

MÁSTER UNIVERSITARIO EN

Investigación en Eficiencia Energética y Sostenibilidad en
Industria, Transporte, Edificación y Urbanismo

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ANÁLISIS CUALITATIVO DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE EDIFICIOS RESIDENCIALES DE VIVIENDA SOCIAL

Estudiante

Massarrat Majidi, Nasim

Director

Oregi Isasi, Xabat

Departamento

Ingeniería Energética

Curso académico

2021/2022

Bilbao, 2022



ABSTRACT

The objective of this study was to determine the degree of comfort within the building types of the study case (all of them built between 1994 and 2002) and the relationship between this comfort condition (and therefore health conditions) and three parameters: local climatic conditions, thermal properties of the building and different conditions defined for comfort per se. In this work data obtained during the year 2021, by monitoring bedrooms and living rooms in social housing have been collected and analyzed. The monitoring devices have made measurements of temperature, relative humidity and, in very few cases, concentration of carbon dioxide in the air. This last parameter could not be analyzed due to the scarcity of results.

The analysis allows concluding the invalidity of the criterion of ASHRAE conditions versus WHO and CTE as comfort limit conditions; the noticeable higher lack of comfort in general in winter versus summer, in the studied region of Basque Country; and how thermal properties of the building can overcome the climatic factor in buildings' comfort conditions. Therefore, improvements to be made in these buildings are proposed, as well as ideas for future steps that could be taken for further research.

Key words: comfort, occupants' behavior, monitorization, building energetic performance, rebounding effects, social housing.



RESUMEN

El objetivo de este estudio ha sido determinar el grado de confort dentro de los tipos de edificios escogidos (construidos entre el año 1994 y 2002) y la relación entre dicha condición de confort (y, por tanto, de salud) y tres parámetros: las condiciones climáticas locales, las propiedades térmicas del edificio y las condiciones definidas para el confort en sí mismas. En este trabajo se han recogido y analizado los datos obtenidos durante el año 2021, por monitorización de dormitorios y salones en viviendas sociales. Los equipos de monitorización han tomado medidas de temperatura, humedad relativa y, en muy escasos casos, concentración de dióxido de carbono en el aire. Este último parámetro no ha podido analizarse por escasez de resultados.

El análisis permite concluir la invalidez del criterio de las condiciones ASHRAE frente a las de la OMS y el CTE como límites para el confort; la notablemente mayor falta de confort en general en invierno frente al verano, en la región estudiada del País Vasco; y cómo las propiedades térmicas de edificio pueden superar al factor clima en las condiciones de confort en el edificio. Por esta razón, se proponen mejoras a realizar en estos edificios, así como propuestas de futuros pasos que se podrían tomar en siguientes investigaciones.

Palabras clave: confort, comportamiento de los ocupantes, monitorización, rendimiento energético de edificios, efectos rebote, viviendas sociales.



ÍNDICE

ABSTRACT.....	2
RESUMEN.....	3
ÍNDICE	4
MEMORIA	8
Justificación de la revisión efectuada.....	8
Estado del arte	9
Propuesta de investigación.....	17
Conclusiones iniciales del proyecto	18
METODOLOGÍA	19
1 Indicadores	19
1.1 Confort térmico interior	19
1.2 Riesgos térmicos para la salud	20
2 Variables	21
2.1 Propiedades térmicas del edificio.....	21
2.2 Condiciones climáticas.....	22
2.3 Condiciones térmicas para el interior.....	22
3 Enfoque: Euskadi como caso de estudio	22
3.1 Casos de estudio	23
3.2 Variables de análisis.....	23
3.3 Límites térmicos y riesgos para la salud	25
RESULTADOS.....	26
Análisis paramétrico.....	32
Influencia de las 3 variables estudiadas: propiedades térmicas del edificio, las condiciones térmicas de confort y las condiciones climáticas.....	32
Influencia de la altura de la planta en el edificio	36
Influencia del uso del habitáculo	36
CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE MEJORA	38
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
ANEXO I. Guía técnica de vidrios y cerramientos	48
ANEXO II. Catálogo de paneles termosolares.....	50



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Efectos indirectos rebote.....	16
Tabla 2. Clasificación de los efectos rebote	17
Tabla 3. Valores límite según norma ASHRAE para Amurrio 2021	20
Tabla 4. Valores límite según norma ASHRAE para Vitoria-Gasteiz 2021.....	20
Tabla 5. Valores de U (W/m ² ·K) para el clima de Vitoria de acuerdo con la norma NBE-CT-79 [81]	22
Tabla 6. Valores de transmitancia térmica U (W/m ² K) para la zona climática D, según el CTE*	23
Tabla 7. Valores promedio por franja horaria, para la humedad relativa en las tres promociones, durante los meses estudiados.....	26



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de actividades que los residentes llevan a cabo en sus interacciones con los edificios.	11
Figura 2. Esquema de cálculo de la metodología.....	19
Figura 3. Para cada fila o promoción, de izquierda a derecha: foto del edificio, plano de una planta del edificio y plano de toda la manzana donde se encuentra el edificio.....	24
Figura 4. Temperatura media según franja horaria para los meses de verano	28
Figura 5. Temperatura media según franja horaria para los meses de invierno	29
Figura 6. Número de horas diarias promedio, en las que la promoción se encuentra dentro de los diferentes límites de confort en verano (izqda.) y en invierno (dcha.). Influencia de las propiedades térmicas del edificio y de las condiciones térmicas para el confort	30
Figura 7. Porcentaje de horas mensuales en las que la promoción se encuentra dentro de los diferentes límites de confort, en verano (izqda..) y en invierno (dcha.). Influencia de las propiedades térmicas del edificio y de las condiciones térmicas para el confort.	31
Figura 8. Influencia de las condiciones térmicas para el confort y las condiciones climáticas por franja horaria en verano	33
Figura 9. Influencia de las condiciones térmicas para el confort y las condiciones climáticas por franja horaria en invierno	35
Figura 10. Influencia de las condiciones térmicas del edificio y del clima externo según la localización	36
Figura 11. Influencia del uso del habitáculo.....	37



ACRÓNIMOS

ACRÓNIMOS	
ADN	Ácido desoxirribonucleico
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating And Air-Conditioning Engineers
ISO	International Organization for Standardization
IEQ	Indoor Environmental Quality
ANSI	American National Standards Institute
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied
OMS	Organización Mundial de la Salud
CTE	Código Técnico Español
UE	Unión Europea
SCI	Severidad Climática de Invierno
SCV	Severidad Climática de Verano



MEMORIA

JUSTIFICACIÓN DE LA REVISIÓN EFECTUADA

Evitar el cambio climático tan peligroso que está en marcha es el reto principal al que se enfrenta la humanidad en este punto de su historia. Si no actuamos de forma urgente y eficaz para reducir las emisiones globales de gases de efecto invernadero, vendrán grandes e inevitables catástrofes.

Los impactos probables de un aumento de 2-3°C en la temperatura media mundial incluye dos mil millones de personas más afectadas por la escasez de agua; reducciones significativas en la productividad agrícola y la disponibilidad de alimentos en los países en desarrollo, así como un mayor riesgo de extinción del 20 al 30% de las especies del mundo [1].

Para evitar las peores consecuencias, las Naciones Unidas junto con la Unión Europea y el gobierno del Reino Unido se han comprometido con el objetivo de mantener el aumento de la temperatura media global por debajo de los 2°C sobre los niveles preindustriales.

Pero para tener una probabilidad razonable (superior al 50%) de alcanzar este objetivo, la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera necesitará reducirse radicalmente. Para lograr un acuerdo político mundial sobre un objetivo tan ambicioso, los países desarrollados tendrán que comprometerse, casi con toda seguridad, a una reducción de emisiones proporcionalmente mayor que el resto, quizá del orden del 80-90% [2].

De hecho, parece difícil concebir un futuro económico con niveles bajos en carbono que no se caracterice por **sistemas energéticos altamente eficientes**, respecto de los actuales. Al contrario de lo que sucede con ciertas alternativas de suministro de energía, el fomento de las medidas de alta eficiencia energética recibe un apoyo relativamente incondicional por parte de empresas, grupos ecologistas, partidos políticos y el público en general, por igual.

Así pues, a lo largo de las últimas décadas la ciencia y la tecnología han ido dirigiendo sus esfuerzos cada vez más en el desarrollo de nuevos diseños de edificios energéticamente eficientes o en crear patrones del uso energético en los edificios ya existentes de manera eficiente (en ocasiones introduciendo mejoras que aumenten su potencial de eficiencia) mediante diversos métodos de toma de medida de las necesidades de consumo energético en los mismos, así como otras tecnologías orientadas a reducir el consumo energético y provocar un cambio paulatino en los niveles de consumo mundiales.

Con objeto de conocer el funcionamiento actual de los edificios y su demanda energética a lo largo de su vida útil, se han realizado multitud de investigaciones [4],[6]-[9],[12],[17],[19],[22],[30],[32],[38], [39],[55] basadas en monitorización de medidas empíricas de parámetros físicos tales como temperatura y humedad relativa en edificios destinados a diversos usos y en referencia a valores estandarizados de confort. En estas investigaciones, por lo tanto, el enfoque ha sido el de conocer el consumo energético necesario para obtener los **niveles de confort** para los usuarios dentro de los edificios. Sin embargo, este sistema parece tener ciertos fallos que lo vuelven más complejo de lo que pudiera parecer, puesto que las investigaciones más minuciosas donde se han usado encuestas que los usuarios han podido responder, los resultados obtenidos han revelado una brecha entre las medidas registradas por monitorización y las aportadas por los usuarios a través de las encuestas.

Un caso particular en el que se centran algunos investigadores es el de las viviendas sociales, donde los recursos para su rápida construcción a menudo son moderados y sus ocupantes suelen tener un perfil de salud aparentemente algo más delicado o riesgos más elevados a graves consecuencias en la salud debidas a las alargadas situaciones faltas de confort en que viven, respecto a los ocupantes de otros edificios residenciales. Por un lado, todo esto podría



generar unos patrones de uso y consumo de energía muy ineficientes por parte de los ocupantes, y por otro, graves consecuencias de salud en caso de no poder permitirse dicho uso ineficiente.

En este contexto, caben esperar cobrar especial relevancia parámetros no físicos que pudieran intervenir en la demanda energética de los usuarios, así como mayores frecuencias de fallo de rendimiento del edificio, debidas a una rápida construcción en la que el criterio de prioridad en la elección de recursos no se centra completamente en las necesidades de sus futuros ocupantes. Por esta razón, este perfil de ocupantes (cuyas necesidades son a veces menospreciadas) y sus residencias no se pueden ignorar; más bien merecen especial atención, a la hora de analizar la eficiencia energética de edificios residenciales.

Tal como se expondrá más adelante en este trabajo, en varios estudios de los arriba mencionados se han encontrado ciertos parámetros no físicos que han demostrado ser significativos a la hora de analizar la demanda energética de edificios de todo tipo, parámetros que los sistemas actuales de monitorización y simulación no incluyen. Por tanto, parece necesario encontrar un modo de incluirlos para obtener resultados más fieles a la realidad, especialmente quizá en el caso de las viviendas sociales.

Sin embargo, los argumentos mencionados acerca de la eficiencia no son tan simples, nuevamente nos encontramos ante un planteamiento con fallos. Estos fallos hacen que toda la solución aparentemente directa y sencilla, tome gran complejidad: la mejora de la eficiencia de la energía puede no ser tan eficaz para reducir la demanda de energía como se supone generalmente. Los llamados "efectos rebote" puede interponerse en el camino y reducir la magnitud del "ahorro energético" logrado. Algunos autores incluso sostienen que las mejoras de la eficiencia energética provocarán un aumento de la demanda de energía, al menos a largo plazo. El fomento de la eficiencia energética como medio para reducir emisiones de carbono sería entonces inútil, sería como el perro que se persigue la cola [1].

En el pasado, estos argumentos solían descartarse con el argumento de que los efectos rebote se han investigado y han resultado ser en gran medida irrelevantes. Sin embargo, estudios recientes demuestran lo contrario.

Este trabajo se centrará en el contexto de un edificio de viviendas sociales unifamiliares que han sido monitorizadas y cuyos usuarios han respondido encuestas, siendo así posible comparar los datos obtenidos por ambos medios. La bibliografía revisada, previo a la investigación, se ha centrado por lo tanto en investigaciones similares donde se han tenido en cuenta parámetros no físicos relevantes y la brecha existente entre datos medidos por monitorización y datos obtenidos de las encuestas a los usuarios y aquellos que han explorado los efectos rebote del aumento de eficiencia energética.

ESTADO DEL ARTE

Tras realizar una primera revisión de la bibliografía existente sobre el tema, se han encontrado trabajos que han realizado investigaciones relacionadas de una u otra manera con el mismo tema, se han agrupado por similitud y sacado algunas conclusiones. Así pues, para la primera selección se han tenido en cuenta algunos factores que influyen en el consumo de energía de los edificios. Los utilizados para esta clasificación han sido: las propiedades termofísicas de los elementos del edificio, los detalles técnicos de su construcción [3] (los elementos del edificio que se consideran energéticamente eficientes pueden comportarse como no eficientes si están mal contruidos), las características climáticas de la ubicación, la calidad (y el mantenimiento) del sistema de climatización instalado, y el comportamiento y actividades de los ocupantes con respecto a la utilización de la energía [4],[5]. Durante la fase de diseño de los edificios, la simulación energética se utiliza para predecir el consumo de energía de los edificios basándose en la información de diseño, sin embargo, varios estudios [6],[7]-[12] mostraron que había una



discrepancia considerable entre el consumo de energía previsto y el real de los edificios. Los estudios demostraron que el consumo energético real de los edificios puede llegar a alcanzar hasta 3 veces el valor estimado. Así pues, esta diferencia de rendimiento se debe a la diferencia entre el diseño del edificio y el edificio construido en cuanto a la mano de obra técnica y las instalaciones, la elección de equipos y materiales durante la fase de construcción y el comportamiento energético de los ocupantes, el cual no se ha tenido en cuenta en el proceso de simulación energética [6],[12].

La evaluación del uso de la energía después de la ocupación se ha analizado en numerosos proyectos de investigación. Por ejemplo, el proyecto ROWNER [9] consideró tres etapas: diseño y construcción, evaluación posterior a la ocupación y sobrecalentamiento. El análisis del proyecto [9] demostró una diferencia significativa entre el consumo total de energía entre dos pisos del mismo bloque de edificios debido a los diferentes comportamientos de los ocupantes, entre los que se incluyen: diferente presencia en casa, diferentes niveles de ocupación y variaciones en las preferencias térmicas de los ocupantes. Asimismo, en otros estudios se observaron grandes diferencias en el consumo energético de bloques de edificios similares. Por ejemplo, Martinaitis et al. [10] llevaron a cabo cinco estudios diferentes para poner de manifiesto que los edificios no tenían el rendimiento previsto incluso cuando la simulación energética era muy precisa. Llegaron a la conclusión de que el comportamiento humano y las preferencias de los ocupantes contribuían de forma importante a la diferencia entre el rendimiento energético previsto y el real del edificio [13].

En una segunda etapa y siguiendo el ejemplo de Delzende et al. [13], los trabajos identificados se clasificaron siguiendo 3 criterios: según el tipo de edificio (es decir, residencial, oficinas, etc.); en función de las interacciones de los ocupantes con los edificios para ajustar el ambiente a su confort; y en función de parámetros identificados en los artículos como relevantes, en relación con el comportamiento de los ocupantes respecto al consumo energético.

- Respecto al uso de los edificios: alrededor del 30% de las investigaciones encontradas han tomado edificios residenciales como objeto de su investigación [3],[4],[9],[12],[18],[20],[21],[24]-[26],[28],[30],[32],[33]-[35],[37]; mientras que un 15% de los trabajos tratan sobre el consumo energético en oficinas [8],[18],[22],[23],[64]-[68] y menos del 10% de los estudios utilizaron edificios comerciales y educativos como casos de estudio [18],[19],[59]-[61], y los de otros tipos finalmente se han descartado al haber poca investigación al respecto y estar demasiado alejados del objeto de este trabajo.
- Respecto al tipo de interacción de los ocupantes con los edificios: la mayoría de los estudios que se encontraron se centraba en uno o varios tipos concretos de interacción de los ocupantes, como el comportamiento de apertura de las ventanas (cerca del 10%) [6],[8],[23],[24] y el uso de ventiladores/aire acondicionado (10%) [25],[32],[62].
- Los parámetros climáticos (ambientales, físicos) y personales (psicológicos y fisiológicos) han destacado entre otros parámetros y representan alrededor del 25% del total de trabajos encontrados durante la primera revisión [8],[9],[17],[20]-[24],[26],[27],[30],[31],[34],[35],[63]. Se han encontrado también estudios donde se han investigado otros parámetros [6], tales como las características del edificio (condiciones antiguas/nuevas y calidad del diseño), la economía y la normativa, los aspectos socio-personales, la llegada y la salida de los ocupantes y el tipo de actividad [13].

El estado de confort térmico es una sensación que varía de una persona a otra debido a parámetros personales (tanto fisiológicos como psicológicos) y sociales, que afectan directamente al uso de la energía por parte del ocupante. Además, los parámetros climáticos, los parámetros económicos, la normativa y las políticas, la arquitectura y el diseño interior del espacio y los tipos de edificios influyen directamente en el comportamiento de los ocupantes en cuanto al consumo energético del edificio.

Tal como se ha mencionado brevemente con anterioridad, uno de los factores considerados es el de la interacción de los individuos con el edificio para ajustar el ambiente interior con sus necesidades de confort. El consumo total de energía de los edificios, por tanto, está en parte influenciado por el calor metabólico producido por los ocupantes de forma pasiva (el cual está considerado dentro de la sección de ocupación de los softwares de simulación energética habituales). Por otra parte, los ocupantes interactúan con los sistemas de control y los elementos del edificio para alcanzar el nivel de confort que desean de diferentes maneras: uso de las aberturas del edificio (por ejemplo, abriendo y cerrando las ventanas), uso de la iluminación y control de la sombra producida por el sol (por ejemplo, ajustando las persianas), uso de los sistemas de climatización (por ejemplo, encendiendo o apagando el aire acondicionado y ajustando la temperatura del termostato), uso del agua caliente y de electrodomésticos. En la Figura 1. se muestra un esquema general de los diversos tipos de actividad que los ocupantes pueden realizar en su interacción con el edificio, que afectan al consumo energético en el mismo, el cual se ha obtenido adaptando un esquema similar realizado por Delzende et al. [13] en su trabajo.

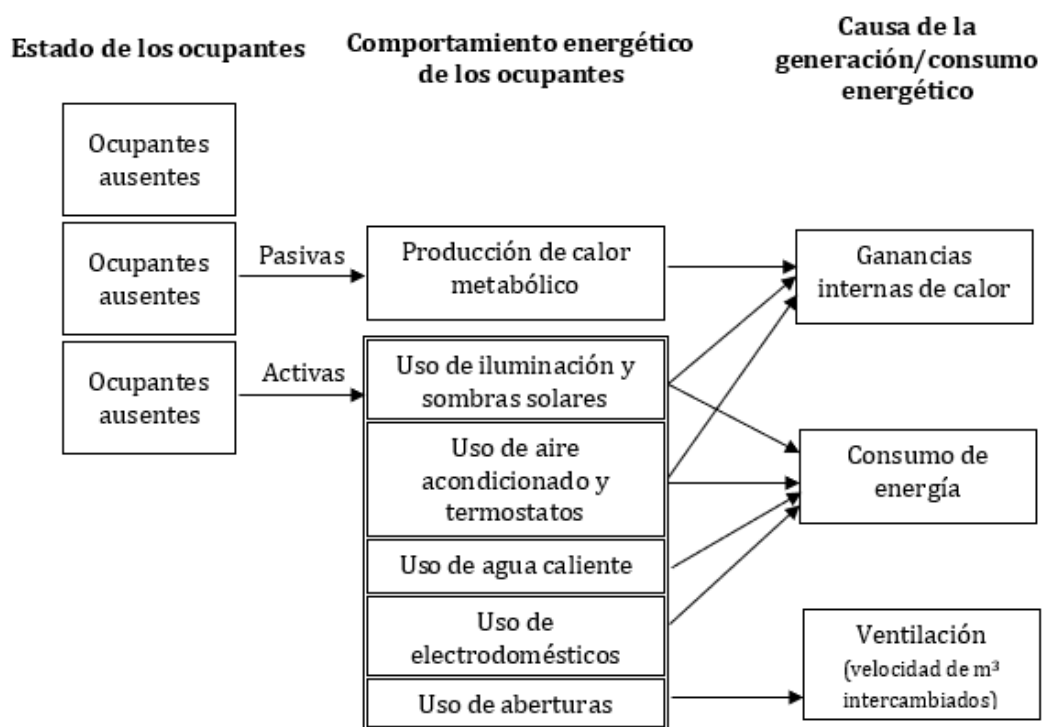


Figura 1. Tipos de actividades que los residentes llevan a cabo en sus interacciones con los edificios.

Algunos autores, sin embargo, se han centrado en una única actividad de los ocupantes, bien sea el comportamiento de apertura de ventanas, el uso de electrodomésticos o el consumo eléctrico.

Tal como se ha mencionado previamente, además del uso activo de la energía, el calor metabólico producido por los propios ocupantes repercute en la energía del edificio de forma pasiva al aumentar directamente las ganancias de calor interno. La presencia y el movimiento de los residentes dentro de los espacios de los edificios han sido investigados y modelizados por una serie de artículos [5],[9],[29],[36] usando herramientas de modelización multitudinarias y otros métodos de análisis estadístico.



Existen parámetros climáticos tales como la temperatura exterior, la humedad relativa, la radiación solar, el viento y la lluvia que influyen significativamente en las interacciones de los ocupantes con los sistemas del edificio para conseguir el confort térmico y que han sido ampliamente estudiados para diferentes tipos de condiciones climáticas [8],[20]-[24],[27],[28],[30],[37],[38]. Estos parámetros dependen del tiempo y la fecha, por lo que en muchos estudios se utilizan modelos estocásticos para estimar la probabilidad de los posibles resultados. En estos estudios relacionados con el clima se introduce y se utiliza la monitorización de las interacciones reales de los ocupantes y/o las respuestas de las encuestas sobre el comportamiento de los ocupantes, además de las mediciones térmicas durante todo el año [34]. El tipo de edificio determina en gran medida el tipo de actividad, el tipo de ropa, la producción de calor metabólico, junto con las necesidades y expectativas específicas de los ocupantes y su posible grado de interacción con los sistemas del edificio. Entre los estudios centrados en edificios residenciales, se encuentra el trabajo realizado por Martinaitis et al. [10], quienes identificaron algunos factores sociales y personales que afectan al comportamiento energético de los hogares, tales como: la concienciación de los usuarios sobre cuestiones energéticas, el género, la edad, el empleo, el tamaño de la familia y la pertenencia sociocultural. En relación a esto, cabe destacar el efecto de la educación y la sensibilización en la actitud de las personas hacia el consumo energético, así como la normativa energética y parámetros económicos como el precio de la energía y el empleo. También en relación a factores personales, se pueden encontrar autores como Hong, D'Oca, quien emplea lo que él denomina marco de ADN para sugerir cuatro componentes clave que determinan el comportamiento de los ocupantes en los edificios, respecto al consumo energético del mismo: impulsores, necesidades, acciones y sistemas.

