

eman ta zabal zazu



Universidad Euskal Herriko
del País Vasco Unibertsitatea

DEPARTAMENTO DE ARQUITECTURA / ARKITEKTURA SAILA

TESIS DOCTORAL

**EVALUACIÓN DEL ESTÁNDAR DE CONSTRUCCIÓN PASSIVHAUS Y SU
APLICACIÓN EN EL ÁMBITO CLIMÁTICO DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA
VASCA Y LA COMUNIDAD FORAL NAVARRA**

El caso de la vivienda colectiva de protección oficial

Autor:

IÑIGO RODRÍGUEZ VIDAL

Directores:

RUFINO JAVIER HERNÁNDEZ MINGUILLÓN

M^a OLATZ IRULEGI GARMENDIA

DONOSTIA-SAN SEBASTIÁN
Noviembre 2015

eman ta zabal zazu



Universidad Euskal Herriko
del País Vasco Unibertsitatea

DEPARTAMENTO DE ARQUITECTURA / ARKITEKTURA SAILA

TESIS DOCTORAL

**EVALUACIÓN DEL ESTÁNDAR DE CONSTRUCCIÓN PASSIVHAUS Y SU
APLICACIÓN EN EL ÁMBITO CLIMÁTICO DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA
VASCA Y LA COMUNIDAD FORAL NAVARRA**

El caso de la vivienda colectiva de protección oficial

Autor:

IÑIGO RODRÍGUEZ VIDAL

Directores:

RUFINO JAVIER HERNÁNDEZ MINGUILLÓN

M^a OLATZ IRULEGI GARMENDIA

DONOSTIA-SAN SEBASTIÁN
Noviembre 2015

PREÁMBULO Y LECTURA DE LA TESIS

Esta Tesis Doctoral trata sobre la aplicación del estándar Passivhaus en los climas del área geográfica que abarcan las comunidades del País Vasco y Navarra. Sin embargo el análisis se puede extender a todas las medidas que conducen a un ahorro de energía en la edificación reguladas por la legislación europea, especialmente con la Normativa Europea de Eficiencia en los Edificios, Directiva 2010/31 [UE DIRECTIVA 2010/31/EU] y la Normativa Europea de Eficiencia Energética Directiva 2012/27 [UE DIRECTIVA 2012/27/EU] particularmente las que utilicen los sistemas de conservación de la energía mediante el aislamiento y la alta estanqueidad al aire.

El objetivo de reducción de gasto de energía se sustancia en la tendencia a construir edificios de consumo energético definidos como casi nulo, definiendo como tal a aquel **“edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto, que se determinará de conformidad con el anexo I. La cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno”** [UE DIRECTIVA 2010/31/EU].

Los plazos propuestos para alcanzar el objetivo de construir edificios de consumo casi nulo son el 31 de diciembre de 2020 para edificios nuevos en general y los edificios de carácter público que se ocupen para después del 31 de diciembre de 2018.

La segunda línea argumental de esta Tesis se refiere al confort y lo recoge la propia Directiva **2010/31**, en su **Artículo 4** que dice que **“Estos requisitos deberán tener en cuenta las condiciones ambientales generales interiores, para evitar posibles efectos negativos, como una ventilación inadecuada, así como las particularidades locales, el uso a que se destine el edificio y su antigüedad.”**

Por tanto, el estudio tiene como fin evaluar si la utilización de los requisitos promulgados por el estándar Passivhaus para alcanzar los objetivos de eficiencia energética que promueve la Unión Europea para los edificios de viviendas más característicos del urbanismo de la región de estudio, vivienda colectiva regulada por las normas de Vivienda de Protección Oficial (VPO), no tendrán repercusión en el confort interior, especialmente durante el periodo estival.

El estándar Passivhaus abarca todas las características físicas del edificio, construcción, instalaciones, aspectos culturales, etc. Entre estos se encuentran algunos conceptos que en la construcción española se encuentran muy alejados de los niveles alcanzados por el estándar, por ejemplo la construcción sin puentes térmicos, la estanqueidad a las infiltraciones de aire no deseadas, las ventanas de alto aislamiento, y los sistemas de ventilación mecánica de doble flujo interconectados a sistemas de aprovechamiento de energías renovables. Estos aspectos están muy lejos de estar incorporados en la cultura de los agentes intervinientes en la edificación, tanto en un plano teórico (arquitectos, ingenieros) como en el plano práctico (constructores, instaladores). Para desarrollar todos estos fundamentos del estándar se requeriría de un mayor espacio para poder ser expuestos con rigor. Se propone por ello una bibliografía complementaria con buena parte de los documentos consultados para la realización de esta Tesis.

Para la lectura de esta Tesis indicar que ésta se distribuye en 9 Capítulos:

-El Capítulo 1º marca los objetivos e hipótesis de partida de la Tesis.

-El Capítulo 2º resume las características del estándar Passivhaus, un amplio análisis de los estudios relacionados con el comportamiento de viviendas Passivhaus o de

consumo energético casi nulo en los periodos estivales realizados en Europa, las definiciones del confort y su relación con la salud en las diferentes normativas y un desglose de los sistemas de refrigeración pasivos y activos posibles en vivienda colectiva.

-El Capítulo 3º contiene la caracterización de las zonas climáticas presentes en el área de estudio. Se incluye en el apartado 3.3 un importante análisis de la consideración de los aportes internos en el estándar y en otras normativas.

-El Capítulo 4º define los modelos tipológicos que van a ser utilizados en este estudio.

-Los Capítulos 5º, 6º, 7º y 8º evalúan mediante simulación dinámica el comportamiento energético y de confort de los modelos tipológicos propuestos en los climas seleccionados construidos según el estándar Passivhaus. Estos Capítulos, debido a lo numeroso y variado de los sistemas analizados y los resultados obtenidos, contienen en el apartado de Criterios y Objetivos un esquema de resultados para facilitar la búsqueda de los diferentes análisis realizados (Se adjunta igualmente en el listado de Figuras al principio de esta Tesis.

-Los Capítulos 9º y 10º se dedican a las conclusiones finales y a definir las líneas de investigación futuras respectivamente.

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	CONTEXTO DEL ESTUDIO	1
1.2	ANTECEDENTES	12
1.3	OBJETIVOS	20
1.4	HIPÓTESIS DE PARTIDA	21
1.5	MÉTODOLÓGIA	22
1.6	LIMITACIONES	26
1.7	ESTRUCTURA DE LA TESIS	27
2	FUNDAMENTOS TÉCNICOS	29
2.1	LOS PRINCIPIOS DEL ESTÁNDAR PASSIVHAUS	29
2.1.1	HISTORIA DEL NACIMIENTO DEL ESTÁNDAR	29
2.1.2	INTRODUCCION AL ESTÁNDAR	36
2.1.3	PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA VIVIENDA PASIVA	63
2.2	COMPORTAMIENTO DE EDIFICIOS CONSTRUIDOS EN EL ESTÁNDAR PASSIVHAUS EN VERANO. ESTUDIOS SOBRE EL SOBRECALENTAMIENTO	72
2.2.1	INTRODUCCION	72
2.2.2	ANTECEDENTES	73
2.2.3	CONCLUSIONES	123
2.3	DEFINICIONES DEL CONFORT TÉRMICO INTERIOR. SOBRECALENTAMIENTO Y SUS CONSECUENCIAS	129
2.3.1	CONFORT TÉRMICO EN VERANO	129
2.3.2	MODELOS DE CONFORT	130
2.3.3	RIESGO DE SOBRECALENTAMIENTO	138
2.3.4	CONCLUSIONES	144
2.4	ESTRATEGIAS DE ENFRIAMIENTO PASIVO E HIBRIDO	151
2.4.1	LIMITACIÓN DE LAS GANANCIAS DE CALOR	151
2.4.2	MODULACIÓN DE LAS GANANCIAS DE CALOR	153
2.4.3	EXPULSIÓN DEL CALOR	154
2.4.4	REFRIGERACIÓN ACTIVA	160
2.4.5	SISTEMAS ANALIZADOS EN ESTE ESTUDIO	161
3	FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS	163
3.1	FUNDAMENTOS DE LA SIMULACIÓN TÉRMICA DE LOS EDIFICIOS	163
3.2	DETERMINACIÓN DE LAS CIUDADES REFERENCIA. CLIMA Y DATOS CLIMÁTICOS	165
3.2.1	LA IMPORTANCIA DEL CLIMA EN EL ESTÁNDAR PASSIVHAUS	165
3.2.2	CONSIDERACIONES GENERALES. POBLACIÓN Y DENSIDAD	166
3.2.3	CLASIFICACIONES CLIMATICAS	169
3.2.4	DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS CLIMÁTICAS Y LAS LOCALIDADES DE REFERENCIA	195
3.2.5	SITUACIONES CLIMÁTICAS EXTREMAS: CAMBIO CLIMÁTICO, MICROCLIMAS URBANOS Y OLAS DE CALOR	196
3.2.6	DATOS CLIMÁTICOS UTILIZADOS EN ESTE ESTUDIO	207
3.3	GANANCIAS DE CALOR INTERNAS EN PASSIVHAUS	208
3.3.1	GANANCIAS DE CALOR EN LA NORMATIVA ESPAÑOLA	211
3.3.2	GANANCIAS DE CALOR EN OTRAS NORMATIVAS	213
3.3.3	GANANCIAS DE CALOR UTILIZADAS EN ESTE ESTUDIO	214
4	ELECCIÓN DEL EDIFICIO DE REFERENCIA	216

4.1	TIPOLOGIA EDILICIA	216
4.1.1	SINTESIS TIPOLOGICA EN EDIFICACIÓN DE VIVIENDA PÚBLICA EN EL PAÍS VASCO Y NAVARRA	217
4.1.2	MODELO TIPOLOGICO SIMULADO	221
4.1.3	ESTUDIO TIPOLOGICO EN DOS ÁREAS DE PAMPLONA.	224
4.2	TIPOLOGIA CONSTRUCTIVA	229
4.2.1	CONSTRUCCION TÍPICA VIVENDA PROTECCION OFICIAL EN LA ZONA DE ESTUDIO	229
4.2.2	CONSTRUCCIÓN EN PASSIVHAUS	231
4.2.3	TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA DEL MODELO SIMULADO	236
5	EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS VIVIENDAS	239
5.1	CONSIDERACIONES INICIALES	239
5.2	ESTRUCTURA GENERAL DEL ANÁLISIS	241
5.3	PARTE 1ª: ADECUACIÓN AL ESTÁNDAR	245
5.3.1	ESTRUCTURA DE RESULTADOS DE LA PARTE 1ª: ADECUACIÓN AL ESTÁNDAR	245
5.3.2	FASE I: EVALUACIÓN	247
5.3.3	FASE II: OPTIMIZACIÓN	266
5.4	PARTE 2ª. ADAPTACIÓN DEL ESTÁNDAR AL CLIMA DE ESTUDIO	274
5.4.1	ESTRUCTURA DE RESULTADOS DE LA PARTE 2ª: ADAPTACIÓN AL ESTÁNDAR	274
5.4.2	FASE I: APROXIMACIÓN AL PROBLEMA	276
5.4.3	FASE II: ANALISIS CON SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN ACTIVA	277
5.4.4	FASE III: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE LA VENTILACIÓN MECÁNICA CONTROLADA INTELIGENTE COMO SISTEMA DE REGULACIÓN DEL CONFORT	312
5.4.5	FASE IV: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE LA VENTILACIÓN NATURAL COMO SISTEMA DE REGULACIÓN DEL CONFORT	332
5.5	CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE VIVIENDAS PASSIVHAUS EN LA ZONA DE ESTUDIO	359
5.5.1	REFLEXIONES GENERALES	359
5.5.2	CONCLUSIONES POR ZONAS CLIMÁTICAS	363
6	ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS APORTES INTERNOS	369
6.1	INTRODUCCIÓN	369
6.2	CRITERIOS Y OBJETIVOS	369
6.2.1	ESTRUCTURA DE RESULTADOS DEL CAPÍTULO DE ANÁLISIS DE APORTES INTERNOS	370
6.3	RESULTADOS	372
6.3.1	SISTEMAS CON REFRIGERACIÓN ACTIVA	372
6.3.2	SISTEMA VENTILACIÓN MECÁNICA CONTROLADA (VMC)	376
6.3.3	VENTILACIÓN NATURAL	379
6.4	CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS APORTES INTERNOS	385
7	ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO	389
7.1	INTRODUCCIÓN	389
7.2	CRITERIOS Y OBJETIVOS	389
7.2.1	ESTRUCTURA DE RESULTADOS DEL CAPÍTULO DE ANÁLISIS DEL CAMBIO CLIMÁTICO	389
7.3	COMPARATIVO ESCENARIOS CLIMÁTICOS	391
7.4	ANÁLISIS DEL CONTROL DEL SOBRECALENTAMIENTO CON LA VENTILACIÓN NATURAL INTENSIVA Y SIN REFRIGERACIÓN ACTIVA	392
7.4.1	CAMBIO CLIMÁTICO Y APORTES INTERNOS	396
7.4.2	ANÁLISIS DEL CONFORT POR CIUDADES	397
7.5	ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS CON REFRIGERACIÓN ACTIVA	408
7.5.1	ANÁLISIS DEL CONFORT POR CIUDADES	412
7.6	CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DEL CAMBIO CLIMÁTICO	423

8	ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA INERCIA TÉRMICA	425
8.1	INTRODUCCIÓN	425
8.2	CRITERIOS Y OBJETIVOS	425
8.2.1	ESTRUCTURA DEL CAPÍTULO DE ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA INERCIA TÉRMICA	426
8.3	RESULTADOS	428
8.3.1	ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE LA VENTILACION NATURAL	428
8.3.2	SISTEMAS CON REFRIGERACIÓN ACTIVA Y VENTILACIÓN NOCTURNA BAJA	438
8.4	CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE LA INERCIA TÉRMICA EN FACHADAS	439
9	CONCLUSIONES	441
9.1	PROTECCIONES SOLARES	444
9.2	VENTILACIÓN NOCTURNA	447
9.3	REFRIGERACIÓN ACTIVA	448
9.4	APORTES INTERNOS	449
9.5	MODELOS DE CONFORT	450
9.6	CAPACIDAD TÉRMICA	451
9.7	CAMBIO CLIMÁTICO	452
9.8	TIPOLÓGICAS Y CONFIGURACIÓN URBANA	452
9.9	ANÁLISIS POR ZONAS CLIMÁTICAS	452
9.10	CONCLUSIONES FINALES	453
10	FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACION	455
11	BIBLIOGRAFÍA	457
11.1	BIBLIOGRAFIA MENCIONADA EN EL ESTUDIO	457
11.2	BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA	470
12	ANEXOS	479
12.1	ANEXO A. MÓDULO ANALIZADO	479
12.2	ANEXO B: RESUMEN DE LA NORMATIVA DE VIVIENDA DE PROTECCIÓN OFICIAL EN EL PAÍS VASCO	484
12.3	ANEXO C. DATOS CLIMÁTICOS DE LAS CIUDADES ESTUDIADAS	485

**EVALUACIÓN DEL ESTÁNDAR DE CONSTRUCCIÓN PASSIVHAUS Y SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO CLIMÁTICO
DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA VASCA Y LA COMUNIDAD FORAL NAVARRA**

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

INDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1º

Tabla 1.1. Diseño intuitivo frente a diseño lógico y analítico

CAPÍTULO 2º

Tabla 2.1. Soluciones más empleadas para el calentamiento del aire exterior en Passivhaus.

Tabla 2.2. Criterios para cumplir el estándar Passivhaus en obra nueva residencial (última revisión 13-09-2013)

Tabla 2.3. Transmitancias recomendadas de los elementos constructivos en el estándar Passivhaus

Tabla 2.4. Medidas de ahorro energético recomendadas o utilizadas habitualmente por el Passivhaus Institut.

Tabla 2.5. Consumo eléctrico de un hogar medio en España.

Tabla 2.6. Criterios principales para la obtención del sello Passivhaus en edificios rehabilitados.

Tabla 2.7. Transmitancias recomendadas en rehabilitación según el estándar Passivhaus.

Tabla 2.8. Comparativo de la demanda de calefacción en las viviendas Fredensborg, del arquitecto Jorn Utzon, antes y después de adecuarla a los requerimientos Passivhaus.

Tabla 2.9. Objetivos alcanzados y deficiencias del concepto de Casa Pasiva en relación a la sostenibilidad y la energía.

Tabla 2.10. Cuadro comparativos de valores máximos y mejores prácticas en viviendas Passivhaus.

Tabla 2.11. Pérdidas por transmisión en una vivienda de apartamentos con diferentes niveles de aislamiento.

Tabla 2.12. Rango de tasa de renovación al aire (renovaciones/hora)

Tabla 2.13. Tasa de infiltración valorada en el certificado emitido por el Cadem.

Tabla 2.14. Datos del CADEM a partir de las pruebas de infiltración

Tabla 2.15. Regresión de datos a partir de la calificación energética del CADEM.

Tabla 2.16. Resumen de simulaciones realizadas en el proyecto Passive-On

Tabla 2.17. Valores estudiados en el proyecto de vivienda pasiva dentro del Proyecto Passive-On, en Marsella

Tabla 2.18. Valores estudiados en el proyecto de vivienda pasiva dentro del Proyecto Passive-On, en Marsella

Tabla 2.19. Datos climáticos comparados de Milán, Roma y Palermo

Tabla 2.20. Resultados de la modelización de una vivienda Passivhaus en Milán

Tabla 2.21. Condiciones climáticas de las diferentes ciudades del estudio y las ciudades más importantes de este estudio.

Tabla 2.22. Demandas de energía y cargas de calefacción y refrigeración para un edificio Passivhaus en 12 ciudades del Mediterráneo y en la ciudad de referencia de Manheim.

Tabla 2.23. Demandas de energía y cargas de calefacción y refrigeración para un edificio Passivhaus en 12 ciudades del Mediterráneo y en la ciudad de referencia de Manheim

Tabla 2.24. Características del confort térmico interior, de diseño y datos de las encuestas en tres de las viviendas del proyecto Comfort House

Tabla 2.25. Demandas de energía y cargas de calefacción y refrigeración para un edificio Passivhaus y un edificio sin aislar en cinco ciudades alrededor del mundo.

Tabla 2.26. Patrones de funcionamiento de ventilación natural y de ocupación

Tabla 2.27. Número de horas de temperatura seca en diferentes rangos

Tabla 2.28. Resumen de componentes de viviendas simuladas

Tabla 2.29. Demandas anuales de calefacción y refrigeración

Tabla 2.30. Simulación en el escenario A1B en la variante más desfavorable de invierno frío y verano cálido.

Tabla 2.31. Valores de los cuatro modelos de vivienda simulados para el clima de referencia 1961-1990, 2005, y para el percentil del 90% del 2030, 2050 y 2080 según el modelo A1F1.

Tabla 2.32. Resumen de estudios sobre confort de verano en edificios Passivhaus o bajo consumo energético. NORTE DE EUROPA.

Tabla 2.33. Resumen de estudios sobre confort de verano en edificios Passivhaus o bajo consumo energético. CENTRO DE EUROPA

Tabla 2.34. Resumen de estudios sobre confort de verano en edificios Passivhaus o bajo consumo energético. SUR DE EUROPA

Tabla 2.35. Escala de sensación térmica de siete niveles de la UNE-EN ISO 7730:2006

Tabla 2.36. Comparativa de temperatura exterior utilizada en los dos modelos adaptativos ASHRAE 55 y EN UNE 15251

CAPÍTULO 3º

Tabla 3.1. Población de las mayores localidades de la CAV y CFN

Tabla 3.2. Temperaturas media °C, máxima °C y mínima °C el 16 de diciembre de 2013 con fuerte viento sur acentuando el efecto foehn y comparativa con los valores normales medios.

Tabla 3.3. Efectos de los componentes microclimáticos

Tabla 3.4. Irradiación solar Global kW/m²día

Tabla 3.5. Irradiación media diaria en el periodo 1983-2005 kW/m² día

Tabla 3.6. Número de horas de sol en el periodo 1971-2000

Tabla 3.7. Número de días cubiertos en el periodo 1971-2000

Tabla 3.8. Número de días con niebla en el periodo 1971-2000

Tabla 3.9. Humedad relativa en % mensuales y anuales en el periodo 1971-2000

Tabla 3.10. Temperaturas medias °C mensuales y anuales en el periodo 1971-2000

Tabla 3.11. Temperaturas medias °C mensuales y anuales en el periodo 1971-2000

Tabla 3.12. Número de días cálidos, fríos o muy fríos

Tabla 3.13. Porcentaje de días muy fríos (mf), fríos (f), templados (t), cálidos (c) y muy cálidos (mc)

Tabla 3.14. Precipitaciones mensuales y anuales en mm en el periodo 1971-2000

Tabla 3.15. Días de nieve, granizo y tormenta en diversas ciudades del ámbito de estudio.

Tabla 3.16. Resumen de las características de los climas en el País Vasco y Navarra

Tabla 3.17. Clasificación climática propuesta por Martín Olcina

Tabla 3.18. División climática de la Península Ibérica según Inocencio Font Tullot

Tabla 3.19. Clasificación climática de diversos municipios atendiendo al CTE DB HE1 2009.

Tabla 3.20. Aportes internos estándar utilizados en los estudios de referencia del PHI para evaluar el estándar en climas cálidos

Tabla 3.21. Cargas internas en el programa LIDER

Tabla 3.22. Ocupación sensible y latente utilizada en este estudio

Tabla 3.23. Utilización de los aparatos eléctricos e iluminación

Tabla 3.24. Aportes internos comparados en este estudio

Tabla 3.25. Aportes internos comparados en este estudio. Valores anuales obtenidos en la vivienda de referencia

CAPÍTULO 4º

Tabla 4.1. Síntesis tipológica en la edificación de vivienda VPO en el País Vasco y Navarra

Tabla 4.2. Cómputo tipológico en el barrio de Mendillorri, Pamplona-Iruña

Tabla 4.3. Cómputo tipológico en el barrio de Soto Lezkairu, Pamplona-Iruña

Tabla 4.4. Proporción de construcciones ligeras frente a pesadas en función de la zona climática

Tabla 4.5. Tipologías constructivas analizadas en este estudio.

CAPÍTULO 5º

Tabla 5.1. Características constructivas del modelo simulado

Tabla 5.2. Sistemas HVAC

Tabla 5.3. Valores de transmitancia y espesor equivalente de la envolvente térmica optimizados para cumplir con los criterios Passivhaus en el periodo invernal.

Tabla 5.4. Tipología y programación de la protección solar exterior móvil.

Tabla 5.5. Sistemas HVAC con sistema de refrigeración activa

Tabla 5.6. Valores máximos de energía para refrigeración (incluida deshumidificación) según los criterios vigentes a fecha de (13-09-2013)

Tabla 5.7. Comparativo de los valores anuales de Grados Día Secos en base 13°C “Dry Degree Hours” obtenidos para algunas ciudades en (kKH)

Tabla 5.8. Valores anuales de Grados Día Secos en base 13°C “Dry Degree Hours” obtenidos para las ciudades de referencia en (kKH) a partir de datos climáticos Meteonorm para el periodo 2000-2009.

Tabla 5.9. Zona 1-Hondarribia. Demandas de refrigeración y cargas medias diarias máximas para la vivienda tipo [E]

Tabla 5.10. Zona 2-Pamplona-Iruña. Demandas de refrigeración y cargas medias diarias máximas para la vivienda tipo [E]

Tabla 5.11. Zona 3,4,5 Peralta/Azkoien. Demandas de refrigeración y cargas medias diarias máximas para la vivienda tipo [E]

Tabla 5.12. Zona 6 Tudela. Demandas de refrigeración y cargas medias diarias máximas para la vivienda tipo [E]

Tabla 5.13. Zona 7 Isaba. Demandas de refrigeración y cargas medias diarias máximas para la vivienda tipo [E].

Tabla 5.14. Sistemas HVAC en el sistema con VMC

Tabla 5.15. Sistemas HVAC con ventilación natural a través de las ventanas

CAPÍTULO 6º

Tabla 6.1. Aportes internos utilizados en este estudio. Desglose anual

CAPÍTULO 8º

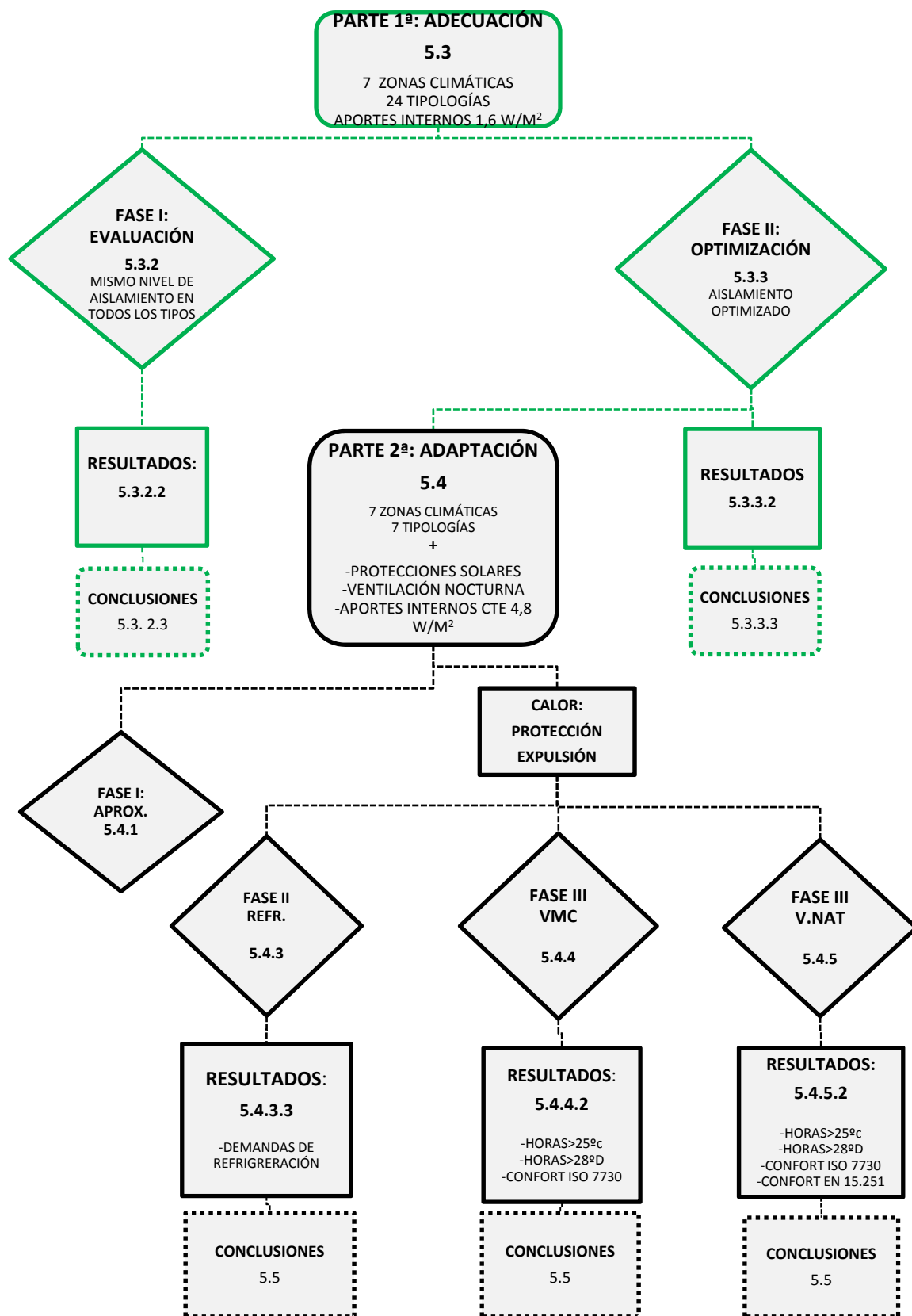
Tabla 8.1. Capacidad térmica interna de los sistemas constructivos analizados.

**EVALUACIÓN DEL ESTÁNDAR DE CONSTRUCCIÓN PASSIVHAUS Y SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO CLIMÁTICO
DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA VASCA Y LA COMUNIDAD FORAL NAVARRA**

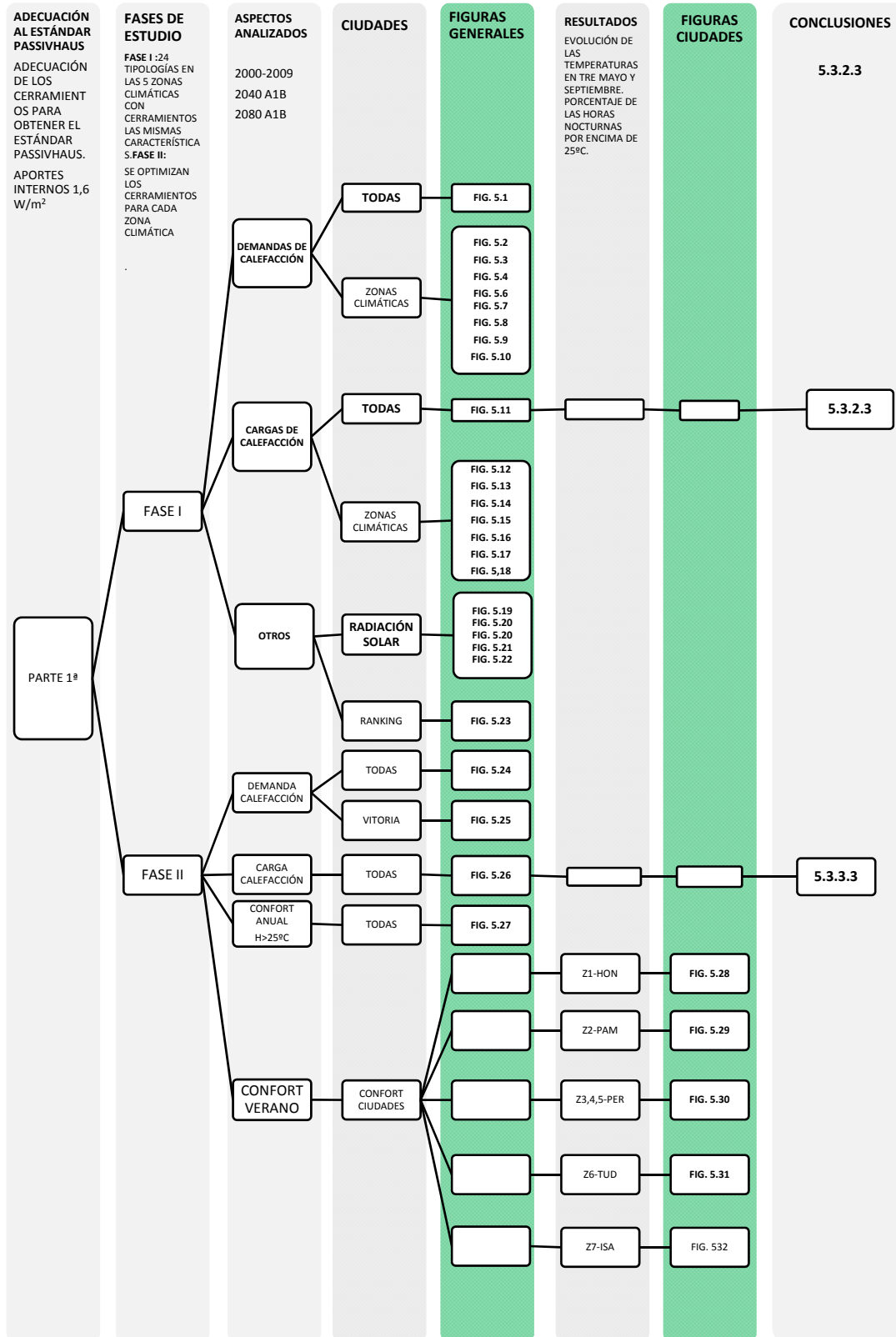
EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

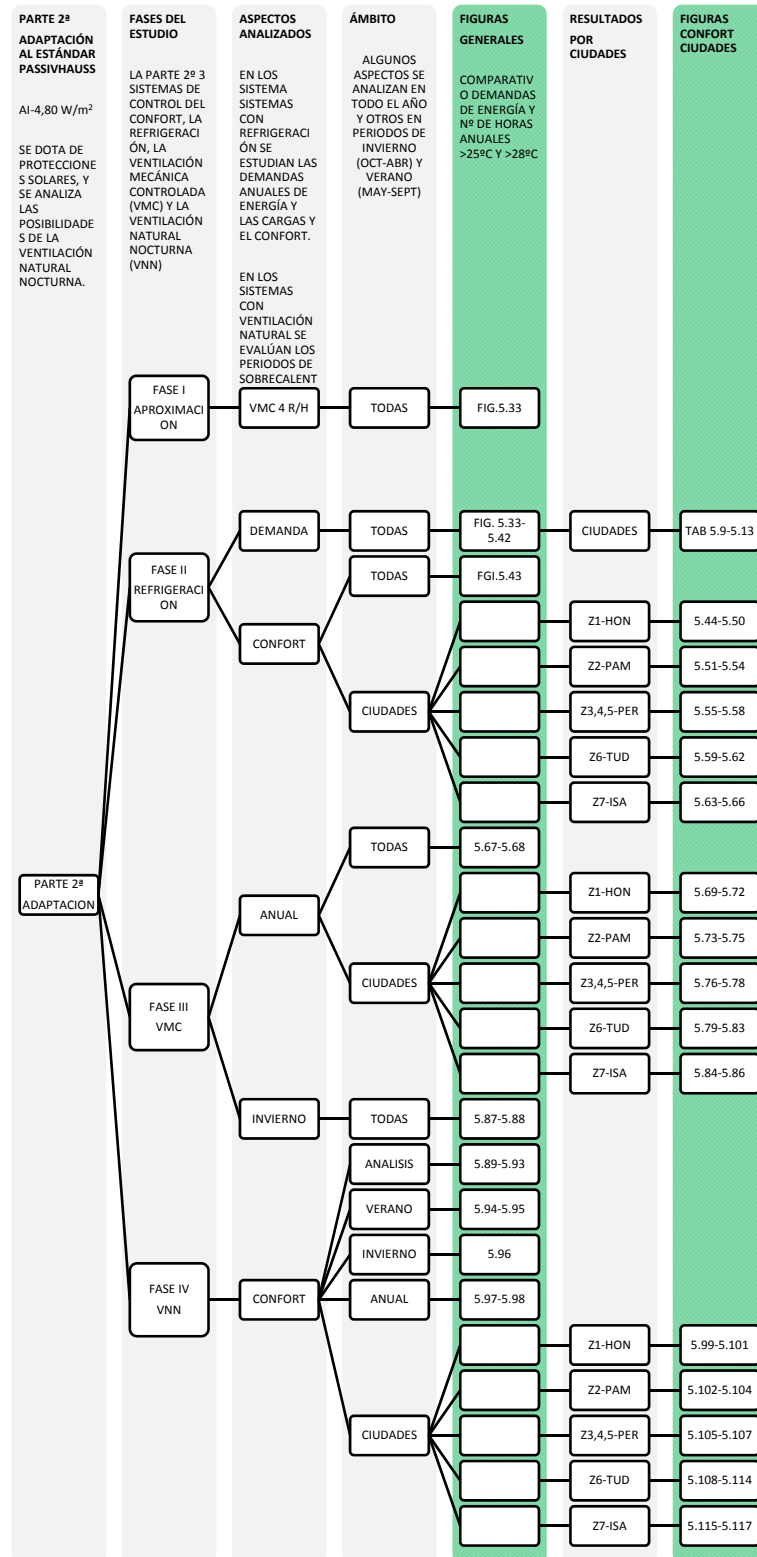
ESTRUCTURA DE RESULTADOS. CAPÍTULO 5º



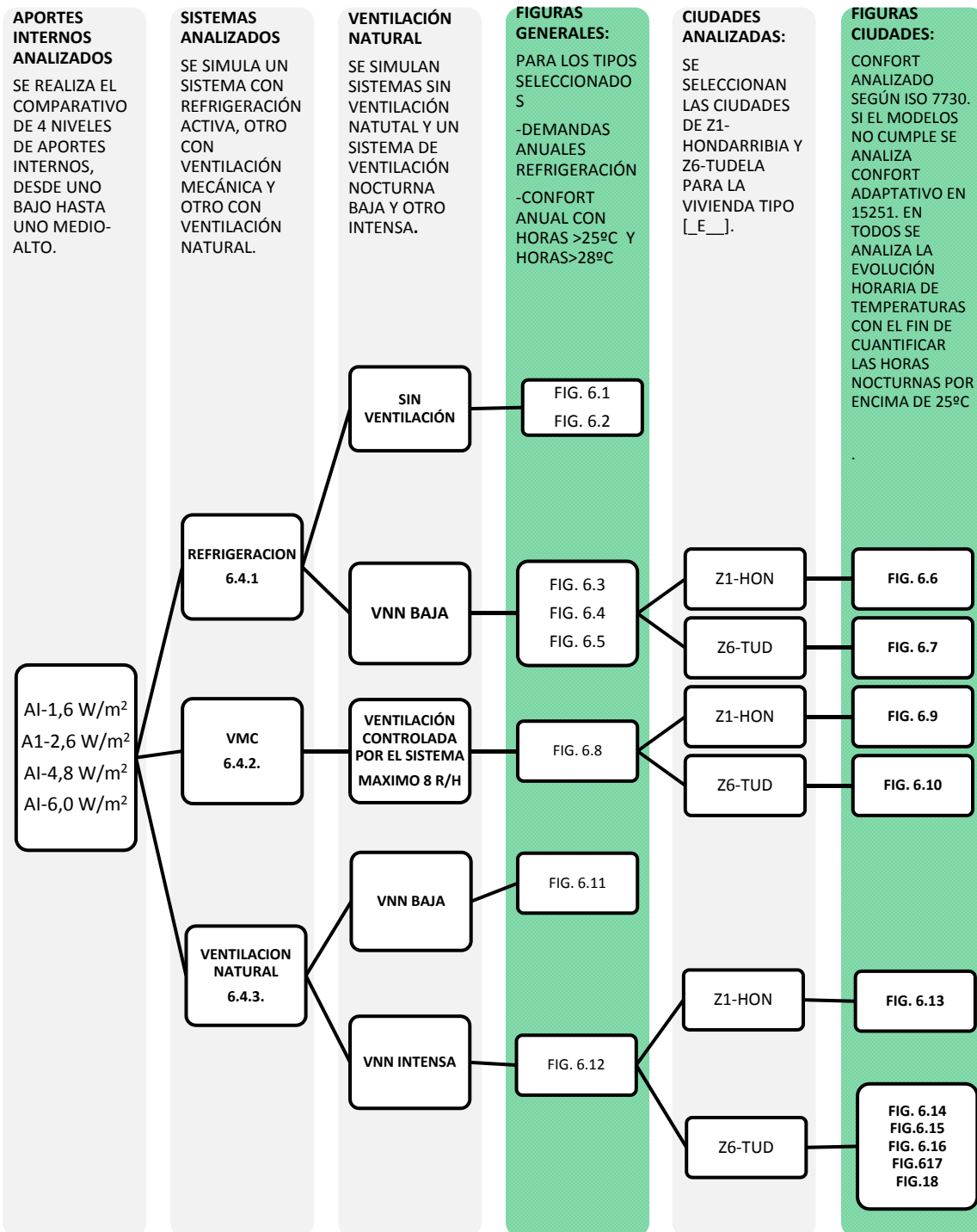
ESTRUCTURA RESULTADOS GENERALES. CAPÍTULO 5º. PARTE 1ª



