905	1.05	1.2
36	19.79	26.05	26.41	30.49	0.135	0.917	1.04	1.6
38	21.52	26.94	27.46	31.00	0.115	0.871	1.05	0.9
40	20.73	24.17	24.20	25.91	0.103	0.979	1.06	0.5
42	18.09	19.33	19.49	19.46	0.042	-0.158	1.03	3.2
44	14.06	14.42	14.97	14.02	0.010	-1.742	1.05	0.4
46	11.86	12.20	12.90	11.63	0.006	-1.830	1.05	1.1
48	10.62	10.79	11.67	10.16	0.003	-1.712	1.08	1.8
50	8.29	9.16	10.32	8.59	0.003	-1.489	1.07	0.8
52	7.43	8.18	9.41	7.54	0.003	-1.513	1.04	1.3
54	8.03	9.34	10.54	9.56	0.004	-0.822	1.06	0.0
56	14.81	14.55	14.69	14.90	0.040	0.603	1.06	0.2
58	20.44	22.90	22.90	25.97	0.100	1.002	1.07	1.5

Tabla D.13 – Factores de corrección de la velocidad en la cámara ventilada



instante [h]	$T_{ext}$ [°C]	$T_{ca}$ [°C]	$T_{c5}$ [°C]	$T_{c6}$ [°C]	$u_{135}$ [m/s]	$\Gamma$	$f_{va}$	$e_{fva}$ [%]
60	24.04	27.90	28.52	32.26	0.107	0.859	1.06	0.2
62	26.43	29.81	30.38	33.31	0.125	0.837	1.04	1.3
64	24.19	26.43	26.77	28.00	0.095	0.780	1.05	0.5
66	21.04	21.79	22.13	22.00	0.033	-0.392	1.06	0.1
68	16.55	17.16	17.84	16.75	0.011	-1.611	1.06	0.1
70	14.93	15.54	16.39	15.20	0.008	-1.401	1.08	1.6
72	13.07	13.57	14.69	13.04	0.009	-1.472	1.08	2.0
74	11.58	12.15	13.51	11.59	0.005	-1.408	1.06	0.6
76	9.86	10.68	12.23	10.08	0.004	-1.387	1.04	1.5
78	11.99	11.91	13.09	11.37	0.011	-1.461	1.05	1.1
80	16.25	16.72	17.41	17.32	0.037	-0.126	1.05	0.9
82	23.46	25.98	26.00	28.99	0.111	0.992	1.05	0.5
84	25.47	28.56	28.72	31.13	0.147	0.937	1.07	0.7
86	26.03	29.00	29.27	31.42	0.138	0.889	1.07	1.3
88	25.30	27.20	27.48	28.19	0.110	0.711	1.07	1.5
90	21.86	23.48	24.09	23.87	0.058	-0.367	1.05	0.6
92	16.88	17.97	19.05	17.82	0.030	-1.137	1.06	0.2
94	15.67	16.60	17.77	16.41	0.021	-1.163	1.08	1.6
96	15.28	15.95	17.17	15.55	0.009	-1.331	1.05	1.0
98	14.80	15.65	16.89	15.37	0.010	-1.231	1.07	0.8
100	14.45	15.33	16.59	15.09	0.009	-1.191	1.06	0.5
102	14.41	15.27	16.44	14.99	0.013	-1.246	1.06	0.2
104	16.98	18.30	19.17	18.97	0.032	-0.226	1.04	2.0
106	22.52	25.38	26.14	28.63	0.112	0.766	1.07	0.9
108	25.47	29.91	30.87	34.20	0.135	0.776	1.07	1.0
110	20.15	23.38	24.41	24.89	0.070	0.314	1.05	1.0
112	19.69	23.05	24.11	24.48	0.065	0.261	1.05	0.5
114	19.13	20.50	21.27	20.57	0.041	-0.911	1.06	0.2
116	16.35	17.04	18.21	16.51	0.017	-1.450	1.06	0.2
118	14.64	15.23	16.53	14.55	0.020	-1.521	1.07	1.4
120	13.37	13.96	15.49	13.28	0.008	-1.445	1.06	0.0

Tabla D.14 – Factores de corrección de la velocidad en la cámara ventilada

### D.3.2 Modelo de parámetros concentrados

En la Figura D.31 se muestra el modelo empleado para analizar el comportamiento completo de la fachada ventilada ligera. En la parte superior se muestra la parte correspondiente al muro base con aislamiento, de forma que su definición es idéntica a la del modelo de la Figura D.11, salvo que en este caso la capa de aislamiento no presenta el revestimiento superficial de mortero de la fachada exterior. Y en la parte inferior se muestra la parte del modelo que reproduce el comportamiento de la cámara ventilada y de la placa ligera exterior de cemento, hasta las condiciones ambientales exteriores.