La influencia de parámetros mencionados, como el precio de la energía y el empleo, en el comportamiento de consumo energético de los ocupantes de los edificios, ha sido estudiada por diversos autores [9][10][12][20][25][26][32][33], cuyos trabajos demuestran que cuando los ocupantes son directamente responsables del pago de las facturas de energía, actúan con mayor frugalidad al respecto [17]. A menudo los encuestados indican que los costes energéticos son la principal razón para evitar el uso de ventiladores mecánicos y aceptar cierto nivel de incomodidad.

Por otro lado, Delzende et al. [13] encontraron entre varios estudios revisados que los ocupantes tienden a ajustar los sistemas y aparatos del edificio más a la llegada que a la salida del mismo. Es por esta razón que el estado de los ocupantes (en cuanto a llegada, presencia en el espacio y la salida) ha sido tenido en consideración por diversos autores [5][19][36], quienes han abarcado sus proyectos de investigación desde esta perspectiva.

Otro factor social muy relacionado con la interacción de los individuos con el edificio es su estilo de vida. El proyecto de investigación ROWNER [9] demostró que el uso de la electricidad en los edificios residenciales estaba directamente relacionado con el comportamiento y el estilo de vida de los ocupantes. Es más, dicho estudio demostró que no tener en cuenta las interacciones de los ocupantes con los sistemas de los edificios en los cálculos energéticos de los mismos conduce a inexactitudes.

Los comportamientos energéticos activos y pasivos de los ocupantes (como la apertura de ventanas, el uso de persianas y protecciones solares, el ajuste de los puntos de ajuste de la climatización, el uso de agua caliente, etc.) no se tienen en cuenta en las herramientas actuales de análisis energético. Por lo tanto, existe una demanda inherente de los modelizadores, investigadores y diseñadores de energía por mejorar el cálculo del consumo energético de los edificios teniendo en cuenta el comportamiento energético de los ocupantes.

El principal reto es la complejidad y la naturaleza dinámica del comportamiento energético de los ocupantes, en el que influyen diversos factores internos y externos, individuales y contextuales. Por tanto, no se puede pretender abordar esta cuestión desde un enfoque simplista, sino uno multidisciplinar capaz de abordar los factores desde la perspectiva de la sociología, la psicología, la economía, la ingeniería y el diseño [13].



Parámetros no físicos que afectan a la percepción de confort de los individuos

A pesar de las numerosas referencias en la bibliografía acerca de cómo es la interacción de los ocupantes con el edificio para lograr un estado de confort, resulta difícil encontrar bibliografía referente a cómo los individuos perciben dicho estado de confort. Especialmente, aquellos factores no físicos que influyen en su percepción del mismo. En una investigación realizada por Castaldo et al. [36], han observado que la percepción de estos ocupantes sobre su sensación de confort depende de varios parámetros, tanto aquellos relacionados con las condiciones físicas del entorno, como también de la capacidad de adaptación de los propios ocupantes y de otras variables personales difíciles de medir. Sin embargo, de acuerdo con las normas y reglamentos vigentes hoy en día, sólo deben tenerse en cuenta los parámetros ambientales físicos y medibles, al evaluar las condiciones de confort de los ocupantes. Por lo tanto, los factores no medibles, como los social-psicológicos, fisiológicos o médicos, sistemáticamente se desprecian [36].

Los principales resultados de su trabajo (enfocado en un edificio de oficinas) demostraron que los factores no medibles inducidos por una política empresarial virtuosa para mejorar el entorno de trabajo de los empleados son capaces de influir positivamente en su percepción de confort global, aunque la mayoría de los trabajadores no tengan la oportunidad de controlar su entorno de trabajo. De hecho, las teorías consolidadas a día de hoy, acerca del confort subestiman la satisfacción de los individuos, como lo demuestra el hecho de que más del 80% de los empleados declaren estar positivamente influenciados por la estética agradable y la habitabilidad del lugar de trabajo.

De hecho, las condiciones de confort afectan a las condiciones de salud de los empleados, siendo que las condiciones ambientales no adecuadas se han relacionado con problemas de salud y posibles enfermedades relacionadas con la exposición a largo plazo a los forzamientos medioambientales [40,41] (causas externas que actúan de manera sistemática o aleatoriamente (meteoritos...) sobre el clima).

Como se describe en las normas vigentes ASHRAE 55 [39] e ISO 7730 [40], el modelo de equilibrio térmico para el cuerpo humano considera que la percepción del confort depende de: (1) la tasa metabólica del ocupante; (2) el aislamiento de su ropa [44],[45]; (3) la temperatura del aire; (4) la temperatura radiante media [46][47]; (5) la velocidad del aire; (6) la humedad relativa de la zona interior [45].

Viviendas sociales

Una investigación reciente en 2012 señaló que el rango de temperaturas dentro del cual el gasto energético metabólico mínimo para mantener la temperatura interna, se encuentra entre los 18 °C y los 22 °C. Los daños debidos a la exposición a temperaturas frías pueden provocar una menor resistencia a las infecciones respiratorias y un aumento de la tensión arterial (con problemas circulatorios) en poblaciones vulnerables [46]. La exposición a altas temperaturas, por otra parte, como las dadas durante olas de calor, puede provocar fatiga por calor, agotamiento por calor y golpes de calor [5]; en el caso de las personas mayores de edad, el riesgo es mayor debido a su estado físico generalmente más deteriorado y débil, así como aumenta su riesgo a padecer otras enfermedades que podrían aumentar su morbilidad y mortalidad relacionadas con el calor [47]. Por lo tanto, en los edificios donde hay un alto porcentaje de población vulnerable, es fundamental proporcionar un entorno higrotérmico adecuado.

Un contexto particular en el que los residentes pueden tener una mayor vulnerabilidad debido a la edad y al estatus socioeconómico es la vivienda social. La expansión de los centros urbanos en todo el mundo en el último siglo [48] (que a menudo ha reducido la asequibilidad de la vivienda) ha dado lugar a grandes poblaciones de viviendas sociales en varios países [52]-[54]. Los habitantes de estas urbanizaciones suelen ser de bajos ingresos, y a menudo puede encontrarse un número considerable de personas mayores en estos edificios. Existen pruebas



sustanciales de que un bajo confort térmico y una exposición a temperaturas muy bajas o muy altas son problemas frecuentes en las viviendas sociales [52].

Según una reciente revisión de la literatura sobre IEQ (Calidad de Ambiente en Interiores) en viviendas sociales, hay al menos 15 investigaciones recientes que informan de las condiciones de confort en las viviendas sociales, que reflejan que la incomodidad general debida a las altas temperaturas es ligeramente más común que la debida a las bajas temperaturas [53]. Sin embargo, en el mismo documento también queda reflejado que hay muy pocos estudios prominentes que controlen las condiciones higrotérmicas, a largo plazo, en el interior de las viviendas sociales e incorporen a la vez encuestas a los ocupantes.

Tras realizar un control de calidad de los datos, Patiño et al. [52] aplicaron dos modelos distintos de confort térmico para evaluar las condiciones de confort en los habitáculos. En primer lugar, utilizaron el método de la zona de confort gráfico de ANSI/ASHRAE, descrito en detalle en la sección 5.3.1 de la norma ANSI/ASHRAE 55-2013 [39], para estimar si los ocupantes estaban cómodos o incómodos en todo momento durante el periodo monitorizado.

En segundo lugar, se utilizaron el método de la zona de confort analítica de ANSI/ASHRAE para calcular el Voto Medio Previsto (PMV) y el Porcentaje de Insatisfacción Previsto (PPD) también en cada momento del periodo monitorizado. De acuerdo con este método, el cumplimiento del confort se alcanza si $-0,5 < PMV < 0,5$; Este método es aplicable si la velocidad media del aire es inferior a 0,2 m/s y las tasas metabólicas de los ocupantes se encuentran entre 1,0 met (por ejemplo, sentados, tranquilos [39]) y 2,0 met (por ejemplo, al cocinar [39]).

Además de las variables físicas, hay factores fisiológicos y psicológicos que también influyen en el nivel de confort y que no se tienen en cuenta en los modelos de confort térmico utilizados en dicho estudio. Una revisión previa a su investigación sobre la adaptación térmica en los edificios reveló que la aclimatación psicológica y las expectativas psicológicas tienen efectos importantes en el confort térmico [54]. La aclimatación se debe a la capacidad del cuerpo para adaptarse a nuevas situaciones. Por lo tanto, las personas procedentes de regiones cálidas pueden desarrollar una mayor tolerancia a temperaturas más altas debido a la adaptación fisiológica. Desde el punto de vista psicológico, la falta de control sobre las condiciones higrotérmicas de un espacio puede resultar en una menor tolerancia a las condiciones de incomodidad. Estas dos consideraciones son importantes a la hora de contextualizar los resultados presentados en esta investigación. En primer lugar, los residentes que han vivido (en los edificios objeto de estudio) durante años pudieron haber desarrollado una mayor tolerancia a las altas temperaturas observadas. Lo cual podría justificar un desajuste entre la percepción de los ocupantes y los resultados del modelo. En segundo lugar, el diseño del sistema de climatización de los edificios no permitía a los ocupantes controlar su calefacción. Esta falta de control pudo contribuir negativamente en la percepción de los residentes de su espacio, y reducir su tolerancia a la incomodidad como describen Brager y Dear [54]. Teniendo en cuenta que se instalaron termostatos inteligentes en los edificios en cuestión para que los ocupantes controlasen sus sistemas de calefacción, esto supone un punto importante a evaluar cuando se comparan las condiciones de confort antes y después de la adición de los termostatos, puesto que la instalación en sí de dichos termostatos podría haber introducido un efecto placebo que mejore la sensación de confort sin cambiar significativamente los parámetros físicos que influyen en el confort.

El impacto de estas complicaciones se hace evidente al comparar los resultados de la modelización del confort térmico con los de las encuestas a los ocupantes. Mientras que los resultados de la monitorización mostraron que ciertos edificios parecían ser los más incómodos (debido de las altas temperaturas tanto en verano como en invierno), los resultados de la encuesta sugerían que los edificios identificados por los usuarios como más incómodos no siempre coincidían (demasiado calor en verano y demasiado frío en invierno).



Sin embargo, fue sorprendente encontrar que sólo alrededor del 50% de los ocupantes encuestados en cierto edificio estudiado informaron de que tenían demasiado calor durante el verano, cuando tanto su modelo como los resultados de la monitorización mostraron que este edificio tiene graves problemas de sobrecalentamiento en verano, dado que la mayor parte del tiempo de verano la temperatura sobrepasa los 27 °C en las unidades monitorizadas.

También fue sorprendente comprobar que en dos de los edificios observados, más del 70% de los encuestados afirmaron tener demasiado frío durante el invierno, mientras que los resultados obtenidos por monitorización mostraron que las temperaturas medias superaban los 23 °C durante todo el periodo monitorizado, lo que hace que las molestias debidas al frío sean muy poco probables. Los autores plantearon dos posibles explicaciones para explicar estos resultados aparentemente contradictorios. Una es que la encuesta se realizó antes del periodo de control y que los ocupantes respondieron en base a varios años de experiencia residiendo en esas viviendas, y cuando se les preguntó por el confort invernal es probable que pensarán en el invierno anterior al inicio del estudio, el cual fue mucho más frío que el del año de la investigación. La otra posibilidad que plantearon es que la posición del dispositivo de monitorización (colocado lejos de las ventanas) pudo no ser representativa de otras zonas de las viviendas, que podrían ser más frías (cerca de las ventanas y las puertas de los balcones). Es más, durante algunas visitas que realizaron en los edificios, observaron que muchos ocupantes tenían muebles cerca de estos lugares, lo cual podría sugerir que pasan una cantidad considerable de tiempo allí. Por último, también es posible que las temperaturas extremas dadas en momentos puntuales (causadas por la entrada de aire frío o por de variaciones diurnas de la temperatura) pudieran haber dado lugar a que los ocupantes informaran de su incomodidad, mientras las temperaturas medias recogidas sugerían que no deberían producirse molestias.

Para finalizar, cabe destacar que tanto los resultados de la encuesta como los obtenidos por monitorización reflejaban que la altura del piso no parece tener ningún efecto sobre las condiciones de confort térmico. Esto es contrario a la creencia convencional de que el efecto chimenea da lugar a temperaturas más elevadas (y, por tanto, a más molestias por el calor) en las unidades de los pisos superiores, en comparación con las unidades de pisos inferiores [52].

Los efectos rebote

Tal como se ha mencionado anteriormente, existen ciertos efectos rebote que hacen que ciertos esfuerzos por reducir el impacto ambiental en términos de emisiones de CO₂ mediante una mayor eficiencia energética, pierdan efectividad en su propósito final, tal vez incluso llegando a producir el efecto contrario al deseado originalmente.

A nivel micro, la cuestión es si se puede esperar que las mejoras en la eficiencia técnica del uso de la energía reduzcan el consumo de energía en la cantidad prevista por simples cálculos de ingeniería. Por ejemplo, ¿una mejora del 20% en la eficiencia del combustible de los coches de pasajeros conducirá a una reducción correspondiente del 20% en el consumo de combustible para los viajes personales en automóvil? La simple teoría económica sugiere que no. Dado que las mejoras en la eficiencia energética reducen el coste marginal de los servicios energéticos, como los viajes, cabe esperar que el consumo de esos servicios aumente. Por ejemplo, como el coste por kilómetro de la conducción es más barato, los consumidores pueden optar por conducir más lejos y/o más a menudo. Este aumento del consumo de servicios energéticos puede compensar parte de la reducción prevista en el consumo de energía. [55]

Los efectos rebote deben definirse en relación con un marco temporal concreto (por ejemplo, a corto, medio o largo plazo) y el límite del sistema para el consumo energético correspondiente (por ejemplo, hogar, empresa, sector, economía nacional).

Las consecuencias de estos efectos rebote en la economía en general, se suelen definir en relación con una determinada economía nacional. Sin embargo, si las mejoras en la eficiencia



energética provocan cambios en los patrones comerciales y en los precios internacionales de la energía, también pueden haber consecuencias en otros países. [55]

A la luz de la complejidad de los impactos económicos, por tanto, cabe distinguir entre 2 tipos de efectos rebote: los directos (un ejemplo sería que, al reducir los consumos de combustible en una caldera energéticamente eficiente, una familia se animara a usarla con mayor frecuencia o despreocuparse por dejar la calefacción encendida al irse de casa, ya que tal vez ahora se lo podrían permitir) y los indirectos (un ejemplo sería que, al reducir el consumo de combustible, dicha familia decidiera emplear el dinero ahorrado en otros gastos no relacionados pero que conllevan las mismas emisiones de carbono, o más, como realizar un viaje trasatlántico). En la Tabla 1. se presenta un resumen de posibles efectos rebote indirectos, obtenido del trabajo de Herring y Sorrel [55].

Tabla 1. Efectos indirectos rebote

- El equipo utilizado para mejorar la eficiencia energética (por ejemplo, el aislamiento térmico) requerirá energía para su fabricación e instalación y este consumo de energía "incorporado" compensará parte del ahorro energético conseguido.
- Los consumidores pueden utilizar el ahorro de costes derivado de las mejoras de la eficiencia energética para adquirir otros bienes y servicios cuyo suministro también requiere energía. Por ejemplo, el ahorro de costes de un sistema de calefacción central más eficiente desde el punto de vista energético puede destinarse a unas vacaciones en el extranjero.
- Los productores pueden utilizar el ahorro de costes derivado de las mejoras de la eficiencia energética para aumentar la producción, incrementando así el consumo de capital, mano de obra y materiales que, a su vez, requieren energía. Si las mejoras de la eficiencia energética afectan a todo el sector, pueden dar lugar a una reducción de los precios de los productos, a un aumento del consumo de los mismos y a un nuevo incremento del consumo de energía.
- Las mejoras de eficiencia energética rentables aumentarán la productividad general de la economía, fomentando así el crecimiento económico. El aumento del consumo de bienes y servicios puede, a su vez, impulsar el consumo de energía.
- Las reducciones a gran escala de la demanda de energía pueden traducirse en precios más bajos de la energía, lo que fomentará el aumento del consumo energético. La reducción de los precios de la energía también aumentará la renta real, fomentando así la inversión y generando un estímulo adicional a la producción agregada y al uso de la energía.
- Tanto las mejoras de la eficiencia energética como las reducciones asociadas de los precios de la energía reducirán el coste de los bienes y servicios de alto consumo energético en mayor medida que el de los bienes y servicios de bajo consumo energético, lo que fomentará que la demanda de los consumidores se desplace hacia los primeros.

En la Tabla 2., por otra parte, se muestra una clasificación (también basada en el trabajo de Herring y Sorrel [55]) de los efectos rebote según 3 criterios diferentes: clasificación de efectos directos desde el punto de vista del consumo de energía; clasificación también de efectos directos, pero desde el punto de vista de la producción de energía; y clasificación de los efectos rebote indirectos.



Tabla 2. Clasificación de los efectos rebote

El efecto rebote en toda la economía representa la suma de los efectos directos e indirectos. En el caso de las mejoras de la eficiencia energética por parte de los **consumidores**, resulta útil descomponer el efecto rebote **directo** en:

- Un efecto de sustitución, por el que el consumo del servicio energético (más barato) sustituye al consumo de otros bienes y servicios manteniendo un nivel constante de "utilidad", o satisfacción del consumidor.
- Un efecto de renta, por el que el aumento de la renta real conseguido por la mejora de la eficiencia energética permite alcanzar un mayor nivel de utilidad al aumentar el consumo de todos los bienes y servicios, incluido el servicio energético.

Del mismo modo, el efecto de rebote **directo** para los **productores** puede descomponerse en:

- Un efecto de sustitución, por el que el servicio energético más barato sustituye el uso de capital, mano de obra y materiales en la producción de un nivel de producción constante.
- Un efecto de producción, por el que el ahorro de costes derivado de la mejora de la eficiencia energética permite alcanzar un mayor nivel de producción, aumentando así el consumo de todos los insumos, incluido el servicio energético.

También es útil descomponer el efecto de rebote **indirecto** en:

- La energía incorporada, o consumo indirecto de energía necesario para lograr la mejora de la eficiencia energética, como la energía necesaria para producir e instalar el aislamiento térmico.
- Los efectos secundarios que resultan como consecuencia de la mejora de la eficiencia energética, que incluyen los mecanismos enumerados en la Tabla 1.

También cabe esperar que los efectos rebote aumenten en importancia con el tiempo a medida que los mercados, la tecnología y el cambio del modo de actuar de los individuos se ajusten [55]. Desde el punto de vista del cambio climático, lo más importante es el efecto a largo plazo sobre el consumo energético mundial, pero lamentablemente también es el efecto más difícil de calcular.

En su trabajo, Herring y Sorrel [55], sitúan el debate sobre el efecto rebote en el contexto de una crítica más amplia de los supuestos económicos dominantes. Sostienen que los esfuerzos por reducir el daño medioambiental mediante la mejora de la eficiencia energética seguirán siendo compensados con creces por los efectos negativos del crecimiento económico continuado, que a su vez se origina en parte en las mejoras de productividad asociadas a la mejora de la eficiencia energética. Señalan que es probable que la sostenibilidad en los países desarrollados requiera una reducción del consumo de energía y recursos per cápita de hasta el 90%. Aunque la mejora de la eficiencia energética puede desempeñar un papel importante para conseguirlo, debe combinarse con una ética de suficiencia en el uso de los servicios energéticos. Estos cambios también serán beneficiosos para el bienestar humano [55].

PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

Se propone realizar un estudio centrado en viviendas sociales de distintos edificios, cuyos parámetros de temperatura y humedad relativa han sido monitorizados a lo largo de un periodo de al menos un año. Se propone tener en cuenta con especial énfasis aquellos factores habitualmente no considerados y que a la luz de la revisión realizada tienen gran influencia en dicha percepción, como es el caso de factores psicológicos y culturales.



Paralelamente, se propone realizar una lista de propuestas de cambios en los edificios estudiados para mejorar las condiciones de confort (según las necesidades observadas de los habitantes de dicho edificio), reduciendo al mínimo posible el consumo energético; considerar el ahorro energético que eso supondría; y estimar sus posibles efectos rebote, con el objeto de valorar el impacto en el estilo de vida que exigiría una mejora así.

Una opción también interesante sería estudiar paralelamente el efecto que tienen las actividades rutinarias en el efecto rebote para crear concienciación del impacto energético de los ocupantes del edificio con la intención de minimizar dichos efectos rebote.

CONCLUSIONES INICIALES DEL PROYECTO

Se han encontrado numerosos trabajos centrados en edificios de diversos tipos donde solo un 40% aproximadamente, trata de edificios residenciales. Muchos reportan discrepancias importantes entre datos obtenidos por monitorización frente a datos obtenidos por los ocupantes de los edificios, acerca del estado de confort en los mismos; y reconocen no haber tenido en cuenta parámetros que han demostrado tener gran relevancia (factores psicológicos, hábitos personales, etc).

El efecto rebote de la eficiencia energética no es más que un ejemplo de los resultados imprevisibles y círculos viciosos que pueden llegar a provocar su intervención en sistemas económicos y sociales, ya de por sí complejos. La bibliografía revisada [55] destaca el inevitable impacto en el aumento de estos efectos rebote que podrían mermar e incluso contrarrestar los esfuerzos por reducir el impacto medioambiental con las mejoras de eficiencia energética. Por lo que es urgente realizar investigaciones minuciosas sobre el impacto de las actividades cotidianas humanas que deberían revisarse para garantizar que el ahorro energético no se traduzca en un aumento de actividades de consumo energético, siguiendo las tendencias consumistas actuales.