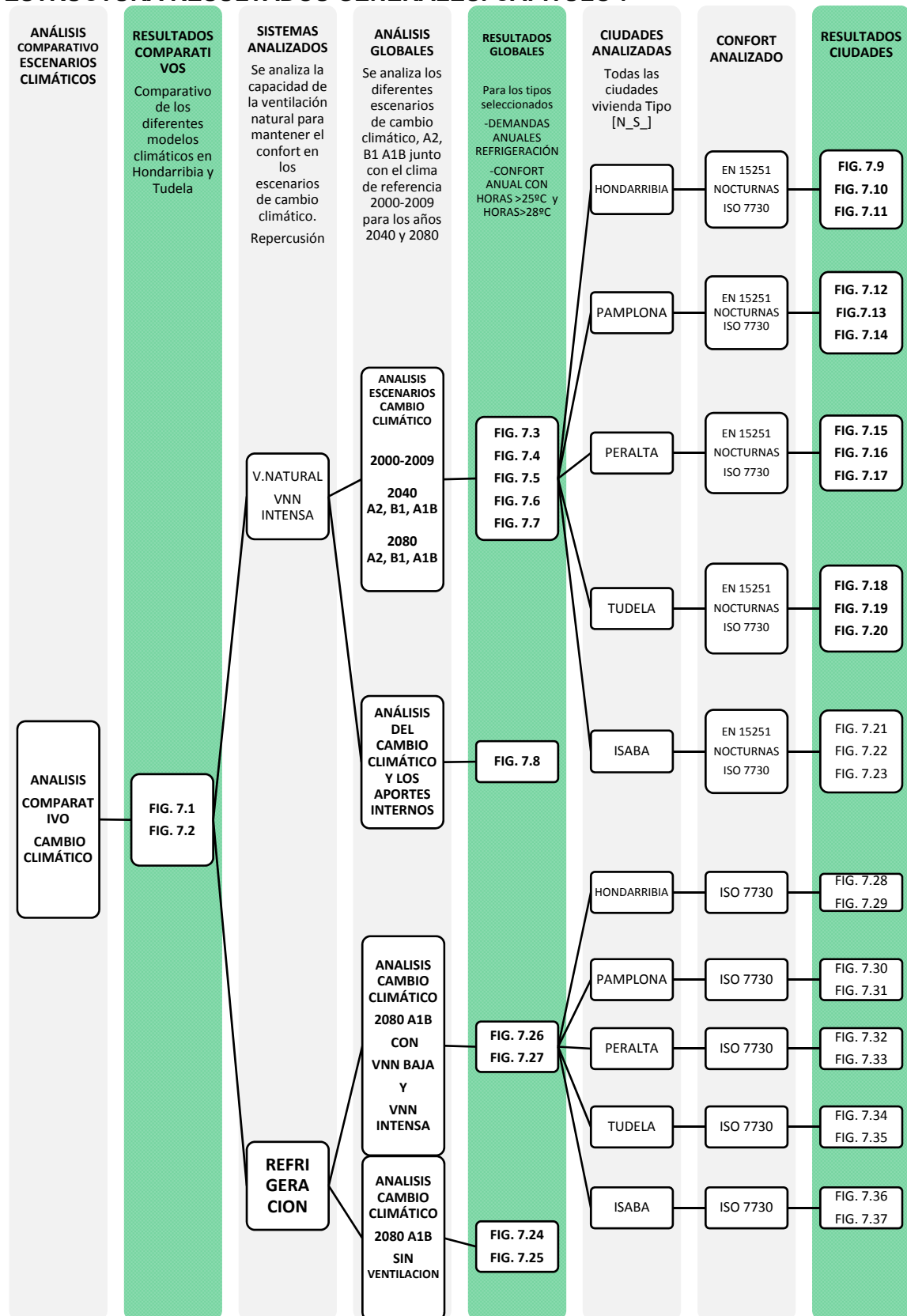
ESTRUCTURA RESULTADOS GENERALES. CAPÍTULO 5º. PARTE 2ª



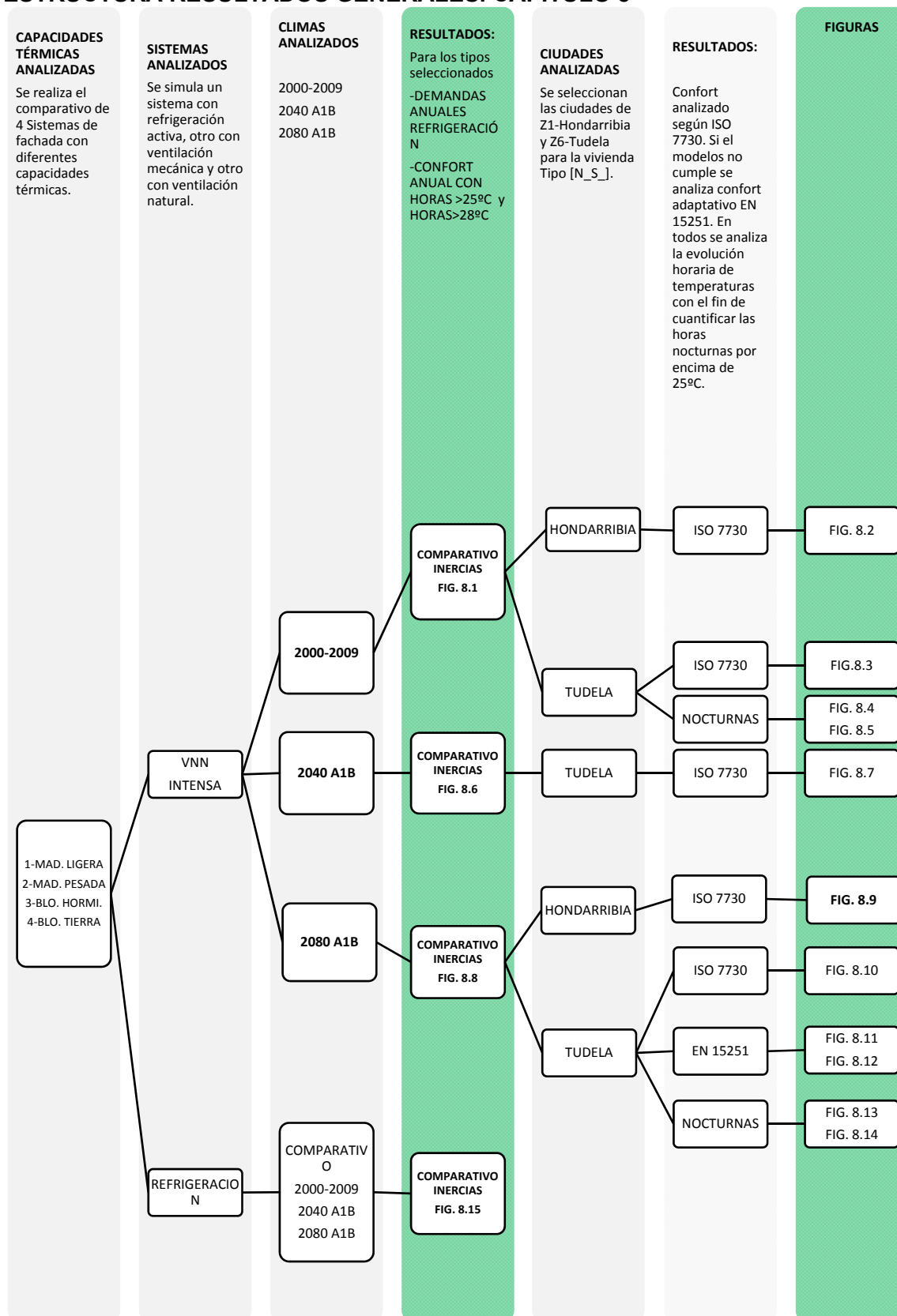
ESTRUCTURA RESULTADOS GENERALES. CAPÍTULO 6º



ESTRUCTURA RESULTADOS GENERALES. CAPÍTULO 7º



ESTRUCTURA RESULTADOS GENERALES. CAPÍTULO 8º



1 INTRODUCCIÓN

1.1 CONTEXTO DEL ESTUDIO

El sector de la edificación representa el 40% del consumo de energía final (y de las emisiones de CO₂) en la Unión Europea, siendo el potencial de ahorro de energía en edificios en torno al 30% [COMISIÓN EUROPEA 2007]. Los datos relativos al uso final de la energía detallados por sectores de actividad indican que el 24,58% de la energía consumida en la EU27 tiene lugar en el sector residencial, y el 11,23% en el sector servicios (lo que suma un consumo energético final referido al sector terciario del 36%), de forma que a nivel de la UE, el sector terciario es el sector que mayor porcentaje de energía demanda, por delante de la industria y el transporte [ECONOMIDOU *et ál.* 2010].

En España, el aumento de consumo de energía de los hogares ha sido del 77% entre 1990 y 2004 [IDAE 2011] en línea a lo sucedido en la globalidad del planeta (Fig. 1.1) y la previsión a futuro es la de un continuo crecimiento debido al mayor equipamiento, nivel de vida y capacidad de poder adquisitivo. Este es un aspecto que se confirma a nivel global, principalmente debido a la irrupción de grandes masas de población en el mercado de consumo energético provenientes de los países con economías emergentes.

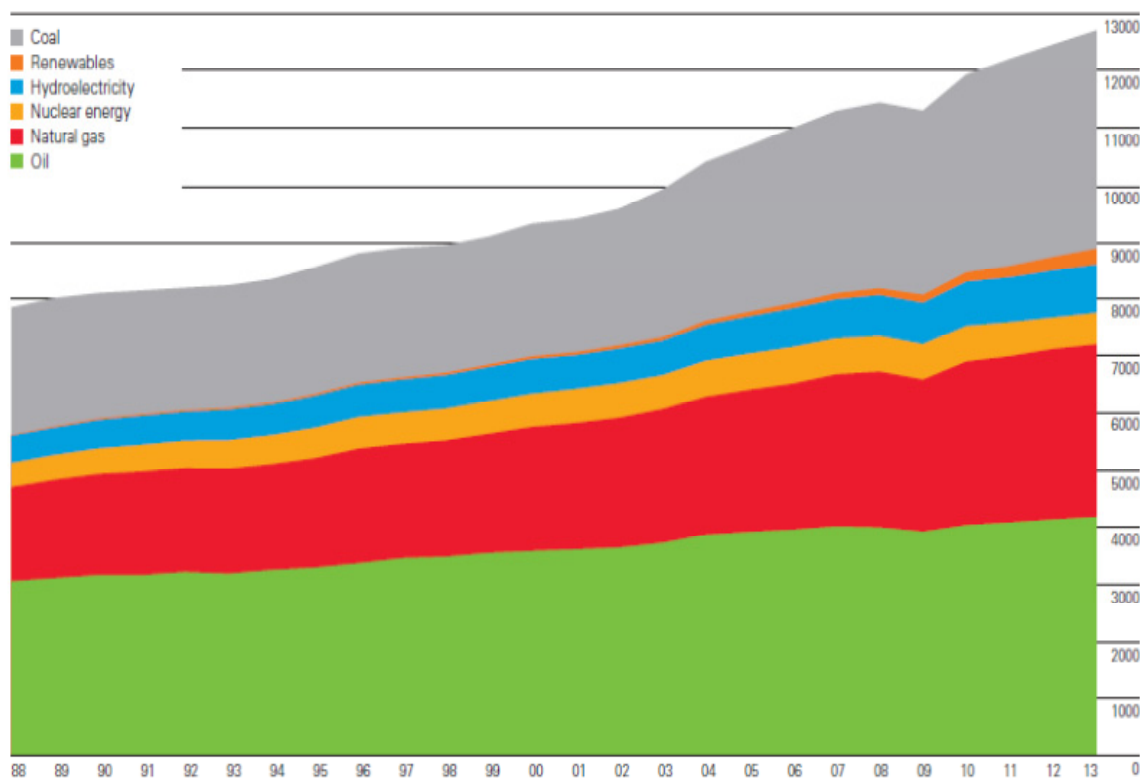


Figura 1.1. Aumento del consumo de energía en el mundo desde 1982 hasta 2013 (En millones de toneladas de petróleo equivalentes) [BRITISH PETROLEUM 2014].

La reducción del consumo de energía y el uso de energías renovables en el sector terciario (residencial y servicios), constituyen una importante medida para reducir la dependencia energética y la consecución del triple objetivo para 2020, ya que invirtiendo

en eficiencia energética en edificios se podría reducir el consumo final de energía en 2020 alrededor del 11% [COMISIÓN EUROPEA 2007]. Bajo este prisma, no es de extrañar el interés de las Administraciones europeas, nacionales, y autonómicas, por conseguir el mayor ahorro energético posible en la construcción y gestión de los edificios. En Europa, el sector terciario se divide en un 75% en residencial y un 25% el resto de edificaciones compuesto por sector comercial 28%, oficinas 23%, educación 17%, hoteles y restaurantes 11%, hospitales 7%, instalaciones deportivas 4% y resto de edificaciones un 11% [ECONOMIDOU *et ál.* 2010].

El consumo energético de los edificios (residencial y servicios), constituye a nivel Europeo el 40% del total, mientras que en España supone el 28% y en la CAPV es del orden del 20%, gracias a que las temperaturas invernales y estivales son más moderadas. Además el País Vasco tiene un nivel de industrialización superior a la media europea y la española (el peso de la industria en España es del 29%), acaparando la industria casi la mitad del consumo de energía atendiendo al reparto sectorial. Si bien, en el sector industrial se vienen implementando medidas de ahorro y eficiencia energética que repercuten en un crecimiento del consumo en el sector más sostenido, en el sector terciario la evolución en el consumo ha tenido un crecimiento considerable en el periodo del 2000 al 2008 (la reducción del consumo a partir de 2008 es en gran parte consecuencia de la crisis energética), y en este sector la implementación de medidas de eficiencia energética (a partir de la entrada en vigor de la normativa energética comunitaria y estatal) es más reciente, y teniendo todavía un amplio margen de desarrollo [ÁLVAREZ, MOSÁCULA 2013]. Es importante recalcar, que aunque no es el objeto de este trabajo, el grueso del parque edificado pertenece a viviendas construidas antes de 1990, un 86%, y que además son los edificios con un mayor consumo energético para calefacción debido a las insuficientes medidas de aislamiento [ECONOMIDOU *et ál.* 2010], lo cual deja en manos de las medidas sobre la rehabilitación el grueso del ahorro energético a futuro.

En cuanto al reparto del consumo energético, la calefacción representa casi la mitad del consumo energético y tanto los consumos de calefacción como de ACS y de cocina son ligeramente superiores a los correspondientes a la media nacional, mientras que el consumo destinado a la iluminación y los electrodomésticos, son inferiores en comparación a la media nacional. En el caso del aire acondicionado, su peso es la mitad y prácticamente despreciable frente a los demás consumos (lo que concuerda con la climatología de la zona), siendo las necesidades de refrigeración en el sector residencial inapreciables.

Las políticas europeas determinan la legislación a desarrollar a nivel estatal de la comunidades autónomas, y en tanto en cuanto la normativa europea sea cada vez más exigente con el objetivo de alcanzar los compromisos a 2020, se irá adaptando la normativa estatal y autonómica a las especificaciones de las nuevas Directivas, estableciendo las líneas a seguir en el corto y medio plazo en la consecución de una edificación más sostenible.

En la última década se han establecido diversas Directivas encaminadas a contribuir a los objetivos de ahorro energético a 2020, que tienen implicaciones sobre la edificación y que imponen requisitos de eficiencia energética para la nueva construcción, los edificios existentes y las intervenciones en rehabilitación de edificios, destacando las Directivas de 2002/91/CE [UE DIRECTIVA 2002/91/EU] y la Directiva 2010/31/UE [UE DIRECTIVA 2010/31/EU], relativas a la eficiencia energética de los edificios. Además, con la combinación de la Directiva 2009/28/CE [UE DIRECTIVA 2009/28/EU] de fomento de las renovables y las Directivas de eficiencia energética, se incide sobre el

cumplimiento de conseguir una cuota de renovables a nivel europeo del 20% en 2020, y reducir los gases de efecto invernadero en línea con la Estrategia Europea 20/20/20.

El modo en que se traspone la normativa comunitaria es de importancia fundamental, ya que las decisiones normativas definen el marco energético, afectando al modelo económico del país y a su competitividad, lo que repercute finalmente sobre los consumidores finales.

Una de las formas de alcanzar los objetivos marcados por todas estas normativas europeas está siendo en la actualidad basarse en los sellos de eficiencia energética más exigentes existentes en Europa; Passivhaus¹, de origen sueco-alemán y con amplia difusión en todo el norte y Centroeuropa, y Minergie², más centrado en Suiza aunque con cada vez mayor difusión en Europa (24.648 edificios certificados en Suiza frente a 406 en el resto de Europa [TIGGES 2013]). Para darse cuenta de la rápida difusión que están teniendo estos sellos a nivel europeo baste señalar que la región de Bruselas Capital, en su programa *Bruxelles Passif 2015* (Bruselas Pasiva 2015), se ha propuesto exigir el estándar Passivhaus a todas las obras de nueva construcción según el decreto publicado en el *Moniteur Belge* (equivalente al Boletín Oficial del Estado en Bélgica) del 26 de marzo de 2013, en el que se señalan los objetivos a alcanzar en el diseño de los nuevos edificios; por ejemplo con una implementación progresiva del valor de tasa de renovación en ensayo n_{50} a los edificios que soliciten licencia a partir del año 2015 y valores de demanda energética propios del estándar Passivhaus. El impacto de la adopción del estándar Passivhaus en la Región de Bruselas será enorme. Se construyen de media cada año 210.000 m² de edificios terciarios y 200.000 m² de edificios residenciales³.

Una de las razones del éxito del estándar es lo relativamente fácil que es describir los objetivos a conseguir, prácticamente cinco puntos a tratar; aislamiento, ventanas, puentes térmicos, estanqueidad y ventilación mecánica de doble flujo, y dos objetivos a conseguir; limitación de la demanda de energía primaria para calefacción y refrigeración, y limitación de la carga de calefacción y refrigeración⁴. La facilidad en cuanto a la comprensión del estándar llega a todos los niveles, puesto que incluso la herramienta de certificación es una aparente sencilla hoja de cálculo informática en formato Windows que no requiere de mayores conocimientos informáticos⁵. Indico aparente facilidad, ya que cada casilla requiere de ciertos conocimientos del funcionamiento de la física del edificio y sobre todo de su construcción, lo que implica una formación específica de diseñadores, constructores y gremios intervinientes en el proceso constructivo. Es decir, el certificado Passivhaus es un sello fácil de entender en cuanto a sus objetivos, pero de mucha mayor dificultad en cuanto a su materialización, principalmente en la ejecución correcta de los sistemas constructivos.

¹ Tanto el estándar Passivhaus como Minergie así como algunas otras marcas comerciales mencionadas se corresponden con marcas registradas. Las referencias a las marcas registradas son omitidas en todo el documento.

² Ambos sellos son de carácter privado y de implementación voluntaria pero de gran difusión. El estándar Minergie está apoyado por la Confederación Helvética y los Cantones. Adoptar el sello Minergie en Suiza acarrea ventajas económicas, por ejemplo aumentando el aprovechamiento de una parcela si las viviendas obtienen el certificado.

³ www.bruxellesenvironnement.be

⁴ Como muestra de lo fácil que es describir los objetivos del estándar, el decreto ley del Moniteur Belge el 26 de marzo de 2013 ocupa seis páginas (en dos idiomas, francés y flamenco), aunque luego nos refiera a un Anexo en el que se exponen en la metodología a utilizar.

⁵ Recientemente se ha puesto a la disposición de los usuarios una aplicación para introducir el edificio en un programa de dibujo en 3D e implementar desde ahí todas las soluciones del certificado Passivhaus [www.designph.org].

La diferencia básica entre los estándares Minergie y Passivhaus radica en que el primero ofrece una certificación escalonada en función de los objetivos que queramos conseguir, mientras que el segundo unifica el estándar en un solo objetivo que se alcanza o no⁶. En este sentido, el estándar Minergie es más pragmático y variado. Se puede decir de forma breve que el estándar Minergie supone el equivalente a un edificio de bajo consumo, Minergie-P sería equivalente al Passivhaus y Minergie-A equivaldría a un edificio de consumo energético nulo y con limitaciones en la energía gris contenida en los materiales de construcción. El salto mayor que se produce del certificado Minergie-P y el Minergie-A, es que nos limita la energía gris contenida en los materiales de construcción y además nos obliga a utilizar energía para calefacción procedente de biomasa, limitada ésta también a 15 kWh/m²a, debida a la producción de partículas finas y a los gases o producida in situ a partir de energías renovables. La idea es ser algo más permisivo en la envolvente del edificio pero compensándolo con una producción de energía sostenible. Existe una cuarta certificación para edificios con un control más estricto del impacto de los materiales utilizados en la construcción, Minergie-ECO, que considera tanto el impacto ambiental como para la salud de todos los materiales utilizados en la construcción del edificio. Señalar que este sello tiene incorporados unos parámetros básicos de control solar a cumplir. Por lo demás, los requisitos básicos constructivos del estándar son muy similares al Passivhaus, es decir, alto aislamiento, eliminar puentes térmicos, ventilación controlada con recuperador de alto rendimiento y una alta estanqueidad al aire. Al margen de esto, es difícil hacer una comparativa entre los dos estándares ya que manejan metodologías de cálculo y requerimientos de sistemas diferentes [GONZALO, VALLENTIN 2013]. En la Figura 1.2 se muestran los tres certificados básicos de Minergie con sus características básicas.

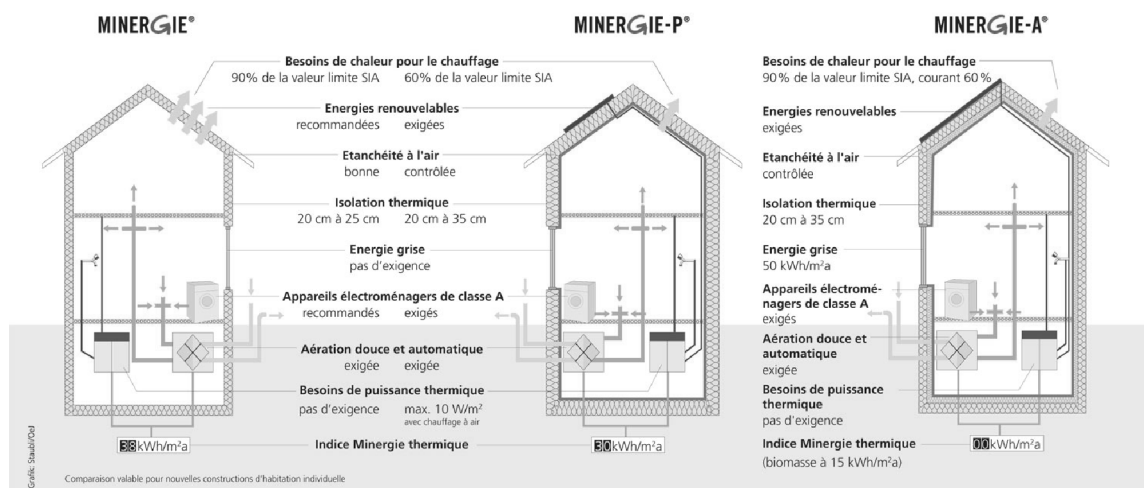


Figura 1.2. Esquema con el resumen de exigencias de los certificados Minergie para vivienda unifamiliar [MINERGIE].

Este trabajo valora exclusivamente la idoneidad del sello Passivhaus en el ámbito de la Comunidad Autónoma Vasca y Comunidad Foral Navarra debido a su mayor difusión y trata sobre los aspectos relativos a la eficiencia energética y confort, por lo que en este sentido tanto el sello Passivhaus como el Minergie son equivalentes. Evidentemente las consideraciones que hace Minergie sobre la energía gris contenida (Minergie-A) y los efectos para el medioambiente y la salud de los materiales empleados (Minergie-ECO)

⁶ Las últimas modificaciones en el estándar Passivhaus van dirigidas a incorporar los conceptos ecológicos en los diferentes modelos de certificación.

son más consecuentes con una arquitectura sostenible, pero son parámetros que no afectan en nada al objetivo de este estudio como desarrollamos más adelante. Sí puede ser más interesante la reflexión que hace el sello Minergie al valorar la posibilidad de elegir una opción con menos eficiencia energética a cambio de más producción de energía a partir de energías renovables, sobre todo en edificios con un difícil acceso a la radiación solar. En todo caso, el objeto final de este estudio es valorar la estrategia de sostenibilidad desde el punto de vista del ahorro energético que ambos sellos tienen; realizar edificios superaislados y estancos frente al clima exterior (desde un punto de vista de climas con predominancia de demanda de energía para calefacción) para conseguir el máximo ahorro posible con soluciones económicas amortizables a corto o medio plazo.

Lógicamente la sostenibilidad no se acaba en el ahorro energético. En Suiza, entre otros movimientos, podemos señalar el de la Sociedad de los 2000 Vatios, que promulga una limitación de 2000 W por persona⁷ en el potencial de consumo energético, respecto a los 6000 W que se necesitan actualmente en ese país, de todos los aspectos relacionados con la vida de una persona, desde el consumo en el hogar pasando por el consumo de energía para el transporte, comida, mobiliario, etc.⁸. Por razones ambientales, se limita a 500 W por persona la energía que puede provenir de fuentes de energía de origen fósil.

Para obtener este objetivo se cuenta con tres vías principales: una disminución voluntaria del consumo de cada persona, implementar nuevas tecnologías de menor gasto energético y subvencionar tecnologías más eficientes que todavía no son rentables⁹.

La normativa de edificación Suiza tiene incorporada una metodología para el cálculo de la parte de estos 2000 W que corresponde al proceso constructivo y de consumo del edificio una vez construido e incluso su reciclaje, en la norma SIA 2040 “*La Vía Hacia la Eficiencia Energética*” [SIA 2040], incluyendo el consumo en el transporte de energía en función de la localización del edificio y la energía gris contenida en los materiales. En la Figura 1.3 se observa el desglose potenciales energéticos previstos en una promoción de viviendas en Zúrich construido bajo la norma SIA 2040 y el comparativo con un edificio medio suizo.

⁷ Los 2000 W se refieren al consumo per cápita de energía primaria. El equivalente serían unos 1750 litros de petróleo por persona al año, o 30 bombillas que permanecen encendidas durante 24 horas durante todo el año.

⁸ Estados Unidos tiene un consumo por persona de 10.460 vatios, España tiene un consumo menor de 4.400 vatios debido al clima y a la menor industrialización.

⁹ En países como Suiza disponemos de páginas web que nos ayudan a elegir cualquier objeto que consuma energía, desde un pequeño electrodoméstico hasta un automóvil, haciendo un comparativo entre los modelos más eficaces <http://www.topten.ch/>. Medidas como estas pueden reducir el consumo de energía en un 25% en un hogar medio.

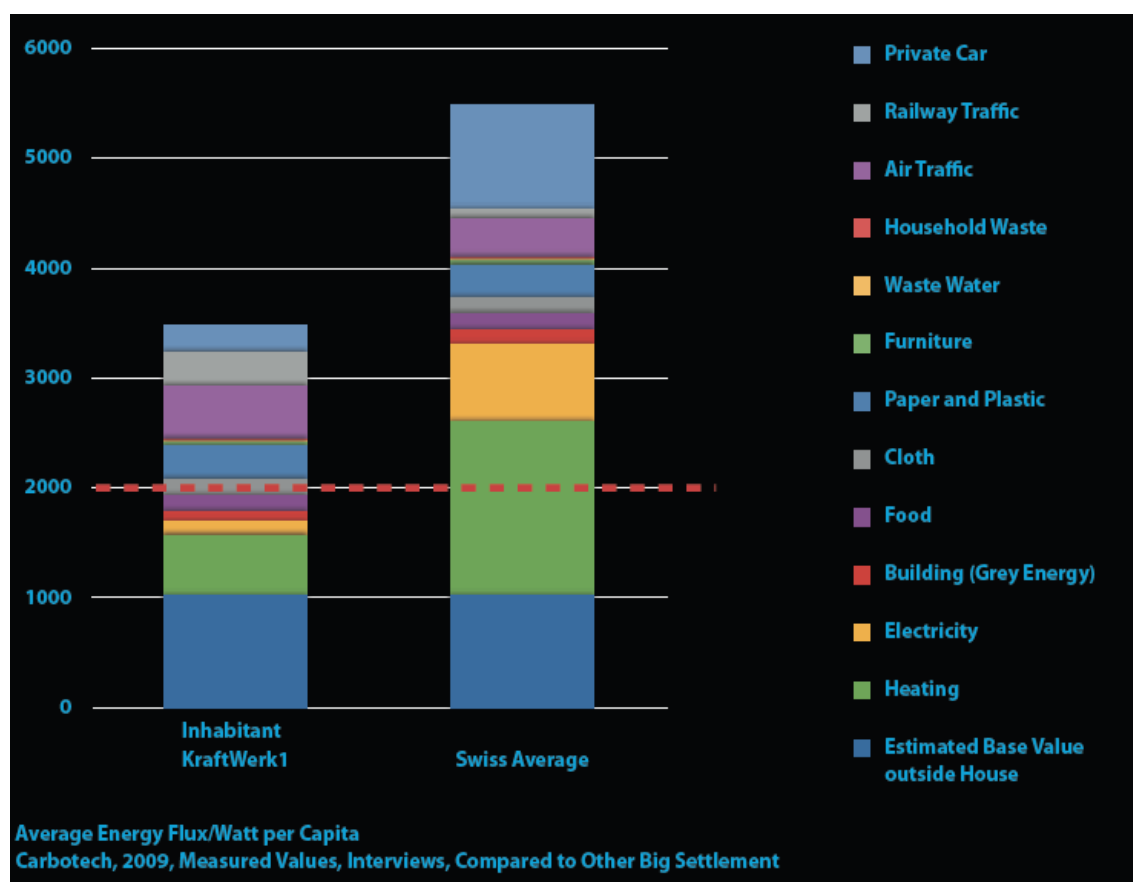


Figura 1.3. Resumen de consumos energéticos en una promoción cooperativa en Suiza, comparando el consumo de los habitantes de la promoción con la media Suiza. Extraído de la ponencia de Andreas Hofer, Archipel Architects, en el 2º Congreso De Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Arquitectura y Urbanismo. 2-4 julio de 2012. Disponible en www.eesap.org

Otro ejemplo similar es la Asociación *NégaWatt* en Francia.

Todos ellos se enfrentan al problema metodológico de cómo medir cada aspecto relacionado con la vida moderna, pero es evidente la fuerte relación existente con el sector de la construcción, ya que la reducción de la energía contenida en todo el proceso de construcción, utilización, desmontaje y reciclaje de los edificios incide en gran medida en los objetivos planteados por estas asociaciones de una reducción drástica en el consumo energético.

Este trabajo trata de valorar la idoneidad de adoptar criterios de eficiencia energética tan restrictivos en climas diferentes a los de Centroeuropa sin hacer primero una reflexión científica de las posibles diferentes consecuencias que puede tener sobre el confort de los usuarios finales. La principal consecuencia de alcanzar los objetivos marcados por la EPBD [UE DIRECTIVA 2010/31/EU] mediante la utilización de este concepto energético conservativo (Passivhaus, Minergie) en climas mucho más templados que los países centroeuropeos de donde son originarios la encontramos en la reflexión que hacen [LARSEN, JENSEN 2011] en un estudio de las primeras casas Passivhaus en Dinamarca: **“el gran interés por la eficiencia energética ha reducido el interés por el confort interior. Esto ha derivado entre otros problemas en sobrecalentamiento de edificios”**. Sus investigaciones concluyen que existe un conflicto emergente entre la implementación de los estándares de eficiencia energética y las recomendaciones del

Artículo 4 del texto refundido del EPBD que señala: **“estos requerimientos deberán tener en cuenta las condiciones generales del clima interior, evitando posibles consecuencias negativas como una ventilación inadecuada, así como las condiciones particulares, el uso y antigüedad del edificio”** [UE DIRECTIVA 2010/31/EU].

Como comienzo de esta reflexión, veamos lo que los propios creadores del estándar Passivhaus recomiendan hacer para trasponer el estándar en otras localizaciones climáticas. En un texto de uno de los fundadores del sello Passivhaus, Wolfgang Feist¹⁰, *“Primeros pasos en la casa pasiva: un método en lugar de un estilo de construcción”*, se dan algunas claves para implementar el sello en otros climas diferentes al de Centroeuropa [FEIST 2012-b]; se nos recuerda que el Passivhaus Institut¹¹ ha desarrollado varias técnicas de construcción de casa pasiva para adaptarse al clima de Europa Central, pero que sería un error copiar directamente los detalles, especialmente los de aislamientos, ventanas y ventilación del ejemplo de Europa Central a otras partes del mundo. Asimismo, se recomienda investigar las técnicas necesarias para adaptarse a las condiciones climáticas y geográficas para desarrollar una solución de vivienda pasiva en cada ubicación. Las siguientes condiciones de contorno de cada región deben ser especialmente consideradas:

- Las tradiciones locales de construcción.
- Las condiciones climáticas específicas.

Por lo tanto, las soluciones de la casa pasiva específicas de Centroeuropa deben ser adaptadas para cada territorio y el clima que se trate, pero además nos habla de considerar las tradiciones locales de construcción. Este segundo aspecto está muy ligado a la tradición constructiva en madera, presente en las promociones Passivhaus, siendo el exponente más reconocido la región del Vorarlberg, en Austria, pero también ciertas Zonas de Alemania y Suiza.

Como ejemplo de cómo actuaciones pasadas en pos de una arquitectura sostenible tuvieron un relativo fracaso al no existir una reflexión profunda previa y un estudio detallado de las consecuencias derivadas, se nos señala lo ocurrido con los primeros ejemplos de la arquitectura bioclimática en Europa, cuando las técnicas de construcción solar pasiva de California se copiaron y se aplicaron directamente a los proyectos de construcción en el clima de Europa durante los años 70, 80 y 90 del siglo XX. Las casas llamadas bioclimáticas europeas así diseñadas tuvieron resultados pobres debido a la diferencia en la ganancia solar entre la soleada California y el nublado clima de Centroeuropa. Este error, se nos dice, no debe repetirse simplemente copiando soluciones de vivienda de Europa Central para proyectos en otros lugares con climas distintos y diferentes técnicas de construcción [FEIST 2012-b].

Por otra parte añadir que igual de peligroso es incorporar la estética constructiva generada por estos sellos Centroeuropeos como tendencia estilística “sostenible”, sin un análisis profundo de las consecuencias en la habitabilidad y el confort en climas muy diferentes a los originales. En este punto, recordar a Reyner Banham en su *“Arquitectura del Entorno Bien Acondicionado”* [BANHAM 1969], cuando nos relata la evolución de las viviendas tradicionales en Sídney hasta constituirse como arquitectura vernácula. En las primeras construcciones, el hecho de construir un sofisticado sistema

¹⁰ Wolfgang Feist junto con Bo Adamson fueron los fundadores del concepto Passivhaus. El primero dirige el Passivhaus Institut en Darmstadt, la institución que regula y difunde el sello Passivhaus y figura como autor de los trabajos científicos más relevantes del estándar.

¹¹ Nos referiremos al Passivhaus Institut como PHI

de aleros y voladizos protegidos hacia el sol de mediodía (norte en Australia) hizo que estas fachadas se convirtieran en las más trabajadas y por tanto en las más atractivas y representativas desde el punto de vista arquitectónico. Esto hizo que, una vez se fueron construyendo viviendas a ambos lados de las calles, se siguieran construyendo las mismas fachadas representativas (esta vez dirigidas hacia el sur), perdiendo el sentido de su concepción inicial. La consecuencia de esto es que finalmente, las fachadas a norte sin protección solar necesitaban aparatos de refrigeración para poder mantener la habitabilidad del conjunto. Este es un buen ejemplo de cómo la arquitectura cuando se queda solamente en los aspectos teóricos derivados del estilo puede cometer errores importantes en el funcionamiento constructivo y del confort de un edificio.

[SERRA, COCH 1995] citando a Amos Rapoport, proponen a este respecto un repaso de la Historia de la Arquitectura alternativa separándola en dos unidades claras, Arquitectura de Estilo y Arquitectura Popular. La primera es diseñada por una élite para impresionar al pueblo con su poder, sus edificios dominan y a menudo destruyen la naturaleza, está cargada de preocupaciones teóricas y estéticas y tiende a crear nuevos ambientes frente a los preexistentes; es la arquitectura con autor conocido, de edificios importantes construidos para durar en el tiempo y que caracterizan las tendencias arquitectónicas históricas y son objeto de estudio y crítica en las Escuelas de Arquitectura. La Arquitectura Popular por el contrario es realizada por el pueblo y se corresponde a sus necesidades y valores, caracterizándose sus edificios por mostrar un mayor respeto por el ambiente preexistente, sea natural o artificial. Además, no responde a pretensiones de estética teórica y tanto la jerarquía de las calles, del interior de las viviendas, etc. corresponde a modelos estrictos, resultado de las leyes socioculturales, del clima y la tecnología. La arquitectura del siglo XXI ha volcado su mirada en esta segunda arquitectura para utilizarla como modelo, ya que en muchas ocasiones se corresponde más con las preocupaciones y objetivos que el nuevo paradigma de la arquitectura busca resolver, reunidos todos en el concepto de Sostenibilidad.

Pero no siempre la Historia de la Arquitectura está claramente dividida en Arquitectura Popular y Arquitectura de Estilo. Hay claros trasvases entre ambas, pudiendo encontrar buenos ejemplos de cómo necesidades elementos propios de la arquitectura diseñados con el fin de regular las condiciones climáticas exteriores, posteriormente han sido refinados hasta convertirse en elementos estilísticos característicos de una arquitectura determinada. Como ejemplo destaco la transformación del *megarón*, tipología elemental formada por un cuerpo cerrado con un avance porticado destinado a vivienda o sala de reuniones, que surge de la necesidad del clima griego de protegerse del sol en verano y dejar que éste caliente la vivienda en invierno, para transformarse hacia el año 800 A.C. en una tipología destinada al culto, sirviendo como base para los primeros templos griegos, y en la que el pórtico inicial situado en la fachada sur, va colonizando las otras fachadas, primero de la posterior (norte) y más tarde de las laterales, convirtiéndose su fin inicial puramente utilitario en un fin estético (Fig. 1.4) [BEHLING 2002]. Por el contrario, la influencia de la Arquitectura de Estilo en la Arquitectura Popular suele quedarse más en el aspecto decorativo y ornamental.

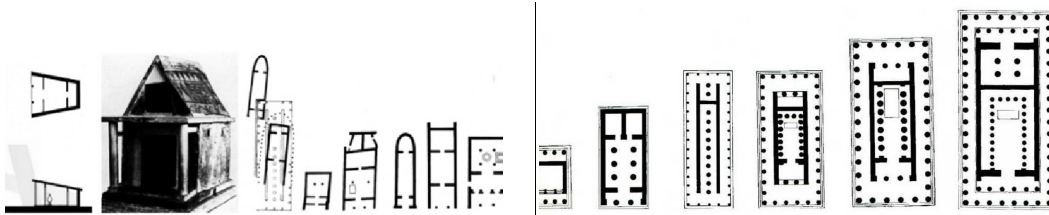


Figura 1.4. Evolución de la vivienda primitiva griega hasta convertirse en el templo característico de la Grecia Clásica. Desde la izquierda, la casa de Sócrates¹² hasta los templos clásicos griegos. Imagen compuesta a partir de [BEHLING 2002].

La a veces difícil relación entre el Estilo y la Utilidad, o de forma más amplia, entre los pilares de la arquitectura definidos por Marco Vitrubio en su *Re Arquitectura*, Firmeza, Utilidad y Belleza (Firmitas, Utilitas, Venustas), la resume de una forma más poética Javier Carvajal el arte de Proyectar la Arquitectura con la siguiente frase: “Se nos ha dicho que proyectemos hacia el sur, que abramos la casa a la higiene, la luz, el soleamiento. Un día, florece un cerezo al norte. Alguien abre una ventana para contemplarlo...empieza la proyectación.” [VICENS Y HUALDE 2013].

Pero el PHInos dice que el concepto de Casa Pasiva y las leyes de la física son las mismas en todo el mundo y en todos los climas aun siendo estos de carácter regional. El reto de construir viviendas autosuficientes o de consumo de energía casi nulo, es decir conseguir la vivienda pasiva, está bien definido. Las ecuaciones físicas siguen siendo las mismas, sólo las condiciones de construcción varían. La metodología de la solución de casa pasiva se puede aplicar a fondo independientemente de las circunstancias geográficas y climáticas. Los primeros pasos para iniciar un desarrollo de vivienda pasiva en cada región es utilizar el método Casa pasiva (la del Passivhaus Institut) y utilizarlo para determinar las soluciones de diseño de casa pasiva apropiadas para cada región y cada clima [FEIST 2012-b]. En cierta forma este texto nos avanza uno de los conceptos claves del Passivhaus, es decir, la casa como una suerte de termo capaz de aislarse del ambiente exterior debido a su alto aislamiento y estanqueidad, y de alguna forma, la capacidad de contener un clima interior muy diferente del exterior aprovechándose únicamente de las contingencias climáticas (variación de temperatura entre la noche y el día por ejemplo) y de las energías renovables, todo ello gracias a un sistema de ventilación que dotado de un recuperador de alta eficiencia y conectado a fuentes de energía renovables (geotermia, solar, biomasa, etc.) mediante bombas de calor última generación, funciona casi a la manera de un climatizador “ecológico” desconectado del ambiente exterior.