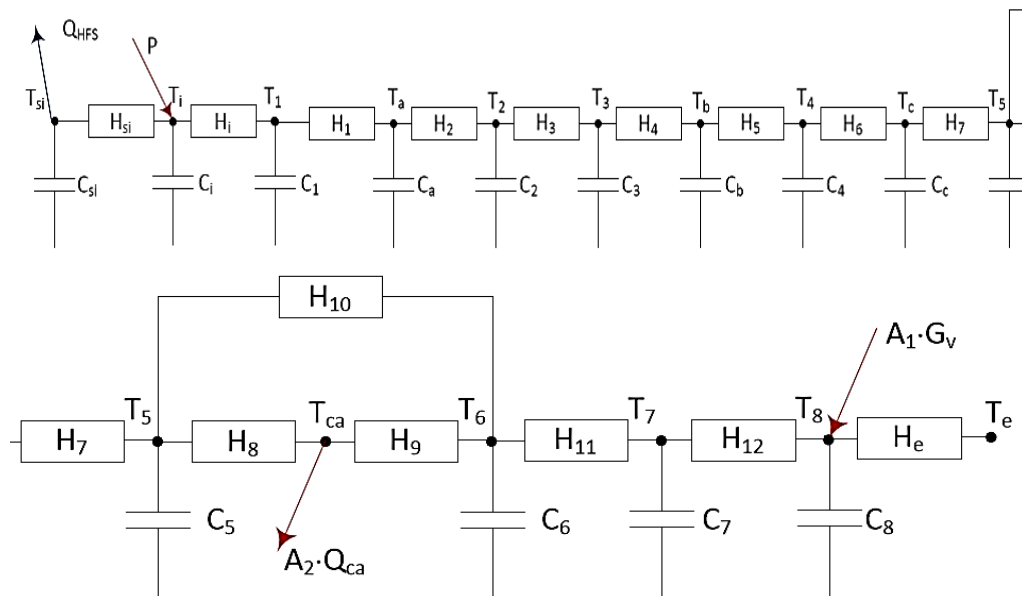


Figura D.31 – Modelo de celda para el muro base con la fachada ventilada ligera

Se trata del modelo más complejo que se resuelve en el presente trabajo de tesis, debido al orden orden, lo que implica un elevado número de variables, parámetros y funciones objetivo. Además, a esta complejidad hay que sumarle que las conductancias que representan el comportamiento de la cámara de aire ventilada son variables en el tiempo, dependiendo de la velocidad y temperaturas del aire y de las superficies que la conforman. Este aspecto se resuelve incluyendo en el modelo las ecuaciones algebraicas necesarias para representar ese comportamiento y pasando a variables de ajuste los coeficientes de dichas ecuaciones. Esto exige introducir como datos de entrada al modelo la velocidad medida de aire,  $v_{ca}$ , y el coeficiente de radiación entre superficies,  $H_{rad}$ . Las ecuaciones del modelo se muestran en [D.9], [D.10] y [D.11]. La resolución de un modelo de estas características con las herramientas de identificación de parámetros es muy compleja. Exige ir resolviendo el modelo de forma progresiva, es decir, primero se define una parte del modelo, se obtienen resultados fiables, se fijan, se amplía el modelo para obtener los resultados de las variables ampliadas, que se toman como valor inicial para una nueva resolución, esta vez con toda la parte del modelo variable. Este proceso se repite progresivamente hasta obtener un modelo completo en el cual todas las variables son libres, pero que parte de un estado inicial muy próximo a los valores definitivos de las variables que lo conforman.