METODOLOGÍA

Para lograr el objetivo de este estudio, se propone una metodología de trabajo que consiste en reflejar y analizar los resultados obtenidos de las medidas tomadas por monitorización de las condiciones de confort en viviendas sociales especialmente seleccionadas. Para ello, el método de análisis se clasifica o divide en dos apartados generales (ver Figura 2.): los indicadores, que permiten determinar los resultados; y las variables consideradas a la hora de evaluar los indicadores. A partir de datos medidos por monitorización in situ y por franjas horarias, se representan los resultados recogidos por monitorización relacionados con el confort (reflejado principalmente por la temperatura y la humedad relativa) y los riesgos para la salud de dichas condiciones en el hogar en función de tres variables de análisis, para demostrar la relación entre los indicadores.

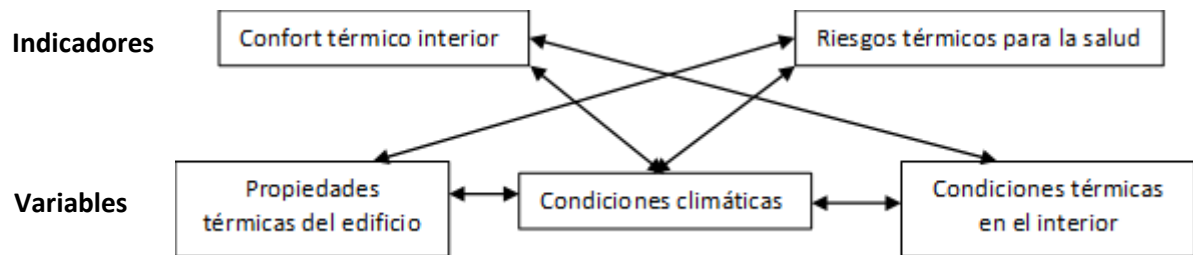


Figura 2. Esquema de cálculo de la metodología

1 INDICADORES

Mediante la observación de los indicadores se reflejan los resultados obtenidos para ser analizados por comparación con los estándares de confort y así poder proponer mejoras para la rehabilitación energética en los edificios. Estos indicadores describen a continuación.

1.1 Confort térmico interior

La Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) define el confort térmico como la condición mental que expresa la satisfacción con el entorno térmico [39]. Cuando se habla de confort térmico, se pueden utilizar dos modelos principales: el modelo estático y el modelo adaptativo. El modelo estático fue desarrollado por P.O. Fanger (1970) utilizando ecuaciones de equilibrio térmico y estudios empíricos sobre la temperatura de la piel para definir el confort [69]. Existen encuestas estandarizadas sobre el confort térmico, que permiten preguntar a los sujetos sobre su sensación térmica en una escala de siete puntos, desde la sensación máxima de frío (-3) hasta la máxima de calor (+3). Las ecuaciones de Fanger se utilizan para calcular el voto medio previsto (PMV en inglés) de un grupo de sujetos para una determinada combinación de temperatura del aire, temperatura media radiante, humedad relativa, velocidad del aire, tasa metabólica y un factor de aislamiento de la ropa. Fanger desarrolló otra ecuación para relacionar el PMV con el porcentaje previsto de insatisfacción (PPD en inglés). Esta relación la basó en estudios en los que se encuestó a los sujetos en una cámara en la que se podían controlar con precisión las condiciones interiores. El PPD oscila entre el 5% y el 100%, en función del PMV calculado. El segundo modelo, el modelo de confort adaptativo, se basa en la idea de que el clima exterior influye en el confort interior porque los seres humanos pueden adaptarse a diferentes temperaturas durante las diferentes épocas del año [70]. Esta nueva variable fue incorporada en diferentes normas, como la ASHRAE 55-2013 [39][39], las normas europeas EN 15251 [71] y la ISO 773 [40].

En este estudio, en lugar de utilizar los indicadores PMV o PPD, el confort térmico interior se calcula a partir del número de horas anuales (horas por año) que cada vivienda permanece dentro del rango aconsejable de temperatura del aire definido por la normativa, los estándares

o las recomendaciones internacionales. La selección de una norma u otra [40],[71]-[75] puede influir directamente en el análisis de los resultados y las conclusiones alcanzadas a partir de dicho análisis.

En el caso de los modelos adaptativos, las temperaturas operativas superior e inferior (t_o) son dinámicas ya que están directamente vinculadas a la temperatura media del aire exterior ($t_{pma(out)}$). Por ejemplo, ASHRAE 55-2013 define las ecuaciones (1) y (2) para determinar los límites superior e inferior considerando el límite de aceptabilidad del 80%.

Límite superior, con 80% de aceptabilidad:

$$T_o \text{ (}^\circ\text{C)} = 0.31 \cdot \overline{T_{pma(out)}} + 21.3 \quad (1)$$

Límite inferior, con 80% de aceptabilidad:

$$T_o \text{ (}^\circ\text{C)} = 0.31 \cdot \overline{T_{pma(out)}} + 14.3 \quad (2)$$

Aplicando este procedimiento a las temperaturas medias Vitoria-Gasteiz y Amurrio para los meses de 2021 estudiados en este proyecto por considerarse los más representativos (verano: julio, agosto y septiembre; e invierno: noviembre y diciembre), se obtienen los límites presentados en las tablas 3 y 4.

Tabla 3. Valores límite según norma ASHRAE para Amurrio 2021

	Noviembre		Diciembre		Julio		Agosto		Septiembre	
T máx/min (°C)	25.6	16.6	26.7	16.8	29	19.3	29.2	19.3	29.4	19.2

Tabla 4. Valores límite según norma ASHRAE para Vitoria-Gasteiz 2021

	Noviembre		Diciembre		Julio		Agosto		Septiembre	
T máx/min (°C)	24.5	15.4	24.6	15.1	30.7	18.3	30.6	19.2	28.5	17.8

Por otra parte, la Organización Mundial de la Salud (OMS) define un límite inferior para los meses de invierno, **18°C** y uno superior para los meses de verano, **24°C**, independientemente de la localización. Por tanto, para una comparación de los datos obtenidos con el rango de confort definido por la OMS, estos son los límites que se han utilizado.

De igual manera, el CTE, define el rango valores de temperatura para el confort entre **20°C y 25°C**.

Para realizar el análisis del confort térmico interior, esta metodología se basa en las medidas por monitorización de temperaturas de cada habitación o vivienda en intervalos de una hora a lo largo del año [76].

1.2 Riesgos térmicos para la salud

Las condiciones térmicas interiores están relacionadas no solo con el confort sino también con la salud humana [77]. En este sentido, este método considera los límites de temperatura interior asociados con impactos negativos para la salud.

Por una parte, la exposición a bajas temperaturas aumenta el riesgo de sufrir problemas cardiovasculares, enfermedades respiratorias, y otros problemas menores como el resfriado y la gripe [76]. Según estudios anteriores [78], las temperaturas inferiores a 18°C están relacionadas con un mayor riesgo de infecciones respiratorias ($T < 16^\circ\text{C}$), el aumento de la tensión arterial y aumento de la viscosidad de la sangre, lo cual puede provocar infartos y derrames cerebrales ($T < 12^\circ\text{C}$), así como disminuciones de la temperatura corporal ($T < 9^\circ\text{C}$). Las temperaturas más altas, en cambio, son menos perjudiciales con peligros más relacionados con el tiempo necesario para la aclimatación. Sin embargo, la frecuencia y la duración de las olas de



calor (responsables de los aumentos bruscos de las temperaturas en el exterior) son cada vez más frecuentes. Las altas temperaturas pueden causar o agravar ciertas enfermedades cardiovasculares; síndromes clínicos de golpe de calor, agotamiento por calor, síncope por calor y calambres por calor [76]; daños permanentes en los sistemas orgánicos; y riesgo de mortalidad temprana. Varios estudios demuestran que la temperatura máxima recomendada para interiores no debe superar los 22°C, para prevenir el Síndrome del Edificio Enfermo [79], aunque la OMS establece los 24 °C como límite máximo [73]. Otros estudios [80], sin embargo, sostienen que los límites superiores de temperatura deben establecerse en relación con el clima exterior. A este respecto, algunos estudios recientes publicados en España [78] dividen todo el territorio español en zonas climáticas locales y recomiendan límites máximos locales para cada región.

Para cuantificar el riesgo térmico para la salud, esta metodología se refiere a temperaturas medidas en intervalos de una hora durante el proceso de análisis del confort térmico interior [76].

2 VARIABLES

El nivel de precisión de los dos indicadores descritos anteriormente está directamente relacionado con diversas variables. En este sentido, esta metodología se centra en la evaluación de tres variables: las propiedades térmicas del edificio, las condiciones climáticas y las condiciones térmicas para el interior de los edificios. Los ajustes considerados para cada variable se describen a continuación.

2.1 Propiedades térmicas del edificio

La necesidad de definir las propiedades térmicas del edificio (tejado, fachada, huecos, suelo) cobra relevancia al evaluar la eficiencia energética del edificio [76]. Esta metodología de cálculo define el valor del rendimiento térmico de la envolvente del mismo, mediante el valor U o el parámetro de transmitancia térmica. El valor de este parámetro varía notablemente en función de las características arquitectónicas y constructivas y aumenta considerablemente su valor como resultado de las intervenciones de renovación energética [76].

Al carecer de información referente a los **materiales empleados** para la construcción de los edificios caso de estudio de este proyecto y **su distribución en la estructura** de los mismos, y al no existir normativa clara al respecto para los años de construcción de dichos edificios, la metodología asume los valores U establecidos en el Real Decreto 2429/1979 del 6 de julio (Tabla 5.), por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79 [84], sobre condiciones térmicas en los edificios y que establece unos valores orientativos para la **transmitancia térmica** en diferentes partes de la estructura. Estos valores se establecieron mucho antes de que las normativas sobre construcción en España comenzaran a estar orientadas a una eficiencia energética como la que exige el CTE actualmente (documento básico HE de ahorro de energía, revisado el 14 de junio de 2022) [85]. De hecho, la Directiva 93/76/CEE del Consejo [86], de 13 de septiembre de 1993 comienza a exigir una mayor eficiencia energética, pero no establece ninguna exigencia referente a los valores de U ni a la forma de realizar la construcción de los edificios para aumentar dicha eficiencia, sino que simplemente hace énfasis en la disminución de las emisiones de CO₂ en el edificio (especialmente durante la fase de su construcción). Es más, no se han encontrado normativas españolas que exijan valores determinados de U desde 1979 hasta 2010.

Tabla 5. Valores de U (W/m²·K) para el clima de Vitoria de acuerdo con la norma NBE-CT-79 [81]

Cerramientos exteriores	Cubiertas		0.9
	Fachadas (≤200kg/m ²)	ligeras	1.2
	Fachadas (>200kg/m ²)	pesadas	1.4
	Forjados sobre espacio abierto		0.8
Cerramientos locales no calefactados	Paredes		1.5
	Suelos o techos		1.2

2.2 Condiciones climáticas

En cuanto a factores tales como: la ambivalencia de la fuente de información, la influencia de microclimas de determinadas zonas de una ciudad [81] o el propio cambio climático [82]; debe considerarse el grado en que pueden afectar a la incertidumbre de los datos empleados. Lo ideal habría sido monitorizar también el ambiente inmediatamente exterior de cada edificio en los mismos intervalos de tiempo. Al carecer de estos datos, la metodología emplea datos registrados para esas fechas en cada una de las localidades [83].

2.3 Condiciones térmicas en el interior

Como se indica en el apartado 2.1, los diferentes reglamentos, normas o recomendaciones que regulan el rango de temperaturas de las condiciones térmicas interiores para el confort térmico, se basan en diferentes valores. Además, dependiendo del tipo de uso del edificio, la distribución o la distribución horaria de estos rangos de temperatura también puede variar [76]. Por lo tanto, la definición del rango de temperatura y la distribución pueden influir en los resultados del análisis.

3 ENFOQUE: EUSKADI COMO CASO DE ESTUDIO

La metodología mencionada se aplicó a un estudio de caso en la Comunidad Autónoma del País Vasco, una región situada en el norte de España. Tal como se detallará a continuación en este trabajo, los edificios seleccionados se construyeron entre 1994 y 2002, lo que significa que se construyeron después de que la normativa española de construcción impusiera las normas relativas a las envolventes térmicas [84]. Además, el grado de renovación de las áreas urbanísticas residenciales en España es más bajo en comparación con otros países de la UE [87]: en 2014 en España aproximadamente el 0.8% de los edificios residenciales fueron renovados a fondo, frente al 1.82% de Austria, el 1.75% de Francia o el 1.49% de Alemania.

En relación con el artículo 4 de la Directiva 2012/27/UE [88], en 2014 se aprobó la "Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España". Gracias a ello, las estadísticas actuales de rehabilitación de edificios son algo mejores, aunque todavía no se han alcanzado los objetivos. Actualmente, la estrategia está siendo revisada en base a la Directiva (UE) 2018/844 [89], que establece el objetivo de renovar más de 1.200.000 viviendas para 2030, aproximadamente cinco millones de metros cuadrados al año.

En este contexto, la Comunidad Autónoma del País Vasco es una región pionera en España en cuanto a políticas de rehabilitación. La evolución de la construcción de edificios residenciales multifamiliares en el País Vasco ha sido similar a la del resto de España; por lo que las tipologías son ampliamente representativas del conjunto del parque de viviendas español. Además, las características climáticas determinadas por el CTE [90] para la Comunidad Autónoma del País



Vasco, dividen la región en climas C y D, abarcando los mayores porcentajes de ubicaciones de viviendas en España, el 27.59% y el 33.74%, respectivamente. Concretamente, las 3 promociones (tipos de edificio) escogidas como caso de estudio, pertenecen a la zona de clima tipo D. Esto significa que las conclusiones obtenidas de este caso de estudio pueden abarcar problemas que pueden surgir en el resto de regiones con climas similares.

Es necesario destacar que las viviendas monitorizadas y evaluadas forman parte del parque edificatoria de Alokabide, que es la sociedad pública del Gobierno Vasco que se encarga de gestionar el alquiler protegido, en el ámbito de la función social de la vivienda.

3.1 Casos de estudio

Los tipos de edificios o promociones seleccionados para este estudio son edificios residenciales multifamiliares de vivienda social, situados en la Comunidad Autónoma de Euskadi (País Vasco).

La promoción 1 consiste en un tipo de edificio de tres plantas, con dos viviendas en cada planta (6 viviendas en total), trastero y dos comercios en la planta baja. Cada vivienda ocupa 89 m² y el correspondiente trastero es de unos 14 m², se encuentran en la localidad de Amurrio y fueron construidos en 1994.

El siguiente caso de estudio lo denominamos como promoción 3, con 20 viviendas en total distribuidas en cuatro plantas. Cada vivienda cuenta con 71 m² de superficie y cuenta con plazas de garaje/trastero de 15 m² cada una. Se encuentran en la localidad de Vitoria Gasteiz y se construyeron en el año 1999.

El último caso de estudio es la promoción 4 y consiste en un tipo de edificio de cuatro plantas con cuatro viviendas en cada planta (16 viviendas en total), trastero y garaje. Cada vivienda cuenta con 92 m² totales de superficie. Los edificios de esta promoción fueron construidos en el año 2002 y se encuentran en la localidad de Vitoria Gasteiz.

En la Figura 3. se pueden encontrar imágenes y planos correspondientes a cada promoción. En cuanto a los materiales y métodos de construcción orientados a garantizar cierta eficiencia energética, la norma vigente durante los años de construcción de estos edificios era igualmente la de NBE-CT 79. La norma dejaba al criterio del técnico responsable la elección de los materiales y las soluciones constructivas, pudiendo adaptarse a los posibles diversos presupuestos, pero cotaba con una lista de recomendaciones de soluciones constructivas.

3.2 Variables de análisis

Propiedades térmicas de los edificios

Tal como se ha comentado anteriormente, los edificios aquí estudiados tienen usos similares en la planta baja (garaje/trasteros/algún comercio...) y entre 3 y 4 plantas con 2-5 viviendas por planta, de una media de unos 80 m² cada una. La ventilación de los apartamentos es natural, carecen de ningún sistema de ventilación mecánica y tampoco se han instalado sistemas de energía renovable.

Tabla 6. Valores de transmitancia térmica U (W/m² K) para la zona climática D, según el CTE*

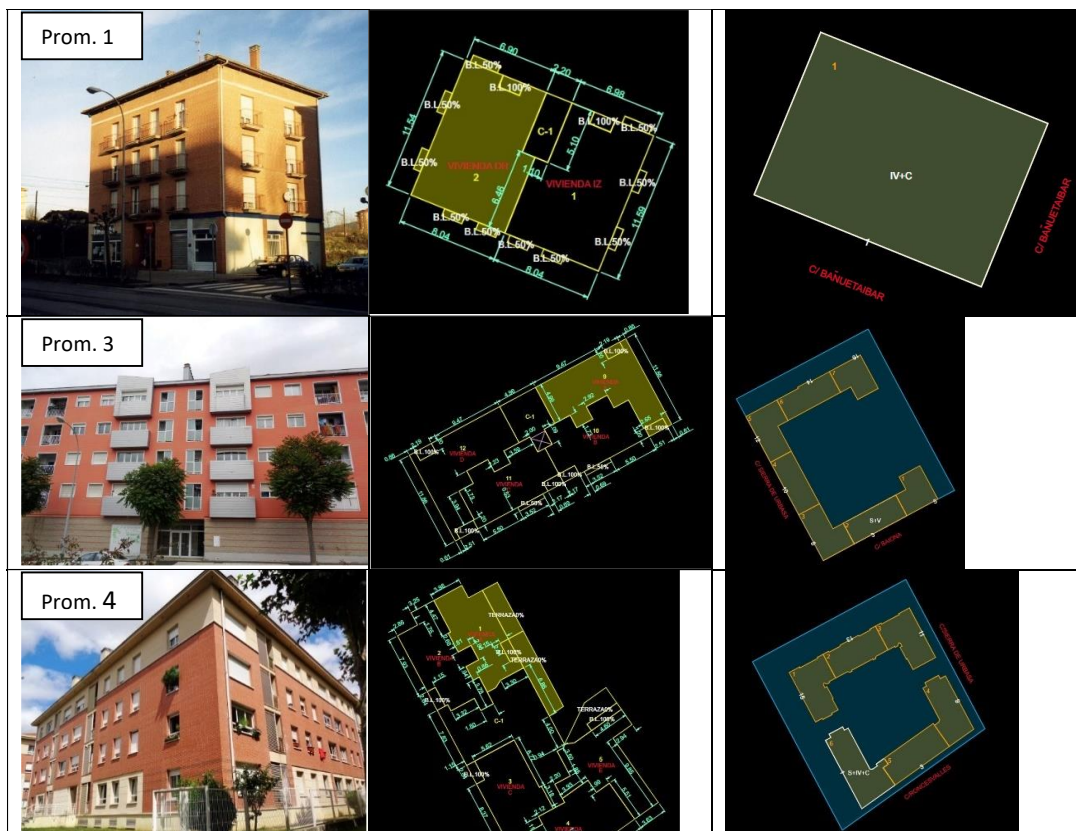
Muros y suelos en contacto con aire exterior	0.27
Cubiertas en contacto con aire exterior	0.22
Elementos en contacto con espacios no habitables o con el terreno	0.48
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana)	1.6

* Es importante tener en cuenta que estos valores de U presuponen un correcto tratamiento de los puentes térmicos.

En cuanto a las características térmicas de la envolvente de los edificios, tal como se mencionó en el apartado 2.1, se pueden comparar los valores (presentados en el mismo apartado de este

documento) con los valores exigidos en la actualidad por el documento básico HE de ahorro de energía del CTE (revisado el 14 de junio de 2022) [85], mostrados en la Tabla 6.

Figura 3. Para cada fila o promoción, de izquierda a derecha: foto del edificio, plano de una planta del edificio y plano de toda la manzana donde se encuentra el edificio.



Datos climáticos locales

En cuanto a las condiciones ambientales exteriores y la ubicación de este tipo de edificios en todo el territorio de la Comunidad Autónoma del País Vasco, este estudio ha utilizado los datos climáticos de dos localidades, Amurrio y Vitoria-Gasteiz que, tal como se ha indicado anteriormente, cuentan con un clima representativo de la región.

La clasificación climática mundial de Köppen-Geiger (Mapas mundiales de Köppen-Geig, 2019 [91]) clasifica todo el País Vasco [92] como "templado cálido- Cfc" (C: templado cálido; f: totalmente húmedo; c: verano fresco). Sin embargo, analizado en el contexto de la Península Ibérica, el clima puede describirse con mayor precisión como "Cfb" (templado con estación seca y verano templado). Como se ha mencionado anteriormente, el actual Código Técnico de la Edificación proporciona datos de referencia climática específicos para las capitales de provincia de España [90]. En el caso de Vitoria-Gasteiz, la zona climática de referencia es la D1, con mínimas y medias anuales de 4 °C y 12.1 °C, respectivamente [87]; mientras que la localidad de Amurrio se encuentra a poco menos de 300 m por debajo de la altura de Vitoria-Gasteiz, por lo que se toma el mismo tipo de clima que el de Vitoria, es decir, el clima tipo D1.

La característica distintiva para este tipo de clima radica en los valores que adoptan su Severidad Climática de Invierno (SCI) y su Severidad Climática de Verano (SCV). Para el caso de Vitoria: $0.95 < SCI \leq 1.3$ y $SCV \leq 0.6$

Condiciones térmicas interiores: rangos y horarios de temperatura

Además de los datos de la temperatura del clima exterior, se han estudiado tres definiciones de confort térmico y los resultados se han evaluado en base a estos diferentes criterios de



evaluación: la definición basada en la normativa del CTE, el criterio de obtención de valores límite detallado por ASHRAE y la definición de los estándares de salud de la OMS (ver sección 3.1). Estas diferentes normas se añadieron como requisitos térmicos en el proceso de análisis y comparación.

- Requisitos del CTE: Rango y horario térmico interior basado en la normativa del Código Técnico de la Edificación.
- Requisitos de la OMS: rango térmico saludable durante 24 h.
- Requisitos de ASHRAE: rango térmico de confort adaptable a lo largo de 24 h. Las temperaturas operativas interiores de confort mensuales (T_o) se determinaron según las ecuaciones (1) y (2) definidas en Sección 1.1 de la Metodología para ambos climas locales en relación con las temperaturas medias mensuales del aire exterior ($\overline{T_{pma(out)}}$). Se comprobó que se cumplía con el cuarto criterio establecido para aplicar el método de confort adaptativo, es decir, el que establece el rango de temperatura media exterior predominante (10-33,5 °C), por lo que no hubo problema en aplicar el método para todos los periodos de tiempo y casos de estudio.