Aunque los diseños de casas pasivas pueden parecer muy diferentes, el principio es el mismo, basado en el concepto de Amory Lovins¹³ de reducción de la inversión a través

¹² La casa de Sócrates. Jenofonte, en el año 400 antes de nuestra era pone en boca de Sócrates unas consideraciones relativas al arte de construir edificios: ¿No es cierto que el que tenga la intención de hacerse con una casa como es debido lo que debe es procurar que sea lo más agradable de habitar y lo más útil? Y una vez que esto se le concedía: “Agradable pues será tenerla fresca en verano, y agradable pues que sea abrigada en invierno.” y ya que también en esto convenían: “Bien, pues en las casas que miran a mediodía en el invierno el sol se cuele entre los soportales, más en verano, al pasar por la cima de nuestras cabezas y de los techos, proporciona sombra. Así que, si bueno es que así las cosas se presenten, habrá que construir más altas las partes que den al mediodía, para que el sol invernal no halle estorbos, y más bajas las que den el septentrión para evitar los vientos fríos”. Extraído de [YAÑEZ 2008]

¹³ Amory Lovins físico y ambientalista estadounidense, presidente y jefe científico del Rocky Mountain Institute. Durante cuatro décadas ha trabajado en política energética y temas relacionados. También ha propugnado la “revolución del negavatio” argumentando que los usuarios no quieren kilovatios-hora de electricidad; quieren servicios energéticos.

del diseño eficiente del consumo de energía. Al aumentar drásticamente la eficiencia energética de un edificio, los sistemas de HVAC se puede simplificar radicalmente al llegar a un cierto nivel de eficacia. Con este ahorro en sistemas de calefacción y refrigeración, implementándolos todos en el sistema de ventilación, podemos lograr amortizar los costes extras de la construcción de una forma razonable.

Consideremos el ejemplo la construcción de una casa para un clima frío. La demanda de calor para la calefacción de la casa en la temporada de frío es el principal consumidor de energía. Si la demanda de calor se reduce por medio de aislamiento, recuperación de calor, superventanas, ganancias solares pasivas y otras medidas, el sistema de calefacción se puede simplificar paso a paso. Pero el umbral más significativo aparece cuando la carga de calefacción pico alcanza 10 W/m^2 como máximo. Cuando la carga de calefacción pico es inferior a 10 W/m^2 , independiente del clima, el sistema de ventilación puede ser fácilmente utilizado para calefactar el espacio habitado y ya no se requiere un sistema de calefacción específico. Cuando se está por debajo de este valor, es fácil utilizar un sistema de ventilación para mantener la demanda de calor, siendo esta una de las definiciones básicas del estándar Passivhaus. En los climas cálidos este valor es fácil de alcanzar, sin embargo esto necesita de soluciones más cuidadosas en los climas más fríos.

De alguna forma, esta es la clave sobre la que gravita el concepto de Passivhaus. No se obtiene ningún beneficio adicional mediante el aumento de la eficiencia más allá de este punto, el umbral de 10 W/m^2 . Los costes de la construcción aumentan considerablemente si el objetivo es construir una "Casa de energía cero" en lugar de simplemente una casa pasiva. Además, no hay casi ningún beneficio adicional del medio ambiente. Una casa pasiva tiene una demanda de energía muy baja para mantener el confort interior durante la temporada de calefacción. La demanda de calefacción es tan baja que el impacto ambiental es insignificante aunque los combustibles utilizados por el sistema de calefacción sean de origen fósil como el petróleo, el gas o el carbón. Asimismo, no hay problemas con los recursos energéticos primarios. Si se busca una mayor eficiencia de energía, los costos de los proyectos aumentan más allá de lo asequible o amortizable, y es probable que las soluciones deban de ser específicas para ese proyecto y por tanto no replicables en otros proyectos.

Wolfgang Feist nos recuerda que el examen de la carga de calefacción es sólo un ejemplo, ya que en otras regiones, otros servicios de energía como la refrigeración o deshumidificación deberían tener mayor importancia que la calefacción. Por tanto nos propone que el método de investigación de una solución de casa pasiva para cualquier clima será la siguiente:

1º-Utilizar tecnologías pasivas para reducir la demanda de carga máxima de la instalación en cuestión. Esto podría lograrse mediante el aislamiento, la protección solar, el uso de intercambiadores de calor del subsuelo y la reducción de las cargas internas mediante el uso de aparatos eléctricos de alta eficiencia.

2º-Si las condiciones del ambiente interior de confort difieren en gran medida de las condiciones exteriores, siempre es recomendable utilizar un sistema de ventilación con recuperación de calor (o viceversa con recuperación del frío) para mantener una alta calidad de aire interior sin la necesidad de grandes equipos que equilibren una demanda enorme de calefacción o refrigeración.

3º-Habrà un cierto punto en el que la demanda de refrigeración/deshumidificación sea tan baja que se produce una simplificación apreciable de la tecnología activa.

Esto nos dice el PH1a propósito de cómo debemos entender la solución de la Casa Pasiva en cada clima. También nos recuerda algunas reglas fundamentales:

-Se debe mantener en todo momento un alto nivel de confort. Las casas pasivas deben ser reconocidas como los más cómodos hogares en todas las regiones y en todos los climas ya que todo el mundo quiere vivir en un clima interior confortable y que todo el mundo tiene derecho a ello. Por lo tanto, a largo plazo, ninguna solución será duradera si no contribuye a un mejor clima interior.

-La solución debe ser más simple que lo que se utiliza actualmente de forma convencional en los edificios y con los sistemas técnicos contemporáneos. Sólo aquellas soluciones asequibles serán atractivas en comparación con las tecnologías tradicionales, como son los sistemas de climatización con aire forzado.

-No es necesario pasar de soluciones a partir de la energía convencional a soluciones que pueden ser muy costosas, como la de los edificios de energía cero. Basta minimizar el uso de energía con sistemas sencillos que utilizan fuentes convencionales de energía. Como regla general, si el consumo de energía es entre un décimo y un cuarto de los niveles actuales de consumo, el ahorro que se produce en el consumo de energía es suficiente para pagar por los costos de construcción adicionales.

-El aislamiento es muy recomendable en todos los climas.

-El sombreado es absolutamente necesaria en todos los climas con altos niveles de radiación solar.

-Es necesaria la recuperación de calor en todos los climas fríos y cálidos. Si las casas cuentan con un sistema de ventilación, los conductos de suministro de aire pueden ser utilizados para el transporte de calor durante la temporada de calefacción, de aire fresco durante los períodos de calor, y el aire seco para deshumidificar si es necesario. Se recomienda la instalación de recuperación de calor si las temperaturas exteriores están a menudo por debajo de 8°C o por encima de 32°C.

-La utilización de muy poca energía auxiliar es un prerrequisito de las soluciones de la casa pasiva. Es especialmente importante que los ventiladores de los sistemas de ventilación de alta eficiencia usen motores de conmutación electrónica (ECM). En la recuperación de energía de enfriamiento, es obvio que los motores ECM son necesarios, sin embargo, también son esenciales en los sistemas de recuperación de calor.

-En muchos casos, el suelo puede ser utilizado como reserva de calor o frío. Si los sistemas acoplados al terreno han sido utilizados históricamente en su región, deben ser estudiados para determinar si existe la oportunidad de utilizar el suelo para reducir cargas de calefacción y refrigeración. Sin embargo, las soluciones tradicionales puede ser muy caras, como por ejemplo la utilización de grandes conductos naturales para transportar el aire a través del terreno, o las casas enterradas, que seguramente no son una opción reproducible para el futuro. Hay alternativas más económicas que utilizan la tecnología moderna, como los intercambiadores de calor de tierra-aire o la geotermia de profundidad [FEIST 2012-b].

Como vemos, el texto mencionado nos da grandes pistas de las posibilidades de adecuar el estándar Passivhaus a climas más cálidos que los de Centroeuropa, y evidentemente no pierde la perspectiva de las soluciones que pueden ser necesarias para reducir las cargas de refrigeración.

1.2 ANTECEDENTES

En su origen, la primera función de la casa era proteger a sus habitantes del clima exterior y de los animales. Actualmente, una actualización de esta definición que esta primera misión sería la de dotar a los usuarios de un ambiente térmico confortable y asegurar la seguridad de personas y bienes.

En primer lugar aclarar la posible confusión derivada de la traducción directa del término Passivhaus al de Casa Pasiva. El término Casa Pasiva tiene su origen en el libro “*Passive Solar Energy Book*”, de Edward Mazria [MAZRIA 1979], publicado en 1979 en Estados Unidos en el que se recogen las primeras experiencias de viviendas que minimizan el consumo de energía, tanto de el de calefacción como de la refrigeración, a partir del aprovechamiento de la radiación solar (principalmente) y de otros componentes climáticos de cada lugar. La expresión “*pasivo*” se usa para definir el principio de captación, almacenamiento y distribución capaz de funcionar de forma autónoma, sin aportaciones de energía exterior y que implica unas técnicas sencillas, sin equipos mecánicos. Mazria menciona en la bibliografía del libro numerosos artículos anteriores en los que aparece el término en inglés “*Passive*”, todos en el ámbito científico norteamericano. La arquitectura solar pasiva es sólo una pequeña parte del diseño de edificios energéticamente eficientes.

Pero otros términos se superponen y amplían el campo del concepto. El término de arquitectura bioclimática, muy en boga durante los años 1970-2000 y que ha generado numerosa bibliografía, se ha visto los últimos años desbancado por el de arquitectura ecológica y finalmente por el de arquitectura sostenible. A todo ello se le añaden recientemente conceptos más globales como arquitectura holística u otros más programáticos como arquitectura de alta tecnología o arquitectura termodinámica por ejemplo. Todos estos términos evocan a la postre un afán por poner en relación la Arquitectura con el entorno natural, y un sentido de conciencia medioambiental, y que en mi opinión el término que mejor lo expresa es ecología, palabra ideada por el naturalista y filósofo Ernst Haeckel que combina las palabras griegas *oikos* (casa, vivienda, hogar, hábitat) y *logos* (estudio o tratado) que estudia la relación entre los seres vivos y el medioambiente.

Sobre el término “Casa Pasiva” se expone en los siguientes párrafos, una aclaración de las posibles confusiones o debates que el término genera. Una casa pasiva es aquella que es capaz de proporcionar dicho ambiente térmico confortable gracias únicamente a procedimientos denominados pasivos, es decir, utilizando sistemas que funcionan sin instalaciones ni vigilancia. El concepto es tan viejo como lo son los primeros refugios humanos, sólo que como éstos solo buscaban protegerse del clima exterior y no el obtener confort térmico, y que en un principio eran originarios de climas cálidos, sus soluciones eran más bien modestas. El concepto de Casa Pasiva actualizado por el PH puede simplificarse en una vivienda que en el clima Centroeuropeo no necesita un sistema independiente de calefacción ni climatización para mantener el confort en todas las estaciones del año. Sin embargo, una casa con estándar Passivhaus no solo es una casa pasiva, además incorpora otros sistemas de aprovechamiento activo de la energía, como puede ser una bomba de calor. Además, es ecológica, porque el simple hecho de conseguir una reducción en el consumo de energía en calefacción es una acción ecológica. Otra cosa sería evaluar si el esfuerzo que necesitamos para alcanzar ese objetivo es en su globalidad ecológico, realizando un balance de todos los demás aspectos de la construcción que interactúan con el medioambiente. El concepto de vivienda pasiva frente a vivienda activa podría resumirse con el artículo de Reyner Banham, “*Una casa no es un hogar*” [BANHAM 1965]:

“Desde el comienzo el hombre tenía dos formas básicas de controlar el entorno: una esquivando el tema y escondiéndose bajo una roca, árbol, tienda o techo (lo que eventualmente llevó a la arquitectura tal como la conocemos) y otra interfiriendo realmente con la meteorología local, usualmente a través de un fuego que, en forma más elaborada, podría llevar al tipo de situación aquí en discusión. A diferencia del espacio habitable atrapado con nuestros ancestros bajo una roca o techo, el espacio en torno al fuego tiene muchas cualidades distintivas que la arquitectura no puede aspirar a igualar, en primer lugar su libertad y variabilidad.”

De alguna forma Banham nos describe la arquitectura como esencialmente pasiva, y el acondicionamiento ambiental como una solución activa para crear un entorno habitado más difuso. Al margen de estas apreciaciones, podemos asumir que, *“La arquitectura no es pasiva ni activa; pero sí lo son las actitudes de sus autores y moradores, por lo que el término “pasiva” evoca una preferencia por la imitación de tipos constructivos que han albergado las actividades humanas durante milenios.”* [HERNÁNDEZ et ál. 2012].

El concepto de casa pasiva en origen estaba ligado a los climas en los que se construía: en un clima frío será una vivienda que es capaz mantener el calor por sí misma, mientras que en un clima tropical será la vivienda que es capaz mantener el ambiente refrigerado por sí misma, o en todo caso de mantener una sensación de confort óptima en ambos casos. Los medios para obtener estos objetivos, descritos en la bibliografía de arquitectura bioclimática, varían enormemente de unos climas a otros. Expongo a continuación dos soluciones a climas extremos, clima polar y clima desértico, en la que la prioridad será conservar el calor en el caso del clima polar, y conservar el frío en el caso del clima desértico recopiladas en *“La Construction d’une Maison Passive”* [DEGRIGNY 2008] para comprender mejor la estrategia por la que opta el Passivhaus Institut.

Tomemos una construcción en un clima frío y seco. Para conservar el calor en una región polar, el ejemplo comúnmente descrito es el del iglú. Esta construcción, con diferentes técnicas muy sutiles, permite mantener la temperatura interior mucho más alta que la exterior. En primer lugar se construyen unas gruesas paredes de una nieve especial (no hielo) formada al compactarse los cristales de hielo por el viento, ya que esta contiene una cantidad de aire en su interior considerable, lo que la convierte en un buen material aislante. La diferencia con el hielo es considerable ya que esta nieve no está por debajo de los 0°C, mientras que el hielo puede estar muy por debajo de esta temperatura. Esta nieve así compactada tiene cierta resistencia a la compresión, lo cual permite construir un refugio en forma de cúpula sin que se compacten los cristales de hielos y se pierda el aire contenido en su interior. Esta forma de cúpula no se elige al azar, sino que es consecuencia de conseguir el máximo volumen acondicionado con la menor superficie de contacto con el exterior. Esta forma con el mayor grado posible de compacidad, permite además construir sin materiales que trabajen a flexión, protege de los fuertes vientos del ártico, y consigue el máximo volumen interior con la menor superficie expuesta al exterior.

Además, el iglú soluciona la infiltración de aire frío al interior con varias estrategias. La primera consiste en realizar una entrada con forma de sifón, que mantiene una capa inmovilizada de aire frío que impide la entrada del aire exterior, al mantener el suelo interior más alto que el exterior y la segunda consiste en sellar todas las uniones de los bloques de nieve, impidiendo la entrada de aire por infiltración. Las dos soluciones anteriores se completan por una tercera forma de estanqueidad que se genera al entrar en funcionamiento el iglú; al calentarse la capa superficial interior se produce un proceso de deshielo se la primera capa de nieve, uniéndose este agua con el vapor de condensación desprendido por los ocupantes. Por último, durante la noche esta capa de

agua se vuelve a congelar, convirtiendo la capa interior en una superficie lisa perfectamente estanca.

Por otro lado, se debe mantener una renovación de aire, para lo que se realizan huecos de ventilación, definiendo su número y disposición en función de los ocupantes del mismo para lograr no perder más calor que el generado por los usuarios. Con esta estrategia conservativa se consigue alcanzar una temperatura de no menos de 0°C, que se puede elevar hasta los 5°C con el calor de las fuentes internas, que combinado con el hecho de que la capa de nieve es de material aislante reflectante a los rayos infrarrojos, puede llegar a alcanzar una temperatura de entre 10 y 15°C. Una lámpara de aceite para iluminación completa el sistema. El iglú es por tanto un sistema pasivo puro, ya que mantiene el calor solamente con el aporte de fuentes internas, calor de proveniente las personas y de la iluminación.

Esta explicación del funcionamiento permite resumir las características principales de un hábitat en un entorno frío:

- Cerramiento muy aislado.
- Perfecta estanqueidad al aire y al viento.
- Pérdidas por ventilación minimizadas al máximo.
- Volumen compacto.

También señalar en este caso los aspectos arquitectónicos que no nos serían de ninguna utilidad:

- Orientación, ya que no existe radiación solar.
- Inercia térmica, ya que el aire exterior está a una temperatura negativa, un material con alta inercia térmica se convierte en una fuente permanente de absorción de calor que nunca restituirá.

En resumen, una vivienda para este clima debe ser aislante al 100% y suficientemente pequeña para poder restituir las pérdidas con las ganancias internas.

Como ejemplo opuesto en la arquitectura vernácula encontramos la estrategia para conservar el frío. Expongo el caso de las viviendas mozabitas de los bereberes que habitan cinco oasis de Argelia, Ghardaia, Beni Isguen, El Atteuf, Melika y Bounoura en el valle del río M'Zab y otros dos aislados al norte, Berriane y Guerrara. Aquí, al contrario que en el caso anterior, el problema es el calor. Igual que en el caso del ártico, la escasez de material de construcción que pueda trabajar a flexión hace que se realice una arquitectura a partir de materiales minerales, arcilla, piedra y yeso.

La tipología constructiva para delimitar espacios interiores será la bóveda, ya que permite realizar aberturas sin necesidad de vigas de madera. Estas se construyen a partir de un primer encofrado perdido de troncos de madera que configuran los nervios de la bóveda, para después construir la bóveda con piedra y mortero de yeso; al secarse tan rápido permite construir valiéndose únicamente de los nervios de madera previamente dispuestos. Todo se revoca con un revestimiento de cal, capaz de resistir las lluvias, raras pero intensas. Los muros se realizan de gran espesor ya que los materiales tienen una baja cohesión, generando unos elementos con gran peso y densidad. Esto evita que el elemento se caliente rápidamente al recibir la radiación solar de la mañana, permitiendo absorber el calor a lo largo del día, lo que no ocurriría con un muro de bajo espesor, que se saturaría rápidamente de calor y comenzaría a restituirlo

hacia el interior. Se trata de trabajar con el desfase de tiempo que proporciona el periodo de absorción del calor por parte del muro.

Para evitar un sobrecalentamiento excesivo de los muros se deja el color natural de la cal que permite obtener un alto grado de reflexión. Para que esta reflexión no afecte a las construcciones vecinas, se construyen las viviendas muy unidas las unas a las otras, de forma que las calles se cierran al máximo, evitando que la luz penetre en ellas. Para impedir que la luz entre por las aberturas, la siguiente estrategia consiste en volcar estas a un patio, lo más pequeño posible, evitando la radiación solar directa. Este patio tendrá diferentes temperaturas a lo largo del día, migrando los habitantes de una zona a otra en función de estas temperaturas.

En general la vida se realizará pegados al suelo, ya que este elemento al estar en contacto con la tierra, permite estar a menor temperatura. Es por esto que en la cultura árabe se evitan los muebles que nos despegan del suelo, propios de la cultura occidental. Asimismo, para evacuar el calor que se acumula en el interior, se perforan las fachadas en su parte baja, donde el aire está más frío, permitiendo la circulación del aire del exterior a través de la casa para salir por el patio por su parte alta, donde más calor hace. Las aberturas estrechas, permiten una aceleración del aire que multiplica su efecto refrigerante. Durante la noche, la planta baja que se ha recalentado por el día, en parte por el uso y por otro lado por la circulación de aire que ha ido introduciendo calorías en los cerramientos, se abandona para situarse en las partes altas de la vivienda, más abierta al exterior. El mayor frío de esta parte se compensa con la radiación que emite las terrazas con el calor absorbido durante el día.

La ventilación nocturna por último ayuda a refrigerar el conjunto, convirtiéndose los cerramientos en esta fase en acumuladores de frío. Al ser el clima nocturno mucho más frío, la actividad se realiza durante el atardecer y la noche, favorecido por la alta claridad del cielo y su baja nubosidad, y por la disposición de terrazas planas posibles gracias a la baja pluviosidad. Este ejemplo de construcción en un clima cálido nos permite obtener las siguientes conclusiones del hábitat pasivo en climas cálidos:

- Cerramiento muy masivo desprovisto de grandes aberturas.
- Patio o apertura central que permita la circulación permanente del aire, evitando toda estanqueidad al paso del aire.
- Disipación al máximo del calor mediante ventilación.
- Zonificación de los espacios permitiendo cambiar las estancias en función de la hora del día.

Por el contrario, los aspectos que en este clima no tienen importancia o son contraproducentes son:

- Usar materiales aislantes, ya que la temperatura ambiente es muy alta durante todo el tiempo, y no permitirían disipar el calor.
- Utilizar soluciones muy estancas, ya que el desplazamiento permanente del aire permite evacuar el aire recalentado y aumentar la sensación de confort.

En resumen, la vivienda ideal en un clima cálido sería 100% masiva, construida alrededor de una chimenea térmica que provocará el desplazamiento de aire de forma constante para refrigerar esa masa y el calor de los ocupantes durante la noche.

Pero qué ocurre en los climas templados, como el que encontramos en la región del País Vasco y Navarra. En los climas templados, donde se presentan acusados cambios de condiciones a lo largo del año como es el caso del clima mediterráneo, es en donde

paradójicamente la arquitectura se hace más compleja, al tener que ser adaptable a todo el espectro de los tipos básicos de clima. Así, el problema básico de estos climas no es su dureza, sino el hecho de que casi en cualquier periodo del año y hora del día, pueden presentarse condiciones de signo contrario: problemas de frío en invierno, seco o húmedo, problemas de calor en verano, seco o húmedo, y casi tan intenso como en otros climas extremados, aunque los periodos sean más cortos.

Finalmente existe el problema del clima variable que, en las estaciones intermedias (primavera y otoño), puede generar problemas de frío o de calor separados por cortos espacios de tiempo [SERRA 1999]. Como veremos en el Capítulo 3, la gran variedad climática de la zona estudiada hace que no podamos hablar de una solución bioclimática común. En los 175 km que separan Donostia-San Sebastián de Tudela encontramos desde un clima oceánico templado, pasando por climas más continentales, hasta un clima mediterráneo primero de veranos húmedos y finalmente de veranos secos en el territorio situado más al Sur. En algunas zonas tendremos climas de montaña, particularmente en la zona de los Pirineos, y en general la orografía y la orientación generan microclimas muy específicos en cada valle. Resumiendo, se trata de un territorio con climas de frontera, muy afectado por la cercanía o lejanía al mar y por la orografía y altitud del terreno.

Como vemos en la numerosa bibliografía existente sobre arquitectura bioclimática, en los climas mediterráneos o templados en general, en lo que se refiere al control del ambiente térmico, se aportan ejemplos tradicionales caracterizados por soluciones parciales a estos problemas y sistemas flexibles; sistemas móviles de protección solar que a la vez actúan como sistemas de control térmico durante el verano dejando pasar la radiación en invierno e invirtiendo su proceso durante las noches; pero es más difícil encontrar soluciones globales como las de los dos ejemplos anteriormente descritos, al problema de la variabilidad climática. Además en estos climas, el componente microclimático puede generar una modificación sustancial del clima, por ejemplo una pendiente a norte no recibirá los rayos de sol durante el invierno impidiendo equilibrar las pérdidas de calor del edificio.

Una vez profundizado en el concepto “casa pasiva”, y continuando con los antecedentes del Passivhaus, indicar que después de que la Arquitectura Bioclimática fuera perdiendo fuerza, muchas veces porque los sistemas de captación solar que proponía requerían de un costo en superficie útil demasiado elevado; en los años 1990 se llevaron a cabo diferentes experiencias en Alemania con el fin de encontrar soluciones técnicas para construir viviendas unifamiliares (fundamentalmente) de bajo consumo energético. Estas primeras experiencias realizadas en los siguientes 10 años, derivaron en el sello de Certificación Passivhaus, del Instituto Passivhaus de Darmstadt. El éxito en los países del norte de Europa ha hecho que la denominación de Casa Pasiva (Passivhaus en alemán) se haya asociado a esta manera de hacer derivada del sello Passivhaus. Pero esta es una utilización restrictiva del término ya que la casa pasiva alemana no funciona como tal más que en las zonas climáticas para las que se ha diseñado, mientras que el término original de casa pasiva se refiere a una adaptación arquitectónica a un clima determinado. Así, una casa pasiva en un país nórdico será una casa que se mantiene caliente por sí mismo, mientras que una casa pasiva en el trópico será una vivienda que puede mantener un ambiente fresco por sí misma.

Conseguir una vivienda confortable ha sido históricamente anterior en los países tropicales. Con una buena protección solar y favoreciendo la ventilación podemos encontrar numerosos ejemplos que todavía funcionan en la arquitectura popular en las regiones tropicales. Más complicado ha sido siempre en los climas fríos, en el que la

precariedad de las construcciones (mal aislamiento y estanqueidad al aire) se suplían con el consumo de energía, quemando leña en hogares y chimeneas. El progreso en estos países vino de una eficacia cada vez mayor en los sistemas de calefacción, cada vez más consumidores de energía a medida que la demanda de confort aumentaba y el precio del combustible disminuía, y sin embargo con pocas mejoras en la construcción, salvo hitos puntuales como la incorporación de la ventana vidriada. No es hasta los años 1970 en los que se produce una revolución en la construcción derivada de la crisis energética y el encarecimiento de los derivados del petróleo cuando se van incorporando en los códigos de construcción nacionales mejoras en la envolvente de los edificios.

Ahondando en la aclaración sobre el concepto de casa pasiva, el sello Passivhaus utiliza además sistemas de ventilación mecánica sofisticados con el fin de tratar las pérdidas de calor por ventilación, por lo que es regla general encontrar un sistema de ventilación de doble flujo con recuperador de alto rendimiento en este tipo de viviendas. Por tanto, no son viviendas estrictamente pasivas, ya que utilizan un sistema activo para su funcionamiento que además debe ser complementado con alguna otra fuente de calor en los periodos de frío más extremos del invierno mediante estufas de biomasa, resistencias eléctricas en el sistema de ventilación o sistemas de bombas de calor que aprovechan las fuentes de energía renovables, geotermia o solar. El término arquitectura pasiva entendido de una forma clásica es cierto que está adaptado a muchos de los valores que la construcción Passivhaus incorpora; si nos atenemos a la Figura 2.20 propuesta por [LECHNER 2009] para definir la arquitectura sostenible, en el primer escalón vemos que son unas viviendas diseñadas para evitar al máximo las pérdidas caloríficas por transmisión y por ventilación e infiltración, y que utilizan el máximo de ganancias solares directas y de fuentes internas para equilibrar estas pérdidas. En el segundo escalón tenemos la utilización de sistemas pasivos a partir de las fuentes de energías renovables o combustibles con bajas emisiones de CO₂, que permite estar dentro de los parámetros de consumo de energía primaria limitado a 120 kWh/m²a. Por tanto aunque los términos de casa pasiva referidos a la arquitectura pasiva y Passivhaus no pueden tratarse de la misma forma, sí que hay claros componentes coincidentes.

Además, las soluciones tecnológicas del sello Passivhaus no son universales ya que tienen su origen y están adaptados a climas predominantemente fríos, aunque está por ver si con pequeñas adaptaciones del concepto se pueden convertir en un patrón global.

Podríamos simplificar los términos diciendo que, en su origen, las casas Passivhaus, se refieren a aquellas que tienen como principal estrategia la de conservar el calor, y denominar viviendas solares o bioclimáticas a aquellas que tienen como estrategia captar la radiación solar o más genéricamente, adaptarse a las necesidades climáticas de cada región.

A pesar de que en su esencia original el estándar Passivhaus es un concepto diseñado para el clima continental de Centroeuropa, caracterizado por inviernos largos y fríos y veranos cortos y templados, cuya estrategia fundamental se basa en conservar el calor, siempre teniendo en cuenta que una parte importante para mantener el equilibrio del ambiente térmico interior pasa por captar el máximo de calor proveniente de la radiación solar y conservarlo (estanqueidad, aislamiento y ventilación de doble flujo), desde el PHlse está intentando exportar el concepto a la generalidad de climas del planeta. Si atendemos al texto publicado por el Passivhaus Institut, "*Passive Houses for different climate zones*" [SCHNIEDERS *et ál.* 2011], el estándar es válido para todos los climas del planeta, con mayores o menores demandas de calefacción y/o refrigeración, limitando a 10 W/m² la potencia de calefacción/refrigeración y a 15 kWh/m²a la demanda

de energía para calefacción/refrigeración, y ampliando la energía utilizable en algunos climas con una potente demanda de energía por la humedad del ambiente exterior. Para ello nos propone un sistema de construcción que independientemente del clima adopta los siguientes criterios:

-Estanqueidad perfecta respecto del ambiente exterior. Esto permite en primer orden “aislar” el ambiente del interior del ambiente exterior (sea frío o cálido).

-Una vez conseguida la estanqueidad, reforzar los cerramientos con espesores muy altos de material aislante, dispuestos de tal forma que no se generen, o se eliminen casi al completo, los puentes térmicos.

-Realización de ventanas con unos valores muy bajos de transmisión de calor, tanto los vidrios (vidrios triples en Centroeuropa) como los marcos. Se busca además vidrios que permitan la máxima entrada de radiación solar, es decir, con un coeficiente de transmisión total de la energía solar o factor solar (g) lo más alto posible.

-Reciclar el calor del ambiente interior mediante un sistema de ventilación de doble flujo con recuperador de calor.

Parece claro que la adaptabilidad al estándar Passivhaus será mayor o menor en función de lo cerca que se encuentren los edificios del clima para el cual se han diseñado originalmente. Por tanto, un edificio situado en el Valle del Roncal (Pirineo navarro), con un clima de montaña, será perfectamente válido, si asumimos los resultados de la experiencia Centroeuropea como válidos, pero, ¿es esta metodología válida para otro tipo de climas en los que existe un rigor climático en invierno mucho menor y una radiación solar mucho más alta?

En la zona objeto de este estudio, partiendo de norte a sur, nos encontramos con un primer clima oceánico, caracterizado por un clima suave y de baja amplitud térmica a lo largo del año. Podría ser pertinente optar por una solución bioclimática de captación solar, siempre que tuviéramos un alto grado de cielos despejados y una buena orientación, factores estos no habituales en la costa Vasca. Podríamos pensar en edificios con un menor aislamiento, unas ventanas menos aislantes (vidrios dobles), una buena orientación de las ventanas, y quizás necesitaríamos evaluar la conveniencia de la inercia térmica. Seguirían siendo necesarias una buena estanqueidad y un sistema de ventilación con recuperador de calor.

Más al sur nos encontramos con un clima más continental, más próximo al original del estándar, pero con una mayor radiación tanto en verano como en invierno. En esta zona, el estándar Passivhaus no necesitaría de grandes adaptaciones, bastando adaptar los espesores de aislamiento al menor rigor térmico, pero aquí sí que entraría en consideración el rigor del verano como factor fundamental, ya que la alta radiación solar puede convertir las viviendas en espacios inhabitables en un corto periodo de tiempo en las que el fuerte aislamiento haría difícil la disipación del calor interior. En la zona más al sur del área de estudio, si se mantienen las condiciones del estándar, deberemos buscar estrategias de enfriamiento en verano o sería pertinente adoptar soluciones de clima cálido, manteniendo las condiciones para no pasar frío en invierno.

En una primera aproximación, desde un punto de vista del ambiente térmico, sin entrar en valoraciones económicas, el estándar lógicamente se comportará de forma más que correcta en invierno, pero no así durante las estaciones intermedias, primavera y otoño, y sobre todo en verano cuando se pueden encontrar problemas de sobrecalentamiento o de una demanda alta de refrigeración. En el Capítulo 2 se muestra una serie de ejemplos en diversas partes de Europa (Desde Suecia hasta el Sur de Europa) en la

que se constatan problemas con el sobrecalentamiento, con diversas causas principalmente en el periodo estival.

Un segundo reto de vital importancia es el cambio climático. Philip Rahm en su “*Architecture Météorologique*” [RAHM 2009] señala que el calentamiento global en curso en Europa se traduce por un deslizamiento geográfico del norte hacia el sur, en una distancia que se estima de unos 200 km de aquí al año 2050. Esta afirmación la vemos visualizada en un mapa de Europa en la Figura 1.X.

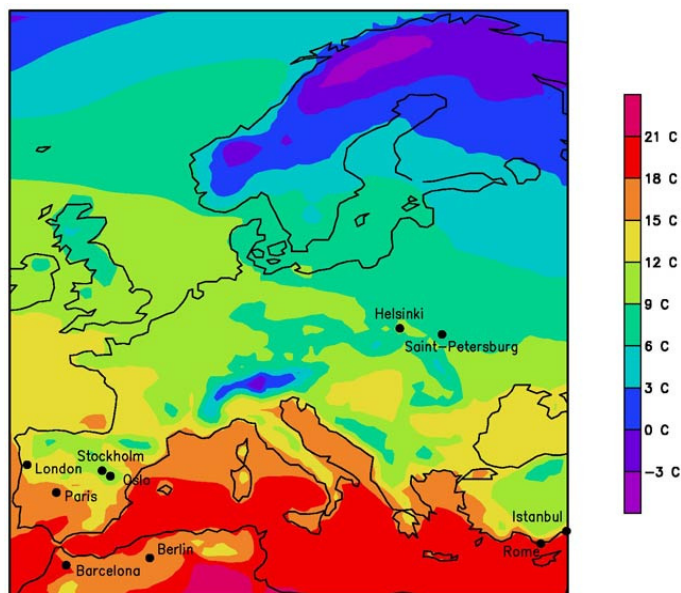


Figura 1.5. Visualización del cambio climático mediante el “desplazamiento” climático de capitales europeas hacia el norte de África. Extraído del artículo de Adam D. “Climate change map: What Europe will look like in 2071”, The Guardian 15/05/2007.

Parece contrastado que las previsiones sobre el cambio climático bajo los diferentes modelos de emisiones de CO₂, generan un atemperamiento del rigor climático, con un aumento de las temperaturas tanto en invierno como en verano en la zona de estudio.

Este mismo autor señala que “*el cambio climático nos obliga a repensar profundamente la arquitectura y a desplazar nuestro interés desde un punto de vista puramente visual y funcional, a una aproximación más sensible que se preocupe más de los parámetros invisibles y climáticos del espacio*” [RAHM 2009].

Nicholas Stern, uno de los más respetados estudiosos del Cambio Climático dice que “*a menos que se impulsen acciones contundentes, hay una alta probabilidad de que, dentro de aproximadamente un siglo, el mundo sea en promedio 4 grados centígrados más caliente de lo que era a finales del siglo XIX (antes del inicio de la industrialización). Este aumento en la temperatura promedio y otros cambios climáticos con él vinculados alterarán la relación de los humanos con el planeta, incluyendo dónde y cómo viven.*” [NAÍM 2014]. Las consecuencias de este posible cambio climático están descritas en numerosos artículos científicos, sequías, inundaciones, aumento del nivel del mar etc. En lo que respecta a la región climática que abarca este estudio, las consecuencias previsibles de este cambio climático tienen que ver fundamentalmente con un aumento de las temperaturas y de la humedad en el aire. Parece que aquí la preocupación mayor es la que nos avanza el geólogo e investigador del cambio climático Richard Alley, que nos señala a partir de los datos del estudio del cambio climático en los glaciares que “a

finales de siglo, va a ser muy difícil vivir sin aire acondicionado y cultivar en las zonas calurosas” [ALLEY 2015].

Ante esta situación, las tres actitudes más comunes descritas por Moisés Naím [NAÍM 2014] son el escepticismo y negación, el egoísmo (yo no lo veré), y el fatalismo o impotencia. Sobre la primera opción, escepticismo y negación, se indica que el 97% de los artículos científicos que tratan el tema del cambio climático concluyen que se está produciendo un aumento de la temperatura del planeta, señalando además que 140 fundaciones reciben más de 900 millones de dólares al año de sectores interesados en fomentar dudas sobre el cambio climático. La segunda actitud, “*yo no lo veré, aún falta tiempo*”, obvia que el proceso se ha acelerado y que si no se toman medidas, para 2036 veremos un aumento de 2°C, suficiente para ver efectos catastróficos. Sobre la actitud pesimista, aunque fuera cierta, “*ver pasivamente cómo el planeta avanza hacia la catástrofe sin hacer nada debería ser una actitud intolerable.*” [NAÍM 2014].

Sin embargo, estos estudios sobre cambio climático pueden sufrir grandes variaciones en los próximos años. Como ejemplo vemos que el último informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC en sus siglas en inglés) de abril de 2014, en sus conclusiones conforman que el desarrollo del gas no convencional ha jugado un papel determinante en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en los Estados Unidos [SUÁREZ, CÁMARA 2014]. Pero la reducción de los gases de efecto invernadero se puede conseguir con más eficacia con pequeños gestos que con grandes inversiones. El economista Suizo Massimo Filippini, profesor del Instituto Federal de Tecnología de Zúrich defiende que “*el ahorro energético comienza en casa*” y lamenta que desde la sociedad se busquen inversiones en sostenibilidad con visibilidad, por ejemplo unas placas solares en el tejado, aunque estas sean menos efectivas que unas buenas ventanas aislantes, con mucho mayor repercusión en el consumo energético de una vivienda [HONORATO 2014], por lo menos en lo que se refiere a los climas Centroeuropeos con climas fríos.

1.3 OBJETIVOS

A la vista de que en su origen del estándar Passivhaus está definido en una dirección conservativa de la energía, desarrollado en climas con unos valores relativamente bajos de radiación solar, este estudio trata de analizar las consecuencias de una construcción bajo el estándar Passivhaus en los climas presentes en la Comunidad Autónoma Vasca y la Comunidad Foral de Navarra, muy diferentes entre sí, pero caracterizados todos por un menor rigor en invierno y mayor en verano, con una mayor o menor incidencia de ambos efectos según las zonas climáticas que describiremos.

A partir del punto anterior, se trata de evaluar la aplicabilidad del estándar Passivhaus a cada zona climática. Se pretende hacer un estudio adaptado a los ámbitos climáticos que se encuentran en los territorios políticos, y marcar las tendencias constructivas y tipológicas adecuadas para una mayor adaptación a las normativas europeas de ahorro energético.

El estudio busca evaluar el comportamiento que tienen los edificios en los meses cálidos en cuanto al confort térmico, definiendo las mejores estrategias para que estos permanezcan dentro unos niveles óptimos. Habida cuenta de que como se muestra en el Capítulo 2, las soluciones mediante refrigeración pasiva que se proponen como la ventilación natural, sobreventilación nocturna (mecánica y natural) y enfriamiento conductivo por contacto con el terreno son las respuestas más habituales al sobrecalentamiento antes de optar por los sistemas activos de refrigeración, se reflexionará sobre la adecuación de los mismos a la edificación colectiva en entornos

urbanos propia de las promociones públicas de vivienda. Se evaluará asimismo si otros sistemas pasivos para evitar el sobrecalentamiento, soluciones arquitectónicas (estructuras fijas de protección del sol), sistemas móviles de protección solar (estores reflectantes exteriores) pueden mejorar suficientemente la situación de posible sobrecalentamiento en las diferentes zonas climáticas. Asimismo, se evalúa cómo se comportan los diferentes sistemas constructivos, con mayor o menor inercia térmica, a la hora de conseguir un confort térmico dentro de los rangos establecidos.