variable	valor min.	valor inicial	valormax.	valor estimado	std. dev.	t-score	dF/dPar	dPen/dPar
C <sub>7</sub>	1	50	500	1.79E+02	3.87E+01	0.813	-0.0014	0.0031
H <sub>12</sub>	100	1000	2000	1.52E+02	2.59E+01	91.552	-0.0016	-0.0009
C <sub>8</sub>	1	50	500	4.85E+01	2.19E+01	96.571	-0.0002	-0.0001
H <sub>e</sub>	1	150	300	1.77E+02	1.74E+01	42.453	0.0002	0.0013
A <sub>1</sub>	1	5	7	5.86E+00	5.09E-01	95.385	-0.0018	0.0001
A <sub>2</sub>	0.9	1	1.1	1.07E+00	5.74E-02	74.214	-0.0025	0.0044

Tabla D.16 – Resultados identificación parámetros para el modelo completo de fachada ventilada ligera

	a <sub>8</sub>	b <sub>8</sub>	a <sub>9</sub>	b <sub>9</sub>	P <sub>0</sub>	H <sub>si</sub>	C <sub>si</sub>	H <sub>i</sub>	C <sub>i</sub>	H <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>a</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	C <sub>b</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>4</sub>	H <sub>6</sub>	C <sub>c</sub>	
a <sub>8</sub>	1																						
b <sub>8</sub>	0.3	1																					
a <sub>9</sub>	-0.1	-0.5	1																				
b <sub>9</sub>	-0.4	0.0	0.1	1																			
P <sub>0</sub>	-0.2	0.1	-0.3	0.0	1																		
H <sub>si</sub>	-0.4	0.4	0.0	0.1	0.2	1																	
C <sub>si</sub>	-0.3	-0.1	-0.5	0.0	-0.4	-0.4	1																
H <sub>i</sub>	-0.3	0.0	-0.2	-0.2	-0.5	-0.5	-0.2	1															
C <sub>i</sub>	0.3	-0.4	0.1	0.0	0.4	-0.4	-0.1	0.4	1														
H <sub>1</sub>	0.1	0.0	0.3	0.1	0.3	-0.4	0.2	0.4	0.2	1													
C <sub>1</sub>	-0.5	-0.3	-0.1	-0.1	0.4	-0.5	0.4	-0.1	-0.2	0.4	1												
C <sub>a</sub>	0.3	0.3	-0.3	-0.1	-0.2	0.3	0.2	0.3	0.1	0.0	-0.5	1											
H <sub>2</sub>	-0.3	-0.1	0.0	0.2	0.2	0.4	0.3	0.3	0.1	-0.2	-0.2	-0.4	1										
C <sub>2</sub>	0.1	-0.3	0.4	0.0	-0.4	0.2	-0.2	0.2	0.2	-0.4	0.0	-0.4	-0.2	1									
H <sub>3</sub>	-0.3	0.1	0.4	-0.2	-0.2	-0.4	0.4	0.5	0.3	0.4	0.5	0.4	-0.2	0.3	1								
C <sub>3</sub>	-0.2	-0.3	-0.1	-0.3	-0.3	0.2	0.4	0.0	-0.1	0.4	-0.2	-0.1	0.1	0.1	-0.5	1							