3.3 Límites térmicos y riesgos para la salud

Además de los rangos de temperatura descritos anteriormente que determinan la demanda de energía para condiciones de confort, se consideraron los siguientes límites térmicos para evaluar el impacto en la salud:

- Las bajas temperaturas:
 - Riesgo 1: $T_a < 16$ °C
 - Riesgo 2: $T_a < 12$ °C
 - Riesgo 3: $T_a < 9$ °C
- Temperaturas altas:
 - Riesgo 4: $T_a > 34$ °C para el clima de Vitoria-Gasteiz (D1)

RESULTADOS

Los datos obtenidos por la monitorización de diferentes estancias (una habitación y un salón, en la mayoría de los casos) en diversos apartamentos de las promociones estudiadas, se han procesado para poder analizarlos e interpretarlos. Se consideraron inicialmente tres parámetros de interés para determinar el confort en el interior de los edificios: la temperatura, la humedad relativa y la concentración de CO₂. Sin embargo, por falta de presupuesto para los equipos de medición de CO₂, los datos relativos a este parámetro son muy escasos y no son suficientes para sacar conclusiones, por lo que no se incluyen en este estudio.

Tabla 7. Valores promedio por franja horaria, para la humedad relativa en las tres promociones, durante los meses estudiados

Hora	P1					P3					P4				
	JUL	AGO	SEP	NOV	DIC	JUL	AGO	SEP	NOV	DIC	JUL	AGO	SEP	NOV	DIC
0:00	65.0	67.0	67.0	63.6	62.3	62.8	65.4	66.6	67.5	70.2	58.5	60.36	60.5	60.8	62.7
1:00	65.1	67.0	66.9	63.5	62.1	63.3	65.8	66.6	67.6	70.4	58.7	60.55	60.5	60.8	62.8
2:00	65.0	66.9	66.8	63.5	62.0	63.7	66.1	66.8	67.9	70.6	58.7	60.57	60.5	60.4	62.7
3:00	65.0	66.9	66.8	63.5	61.8	63.9	66.3	67.0	68.1	70.8	58.7	60.46	60.4	59.8	62.6
4:00	65.2	67.0	66.7	63.6	61.7	64.1	66.5	67.1	68.2	70.8	58.7	60.24	60.4	59.7	62.5
5:00	65.2	67.0	66.7	63.5	61.5	64.2	66.7	67.0	68.4	70.9	58.7	60.20	60.4	59.6	62.4
6:00	65.1	67.0	66.6	63.5	61.5	64.1	66.4	67.0	68.5	70.7	58.7	60.30	60.5	59.8	62.5
7:00	65.1	66.9	66.6	63.5	61.4	64.0	66.1	67.0	68.5	70.5	58.6	60.17	60.6	59.7	62.5
8:00	65.1	66.7	66.5	63.3	61.3	63.5	65.9	66.8	67.4	69.9	58.7	60.23	60.8	59.8	62.6
9:00	64.7	66.5	66.4	63.2	61.3	63.5	65.6	66.4	66.3	68.7	58.7	60.30	60.6	59.4	62.4
10:00	64.4	66.7	66.5	63.0	61.1	63.5	65.6	66.2	65.7	68.1	58.8	60.41	60.6	58.2	61.8
11:00	65.2	67.1	66.7	62.9	60.8	63.3	65.9	66.0	64.5	67.2	58.8	60.58	60.4	57.7	61.0
12:00	64.8	67.0	66.7	63.1	60.9	63.2	65.9	65.8	63.3	66.5	58.3	59.89	59.8	57.3	60.7
13:00	64.8	67.1	66.5	62.7	60.9	63.1	65.7	66.1	63.3	65.9	57.7	59.35	59.5	57.4	60.9
14:00	65.4	67.1	66.4	62.6	61.1	62.8	65.5	65.7	63.9	66.3	57.4	59.04	58.9	58.1	61.7
15:00	65.6	67.2	66.1	62.7	61.4	62.5	65.2	65.1	64.5	66.7	57.3	58.67	58.1	58.5	62.1
16:00	65.3	67.0	65.7	62.6	61.5	62.5	64.8	64.8	65.3	67.6	57.3	58.46	57.7	58.1	61.7
17:00	65.0	66.9	65.6	62.6	61.5	62.6	64.6	64.5	65.3	68.3	57.5	58.59	57.5	58.2	61.3
18:00	64.8	66.9	65.7	62.8	61.6	62.8	64.7	64.7	65.4	68.4	57.9	59.08	58.1	58.7	61.4
19:00	64.5	66.8	65.9	63.0	61.8	62.8	64.7	64.7	65.4	68.5	58.1	59.39	58.5	59.3	61.8
20:00	64.4	66.9	66.3	63.1	61.7	62.4	64.7	65.0	65.4	68.8	58.0	59.86	59.4	60.1	62.5
21:00	64.8	67.0	66.7	63.3	62.0	62.4	64.7	65.5	66.0	69.2	58.1	60.31	60.2	60.5	62.9
22:00	64.6	67.1	67.0	63.4	62.1	62.5	65.0	66.1	66.5	69.7	58.2	60.32	60.2	60.1	62.7
23:00	65.0	67.1	67.1	63.4	62.3	62.5	65.4	66.3	67.0	70.0	58.3	60.39	60.4	60.0	62.7

En cuanto a la humedad relativa, la Tabla 7. recoge los valores promedio de cada promoción para cada franja horaria obtenidos en los diferentes meses escogidos para este trabajo. Dentro del rango de los 18-24 °C para el interior (el rango establecido por la OMS), se considera que una humedad relativa de entre 20-70% es apta para la salud, siendo ideal el rango entre 40 y 50%. En su estudio, Collins (1986) corroboró la visión ya ampliamente aceptada con anterioridad, de que una humedad relativa del 70% es suficiente para el crecimiento de un moho una vez que ya ha comenzado [78]. Como la mayoría de los valores obtenidos en la Tabla 7. están dentro del rango, no se considera la humedad relativa un problema grave de estos edificios. Sin embargo,



estos valores son el promedio para toda la promoción. En ciertas viviendas (especialmente viviendas de pisos bajos) sí que se encontraron a menudo valores superiores al 70%. De hecho, durante el mes de diciembre, puede observarse que en la promoción 3, la media en ocasiones superaba el límite aceptable (marcados en rojo), encontrándose todo el día cerca del mismo.

A continuación, se presentan en la Figura 4. y la Figura 5., las temperaturas medias obtenidas por franja horaria en los meses de verano y de invierno, respectivamente, dentro de cada promoción. Debe tenerse en cuenta que la cantidad de datos para cada promoción y entre unos meses y otros, era muy variable debido a fallos en el sistema que no permitieron obtener datos por algunos equipos o simplemente porque en unas promociones se estaban monitorizando más viviendas que en otros. Por otro lado, algunos datos se descartaron porque los valores de temperatura media indicaban que correspondían a un habitáculo o vivienda que había estado deshabitada durante el tiempo de estudio, ya que la temperatura media no superó los 14 grados en ningún momento del mes de diciembre. El estudio pretende analizar el confort de los ocupantes de las viviendas, por lo que es requisito indispensable que haya personas viviendo regularmente en el interior de la vivienda y por tanto se descartó dicha vivienda de la media. Del mismo modo, la vivienda con una temperatura media siempre superior a los 24 grados durante el mismo mes fue descartada por presentar un comportamiento anómalo en el uso de la calefacción y cuyos valores falsearían la lectura del confort real de la promoción. Al margen de todo esto, puede observarse cómo el uso del edificio tiene un impacto importante en las condiciones de confort dentro del mismo ya que, tanto en verano como en invierno, las temperaturas mínimas registradas en las promociones son alrededor de las 10-11:00, franja en la que parece ser más común la cesión de actividad en el hogar y tal vez la ventilación natural de los habitáculos.

Por último, en la Figura 6. se muestra el número de horas diarias promedio en que la promoción se encuentra dentro de la zona de confort de acuerdo a las 3 normas descritas en los apartados anteriores; y la Figura 7. muestra el porcentaje de horas mensuales en las que la promoción cumple esos mismos requisitos. Como puede apreciarse, es especialmente destacable la gran diferencia de conclusiones a las que se puede llegar durante los meses de invierno, entre el criterio seguido por la norma ASHRAE (la de rango más amplio) y la norma del Código Técnico Español.

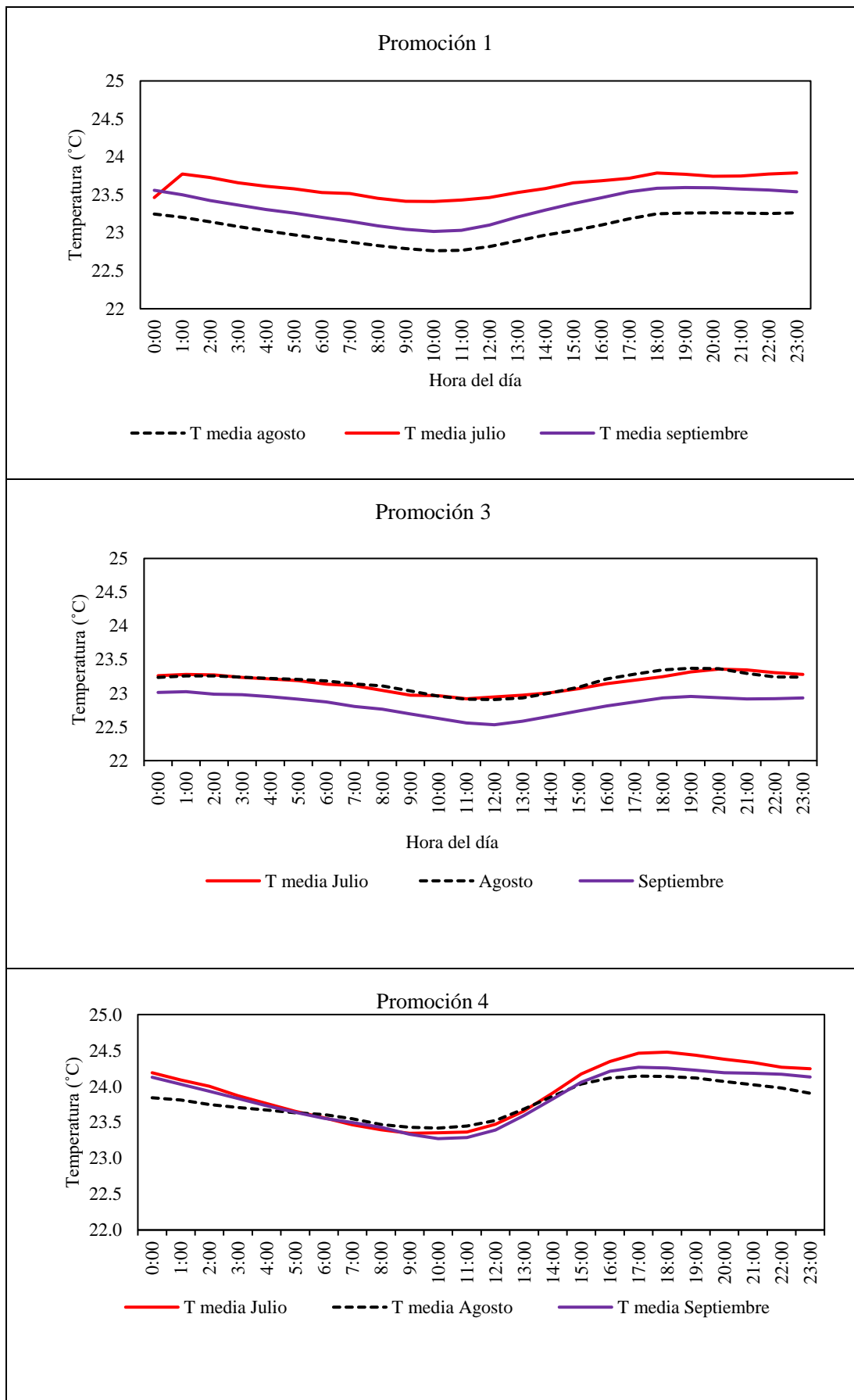


Figura 4. Temperatura media según franja horaria para los meses de verano

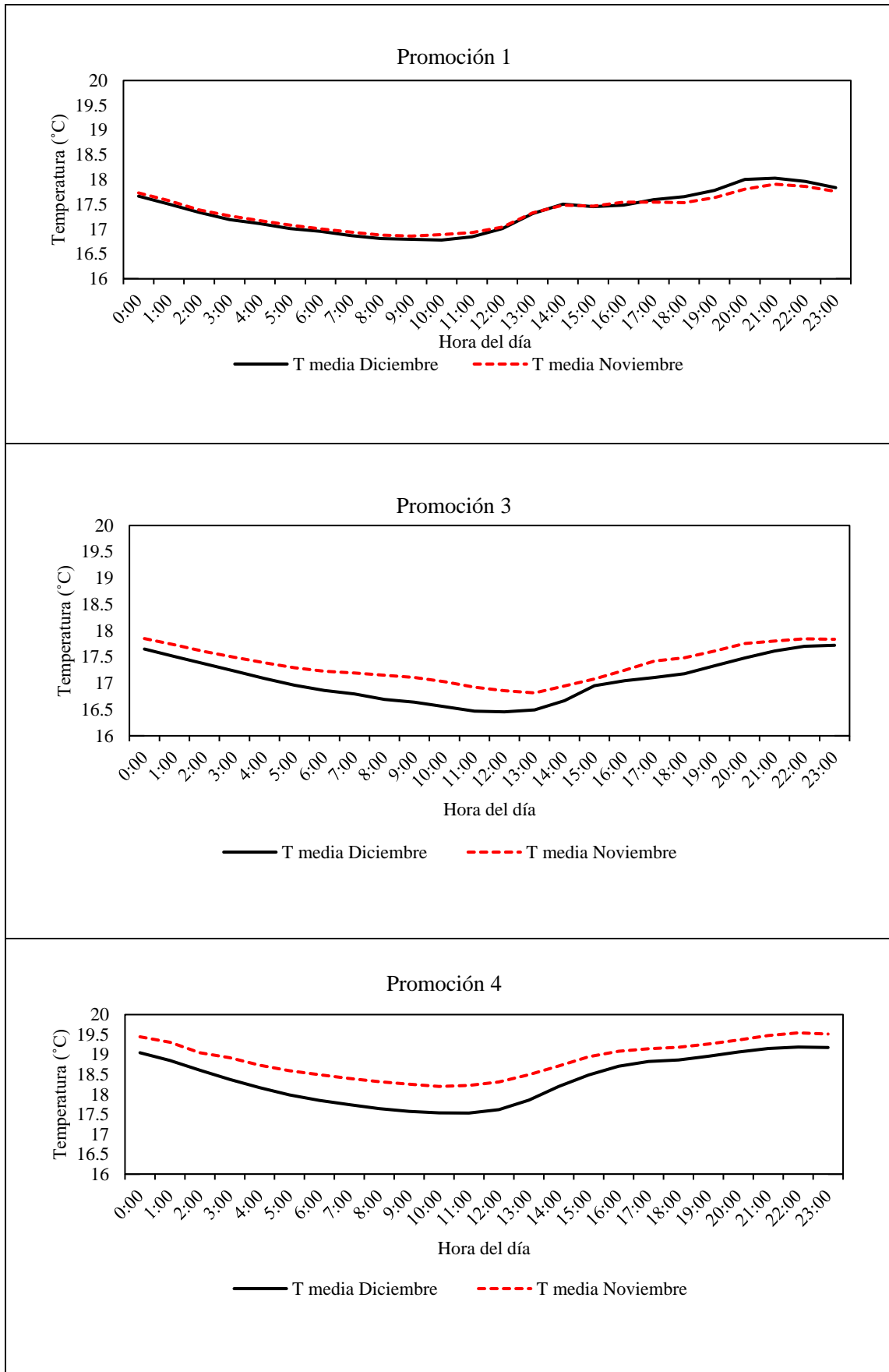


Figura 5. Temperatura media según franja horaria para los meses de invierno

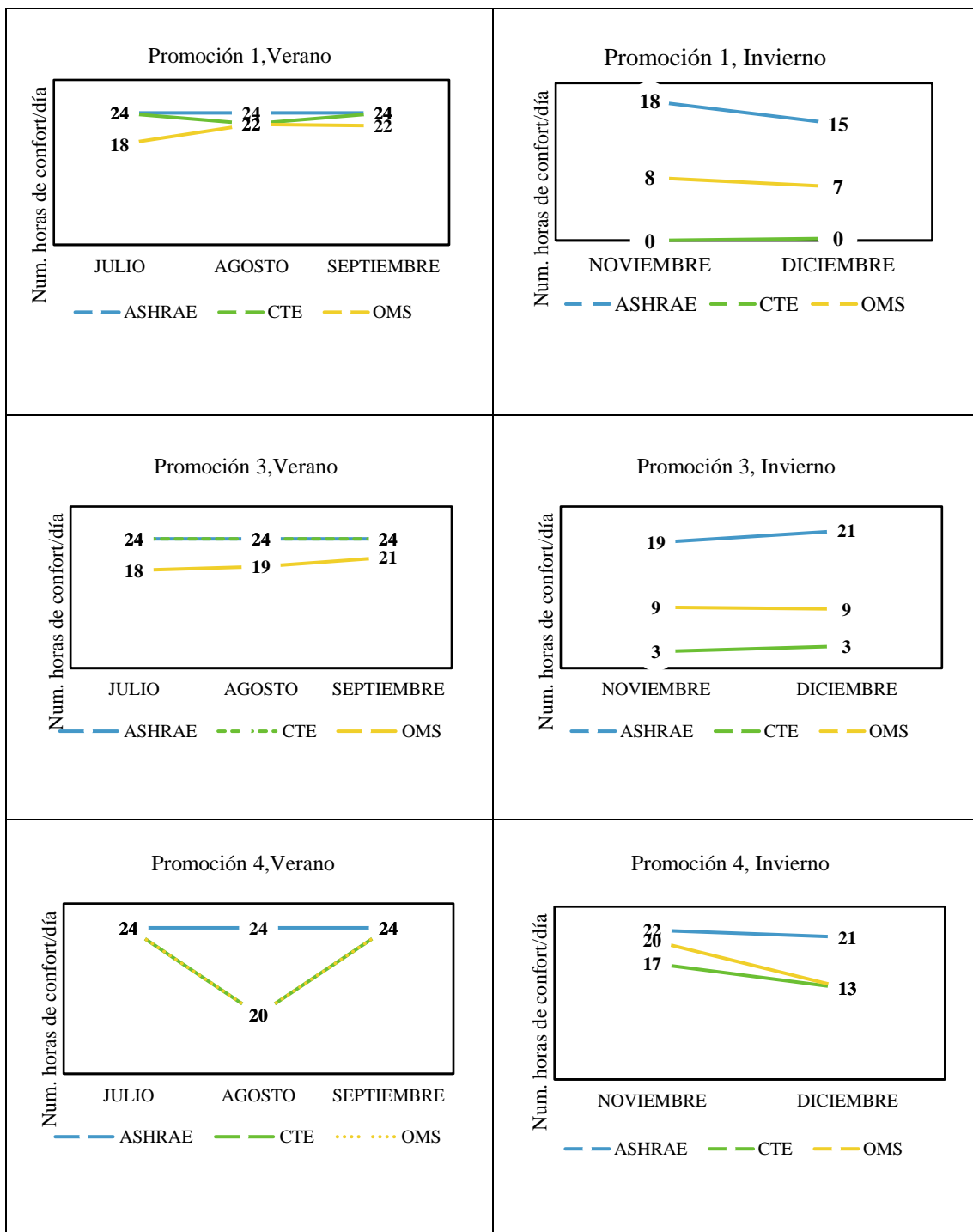


Figura 6. Número de horas diarias promedio, en las que la promoción se encuentra dentro de los diferentes límites de confort en verano (izqda.) y en invierno (dcha.). Influencia de las propiedades térmicas del edificio y de las condiciones térmicas para el confort