En definitiva, el estudio trata de responder a la siguiente pregunta:

¿La adopción de la estrategia conservativa del estándar Passivhaus (alto aislamiento y estanqueidad, ventilación con recuperadores de alta eficiencia) unido a una mayor radiación que en Centroeuropa permitirá a las viviendas colectivas construidas en el área de estudio permanecer dentro de las zonas de confort tal y como se conciben en la actualidad? Si no es así, ¿Se podrá alcanzar niveles de confort adecuados utilizando únicamente sistemas pasivos (protecciones solares, ventilación natural nocturna) o habrá que recurrir a sistemas activos de refrigeración pasiva?

1.4 HIPÓTESIS DE PARTIDA

Las hipótesis que subyacen en este trabajo son las siguientes:

Hipótesis 1ª: La transición climática que se produce entre la Comunidad Autónoma Vasca y la Comunidad Foral Navarra obliga a diseñar los edificios con una estrategia diferente, más próxima a Centroeuropa en la franja norte y más próxima al Mediterráneo en la franja sur.

Como ejemplo se avanza que un factor de vital importancia a la hora de diseñar un edificio de bajo consumo energético, la radiación solar, tiene una variación sustancial, de 3,55 kWh/m²día en Donostia-San Sebastián hasta los 4,40 kWh/m²día en la franja sur de Navarra, ambos lugares separados únicamente por unos 190 km. Por poner estos datos en un contexto más amplio, la ciudad de Berna en el norte de Suiza tiene una irradiación global media de 3,52 kWh/m²día y la ciudad de Roma 4,50 kWh/m²día [SANCHEZ et ál. 2012].

Hipótesis 2ª: La aplicación de los estándares de bajo consumo energético centroeuropeos, Passivhaus en este caso, con una visión conservativa del consumo de la energía, pensado especialmente para periodos fríos, puede producir situaciones de gran desconfort en los periodos cálidos del año, lo que a la fuerza conllevará a la adopción de sistemas individuales de refrigeración en lugares donde no era habitual.

Esta hipótesis, aunque es el eje principal del trabajo, incluye la tendencia que existe en Europa a partir del ahorro energético generado por la Directiva EPBD [UE DIRECTIVA 2010/31/EU] mediante la utilización de conceptos conservativos de la energía.

Hipótesis 3ª: El estándar Passivhaus se ha aplicado y evaluado principalmente en tipologías de baja densidad, viviendas unifamiliares y adosados y en menor medida en bloques de apartamentos. Sin embargo, la vivienda colectiva puede sufrir mayores periodos de sobrecalentamiento debido a su menor capacidad para evacuar el calor y a los entornos urbanos en los que se encuentra, en los que se producen con mayor frecuencia fenómenos de islas de calor y la ventilación natural se ve dificultada por la contaminación y el ruido.

El estándar tiene su origen en países con niveles altos de superficie útil por persona, mientras que la vivienda colectiva en el ámbito de estudio ha sufrido una reducción de dicha superficie.

Hipótesis 4ª: En cuanto al clima, dos factores fundamentales pueden generar un aumento en las horas de desconfort por sobrecalentamiento, el cambio climático y las islas de calor urbanas.

Ambas situaciones climáticas solas o combinadas pueden transformar la situación actual de demanda de calefacción en invierno (en la globalidad del territorio estudiado) y demanda de refrigeración en verano (en la zona sur del territorio), en edificios con una demanda muy reducida de calefacción (o nulas) y un aumento progresivo de la demanda de refrigeración.

1.5 METODOLOGÍA

Amos Rapoport en “*Cultura, Arquitectura y Diseño*” [RAPOPORT 2003], sostiene que “...la *Arquitectura no es una libre actividad artística, sino una profesión basada en la ciencia y encaminada a la solución de problemas. Estos problemas, además deben ser descubiertos e identificados, y no **definidos** o inventados por diseñadores. De aquí la conclusión de que la arquitectura y los ámbitos relacionados del diseño (como diseño urbano, arquitectura paisajística, diseño de interiores, y hasta cierto punto, también el diseño industrial) forman en su conjunto un campo de diseño del entorno.*”, y ahondando en la cuestión continúa “*El objeto del diseño del entorno no consiste en dar a los que lo practican la oportunidad de expresarse artísticamente,....la satisfacción profesional de un diseñador ha de provenir de la identificación y solución de problemas. Entonces, el objetivo del diseño sería crear entornos y componentes que se ajustasen a las necesidades de los usuarios, es decir, crear los ambientes y su **relleno** para que presten apoyo a los usuarios, sus deseos, sus actividades, etc....Esto significa que los productos de tal diseño (edificios y otros entornos físicos) deben basarse en la comprensión de las cualidades humanas, ajustarse a las mismas y prestarles apoyo (to be supportive)*”. Más adelante señala que “...el diseño se convierte en una aplicación del conocimiento basado en la investigación científica; este conocimiento significa conocer y seguir la literatura especializada para poder basar los diseños en los últimos avances de la investigación científica, y no en las preferencias personales del diseñador, su intuición y cosas por el estilo, aunque estas últimas sirvan para ayudar a formar hipótesis que necesitan ser demostradas, antes que aceptadas a fuerza de ser deseadas”.

Nos indica además que “*esta investigación científica debe estar presente no únicamente en el propio proceso de diseño, sino en toda la secuencia de actividades esenciales que deben precederlo (como el análisis del problema o la programación (**lo qué** ha de ser diseñado y **porqué**) o sucederlo (como la evaluación posterior a la ocupación del entorno)*”.

Finalmente, indica el proceso para evaluar el éxito de un diseño, siendo necesario encontrar respuesta a dos preguntas:

-Una primera cuestión que debemos hacernos, “*¿Qué debe hacer el diseño para solucionar su(s) problema(s)? Es necesario saberlo para poder juzgar si los problemas están realmente solucionados, o lo que es lo mismo efectuar una evaluación posterior a la ocupación del entorno [post-occupancy evaluation] en lugar de hacer crítica arquitectónica que únicamente representa las preferencias personales del crítico, careciendo así de todo interés y valor.*”

-Una segunda cuestión primordial para saber si un diseño tiene éxito consiste en saber que *“si un diseño está destinado a crear un entorno mejor, uno necesita saber: ¿Qué es lo mejor? ¿Cómo se sabe qué es mejor? etc.”*.

Sin negar las cualidades del diseño intuitivo-sintético, tradicional en la enseñanza en las escuelas de arquitectura, esta investigación trata de regirse por la línea Lógico-Analítica (Tabla 1.1).

Tabla 1.1. Diseño intuitivo frente a diseño lógico y analítico		
ESTRATEGIA DE PROYECTO	INTUITIVO-SINTETICO	LÓGICO-ANALÍTICO
Modo de pensar	Intuitivo, grandes saltos asociativos, orientación de ideas	Motivación orientada comprensible, orientada por la ciencia
Base de conocimientos	Experiencia, libertad condicional, diseños realizados y recordados	Investigación científica, teorías, validación a través de mediciones
Transferencia de conocimiento	Tradiciones, modelos, tipologías, anécdotas	textos científicos, diagramas, planificación y reglas de diseño
La teoría del diseño	Relación profesor-alumno basada en la imitación, pictórica, asociativa, la narrativa	Relación profesor-alumno basado en el discurso y la crítica, la organización de los principios del conocimiento
Método de Diseño	El uso de modelos y tipologías, encontrando una idea de diseño	Desarrollo de soluciones de diseño basado en el análisis de problemas y evaluación de soluciones alternativas
Modos de visualización	Croquis, explicaciones, planes de presentación y modelado	Bocetos estructurales y modelos, planos, textos, gráficos, cálculos, simulaciones
Elaboración propia a partir de [GONZALO, VALLENTIN 2013]		

En los últimos años, una ola mediática ha hecho que el concepto Passivhaus se haya difundido hacia el sur de Europa llena de argumentaciones de ahorro energético y justificando el gran éxito que este estándar ha tenido en Centroeuropa sin someter el concepto a una evaluación crítica según la metodología lógico analítica o simplemente siguiendo la metodología propuesta por Amos Rappoport. De alguna forma, la aplicación del estándar en la región está siendo sustentada más por un pensamiento intuitivo-sintético propio de la arquitectura aunque en su origen Centroeuropeo esté ampliamente basada en un pensamiento lógico-analítico. Esto ha hecho que las instituciones se hayan lanzado a la construcción de viviendas con las características de aislamiento y estanqueidad del estándar sin adaptar los modelos construidos a la repercusión que sobre el confort en verano pueden tener sobre los edificios, manteniendo criterios tipológicos provenientes de lógicas anteriores (compacidad, ausencia de protecciones solares fijas, sistemas de protección móvil no domotizados, no incorporación de sistemas pasivos de refrigeración). En la Figura 1.6 se muestra la anunciada primera promoción Passivhaus de vivienda colectiva en el País Vasco, en la que se aprecia la ausencia total de adaptación al clima tanto en las tipologías (se mantienen tipos con una sola orientación sin posibilidad de generar ventilaciones cruzadas) y sin ninguna protección solar fija ni adaptación de las protecciones solares móviles al confort interior.



Figura 1.6. Proyecto de 170 viviendas (103 VPO + 63 viviendas sociales) en Bolueta, Bilbao. V arquitectos, promovidas por la Sociedad Pública de Vivienda del País Vasco (VISESA). Imágenes exteriores [varquitectos.com] y de ordenación de [idom.com].

La metodología lógico-analítica que nos propone el mismo PHI¹⁴ para trasladar el estándar a otras regiones nos dice que después de que se hayan definido los objetivos de casas pasivas en diferentes países con diferentes climas, el siguiente paso es llevar a cabo el estudio paramétrico mediante ordenador de las soluciones de diseño de construcción y comprobar los resultados de la demanda de energía, la inversión financiera y el confort interior saludable. Un diseño de construcción tradicional puede ser utilizado como un punto de partida (referencia), y a continuación, cada elemento puede ser modificado paso a paso: paredes exteriores, techos, ventanas, losas de piso, ventilación, etc. Se recomienda tener en cuenta parámetros tales como la pared exterior y color (coeficiente de absorción solar), la emisividad de onda larga de las superficies externas, el efecto de la variación de la masa interna y las cargas internas techo. El estudio paramétrico se debe realizar con un modelo de construcción térmica informatizado [FEIST 2012-b].

Las posibilidades son:

- Un primer modelo principio simulación con programas como "Derob", "DYNBIL", "Energy Ten" o cualquier otro programa de simulación dinámica.
- Un modelo simplificado validado según la norma EN 832, por ejemplo, PHPP.

El PHIn este sentido ha realizado dos aproximaciones a la implantación del estándar en regiones con climas diferentes al de Centroeuropa, "*Passive Houses in South West Europe*" [SCHNIEDERS 2009], centrado en la región del Suroeste de Europa, y "*Passive Houses for different climate zones*" [SCHNIEDERS et ál. 2011], con un análisis de una misma tipología (una vivienda unifamiliar adosada) en varias ciudades del mundo con climas radicalmente diferentes, en general extremos, que van desde una ciudad situada en una región extremadamente fría, Ekaterimburgo, pasando por dos ciudades de clima subtropical cálido y húmedo, Tokio y Shanghái y finalmente dos ciudades con clima cálido y seco, Las Vegas y Dubái. Estas dos referencias sirven de base fundamental para el desarrollo de este trabajo.

¹⁴ A partir de este punto nos referiremos al Passivhaus Intitut por el acrónimo PHI.

En este trabajo, en el que el objeto es evaluar el estándar en vivienda colectiva bajo los condicionantes de diseño de Viviendas de Protección Oficial, las metodologías anteriormente descritas se sustentan como sigue en los siguientes puntos:

1º-Describir las tipologías más comunes en la construcción de vivienda protegida en la región de estudio.

Este punto tiene como objetivos definir qué tipologías son las más habituales en vivienda colectiva bajo los criterios de las Normativas de Vivienda de Protección Oficial, y a partir de ahí definir los modelos más habituales para utilizarlos como base de la simulación.

2º-Definir los sistemas constructivos que más se adaptan a una construcción de bajo consumo energético en vivienda colectiva.

Los grandes espesores de aislamiento necesitan de soluciones constructivas adaptadas, así como la utilización de materiales de bajo contenido en energía gris. Este punto analizará los métodos constructivos presentes en el área de estudio y los más utilizados en Centroeuropa por el estándar Passivhaus.

3º-Describir las zonas climáticas en la región de este de estudio. A partir de ahí definir las ciudades de referencia.

A partir de un análisis de las diferentes clasificaciones climáticas, este punto busca evaluar qué ciudades pueden servir como modelo característico de la zona climática, eligiendo para ello a la ciudad o población con mayor densidad demográfica.

4º-Simular los modelos tipológicos y estudiar el grado de confort alcanzado.

Una vez definidos los modelos tipológicos más repetidos, se simularán en las diferentes zonas climáticas, las diferentes situaciones dentro de la edificación y las tipologías constructivas definidas, así como en el clima de referencia y las proyecciones climáticas.

5º-Dotar y evaluar las mejores soluciones pasivas frente al sobrecalentamiento.

En este punto se busca dotar y evaluar las soluciones pasivas frente al sobrecalentamiento más factibles en vivienda colectiva protegida.

6º- Simular la influencia de los aspectos socioculturales más relevantes en el confort de las viviendas.

La diferente situación sociocultural entre el territorio de estudio y los países de origen del estándar son relevantes en cuanto a tipologías (vivienda colectiva frente a unifamiliar) ratio persona/m² habitable y densidad en las viviendas. Estos factores que se sustentan en diferentes intensidades en los aportes internos generarán situaciones que se estudian mediante un sistema comparativo.

7º-Simular la influencia del cambio climático en los modelos optimizados para el clima actual de referencia.

Se evalúa la resiliencia¹⁵ de los modelos adaptados al clima de referencia estadístico ante los escenarios de cambio climático dentro de la vida útil de la edificación.

8º-Simular los sistemas constructivos definidos para evaluar su impacto en el confort interior.

¹⁵ Resiliencia es un término en boga en la actualidad proveniente de la ecología. La resiliencia; en ecología, capacidad de las comunidades y ecosistemas de absorber perturbaciones sin alterar significativamente sus características de estructura y funcionalidad, pudiendo regresar a su estado original una vez que la perturbación ha cesado.

Se evalúa la incidencia de los diferentes sistemas constructivos en función de su capacidad térmica en el confort interior con los climas de referencia estadísticos y con los escenarios de cambio climático.

9º-Conclusiones.

En este punto determinaremos qué modelos y en qué situaciones pueden superar las condiciones de confort establecidas, y en cuales hay que proponer otras soluciones, bien mediante sistemas activos o mediante soluciones constructivas.

1.6 LIMITACIONES

Este estudio se limita a los climas presentes en los territorios de la Comunidad Autónoma Vasca y a la Comunidad Foral de Navarra. Lógicamente, los territorios políticos no definen ámbitos climáticos, por lo que las conclusiones derivadas sobre climas determinados pueden transponerse a regiones con climas similares. No se evalúan sin embargo los condicionantes microclimáticos, especialmente derivados sombreado de objetos cercanos, vegetación, situación urbana, etc. Los edificios se disponen en una situación ideal sin la interferencia de sombras arrojadas. Por tanto este estudio no valora la importante repercusión que puede tener el diseño urbano en cuanto al acceso a la radiación solar en cada situación urbana o topográfica. En Centroeuropa una alta compacidad parece dar una buena respuesta a los edificios con mal acceso a la radiación solar. Sobre esta discusión se puede consultar la reflexión aportada por [GONZALO, VALLENTIN 2013] pág. 68 y siguientes. En el territorio de estudio, no solo la densidad urbana sino la orografía son unos condicionantes importantes a la hora de tener una buena radiación solar como se indica en el Capítulo 3.2.1.

En este sentido, este estudio toma en consideración una premisa de confort en la totalidad de las viviendas de cualquier promoción que se pueda realizar, frente al criterio de consumo energético que realiza en PHI en una promoción. El valor límite de consumo de calefacción en el estándar se refiere en vivienda colectiva a la media del edificio al completo. Es decir, algunas vivienda pueden tener un consumo final por encima de la media (peores orientaciones) y otras por debajo, pero la media del edificio debe mantenerse en el límite de 15 KWh/m²a. Esta premisa consideramos que no es válida a la hora de evaluar el confort. Podemos entender que una vivienda peor orientada en una promoción tenga un consumo algo mayor de energía, algo que tendrá solución con un mayor desembolso económico (o derivado de que el usuario decida tener una temperatura de consigna mayor que la calculada por el estándar en 20°C), pero será difícilmente entendible que una vivienda sea inconfortable (o un número reducido de viviendas de la promoción) y no sea posible alcanzar un grado de confort mínimo si no es haciendo inversiones en equipos de refrigeración activa (si es que es posible su incorporación).

Asimismo, el objeto de estudio es la vivienda colectiva bajo la normativa de Vivienda de Protección Oficial en vigor en la zona de estudio, País Vasco y Navarra. Como veremos, esto no excluye la vivienda de promoción privada, que muchas veces suele tener unas características similares en cuanto a configuración tipológica, variando por ejemplo en aspectos no vinculados con el estudio como son la calidad de los materiales o simplemente a su situación en zonas más cotizadas de los centros urbanos. Sí quedan fuera del estudio tipologías de vivienda unifamiliar, bifamiliar y adosadas, que por sus características están fuera mayoritariamente de las promociones públicas de vivienda (algo menos en Navarra que en el País Vasco por cuestiones urbanas), y en general es una tipología con menor presencia en el mercado español que la vivienda colectiva.

Este estudio abarca únicamente la simulación dinámica mediante programas de ordenador específicos. Como se observa en el Capítulo 2, y como indica Amor Rappoport en su metodología, las formas de evaluación típicas de las promociones Passivhaus pasan por una primera fase de estudio mediante programas de simulación dinámica o estática, una segunda fase de construcción y ensayos, en la que se puede incluir monitorizaciones con las viviendas desocupadas y ocupadas, y una tercera fuente de datos mediante encuestas a los usuarios de las viviendas una vez ocupadas. La fase que abarca este estudio necesitará en un futuro de un contraste con edificaciones construidas y habitadas para tomar conciencia precisa de los resultados que de ella se derivan.

1.7 ESTRUCTURA DE LA TESIS

La tesis se divide en varios capítulos y anexos. El **primer capítulo** se corresponde con esta introducción.

En el **segundo capítulo** se definen los fundamentos técnicos de este estudio. Primeramente se resume de forma breve las características técnicas principales del estándar Passivhaus. Este capítulo remite a el Anexo I, en el cual se desarrollan de forma más detallada aspectos del estándar con el que estamos poco familiarizados en la construcción española, haciendo un comparativo con la situación normativa estatal, puentes térmicos, ventana Passivhaus, infiltraciones y ventilación Passivhaus. Posteriormente, se realiza un análisis de los estudios existente sobre edificios construidos bajo el estándar Passivhaus en climas cálidos y los estudios sobre el comportamiento en verano de edificios Passivhaus o similares en cualquier clima. Se añade en este capítulo un estudio sobre los modelos de confort vigentes y las tendencias futuras con el fin de definir los límites del confort térmico de verano para este estudio. Por último, se analizan los sistemas de refrigeración pasiva más comunes en la bibliografía.

En el **tercer capítulo**, se definen los fundamentos metodológicos. En primer lugar las bases de la simulación dinámica, posteriormente un análisis de los climas presentes en el área de estudio, el cambio climático y las islas de calor urbanas, y la metodología para obtener los datos climáticos. Por último, se fundamentan los datos de ganancias de calor internas utilizados en el estudio.

En el **cuarto capítulo**, se define el modelo simulado, que comprende tanto la tipología edilicia como la constructiva.

En el **quinto capítulo**, se evalúan las tipologías expuestas en las zonas climáticas expuestas en el Capítulo 3 y utilizando los aportes internos estándar definidos en el mismo Capítulo 3. En una primera parte se adecúan las tipologías a los diferentes climas presentes en la zona de estudio desde la perspectiva de los máximos impuestos por el PHI en el periodo invernal. En una segunda parte se adaptarán las tipologías seleccionadas como las más representativas y sensibles al sobrecalentamiento para garantizar el confort durante todo el periodo estival. La adecuación contendrá sistemas básicos de protección solar para posteriormente analizar con tres sistemas de control de la temperatura interior, el primer lugar la refrigeración activa, en la que se calcula la demanda de energía anual necesaria para refrigeración, posteriormente la ventilación mecánica inteligente, aprovechando el descenso de temperaturas nocturnas, y por último se realiza un análisis de la capacidad de la ventilación natural a través de las ventanas controlada manualmente.

En el **sexto capítulo**, se realiza un análisis del comportamiento de los tipos seleccionados a diferentes niveles de aportes internos.

En el **séptimo capítulo**, se analizan los efectos del cambio climático en los tipos seleccionados según los diferentes escenarios de cambio climático.

En el **octavo capítulo**, se valora la repercusión de la inercia térmica en el grado de confort de los tipos seleccionados.

En el **noveno capítulo**, se exponen las conclusiones finales de este trabajo.

En el **décimo capítulo**, se exponen las futuras líneas de investigación

2 FUNDAMENTOS TÉCNICOS

2.1 LOS PRINCIPIOS DEL ESTÁNDAR PASSIVHAUS

2.1.1 HISTORIA DEL NACIMIENTO DEL ESTÁNDAR

A principios de los años 80 la construcción de viviendas de bajo consumo energético era ya un estándar habitual en países como Suecia y Dinamarca. Se reflexionaba sobre el aislamiento, la prevención de los puentes térmicos, la estanqueidad, los acristalamientos y la ventilación controlada¹⁶. Las casas pasivas fueron entonces definidas como viviendas que no necesitan de una calefacción activa convencional. Posteriormente esta definición fue ampliada a todos los tipos de energía, no solamente a la calefacción, determinando un límite al consumo de la energía primaria del conjunto del edificio [GUERRIAT 2008]. Un primer grupo de trabajo científico, financiado por el Ministerio de Economía y de la Técnica de la región de Hesse en Alemania, fue organizado para reflexionar sobre la construcción de las primeras viviendas pasivas.

2.1.1.1 HITOS HISTÓRICOS

LAS CASAS PASIVAS TRADICIONALES

Históricamente se reconocen numerosos ejemplos a lo largo del planeta en los que como Reyner Banham describe como actitudes conservativas ante el uso de la energía [BANHAM 1969]. El Profesor Bo Adamson señala algunos casos a lo largo de las diferentes arquitecturas en las que se prescindía tanto de la calefacción como de la climatización activa, poniendo como ejemplo viviendas en la costa de Portugal, una parte de Irán y el Sur de China [ADAMSON 1992]. En estos lugares se habían construido viviendas pasivas aunque no se catalogaron como tales. La cuestión que se planteó el profesor Bo Adamson fue si era posible transponer esta idea elemental con los medios técnicos europeos [FEIST 2006].

LA VIVIENDA TRADICIONAL EN ISLANDIA

Las crisis energéticas de la madera para calefacción se extendieron en Europa durante los siglos XVI al XVIII hasta que se recurrió al consumo de combustibles fósiles, principalmente carbón. Esta opción no existía en Islandia [DIAMOND 2010], donde se desarrolló una tradición de la construcción mediante turba y hierba que privilegiaba la actitud conservativa, ya que además la madera disponible era de abedul, madera poco apta para construir viviendas bien aisladas. Se consideran viviendas pasivas aunque con ventanas mal adaptadas y ventilación insuficiente. Estas viviendas se construían semienterradas con un revestimiento de tierra y hierbas unidas a sus raíces para soportar una temperatura media anual de 2,6°C.

¹⁶ La idea de la casa pasiva nació en un encuentro de investigación en mayo de 1988 entre los profesores Wolfgang Feist de la Universidad de Darmstadt (Institut für Wohnen und Umwelt / Institute for Housing and the Environment), Alemania, y Bo Adamson en la universidad de Lund en Suecia.

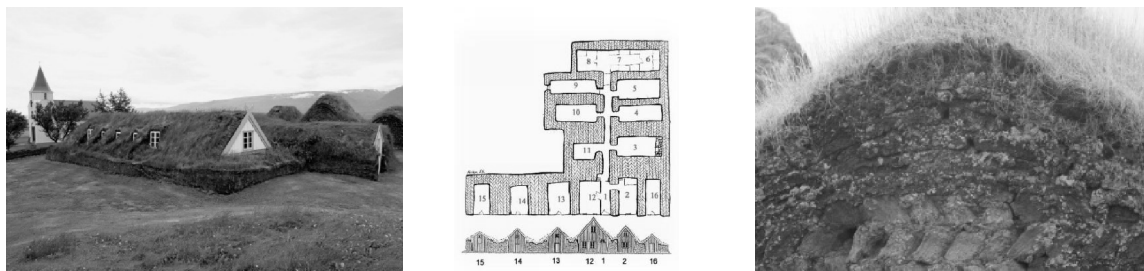
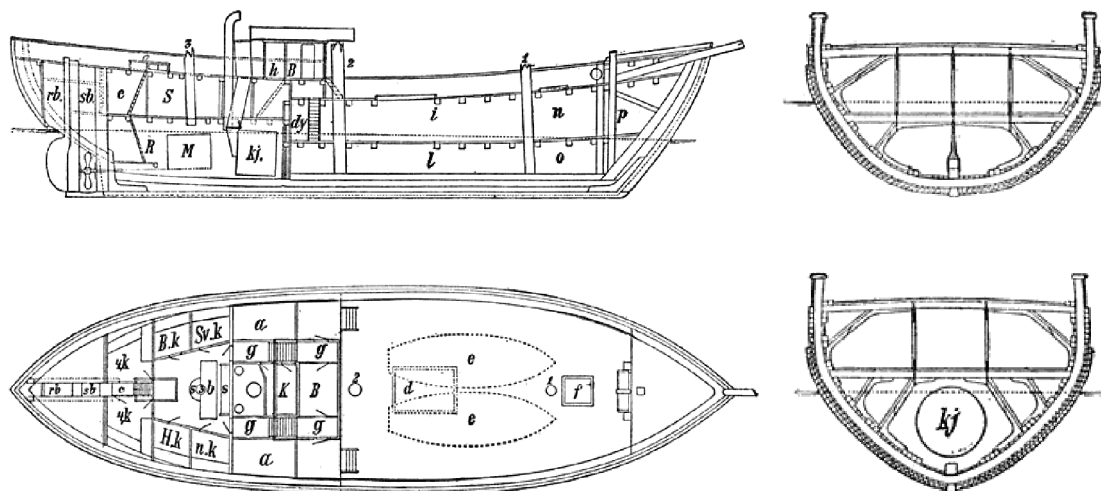


Figura 2.1. Viviendas tradicionales de tierra en Glaumbaer, Islandia. De izquierda a derecha: Imagen exterior; Planta y alzado; Cubierta con diferentes capas de turba [WIKIPEDIA].

EL BUQUE DE EXPLORACIÓN FRÅM

Uno de los primeros ejemplos que incluye algunos principios básicos de la vivienda pasiva es el buque de exploraciones polares Frām¹⁷. Este buque fue diseñado por el ingeniero naval y constructor de barcos Colin Archer, noruego de origen escocés, para la expedición de Fridtjof Nansen al Ártico de 1893, en la cual el Frām debía quedar atrapado en la placa de hielo ártica y flotar con ella hasta el Polo Norte. El buque fue construido con madera de roble reservada para la marina noruega durante 30 años. El espesor total de las paredes del buque era de 70 a 80 cm [NANSEN 2010].



Leyenda: **rb** Timón. **sb** Pozo de hélice **S** Salón. **s** Sofás del salón. **b** Mesa en el salón. **Svk** Camarote de Sverdrup. **Bk** Camarote de Blessing. **4k** Camarote de cuatro camas. **Hk** Camarote de Scott-Hansen. **nk** Camarote de Nansen. **c** Escalera hacia sala de máquinas. **R** Sala de máquinas. **M** Motor. **kj** Caldera. **g** pasos a cubierta **K** Cocina. **B** Sala de cartas. **h** Sala de trabajo. **dy** Espacio para la dinamo. **d** Escotilla principal. **e** Botes salvavidas. **i** Bodega principal. **l** Bodega inferior. **f** Fore-hatch. **n** Base mástiles **1** Trinquete. **2** Palo mayor. **3** Palo de mesana.

Figura 2.2. Buque de exploración Frām. De arriba hacia abajo: Sección longitudinal, Planta, sección por el medio del barco y sección transversal por la sala de máquinas [NANSEN 1897].

"Mi proyecto es el siguiente: Disponer la construcción de un barco lo más pequeño y resistente posible... Lo principal en este barco es que se construya de tal forma que le permita resistir la presión de los hielos. Debe tener los costados lo bastante oblicuos para que el hielo, al presionar, no encuentre fácil punto de apoyo... sino que... lo levante." [NANSEN 1897].

¹⁷ Fram significa "adelante" en noruego.

Son conocidas la resistencia y durabilidad del barco, construido básicamente en madera, al resistir largas expediciones atrapado en los hielos árticos, pero además son de destacar aspectos como la incorporación de un molino de viento para generar electricidad a una instalación de iluminación mediante lámparas de arco. Sobre los aspectos pasivos, los muros del barco estaban contruidos con diferentes capas, partiendo de un revestimiento interior de madera de pino, le seguía una capa de linóleo estanco al paso del aire, después fieltro encolado, una espesa capa de corcho, a continuación una nueva carpintería de madera de pino, de nuevo una capa de fieltro, un linóleo, y por último una capa final de madera. El puente tenía un espesor de 40 cm, las ventanas por las cuales podía entrar el frío con más facilidad estaban fabricadas con un vidrio triple, destacando la ventilación que se realizaba con un sistema mecánico que impedía al frío entrar al interior. Se llegó a plantear incluso prescindir de la estufa [NANSEN 2004]. Se estima que estos cerramientos tenían una transmitancia U media de $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$.

En otros textos se reafirma en lo anterior: *“El alojamiento se dispuso en la popa, bajo la toldilla. Alrededor del salón había cuatro camarotes de una cama y dos de dos camas. Esta instalación tenía por objeto resguardar del frío exterior la pieza central. El techo las paredes y el suelo se recubrieron de una espesa capa de materiales no conductores del calor, detrás se puso linolium por todas partes para impedir la entrada del aire caliente y húmedo en los camarotes, donde su condensación hubiese formado depósitos de hielo. Gracias a estas precauciones, cuando se encendió fuego en el salón jamás hubo humedad, ni aún en los camarotes. Todo esto estaba diseñado para una tripulación de trece personas.”* [NANSEN 2010].

Las salidas hacia el exterior se realizaban pasando por cuatro puertas, también contruidas con varias capas de corcho, linóleo y madera. El Frâm estaba equipado con luz eléctrica, producida por una dinamo que se activaba con el motor de vapor y por un molino de viento cuando este estuviera apagado, que también podía ser accionado por la fuerza de los marineros a modo de ejercicio diario. Se embarco 20 toneladas de queroseno y 16 toneladas de petróleo junto con el carbón utilizado por la caldera del barco.

Al iniciar su segundo año atrapado en el hielo, 4 de octubre de 1894, se realizan algunas mejoras y se relata la cantidad de combustible disponible: *“Dure lo que quiera la expedición, no hay miedo de que falta luz ni combustible. Nuestra provisión de petróleo es suficiente para alumbrarnos durante diez años, suponiendo que las lámparas ardan anualmente trescientos días. Si es carbón, tenemos aún cien toneladas. Con tal surtido no habrá que economizar el combustible en las estufas. En fin, para protegernos mejor contra el frío, he mandado poner un toldo sobre el puente”* [NANSEN 2010].

Algunas citas nos sirven para imaginar la eficacia térmica de este navío [NANSEN 2010]:

“19 de noviembre (1893): El Frâm constituye, en medio de la banquisa, un refugio cómodo y abrigado. Aun con un frío de 30° no se enciende la estufa. Basta una lámpara para disfrutar en el salón de una temperatura muy agradable. Mis compañeros, por otra parte, no notan el frío. Cuando el termómetro marca 30° bajo cero, Berntsen va a leer al puente los termómetros en mangas de camisa. Casi en ninguna parte se aprecian huellas de humedad; por todos lados excelente ventilación, gracias a la manga de aire que difunde por todo el buque corrientes de aire frío y vivificante.”

“6 de febrero (1894): El termómetro oscila entre -47° y -48° . En el salón se eleva a $+22^\circ$; de modo que, cuando se sale, la diferencia de temperatura es de 69° a 70° . Sin

embargo aun con poca ropa y con la cabeza descubierta, no se siente impresión de frío.”

”28 de mayo (1894): A bordo es muy sensible la elevación de temperatura. Ya no es necesario encender la estufa del salón, y el hielo y la escarcha que cubren las paredes del almacén empiezan a fundirse.”

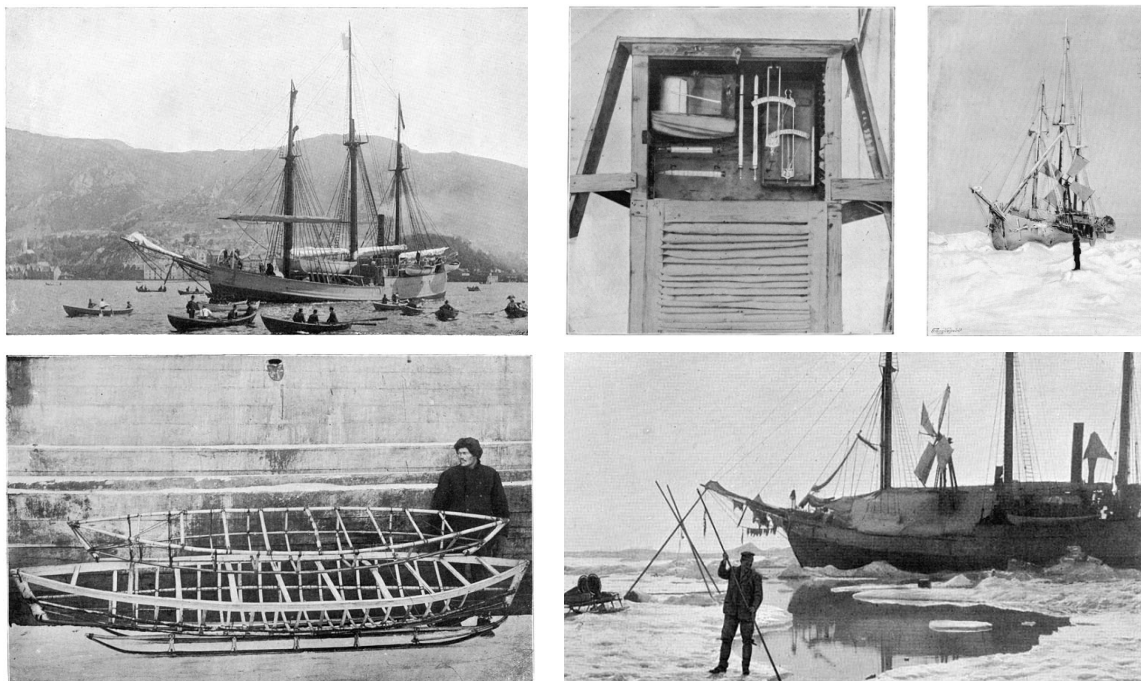


Figura 2.3. De izquierda a derecha, de arriba a abajo: El Frâm abandonando Bergen, estación meteorológica en el Frâm; Generador eléctrico en la cubierta con un molino de viento; Estructura de un kayak para una persona (realizado con bambú) y otro para dos personas unido a un trineo; El barco atrapado en el hielo con el generador eléctrico en cubierta [NANSEN 1897].

PRIMERAS EXPERIENCIAS PREVIAS AL ESTÁNDAR

La casa de consumo energético cero del profesor Vagn Korsgaard, realizada por la Universidad Técnica de Dinamarca (DTU) en Copenhague en 1973, se puede considerar como una de las primeras viviendas pasivas.

En 1974 se construyó la casa experimental Philips, realizada en Alemania por el grupo de investigación liderado por H. Höster, B. Steinmüller y otros, estudiaba el superaislamiento equipada con intercambiadores Tierra-Aire, ventilación controlada, bomba de calor solar, y monitorizada por un ordenador que servía para evaluar la eficiencia energética de sistemas que utilizaban energías renovables, demostrando ahorros potenciales de 10 a 20 veces el consumo habitual en esos años de una vivienda.

En Norteamérica, los pioneros W.A. Shurcliff y W. Shick realizaron numerosos proyectos de viviendas superaisladas durante los años 1970 y 1980, muy cercanas al concepto de casa pasiva. Fueron autores de numerosas publicaciones fundacionales del concepto que sirvieron de base al estándar Passivhaus en Europa.

En 1977 se construyó la casa de Conservación del Parque Saskatchewan, la cual dispone de la mayoría de los conceptos del estándar, incluyendo la estanqueidad al

paso del aire, gran aislamiento, buena orientación, protección solar adecuada, agua caliente solar, etc. En esta época W. Shurcliff empezó a buscar la denominación de este tipo de viviendas, proponiendo conceptos como Viviendas súper aisladas pasivas, viviendas pasivas súper ahorradoras, viviendas pasivas de necesidades mínimas, viviendas pasivas con migración de cargas. En todo caso auguró un gran futuro a este tipo de construcciones.

Once años después de estas declaraciones, el Doctor Wolfgang Feist adoptó los preceptos de W. Shurcliff, y acuñó la palabra Passivhaus para describir el método de construcción.

El Instituto de las Montañas Rocosas, construido por Amory Lovins, conocido no solo por sus construcciones sino también por sus publicaciones sobre energías alternativas, demostró que se podía pasar a la práctica a partir de las teorías desarrolladas en los años 1970.

La casa de Energía Cero en Döpe, cerca de Hannover, realizada por un grupo dirigido por E. Wiers-Keiser en 1989, se calculó para tener demandas más pequeñas que una casa pasiva, pero no se logró debido a una mala estanqueidad, problemas con el aislamiento y con la tecnología solar. Más tarde se mejoraron estos aspectos pudiendo alcanzar prácticamente el estándar Passivhaus. Los detalles constructivos fueron utilizados como base en proyectos posteriores.

Los principales problemas en estos primeros proyectos fueron:

- No detectar la importancia de la estanqueidad.
- La deficiente calidad de las ventanas, todavía en un estado experimental, y su colocación respecto del componente opaco de la fachada.
- La deficiente tecnología en los sistemas que hacía que estos no funcionaran y se convirtieran en adornos tecnológicos en los proyectos.

Asimismo, el PHI menciona entre otros los proyectos pioneros desarrollados por Conrad U. Brunner, Ruedi Kriesi and Josef Jenni en Suiza, y Helmut Krapmeier, Richard Caldonazzi, Sture Larsen en Austria.

Otro hito construido al mismo tiempo que la primera vivienda del estándar en Kranichstein fue las viviendas autárquicas del Institut für Solare Energiesysteme (ISE) de Friburgo, construidas en 1991-1992 por un equipo dirigido por W. Stahl. El proyecto tuvo problemas con un sistema de almacenamiento de hidrógeno, pero las tecnologías pasivas y los sistemas de recuperación de calor se mostraron muy efectivos. En este Instituto se ponen a prueba actualmente las unidades compactas de calefacción.

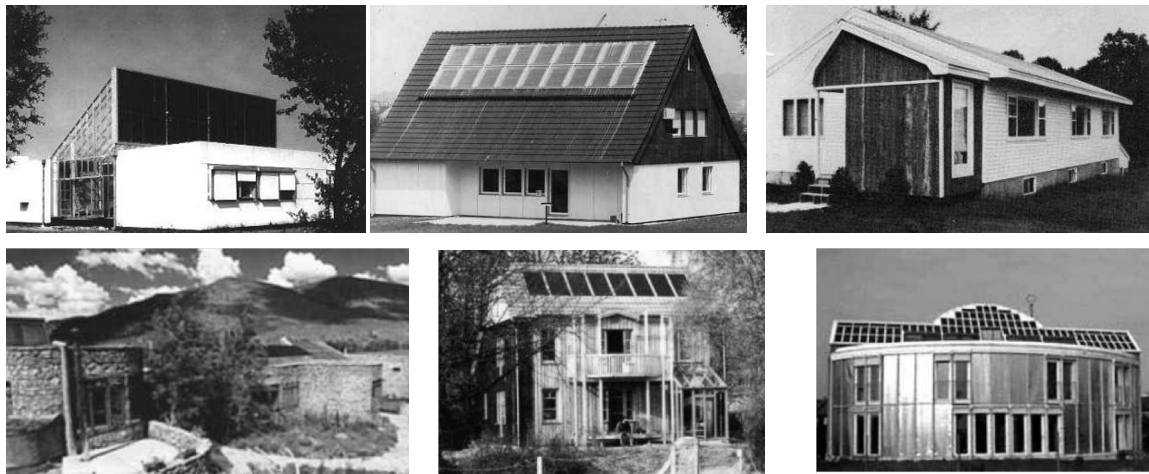


Figura 2.4. Algunas Experiencias previas a la creación del estándar Passivhaus. De arriba abajo, de izquierda a derecha: DTU Copenhague en 1973, casa experimental Philips, vivienda desarrollada por W. Shurcliff en Estados Unidos, Instituto de las Montañas Rocosas, La casa de Energía Cero en Döpe, viviendas autárquicas del ISE de Friburgo [PASSIPEDIA].