H <sub>4</sub>	-0.1	0.2	-0.2	0.2	0.2	0.1	-0.1	0.0	0.3	-0.4	0.1	0.1	-0.4	-0.2	0.0	0.1	1						
C <sub>b</sub>	0.1	-0.4	0.1	-0.1	-0.2	0.2	-0.1	-0.3	0.0	0.2	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.4	0.2	-0.5	1					
H <sub>5</sub>	0.0	0.0	0.4	0.5	-0.3	0.0	-0.1	0.3	0.3	-0.5	-0.3	0.4	0.0	-0.4	0.3	0.0	0.1	0.1	1				
C <sub>4</sub>	0.0	-0.1	0.1	0.3	0.0	-0.3	0.0	0.4	0.3	-0.5	-0.2	-0.1	0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.2	-0.1	0.3	1			
H <sub>6</sub>	0.4	0.2	-0.4	0.3	0.1	-0.4	-0.2	0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	0.1	-0.4	0.3	0.4	0.3	-0.3	-0.4	0.4	1		
C <sub>c</sub>	0.4	-0.2	0.0	-0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	-0.5	0.3	0.2	0.5	0.4	-0.1	0.1	-0.4	-0.4	-0.1	-0.5	-0.4	0.5	1	
H <sub>7</sub>	-0.1	0.3	0.1	0.5	0.3	-0.2	-0.3	-0.5	-0.1	-0.2	-0.2	0.1	-0.1	0.5	0.0	-0.2	0.0	0.1	0.3	0.2	0.5	0.2	
C <sub>5</sub>	-0.5	0.5	0.2	-0.1	0.3	0.1	0.3	0.4	0.3	-0.3	-0.3	0.3	-0.5	-0.2	0.0	-0.2	0.1	0.1	0.1	-0.1	-0.1	0.1	
C <sub>6</sub>	0.4	-0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	-0.3	-0.2	0.0	-0.3	-0.5	-0.4	0.2	-0.5	-0.1	0.5	-0.2	-0.5	-0.2	-0.4	0.1	0.2	
H <sub>11</sub>	-0.2	-0.2	0.0	-0.1	0.1	0.2	0.1	0.4	-0.2	-0.2	-0.2	0.5	0.2	-0.4	-0.1	-0.2	0.1	-0.4	-0.2	-0.3	0.3	-0.1	
C <sub>7</sub>	0.1	-0.4	0.0	0.2	-0.2	0.5	-0.3	0.4	0.5	0.5	-0.2	0.5	0.0	0.5	-0.4	-0.2	0.0	0.1	0.0	0.2	0.3	0.1	
H <sub>12</sub>	-0.2	0.1	-0.2	0.2	0.4	0.1	-0.4	-0.1	0.1	-0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	-0.5	0.4	0.1	0.3	0.4	-0.2	0.3	0.4	
C <sub>8</sub>	-0.5	-0.4	0.2	-0.4	-0.4	0.4	0.4	0.2	0.4	-0.4	0.4	-0.4	-0.5	0.5	0.4	0.4	0.0	0.2	0.3	0.2	-0.1	-0.4	
H <sub>e</sub>	0.4	0.3	-0.5	0.4	0.1	-0.3	0.4	0.3	0.4	-0.5	0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	0.2	0.3	-0.3	-0.4	-0.3	-0.1	0.4	
A <sub>1</sub>	-0.3	-0.1	0.4	-0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.2	-0.5	-0.4	-0.4	0.2	0.1	0.5	0.1	0.0	-0.4	0.1	0.2	-0.2	
A <sub>2</sub>	-0.3	-0.1	-0.4	-0.3	-0.5	0.1	0.2	-0.4	0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.2	-0.3	-0.3	-0.1	-0.4	0.0	0.4	-0.4	-0.3	0.2	