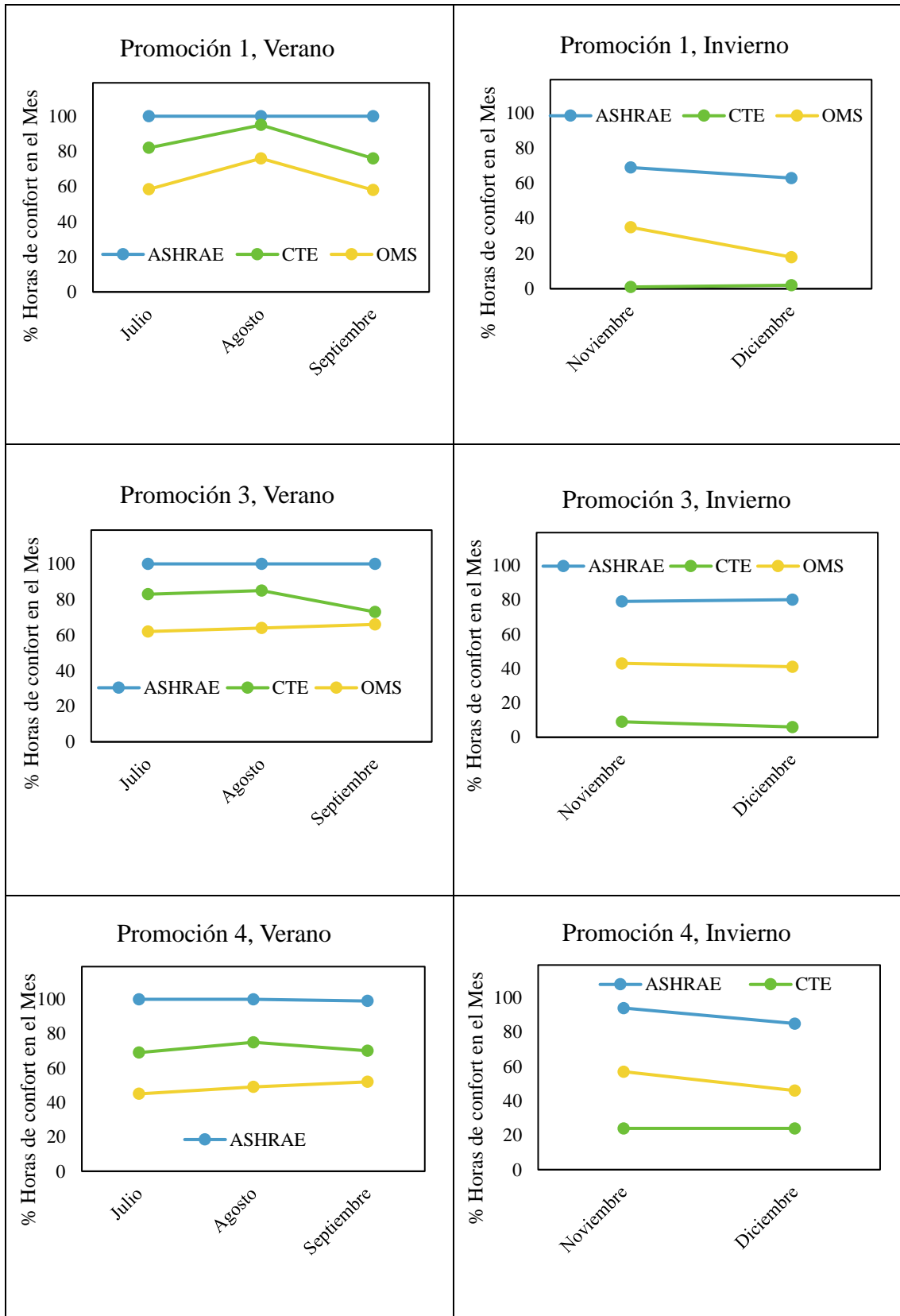


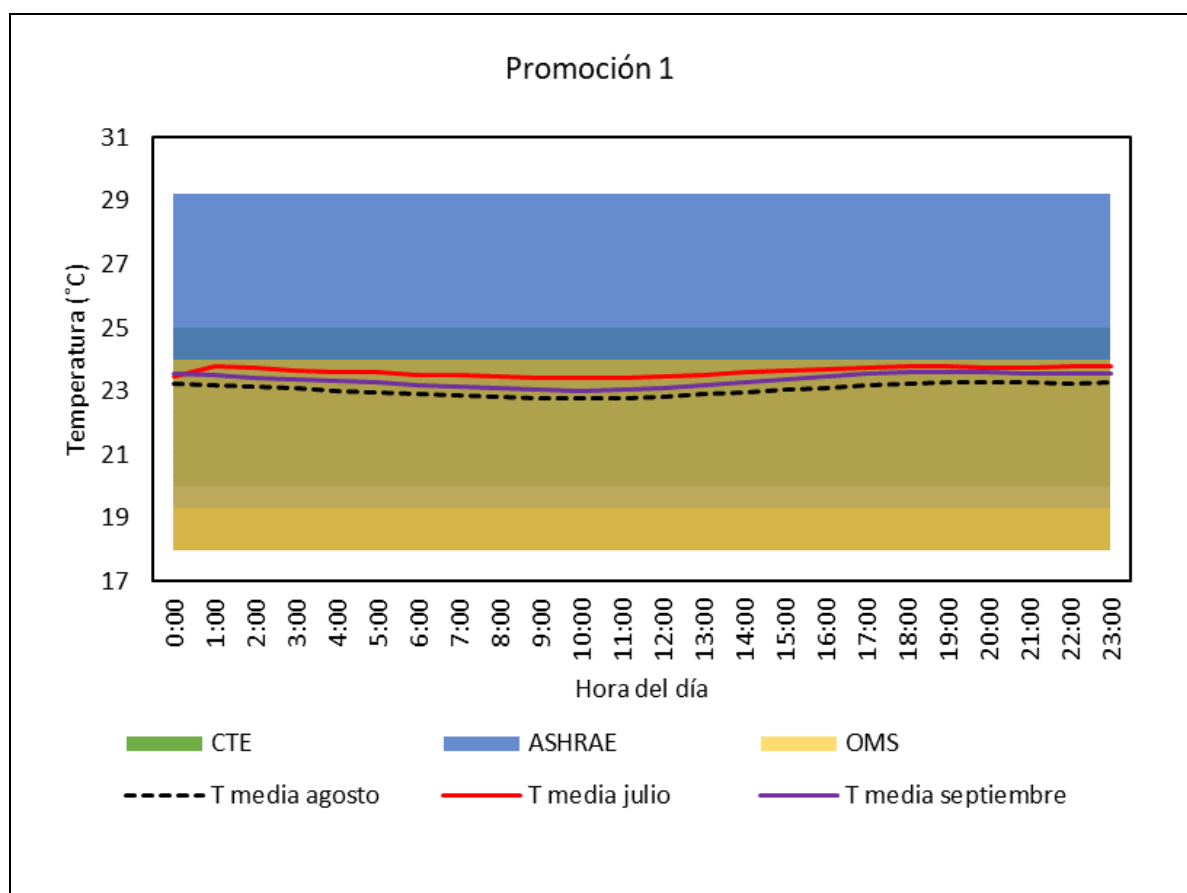
Figura 7. Porcentaje de horas mensuales en las que la promoción se encuentra dentro de los diferentes límites de confort, en verano (izqda..) y en invierno (dcha.). Influencia de las propiedades térmicas del edificio y de las condiciones térmicas para el confort.



ANÁLISIS PARAMÉTRICO

Influencia de las 3 variables estudiadas: propiedades térmicas del edificio, las condiciones térmicas de confort y las condiciones climáticas

Nuevamente, en la Figura 8. y la Figura 9., donde se muestran las temperaturas promedio por franja horaria comparadas con los tres rangos que dan lugar a las respectivas definiciones de confort, se observa que es muy difícil que las temperaturas del edificio queden fuera del rango impuesto por la norma ASHRAE (salvo en el caso de la promoción 1 en invierno, no se sale de la norma en ningún caso). Es posible que alguno de los habitáculos monitorizados no estuviese ocupado durante esos meses y sus bajas temperaturas hayan bajado la media considerada, ya que no se han desechado valores bajos de habitáculos aislados, solamente de viviendas completas. Sin embargo, la diferencia entre las temperaturas medias del salón y la habitación monitorizadas en una misma vivienda, no superó los 3 °C en ningún caso. A pesar de esto, más adelante en este capítulo se estudia la influencia del uso del habitáculo en las condiciones de confort; Además, a la luz de los resultados obtenidos en invierno, se puede deducir que en las últimas horas del día la mayoría de los ocupantes hacen uso de la calefacción y del hogar en general, ya que es cuando se alcanzan las máximas temperaturas en el día.



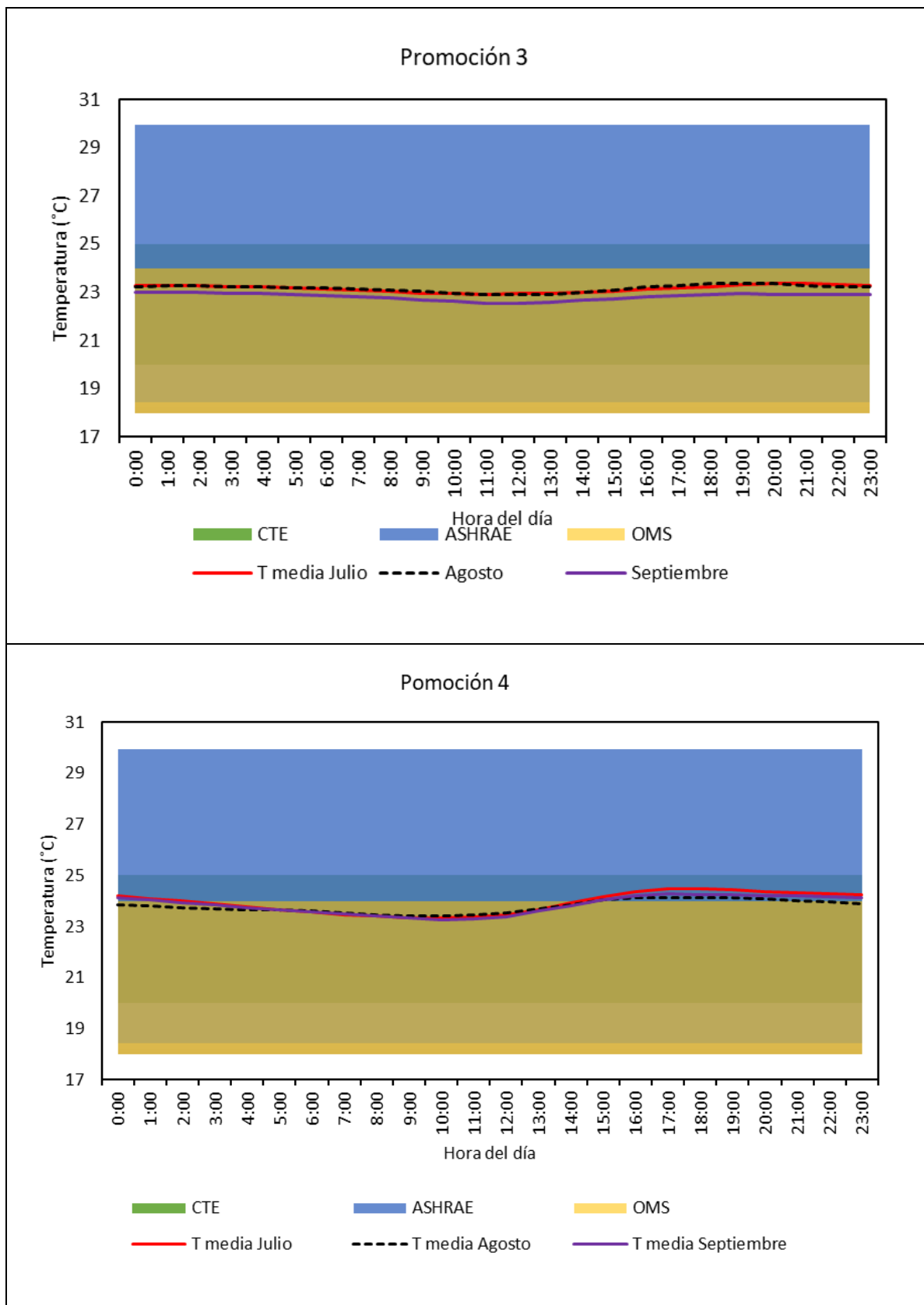
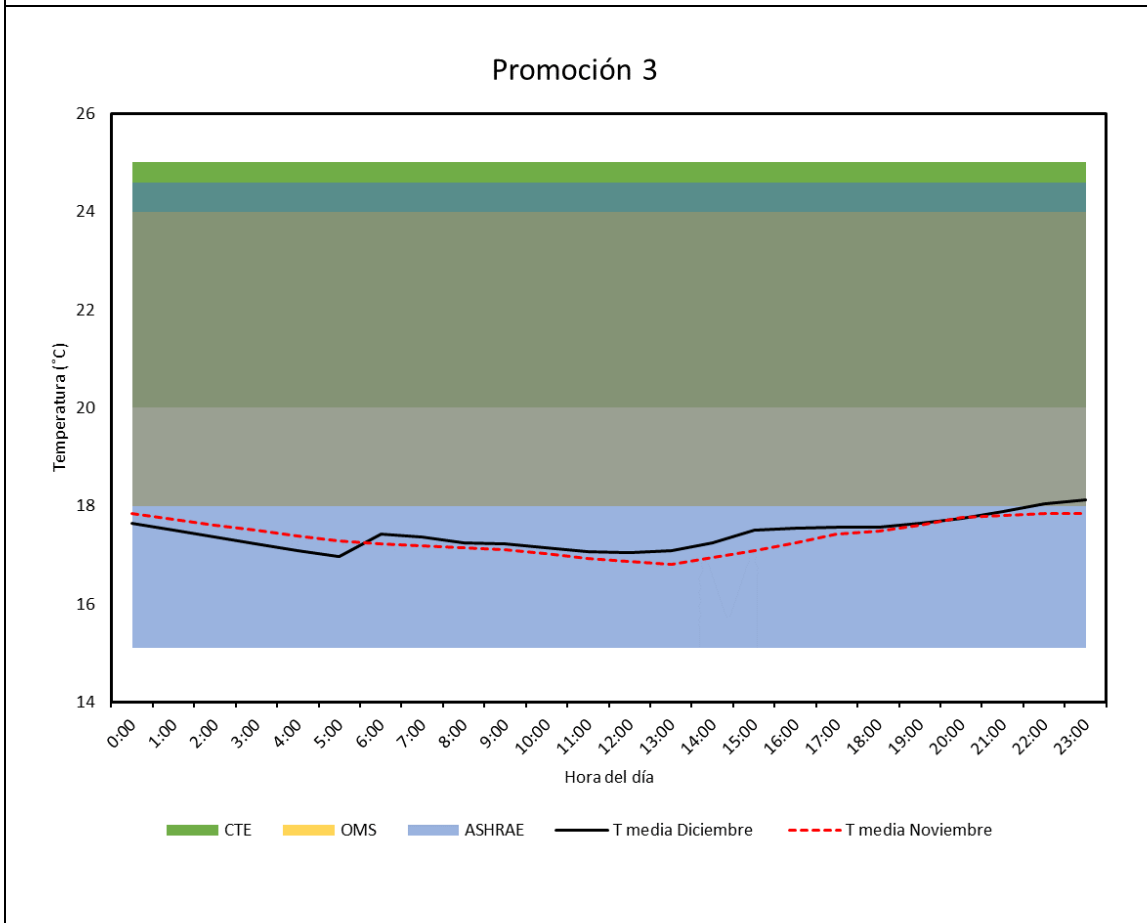
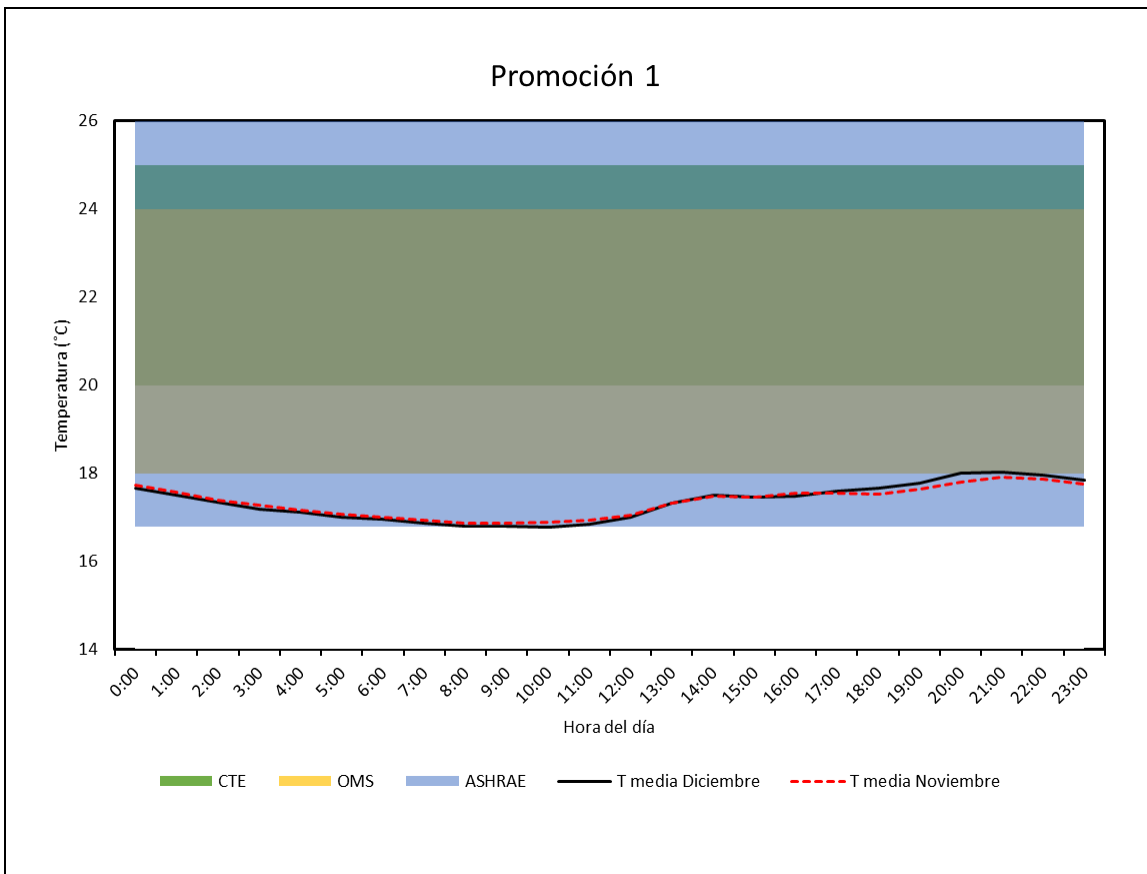


Figura 8. Influencia de las condiciones térmicas para el confort y las condiciones climáticas por franja horaria en verano



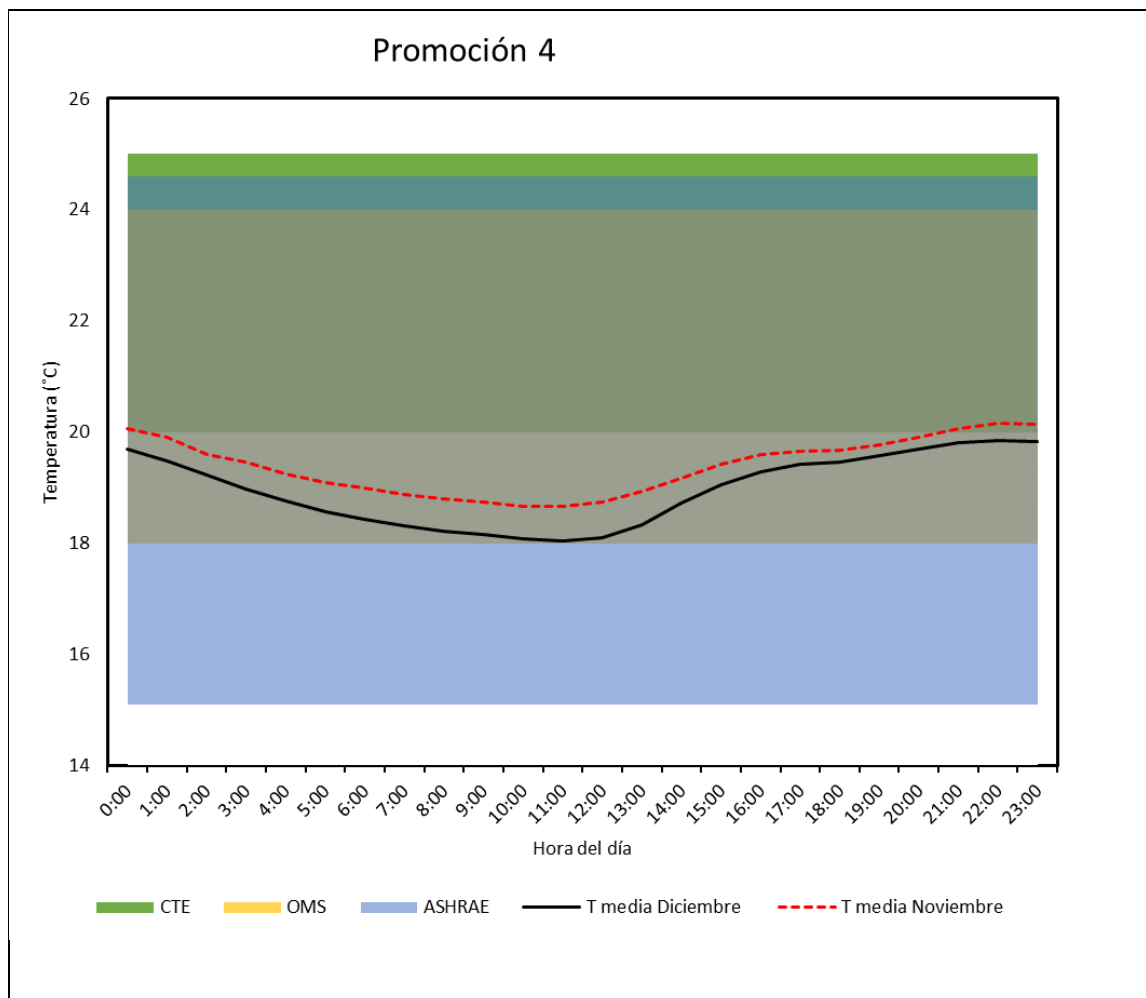


Figura 9. Influencia de las condiciones térmicas para el confort y las condiciones climáticas por franja horaria en invierno

En cuanto a la influencia del clima por la localización geográfica y la influencia de las condiciones térmicas de los edificios, resulta imposible separar ambos factores, dado a que se desconocen las condiciones de cada promoción. Lo ideal sería comparar dos promociones de idénticas condiciones en una distinta localización y dos promociones de la misma localización con diferentes condiciones térmicas de construcción.

Resultaría inútil comparar dos promociones de la misma localización para observar las diferencias debidas a las condiciones térmicas del edificio cuando se desconocen dichas condiciones, sin embargo, puede ser útil comparar dos promociones de diferentes localizaciones y observar la influencia de ambos factores simultáneamente. Por esta razón, en la Figura 10. se comparan la promoción 1 y la 3 para observar las diferencias entre la localidad de Amurrio con la de Vitoria. En Vitoria se ha escogido la promoción 3 para apreciar mejor la diferencia, dado que los resultados diferían más de la promoción 1 que los resultados de la promoción 4. Para analizar esta influencia, debe tenerse en cuenta que la localidad de Amurrio registró temperaturas más altas que la de Vitoria tanto en verano como en invierno, siendo las más extremas las temperaturas mínimas de invierno. Puede observarse en la figura que las horas de confort en invierno son alarmantemente bajas en ambas promociones, especialmente en la promoción 1, a pesar de que se encontraba en Amurrio y por tanto contaba con temperaturas más cálidas.