LAS VIVIENDAS PASIVAS DE DARMSTADT KRANICHSTEIN

Para desarrollar la primera vivienda pasiva en Hessen se formó un equipo de investigación internacional apoyado por Bo Adamson y Gerd Hauser y financiado por el Ministerio de Economía y Tecnología del Estado de Hesse. En estas viviendas se pusieron en obra todos los conceptos más destacados desarrollados en los años 80 en las viviendas de bajo consumo de Dinamarca y Suecia; fuerte aislamiento minimizando los puentes térmicos, estanqueidad, vidrios aislados y ventilación con recuperadores de calor. El grupo desarrolló ocho líneas de investigación cuyos resultados fueron puestos en obra directamente en la construcción de la primera vivienda pasiva en Kranichstein. A parte de los aspectos arquitectónicos, se desarrollaron investigaciones sobre el rendimiento de los recuperadores de calor de la ventilación, las cantidades adecuadas de renovación por ventilación para obtener una adecuada calidad del aire, se desarrollaron carpinterías con marcos aislados, se diseñaron nuevos detalles para conectar las diferentes partes constructivas del edificio evitando los puentes térmicos e incluso un sistema de recuperación de calor de aguas usadas. La ciudad de Darmstadt se interesó por la realización de la primera vivienda pasiva. Cuatro propietarios privados formaron la comunidad de propietarios de la Casa Pasiva y encargaron a los arquitectos Bott, Ridder y Westermeyer el desarrollo de un bloque de cuatro viviendas adosadas con 156 m² cada una. En esta vivienda se pusieron en obra conjuntamente soluciones que habían sido probadas por separado en viviendas de bajo consumo. Sólo usando todas estas soluciones de una manera conjunta se pudo llegar al objetivo de eliminar prácticamente la calefacción, sin embargo estas soluciones no eran económicas en la época ya que debieron ser realizadas a medida de forma manual, suponiendo un sobrecosto respecto de unas viviendas convencionales del 50% [PASSIVHAUSTAGUNG.DE].



Figura 2.5. La primera vivienda con estándar Passivhaus en Darmstadt-Kranichstein. Arquitectos Bott/Ridder/Westermeyer, diseño energético W. Feist y B. Adamson [PASSIVHAUSTAGUNG.DE].

Las viviendas se habitaron desde 1991, siendo equipadas con un sistema de monitorización para evaluar la eficacia de los diferentes sistemas. Con un uso normal, este proyecto demostró un impecable funcionamiento de todos los componentes hasta el día de hoy. La energía consumida medida para calefacción está por debajo de 10 kWh/m²a desde 1991, suponiendo un ahorro de hasta el 90% respecto de un edificio tradicional. Se obtuvieron valores de calidad del aire, y los elevados niveles de confort térmico han sido confirmados tanto por las mediciones como por los usuarios. Muchos de los componentes, como por ejemplo las carpinterías de las ventanas, fabricadas manualmente como piezas únicas, generaron la fabricación en serie debido a su perfecto funcionamiento [PASSIPEDIA]. La Figura 2.X muestra los consumo de la promoción desde 1997 hasta 1999.

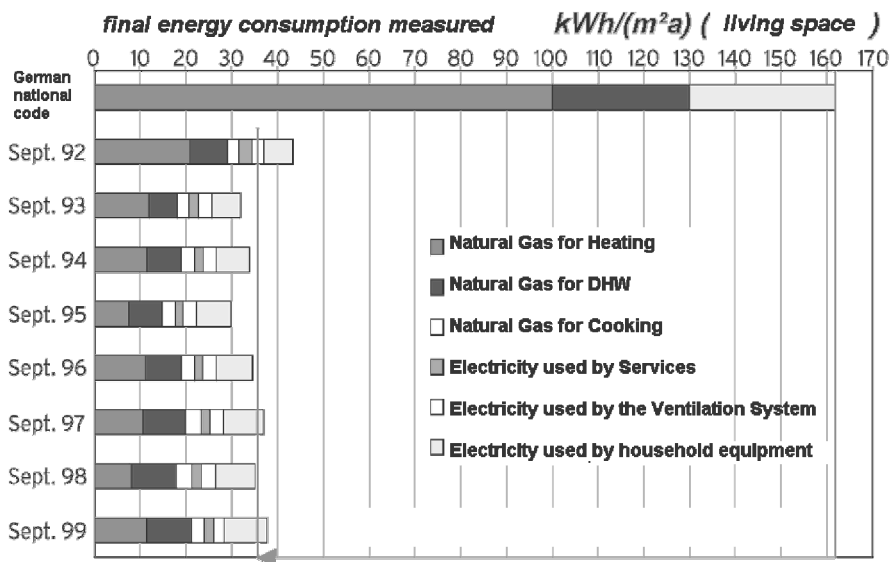


Figura 2.6. Comparativo del consumo de las viviendas Darmstadt-Kranichstein con el estándar alemán de la época [PASSIVHAUSTAGUNG.DE].

Los datos sobre la construcción y los resultados de las mediciones pueden consultarse en [FEIST 1997] y en la página dedicada al decimoquinto aniversario de su construcción [PASSIVHAUSTAGUNG.DE].

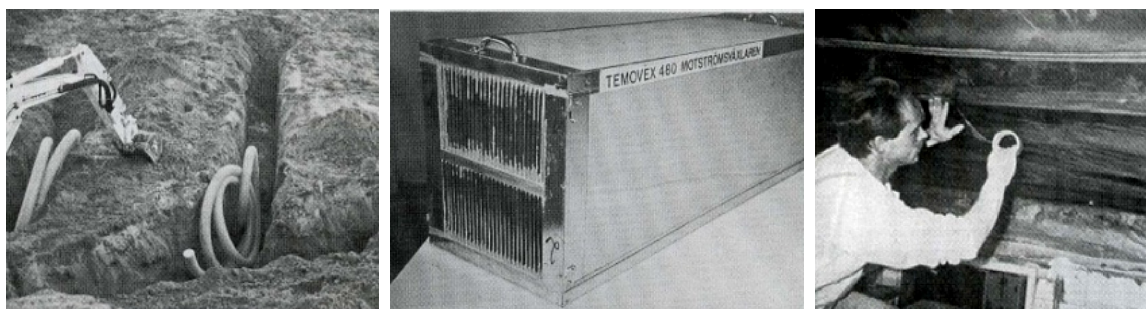


Figura 2.7. Algunas imágenes de la construcción y componentes de la primera vivienda pasiva en Darmstadt-Kranichstein, de izquierda a derecha: Construcción del intercambiador Tierra-Aire. Después de excavar una zanja de 1 m de profundidad, se instalan tuberías de 100 mm de diámetro, tres por vivienda de unos 15 m de longitud; Recuperador de calor a contracorriente del sistema de ventilación con una eficiencia en la recuperación de hasta el 80%.; Realización de la estanqueidad con láminas de polietileno en la construcción de la cubierta. Funcionan como barrera de vapor impidiendo la condensación a lo largo del cerramiento. Los valores n_{50} alcanzados en la promoción varían entre 0,2-0,4 h^{-1} [FEIST 1997].

2.1.2 INTRODUCCION AL ESTÁNDAR

Desde los años 70, diferentes estrategias fueron desarrolladas con el objetivo de reducir la demanda de energía en los edificios, entre ellas la utilización de la energía solar de forma pasiva y activa y una progresiva reducción de las pérdidas. Aparte de los edificios experimentales, no se repensaba el edificio en su totalidad. Se iban incorporando nuevos elementos al edificio y sistemas energéticos a partir de energías renovables, que finalmente iban encareciendo la construcción. El intento por reducir la demanda de calefacción hizo que los costos se incrementaran exponencialmente, difícilmente amortizables con la reducción del consumo energético.

Paralelamente, las carpinterías y los cerramientos, ambos cada vez más estancos, redundaron en una reducción del intercambio de aire por infiltración, provocando problemas con la calidad del aire interior, generalmente por falta de una mentalización de los ocupantes a la hora de realizar la ventilación manual. Esto provocaba la aparición de mohos en las superficies frías del cerramiento, es decir en las partes poco aisladas, lo que conocemos como puentes térmicos. Estos problemas se fueron eliminando mediante la supresión de los puentes térmicos más obvios, pero el problema de la falta de ventilación ha hecho que las diferentes normativas hayan tendido a la instalación de sistemas de renovación de aire mecánicos.

2.1.2.1 CONCEPTO BÁSICO DE CASA PASIVA

El concepto de la Casa Pasiva es resultado de estas experiencias. El objetivo es garantizar un ambiente interior sano en términos de Calidad del Aire Interior, así como un confort térmico con el mínimo de demanda energética y el menor coste posible. Minimizar el consumo energético y los costos a la vez, no se puede conseguir únicamente con mejoras de los conceptos existentes en la edificación. Una reducción significativa se puede realizar simplificando u omitiendo componentes utilizados en los edificios convencionales [FEIST *et ál* 2005]. Asimismo, la prefabricación de elementos del edificio abre un gran potencial de reducción de costes y en el aumento del control de calidad.

La idea básica del concepto de Casa Pasiva es llevar el rendimiento térmico del cerramiento hasta un nivel en el que el sistema de calefacción sea lo más simple posible. Se consideran básicos dos criterios:

-Los requerimientos térmicos en relación a la radiación asimétrica.

-La carga térmica del espacio.

En primer lugar, el sistema de distribución de calor puede ser simplificado, si las temperaturas superficiales de los cerramientos exteriores y las ventanas están cerca de la temperatura del aire interior. Esto conduce al confort térmico sin necesidad de situar los radiadores en los muros exteriores, especialmente bajo las ventanas, para compensar las asimetrías radiativas y la estratificación del aire frío.

En segundo lugar, si la demanda calorífica del espacio es muy baja, podrá ser suministrada únicamente por el sistema de ventilación en el flujo de aire de renovación, sin necesidad de recirculación o de sistemas de distribución de calor mediante instalaciones basadas en el transporte de agua. Esto conduce a unos sistemas de calefacción muy sencillos y rentables económicamente hablando. Los problemas asociados a los sistemas de calefacción mediante aire desaparecen cuando se cumplen los requerimientos de la Casa Pasiva.

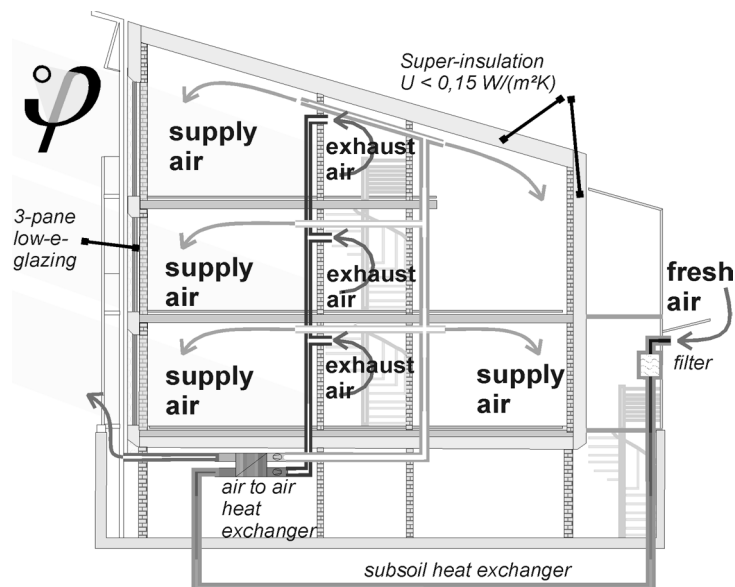


Figura 2.8. Principio básico de funcionamiento de una Casa Pasiva [FEIST et ál 2005].

El concepto de edificio pasivo implica conocimiento y formación en todas las partes implicadas en el proyecto, lo que suele ocasionar sobrecostos en los primeros proyectos. Cuando nunca se ha realizado un proyecto de este tipo se pueden producir problemas de organización. Las experiencias llevadas a cabo muestran que es muy importante que el arquitecto sea consciente del espacio necesario para los conductos de ventilación, de los sistemas de protección solar, emplazamiento de las unidades de ventilación y del tamaño y emplazamiento de las ventanas desde las primeras fases del proyecto [FEIST et ál 2005]. Este proceso de formación va desde el adiestramiento de las partes intervinientes en el proyecto, técnicos proyectistas, los ejecutores del mismo, gremios y constructores, hasta los usuarios finales. Estos últimos reciben un manual de uso del edificio, modelos disponibles en la web del PHI [FEIST et ál. 2012].

El documento resumen señala los siguientes aspectos, muy interesantes para entender la filosofía de funcionamiento de una vivienda Passivhaus: **Vivir en una casa pasiva - de un vistazo**

Lo que deberían hacer regularmente:

- Desde aproximadamente mediados de noviembre a finales de marzo se deben mantener las ventanas cerradas (dependiendo del clima); ventana abatida, cuando el sistema de ventilación (suministro y extracción) funciona en "Modo verano" ventanas normalmente abiertas o al pulsar el botón para las personas alérgicas al polen.
- Cambio de filtro: extracción cocina (cada 2-6 meses), filtro de aire (cada 2-6 meses)
- Para evitar el sobrecalentamiento en verano: ventilación nocturna, utilice protecciones solares, y electrodomésticos que ahorran energía en todo lo que sea posible.

Lo que usted debe considerar:

- En el primer año, el edificio tiene que secarse, para ello puede ser necesaria una calefacción adicional.
- Ventanas cerradas durante la temporada de calefacción, si es posible; abrirlas sólo si es necesario (fallo del sistema de ventilación, fiesta, etc.). Cerrar la puerta de entrada y de los balcones después de su uso tan pronto como sea posible.
- Evite los objetos y superficies brillantes o reflectantes dentro de la ventana (distancia mínima 20 cm), puede que el vidrio se rompa por el calentamiento local.
- Perforación de la línea hermética por tacos, clavos, tornillos, etc.: Después la eliminación de los agujeros que quedan en el yeso de las paredes exteriores realizar de nuevo un cuidadoso enyesado con juntas de mortero!
- Tomas de aire, rejillas de ventilación y extracción se deben mantener siempre despejadas.
- No utilice el secador de aire (puede provocar el crecimiento de moho por condensación)
- Mantener las ventanas despejadas de obstáculos que produzcan sombra en la temporada invernal.
- Si se ausenta en las vacaciones en invierno, no apague del todo la calefacción, permitirá ahorrar energía ya que la calefacción entrará rápidamente en servicio una vez puesta en marcha de nuevo.

¿Cómo puede ahorrar energía?:

- Evitar la ventilación a través de las ventanas durante la temporada de calefacción.
- La temperatura ambiente sólo hasta donde sea necesario (¡Evite sobrecalentar las habitaciones!)
- Utilice un espacio o armario para el secado de la ropa, evitando el secado sobre elementos eléctricos. Seque mejor en baños o pasillos donde la humedad puede eliminarse más fácilmente.



Figura 2.9. Secadora en una de las viviendas Pasivas de Kronsberg Hannover [FEIST et ál. 2001 a].

- Utilice dispositivos de ahorro de energía y lámparas de ahorro de energía.

Ventilación por las ventanas durante las olas de calor

En contraste con la situación durante la temporada de frío, en las olas de calor conviene ventilar por las ventanas siendo la forma más eficaz la posición abatida para mantener las temperaturas bajas. Se recomienda principalmente un sistema de ventilación forzada durante la noche y la madrugada. Incluso en períodos de calor por la noche puede hacer frío, a menudo de manera significativa. Si el aire más frío de la noche entra por una amplia ventilación nocturna en la casa, así como por el techo, las paredes interiores, medianeras y los muebles se pueden enfriar. Debido al buen aislamiento térmico de la casa se podrá mantener el frío almacenado durante el día en los componentes de la misma. En los días particularmente cálidos, puede ser útil mantener la ventana cerrada de nuevo en el día y operar el sistema de ventilación en el modo de verano utilizando las cantidades de aire mínimas requeridas. En los períodos de calor, la casa debe evitar el exceso de radiación solar, siendo los dispositivos exteriores los más eficaces. Se recomienda cerrar persianas y contraventanas, colocar toldos exteriores fijos o extensibles.

CARACTERIZACIÓN DE LOS CERRAMIENTOS

En las viviendas pasivas el cerramiento se caracteriza por unas transmitancias U extremadamente bajas ($<0.15 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$) y unas ventanas con un alto rendimiento térmico ($<0.80 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$), cuidando especialmente su colocación respecto de la fachada, siendo estos los valores típicos para el clima de Centroeuropa.



Figura 2.10. Símil de funcionamiento de una vivienda convencional mal aislada y una vivienda Passivhaus: una cafetera (derecha) y un termo (izquierda) vistas mediante una cámara termográfica [DECEUNINCK, COBBAERT 2008].

Una vez reducidas las pérdidas de los cerramientos, los puentes térmicos y las infiltraciones se convierten en el siguiente objetivo a eliminar. Si no fuera así, se convierten en los principales focos de pérdidas del edificio. Además, estos dos aspectos pueden provocar la aparición de condensaciones, fuente principal de la degradación de los materiales de construcción típicos, provocando además una pérdida en el confort por una infiltración y exfiltración unidireccional impredecible.

El desarrollo de este concepto constructivo sin puentes térmicos y estanco al paso del aire ha generado una nueva forma de construir con un grado de detalle muy elevado y una alta precisión en la puesta en obra para alcanzar una tasa de renovación del aire a una presión de 50 Pascales de acuerdo a ensayo según [UNE-EN 13829:2000], $n_{50} \leq 0,6$ (h^{-1}).

SISTEMA DE VENTILACIÓN CON CALEFACCIÓN

Una vez resulta la estanqueidad al aire del edificio, las tasas de infiltración y exfiltración restantes son demasiado bajas para asegurar un intercambio de aire razonable, y la experiencia nos dice que dejar la renovación de aire a la abertura manual de las ventanas tampoco es aconsejable. Un sistema de Ventilación Mecánica se vuelve necesario, capaz de generar unas renovaciones de $0,3-0,4$ h^{-1} (valores en Centroeuropa) que garanticen la calidad del aire interior.

Asimismo, para conseguir reducir las pérdidas por ventilación de la ventilación mecánica, y por tanto reducir la demanda de calefacción, el calor debe ser reintegrado en el edificio mediante un sistema de recuperación de calor (con una eficiencia mínima del 75%).

Con las pérdidas por transmisión, infiltración y ventilación reducidas al mínimo, es posible distribuir el calor necesario mediante el flujo de aire de renovación necesario para la calidad del ambiente interior, sin recirculación y con una elevación de temperatura del aire máxima de $50^{\circ}C$.

La vivienda pasiva, superaislada y estanca, debe de tener una demanda de calor o frío inferior a 15 kWh/m^2a y una carga pico de calefacción de 10 W/m^2 . Estos valores, extremadamente bajos respecto de un edificio tradicional, no impiden que sea necesario un sistema activo para mantener el confort térmico en ciertos periodos del año o espacios concretos de la vivienda. Si la carga de de calefacción/refrigeración se mantiene baja, el sistema de ventilación puede dar el calor/frío necesarios, haciendo más rentable el sistema de ventilación al utilizarse como vector de transmisión de energía. El sistema de ventilación se diseña para evitar pérdidas excesivas de presión,

limitar la velocidad y mantener un aislamiento correcto. Es importante además que las estancias dentro de la vivienda se mantengan a la misma temperatura.

Es habitual en la vivienda pasiva utilizar sistemas de calefacción/refrigeración mediante la activación de la masa del edificio, suelos o muros, mediante la circulación a través de los mismos de agua o aire. Son sistemas de baja temperatura, que pueden utilizar paneles solares o geotermia para esta función a la vez que producen A.C.S.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN, UN CONCEPTO FUNDAMENTAL DE LA CASA PASIVA

En primer lugar, se desarrollan los conceptos básicos manejados por el estándar Passivhaus según [ZABALZA, ARANDA 2011]:

-Demanda de calefacción (kWh/m² año): Demanda de calor, Potencia x tiempo.

-Consumo para calefacción (kWh/m² año): El gasto energético que paga el usuario de la vivienda, incluye la eficiencia de las instalaciones térmicas.

-Energía primaria (kWh/m² año): Energía total consumida por el edificio, incluyendo las pérdidas de la energía desde la fuente hasta la llegada al edificio.

-Consumo total de energía del edificio (kWh/m² año): Consumo de energía total del edificio, incluyendo calefacción, refrigeración, ACS y electricidad.

-Carga de frío (W/m²): Potencia necesaria para mantener la temperatura operativa en los espacios interiores, en la época más severa del año, altas temperaturas y alta radiación solar (verano).

-Carga de calor (W/m²): Potencia necesaria para mantener la temperatura operativa en los espacios interiores, en la época más severa del año, con bajas temperaturas y poca radiación solar (invierno).

En las viviendas Passivhaus, el frío o el calor necesarios deben proporcionarse a través del sistema de ventilación. A partir de este condicionante se hallan las cargas de frío o calor máximas. El cálculo que se expone a continuación ilustra los requerimientos de la Casa Pasiva. Para asegurar una buena calidad del aire interior es necesario 30 m³ de aire por persona y por hora (valores normativa alemana que regula la ventilación en viviendas DIN 1946-6).

Este aire de renovación puede elevarse hasta una temperatura de 50°C, para evitar la pirolisis del polvo contenido en el mismo, y sabemos que el calor específico del aire es de 0,33 Wh/(m²K) a una presión normal y una temperatura de 21°C. Esto conduce a la siguiente expresión:

$$Q = 30 \text{ (m}^3\text{/h/persona)} \times 0,33 \text{ (Wh/(m}^2\text{K))} \times (50 - 20)$$

$$Q = 300 \text{ (W/persona)}$$

El aire de renovación puede transportar 300 W/persona. Si asumimos una ocupación de 1 persona/30 m², referida al espacio útil, la máxima carga de calefacción por unidad de tiempo no puede exceder de 10 W/m², independientemente del clima. Este es un dato de potencia, y según dónde se encuentre el edificio deberá ser aislado de una forma diferente, más en Estocolmo, menos en Roma por ejemplo.

A partir de estos datos en potencia (Vatios), deduciremos la energía necesaria para producirla. Para el Centro de Europa (Alemania, Austria, etc.), según las experiencias realizadas y el cálculo mediante la herramienta [PHPP 2007] serán los conocidos 15 kW h/(m²a)) para calefacción, pero pudiendo llegar a los 20 kW h/(m²a)) en Estocolmo o 10 kW h/(m²a)) en Roma.

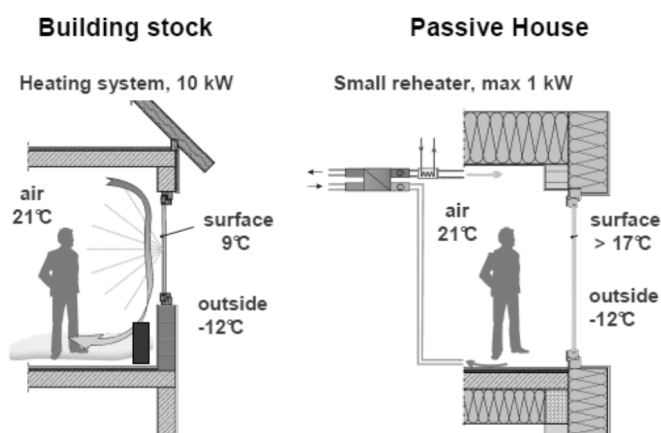


Figura 2.11. Esquema del principio básico de una casa pasiva: la ventilación mecánica aporta el aire necesario por razones higiénicas en la estancia. Este aire se puede utilizar como medio para calefactar siempre que la demanda de calefacción no supere los 10 W/m². Esta demanda tan baja solo la logramos reduciendo al máximo las pérdidas [FEIST et ál 2005].

Las principales fuentes de calor gratuitas de la vivienda pasiva serán la radiación solar, las cargas internas de calor, y las fuentes activas (suelo radiante, ventilación de confort, etc.).

Las soluciones más empleadas en la vivienda Passivhaus en Centroeuropa se describen en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Soluciones más empleadas para el calentamiento del aire exterior en Passivhaus.	
Passivhaus convencional	-Intercambiador Aire-Tierra -Recuperador de calor -Bomba de calor, suministrando el calor al aire o al ACS -Resistencia eléctrica en la ventilación para las cargas pico
Passivhaus rehabilitación	-Intercambiador Aire-Tierra -Recuperador de calor -Bomba de calor, suministrando el calor al aire o al ACS -Suelo radiante
Passivhaus romántica	-Recuperador de calor -Bomba de calor, suministrando el calor al aire o al ACS -Estufa de biomasa para cargas pico, a veces combinada con ACS
Passivhaus biomasa	-Recuperador de calor -Acumulador con estratificación -Estufa de biomasa de baja potencia para calefacción, combinada con colectores solares
Elaboración propia a partir de [ZABALZA, ARANDA 2011]	

Todas las soluciones anteriores se pueden combinar con otras fuentes de energía como los paneles solares y la geotermia. En todo caso, en los espacios con una mayor necesidad de calefacción puntual, baños y zonas cercanas a grandes ventanas, se puede dar el caso de deber instalar elementos complementarios para satisfacer una temperatura de confort. En la Figura 2.12 vemos el esquema habitual propuesto por el PHI para integrar en un mismo aparato la ventilación, calefacción y refrigeración mediante el uso de una mini bomba de calor (viviendas unifamiliares).

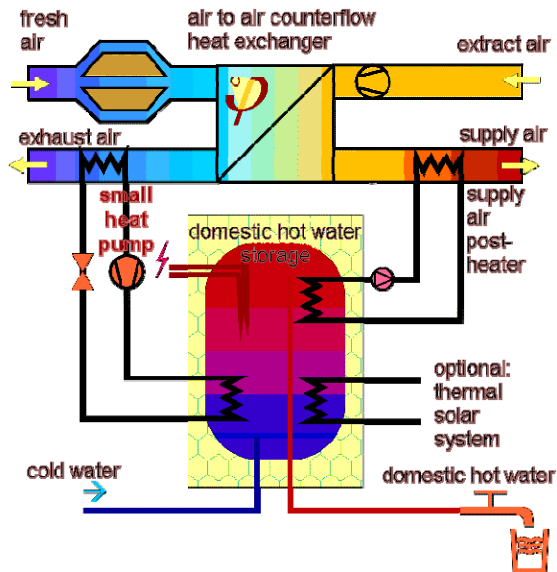


Figura 2.12. Esquema de climatización de una vivienda Passivhaus mediante mini bomba de calor. Todo gira alrededor del aire, que es a la vez usado para transportar el calor (circuito de ida) y fuente de calor en el lado de la extracción para la bomba de calor [PASSIPEDIA].

Una explicación más detallada de las posibles combinaciones la podemos encontrar en [HASTINGS, WALL 2007-2].

DEMANDA DE REFRIGERACIÓN

En principio, y debido a las bajas demandas de refrigeración necesarias en el Norte y Centro de Europa, el concepto Passivhaus no necesita sistemas activos de refrigeración. Sin embargo, debido a problemas de sobrecalentamiento en verano y a la expansión del concepto a climas más templados o cálidos, el PHI propone los siguientes sistemas para las viviendas pasivas:

-Bombas de calor reversibles: mediante una bomba de calor podemos adaptar el sistema de ventilación a las condiciones de verano, o bien incorporarlo por un sistema de techo o paredes radiantes;

-Free cooling: utilización del descenso de temperaturas exteriores durante la noche para producir una sobreventilación y refrigerar los espacios interiores. Precisa de temperaturas exteriores inferiores a 21°C durante al menos 5 horas y especial cuidado con la humedad ambiental. Asimismo, si esta se realiza con sistemas mecánicos, para ser competitivo por los sistemas de refrigeración activa precisa de gradientes de temperatura de al menos de 3°C.

-Geotermia: este sistema mejora ostensiblemente el funcionamiento de la bomba de calor. Es un sistema que utiliza sondas de profundidad para disipar el calor o absorberlo.

-Refrescamiento adiabático: integración de un atomizador de agua en el sistema de ventilación.

Cualquier estrategia contemplada tradicionalmente en la arquitectura bioclimática se puede incorporar al diseño de una vivienda pasiva, las cubiertas de agua por ejemplo consiguen reducir la temperatura mediante la evaporación, pero no están integrados en un cálculo estricto del sistema según la herramienta de cálculo del PHI [PHPP 2007-es] o versiones más actualizadas.

2.1.2.2 DEFINICIÓN DE LA CASA PASIVA

Existen dos versiones que definen el concepto de casa pasiva, una popular para una audiencia no técnica y una científica destinada a los investigadores y técnicos implicados en la construcción de edificios. La versión popular se refiere a la utilización del sistema de ventilación mecánica de ventilación con un alto grado de recuperación que además garantiza un alto grado de calidad de aire interior. La definición científica se refiere la limitada carga de calefacción que puede ser suministrada únicamente mediante el propio aire de ventilación mínimo para garantizar una adecuada calidad del aire, sin embargo, es necesario aclarar que el calentamiento del espacio no tiene necesariamente que ser suministrado a través de los sistemas de ventilación.

El término Casa Pasiva se utiliza para la creación de un estándar internacional de edificios con un consumo energético muy bajo y que ha sido probado en la práctica. El Estándar de la Casa Pasiva es confortable, sostenible y económicamente atractivo. Independientemente del clima y el uso. El PHI define el término Casa Pasiva como sigue:

“Una Casa Pasiva es un edificio en el que el confort térmico de acuerdo con [EN ISO 7730] puede ser garantizado mediante post calentamiento o post enfriamiento del flujo de aire limpio necesario para la calidad del aire interior”.

Señalar que la norma [EN ISO 7730] tiene su equivalencia en España en la norma [UNE-EN ISO 7730:2006].

Esta definición es únicamente funcional y no contiene ningún aspecto cuantitativo, y por lo tanto es válida para cualquier clima.

Una Casa Pasiva tiene las siguientes características:

- Bien aislada y con un fuerte espesor (Hiperaislada).
- Estanca al aire, pero no a la difusión.

Esto permite que se pueda limitar el consumo de energía necesaria para calefacción a 15 kWh/(m²año).

Para el cálculo del balance energético, se consideran los siguientes aportes de energía:

- Calor de los habitantes.
- Energía solar a través de las ventanas.
- Energía residual de los aparatos eléctricos.

En la Figura 2.13 podemos observar el balance típico de una vivienda en Centro Europa. A pesar de la gran reducción de pérdidas por transmisión, éstas siguen siendo dominantes debido a la fuerte reducción de pérdidas en el sistema de ventilación y gracias al uso de los recuperadores de calor y la gran estanqueidad. La demanda de calefacción es más baja que la demanda típica de energía para la producción de Agua Caliente Sanitaria (20–30 kWh/(m²a)).

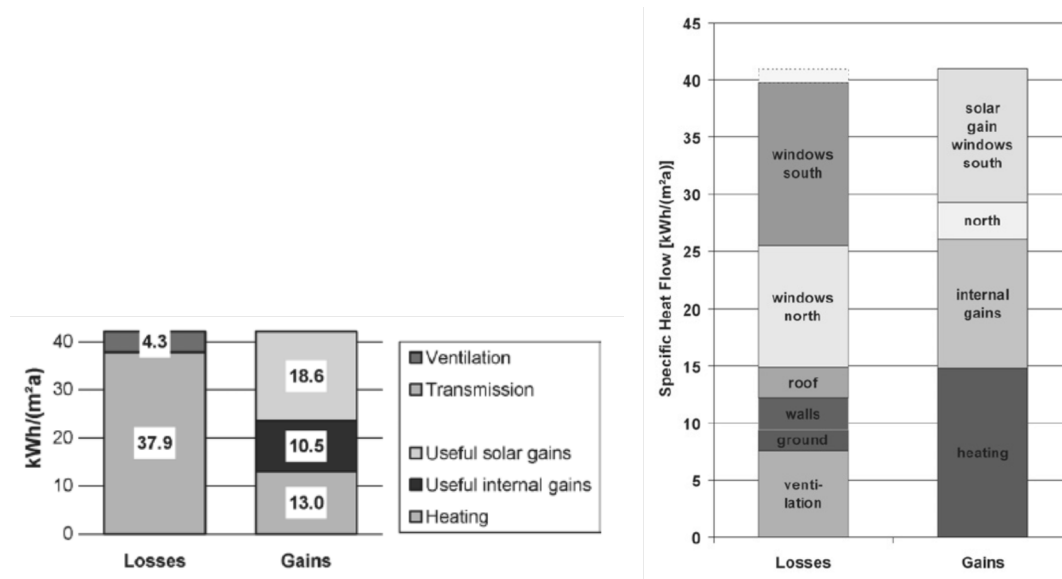


Figura 2.13. A la izquierda, pérdidas de calor y ganancias en una Casa Pasiva típica en Centroeuropa. Las pérdidas están prácticamente equilibradas con las ganancias solares, ganancias internas y el sistema de calefacción. A la derecha, desglose [FEIST et ál 2005] página 2 y [FEIST, SCHNIEDERS 2009] página 6.

Con estos aportes se puede llegar a cubrir las 2/3 partes de las pérdidas del edificio. En el entorno de Europa Central, el consumo energético de una casa pasiva supone un 10% respecto de uno convencional, un 25% de un edificio de nueva construcción de calidad. El consumo de energía final en las viviendas pasivas de Kronsberg redujo en un 87% el de una vivienda construida con las normas alemanas de 1995 (Fig. 2.14).

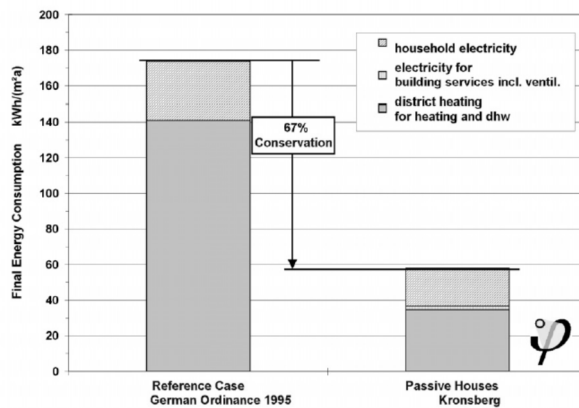


Figura 2.14. Consumo total de energía final ¹⁸(Calefacción de distrito y electricidad incluyendo electricidad doméstica) comparando la media del estándar de alemán a la fecha de la realización del estudio (izquierda) con las mediciones en la promoción de viviendas pasivas en Kronsberg (22 de ellas permanentemente ocupadas en el periodo del 4-10-1999 al 3-10-2000) [FEIST et ál. 2001 a] Página 89

¹⁸ La energía primaria difiere de la energía final en que hay que añadir pérdidas adicionales del proceso de producción de la cadena energética. Se utilizan los siguientes factores de conversión de la energía de acuerdo con el proyecto CEPHEUS: Calefacción de distrito 0,7 kWh energía primaria/ kWh energía final; Energía eléctrica: 2,5 kWh, energía primaria/ kWh energía final; Energías renovables 0 kWh, energía primaria/ kWh energía final, ya que no contribuyen al calentamiento global.

2.1.2.3 CRITERIOS BÁSICOS DE CERTIFICACIÓN

OBRA NUEVA RESIDENCIAL

El criterio de obtención del estándar Passivhaus para edificios residenciales [FEIST 2012] y calculado de acuerdo con [PHPP 2007-en] se resume en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Criterios para cumplir el estándar Passivhaus en obra nueva residencial (última revisión 13-09-2013)	
CRITERIOS PRINCIPALES EN OBRA NUEVA RESIDENCIAL	
Calefacción:	
Demanda de calefacción:	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{año})$,
o alternativamente carga de calefacción:	$\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$.
Refrigeración (incluida deshumidificación):	
Demanda total de refrigeración:	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) + 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{aK})\cdot\text{DDH}$,
o alternativamente carga de refrigeración:	$\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$ y la demanda de refrigeración $\leq 4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})\cdot\theta_e + 2,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{aK})\cdot\text{DDH} - 75 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ y nunca mayor que $45 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) + 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{aK})\cdot\text{DDH}$ Siendo: θ_e : La temperatura media exterior anual DHH (Dry degree hours): Horas de temperatura seca (tiempo absoluto de la diferencia entre el punto de rocío y la temperatura de referencia de 13° en todos los periodos que sea positiva).
Energía Primaria:	
Las necesidades totales de energía primaria para calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria, electricidad	$\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{año})$
Estanqueidad:	
Tasa de renovación del aire a una presión de 50 Pascales de acuerdo a ensayo según [UNE-EN 13829:2000]	$n_{50} \leq 0,6 \text{ (h}^{-1}\text{)}$
CRITERIOS SECUNDARIOS	
Temperatura interior superficial mínima de confort	$\geq 17^\circ\text{C}$
Rendimiento mínimo del recuperador de calor según certificado PHI	$\geq 75\%$
Consumo eléctrico máximo del sistema de ventilación	$\leq 0,45 \text{ Wh}/\text{m}^3$
Potencia específica transportable por el sistema de aire	$\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$
Puentes térmicos lineales considerados como eliminados ψ	$\leq 0,01 \text{ W}/\text{K}$
Temperatura máxima de confort	Adicionalmente, en climas cálidos y/o durante los meses verano, las temperaturas excesivas no deben superar el 10% del tiempo (876 horas/año), en cuyo caso se deberán adoptar medidas alternativas. La temperatura de referencia que se utiliza es de 25°, pudiéndose variar para comparar resultados. En todo caso, se recomienda que los periodos de sobrecalentamiento no superen el 5% para garantizar un confort alto en verano.
En todos los caso, el área considerada es la Superficie de Referencia Energética calculada como se explica en la Guía de uso [PHPP 2007-es] página 47.	
Elaboración propia a partir de [FEIST 2012]	

La demanda de refrigeración es un concepto que se está desarrollando en este momento en el PHI. El objetivo de expandir el estándar en todo el planeta, con una diversidad de climas muy diferentes de los de la zona de origen y en gran parte con grandes demandas de energía para refrigeración. Esto ha hecho que se amplíen los límites de las demandas de energía para refrigeración. En [SCHNIEDERS *et ál.* 2011] I

se desarrolla la metodología. Añadir que el PHI señala que los criterios de refrigeración y deshumidificación se aplican de forma provisional y pueden ser adaptados con los avances en el conocimiento.

Adicionalmente, para los países del centro de Europa, se dan unas referencias de transmitancias U de los diferentes elementos (Tabla 2.3).

TRANSMITANCIAS RECOMENDADAS DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS U (W/m²K)	
Elemento	Valores U considerados
Cerramientos en contacto con el exterior	
Fachadas al exterior	≤ 0,15 W/m ² K
recomendado	≤ 0,11 W/m ² K
Techos en contacto con el exterior	≤ 0,13 W/m ² K
Suelo sobre espacio exterior	≤ 0,15 W/m ² K
Pared contra el terreno	≤ 0,18 W/m ² K
Pared contra espacio de sótano no calefactado	≤ 0,16 W/m ² K
Solera sobre espacio no calefactado	≤ 0,17 W/m ² K
Forjado bajo espacio bajo cubierta no calefactado	≤ 0,15 W/m ² K
Pared divisoria con espacio bajo cubierta no calefactado	≤ 0,15 W/m ² K
Ventanas	
Vidrios según [UNE-EN 673:1998]	≤ 0,80 W/m ² K
Factor solar del vidrio g según [UNE-EN 410:1998]	g ≥ 50%
Marcos (necesario un certificado Passivhaus).	≤ 0,80 W/m ² K
Ventana montada, incluido puente térmico del montaje de la ventana (necesario un certificado Passivhaus).	≤ 0,85 W/m ² K
Elaboración propia a partir de [FEIST 2012]	

Al margen de las medidas obligadas a la hora de obtener la certificación del PHI habitualmente las viviendas construidas bajo este sello introducen soluciones técnicas que buscan una reducción en el consumo de energía y la utilización de fuentes de energía renovables. Se muestran en la Tabla 2.4 algunas de estas soluciones.