Tabla D.17 – Resultados identificación parámetros para el modelo completo de fachada ventilada ligera

	H <sub>7</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	H <sub>11</sub>	C <sub>7</sub>	H <sub>12</sub>	C <sub>8</sub>	H <sub>e</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
H <sub>7</sub>	1									
C <sub>5</sub>	0.2	1								
C <sub>6</sub>	-0.5	-0.3	1							
H <sub>11</sub>	0.3	0.1	-0.5	1						
C <sub>7</sub>	0.0	0.3	-0.1	-0.3	1					
H <sub>12</sub>	-0.1	0.2	-0.4	0.0	-0.1	1				
C <sub>8</sub>	-0.2	0.4	-0.3	-0.2	0.2	0.1	1			
H <sub>e</sub>	0.4	0.3	0.4	-0.5	0.3	0.1	0.5	1		
A <sub>1</sub>	-0.4	0.0	0.4	0.3	-0.4	-0.2	-0.3	0.3	1	
A <sub>2</sub>	0.2	0.2	0.5	0.5	0.1	-0.1	0.3	0.4	0.3	1

Tabla D.18 – Resultados identificación parámetros para el modelo completo de fachada ventilada ligera

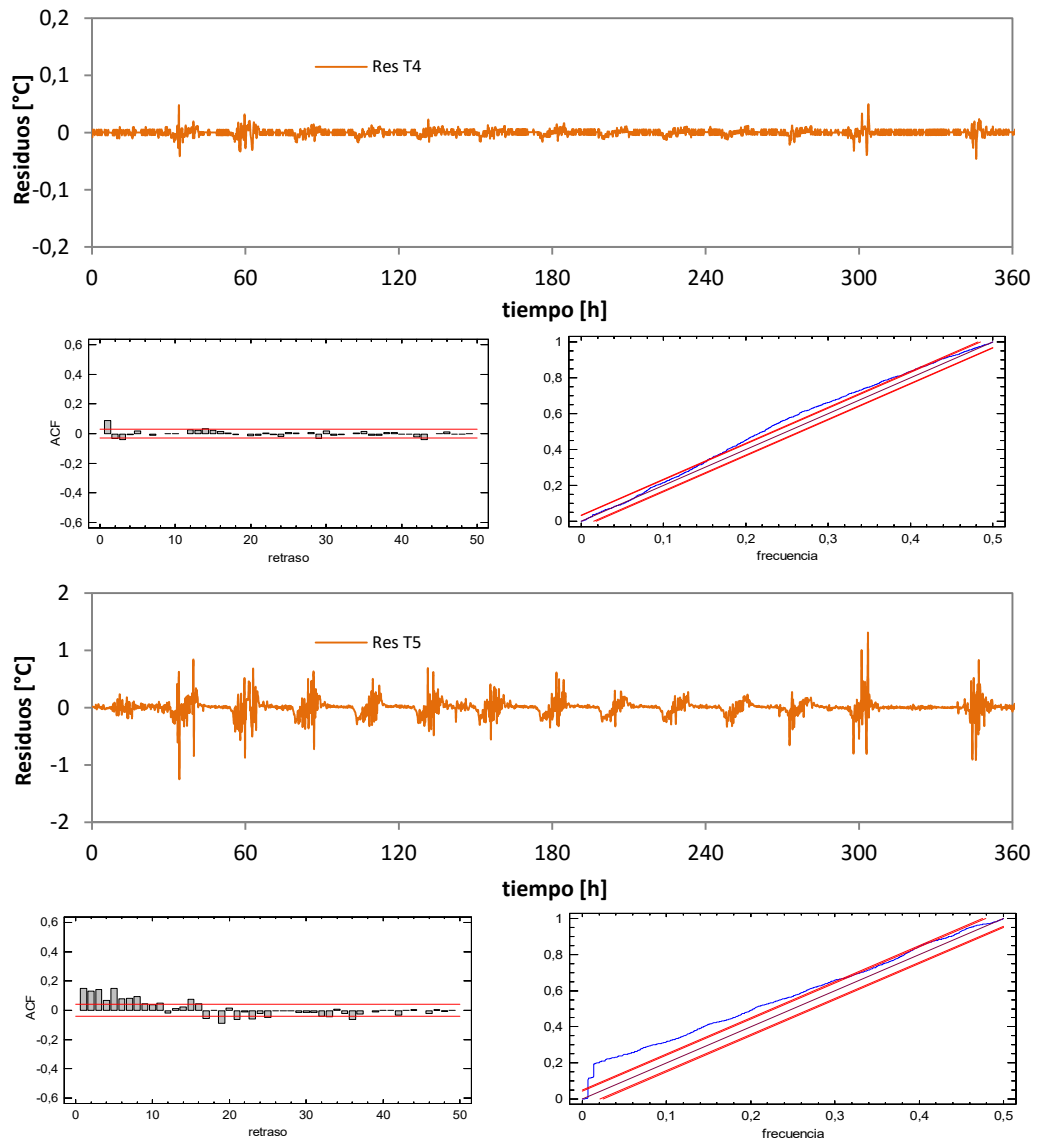


Figura D.32 – Ajuste del modelo completo de fachada ventilada ligera

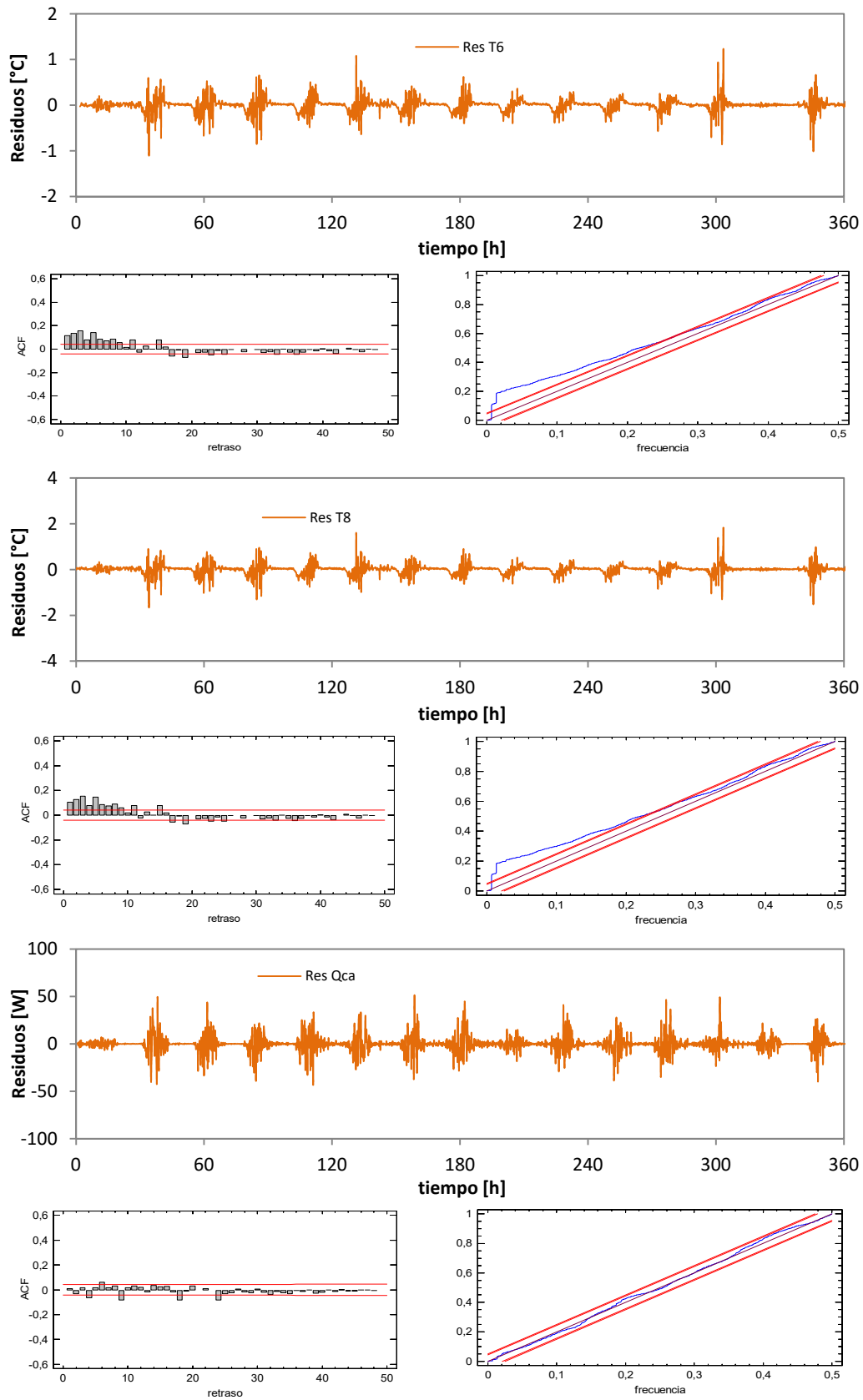