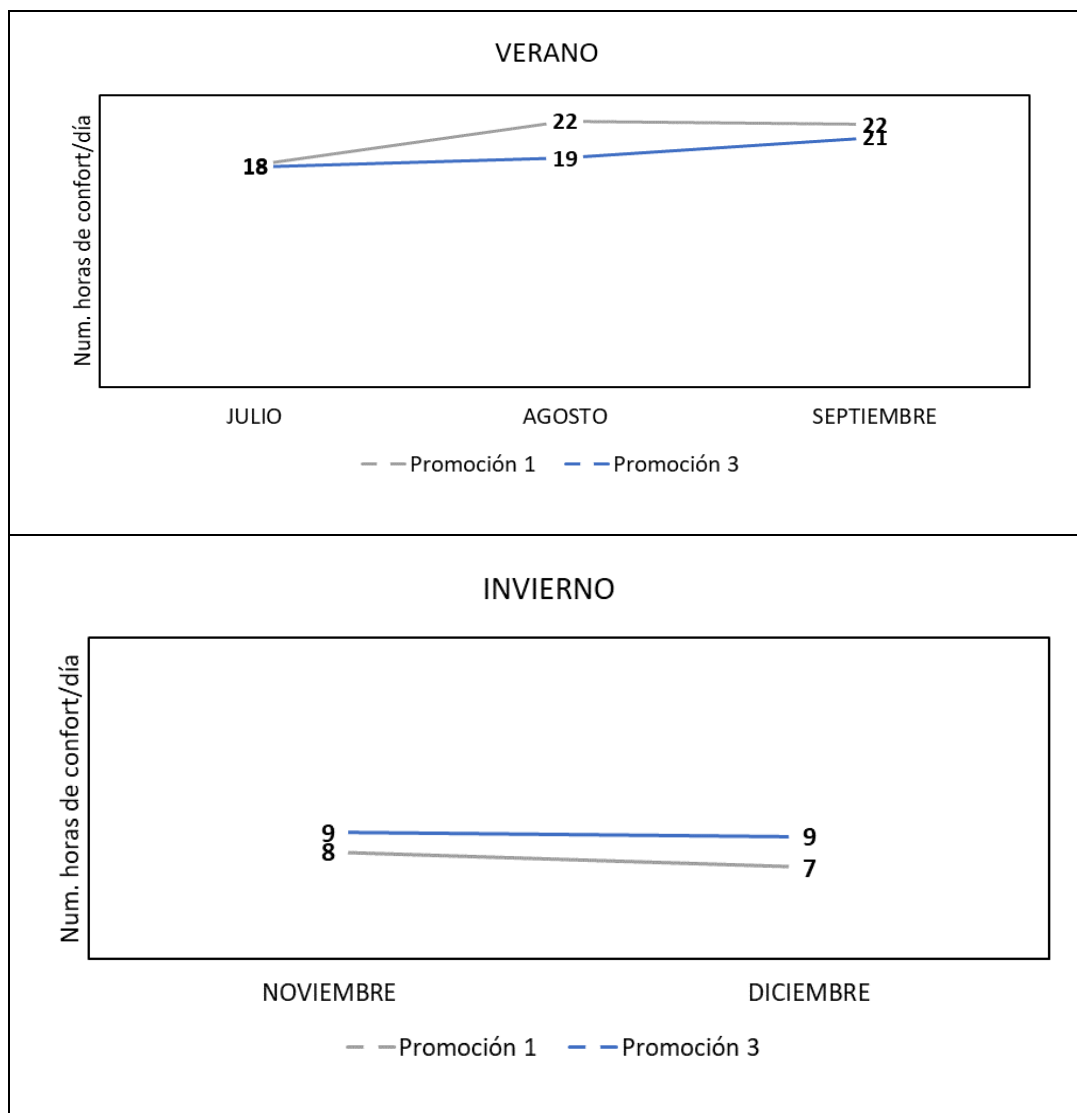


Figura 10. Influencia de las condiciones térmicas del edificio y del clima externo según la localización en las condiciones de confort (según las limitaciones de la OMS)

Influencia de la altura de la planta en el edificio

No se ha podido sacar conclusiones a este respecto por falta de suficientes datos significativos por planta, ya que no ha sido posible encontrar un solo caso con datos completos de sus temperaturas durante todos los meses estudiados, en ninguna de las promociones. La promoción con datos más completos, por lo general, ha sido la promoción 4, con 6 viviendas monitorizadas en total. Sin embargo, en ciertos meses del año algunas viviendas no carecían de datos de dos de las viviendas y otros meses carecían de otras dos diferentes. Entonces solo se contaba con dos viviendas de diferente planta en el edificio con datos completos para poder compararlos en el periodo de tiempo estudiado. Dos viviendas son demasiado escasas para obtener respuestas concluyentes acerca de la influencia de la altura de la planta.

Influencia del uso del habitáculo

Observando la Figura 11., se puede observar cómo en verano no hay diferencias significativas entre la proporción de horas de confort en las habitaciones y la que hay en los salones de las viviendas. De hecho, en ambos casos la proporción de horas en confort se encuentra entre el 60 y el 80%. Sin embargo, esta diferencia sí que es apreciable en los meses de invierno, donde las habitaciones pasan entre cerca del 40 a cerca del 60% de las horas en condiciones de confort,



mientras que los salones pasan 60-69% de las horas en dichas condiciones, según el criterio marcado por la OMS. Por lo tanto, parece claro que el uso dado a los habitáculos influye en las

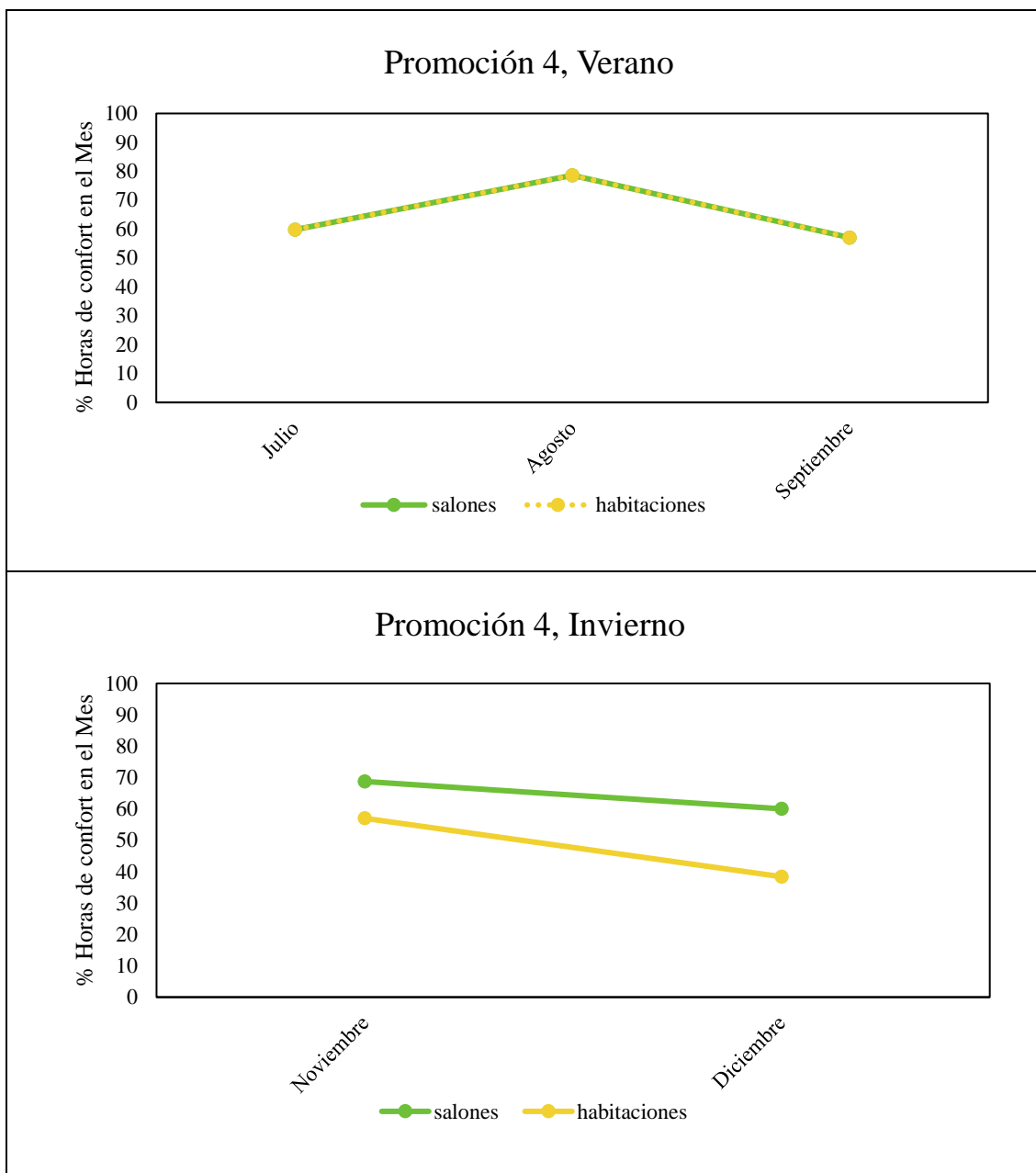


Figura 11. Influencia del uso del habitáculo

condiciones dentro del mismo. Esto concuerda con lo mencionado en el Estado del Arte, sobre el estudio llevado a cabo por Brager y Dear, que sospechaban que la razón por la que el termostato colocado en el salón (donde había mayor concentración de muebles y por tanto era probable que las familias tuvieran más actividad) registrara mayores temperaturas que las habitaciones podía deberse, al menos en parte, a dicha diferencia de actividad entre ambos tipos de espacio en las viviendas. Considerando las costumbres sociales habituales, en las que en verano las familias pasan mayor tiempo fuera de casa, esto podría explicar por qué en invierno las temperaturas son más elevadas en los salones y por tanto éstos pasan más horas de confort que las habitaciones.



CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE MEJORA

En este estudio se han presentado los datos de temperatura y humedad relativa, obtenidos por monitorización de salones y habitaciones en cierto tipo de edificios residenciales destinados a vivienda social. A la luz del análisis desarrollado de estos resultados, se ha podido avanzar en el entendimiento sobre la naturaleza de la relación entre las condiciones de confort y de salud dentro de las viviendas, tales como: propiedades térmicas del edificio, las condiciones térmicas de confort y las condiciones climáticas.

En cuanto a las condiciones térmicas de confort, se han comparado los datos obtenidos por monitorización con 3 estándares diferentes y se ha estudiado la gran diferencia de lectura que se puede realizar sobre una misma realidad. El criterio marcado por ASHRAE resulta extremadamente laxo. No parece un criterio muy fiable cuando vemos, por ejemplo en la Figura 9., cómo en la promoción 3 en invierno se cumple este criterio en todo momento, pero no se cumple ni el criterio de la OMS ni el del CTE en ningún momento. Además, los valores que se están comparando con los estándares de referencia, son valores promedio que llegan a oscilar entre 15 y 18 °C dentro de la misma promoción. Por tanto, aunque la media e incluso el valor mismo de 15 °C estén dentro del límite de ASHRAE, este valor está claramente por debajo de las exigencias mínimas de confort para la salud, tal como se ha comentado en la [sección 1.2](#) de la metodología (las temperaturas inferiores a 18°C están relacionadas con riesgo de infecciones respiratorias, especialmente las inferiores a 16°C).

Por esta razón, parece que los criterios de la OMS y del CTE resultan mucho más rigurosos y permiten observar la situación de manera más imparcial y acorde con las necesidades de confort.

Por otra parte, ha sido imposible separar en el análisis la influencia de las propiedades térmicas del edificio y de las condiciones climáticas locales. Sin embargo, se ha hecho el análisis conjunto de ambos parámetros y, al resultar imposible conocer los elementos estructurales de los edificios que determinan su rendimiento energético, las conclusiones no son tan claras como se desearía. Aun así, tal como se ha descrito en el análisis paramétrico (sección de Análisis paramétrico del capítulo de Resultados), durante los meses de invierno, la promoción en Amurrio registró temperaturas promedio más bajas que las de la promoción escogida de Vitoria, a pesar de que el clima en Amurrio era más cálido. Esto demuestra que las propiedades térmicas del edificio tuvieron mayor influencia que las condiciones climáticas exteriores, en el confort térmico dentro del edificio. Por tanto, resultaría de gran interés poder conocer las propiedades térmicas de ambas promociones para ver qué elementos de la promoción 3 hacen que en el edificio haya mayor confort que en la promoción 1. Independientemente de esto, ambos edificios necesitarían mejorar su rendimiento energético, puesto que ambos pasan muy escasas horas dentro de los límites de confort definidos por la Organización Mundial de Salud.

Algunas mejoras básicas que podrían llevarse a cabo sobre estas promociones (construidas hace más de 20 años) son:

- Eliminación de puentes térmicos en general y mejora de los sistemas de aislamiento en huecos: ventanas con Unidad de Vidrio Aislante y marcos de ventana metálicos con Ruptura de Puente Térmico (ver ANEXO I) [91].
- Instalación de fuentes de energía renovable que reduzcan el consumo de energía necesario para lograr condiciones de confort en el edificio (ver catálogo de paneles termosolares en ANEXO II).
- En caso de que las calderas no hayan sido reemplazadas en estos años, sustituirlas por otras más eficientes: las calderas de biomasa de condensación pueden proporcionar un ahorro energético del 25-30% respecto a las calderas convencionales [92].



Estas mejoras tienen por objeto mejorar las condiciones de confort en los edificios especialmente durante los meses de invierno, que es cuando los edificios caso de estudio tuvieron condiciones más extremas y, por tanto, menos horas de confort.

Para los problemas por exceso de calor en verano, la solución más sencilla sería instalar aletas móviles o algún otro elemento móvil que permita dar sombra cuando hace mucho calor y despejar la fachada cuando hace frío para captar mayor calor.

Si se aplicasen alguna o todas estas medidas de mejora, los ocupantes de estas viviendas (generalmente de perfil económicamente bajo), verían una mejora importante en su calidad de vida. Podría ser interesante en un futuro proyecto realizar encuestas a los ocupantes de estas viviendas acerca de sus posibles trastornos de salud debidos a la falta de confort en el edificio, así como acerca de su estilo de vida. Esto puede ser interesante, por dos razones completamente diferentes e independientes: es popularmente sabido que las personas con hábito de hacer deporte, son más flexibles ante los cambios de temperatura, se adaptan mejor y sufren menos ante condiciones climáticas extremas; este tipo de información (condiciones económicas generales de la familia que ocupa la vivienda y sus necesidades o prioridades de consumo) podría ser relevante para obtener conclusiones acerca del alcance que pudieran tener los efectos rebote una vez realizadas las mejoras en el edificio. Otra vía diferente de investigación podría explorar otros factores no físicos (psicológicos, etc) que influyen en la percepción del confort.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Working Group III, "Climate Change 2007 - Mitigation of Climate Change", Cambridge University Press, Cambridge, 2007. Accedido el 19 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg3/>
- [2] Working Groups I, II and III, "Climate Change 2007: Synthesis Report", Cambridge University Press, Cambridge, 2007. Accedido el 19 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>
- [3] H. S. Brown, "Horace Herring & Steve Sorrell (Eds.), Energy Efficiency and Sustainable Consumption: The Rebound Effect", *Sustainability: Science, Practice and Policy*, vol. 6, nº 2, pp. 72–74, octubre de 2010. Accedido el 18 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1080/15487733.2010.11908054>
- [4] S. Chen, W. Yang, H. Yoshino, M. D. Levine, K. Newhouse y A. Hinge, "Definition of occupant behavior in residential buildings and its application to behavior analysis in case studies", *Energy and Buildings*, vol. 104, pp. 1–13, octubre de 2015. Accedido el 18 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.075>
- [5] J. Page, D. Robinson y J.-L. Scartezzini, "Stochastic simulation of occupant presence and behaviour in buildings", *Building Simulation*, 2007.
- [6] V. Fabi, R. V. Andersen, S. P. Corgnati y B. W. Olesen, "A methodology for modelling energy-related human behaviour: Application to window opening behaviour in residential buildings", *Building Simulation*, vol. 6, nº 4, pp. 415–427, abril de 2013. Accedido el 17 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1007/s12273-013-0119-6>
- [7] T. Maier, M. Krzaczek y J. Tejchman, "Comparison of physical performances of the ventilation systems in low-energy residential houses", *Energy and Buildings*, vol. 41, nº 3, pp. 337–353, marzo de 2009. Accedido el 18 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.10.007>
- [8] K. Schakib-Ekbatan, F. Z. Çakıcı, M. Schweiker y A. Wagner, "Does the occupant behavior match the energy concept of the building? – Analysis of a German naturally ventilated office building", *Building and Environment*, vol. 84, pp. 142–150, enero de 2015. Accedido el 19 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.10.018>
- [9] Z. C. Hub, "Post-occupancy Evaluation, Rowner Research Project", London, Phase two, marzo de 2015. Accedido el 16 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.zerocarbonhub.org/sites/default/files/resources/reports/ZCH-RownerResearch-Phase-II.pdf>
- [10] V. Martinaitis, E. K. Zavadskas, V. Motuzienė y T. Vilutienė, "Importance of occupancy information when simulating energy demand of energy efficient house: A case study", *Energy and Buildings*, vol. 101, pp. 64–75, agosto de 2015. Accedido el 20 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.031>
- [11] J. Yang, M. Santamouris y S. E. Lee, "Review of occupancy sensing systems and occupancy modeling methodologies for the application in institutional buildings", *Energy and Buildings*, vol. 121, pp. 344–349, junio de 2016. Accedido el 17 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.019>
- [12] D. Calì, T. Osterhage, R. Streblow y D. Müller, "Energy performance gap in refurbished German dwellings: Lesson learned from a field test", *Energy and Buildings*, vol. 127, pp. 1146–



1158, septiembre de 2016. Accedido el 17 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.020>

[13] E. Delzendeh, S. Wu, A. Lee y Y. Zhou, "The impact of occupants' behaviours on building energy analysis: A research review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 80, pp. 1061–1071, diciembre de 2017. Accedido el 17 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.264>

[14] T. Hong, S. D'Oca, W. J. N. Turner y S. C. Taylor-Lange, "An ontology to represent energy-related occupant behavior in buildings. Part I: Introduction to the DNAs framework", *Building and Environment*, vol. 92, pp. 764–777, octubre de 2015. Accedido el 17 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.019>

[15] H. Jang y J. Kang, "A stochastic model of integrating occupant behaviour into energy simulation with respect to actual energy consumption in high-rise apartment buildings", *Energy and Buildings*, vol. 121, pp. 205–216, junio de 2016. Accedido el 17 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.037>

[16] H. N. Rafsanjani y C. Ahn, "Linking Building Energy-Load Variations with Occupants' Energy-Use Behaviors in Commercial Buildings: Non-Intrusive Occupant Load Monitoring (NIOLM)", *Procedia Engineering*, vol. 145, pp. 532–539, 2016. Accedido el 18 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.041>

[17] Z. Wang, Z. Zhao, B. Lin, Y. Zhu y Q. Ouyang, "Residential heating energy consumption modeling through a bottom-up approach for China's Hot Summer–Cold Winter climatic region", *Energy and Buildings*, vol. 109, pp. 65–74, diciembre de 2015. Accedido el 16 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.057>

[18] H. Rijal, M. Humphreys y F. Nicol, "Adaptive Thermal Comfort in Japanese Houses during the Summer Season: Behavioral Adaptation and the Effect of Humidity", *Buildings*, vol. 5, nº 3, pp. 1037–1054, septiembre de 2015. Accedido el 16 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3390/buildings5031037>

[19] J. Zhao, B. Lasternas, K. P. Lam, R. Yun y V. Loftness, "Occupant behavior and schedule modeling for building energy simulation through office appliance power consumption data mining", *Energy and Buildings*, vol. 82, pp. 341–355, octubre de 2014. Accedido el 18 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.033>

[20] N. Li, J. Li, R. Fan y H. Jia, "Probability of occupant operation of windows during transition seasons in office buildings", *Renewable Energy*, vol. 73, pp. 84–91, enero de 2015. Accedido el 17 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.05.065>

[21] H. Rijal, "Investigation of Comfort Temperature and Occupant Behavior in Japanese Houses during the Hot and Humid Season", *Buildings*, vol. 4, nº 3, pp. 437–452, agosto de 2014. Accedido el 18 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3390/buildings4030437>

[22] R. A. Romero, G. Bojórquez, M. Corral y R. Gallegos, "Energy and the occupant's thermal perception of low-income dwellings in hot-dry climate: Mexicali, México", *Renewable Energy*, vol. 49, pp. 267–270, enero de 2013. Accedido el 17 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.01.017>

[23] J. Langevin, P. L. Gurian y J. Wen, "Reducing energy consumption in low income public housing: Interviewing residents about energy behaviors", *Applied Energy*, vol. 102, pp. 1358–1370, febrero de 2013. Accedido el 17 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.07.003>



[24] A. Kavousian, R. Rajagopal y M. Fischer, "Determinants of residential electricity consumption: Using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behavior", *Energy*, vol. 55, pp. 184–194, junio de 2013. Accedido el 18 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.086>

[25] J. Chen, X. Wang y K. Steemers, "A statistical analysis of a residential energy consumption survey study in Hangzhou, China", *Energy and Buildings*, vol. 66, pp. 193–202, noviembre de 2013. Accedido el 17 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.045>

[26] P. D. Andersen, A. Iversen, H. Madsen y C. Rode, "Dynamic modeling of presence of occupants using inhomogeneous Markov chains", *Energy and Buildings*, vol. 69, pp. 213–223, febrero de 2014. Accedido el 17 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.10.001>

[27] N. A. Aldossary, Y. Rezgui y A. Kwan, "Domestic energy consumption patterns in a hot and humid climate: A multiple-case study analysis", *Applied Energy*, vol. 114, pp. 353–365, febrero de 2014. Accedido el 17 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.061>

[28] R. K. Jain, J. E. Taylor y P. J. Culligan, "Investigating the impact eco-feedback information representation has on building occupant energy consumption behavior and savings", *Energy and Buildings*, vol. 64, pp. 408–414, septiembre de 2013. Accedido el 18 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.05.011>

[29] J. S. Park y H. J. Kim, "A field study of occupant behavior and energy consumption in apartments with mechanical ventilation", *Energy and Buildings*, vol. 50, pp. 19–25, julio de 2012. Accedido el 16 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.03.015>

[30] O. G. Santin, *Actual energy consumption in dwellings: The effect of energy performance regulations and occupant behaviour*. Amsterdam: IOS Press, 2010.