Tabla 2.4. Medidas de ahorro energético recomendadas o utilizadas habitualmente por el Passivhaus Institut.	
OTRAS MEDIADAS RECOMENDADAS O UTILIZADAS HABITUALMENTE	
Ventilación	
Utilización de pozo canadiense en el sistema de ventilación	Aire fresco $\geq 1^{\circ}\text{C}$
Sistemas de recuperación de calor.	Por ejemplo en el aire expulsado, en el Agua Caliente Sanitaria de los conductos de evacuación.
Sistemas de calefacción de alto rendimiento y pequeñas potencias	Biomasa, bombas de calor, gas, cogeneración, calefacción de distrito.
Aportes pasivos:	
Buena orientación y aprovechamiento de aportes solares	
Masa térmica al interior del cerramiento exterior	
Eficacia de los sistemas eléctricos:	
Aparatos eléctricos domésticos con sello A	<i>Reducción de un 50% del consumo de energía eléctrica</i>
Tomas de ACS para los aparatos de lavavajillas y lavadora	
Mantenimiento adecuado de filtros de ventilación	
Iluminación con lámparas de bajo consumo	
Utilización de energías renovables disponibles	
Eólicas	
Fotovoltaicas	
Energía solar térmica	
Biomasa	
Otras	
Elaboración propia a partir de [FEIST 2012]	

Estas medidas suponen un ahorro de un 33% en el consumo de electricidad en el hogar medio alemán convencional, el cual ronda los 33 kWh/m²a. En la monitorización de las 18 viviendas pasivas de Hannover-Kronsberg se midió un consumo final de 20 kWh/m²a [FEIST *et ál.* 2001 a]. También se monitorizó la reducción del consumo eléctrico doméstico en las viviendas del proyecto CEPHEUS [FEIST *et ál.* 2001 a], aunque las medias de las diferentes promociones están muy por encima de los valores de la promoción en Hannover-Kronsberg, llegando a 30 kWh/m²a en Kassel, 40 kWh/m²a en Kuhl, y hasta 50 kWh/m²a en Gnigl. Un hogar medio en España consume cerca de 4.000 kWh al año [IDAE 2011]. Teniendo en cuenta que la superficie media de la vivienda en España es de 86,5 m², obtendríamos un consumo medio de 46 kWh/m²a. En la Tabla 2.5 se desglosa el consumo del hogar medio español en el caso de tener todos los equipos eléctricos.

Tabla 2.5. Consumo eléctrico de un hogar medio en España.	
Un hogar medio en España consume cerca de 4.000 kWh al año. En el caso de un hogar que dispusiera de todos los equipos de suministro eléctricos, el reparto medio sería el siguiente: [IDAE 2011].	
Iluminación	18%
Frigorífico	18%
Calefacción	15%
Televisor	10%
Vitrocerámica, cocina eléctrica	9%
Lavadora	8%
Pequeño electrodoméstico	7%
Horno eléctrico	4%
Agua caliente	3%
Microondas	2%
Secadora	2%
Lavavajillas	2%
Ordenador	1%
Aire acondicionado	1%
Elaboración propia a partir de [IDAE 2011]	

La preocupación por el ahorro energético lleva a desarrollar un sinfín de aparatos capaces de recuperar la energía normalmente desechada. En la Figura 2.15, por ejemplo, se muestra un recuperador de calor de aguas usadas.

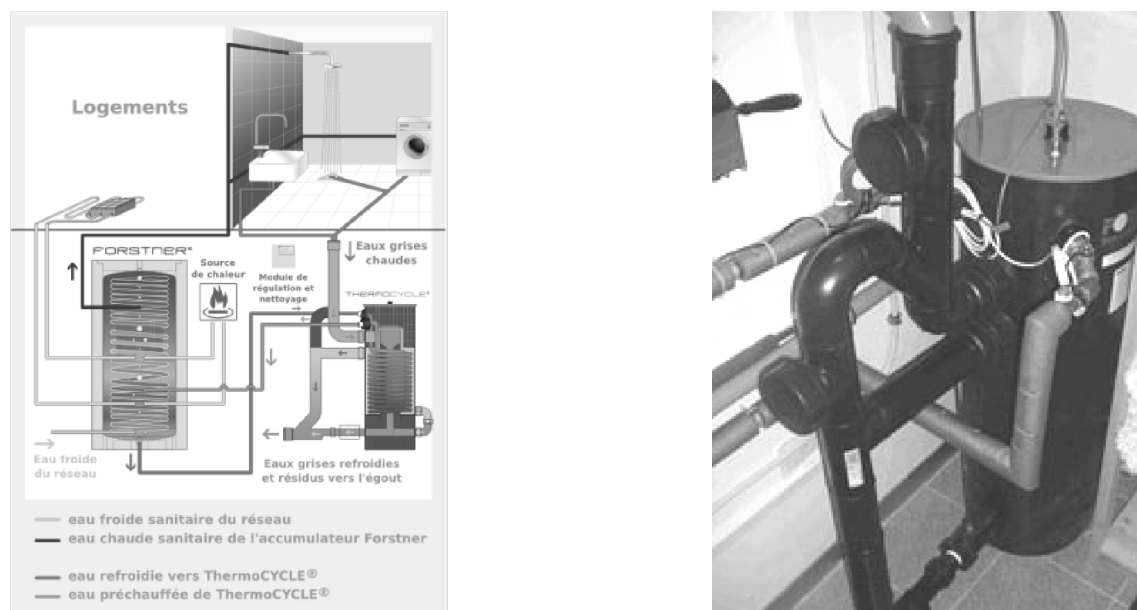


Figura 2.15. Sistema de recuperador de calor de aguas usadas ThermoCYCLETC-BM355 [thermocycle.com]

REHABILITACION RESIDENCIAL

Los conceptos de la casa pasiva pueden ser utilizados en renovaciones de viviendas. El PHI ha desarrollado una herramienta específica para renovaciones y unos criterios de certificación específicos bajo la denominación EnerPHit, *Certification as "Quality Approved Energy Retrofit with Passive House Components"*. Estos criterios de certificación son algo menos exigentes que los de los edificios de nueva construcción, y por ejemplo en viviendas la demanda de calefacción puede llegar hasta los 25

kWh/(m²año). Se muestran a continuación (Tabla 2.6) los criterios de certificación más importantes para rehabilitación de viviendas bajo el estándar Passivhaus.

Tabla 2.6. Criterios principales para la obtención del sello Passivhaus en edificios rehabilitados.	
CRITERIOS PRINCIPALES EN REHABILITACIÓN (EnerPHit)	
Calefacción:	
Demanda de calefacción Q _H :	≤ 25 kWh/(m ² año),
o alternativamente carga de calefacción:	No requerido
Energía Primaria:	
Las necesidades totales de energía primaria para calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria, electricidad	≤ 120 kWh/(m ² año) + ((Q _H - 15 kWh/(m ²) · 1,2)
Estanqueidad:	
Tasa de renovación del aire a una presión de 50 Pascales de acuerdo a ensayo según [UNE-EN 13829:2000]	n ₅₀ ≤ 1 (h ⁻¹)
Objetivo a alcanzar	n ₅₀ ≤ 0,6 (h ⁻¹)
CRITERIOS SECUNDARIOS	
Control de humedad en los cerramientos	Comprobar que no se producen condensaciones en los cerramientos rehabilitados
Ventanas	Utilizar ventanas certificadas Passivhaus con triple vidrio de baja emisividad o similar
En todos los caso, el área considerada es la Superficie de Referencia Energética calculada como se explica en la Guía de uso [PHPP 2007-es] página 47.	
Elaboración propia a partir de [FEIST 2011] y [ZELÉ 2008].	

Igualmente, se recomiendan unos valores de transmitancia para los diferentes cerramientos (Tabla 2.7).

Tabla 2.7. Transmitancias recomendadas en rehabilitación según el estándar Passivhaus.

TRANSMITANCIAS RECOMENDADAS U (W/m ² K)	
Elemento	Valores U considerados
Cerramiento exterior	
aislado por el exterior*	≤ 0,15 W/m ² K
aislado por el interior**	≤ 0,35 W/m ² K
*Se aislará un 75% de la superficie al menos	
**Se aislará como máximo un 25% salvo si es imposible aislar por el exterior	
Cerramiento contra el terreno	
Muro aislado por el exterior	$f \cdot U \leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
Muro aislado por el interior	$f \cdot U \leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$
Forjado sobre sótano no calefactado	$f \cdot U \leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
Forjado sobre terreno	$f \cdot U \leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
f calculada según [PHPP 2007-en]	
Cubierta	
Cubierta o último forjado	≤ 0,12 W/m ² K
Cubierta plana	≤ 0,15 W/m ² K
Espacio escaleras	No se permite un espacio que comunique el espacio calefactado y el no calefactado. Como regla general, entre ambos espacios habrá una puerta aislada y estanca al paso del aire, o se accederá al sótano desde el espacio exterior, por ejemplo una escalera desde el jardín. La puerta entre el espacio habitable y el sótano no calefactado ≤ 1,60 W/m ² K.
Ventanas	≤ 0,8 W/m ² K
Vidrios	$g \cdot 1,6 \text{ W} / (\text{m}^2\text{K}) \geq U_g$
Factor solar del vidrio g	g ≥ 50%
Puertas exteriores incluido puente térmico montaje	≤ 0,8 W/m ² K
Puentes térmicos	
Puentes térmicos lineales considerados como eliminados	$\psi \leq 0,01 \text{ W/(mK)}$
Puentes térmicos puntuales considerados como eliminados	$\chi \leq 0,01 \text{ W/K}$
Ventilación	
Rendimiento mínimo del recuperador de calor	≥ 75%
Consumo máximo del sistema de ventilación	≤ 0,45 Wh/m ³
Elaboración propia a partir de [FEIST 2011]	

Como veremos más adelante, gran parte del concepto de Casa Pasiva gira en torno al sistema de ventilación, la estanqueidad y la utilización del propio sistema de ventilación como sistema de acondicionamiento térmico. Estos principios se resumen en los siguientes puntos:

-Los nuevos edificios son cada vez más estancos, principalmente debido a la mejora en las carpinterías, por lo que la ventilación a través de las juntas y las fisuras no pueden garantizar la renovación de aire necesaria en un edificio. Abrir las ventanas como se solía recomendar tampoco garantiza una buena ventilación. El aire nuevo es necesario para una buena calidad del aire, con lo que los sistemas mecánicos son la tecnología clave para las viviendas del futuro. Esto no significa que esté prohibido abrir las ventanas, sino que simplemente no es necesario. Abrir las ventanas en periodos fríos supone un sobrecoste en los gastos de calefacción.

La ventilación mecánica y el concepto de que en una vivienda Passivhaus obliga a la construcción de edificios herméticos en la que los usuarios no pueden abrir las ventanas, ha motivado numerosos estudios por parte del PHI u otras instituciones para demostrar lo erróneo del concepto. El PHI cita estudios en los que se demuestra que los

usuarios que suelen ventilar abriendo las ventanas son minoritarios, y aún así, el funcionamiento del edificio no se ve comprometido [EBEL 2003], [REISS,ERTHON 2003]. También [EBEL 2003], [REISS,ERTHON 2003] demuestran que el periodo de apertura de las ventanas no está en relación directa al consumo en calefacción, influyendo de forma más decisiva la temperatura de consigna.

[EBEL *et ál.*2003] analizan diversos patrones de utilización de las ventanas en las viviendas pasivas Wiesbaden-Dotzheim, concluyendo que la apertura de las ventanas está más relacionada con la temperatura exterior que por criterios de higiene. Además, señala que en invierno se realiza una abertura de ventanas más bien escasa en el periodo más frío, pero realizándose una hora al día en los días menos fríos; en el periodo estival el patrón de apertura aumenta considerablemente. En todo caso, señalan que los patrones de utilización de las ventanas son muy dispares entre los diferentes usuarios.

En un estudio sobre la forma de habitar Casas Pasivas [MAAß *et ál.* 2008], se preguntó a los habitantes de 157 viviendas residentes en Renania del Norte-Westfalia si utilizaban las ventanas para ventilar las viviendas, dando como resultado que casi el 93 % no o raramente, y solamente respondió que a menudo, o a menudo al principio pero después raramente el 7%. [KAH *et ál.* 2010]; llega a unas conclusiones similares a partir de la monitorización de las ventanas de apartamentos reformados según el criterio Passivhaus.

Asimismo, otros estudios al margen del PHI [CLAUSEN *et ál.*2003] señalan que entornos urbanos la calidad del aire exterior no siempre es el óptimo, encontrándonos también con entornos con niveles acústicos elevados que van a provocar un menor ciclo de apertura de las ventanas.

Por otra parte, la mala ventilación es la causante de problemas de humedades en las viviendas. Como señala el informe ENHIS (*Environmental health inequalities in Europe*) de 2012, el 15% de las viviendas tienen problemas de humedades, llegando en España a un 20% de las viviendas y al 40% en países como Chipre [WHO 2012].

[WHO 2009] señala para el periodo 2004-2007 que la proporción de la población total que considera que vive en hogares con problemas de humedad, y lo relaciona con la proporción de la población en situación de pobreza familiar, señalando una relación directa entre ambas.

-A pesar de que los equipos de ventilación requieren de una inversión inicial, ésta puede ser recuperada si conseguimos un ahorro energético, siendo posible únicamente mediante el uso de sistemas de recuperación de calor de alta eficiencia.

-Es aquí donde empieza uno de los principales conceptos de la Casa Pasiva: como una gran cantidad de aire exterior es necesaria para garantizar la higiene del edificio, por qué no utilizar esta circulación de aire como sistema de calefacción.

-El sistema de calefacción por aire solo funciona en edificios extremadamente bien aislados, que es el caso de las Casas Pasivas. La carga de calefacción no puede superar los 10 W/m² para estar seguros de que el calor requerido pueda ser suministrado por el sistema de calefacción por aire.

-La inversión en un equipo de ventilación con recuperador de alta eficiencia es alta, equivalente a la de un sistema de calefacción convencional. Esto hace que habitualmente se opte por un sistema de calefacción convencional al que se añade un sistema de ventilación de flujo simple. Pero si conseguimos tener una demanda tan pequeña de calefacción que nos permita prescindir del sistema de calefacción

convencional, utilizando el sistema de ventilación como único equipamiento técnico con dos funciones básicas, suministrar el aire de renovación y además aprovechar la red de conductos para proveer de aire caliente al conjunto del edificio, la inversión será más razonable y más fácilmente amortizable.

2.1.2.4 OBJETIVOS ALCANZADOS POR LA CASA PASIVA

ALTO GRADO DE CONFORT

La Casa Pasiva proporciona un alto nivel de confort tanto en invierno como en verano con unos costes constructivos razonables. En las primeras experiencias monitorizadas en Alemania y Austria esto se confirma por las encuestas de los habitantes

El alto nivel de aceptación entre los usuarios de Casas Pasivas se muestran con claridad en los estudios llevados a cabo en las promociones bajo del proyecto CEPHEUS según [FEIST *et ál.* 2001 a]. En concreto en las promociones en Hannover-Kronesberg y Kassel muestran un alto grado de aceptación.

En Hannover se hizo la siguiente pregunta a los usuarios: ¿Se han cumplido sus expectativas hasta el momento? La encuesta demuestra el alto grado de satisfacción de los ocupantes de las viviendas pasivas respecto a los ocupantes de viviendas de bajo consumo. Solamente el 3% en viviendas Passivhaus frente al 12% en viviendas de bajo consumo no están satisfechos, o no saben. Para el 43 % frente al 23 % en viviendas de bajo consumo, las expectativas han sido alcanzadas completamente. Por último 54% frente al 64% han cumplido sus expectativas en parte [FEIST *et ál.* 2001 a] página 83.

En Kassel, la pregunta de si recomendarían a otras personas una Casa Pasiva se hizo antes y después del primer periodo de calefacción, comprobando cómo el escepticismo inicial frente a la Casa Pasiva se transforma en una respuesta más positiva [HÜBNER 2001].

Las Casas Pasivas son reconocidas por su eficiencia debido al alto nivel de aislamiento y a su diseño hermético. El aislamiento se debe realizar sin ningún punto débil, generando una continuidad en todo el perímetro del edificio, es decir, sin puentes térmicos a fin de evitar los puntos fríos y las pérdidas de calor excesivos. Con esta estrategia, además de evitar la posible formación de humedades, se busca alcanzar una temperatura de las paredes interiores elevada que aumente el confort.

Una amplia encuesta sobre usuarios de diferentes Viviendas Pasivas la podemos encontrar en [MAAß *et ál.* 2008]. Llama la atención en esta encuesta que incluso en Alemania, con un alto desarrollo del concepto Passivhaus, todavía un 35% está de acuerdo o básicamente de acuerdo en que las casas Pasivas son un diseño experimental que sigue sin demostrarse.

Esta apreciación varía mucho entre los habitantes de una vivienda pasiva. Están satisfechos no solo con el confort interior, sino con la vida en una casa pasiva. El 88% de los habitantes encuestados (134 de 153) contesta que la vida en una Casa Pasiva es buena o muy buena.

ECOLOGÍA

El fundamento ecológico de este estándar es el bajo consumo de energía primaria que se exige para su puesta en funcionamiento. La energía adicional que se requiere para su construcción (energía embebida o energía gris) no es evaluada en este estándar, si bien, los proyectos que se realizan con este estándar suelen considerar este aspecto de una forma paralela. En todo caso, cabe señalar que si bien el estándar se centra en

características de consumo energético de calefacción, refrigeración y electrodomésticos, el desarrollo de proyectos bajo este estándar suele ir unido a promociones con implicaciones ecológicas y hasta holísticas con el entorno cercano que implican a la sociedad, la economía, la cultura constructiva, modos de vida, ecología, etc. [GAUZIN-MULLER 2009].

ASEQUIBLES

Las viviendas pasivas son asequibles a largo plazo, ya que la mayor inversión inicial que requieren se ve compensada en una disminución del consumo de energía. La clave está además en poder eliminar el sistema de calefacción/refrigeración e incorporarlo al sistema de ventilación. Como se ve en la Figura 2.16, en el punto en el que descendemos de una demanda de 15 kWh/(m²año) es justo cuando podemos acometer la posibilidad de dotar a la vivienda de un sistema único para ventilación, calefacción e incluso refrigeración, y por tanto hay un descenso en los costes de inversión en las instalaciones notable al suprimirse los costes del sistema de calefacción.

Los trabajos del PHI ejemplarizan la viabilidad económica del concepto mediante la Figura 2.16. Cuando se produce una reducción de la demanda de calefacción a través de las medidas de eficiencia energética, se produce un aumento de los costos de construcción, primero de una forma lenta y después cada vez más a medida que nos acercamos a una situación de calefacción cero. Al mismo tiempo, el coste de la energía disminuye de una forma casi lineal. Con el fin de evaluar el costo del ciclo de vida, el costo de la energía es capitalizado durante la vida útil promedio de los componentes, teniendo en cuenta los intereses.

Para pasar de 60 kWhm²/a a 15 kWhm²/a, se realiza un esfuerzo con el fin de evitar las pérdidas de calor. La construcción se vuelve cada vez más costosa en términos de materiales y técnicas de aislamiento, y de la ventilación. Los costes de la energía descienden de forma lineal y también en consecuencia algunos costos de explotación, pero sin poder compensar los sobrecostos en la construcción que mantienen un crecimiento exponencial. Además, sigue siendo necesario un sistema de calefacción convencional ya que las mejoras en la envolvente no permiten prescindir de la misma. Se observa una barrera sin embargo con un primer óptimo entre los 40-45 kWhm²/a. La curva del coste total presenta un mínimo que corresponde con las viviendas de bajo consumo energético.

La norma de los 15 kWhm²/a no es elegida al azar, ya que la curva del costo total pasa de nuevo por un mínimo. Es el segundo óptimo. En este nivel se produce una economía sustancial, la de los sistemas convencionales de calefacción (caldera, chimeneas, distribución, radiadores, acumuladores, etc.). Esta economía no lineal es posible por la eficiencia energética del edificio que le permite prescindir del sistema convencional de calefacción y ser sustituido por un sistema de apoyo que producirá calor que la envolvente optimizada será capaz de conservar.

Por debajo de 15 kWhm²/a, el rendimiento de la envolvente puede llevarse al extremo, lo que conlleva una reducción en el consumo de energía pero con técnicas constructivas cada vez más caras que no tienen una rentabilidad económica. Son edificios de consumo energético casi cero, que a partir de esta estrategia (disminución de la demanda energética) no son viables económicamente.

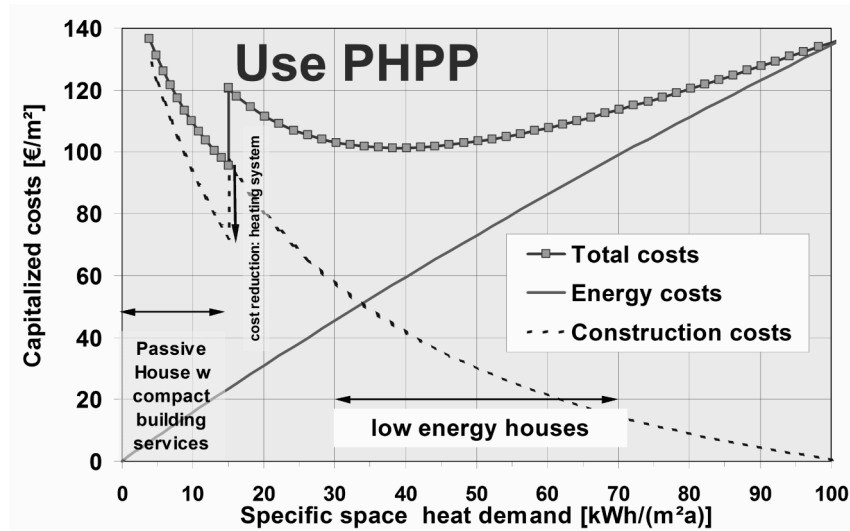


Figura 2.16. Coste energético según el ciclo de vida y costo total incluida la inversión adicional para los diferentes estándares energéticos. Presupuestos: interés del 4%, coste de la energía utilizada 0,05 €/kWh, otros costes de acuerdo con comparados con una demanda de calefacción de 100 kWh/m²a [FEIST, SCHNIEDERS 2009].

Evidentemente, existen otros factores que hacen interesantes las viviendas de bajo consumo energético más allá de la economía. El primero es el confort que alcanzan este tipo de viviendas, la baja dependencia de las energías de origen fósil que permite tener menos dependencia de futuras subidas en el precio de la energía, y los aspectos puramente ecológicos, fundamentalmente la reducción de emisiones de CO₂ en los sistemas de calefacción.

El análisis llevado a cabo en las viviendas dentro del proyecto CEPHEUS permitió cuantificar los sobrecostos de este tipo de viviendas en cada país participante, con una media en todos los proyectos del 8% [REINARD *et ál.* 2001 a] (página 92), fluctuando entre 0-15%.

Existen numerosos estudios referentes a la viabilidad económica del estándar Passivhaus. A modo de ejemplo [REINARD *et ál.* 2008] en un estudio realizado sobre una vivienda unifamiliar en Bélgica con estándar Passivhaus respecto de una convencional llega a diferentes conclusiones:

- La vivienda Passivhaus es mucho más cara (28.546 € iniciales), pero con una reducción enorme en el consumo energético, 7315 kWh/a frente a 34.867 kWh/a.

- El periodo de amortización es de 25 años, 30 si se consideran sobrecostos en protecciones solares debido a que se sobrepasan las horas de inconfort en verano con la vivienda Passivhaus respecto a la normativa belga.

- El largo periodo de amortización se debe al sobrecosto del triple vidrio principalmente;

- Con las ayudas existentes en Bélgica en 2008, se reduce a 11 años.

Se señala como este estudio hace hincapié en que la vivienda simulada presenta problemas de sobrecalentamiento en Bélgica si no se realiza una inversión en protecciones solares (6861 €).

MEDICIÓN DE RESULTADOS

El estándar Passivhaus implica que en las primeras promociones se realicen diferentes seguimientos a fin de optimizar tanto los esfuerzos para alcanzar los objetivos del estándar como el grado de satisfacción de los usuarios. Como se describe en los ejemplos del Capítulo 2.2 en el que se describen los estudios sobre el comportamiento estival de las viviendas Passivhaus, la metodología pasa por una primera fase de simulaciones, una segunda fase de monitorización y una tercera fase de recogida de encuestas post-ocupación. Estos tres aspectos buscan confirmar metodologías de cálculo en el método simplificado del programa de cálculo del Passivhaus [PHPP 2007-en] o mejoras de aspectos no previstos.

El estudio más amplio y con mayor difusión es el de las mediciones y encuestas llevadas a cabo por el proyecto CEPHEUS (*Cost Efficient Passive Houses as European Standards*), 14 promociones de viviendas con 221 apartamentos en total, patrocinado por la Unión Europea [FEIST *et ál.* 2001 a] mostraron un promedio aproximado del 90% de ahorro en energía primaria, en otras palabras, la casa pasiva es una casa Factor 10, es decir, utiliza una décima parte de energía que el promedio de viviendas en Alemania. Los resultados se pueden consultar en diversos documentos a parte del ya mencionado, [SCHNIEDERS, HERMELINK 2006], [KAUFMANN *et ál.* 2002], [KRAPMEIER, DRÖSSLER 2001], entre otros. Señalar que el grueso de las viviendas se encuentran en Centroeuropa (Alemania, Austria, Suiza principalmente) y la promoción con clima menos riguroso se sitúa en Rennes, pero con una aportación de datos poco relevantes en el conjunto del estudio¹⁹. El consumo medio de energía para calefacción entre octubre y marzo de las viviendas en las promociones del proyecto CEPHEUS no siempre está por debajo de los 15 kWh/m²/a, llegando algunas promociones a los 35 kWh/m²/a [FEIST *et ál.* 2001 a] y sufriendo algunas variaciones respecto a lo predicho mediante el programa de certificación del PHI, debido a la diferente temperatura de consigna utilizada por cada usuario.

VERSATILIDAD

Cualquier arquitecto puede diseñar una casa pasiva, puesto que básicamente se trata de un problema constructivo y su evaluación se realiza con una herramienta informática sin la complejidad de una simulación dinámica. Es un estándar válido para cualquier tipo de edificio.

Resulta interesante el estudio realizado por [HEIDUK 2006] en el que se analizan una serie de edificios clásicos de la arquitectura moderna, y posteriormente se le introducen medidas de mejora en la envolvente hasta alcanzar una mejor eficiencia energética igual o próxima al estándar Passivhaus. Se concluye que se deben realizar pequeñas modificaciones geométricas en general que no afectan a los modelos estudiados y que es posible una arquitectura variada dentro de un estándar de bajo consumo energético. Por ejemplo, las viviendas con patio de Jorn Utzon, en Fredensborg, Dinamarca, con una mejora sustancial de sus aislamientos, como se muestra en la Tabla 2.8, pasa de tener una demanda de calefacción de 312 kWh/m²a a 16 kWh/m²a.

¹⁹ La situación de las viviendas dentro del proyecto CEPHEUS se puede consultar [FEIST *et ál.* 2001 a] junto con numerosos datos sobre la construcción, funcionamiento y monitorizaciones.

Tabla 2.8. Comparativo de la demanda de calefacción en las viviendas Fredensborg, del arquitecto Jorn Utzon, antes y después de adecuarla a los requerimientos Passivhaus.

Estructura	Hormigón armado	
Compacidad A/V	1,09	
Superficie útil	86,47 m ²	
Valores U	Proyecto Original	Proyecto modificado
Fachada	1,43 W/m ² K	0,10 W/m ² K
Cubierta	0,64 W/m ² K	0,09 W/m ² K
Solera	0,60 W/m ² K	0,10 W/m ² K
Vidrios U_g	2,50 W/m ² K	0,51 W/m ² K
Ventana U_w	2,40 W/m ² K	0,65 W/m ² K
Ventilación	Ventilación por las ventanas e infiltraciones	Ventilación mecánica con recuperador
Pre calentamiento del aire	No	Sí
Requerimientos para calefacción según [PHPP 2004]	312 kWh/m ² a	16 kWh/m ² a
Elaboración propia a partir de [HEIDUK 2006]		

Cabe señalar que las restricciones geométricas que más pueden limitar los objetivos del estándar pueden ser la compacidad y la proporción de huecos en fachada²⁰. En el primer caso, si bien no es un requisito del estándar, es evidente que grandes superficies de envolvente respecto a un volumen contenido bajo penalizaran los objetivos de una vivienda de bajo consumo energético. En el segundo caso, si bien la eficiencia de los vidrios es cada vez más alta, está todavía lejos de alcanzar los rendimientos de los cerramientos opacos. Una última implicación en la geometría, los altos espesores de aislamiento, implica un cambio en los modos constructivos, yendo a sistemas en los que todo el espesor prácticamente está compuesto de aislamiento o utilizando materiales con unas características aislantes muy altas a un bajo espesor, aislantes al vacío p.e. En todo caso, es necesario un conocimiento exhaustivo de las implicaciones constructivas que suponen las decisiones geométricas si se quiere evitar la generación de puentes térmicos.

Sobre la influencia que tienen los nuevos sellos de bajo consumo energético, son recomendables varios documentos del Máster de Edificación Sostenible de la Escuela de Arquitectura de Lyon, [DEBROSSE 2009], [COMBE 2010], en los que se concluye que la vivienda pasiva no implica una estética ni una lógica particular, pero sí se vislumbra una tendencia general a una estética de modernidad y sencillez que va en paralelo a una búsqueda de una racionalidad de los equipos y del consumo energético. Se añade además que son generalmente las soluciones de arquitectura bioclimática incorporadas a las casas pasivas como mejoras las que sí tienen un mayor impacto visual.

REHABILITACIÓN

El estándar Passivhaus es adecuado para rehabilitaciones, y como hemos visto anteriormente, se dispone de una herramienta específica para certificar edificios a rehabilitar.

²⁰ Ahondando en el concepto de compacidad, señalar que el PHI maneja una definición más compleja de la habitual relación área de envolvente dividido volumen contenido. Una descripción sucinta se puede encontrar en [GONZALO, VALLENTIN 2013]

DIFUSIÓN

El PHI desarrolla diferentes actividades para la difusión y el conocimiento de los edificios construidos bajo el estándar Passivhaus. En el día internacional de la Casa Pasiva se realizan jornadas de puertas abiertas para poder visitar edificios y vivir una experiencia en una casa pasiva. Cabe señalar la gran influencia que tuvo la exposición organizada por la *Cité de l'Architecture et du Patrimoine* en París sobre la construcción en el Vorarlberg, "*Provocation Constructive*", caracterizada por edificios construidos bajo el estándar Passivhaus, que inició la difusión del estándar a los países no germánicos.



Figura 2.17. Imagen de la Exposición Provocación Constructiva – Probokazio Konstruktiboa, en TABAKALERA. Donostia San Sebastián (20-12-2007/31-01-2008). Organizada para el Colegio Oficial de Arquitectos Vasco-Navarro por Iñigo Rodríguez Vidal. Imagen del autor

DESARROLLO TECNOLÓGICO

Un aspecto fundamental del estándar Passivhaus es la potenciación del desarrollo de nuevas tecnologías tanto en los materiales como en su puesta en obra. El PHI lleva a cabo un proceso de certificación de diferentes componentes, carpinterías, vidrios, muros y forjados prefabricados, laminas aislantes de espesor mínimo, puertas estancas, y los diferentes sistemas de ventilación con recuperación de calor. Para cada componente de la vivienda pasiva existen una serie de protocolos para la obtención de dichos certificados. Estos protocolos de certificación se encuentran disponibles en la web del Passivhaus Institut. Asimismo, los productos ya certificados están disponibles en la propia web, incluyendo las fichas del producto certificado todos los valores necesarios para el desarrollo del cálculo mediante el programa de certificación [PHPP 2007]

Certificate

Passive House suitable component
for cool, temperate climate, valid until 31.12.2012

Category: **Window Frame**
Manufacturer: **OPTIWIN GmbH**
6341 Ebbs, AUSTRIA
Product name: **Alphawin**

The following comfort criteria were used in awarding this certificate:

Given a U_g value of 0.70 W/(m²K) and a window size of 1.23 m by 1.48 m,

$U_{W,inst} = 0.80 \text{ W/(m}^2\text{K)} \leq 0.80 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Taking into account the installation based thermal bridges, and provided that the installation is, with regard to the thermal bridges, equal or better than shown in the data sheet, the window meets the following criterion.

$U_{W,inst} \leq 0.85 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Thermal data of the window frame

	U-value [W/(m ² K)]	Width [mm]	Ψ_g [W/(mK)]	$f_{RSE,0.20}$ [-]
Spacer			Superspacer TriSeal*	
Bottom	1.00	90	0.024	0.74
Side/top	0.79	90	0.023	

*Spacers of lower thermal quality, especially those made of aluminium, lead to significantly higher thermal losses and lower temperature factors.

Further information see data sheet

www.passivehouse.com

Data Sheet

OPTIWIN GmbH, Alphawin

Manufacturer: OPTIWIN GmbH
Wildbichlerstr. 1, 6341 Ebbs, AUSTRIA
Tel.: +43 5373/46046-0
Email: office@optiwin.net, www.optiwin.net

Bottom section Isothermal

Description

Timber frame with insulation and external aluminium shell

Thermal data for the window frame

	U-value [W/(m ² K)]	Width [mm]	Ψ_g [W/(mK)]	$f_{RSE,0.20}$ [-]
Spacer			Superspacer TriSeal*	
Bottom	1.00	90	0.024	0.74
Side/top	0.79	90	0.023	

Depending on the thermal losses through opaque elements, windows are categorised according to efficiency classes. These thermal losses include the losses through the frame, multiplied by its width, the thermal bridge at the edge bond as well as the length of the edge bond.
Please ask the manufacturer for a detailed report containing all calculations and results.
For further information, please visit www.passivehouse.com or www.passipedia.org.

* Spacers of lower thermal quality leading to higher thermal losses and lower temperatures.

www.passivehouse.com Passive House Institute Page 1/1

Figura 2.18. Ejemplo de producto certificado por el Passivhaus Institut, carpintería Alphawin de la marca Optiwin, Francia [PHI].

El desarrollo de intercambiadores de alta eficiencia ha sido estimulado por el estándar Passivhaus. Por ejemplo en un intercambiador de calor a contra corriente de canal, el aire es conducido a través de conducciones rectangulares, y el calor es intercambiado a cuatro caras en lugar de a dos como es el caso de los intercambiadores de placas. Estos aparatos alcanzan rendimientos de hasta el 92%.

Las unidades compactas de ventilación y calefacción han sido desarrolladas especialmente para su uso en viviendas pasivas. El sistema completo (filtros, ventiladores y recuperadores de calor), un sistema de bomba de calor que trabaja en el aire de renovación y/o en el agua caliente sanitaria integradas en una única unidad. Todas las conexiones y el control están incluidos en el propio sistema del fabricante, permitiendo una conexión eficaz de todos los componentes en el lugar de la construcción. Todo ello ha permitido una reducción sustancial del espacio necesario para el sistema de ventilación y calefacción. Ya son varios los fabricantes que producen sistemas tanto para viviendas unifamiliares como unidades más pequeñas para apartamentos.

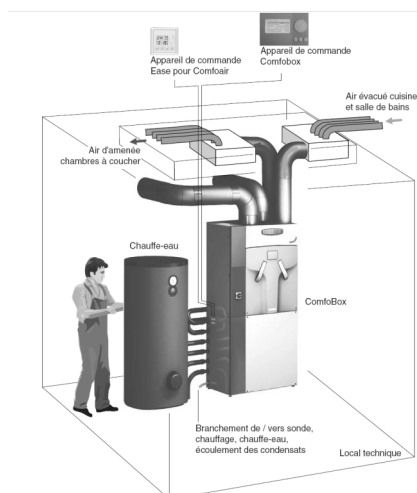


Figura 2.19. Ejemplo de producto unidad compacta de ventilación y calefacción Zehnder ComfoBox Serie 5 [Zehnder.ch]

En el Centro de Europa hay ejemplos de cómo una sinergia de todos los agentes implicados en la construcción de la vivienda pasiva pueden significar un crecimiento del desarrollo tecnológico en las empresas locales y por tanto de la economía de la región. El caso más conocido y de mayor difusión es el del Vorarlberg, pudiendo consultarse con más detenimiento en [GAUZIN-MULLER 2009].

2.1.2.5 SOSTENIBILIDAD Y CARENCIAS DEL CONCEPTO CASA PASIVA

[MOESEKE 2011], a partir de [MYTTENAERE 2006] lleva a cabo un buen análisis del grado de sostenibilidad del concepto de casa pasiva, resumiéndolo en la Tabla 2.9.

Este documento se refiere a la definición de la arquitectura sostenible desarrollado por K. de Myttenaere en 2006 : *“Una arquitectura sostenible es una arquitectura que merece ser sostenida debido a su pertinencia de acuerdo a los desafíos locales y globales”*. De Myttenaere desarrolla esta definición de la siguiente manera: *“la arquitectura sostenible considera el contexto espacial con el fin de aprovechar sus beneficios y protegerse de sus limitaciones; integrar las necesidades espaciales actuales y de las futuras generaciones de una manera que crea inferencia positiva para ambos; entiende y usa mecanismos interactivos y retroactivos del mundo físico y de los seres humanos en diversas escalas espaciales y temporales”*. La principal originalidad de esta definición es que va más allá de la preocupación ambiental. Incluye conceptos arquitectónicos teóricos a través de la idea de que el mundo físico y los seres humanos interactúan en diversas escalas. Así que la arquitectura se presenta como una forma de crear o expresar una relación entre el hombre y su entorno natural y cultural. Es al fin y al cabo, una visión Holística de la arquitectura.

Tabla 2.9. Objetivos alcanzados y deficiencias del concepto de Casa Pasiva en relación a la sostenibilidad y la energía.

Principio	Objetivos alcanzados	Carencias	Incompatibilidades técnicas	Incompatibilidades conceptuales
Integración	Eficiencia de la energía primaria	Evaluación del CO ₂	Alta inversión inicial	Auto exclusión del debate arquitectónico y cultural
	Valoración de los Costes del ciclo de vida	Evaluación de la energía contenida	Impacto en la salud de la ventilación mecánica	
	Sensación de confort		Funcionamiento técnico más allá del usuario amateur	
	Inclusión y reducción de la necesidad de combustible		Preservación del Patrimonio	
Equidad				Se centra solo a la escala de edificio
Precauciones incorporadas	Integración del confort de verano	No hay una evaluación de la capacidad de adaptación al cambio climático	Flexibilidad limitada a escala HVAC	
Responsabilidad compartida	Reuniones entre arquitectos y fabricantes	No existe una definición de confort de verano adaptativo		Los habitantes se toman como ocupantes y no como actores
Participación	Reuniones entre contratistas, arquitectos y fabricantes	-	-	-
Elaboración propia a partir de [MOESEKE 2011]				

La principal crítica al estándar Passivhaus es que promocionan una imagen de alta tecnologías sin imponer criterios de calidad ecológica ni social o en términos de comercio ético en cuanto a la utilización de materiales (toxicidad, origen) o a la mano de obra y a la seguridad y salud en el trabajo. Este estándar se suele confundir con los sellos de sostenibilidad, LEEDS, BREAM, etc., que tienen objetivos mucho más amplios pero sin unas reglas comunes en la medición de la eficiencia energética²¹.

Las formas arquitectónicas son menos complejas y a menudo se tildan de arquitectónicamente pobres. Esto es consecuencia de una voluntad clara de obtener edificios compactos, principio elemental de un edificio energéticamente eficiente. Además se suelen disponer con pocas ventanas practicables, con el fin de evitar un mal funcionamiento del sistema de ventilación, incluso si la renovación de aire es mejor que en un apartamento clásico. Es posible construir elementos también como invernaderos o miradores adosados, que pueden atenuar los efectos de claustrofobia que pueden generar en algunos usuarios, pero a costa de aumentar el precio final. Normalmente la alta calidad del confort térmico y la buena insonorización suelen compensar estas carencias.