Figura D.33 – Ajuste del modelo completo de fachada ventilada ligera

En la Tabla D.19 se muestran los resultados finales de los parámetros térmicos de la cámara ventilada de la fachada ligera obtenida de los datos del modelo de parámetros concentrados resuelto mediante el proceso de identificación de parámetros.

	<i>parámetro</i>	<i>valor</i>	<i>unidades</i>	<i>u<sub>i</sub> [%]</i>
<i>aislante</i>	$R_{LR}$	1,132	$m^2K/W$	3,1
	$h_{c5}$	$1,81+131,46 \cdot v_{ca}$	$W/m^2K$	13,5
<i>cámara</i>	$h_{c6}$	$3,92+108,54 \cdot v_{ca}$	$W/m^2K$	5,7
<i>aire</i>	$P_0(H_{rad56})$	1,077	-	14,4
	$A(Q_{ca})$	1,067	-	5,4
<i>placa</i>	$R_{p-c}$	0,059	$m^2K/W$	12,1
<i>cemento</i>	$C_{p-c}$	0,023	$MJ/m^2K$	22,3
	$h_{ext}$	24,52	$W/m^2K$	9,8
<i>exterior</i>	$A(G_v)$	0,821	-	8,7

Tabla D.19 – Resultados del modelo de parámetros concentrados de la cámara de aire de la fachada ventilada ligera













*Makina eta Motor  
Termikoak Saila  
Departamento de Máquinas  
y Motores Térmicos*