[31] M. Indraganti y K. D. Rao, "Effect of age, gender, economic group and tenure on thermal comfort: A field study in residential buildings in hot and dry climate with seasonal variations", *Energy and Buildings*, vol. 42, nº 3, pp. 273–281, marzo de 2010. Accedido el 17 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.09.003>

[32] K. Steemers y G. Y. Yun, "Household energy consumption: a study of the role of occupants", *Building Research & Information*, vol. 37, nº 5-6, pp. 625–637, noviembre de 2009. Accedido el 18 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1080/09613210903186661>

[33] J. Page, D. Robinson, N. Morel y J. L. Scartezzini, "A generalised stochastic model for the simulation of occupant presence", *Energy and Buildings*, vol. 40, nº 2, pp. 83–98, enero de 2008. Accedido el 20 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.01.018>

[34] H. B. Rijal, M. Honjo, R. Kobayashi y T. Nakaya, "Investigation of comfort temperature, adaptive model and the window-opening behaviour in Japanese houses", *Architectural Science Review*, vol. 56, nº 1, pp. 54–69, febrero de 2013. Accedido el 20 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1080/00038628.2012.744295>

[35] J. Langevin, J. Wen y P. L. Gurian, "Simulating the human-building interaction: Development and validation of an agent-based model of office occupant behaviors", *Building and*



Environment, vol. 88, pp. 27–45, junio de 2015. Accedido el 20 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.11.037>

[36] V. L. Castaldo, I. Pigliautile, F. Rosso, F. Cotana, F. De Giorgio y A. L. Pisello, "How subjective and non-physical parameters affect occupants' environmental comfort perception", *Energy and Buildings*, vol. 178, pp. 107–129, noviembre de 2018. Accedido el 19 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.020>

[37] W.J. Fisk, A.H. Rosenfeld, Estimates of improved productivity and health from better indoor environments, *Indoor Air* 7 (1997) 158–172, doi: 10.1111/j. 1600-0668.1997.t01-1-0 0 0 02.x .

[38] M.J. Mendell, Non-specific symptoms in office workers: a review and summary of the epidemiologic literature, *Indoor Air* 3 (1993) 227–236, doi: 10.1111/ j.1600-0668.1993.00003.x .20 ASHRAE Standard 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ASHRAE 2010.

[39] ANSI/ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 55-2013 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, (2013).

[40] International Organization for Standardization ISO 7730:2005 - Ergonomics of the Thermal Environment –Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria, International Organization for Standardization 2005.

[41] C. Morgan, R de Dear, Weather, clothing and thermal adaptation to indoor climate, *Clim. Res.* 24 (2003) 267–284, doi: 10.3354/cr024267.

[42] G. Havenith , I. Holmér , K. Parsons , Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production, *Energy Build.* 34 (2002) 581–591.

[43] C. Marino, A. Nucara, M Pietrafesa, Mapping of the indoor comfort conditions considering the effect of solar radiation, *Sol. Energy* 113 (2015) 63–77, doi: 10.1016/J.SOLENER.2014.12.020.

[44] I. Atmaca, O. Kaynakli, A Yigit, Effects of radiant temperature on thermal comfort, *Build. Environ.* 42 (2007) 3210–3220, doi: 10.1016/j.buildenv.20 06.08.0 09.

[45] D Enescu, A review of thermal comfort models and indicators for indoor environments, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 79 (2017) 1353–1379.

[46] K.J. Collins, Low indoor temperatures and morbidity in the elderly, *Age Ageing* 15 (1986) 212–220.

[47] C. Koppe, R. Sari Kovats, B. Menne, G. Jendritzky, D. Wetterdienst, World Health Organization. Heat-waves: Risks and Responses, (2004).

[48] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, World Urbanization Prospects: the 2014 Revision. United Nations, (2015).

[49] K. Dol, M. Haffner, Housing Statistics in the European Union, (2010) https://www.bmwfw.gv.at/Wirtschaftspolitik/Wohnungspolitik/Documents/housing_statistics_in_the_european_union_2010.pdf.

[50] Statistics Canada, Table 3 Shelter cost and housing affordability by housing tenure for non-farm, non-reserve dwellings, Canada, <http://www12.statcan.gc.ca/nhsenm/2011/as-sa/99-014-x/2011002/tbl/tbl03-eng.cfm>, (2011), Accessed date: 21 June 2017.

[51] D.I.S. US Census Bureau, American housing survey (AHS), https://www.census.gov/programs-surveys/ahs/data/interactive/ahstablecreator.html?s_areas=a00000&s_year=n2015&s_table



Name=Table17&s_byGroup1=a1&s_byGroup2=a1&s_filterGroup1=t1&s_filterGroup2=g1, (2015), Accessed date: 21 June 2017.

[52] E. Diaz Lozano Patiño, D. Vakalis, M. Touchie, E. Tzekova y J. A. Siegel, "Thermal comfort in multi-unit social housing buildings", *Building and Environment*, vol. 144, pp. 230–237, octubre de 2018. Accedido el 19 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.08.024>

[53] E. Diaz Lozano Patino, J.A. Siegel, Indoor environmental quality in social housing: a literature review, *Build. Environ.* 131 (2018) 231–241.

[54] G.S. Brager, R.J. de Dear, Thermal adaptation in the built environment: a literature review, *Energy Build.* 27 (1998) 83–96.

[55] H. Herring y S. Sorrell, Eds., *Energy Efficiency and Sustainable Consumption*. London: Palgrave Macmillan UK, 2009. Accedido el 17 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1057/9780230583108>

[56] A. L. Pisello, V. L. Castaldo, C. Piselli, C. Fabiani y F. Cotana, "How peers' personal attitudes affect indoor microclimate and energy need in an institutional building: Results from a continuous monitoring campaign in summer and winter conditions", *Energy and Buildings*, vol. 126, pp. 485–497, agosto de 2016. Accedido el 18 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.053>

[57] M. Ouf, M. Issa y P. Merkel, "Analysis of real-time electricity consumption in Canadian school buildings", *Energy and Buildings*, vol. 128, pp. 530–539, septiembre de 2016. Accedido el 17 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.022>

[58] J. Chen y C. Ahn, "Assessing occupants' energy load variation through existing wireless network infrastructure in commercial and educational buildings", *Energy and Buildings*, vol. 82, pp. 540–549, octubre de 2014. Accedido el 19 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.053>

[59] M. Pellegrino, M. Simonetti y G. Chiesa, "Reducing thermal discomfort and energy consumption of Indian residential buildings: Model validation by in-field measurements and simulation of low-cost interventions", *Energy and Buildings*, vol. 113, pp. 145–158, febrero de 2016. Accedido el 18 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.015>

[60] A. Al-Mumin, O. Khattab y G. Sridhar, "Occupants' behavior and activity patterns influencing the energy consumption in the Kuwaiti residences", *Energy and Buildings*, vol. 35, n.º 6, pp. 549–559, julio de 2003. Accedido el 16 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible: [https://doi.org/10.1016/s0378-7788\(02\)00167-6](https://doi.org/10.1016/s0378-7788(02)00167-6)

[61] J. Langevin, J. Wen y P. L. Gurian, "Quantifying the human–building interaction: Considering the active, adaptive occupant in building performance simulation", *Energy and Buildings*, vol. 117, pp. 372–386, abril de 2016. Accedido el 16 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.026>

[62] X. Feng, D. Yan y T. Hong, "Simulation of occupancy in buildings", *Energy and Buildings*, vol. 87, pp. 348–359, enero de 2015. Accedido el 18 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.067>



[63] Z. Wang y Y. Ding, "An occupant-based energy consumption prediction model for office equipment", *Energy and Buildings*, vol. 109, pp. 12–22, diciembre de 2015. Accedido el 19 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.10.002>

[64] G. Y. Yun, J. Choi y J. T. Kim, "Energy performance of direct expansion air handling unit in office buildings", *Energy and Buildings*, vol. 77, pp. 425–431, julio de 2014. Accedido el 17 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.039>

[65] M. M. Agha-Hosseini, S. El-Jouzi, A. A. Elmualim, J. Ellis y M. Williams, "Post-occupancy studies of an office environment: Energy performance and occupants' satisfaction", *Building and Environment*, vol. 69, pp. 121–130, noviembre de 2013. Accedido el 16 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.003>

[66] P. O. Fanger, *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

[67] R. D. Dear, *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference*. Sydney: Macquarie University, 1998.

[68] *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*, UNE-EN 15251:2008, European EN, 2007. [En línea]. Disponible: http://www.cres.gr/greenbuilding/PDF/prend/set4/WI_31_Pre-FV_version_prEN_15251_Indoor_Environment.pdf

[69] S. Kunkel, E. Kontonasiou, A. Arcipowska y F. Mariottini, "Indoor air quality, thermal comfort and daylight. Analysis of residential buildings regulations in eight EU member states", *ResearchGate*, p. 98, 2015.

[70] E. C. C. a. H. Guidelines Review Committee, "WHO Housing and health guidelines", WHO, ISBN: 978 92 4 155037 6, 2018. [En línea]. Disponible: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241550376>

[71] *Reglamento de Instalaciones Térmicas En Los Edificios*, BOE-A-2013-3905, Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2013. [En línea]. Disponible: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2013/04/05/238>

[72] M. Etxebarria-Mallea, X. Oregi, O. Grijalba y R. Hernández-Minguillón, "The impact of energy refurbishment interventions on annual energy demand, indoor thermal behaviour and temperature-related health risk", *Energy Policy*, vol. 153, p. 112276, junio de 2021. Accedido el 4 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112276>

[73] D. Ormandy y V. Ezratty, "Health and thermal comfort: From WHO guidance to housing strategies", *Energy Policy*, vol. 49, pp. 116–121, octubre de 2012. Accedido el 4 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.003>

[74] K. J. COLLINS, "LOW INDOOR TEMPERATURES AND MORBIDITY IN THE ELDERLY", *Age and Ageing*, vol. 15, n.º 4, pp. 212–220, 1986. Accedido el 4 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1093/ageing/15.4.212>



[75] K. Butcher, "CIBSE Guide A. Environmental Design", 2010, EU energy trends to 2030: update 2009, Greece. [En línea]. Disponible: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/trends_to_2030_update_2009.pdf

[76] F. B. Díez, "METEOROLOGÍA Y SALUD. LA RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA AMBIENTAL Y LA MORTALIDAD", *Revista Esp. Salud Pública*, vol. 70, n.º 3, pp. 251–259, 1996.

[77] *Temperaturas umbrales de disparo de la mortalidad atribuible al calor en España en el periodo 2000-2009*, Temperaturas umbrales de disparo de la mortalidad atribuible al calor en España en el periodo 2000-2009 Escuela Nacional de Sanidad Instituto, Madrid, 2015. [En línea]. Disponible: <http://gesdoc.isciii.es/gesdoccontroller?action=download&id=24/07/2015-fe69310aba>

[78] M. Santamouris, "Heat Island Research in Europe: The State of the Art", *Advances in Building Energy Research*, vol. 1, n.º 1, pp. 123–150, enero de 2007. Accedido el 4 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1080/17512549.2007.9687272>

[79] T. Frank, "Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland", *Energy and Buildings*, vol. 37, n.º 11, pp. 1175–1185, noviembre de 2005. Accedido el 4 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.06.019>

[80] "Radar Meteorológico en España". <https://www.accuweather.com/>

[81] *Norma básica de edificación NBE-CT-79*, BOE-A-1979-24866, Presidencia del Gobierno, 1979. [En línea]. Disponible: <https://www.boe.es/eli/es/rd/1979/07/06/2429>

[82] *Documento Básico HE*, Real Decreto 450/2022, Código Técnico de Edificación, 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DcmHE.pdf>

[83] *Directiva 93/76/CEE del Consejo, de 13 de septiembre de 1993, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE)*, DOUE-L-1993-81535, EL CONSEJO DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS, 1993. [En línea]. Disponible: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1993-81535>

[84] *EU buildings factsheets*, European Commission, 2016. [En línea]. Disponible: https://ec.europa.eu/energy/eu-buildings-factsheets_en

[85] European Union, THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. (2012, October 25th). *Directives n.º Directives DIRECTIVE 2012/27/EU, DIRECTIVE 2012/27/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL*. [En línea]. Disponible: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:en:PDF>

[86] Unión Europea, PARLAMENTO EUROPEO Y CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA. (2018, 30 de mayo). *Directiva n.º 2018/844, DIRECTIVA (UE) 2018/844 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO*. [En línea]. Disponible: <https://www.boe.es/doue/2018/156/L00075-00091.pdf>

[87] España, Ministerio de Fomento, "Orden n.º FOM/588/2017, Orden FOM/588/2017, de 15 de junio, por la que se modifican el Documento Básico DB-HE "Ahorro de energía" y el Documento Básico DB-HS "Salubridad", del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real



Decreto 314/2006, de 17 de marzo", *Boletín Oficial del Estado*, n.º 149, 23 de junio de 2017. Accedido el 4 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2017-7163>

[88] M. C. Peel, B. L. Finlayson y T. A. McMahon, "Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification", *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 11, n.º 5, pp. 1633–1644, octubre de 2007. Accedido el 4 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>

[89] "Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España". Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España. <https://www.aemet.es/es/portada> (accedido el 4 de septiembre de 2022).

[90] *Guía Técnica. Condiciones climáticas exteriores de proyecto*, Gobierno de España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2019. [En línea]. Disponible: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_12_Guia_tecnica_condiciones_climaticas_exteriores_de_proyecto_e4e5b769.pdf

[91] i. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, "Soluciones de Aislamiento con Vidrios y Cerramientos", *idae*, p. 30, 2019. [En línea]. Disponible: https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/guia_soluciones_de_acristalamiento_y_cerramiento_acristalado_febrero2019_web.pdf

[92] "Rendimiento caldera de biomasa: La máxima eficiencia y sostenibilidad". Greenheiss. <https://www.greenheiss.com/rendimiento-caldera-biomasa/> (accedido el 6 de agosto de 2022).



ANEXO I. GUÍA TÉCNICA DE VIDRIOS Y CERRAMIENTOS

Referente al vidrio de las ventanas:

Vidrio sencillo (monolítico): bajo esta denominación agrupamos aquellas tipologías formadas por una única hoja de vidrio y aquellas formadas por dos o más hojas unidas entre sí por toda su superficie, vidrios laminares. Dentro del vidrio monolítico podemos encontrar vidrios incoloros, de color, impresos, y de seguridad. Así como distintos tratamientos que modifican las propiedades mecánicas, térmicas y espectrofotométricas de los mismos. Las prestaciones térmicas de un vidrio monolítico pueden considerarse estables para los vidrios incoloros habituales en tanto que transmitancia térmica y factor solar viéndose mínimamente reducidos al aumentar el espesor. Como valor de referencia podemos tomar un valor de $\approx 5,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ y factor solar (g) un valor en torno a 0,83.

Nota: En el caso de vidrios de color y vidrios de capa empleados como vidrios monolíticos el factor solar puede verse fuertemente modificado. Cada producto existente en el mercado aporta sus prestaciones específicas.

Unidad de Vidrio Aislante (UVA): conocido anteriormente como doble acristalamiento o vidrio de cámara hace referencia al conjunto formado por dos o más láminas de vidrios monolíticos separados entre sí por uno o más espaciadores, herméticamente cerrados a lo largo de todo el perímetro. Las unidades de vidrio



aislante, o doble acristalamiento, al encerrar entre dos paneles de vidrio una cámara de aire, inmóvil y seco, aprovechando la baja conductividad térmica del aire, limitan el intercambio de calor por convección y conducción. La principal consecuencia es un fuerte aumento de su capacidad aislante reflejado en la drástica reducción de su transmitancia térmica ($U= 3,3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, para la composición más básica 4-6-4²). El aumento progresivo del espesor de la cámara proporciona una reducción paulatina de la transmitancia térmica. Esta reducción deja de ser efectiva cuando se producen fenómenos de convección dentro de la misma (en torno a los 17 mm).

² 4-6-4: Esta nomenclatura indica los espesores vidrio-cámara-vidrio expresados en milímetros, comenzando por el vidrio exterior.



Composición ³	4-6-4	4-8-4	4-10-4	4-12-6
U (W/m ² ·K)	3,3	3,1	3,0	2,9

La capacidad del aislamiento térmico se ve significativamente mejorada por la incorporación de los vidrios de baja emisividad o aislamiento térmico reforzado permitiendo alcanzar fácilmente los niveles más exigentes contemplados en el Código Técnico de la Edificación (CTE).

Respecto a la prestación de control solar las UVAs presentan menores factores solares por el simple hecho de incorporar dos vidrios, para una UVA de 4-6-4 el valor g está entorno a 0,75. El factor solar (g) puede ser fuertemente modificado por la sustitución del vidrio exterior por un vidrio de control solar. Igualmente los vidrios de baja emisividad aportan un control solar significativo.

Las UVAs al estar formadas por dos o más vidrios monolíticos permiten la combinación de diferentes tipologías que aportan prestaciones complementarias.

Es necesario prever la instalación de las UVAs sobre carpinterías dotadas de drenaje, bien selladas y que impidan el almacenamiento de agua y humedad permanente en el galce. La situación contraria puede ocasionar el deterioro de los sellantes y la pérdida de estanqueidad de la UVA.

Referente a los marcos de ventana:

Debido a la mayor participación del acristalamiento en la ventana hace que las ganancias producidas en la U del acristalamiento tengan mayor repercusión que aquellas alcanzadas por la misma ganancia sobre la U del marco. La siguiente tabla presenta los valores de transmitancia térmica global de hueco calculados para un 30% de área ocupada por el marco y 70% de superficie acristalada:

Transmitancia térmica del hueco (W/m ² ·K)					
Vidrio (70%)		Marco (30%)			
		Metálico U=5,7	Metálico RPT ⁶ U=4	Madera ⁷ U=2,5	PVC ⁸ U=1,8
Monolítico 4mm	U=5,7	5,7	5,2	4,7	4,5
4-6-4	U=3,3	4	3,5	3,0	2,8
4-12-4	U=2,9	3,7	3,2	2,7	2,5
4-6-4 bajo emisivo ⁹	U=2,5	3,5	3,0	2,5	2,3
4-12-4 bajo emisivo ⁹	U=1,7	2,9	2,4	1,9	1,7

⁶ Rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm

⁷ Los marcos de madera se considera una densidad de 700 kg/m³

⁸ Los marcos de PVC se consideran de 3 cámaras

⁹ vidrio de baja emisividad con $\epsilon \leq 0,03$



ANEXO II. CATÁLOGO DE PANELES TERMOSOLARES

Sistemas de energía solar CAPTADORES SOLARES TÉRMICOS



ECO
alta eficiencia

- ◆ Captadores solares térmicos de alta eficiencia fabricados bajo los estándares de calidad europeos más exigentes.
- ◆ Absorbedor de aluminio tratado al vacío con selectivo PVD. Espesor 0,40 mm. Absortancia 0,95. Emitancia 0,05.
- ◆ Circuito de cobre normalizado en harpa soldado por láser con doble cordón. Máxima resistencia y durabilidad.
- ◆ Vidrio solar templado liso y extra claro con bajo contenido en hierro de 3,20 mm. Transmitancia solar del 91,1%.
- ◆ Carcasa perfilada en aluminio anodizado AL5063TS.
- ◆ Aislamiento térmico en fibra de vidrio de 20 mm de espesor. Densidad de 15 Kg/m³.
- ◆ Conexiones estándar tipo sambra de 18 mm (x4).
- ◆ Certificación internacional KEYMARK en todos los modelos.
- ◆ Captadores solares garantizados por 10 años.

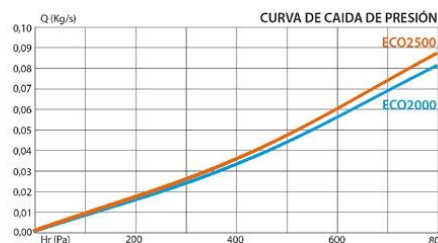


Fabricación

Captador solar	ECO 2000	ECO 2500
Colocación	Vertical	Vertical
Área útil (m ²)	1,90	2,38
Largo (mm)	2.056	2.056
Ancho (mm)	957	1.207
Fondo (mm)	70	70
Área bruta (m ²)	1,97	2,48
Peso en vacío (Kg)	24,8	32,0
Volumen de fluido (l)	1,09	1,34
Rango de caudales	Apto para bajo, medio y alto caudal: 30,0 – 115,0 l/h·m ²	
Régimen de presiones	Presión de prueba: 20 bar	Presión de trabajo: 10 bar
Potencia pico (W) a 1.000 W/m ²	1.395	1.748
Capacidad térmica efectiva (J/K)	10.730	12.391
Temperatura de estancamiento (°C)	210,4	210,4
Normas de ensayo y certificación	EN 12976-1:2006 EN 12976-2:2006 PSK-108:2012 ISO 9806:2013	

Producción

Producción energética	η_0	K1 (W/m ² ·K)	K2 (W/m ² ·K ²)	Ang. Inc. θ (50°)
Curva de rendimiento instantáneo	73,60	3,636	0,020	0,96



Precios

Referencia	Descripción	Colocación	Área útil (m ²)	P.V.P. (€)
2002201	Captador solar térmico ECO 2000 ultraselectivo	Vertical	1,90	413
2002203	Captador solar térmico ECO 2500 ultraselectivo		2,38	460



Sistemas de energía solar
CAPTADORES SOLARES TÉRMICOS



- VSH - HSH**
alta eficiencia
- ◆ Captadores solares térmicos de alta eficiencia fabricados bajo los estándares de calidad europeos más exigentes.
 - ◆ Absorbedor de aluminio tratado al vacío con selectivo PVD. Espesor 0,40 mm. Absortancia 0,95. Emitancia 0,05.
 - ◆ Circuito de cobre normalizado en harpa soldado por láser con doble cordón. Máxima resistencia y durabilidad.
 - ◆ Vidrio solar templado liso y extra claro con bajo contenido en hierro de 3,20 mm. Transmitancia solar del 91,1%.
 - ◆ Carcasa monocasco fabricada en aluminio naval.
 - ◆ Aislamiento térmico en fibra de vidrio de 60 mm de espesor. Densidad de 15 Kg/m³.
 - ◆ Conexiones estándar tipo sambra de 18 mm (x4).
 - ◆ Certificación internacional KEYMARK en todos los modelos.
 - ◆ Captadores solares garantizados por 10 años.