Por otra parte, otro tipo de críticas se dirigen a la inadecuación del estándar al clima mediterráneo. La aplicación sin reflexión del modelo pasivo en la región mediterránea, centrada en una especie de termos aislados del exterior, está todavía por evaluar de una forma precisa.

²¹ Las últimas versiones del PHI amplían en rango de certificaciones a conceptos más allá del consumo energético siguiendo las mismas pautas que el sello Minergie.

2.1.2.6 VALORES MÁXIMOS Y VALORES DE REFERENCIA DEL ESTÁNDAR.

Si bien hemos visto que los valores máximos permitidos para la certificación Passivhaus son verdaderamente bajos, todavía se alcanzan valores menores en las mejores prácticas constructivas. Vemos en la Tabla 2.10 un resumen de estos valores.

Tabla 2.10. Cuadro comparativos de valores máximos y mejores prácticas en viviendas Passivhaus.		
Componente o construcción	Valor límite	Mejores prácticas*
Demanda de calefacción:	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{año})$	$\leq 10 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{año})$
Energía Primaria:		
Las necesidades totales de energía primaria para calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria, electricidad	$\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{año})$	$\leq 72 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{año})^*$
*Para las "mejores prácticas", se dan dos valores. Para demostrar el cumplimiento con el estándar de casa pasiva, la electricidad tiene que ser evaluado con el factor de energía primaria de la red pública (mix eléctrico europeo), con independencia de si hay una contribución real a partir de energías renovables o no. El primer valor representa el punto de vista político para uno de los proyectos del programa CEPHEUS. El segundo valor de "buenas prácticas", $0 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$, muestra el consumo de energía primaria para el mismo proyecto, si se toma en cuenta la cantidad de calor y la electricidad producida a nivel local a partir de renovables.		
Estanqueidad:		
Tasa de renovación del aire a una presión de 50 Pascales de acuerdo a ensayo según [UNE-EN 13829:2000]	$n_{50} \leq 0,6 \text{ (h}^{-1}\text{)}$	$n_{50} \leq 0,2 \text{ (h}^{-1}\text{)}$
Rendimiento mínimo del recuperador de calor	$\geq 75\%$	92%
Aislamiento elementos opacos, U (W/m²K)	$\leq 0,15$	0,06
Transmitancia puentes térmicos lineales, ψ (W/K)	$\leq 0,01$	≤ 0
Vidrios con bajo valor U y alto valor g		
Transmitancia térmica vidrio U_g (W/m ² K)	$\leq 0,80$	0,51
Transmitancia energía solar total g (%)	≥ 50	58
Transmitancia ventana montada (con el menor puente térmico del montaje)	$\leq 0,80$	0,75 (con $U_g = 0,7 \text{ (W/m}^2\text{K)}$)
Recuperador de calor de la ventilación		
Eficiencia energética neta n_{HE} (%)	≥ 75	92
Generalmente, los test según los Estándares Europeos producen resultados que no pueden ser utilizados en el balance energético porque se utilizan diferentes sistemas de referencia. Las infiltraciones internas y externas del intercambiador de calor, y las pérdidas de calor o ganancias de calor del vecindario se contabilizan de forma diferente..		
Pérdidas de calor a través del cajón (W/K)	≤ 5	
Infiltraciones internas y externas (%)	≤ 5	< 1
Consumo eléctrico máximo del sistema de ventilación ρ_{el} (Wh/m ³)	$\leq 0,45$	0,3
Alta reducción de las pérdidas en el sistema de calefacción incluida ACS		
Reducción de las pérdidas eléctricas utilizando electrodomésticos eficientes (Por ejemplo utilizando electrodomésticos más eficaces según el sello europeo)	Clase A	<60% me media Clase A
Límite de uso de energía recomendado para electrodomésticos (Parte de la Energía primaria total), Energía primaria kWh/(m ² año)	≤ 55	27 (asumiendo el mix europeo de electricidad)
En todos los caso, el área considerada es la Superficie de Referencia Energética calculada como se explica en la Guía de uso [PHPP 2007-es] página 47.		
Elaboración propia a partir de [FEIST et ál 2005]		

2.1.3 PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA VIVIENDA PASIVA

2.1.3.1 APROXIMACIÓN A LA ARQUITECTURA PASIVA

[LECHNER 2009] representa de una forma gráfica la aproximación arquitectónica para alcanzar el diseño sostenible de la calefacción, refrigeración y la iluminación de los edificios separada en tres tercios (Fig. 2.20).

En el primer tercio encontramos los aspectos relacionados con el diseño arquitectónico del propio edificio para minimizar las pérdidas de calor en invierno, minimizar las ganancias de calor en verano y utilizar de forma eficiente la luz natural. Decisiones erróneas en este primer tercio pueden implicar duplicar o triplicar la potencia de las instalaciones y la necesidad de energía final. Por otro lado, buenas decisiones en este primer tercio pueden reducir la demanda de energía en más del 60%.

El segundo tercio incluye la utilización de las energías naturales mediante sistemas pasivos de calefacción, refrigeración e iluminación. Un buen diseño de estos aspectos puede reducir otro 20% el consumo de energía final. Así pues, las estrategias implicadas en el primer y segundo tercio, que son puramente arquitectónicas, pueden reducir más del 80% el consumo de energía final del edificio.

El último tercio implica el diseño de instalaciones lo más eficientes posibles. Este último aspecto puede reducir el consumo otro 8%. Uniendo todos estos aspectos de una forma adecuada se puede reducir el consumo final de energía a un 12% del consumo de un edificio convencional. Esta pequeña cantidad de energía puede ser entonces fácilmente suministrable mediante energías renovables presentes en el emplazamiento del edificio.

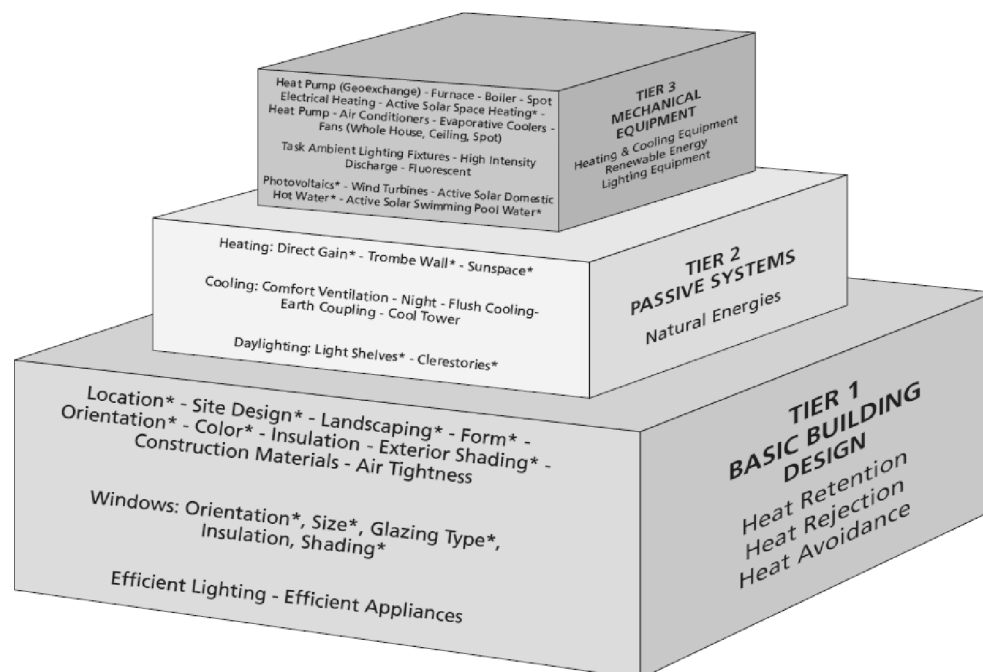


Figura 2.20. Aproximación al diseño sostenible mediante el esquema de tres tercios. Los tercios 1 y 2 son propios del arquitecto, y las decisiones adecuadas en estos dos tercios conducen a una reducción de más del 80% de la demanda de energía [LECHNER 2009] y www.cadc.auburn.edu/sun-emulator.

El diseño de la calefacción, refrigeración e iluminación en un edificio siempre considera estos tres tercios, sea realizado esto de forma consciente o no. En las últimas décadas,

se asumió que el último tercio era una responsabilidad de los ingenieros, dejando en manos de las instalaciones mecánicas el control ambiental del edificio. Así los arquitectos, a menudo indiferentes a los aspectos ambientales del edificio, diseñaban edificios reñidos con el medio ambiente, como por ejemplo edificios con grandes superficies vidriadas en climas muy cálidos o muy fríos. Esto forzó a los ingenieros a diseñar sistemas de climatización cada vez mayores y con un alto consumo energético para mantener el control térmico. En estos edificios, incluso la luz artificial permanece encendida durante todo el día debido a la mala calidad de la luz natural, habitualmente sin control. El tamaño de los equipos mecánicos de un edificio se puede considerar como un indicador de la calidad del diseño arquitectónico como controlador del ambiente climático del edificio.

En ciertos climas se puede llegar a reducir los equipos mecánicos a cero, como demuestran numerosos ejemplos especialmente en climas fríos y soleados. Utilizando los dos primeros tercios en pos de una reducción casi total de la demanda de energía y el último tercio satisface mediante energías renovables las pequeñas demandas de energía. [LECHNER 2009] concluye que la reducción en la demanda de energía y por tanto la reducción de los equipamientos técnicos tiene beneficios no solo económicos, al reducir el gasto en el propio equipamiento y la energía consumida, sino que genera un mayor confort ambiental al no tener las instalaciones que solventar unas cargas térmicas tan considerables. Este ahorro económico se puede invertir entonces en el diseño arquitectónico, como puede ser unas mejores protecciones solares, un aislamiento más ecológico, etc.

El PHI sigue directamente estos principios en el diseño de los edificios bajo su estándar, siendo los puntos más relevantes resumidos en la Figura 2.21, a saber:

- Aislamiento.
- Diseño exento de puentes térmicos.
- Ventanas con alto aislamiento.
- Construcción estanca.
- Ventilación con recuperador de calor.

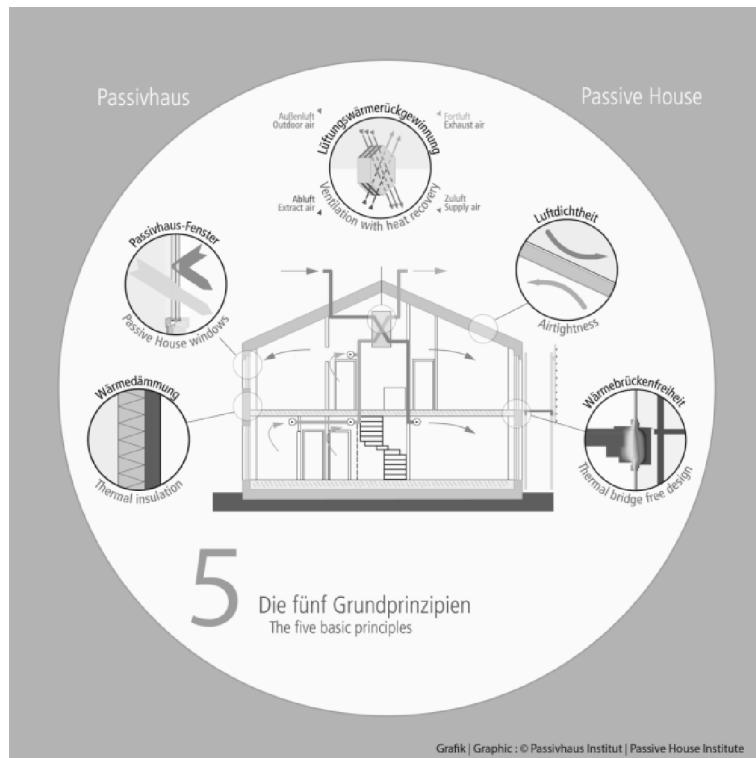


Figura 2.21. Principios básicos de la Casa Pasiva [PASSIPEDIA].

Siguiendo el guión propuesto en [HASTINGS, WALL 2007-2], y [FEIST 2006], se describe brevemente a continuación un resumen de las tecnologías (tanto pasivas como activas) que han sido desarrolladas para minimizar las pérdidas, incrementar la eficiencia y el uso de energías renovables. En el Anexo A se desarrollan los aspectos más ajenos a la tradición constructiva en España, realizando un comparativo con las normas españolas y europeas.

2.1.3.2 ENVOLVENTE

El componente más importante del edificio con respecto al balance térmico es la envolvente, siendo el cerramiento el responsable por sí mismo del 50-70% de las pérdidas de calor en un edificio convencional [HASTINGS, WALL 2007-2]. Un cerramiento mejorado puede modificar de forma drástica la carga de calefacción o refrigeración de una vivienda. Previamente, se debe considerar el factor de forma de la edificación S/V , relación entre la superficie de de la envolvente del edificio con el volumen contenido. Una superficie de envolvente baja respecto del volumen provocará menores pérdidas energéticas, producidas tanto por las pérdidas por el propio cerramiento como por infiltración y exfiltración a través de las fisuras.

Las pérdidas por infiltraciones se pueden reducir mediante el incremento de la estanqueidad, preferentemente en el sistema de ventanas (tanto las propias ventanas como la conexión con el cerramiento), y mediante el uso de sistemas de ventilación de doble flujo con recuperador de calor. La estanqueidad es medida en el estándar Passivhaus mediante el test de presión según la norma EN 13829 e ISO 9972, obteniendo el valor tasa de renovación del aire a una presión de 50 Pa denominado n_{50} (h^{-1}). Una vez determinada la tasa de renovación se puede obtener la tasa de renovación n_{inf} mediante diversos métodos. Este valor puede afectar enormemente a la eficacia de los sistemas de ventilación.

El cerramiento del edificio se caracteriza por su valor U (W/m^2K), o transmitancia térmica, que tiene en cuenta los mecanismos de transmisión de calor mediante conducción, convección y radiación. Valores bajos de U conducen directamente a valores bajos de pérdidas térmicas. El valor U depende de numerosos parámetros, incluidos los puentes térmicos (no incorporados en la ecuación). Para obtener un valor medio bajo de la transmitancia U de la envolvente, tanto ventanas, fachadas, puertas, cubiertas así como cualquier otro cerramiento que separe el interior calefactado del exterior debe tener unos coeficientes de transmisión de calor bajos. En las ventanas, la mayor parte de las pérdidas se producen por radiación y convección y sin embargo los valores h_i y h_e siguen siendo importantes, siendo h_e muy dependiente de las condiciones climáticas (viento). En el caso de los cerramientos opacos, los valores más importantes son λ_i y e_i , por lo que se busca utilizar materiales con valores bajos de conductividad térmica, a fin de reducir al mínimo los espesores.

AISLAMIENTO TÉRMICO

El cerramiento está fuertemente aislado en las viviendas pasivas,. En el Centro de Europa, las condiciones climáticas de octubre a abril se mantienen generalmente más frías en el exterior que en las condiciones de confort interiores. Para reducir al máximo el flujo de calor que se produce a través del cerramiento se recurrirá a materiales con un bajo coeficiente λ , denominados materiales aislantes. Estos, funcionan al contener gran cantidad de aire en una malla tridimensional de pequeñas celdas. Este aire atrapado reduce la conductividad y por tanto el valor U del cerramiento. Sin embargo, alcanzar un valor U lo más bajo posible no es el objetivo ya que puede suponer un precio no amortizable. El objetivo es obtener un aislamiento óptimo que tenga en cuenta las necesidades energéticas para un clima determinado, las posibilidades constructivas y el óptimo financiero que depende de los costes constructivos y los costes de la energía [CASTRO 2008]. En todo caso, invertir en aislamiento en los cerramientos opacos es mucho más económico que en las ventanas [HASTINGS, WALL 2007-2].

[EURIMA 2007] contiene un estudio en profundidad de los valores U recomendados en diferentes regiones de Europa que aunque no incluye en su estudio las viviendas bajo el concepto Passivhaus puede aproximarnos a la idea del aislamiento económicamente óptimo del aislamiento.

En Centroeuropa, los valores U varían de 0,10 a 0,15 (W/m^2K), valores que pueden ser menores o mayores dependiendo del clima y que tienen en consideración la optimización económica en función de los precios actuales de la energía, pero que se marcan como primer objetivo el reducir al máximo la demanda de energía para poder prescindir de los sistemas convencionales de calefacción.

[SCHNIEDERS 2009] realiza el estudio de varias ciudades cercanas al área de estudio de este trabajo, recomendando los valores de aislamiento recogidos en la Tabla 2.21, estudio desarrollado en el Capítulo 2.2.

El Passivhauss Institut dispone de un estudio en profundidad de la eficacia del aislamiento en los edificios Passivhaus en [KAH, FEIST 2005]. [FEIST 2006] menciona igualmente otros beneficios del aislamiento como son la protección frente al calor en verano, y el aumento de confort.

Todos los materiales aislantes disponibles en el mercado para la construcción son válidos en la construcción Passivhaus, si bien se recurre en ciertas ocasiones a materiales de mayor tecnología como los aislamientos al vacío para solucionar encuentros en lugares donde el espesor puede provocar un problema geométrico. Cada

material tiene sus ventajas e inconvenientes y su elección dependerá más de los hábitos constructivos del lugar y la disponibilidad principalmente. El PHI incide especialmente en la puesta en obra, ya que un buen aislamiento en placas por ejemplo, sin tener bien selladas las juntas entre las mismas puede echar a perder todas las cualidades del cerramiento. Es decir, se valora tanto las cualidades del material aislante como del sistema cerramiento acabado. Señalar que este es un error típico en la construcción, solo detectable con una monitorización con obra terminada o mediante termografías. Por ejemplo, en un estudio basado en una monitorización de viviendas en Sevilla [LEÓN *et ál.* 2010], se detecta una diferencia notable entre la simulación energética y los datos monitorizados. El mal comportamiento es achacable entre otros a las diferencias entre la envolvente térmica real y el modelo energético, como consecuencia de los procesos de ejecución (estas diferencias se hicieron patentes mediante las realización de ensayos in situ de termografía, presurización y pruebas para la determinación de la transmitancia térmicas U).

Todos los demás aspectos higrométricos que se encuentran en los cerramientos son igualmente estudiados bajo las mismas bases que la construcción nacional, si bien es normal que se hagan estudios más profundos debido a lo habitual de la construcción mediante elementos prefabricados derivados de la madera, que hacen necesario un diseño que evite las fugas de aire a través del cerramiento que podrían provocar condensaciones intersticiales.

PUENTES TÉRMICOS

Las viviendas pasivas además de tener un buen aislamiento que minimice las pérdidas a través de los cerramientos, ponen especial atención en eliminar todas las pérdidas producidas en los cambios de sistemas constructivos o encuentros entre elementos de la envolvente, denominados puentes térmicos. Encuentros típicos en los que se forman los puentes térmicos son las ventanas y puertas, balcones, y la unión de la solera y forjados de piso con la fachada, y esta última con la cubierta. En cerramientos con un valor de transmitancia U muy bajo, las pérdidas por los puentes térmicos pueden ser considerables, por lo que se limitan los puentes térmicos lineales a un valor ψ menor de 0,01 W/mK. Solo entonces se considera que es un detalle libre de puente térmico con lo que no entra en consideración en los cálculos. Este aspecto es tratado igualmente tanto en el proceso de diseño como en el edificio terminado. Se trata de un aspecto muy cuidado en la construcción Passivhaus y que tiene una repercusión muy grande en los detalles constructivos y en los sistemas constructivos.

En la Tabla 2.11, [HASTINGS, WALL 2007-2] muestra los efectos de los puentes térmicos en un edificio de apartamentos, en la que los puentes térmicos pueden suponer hasta el 25% de las pérdidas de calor, mientras que en una vivienda pasiva están por debajo de 4%.

Tabla 2.11. Pérdidas por transmisión en una vivienda de apartamentos con diferentes niveles de aislamiento.

	Vivienda estándar		Vivienda bajo consumo energético		Casa pasiva A (P.T. poco tratados)		Casa pasiva B (P.T. tratados)	
	W/m ² K	W/mK	W/m ² K	W/mK	W/m ² K	W/mK	W/m ² K	W/mK
Cubierta	0,50	0,2	0,1	0,12	0,10	0,05	0,10	0,008
Fachada	0,40	0,20	0,20	0,10	0,12	0,08	0,1	0,008
Ventanas	1,80	0,20	1,10	0,10	0,70	0,10	0,70	0,010
Solera	0,50	0,30	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,005
Conductancia térmica (W/K)	195,6		95,1		83,2		12,2	
Pérdidas totales por transmisión (kWh/m ² a)	74,5		36,1		23,2		17,9	
Perdidas por transmisión a través de los puentes térmicos (kWh/m ² a)	11,8		5,2		5,0		0,74	
Q _{PT} /Q _{total} (%)	15,8		15,8		21,6		4,1	

Elaboración propia a partir de [HASTINGS, WALL 2007-2]

ESTANQUEIDAD

La mayoría de los materiales aislantes no son estancos, por lo que se hace necesaria una estanqueidad al paso del aire del cerramiento para evitar humedad debida a las infiltraciones y a las exfiltraciones y que ésta cause desperfectos en los materiales de construcción. Asimismo, una buena estanqueidad permite controlar el caudal exacto de ventilación en el sistema de ventilación mecánica. Los edificios certificados según el estándar Passivhaus realizan un test de presión conforme a la norma [UNE-EN 13829:2000] con el fin de obtener el valor de la tasa de renovación a 50 Pascales n_{50} (h^{-1}). Los edificios dotados de ventilación mecánica de doble flujo en general deberán tener una buena estanqueidad al aire para evitar que estas infiltraciones provoquen el cortocircuito del sistema y disminuya el rendimiento del recuperador. La barrera estanca no debe confundirse con la barrera paravapor, confusión habitual en algunos ámbitos.

Una vez finalizado el edificio se somete al test de presión, que debe dar un valor menor de $n_{50} \leq 0,6$ (h^{-1}), aunque se recomienda realizar el ensayo con el edificio a medio terminar para poder solventar los errores en la construcción.

VALORES EN EL ÁREA DE ESTUDIO

En el área de estudio no se indican valores obligatorios de estanqueidad, siendo una de las asignaturas pendientes de la normativa española. Sin embargo numerosas normativas hacen referencia a los valores deseables. El Código Técnico de la Edificación [CTE DB HE1 2009] solo habla de valores de permeabilidad de la ventana (no del sistema colocado). En el Manual de Referencia del Calener GT [CALENER GT 2009], basado en la norma UNE-EN ISO 13790:2004. "Eficiencia energética en los edificios. Cálculo del consumo de energía para calefacción de espacios." [UNE-EN ISO 13790:2004] nos señala unos niveles de estanqueidad de la envolvente en función del test de presurización a 50 Pa.

En la Comunidad Autónoma del País Vasco, el Ente Vasco de la Energía (EVE), a través de su filial CADEM, lleva desde 1994 realizando un análisis del comportamiento energético de los edificios de promoción pública en aras de la obtención de una

Certificación de Eficiencia Energética. Es un proyecto realizado con el objetivo de promover el ahorro y la eficiencia energética en el sector de la construcción. Para cuantificar la ventilación de un determinado espacio se utiliza el concepto de tasa de infiltración, que representa el número de renovaciones de aire que se producen en una hora (renovaciones/hora). Desde el punto de vista energético, la medición de esta magnitud es importante debido a la cantidad de calor que se expulsa al exterior de la vivienda en el proceso de renovación del aire. No obstante, es necesario adoptar una solución de compromiso, ya que la ventilación es imprescindible para evitar condensaciones superficiales y conseguir una calidad del aire interior aceptable. Teniendo en cuenta ambos aspectos se establecen las siguientes valoraciones para los distintos rangos de la tasa de infiltración en la Tabla 2.12.

Rango de tasa de renovación al aire (renovaciones/hora)	Valoración
<0,25	Muy bajo
0,25-0,35	Bajo
0,35-0,65	Aceptable
0,65-0,85	Alto
>0,85	Muy alto

Elaboración propia a partir de [CADEM]

La estimación de la tasa de infiltración media de una vivienda y, por consiguiente, del número de renovaciones de aire por hora que se producen en condiciones normales durante el invierno, se lleva a cabo mediante el método de cálculo LBL (del Lawrence Berkeley National Laboratory, Universidad de California), desarrollado por Max H. Sherman en 1984 [SHERMAN, 1987]. La tasa de infiltración obtenida mediante el método LBL es una combinación de los valores resultantes de considerar los efectos del viento y del tiro por separado. Estos valores tienen en cuenta, entre otros factores, la altura y el volumen de la vivienda, el entorno del edificio, la velocidad del viento en la zona, las temperaturas del aire interior y exterior y las áreas efectivas de rendijas (AER) correspondientes a la fachada (ventanas, cajas de persiana, etc.) y al techo (conductos de ventilación). A partir de este dato se valora la influencia en la obtención de la calificación energética del Cadem (Tabla 2.13).

Renovaciones/Hora		Coefficiente de consumo	Mejora	Calificación
Tasa mínima recomendada	0,4	54,4%	5,6%	A
Tasa máxima recomendada	0,6	60,0%	-	A
Por encima del rango recomendado	0,8	65,6%	-5,6%	B

Elaboración propia a partir de [CADEM]

Entre 1994 y el año 2010 el CADEM ha realizado 600 pruebas de infiltraciones en la C.A.P.V., 3 viviendas por promoción en 200 promociones, lo cual supone un muestreo sobre un total de 12.000 viviendas [PUCHE 2012]. Las pruebas arrojan el siguiente balance descrito en la Tabla 2.14.

Tabla 2.14. Datos del CADEM a partir de las pruebas de infiltración

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA	TASA DE RENOVACIÓN AL AIRE (renovaciones/hora)
A	0,35-0,40
B	0,40-0,60
C	0,60-0,65

Elaboración propia a partir de [CADEM]

A partir de los datos facilitados por el CADEM en [PUCHE 2011] se puede realizar una regresión aproximada de los valores de tasa de renovación a 50 Pa n_{50} , utilizando el método aproximado propuesto por [SHERMAN, 1980]. No se pueden aventurar más aproximaciones ya que para ello se deberíamos disponer de la totalidad de los informes y ver en qué condiciones se realizaron cada uno de ellos, diferencia de temperatura entre el interior y el exterior, intensidad del viento, datos que una vez solicitados al CADEM no han podido ser facilitados. En la Tabla 2.15 se muestra el cálculo de la regresión de datos a un valor 50 Pa n_{50} .

Tabla 2.15. Regresión de datos a partir de la calificación energética del CADEM.

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA	TASA DE RENOVACIÓN AL AIRE ACH (renovaciones/hora)	Método propuesto por [SHERMAN, 1980] ACH = ACH50/20 = $n_{50}/20$
	Media	n_{50}
A	0,35-0,40	7,0-8,0
B	0,40-0,60	8,0-12,0
C	0,60-0,65	12,0-13,0

Elaboración propia a partir de [PUCHE 2011]

La Empresa Vasca de la Vivienda VISESA, ha facilitado a este autor el certificado energético desarrollado por el CADEM de algunas de sus promociones. Estas promociones certifican los valores señalados en la Tabla 2.15, relativamente altos. Hay que tener en cuenta que hasta la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación, y en la progresiva implementación de los sistemas de ventilación mecánicos, el sistema de ventilación habitual era en de rejillas en fachada y shunts en cuartos húmedos, con lo que un cierto grado de infiltraciones era deseable desde el punto de vista de la calidad del aire en el interior de las viviendas.

VENTANAS Y PROTECCIONES SOLARES

La ventana es uno de los componentes primordiales a la hora de conseguir el objetivo marcado por el Passivhaus Institut. No solo es el elemento en el que mayores pérdidas de producen por transmisión de calor, sino que también el mayor captador de energía solar, la cual permitirá obtener un balance equilibrado de energía entre las ganancias y las pérdidas de calor. Las ganancias solares dependerán del clima, de la situación geográfica y la orientación y de parámetros como el valor g del vidrio o factor de transmisión total de la energía. La orientación sur es la más beneficiosa tanto para amortizar al máximo las ganancias solares en invierno como para protegerse del sobrecalentamiento en verano, siendo fácil de evitar en esta orientación mediante voladizos horizontales.

Una ventana de alta eficiencia con un valor $U_v \leq 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ y $g \geq 50 \%$ orientada a sur y sin protecciones solares, puede alcanzar un balance energético positivo incluso en el periodo de calefacción (típicamente de noviembre a marzo) en una vivienda de alta eficiencia energética. Las ganancias solares a través de una ventana estándar ($U_v \geq 1,60$

W/m^2K) no son suficientes para compensar las pérdidas de calor en el periodo invernal, teniendo unas pérdidas 10 veces superiores a un cerramiento opaco altamente aislado ($U \leq 0,15 W/m^2K$). Esto es válido para climas de Centroeuropa, y más fácilmente alcanzable en climas oceánicos y mediterráneos [HASTINGS, WALL 2007-2].

Un efecto secundario del alto aislamiento de este tipo de ventanas es que se aumenta considerablemente la temperatura superficial interior, reduciendo la radiación de temperatura al interior de la edificación y la asimetría de temperaturas, con lo que situar los radiadores bajo las ventanas ya no es un requisito obligatorio. Igualmente, esta alta temperatura interior evita la formación de moho en los puntos fríos de la ventana, efecto típico en climas fríos en los puntos de la ventana más fríos.

Puede ampliarse la información de la ventana Passivhaus en la Bibliografía complementaria.

Las ganancias solares se podrán controlar mediante protecciones solares exteriores, intermedias o internas, siendo las que mejor funcionan las externas. En caso de no poder disponer más que de protecciones internas, se suelen elegir con un alto grado de reflectancia. Para orientaciones sur se escogerán las venecianas y los estores, mientras que para las orientaciones este y oeste se deben situar protecciones verticales [HASTINGS, WALL 2007-2].

2.1.3.3 VENTILACIÓN DE CONFORT

Las viviendas pasivas tienen un alto grado de estanqueidad, por lo que la renovación de aire que se producía en los antiguos edificios a través de las rendijas de las ventanas y las diversas fisuras del cerramiento ya no es posible. La ventilación garantiza las renovaciones de aire necesarias para mantener una calidad del aire interior acorde a la normativa. Además, esto permite mantener unos niveles de humedad adecuados, ya que con el aire de extracción se elimina el exceso de vapor producido por personas, cuartos húmedos, plantas y tareas del hogar.

La ventilación provoca en los climas fríos unas grandes pérdidas de calor si no se trata adecuadamente. Sabiendo el volumen de aire necesario para la ventilación en la normativa española [CTE DB HS 3 2009], aproximadamente una renovación a la hora, es fácil calcular estas pérdidas mediante la expresión:

$$Q_v = n V (\rho c)_{\text{aire}} 24 \text{ h/d HDD}$$

Donde:

Q_v = Pérdidas de calor por ventilación o infiltración (kW/h).

n = tasa de intercambio de aire (h^{-1}).

V = Volumen de aire intercambiado con el exterior en m^3 .

$(\rho c)_{\text{aire}}$ = Calor volumétrico específico del aire ($=0,34 Wh/m^3K$).

HDD = Grados día en Kd (1d = 24 h).

Una vivienda con una tasa de intercambio de $0,5 h^{-1}$, y 3500 grados día, provocará una demanda de energía por ventilación de $36 kWh/m^2a$. Un incremento debido a infiltraciones de $0,1 h^{-1}$, puede incrementar otros $7,2 kWh/m^2a$.

Estas altas pérdidas llevan a la instalación de sistemas de doble flujo con recuperador de calor, reduciéndose enormemente las pérdidas de calor por ventilación en función del rendimiento del recuperador de calor. La expresión se transforma entonces en:

$$Q_v = (1 - \eta) n V (\rho c)_{\text{aire}} 24 \text{ h/d HDD}$$

Donde:

η = eficiencia del recuperador de calor.

Q_v = Pérdidas de calor por ventilación o infiltración (kW/h).

n = tasa de intercambio de aire (h^{-1}).

V = Volumen de aire intercambiado con el exterior en m^3 .

$(\rho c)_{\text{aire}}$ = Calor volumétrico específico del aire ($=0,34 \text{ Wh/m}^3\text{K}$).

HDD = Grados día en Kd ($1\text{d} = 24 \text{ h}$).

Existen dos formas de asegurar la ventilación:

-Ventilación natural (ventanas, lucernarios,..).

-Ventilación mecánica.

El primer método es gratuito, necesita poco mantenimiento, no necesita maquinaria adicional, pero por el contrario es difícil asegurar el control del mismo y puede llevar a pérdidas de calor enormes. Generalmente, ante esta situación, la tendencia habitual es realizar una ventilación menor de la necesaria, lo que lleva a una mala calidad del aire interior. Además, es difícil de llevar a cabo en entornos ruidosos y contaminados. La ventilación mecánica por el contrario permite un control exacto de las tasas de renovación, y direccionar correctamente los flujos de aire, se puede filtrar, eliminar la condensación de vapor de agua y se puede instalar un recuperador de calor en el sistema. Sin embargo, puede ser un sistema costoso, consumidor de energía, ruidoso y necesita mantenimiento. [MLECNIK *et ál* 2012] y [HUBER 2010] señalan a la ventilación mecánica como una de las fuentes de problemas de inconfort más habituales en viviendas de bajo consumo energético.

En las viviendas pasivas, la ventilación natural, aunque no está prohibida, se debe limitar de forma que no se generen grandes pérdidas energéticas, pero esto dependerá del usuario final. La ventilación mecánica se puede utilizar en algunos climas para realizar un enfriamiento nocturno [FORD *et ál.* 2007], [SCHNIEDERS 2009], siempre que el aparato disponga de un by-pass que evite el funcionamiento del recuperador. El sistema puede mejorar su eficacia conectándose a un intercambiador tierra aire, o a un intercambiador de salmuera acoplado a una bomba de calor. En todo caso, los sistemas inducirán siempre aire de renovación en las estancias vivideras, y por el método de cascada se extraerán a través de los cuartos húmedos.

2.2 COMPORTAMIENTO DE EDIFICIOS CONSTRUIDOS EN EL ESTÁNDAR PASSIVHAUS EN VERANO. ESTUDIOS SOBRE EL SOBRECALENTAMIENTO.

2.2.1 INTRODUCCION

El estándar Passivhaus es un estándar de construcción que busca la reducción del consumo de energía primaria, pero los criterios de confort térmico quedan claramente definidos en la propia definición que hace el propio Instituto Passivhaus:

“Una Casa Pasiva es un edificio en el que el confort térmico de acuerdo con EN ISO 7730 puede ser garantizado mediante post calentamiento o post enfriamiento del flujo de aire limpio necesario para la calidad del aire interior”.

En climas cálidos y/o durante los meses verano, las temperaturas excesivas no deben superar el 10% del tiempo (876 horas/año), en cuyo caso se deberán adoptar medidas alternativas. La temperatura de referencia que se utiliza es de 25°, pudiéndose variar para comparar resultados. En todo caso, **se recomienda que los periodos de sobrecalentamiento no superen el 5%** para garantizar un confort alto en verano [FEIST 2012].

El riesgo de consecuencias nocivas en forma de sobrecalentamientos excesivos en las viviendas superaisladas se ha destacado en numerosos estudios en el norte de Europa, [ISAKSSON, KARLSON 2006], [JANSON 2010], [LARSEN, JENSEN 2011], [RUUD, LUNDIN 2004] y [PERSSON, WESTERMARK 2012] en Centroeuropa [HASSELAAR 2008], [SCHMITT *et ál.* 2007] y Sur de Europa, [SCHNIEDERS 2005] y [SCHNIEDERS 2009] entre otros.

[LARSEN, JENSEN 2011] página 1, concluyen que *“el gran interés por la eficiencia energética ha reducido el interés por el confort interior. Esto ha derivado entre otros problemas en sobrecalentamiento de edificios”*. Sus investigaciones concluyen que existe un conflicto emergente entre la implementación de los estándares de eficiencia energética y las recomendaciones del Artículo 4 del texto refundido del EPBD que señala: *“estos requerimientos deberán tener en cuenta las condiciones generales del clima interior, evitando posibles consecuencias negativas como una ventilación inadecuada, así como las condiciones particulares, el uso y antigüedad del edificio”* [UE DIRECTIVA 2010/31/EU].

Inciendo sobre los impactos de la normativa EPBD en el rendimiento estival [MALDONADO 2005], señala que mientras la mayoría de las regulaciones que existían en la Unión Europea solo prescribían requerimientos para reducir la demanda de calefacción, las últimas normativas de reducción de consumo de energía introducen los conceptos de reducción del consumo de energía para refrigeración, promoviendo la utilización de sistemas de refrigeración pasiva, sin embargo en los países de Centroeuropa existe una cierta reticencia a considerar los efectos del confort de verano en sus regulaciones, y se consideran situaciones pasajeras que no merecen ser tenidas en cuenta en exceso.

2.2.2 ANTECEDENTES

Numerosos estudios han analizado el rendimiento energético y el confort en una gran variedad de climas de Europa. Un elemento común de estos estudios es que a menudo los ocupantes se muestran más satisfechos con el confort de invierno que con el de verano pudiendo mencionar entre otros los siguientes, [MLECNIK *et ál* 2012], [BERNDGEN-KAISER, FREY 2006], [WAGNER W, MAUTHNER 2008-a], [WAGNER W, MAUTHNER 2008-b], [DANNER, VITTAR 2001] y [FLADE, LOHMANN 2004].

En contra de esta conclusión, existen otros informes, basados en estudios de post-ocupación a partir de monitorizaciones llevadas a cabo por el Passivhaus Institut, que concluyen altos índices de satisfacción en condiciones de verano, [SCHNIEDERS 2003], [SCHNIEDERS, HERMELINK 2006] y [FEIST *et ál.* 2012-b], en los que se hace referencia a otros documentos de trabajo a los que no se ha podido tener acceso como son [HEMERLINK 2004], [HEMERLINK, HÜBNER 2006].

A continuación se resumen algunos de estos estudios con el fin de encontrar una línea argumental como base para desarrollar este trabajo.

2.2.2.1 1993 – ALEMANIA: ESTUDIO DE LA PRIMERA VIVIENDA PASIVA EN DARMSTADT-KRANICHSTEIN

[FEIST 1999] realiza un primer estudio del comportamiento de las casas pasivas durante el periodo estival a partir de los datos recolectados en la primera vivienda pasiva en Darmstadt-Kranichstein, cuatro adosados con orientación sur y dotados de protecciones solares automáticas y con una posibilidad de realizar una buena ventilación cruzada. Están construidos con una fachada con una inercia térmica alta formada por un ladrillo interior de 17,50 cm y aislada con una doble capa de 27,50 cm en total de poliestireno expandido, rematado todo con un raseo [FEIST 1997]. Se evalúa un caso de referencia, lo más parecido posible al construido, y se van añadiendo mejoras que puedan garantizar el máximo de horas posibles de confort en verano (Fig. 2.22).

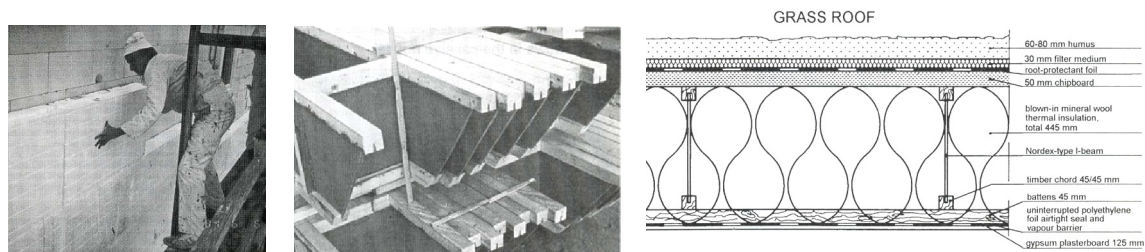


Figura 2.22. De izquierda a derecha, de arriba abajo: aplicación de la primera capa de aislante de 150 mm; en medio, detalle de cubierta formada por vigas de madera en I, rellenas de 445 mm de material aislante. Sobre ello una capa de tierra para el crecimiento de césped [FEIST 1997].