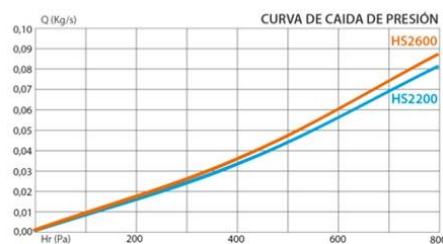


Fabricación

Captador solar	VSH 2200	VSH 2600	HSH 2200	HSH 2600
Colocación	Vertical	Vertical	Horizontal	Horizontal
Área útil (m ²)	2,00	2,33	2,00	2,33
Largo (mm)	2.073	2.089	1.069	1.233
Ancho (mm)	1.069	1.233	2.073	2.089
Fondo (mm)	98	98	98	98
Área bruta (m ²)	2,22	2,58	2,22	2,58
Peso en vacío (Kg)	29,8	34,4	34,7	39,8
Volumen de fluido (l)	1,19	1,34	1,54	1,66
Rango de caudales	Apto para bajo, medio y alto caudal: 30,0 – 115,0 l/h·m ²			
Régimen de presiones	Presión de prueba: 20 bar Presión de trabajo: 10 bar			
Potencia pico (W) a 1.000 W/m ²	1.570	1.801	1.570	1.801
Capacidad térmica efectiva (J/K)	8.746	10.148	8.924	10.371
Temperatura de estancamiento (°C)	214,8	214,8	214,8	214,8
Normas de ensayo y certificación	EN 12976-1:2006	EN 12976-2:2006	PSK-108:2012	ISO 9806:2013

Producción

Producción energética	η _o	K1 (W/m ² ·K)	K2 (W/m ² ·K ²)	Ang. Inc. θ (50°)
Curva de rendimiento instantáneo	78,30	3,800	0,017	0,96



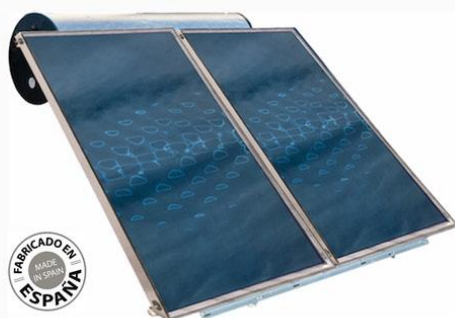
Precios

Referencia	Descripción	Colocación	Área útil (m ²)	P.V.P. (€)
2002000	Captador solar térmico VSH 2200 ultraselectivo	Vertical	2,00	460
2002001	Captador solar térmico VSH 2600 ultraselectivo		2,33	507
2002002	Captador solar térmico HSH 2200 ultraselectivo	Horizontal	2,00	517
2002003	Captador solar térmico HSH 2600 ultraselectivo		2,33	563

Sistemas de energía solar
EQUIPOS SOLARES TERMOSIFÓNICOS


termosifones compac ECO

alta producción



- ◆ Captadores solares térmicos de alta eficiencia gama ECO con carcasa de aluminio perfilada.
- ◆ Interacumulador solar fabricado en dos versiones. Uno de triple circuito para climas templados y otro con doble circuito para climas tropicales.
- ◆ Serpentines de intercambio térmico fabricados en acero inoxidable 316L. Módulos extraíbles.
- ◆ Cámara de expansión para absorber dilataciones del circuito solar incluida en todos los interacumuladores solares.
- ◆ Kit de montaje con todos los accesorios necesarios para un correcto montaje del equipo. Anticongelante incluido.
- ◆ Estructura soporte en acero DX51 para cubierta plana e inclinada.
- ◆ Equipo solar garantizado por 10 años.


10
 años de
 GARANTÍA

Características técnicas

Equipo termosifónico	Compac ECO150	Compac ECO150IP	Compac ECO200s	Compac ECO200sIP	Compac ECO300	Compac ECO300IP
Referencia	2032001	2032000	2032011	2032010	2032013	2032012
Modelo de interacumulador horizontal	HS150	HS150IP	HS200	HS200IP	HS300	HS300IP
Volumen 1º (l)	143	8,75	170	8,75	271	17,5
Volumen 2º - Consumo (l)	5,6	143-5,6	6,16	170-6,16	9,24	271-9,24
Modelo de captador solar (uds.)	ECO2000 (x1)		ECO2500 (x1)		ECO2000 (x2)	
Área útil solar (m²)	1,90		2,38		3,80	
Relación V/A (l/m²)	78,21		74,02		73,75	
Peso en vacío (Kg)	86,10	88,10	97,10	99,10	173,90	175,90
Dimensiones (mm)	1148x1415x2350		1313x1415x2350		2256x1415x2350	
Fracción solar según extracciones (%-I)	78,5 - 140		70,1 - 200		74,8 - 300	
Energía diaria aportada (KWh/d)	1,345		1,621		3,110	
Régimen de presiones máximas (bar)	Producción: 3,0 bar Primario: 9,0 bar Secundario: 8,0 bar					
Fluido caloportador	Agua glicolada concentrada al 30% medio de propilenglicol					
Estructura soporte	Acero DX51 normalizado con perfiles 37x2,5 mm					
Normativa	EN 12976-1:2006 EN 12976-2:2006 PSK-108:2012 ISO 9806:2013					

Componentes integrados

Modelo	Captador	Interacumulador	Estructura	Ramales de conexión	Kit de piezas	Anticongelante
Compac ECO	ECO	HS	Acero DX51	2 x Inox. Coarrugado	Completo	No
Compac ECO IP	ECO	HS IP	Acero DX51	2 x Inox. Coarrugado	Completo	Botella PP 1,5l

Precios

Referencia	Descripción	Circuitos	Captador	P.V.P. (€)
2032033	Equipo termosifónico ECO 150. Completo.	2	ECO2000 (x1)	1.213
2032034	Equipo termosifónico ECO 200s. Completo.	2	ECO2500 (x1)	1.294
2032035	Equipo termosifónico ECO 300. Completo.	2	ECO2000 (x2)	1.790
2032100	Equipo termosifónico ECO 150 I.P. Completo.	3	ECO2000 (x1)	1.293
2032101	Equipo termosifónico ECO 200s I.P. Completo.	3	ECO2500 (x1)	1.373
2032102	Equipo termosifónico ECO 300 I.P. Completo.	3	ECO2000 (x2)	1.886


 Sistemas de energía solar
EQUIPOS SOLARES TERMOSIFÓNICOS

**termosifones
 compac VSH**
 alta producción


- ◆ Captadores solares térmicos de alta eficiencia gama VSH con carcasa monocasco de aluminio naval.
- ◆ Interacumulador solar fabricado en dos versiones. Uno de triple circuito para climas templados y otro con doble circuito para climas tropicales.
- ◆ Serpentines de intercambio térmico fabricados en acero inoxidable 316L. Módulos extraíbles.
- ◆ Cámara de expansión para absorber dilataciones del circuito solar incluida en todos los interacumuladores solares.
- ◆ Kit de montaje con todos los accesorios necesarios para un correcto montaje del equipo. Anticongelante incluido.
- ◆ Estructura soporte en acero DX51 para cubierta plana e inclinada.
- ◆ Equipo solar garantizado por 10 años.


Características técnicas

Equipo termosifónico	Compac VSH150	Compac VSH150IP	Compac VSH200s	Compac VSH200sIP	Compac VSH300	Compac VSH300IP
Referencia	2032001	2032000	2032011	2032010	2032013	2032012
Modelo de interacumulador horizontal	HS150	HS150IP	HS200	HS200IP	HS300	HS300IP
Volumen 1º (l)	143	8,75	170	8,75	271	17,5
Volumen 2º - Consumo (l)	5,6	143-5,6	6,16	170-6,16	9,24	271-9,24
Modelo de captador solar (uds.)	VSH2200 (x1)		VSH2600 (x1)		VSH2200 (x2)	
Área útil solar (m²)	2,00		2,33		4,00	
Relación V/A (l/m²)	79,00		79,40		74,50	
Peso en vacío (Kg)	91,10	93,10	99,50	101,50	183,90	185,90
Dimensiones (mm)	1148x1415x2350		1313x1415x2350		2256x1415x2350	
Fracción solar según extracciones (%-l)	82,6 - 140		73,8 - 200		78,7 - 300	
Energía diaria aportada (KWh/d)	1,416		1,706		3,274	
Régimen de presiones máximas (bar)	Producción: 3,0 bar Primario: 9,0 bar Secundario: 8,0 bar					
Fluido caloportador	Agua glicolada concentrada al 30% medio de propilenglicol					
Estructura soporte	Acero DX51 normalizado con perfiles 37x2,5 mm					
Normativa	EN 12976-1:2006 EN 12976-2:2006 PSK-108:2012 ISO 9806:2013					

Componentes integrados

Modelo	Captador	Interacumulador	Estructura	Ramales de conexión	Kit de piezas	Anticongelante
Compac VSH	VSH	HS	Acero DX51	2 x Inox. Coarrugado	Completo	No
Compac VSH IP	VSH	HS IP	Acero DX51	2 x Inox. Coarrugado	Completo	Botella PP 1,5l

Precios

Referencia	Descripción	Circuitos	Captador	P.V.P. (€)
2032001	Equipo termosifónico VSH 150. Completo.	2	VSH2200 (x1)	1.274
2032011	Equipo termosifónico VSH 200s. Completo.	2	VSH2600 (x1)	1.354
2032013	Equipo termosifónico VSH 300. Completo.	2	VSH2200 (x2)	1.897
2032000	Equipo termosifónico VSH 150 I.P. Completo.	3	VSH2200 (x1)	1.340
2032010	Equipo termosifónico VSH 200s I.P. Completo.	3	VSH2600 (x1)	1.420
2032012	Equipo termosifónico VSH 300 I.P. Completo.	3	VSH2200 (x2)	1.980



Sistemas de energía solar
EQUIPOS SOLARES FORZADOS



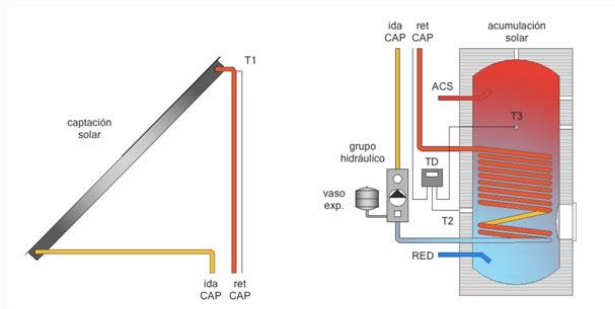
forzados
alta producción

- ◆ Captadores solares térmicos de alta eficiencia fabricados bajo los estándares de calidad europeos más exigentes.
- ◆ Interacumulador solar vitrificado con sistema de intercambio sobredimensionado para una alta transferencia.
- ◆ Incluye grupo circulator de una vía provisto de grupo de seguridad, manómetro y válvulas de corte.
- ◆ Termostato diferencial con tres entradas y dos salidas con sondas PT1000.
- ◆ Kit de montaje con todos los accesorios necesarios para un correcto montaje del equipo. Anticongelante incluido.
- ◆ Estructura soporte en acero DX51 para cubierta plana e inclinada.
- ◆ Equipo solar garantizado por 10 años.



Fabricación

Equipo forzado	Forzado VSH 200s	Forzado VSH 300	Forzado VSH 500
Modelo de interacumulador vertical	VSE 200	VSE 300	VSE 500
Volumen de acumulación total (l)	200	300	500
Volumen de intercambio 1º (l)	9,08	9,95	15,31
Superficie de intercambio (m ²)	1,46	1,60	2,46
Peso en vacío (Kg)	87	128	182
Modelo de captador solar (uds.)	VSH2600 (x1)	VSH2200 (x2)	VSH2200 (x3)
Área útil solar (m ²)	2,33	4,00	6,00
Relación V/A (l/m ²)	85,84	75,00	83,33
Peso en vacío (Kg)	137	208	302
Dimensiones del acumulador (mm)	Ø 590 x 1.315	Ø 650 x 1.560	Ø 750 x 1.810
Régimen de presiones máximas (bar)	Producción: 3,0 bar Primario: 9,0 bar Secundario: 8,0 bar		
Fluido caloportador	Agua glicolada concentrada al 30% medio de propilenglicol		
Estructura soporte	Acero DX51 normalizado con perfiles 37x2,5 mm		
Normativa	EN 12976-1:2006 EN 12976-2:2006 PSK-108:2012 ISO 9806:2013		



Componentes integrados

CAPTADOR SOLAR VSH	INTERACUMULADOR SOLAR VSE	ESTRUCTURA SOPORTE DX51	GRUPO HIDRÁULICO Y CENTRALITA	KIT DE PIEZAS COMPLETO	FLUIDO ANTICONGELANTE
--------------------	---------------------------	-------------------------	-------------------------------	------------------------	-----------------------

Precios

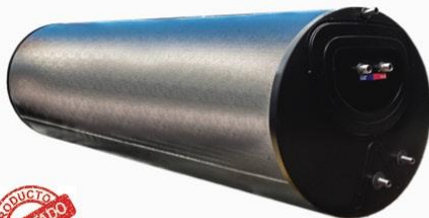
Referencia	Descripción	Volumen (l)	Captador	P.V.P. (€)
2032201	Equipo forzado VSH 200s alta producción. Completo.	200	VSH2600 (x1)	2.085
2032206	Equipo forzado VSH 300 alta producción. Completo.	300	VSH2200 (x2)	2.847
2032212	Equipo forzado VSH 500 alta producción. Completo.	500	VSH2200 (x3)	3.852



Sistemas de energía solar
INTERACUMULADORES SOLARES



acumulador VSH
alta producción



- ◆ Interacumuladores solares de alta producción fabricados bajo los estándares de calidad europeos más exigentes.
- ◆ Fabricado en acero al carbono con circuito de consumo en acero inoxidable 316L.
- ◆ Circuito solar independiente con cámara de expansión integrada para absorber los cambios de volumen.
- ◆ Diseño patentado con dos y tres circuitos independientes de alta transferencia térmica.
- ◆ Aislado exteriormente con poliuretano rígido inyectado de alta densidad de 50 mm de espesor.
- ◆ Acabado exterior en chapa de aluminio altamente resistente para ambientes extremos.
- ◆ Interacumulador solar garantizado por 5 años.

Características técnicas

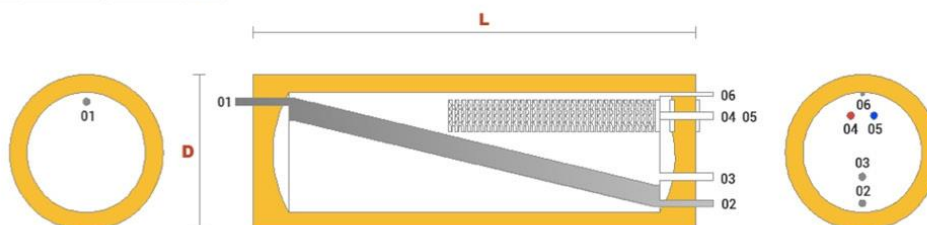
Interacumulador	HS 150	HS 150 IP	HS 200	HS 200 IP	HS 300	HS 300 IP
Volumen (l)	150		200		300	
Volumen circuito 1º (l)	143	8,75	170	8,75	271	17,50
Volumen circuito 2º (l)	0	143	0	170	0	271
Circuito de consumo (l)	5,60		6,16		9,24	
Presión máxima circuito 1º (bar)	9		9		9	
Presión máxima circuito 2º (bar)	3		3		3	
Presión máxima circuito consumo (bar)	8		8		8	
Peso (Kg)	39,20	41,70	43,30	45,80	59,50	64,50
Diámetro Ø (mm)	D	560	560		560	
Longitud (mm)	L	1.070	1.235		1.850	

INTERACUMULADOR	Toma
01 Retorno captación	18
02 Ida captación	18
03 Llenado/vaciado depósito	18
04 Salida ACS	18
05 Entrada RED	18
06 Válvula de seguridad 8 bar	15



Serpentín intercambiable de alta transferencia térmica y alta producción de ACS en acero inoxidable 316L

DIMENSIONES INTERACUMULADORES SOLARES DPS



Los interacumuladores solares de la gama HS, al disponer de dos circuitos, no existe el de transferencia primario.

Precios

Referencia	Descripción	Volumen (l)	Circuitos	P.V.P. (€)
2012001	Interacumulador solar HS 150. Consumo en inox. 316L	150	2	630
2012002	Interacumulador solar HS 200. Consumo en inox. 316L	200	2	664
2012003	Interacumulador solar HS 300. Consumo en inox. 316L	300	2	777
2012000	Interacumulador solar HS 150 I.P. Consumo en inox. 316L	150	3	697
2012902	Interacumulador solar HS 200 I.P. Consumo en inox. 316L	200	3	730
2012903	Interacumulador solar HS 300 I.P. Consumo en inox. 316L	300	3	860



Sistemas de energía solar
INTERACUMULADORES SOLARES



acumulador VSE
alta producción

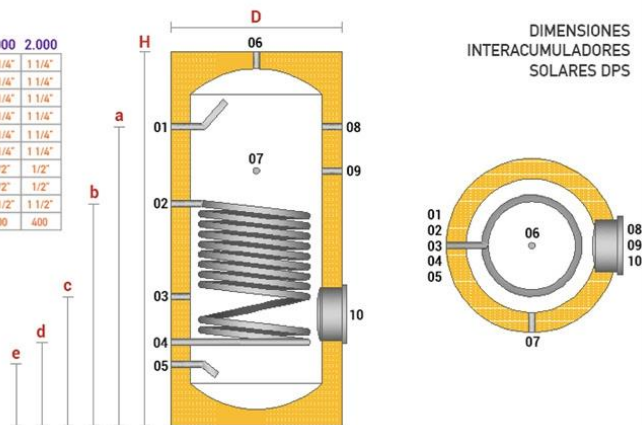
- ◆ Interacumuladores solares de alta producción fabricados bajo los estándares de calidad europeos más exigentes.
- ◆ Fabricado en acero al carbono, dispone de un ánodo de sacrificio de magnesio en su parte superior.
- ◆ Tratamiento interior con doble vitrificado y sistema de intercambio sobredimensionado para una alta transferencia.
- ◆ Aislado exteriormente con poliuretano rígido inyectado hasta 100 mm para grandes capacidades y 50 mm para pequeños.
- ◆ Lámina de fibra de poliéster en acabado exterior muy resistente a ambientes extremos.
- ◆ Boca de registro DN400 para inspección en acumuladores desde 1.000 litros según normativa vigente.
- ◆ Interacumulador solar garantizado por 5 años.



Características técnicas

Interacumulador	VSE 200	VSE 300	VSE 500	VSE 1000	VSE 2000
Volúmen (l)	200	300	500	1.000	2.000
Superficie de intercambio (m ²)	1,46	1,60	2,46	2,97	4,65
Longitud del serpentín (m)	7,97	8,73	13,43	16,21	25,38
Volumen del serpentín (l)	9,08	9,95	15,31	18,48	28,93
Peso (Kg)	87	128	182	302	522
Diámetro Ø (mm)	D 590	650	750	1.000	1.260
Altura (mm)	H 1.315	1.560	1.810	2.060	2.250
Cota a toma 01	a 1.100	1.340	1.520	1.560	1.820
Cota a toma 02	b 870	817	1.010	1.110	1.280
Cota a toma 03	c 510	579	680	930	1.100
Cota a toma 04	d 325	340	360	460	500
Cota a toma 05	e 230	250	280	370	420

INTERACUMULADOR	200	300	500	1.000	2.000
01 Salida ACS	1"	1"	1"	1 1/4"	1 1/4"
02 Retorno captación	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"
03 Recirculación - ST	3/4"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/4"
04 Ida captación	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"
05 Entrada RED	1"	1"	1"	1 1/4"	1 1/4"
06 Ánodo de magnesio	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"
07 Sonda T	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
08 Termómetro - ST	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
09 Resistencia eléctrica	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"
10 Boca de registro (DN mm)	102	102	102	400	400



Precios

Referencia	Descripción	Volúmen (l)	Sup. Inter. (m ²)	P.V.P. (€)
2012920	Interacumulador solar VSE 200 acero vitrificado.	200	1,46	928
2012921	Interacumulador solar VSE 300 acero vitrificado.	300	1,60	1.260
2012922	Interacumulador solar VSE 500 acero vitrificado.	500	2,46	1.772
2012923	Interacumulador solar VSE 1.000 acero vitrificado.	1.000	2,97	3.280
2012924	Interacumulador solar VSE 2.000 acero vitrificado.	2.000	4,65	5.404

Sistemas de energía solar

ESTRUCTURAS SOPORTE Y ACCESORIOS**Estructuras soporte fabricadas en acero DX-51**

Referencia	Descripción	P.V.P. (€)
2022030	Soporte para 1 captador vertical	79
2022031	Soporte para 2 captadores verticales	93
2022034	Soporte para 3 captadores verticales (VSH2200)	144
2022036	Soporte para 3 captadores verticales (VSH2600)	144
2022032	Soporte para 1 captador horizontal (HSH2200)	76
2022033	Soporte para 1 captador horizontal (HSH2600)	76

**Estructuras soporte fabricadas en acero inoxidable 316L**

Referencia	Descripción	P.V.P. (€)
2022041	Soporte para 1 captador vertical	143
2022042	Soporte para 2 captadores verticales	174
2022043	Soporte para 3 captadores verticales (VSH2200)	282
2022044	Soporte para 3 captadores verticales (VSH2600)	282
2022045	Soporte para 1 captador horizontal (HSH2200)	133
2022046	Soporte para 1 captador horizontal (HSH2600)	133

**Conexiones SAMBRA y kit de batería**

Referencia	Descripción	P.V.P. (€)
2040114	Conexión SAMBRA Manguito recto 18-18 H	6
2040144	Conexión SAMBRA Reducción 18 - 1/2" M	4
2040103	Conexión SAMBRA Tapón 18	4
2040102	Conexión SAMBRA Codo 90° 18 - 3/4" M	6
2040123	Conexión SAMBRA Multipezza (kit salida caliente)	26
2040157	Kit para montaje de batería de captadores	126

**Circulación y control**

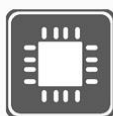
Referencia	Descripción	P.V.P. (€)
2040143	Termostato diferencial con 3 entradas y 2 salidas. PT1000	155
2040157	Grupo circulador de 1 vía con DAB VA65/180. Completo.	494
2040145	Manguito flexible inoxidable para vaso de expansión	10
2040164	Soporte mural para vaso de expansión	16

**Fluido anticongelante PPL al 95%**

Referencia	Descripción	P.V.P. (€)
2040159	Fluido anticongelante garrafa 1,5 litros	13
2040121	Fluido anticongelante garrafa 3 litros	27
2040160	Fluido anticongelante garrafa 25 litros	202

**Vasos de expansión cerrados**

Referencia	Descripción	P.V.P. (€)
2040161	Vaso de expansión de 18 litros	88
2040162	Vaso de expansión de 50 litros	293
2040163	Vaso de expansión de 100 litros	538

**Otros accesorios**

Referencia	Descripción	P.V.P. (€)
2040122	Ánodo de magnesio para protección de acumuladores	95
2040117	Resistencia eléctrica de 1.500 W 1-1/4"	17
2040151	Termostato monoblock para resistencia eléctrica	10
2040128	Válvula termostática 60° máximo de 3/4"	145