En este estudio se evalúan la influencia de los diferentes aspectos determinantes en el sobrecalentamiento en verano mediante un programa de simulación dinámica, calibrándolo con los datos provenientes de las monitorizaciones. Se evalúa el confort de verano en base al número de hora anuales (8760 horas en total) en las que se superan los 25°C.

Caso de Referencia:

Se evalúa un primer caso de referencia, en el que no existen ni protecciones solares, ni ventilación a través de las ventanas. El caso de la ventilación se utiliza un by-pass de verano del 15 de abril al 30 de septiembre, con un valor de extracción de 0,475 h⁻¹. Desde el 10 de julio se observan valores por encima de los 25°C en las estancias, siendo en la época más calurosa, del 30 de agosto al 8 de septiembre cuando se alcanzan temperaturas de hasta 30°C. Se afirma que incluso así se puede considerar que se alcanzan niveles adecuados de confort en verano. Se identifican zonas más cálidas de la vivienda, como la última planta de orientación sur, y las superficies más calientes, correspondientes con las superficies interiores de los vidrios de las ventanas, que alcanzan los 40°C, 10°C más que la temperatura máxima interior.

Ventilación natural a través de las ventanas abatidas:

Se añade una acción por parte de los usuarios consistente en abatir las ventanas si la temperatura interior supera los 21°C y es mayor que la exterior, realizándose esto en una ventana por habitación al menos. Esto permite bajar considerablemente las temperaturas reduciendo al 0,8% los periodos por encima de 25°C (60 horas). En este sistema se consigue aumentar las renovaciones de aire sin tener que aumentar las renovaciones mediante la ventilación mecánica, ya que esto aumenta el consumo eléctrico. Se señala que sin embargo, en lugares con problemas de ruido, o exteriores con entornos cálidos y húmedos, la ventilación mecánica es el recurso más adecuado

para lograr evacuar el calor acumulado durante el día, por lo que se deberá recurrir a equipos de bajo consumo energético. Por tanto, se da por hecho que es necesario un sistema de by-pass en el sistema de ventilación con recuperador, pudiéndose obtener también buenos resultados de ventilación mediante la disposición de las ventanas en posición abatida. De una forma sistemática cuando se necesita, especialmente de noche.

Influencia del tamaño de las ventanas a sur:

En la casa pasiva Darmstadt-Kranichstein las zonas acristaladas representan el 35% de la fachada sur. Fue utilizado por primera vez la generación de triple acristalamiento con recubrimiento de baja emisividad, que tiene un valor U de aproximadamente $0,71 \text{ W / (m}^2 \text{ K)}$ y un valor g de 49,5%. El estudio demuestra que existe una relación directa entre el tamaño de las ventanas y el sobrecalentamiento, sucediendo esto a partir del 14% de superficie dependiendo del tipo de vidrios, y mostrándose claramente a partir del 28% de superficie vidriada. Se concluye que con pequeñas ventanas, el sobrecalentamiento no se produce. Es más favorable una ventana orientada al sur que las ventanas con orientaciones este y oeste. Cada tipo de apertura necesita su protección solar específica.

Influencia de la orientación de las ventanas:

Se observa que si bien se certifican los problemas de sobrecalentamiento en orientaciones este y oeste durante el verano, también es cierto que las orientaciones hacia el sur tienen un mayor número de horas de sobrecalentamiento ya que estas pueden ocurrir también en invierno.

Protecciones solares fijas:

El estudio realiza una simulación sin voladizos de protección solar. La frecuencia del sobrecalentamiento se sitúa en este caso en un 25% de horas, 22% para un vuelo de 0,5 m y 7% para un vuelo de 1,5 m. Mayores voladizos reducen poco la frecuencia de sobrecalentamiento en verano, pero tienden a aumentar la demanda de calefacción en invierno. Se establece la medida de 1,25 m como la más adecuada en Alemania entre el compromiso de mínimas frecuencias de sobrecalentamiento respecto a máximo aporte solar en invierno.

Protecciones solares móviles:

Se determina también que los sistemas de protección solar temporales en el exterior y entre las capas de vidrio son muy efectivos. Sin protecciones solares temporales, las horas de sobrecalentamiento se sitúan en el 10,8%. Con estores interiores en la fachada sur se reduce al 6,8%, con venecianas entre los vidrios baja al 1% y con protecciones exteriores al 0,5% de las horas. Aunque no se recomiendan las opciones de protección solar en el interior y entre los vidrios sin incrementar notablemente la ventilación. Las protecciones móviles son efectivas también en las orientaciones este y oeste, no así las protecciones solares fijas.

Aportes internos:

Se asumen unos aportes internos de $2,48 \text{ W/m}^2$ (algo superior a los $2,1 \text{ W/m}^2$ establecidos en [PHPP 2007-en]), siendo este un dato deseable en invierno y perjudicial en verano. Se recomienda simular ambos casos, bajas cargas internas en invierno y altas en verano para poder valorar de una forma más real los efectos sobre el edificio. Cada aumento en las cargas internas genera un aumento en las horas de sobrecalentamiento. Así por ejemplo, doblar las cargas internas significa multiplicar por 2,3 las horas por encima de 25°C . Más allá de 5 W/m^2 (10% de horas) las horas de

sobrecalentamiento aumentan de forma desproporcionada. Con $8,7 \text{ W/m}^2$ (3,5 veces más que el dato inicial de 2,3) se alcanzan el 64% de horas con sobrecalentamiento. Se determina como muy importante conducir correctamente los excesos de calor disipado de los aparatos eléctricos, aislar conducciones y calderas, etc. Se preconiza el uso de aparatos con alta eficiencia energética para mejorar el confort de verano.

Inercia térmica. Construcción sólo madera:

Se simula el edificio de referencia construido, con los mismo huecos, ventilación, protecciones solares, pero esta vez construido en totalmente de madera. La construcción ligera debido a la baja inercia térmica produce unas fluctuaciones en la temperatura interior mucho más altas que en el edificio construido (ladrillo de 17 cm al interior), sobrepasándose los 25°C incluso en el periodo entre noviembre y febrero. Se llega a simular una temperatura interior de 34°C el 4 de septiembre. Aunque señalan que se trata de un estudio básico, se determina que para edificios de construcción totalmente en madera serían necesarias medidas adicionales respecto a la ventilación, protección solar, etc. Esta simulación lleva a temperaturas interiores de entre $34\text{-}36^\circ\text{C}$, muy superiores al caso de referencia.

Demuestran que para el caso considerado, aumentando la ventilación natural con las ventanas inclinadas, se pueden reducir los periodos de sobrecalentamiento al 3,9%. Aún y todo, se indica que las temperaturas son superiores en 2°K a la construcción pesada, y las amplitudes de temperatura son también más altas.

Niveles de aislamiento y confort de verano:

El parámetro que influye más en la demanda anual de calefacción que decidirá si el estándar de casa pasiva se consigue o no (es decir, que no exceda de $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) es la protección térmica de los componentes de los edificios externos opacos, sobre todo la de la cubierta y externa paredes. Con el fin de estudiar la influencia del aislamiento en el clima de verano cubierta, los coeficientes de transmitancia térmica de la cubierta y la pared externa se variaron de acuerdo a varias combinaciones. En un primer momento se observa que el aumento del aislamiento conduce a un aumento de los periodos de sobrecalentamiento. La contradicción se resuelve si las frecuencias de temperatura excesiva son consideradas utilizando una estrategia diferente y una orientación práctica de la ventilación de verano; si las ventanas están abatidas en verano, cuando es necesario, las frecuencias de temperatura excesivas disminuyen considerablemente.

No sólo eso: también el nivel de protección térmica del techo y la pared tiene el efecto inverso. Con un aislamiento deficiente, al principio hay frecuencias superiores excesivas de temperatura (aproximadamente 0,5%), que caen a un mínimo dentro del rango de la Casa Estándar Pasiva.

Este estudio señala que, si es posible abatir las ventanas en verano en las casas pasivas, el clima interior no es peor de lo que es en casas de bajo consumo energético con un estándar pobre de aislamiento. Si es posible ventilar a través de ventanas en el verano, el exceso de calor puede ser eliminado eficientemente, si las temperaturas exteriores son lo suficientemente bajas. La casa de este modo se puede enfriar hasta un nivel cómodo en verano.

Por el contrario, si hace mucho calor afuera, las ventanas se mantienen cerradas; la ventilación mejorada incluso ayuda a restringir la entrada de calor a través de los componentes de edificios opacos. La casa se puede mantener fresco con más facilidad que las casas con aislamiento deficiente. Un buen aislamiento ayuda en verano como en invierno.

2.2.2.2 2001 – CENTRO EUROPA: MEDICIÓN DE RESULTADOS EN LOS EDIFICIOS DEL PROYECTO CEPHEUS

En el proyecto CEPHEUS (Cost Efficient Passive Houses as EUropean Standards), 14 promociones de viviendas con 221 apartamentos en total [FEIST *et ál.* 2001 a] realizan un estudio pormenorizado de las viviendas incluidas dentro del proyecto CEPHEUS. Durante el invierno las temperaturas interiores se mantienen en una media por encima de 20 °C, demostrando que es posible conseguir un confort en invierno con un uso bajo de energía.

El estudio realizado durante el periodo estival tiene más carencias. Debido a problemas con la monitorización solamente se presentan mediciones de dos de los 32 proyectos, las viviendas adosadas de Hannover-Kronsberg y las viviendas en Lucerna. En las viviendas de Lucerna una se comenzó a habitar desde abril en adelante, mientras que las otras cuatro se ocuparon a partir de agosto. En las viviendas de Hannover sólo 8 de las 32 estaban ocupadas durante el periodo de medición (Fig. 2.23).



Figura 2.23. Imágenes del proyecto de viviendas en Lucerna, y de la ejecución de viviendas en Hannover-Kronsberg [FEIST *et ál.* 2001 a].

Se mide la temperatura interior media entre el 1 de mayo y el 31 de agosto. La temperatura media varía entre los 21,9 °C (Lucerna) y 23,6°C (Hannover) durante el periodo de medición, considerándose como aceptables. El 95% del tiempo las viviendas se mantienen por debajo de 25,3°C (Hannover) y de 24,7°C (Lucerna). Se considera que éste es un método de medición más apropiado para evaluar el confort de verano que la medición de la temperatura máxima alcanzada, ya que esta puede ocurrir en ausencia de los usuarios o en situaciones excepcionales no representativas.

La vivienda con más horas de sobrecalentamiento en Hannover había tenido problemas con el sistema de calefacción, al medirse un consumo de 9,2 kWh/m² en calefacción en estos cuatro meses. La siguiente vivienda en horas de incomfort tenía el mayor consumo eléctrico lo que conduce a mayores cargas internas. La tercera vivienda con más altos valores estaba desocupada, por lo que se achaca a la falta de ventilación las elevadas temperaturas.

En cuanto a las viviendas de Lucerna, la única ocupada durante todo el periodo era la segunda con más altas temperaturas, muy cerca de la primera que solo había estado en parte ocupada. Análisis más detallados demostraron que unos patrones de ventilación correctos pueden permitir alcanzar un grado de confort adecuado durante el periodo estival. Por último, estiman que es más importante los patrones de ventilación que la protección solar y los índices de ocupación.

2.2.2.3 2001 - MEDICIONES EN LAS VIVIENDAS HANNOVER

[FEIST *et ál.* 2001 b] muestra con un poco más detalle las mediciones de temperatura en Hannover-Kronsberg. Se monitorizan dos periodos, del 01/10/1999 – 30/09/2000 con 22 viviendas permanentemente ocupadas, y del 01/10/2000 – 30/04/2001 con 25 viviendas permanentemente ocupadas. El segundo periodo como se observa no incluye

el periodo estival. En el periodo invernal, las viviendas permanentemente ocupadas tienen una temperatura media de 21,1°C, con una media para el día más frío de 20,9°C. En el periodo estival solo se superan los 25°C en un 2,5 % de horas, siendo la temperatura media en el interior de 25,7°C en el día más caluroso.

En esta promoción, el 40% de los usuarios finales invirtieron en sistemas adicionales de protección solar. También se certificó la necesidad de reducir las ganancias internas, provenientes por ejemplo de la iluminación y los electrodomésticos, para evitar el sobrecalentamiento en verano [DANNER, VITTAR 2001].

2.2.2.4 2004 – SUECIA (GOTEBORG): 20 APARTAMENTOS PASSIVHAUS.

[ISAKSSON, KARLSON 2006] realizan un estudio sobre 20 viviendas adosadas situadas en el Sur de Goteburgo (Fig. 2.24). Las viviendas se construyeron con técnicas convencionales como viviendas de bajo consumo energético, sin embargo la combinación específica de diferentes tecnologías era nueva en Suecia. Se construyeron con la intención de mostrar que es posible alcanzar un buen nivel de confort en una vivienda utilizando la mitad de energía de un edificio ordinario en climas fríos.

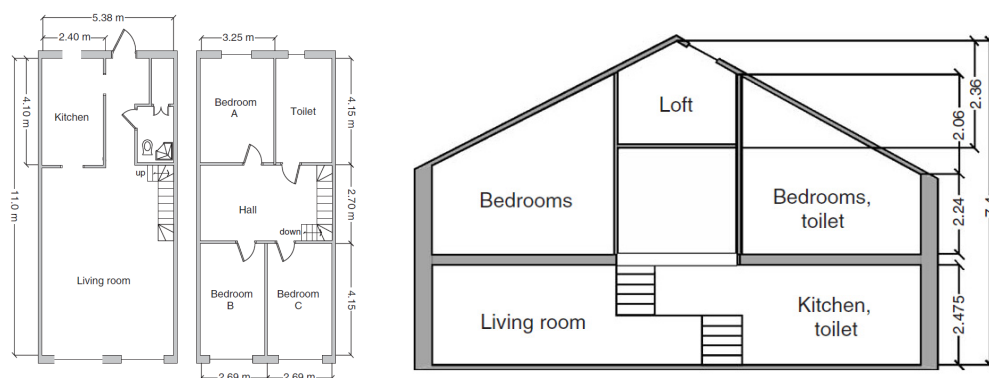


Figura 2.24. Plantas baja, primera y sección de las viviendas analizadas [ISAKSSON, KARLSON 2006].

Se utilizaron tanto entrevistas como mediciones. Una de las conclusiones del estudio fue que había que mejorar la información aportada a los residentes sobre el funcionamiento de las instalaciones para evitar problemas como los sucedidos con el calefactor integrado en el sistema de ventilación y el sistema de regulación de temperatura. Otra conclusión fue la que se debe evitar diferencias de temperaturas entre las diferentes plantas, lo que podría conducir a temperaturas interiores excesivas. Esto se puede evitar, por ejemplo, cambiando el trazado del sistema de distribución de calor, previendo de este modo los suelos fríos de la planta baja.

Asimismo, los resultados mostraron que las temperaturas interiores fluctúan más en los adosados de los extremos debido al piñón expuesto. Según los usuarios, es más difícil alcanzar una temperatura de confort en esta situación, ya que existe superficie de fachada adicional. Después de este estudio, se instaló un radiador adicional en cada casa de los extremos, mejorando el confort. Esto indica que el calefactor del sistema de ventilación no era suficiente en las viviendas de los extremos, y aquellas casas asiladas o semiaisiladas, con una mayor proporción de fachada respecto al área útil de la vivienda, necesitan un calefactor mayor o mejorar el sistema de calefacción. Sin embargo, el calefactor de 900 W es suficiente para calefactar las casas entre medianeras, y durante el invierno de 2004-2005, cuando se realizaron nuevas

entrevistas con los usuarios, algunos declararon que no habían encendido el calefactor integrado en el sistema de ventilación durante todo el invierno. Por otro lado, son dependientes de un suministro seguro de electricidad para el calefactor y de hacer uso de las pérdidas de calor de los electrodomésticos.

Durante las entrevistas, los usuarios sugirieron mejoras en las viviendas. Algunos propusieron un diseño diferente de los sistemas de ventilación, por ejemplo un cambio en las bocas de impulsión, otros demandaban una chimenea, lo que contribuiría a calefactar la vivienda. Esto puede mejorar el confort en las viviendas de Bajo consumo energético, pero siempre que no ponga en crisis el sistema de estanqueidad del cerramiento.

El consumo de energía medio ascendía a 7400 kWh y en las viviendas de los extremos de 8500 kWh, siendo la media de un edificio en Suecia de 16000 kWh, incluidas la energía necesaria para el agua caliente sanitaria, las instalaciones y los electrodomésticos.

En cuanto a las temperaturas interiores, aunque se mantiene una temperatura constante durante todo el año, con una diferencia de 3 grados entre las temperaturas medias del invierno y el verano, se detectan diferencias entre la planta baja y la planta alta, que alcanzó el máximo valor la planta alta de una vivienda de los extremos, 25,7°C, y la más baja la planta baja de una vivienda entre medianeras con 15,5°C.

El estudio también reseña la importancia de la actividad de los usuarios a la hora de alcanzar diferentes temperaturas, desde el uso de los electrodomésticos, realización de tareas en el hogar como la comida, hasta el encendido de velas. También influye el número de ocupantes que tiene la vivienda, el tiempo que están en casa y si la vivienda está entre medianeras o en el extremo de la promoción. Así, una vivienda con uno o dos usuarios tiene dificultad en mantener la temperatura de confort en invierno si vive en una de las casas de los extremos y pasa el día fuera de casa, mientras que las viviendas entre medianeras con cuatro usuarios no tienen problemas para alcanzar la temperatura de confort en el mismo periodo. Esto tiene consecuencias en la temperatura máxima y mínima, sobre todo en las plantas altas.

Para el desarrollo de futuras viviendas de bajo consumo energético, concluye que es necesario estudios que evalúen el aspecto social y técnico y se realice un análisis interdisciplinario, que tenga en cuenta la experiencia de los ocupantes y las mediciones. Este hará posible mejorar el diseño y la tecnología en uso, y a largo plazo estimular un mercado de viviendas de bajo consumo energético en el mercado de la edificación.

2.2.2.5 2004 – SUECIA (LINDÅS): 20 APARTAMENTOS PASSIVHAUS EN LINDÅS SUECIA.

En estas primeras viviendas pasivas en Suecia formadas por 20 apartamentos construidos bajo el estándar Passivhaus en Lindås, Suecia (57°11'0'' N, 15° 10'0'' Este), distribuidos en cuatro bloques de adosados, son varios los estudios que se han realizado.



Figura 2.25. Imágenes exteriores y plantas de los 20 apartamentos en Lindås. www.passivhuscentrum.se/lindas_radhus.html

Un primer estudio pluridisciplinar [BOSTRÖM *et ál.* 2003] abarca varios aspectos, desde el proceso de construcción, las costumbres de los usuarios y una encuesta de la opinión que tienen de las viviendas 16 de los habitantes. Muchos usuarios señalaban que el clima exterior se hacía notar en la temperatura interior, siendo las viviendas más calurosas en los días despejados y más templadas en los cubiertos. La mayoría de los usuarios entrevistados declararon que la vivienda era demasiado cálida en verano. Todos habían recurrido a la ventilación natural para enfriar la vivienda. La mitad instalaron toldos, otros instalaron cortinas para reducir la insolación en las estancias.

Un estudio posterior del Technical Research Institute of Sweden con monitorización de temperaturas concluyó temperaturas medias de 25,2°C durante el verano. Se registró unas variabilidades amplias entre los diferentes apartamentos, algunos con unas condiciones aceptables pero otros mantenían temperaturas entre 25-30°C, superando los 30°C en algunos momentos del verano [PERSSON, WESTERMARK 2012] citando a [RUUD, LUNDIN 2004].

Más tarde, [ISAKSSON 2009] centra su trabajo de Tesis Doctoral en la domesticación de los sistemas pasivos por parte de los usuarios a partir de su conocimiento previo del funcionamiento de las mismas. Concluye que al principio muchos muestran interés en cómo funcionan estas viviendas, pero con el tiempo el interés decae. Otros prefieren no tocar nada debido a su temor a utilizar tecnología que no dominan. Los usuarios muestran dificultades en la utilización de los manuales al ser estos demasiado técnicos para el conocimiento general. Además deben aprender a controlar la temperatura en función de la radiación solar y de la ocupación en cada momento.

Una descripción completa de la construcción, monitorización y resultados de esta promoción se puede obtener en [HASTINGS, WALL 2007-2], así como en [WALL 2006].

2.2.2.6 2006 – ALEMANIA: EVALUACION DE 150 VIVIENDAS PASIVAS EN EL TERRITORIO DE NORDRHEIN-WESTFALEN (NRW).

[BERNDGEN-KAISER, FREY 2006] realizan un estudio sobre 150 viviendas pasivas realizadas en el Land de Nordrhein-Westfalen (NRW). Este territorio lleva construyendo viviendas pasivas desde 1999 (1070 unidades habitacionales hasta 2005). Este estudio busca recabar a través de encuestas la satisfacción de los usuarios respecto a las viviendas.

En cuanto al confort de verano, generalmente es peor valorado que el confort de invierno. El 37% de los entrevistados opina que la temperatura interior en verano es a menudo demasiado alta, mientras que para el 67% opina que solo ocurre rara vez. Señala que esto está en relación con la carencia de protecciones solares. De los 45

proyectos en la que los residentes señalaron que las temperaturas eran demasiado altas en verano, 17 no tenían sistemas de protección solar. Sin embargo, en la mayoría de los casos (81%) existían protecciones solares de algún tipo. El 71% señaló que este equipamiento era esencial y el 27% que era importante.

2.2.2.7 2007 – MEDITERRANEO: PROYECTO PASSIVE-ON

El proyecto europeo Passive-On [PASSIVE-ON 2007], investiga las ventajas de un producto bien definido y estudiado como es el Passivhaus en el entorno de viviendas diseminadas del Centro de Europa como modelo de edificios de bajo consumo energético, y propone un estándar Passivhaus revisado para el clima mediterráneo basado en tres puntos diferenciadores:

-Un límite de energía utilizada para la refrigeración sensible de 15 kWh/m²a.

-Propone la utilización de un modelo adaptativo de confort de acuerdo con [UNE- EN 15.251:2008] para los edificios enfriados de forma pasiva. La utilización de un modelo de confort adaptativo asegura una temperatura confortable compatible con modelos de vivienda bioclimática.

-Relajar los límites de estanqueidad al aire en las zonas con inviernos suaves y edificios sin ventilación mecánica, situando el valor máximo $n_{50} < 1 \text{ h}^{-1}$.

El proyecto Passive-On ha desarrollado estrategias basadas en soluciones pasivas desarrolladas por cada país participante en el proyecto, que permitan situarse dentro de los nuevos parámetros definidos por el estándar en clima mediterráneo, tanto desde el punto de vista práctico como el económico. Las propuestas, que se sometieron a simulaciones, no se concibieron como soluciones exclusivas; los arquitectos son libres de adoptar conceptos alternativos, siempre que respeten los límites de consumo y de confort propuestos. Asimismo, se definen las diferentes estrategias de construcción en [FORD *et ál.* 2007].

Los países participantes son España, Portugal, Francia, Italia y Reino Unido, con la colaboración de Passivhaus Institut. Las viviendas simuladas en los diferentes países se resumen en las Tabla 2.16.

Tabla 2.16. Resumen de simulaciones realizadas en el proyecto Pasive-On							
País	Ciudad	Emplazamiento	Tipología	Número de plantas	Demanda de Calefacción (kWh/m²a)	Demanda de Refrigeración (kWh/m²a)	Modelo de confort
Reino Unido	-	-	Vivienda Adosada	P. Baja + P.bajo cubierta	13,8	-	Adaptativo ASHRAE 55
España	Sevilla	Periferia urbana	Vivienda Adosada	P. Baja + P.bajo cubierta	2,8	21,7	Adaptativo UNE- EN 15.251
	Granada	Periferia urbana	Vivienda Adosada	P. Baja + P.bajo cubierta	8,7	7,9	Adaptativo UNE- EN 15.251
Portugal			Unifamiliar	P. Baja	5,9	3,7	FANGER
Italia	Milán		Unifamiliar	Sótano +P. Baja + P.bajo cubierta	10,4	3,2	Adaptativo UNE- EN 15.251
	Roma			6,2	6,6		
	Palermo			2,4	9,6		
Francia	Carpentras	Periferia urbana	Vivienda Adosada	P. Baja + P.bajo cubierta	14,8	0	Passivhaus T ^a >25°C
	Niza				13,1	10,6	
Elaboración propia a partir de [FORD et ál. 2007] y [PASSIVE-ON 2007]							

En cuanto a las condiciones de confort obtenidas en las diferentes localizaciones se llega a las siguientes conclusiones:

-En el Reino Unido, con respecto a condiciones de temperatura en verano, la temperatura resultante (u operativa), definida como el promedio entre el aire y la temperatura radiante, se mantiene por debajo de 25°C durante el 96% del tiempo de ocupación;

-En España, se opta por una superficie acristalada a Sur muy amplia, 50%. El control solar es clave en el uso de esta solución, se ha adoptado el uso de toldos móviles. Se señala que se cumplen los requisitos de confort, sin dar más datos de los mismos.

-En Portugal, la temperatura resultante se mantuvo inferior a 25°C durante el 71% del tiempo y por debajo de 28°C durante el 98% del tiempo de ocupación. Si no existiera sistema activo de refrigeración, el tamaño de las ventanas y el nivel de aislamiento deberían reducirse (aunque esto incrementara la demanda de calefacción).

-En Italia, se discretizan los resultados en las diferentes ciudades. En Milán no se supera los límites de temperatura de confort según el modelo [UNE- EN 15.251:2008], aunque la temperatura neutra (27,5°C según los cálculos) se excedió en la mayoría del mes de agosto. En Roma, ocurre una situación similar. En ambos caso, utilizando sistemas de refrigeración pasiva se alcanzan temperaturas interiores de 30°C. En Palermo, la estrategia de ventilación natural es menos efectiva, de forma que la refrigeración activa es necesaria para alcanzar niveles de confort durante el verano. En este caso, la utilización de métodos de refrigeración pasiva conduce a temperaturas interiores que alcanzan los 32,5°C, muy por encima del límite del confort adaptativo. Se señala que *“De hecho, la oscilación de temperatura diurna es solo de 3°C en julio, agosto y septiembre, lo que hace que la estrategia de ventilación nocturna sea inefectiva.”* Incluso con la incorporación de la refrigeración activa, se excede la temperatura neutra de confort interior durante una serie de días. A posteriori se realizó un análisis para examinar el comportamiento de las viviendas durante veranos particularmente cálidos, incrementando la temperatura interior en 3°C. Las viviendas en Milán y Roma continuaron proporcionando condiciones confortables. No obstante, en

Palermo las temperaturas interiores estuvieron suficientemente por encima de la temperatura neutra incluso con la utilización de refrigeración activa.

-En Francia, los ejemplos de Niza y Carpentras siguen diferentes aproximaciones para el clima de verano. En Carpentras, debido al uso de conceptos de refrigeración pasiva no se requiere energía para refrigerar. El uso de control solar y grandes caudales de ventilación a través de las ventanas durante los periodos favorables (principalmente durante la noche) permite mantener las temperaturas por debajo de 25 °C durante más del 99 % del año en todas las habitaciones. En Niza, un resultado similar se obtiene con enfriamiento del aire de impulsión y una moderada ventilación natural. En ambos casos, las temperaturas resultantes permanecen muy por debajo de las temperaturas neutras de confort adaptativo durante el verano.

PROYECTO PASSIVE-ON: VIVIENDA EN MARSELLA

Pocos estudios han analizado el comportamiento de viviendas construidas en zonas climáticas cálidas del sur de Europa según el estándar Passivhaus diseñado para el centro y norte de Europa, principalmente debido a que rara vez se han sido construidas con estas mismas especificaciones.

Como parte del Proyecto Passive-On [PASSIVE-ON 2007], [SCHNIEDERS 2005] busca determinar las características de rendimiento óptimo de una vivienda Passivhaus ubicada en Marsella. Para ello utiliza un modelo de simulación dinámica DYNBIL [FEIST 1992] para simular la vivienda adosada basada en un diseño anteriormente analizada en Alemania, la promoción de Hannover- Kronsberg [FEIST et ál. 2001 b]. Se estudian cuatro variantes que mantienen iguales los siguientes aspectos:

-La superficie habitable dentro de la envolvente térmica es de 120 m².

-Envolvente del edificio extremadamente estanca, $n_{50} = 0,6h^{-1}$. Este es un requisito para que el uso de ventilación mecánica tenga sentido, así como para alcanzar un alto nivel de confort térmico sin radiadores.

-Construcción sin puentes térmicos, utilizando las dimensiones exteriores para el cálculo de los mismos.

-Sistema de ventilación mecánica con 110 m³ de caudal instalado.

-Media de ganancias internas de 2,5 W/m² de superficie útil calefactada, siendo este un nivel relativamente alto debido al incremento de pérdidas del sistema de acumulación solar situado en el ático. El estándar definido en el [PHPP 2007-en] es de 2,1 W/m², pudiendo obtener valores muy inferiores, por ejemplo en las viviendas de Kranichstein con electrodomésticos altamente eficaces se alcanzó un valor de 0,99 W/m².

-Se asume un sistema de calefacción ideal, por ejemplo en cada estancia se sitúa un sistema de precalentamiento del aire para mantenerlo a 20°C de forma permanente [SCHNIEDERS 2005].

Se investigan dos situaciones, utilizando un año climático típico de Marsella, con temperatura máxima de 34°C en verano y una media de unos 25°C en los meses de verano. El primer caso dispone de un recuperador con eficiencia del 75% y el segundo sin recuperador. En un primer proceso, se analizan valores para obtener una carga de calefacción menor de 10 W/m², utilizando para ello vidrios triples con lámina de baja emisividad rellenos de argón. El primer caso permite reducir los espesores del aislamiento y de las ventanas. El segundo caso, sin recuperador, exige aislamientos de 25 cm y vidrios de alta calidad para alcanzar los valores de carga de calefacción deseados.

Los valores que se varían en las cuatro variantes se señalan en la Tabla 2.17

Tabla 2.17. Valores estudiados en el proyecto de vivienda pasiva dentro del Proyecto Passive-On, en Marsella

Variante	HR75/3p	HR75/2p	HR75/3p	HR0/2p
U _{cubierta} W/(m ² K)	0,197		0,147	
Espesor aislante cubierta	18		25	
U _{fachada} W/(m ² K)	0,252		0,149	
Espesor aislante fachada	14		25	
U _{bajo cubierta} W/(m ² K)	0,249		0,154	
Espesor aislante bajo cubierta	15		25	
U _{solera} W/(m ² K)	0,331		0,148	
Espesor aislante solera	10		25	
U _{vidrio} W/(m ² K)	0,71	1,19	0,71	1,19
g vidrio	0,5	0,64	0,5	0,64
U _{marco} W/(m ² K)	1,6		0,57	
Ψ _{marco} W/(mK)	0,04		0,031	
Ψ _{instalación} W/(mK)	0,04		0,027	
Eficiencia del recuperador %	75		0	
Carga de calefacción W/m ²	9,48	9,65	9,65	9,75
Demanda anual de calefacción kWh/m ² a	14,5	13,5	14,5	13,40

Elaboración propia a partir de [SCHNIEDERS 2005].

Las conclusiones de este estudio demuestran que la demanda de calefacción anual más baja se debió al edificio menos aislado con vidrios dobles y sin ningún sistema de recuperación (13,4 kWh/m²a). En cuanto al confort de verano, se simularon todas las viviendas con ventilación intensiva nocturna y persianas automáticas. A pesar de estas intervenciones, el objetivo definido por el PHI de no sobrepasar los 25°C en un 10% de las horas del año no se cumple en ninguno de los modelos estudiado. Además, se registran temperaturas superiores a 27°C en todas las estancias en los modelos sin refrigeración activa, alcanzándose picos de 28,1 °C. Con refrigeración activa para reducir la temperatura a un máximo de 25°C, el modelo mejor aislado con triple vidrio y recuperador de calor registró la menor demanda de refrigeración y mejores grados de confort (Tabla 2.18).

Tabla 2.18. Valores estudiados en el proyecto de vivienda pasiva dentro del Proyecto Passive-On, en Marsella

Variante	HR75/3p	HR75/2p	HR75/3p	HR0/2p
Demanda horaria media de refrigeración W/m ²	4,67	5,00	6,25	6,58
Demanda horaria media solo para aire de renovación W/m ²	0,66	0,66	2,65	2,65
Demanda diaria media de refrigeración W/m ²	3,23	3,42	3,24	3,44
Demanda anual de refrigeración kWh/m ² a	3,1	3,4	4,4	4,8

Elaboración propia a partir de [SCHNIEDERS 2005].

Las conclusiones del citado estudio son las siguientes:

No se alcanza el objetivo de no exceder de una temperatura de 25°C en un 10% del año. La habitación con temperaturas más altas está en la planta alta, es decir, la que tiene menor sombra debido al horizonte, orientada hacia el sur y con flujos cálidos

provenientes del ático que está relativamente caliente. Usando un sistema de protección solar y ventilación más elaborados es posible reducir los niveles de temperatura. Esta optimización no se desarrolla en este estadio del estudio; es importante estudiar patrones de comportamiento de los usuarios plausibles, todavía no discutidos para usuarios del Sur de Francia [SCHNIEDERS 2005].

De este primer estudio se derivan unas tendencias generales:

-El aislamiento del cerramiento del edificio no solo es ventajoso en invierno, sino también en verano. En los periodos cálidos, la reducción de las pérdidas por transmisión ayuda a mantener el edificio frío, mientras que en los periodos fríos del verano, una reducción de la temperatura es posible mediante la ventilación a través de las ventanas.

-El sistema de ventilación con recuperador con motores de alta eficiencia tiene diferentes beneficios:

-La calidad del aire mejora, y se consigue un confort más alto en invierno.

-El nivel de aislamiento de la piel del edificio que es necesaria para limitar la carga de calefacción a 10W/m^2 puede ser reducido, en el caso estudiado de 25 a 15 cm.

-El ambiente en verano es mejorado, las cargas de refrigeración (si son necesarias) se reducen sustancialmente.

-Reducir el consumo de electricidad es importante por distintos motivos:

-Reduce el consume general de energía primaria, ya que el consumo de la electricidad doméstica es el componente con mayor importancia en las viviendas pasivas.

-Es crucial para el éxito de las viviendas pasivas o de bajo consume energético en el periodo de verano.

Otras conclusiones del estudio son las siguientes:

-El uso de menores aislamientos en la solera en contacto con el terreno o intercambiadores geotérmicos (ITA o agua tierra), puede ayudar a reducir las temperaturas en verano. Es primer sistema no es posible en viviendas colectivas, sí el segundo sistema.

-Incrementar los niveles de ventilación mediante ventilación cruzada o mediante el efecto chimenea puede reducir la temperatura en verano

- En el clima alemán, la inercia térmica no es especialmente importante para reducir el consumo de energía en invierno, pero mejora las condiciones en verano. Se ha encontrado que no solo las construcciones muy ligeras pueden tener altas temperaturas en verano; aunque se ha utilizado una construcción mixta, el incremento de masa térmica no ha reducido significativamente las temperaturas. La influencia de la inercia térmica el clima Mediterráneo debe ser investigado sistemáticamente.

-Se deben realizar estudios paramétricos sobre los efectos del tamaño de las ventanas, vuelos y retranqueos, la distribución óptima del aislamiento entre las soleras, cubiertas, fachadas y ventanas, intercambiadores con el terreno,..

Por último destacar que:

Una estimación aproximada a partir de un ejemplo sencillo demuestra los límites del sistema: supongamos que la temperatura media del aire exterior esté en los 30°C y continuamente por encima de los 25°C . La transmisión total de flujo de calor H del edificio con 25 cm de aislamiento a lo largo del cerramiento de la casa pasiva y con

vidrios triples es igual a 60 W/K. A 25°C de temperatura interior, resulta una media de transmisión de 2,5 W por m² de superficie útil. Las ganancias solares medias a través de las ventanas, en un día cálido, con la protección solar cerrada, es de aproximadamente 1 W/m² de superficie útil. Las ganancias internas están sobre 2,5 W/m² (a pesar de que pueden ser menores). Esto significa que una carga de refrigeración de aproximadamente 6 W/m² debe ser cubierta, incluso si las ganancias solares y las pérdidas de radiación infrarroja de las capas exteriores opacas las equilibran aproximadamente.

Esta carga de refrigeración puede en principio ser cubierta por el aire de admisión, pero requiere que los conductos estén aislados contra la condensación, y que el aire que entra se conduzca de forma que no se produzcan infiltraciones. Incluso en los climas más cálidos, deberán buscarse métodos para reducir más la carga de refrigeración.

Si el edificio es calentado con un sistema mediante unidades de bomba de calor, se puede convertir fácilmente en un sistema que refrigere. En este caso, una carga de refrigeración de unos 7 W/m² puede ser cubierta sin un gasto adicional (si la bomba de calor tiene un diseño más potente, este valor puede ser mayor). Utilizando una bomba de calor muy pequeña para la refrigeración activa, se puede reducir igualmente la tasa de humedad interior.

ANÁLISIS DE UNA VIVIENDA PASIVA EN MILAN

[PINDAR *et ál.* 2006], dentro del contexto del estudio [PASSIVE-ON 2007] presentan la simulación de un edificio Passivhaus en Milán, comparativo con un estudio en Roma y en Palermo (Tabla 2.19). A la hora de implementar el estándar en Italia se considera el clima más difícil de abordar, debido a los inviernos severos y a los veranos cálidos y húmedos (temperatura media 28°C y humedad relativa media 67% con baja velocidad del viento).

Ciudad	Invierno			Verano		
	Temperatura media de las mínimas (°C)	Velocidad media del viento (m/s)	Humedad enero (%)	Temperatura media de las máximas (°C)	Velocidad media del viento (m/s)	Humedad agosto (%)
Milán	-1	0,63	84	28,3	1,18	67
Roma	5	2,7	81	29,4	2,97	64
Palermo	11,2	5,07	67	27,2	4,02	56

[PINDAR *et ál.* 2006]

A pesar de considerar la ciudad de Milán como altamente densificada, recurren a un modelo suburbano de densidad media como el adosado, en este caso situado en el extremo de la promoción. Se utilizan sistemas habituales de construcción en Italia, estructura de hormigón armado, ladrillo cara vista y aislamiento en cámara. Se eliminan los puentes térmicos característicos de este sistema utilizando un sistema de fachada ventilada mediante anclajes.

Se parte de dos premisas:

-Las soluciones del estándar implementadas en el centro de Europa (alto aislamiento, reducción de puentes térmicos, ventilación mecánica con recuperador) se consideran adecuadas para reducir la demanda de calefacción en el frío invierno de Milán, aunque con niveles de aislamiento diferentes.

-Con otras estrategias como la protección solar de las ventanas, se busca reducir al máximo las cargas de refrigeración del edificio altamente aislado, pero que conducen a la utilización de una bomba de calor reversible con refrigeración activa en verano. Esta refrigeración activa puede ser exclusiva o apoyar el sistema típico de ventilación natural.

Debido a las características de este clima, el estudio buscó implementar dentro del estándar Passivhaus el consumo de energía primaria para refrigeración para mantener el confort de verano.

El estudio analiza el modelo en dos situaciones, la primera denominada A, buscando obtener el confort utilizando únicamente mediadas pasivas de refrigeración. En segundo, modelo B, introduciendo la refrigeración activa, y poniéndose como objetivo limitar a 15 kWh/m²a el consumo de energía, utilizando para ello una bomba de calor reversible en el sistema de ventilación.

Ambos modelos se estudian mediante el programa de simulación dinámica Energy Plus versión 1.2.3. En una primera etapa se analizan las horas en las que la temperatura interior mínima de confort en invierno se alcanza, y las horas en las que la temperatura máxima de confort (26-27°C) se superan.

Los resultados de ambos modelos se resumen en la Tabla 2.20.

Tabla 2.20. Resultados de la modelización de una vivienda Passivhaus en Milán		
	MODELO A Enfriamiento pasivo	MODELO B Enfriamiento activo
<u>Demanda de energía</u>		
Demanda total de calefacción + refrigeración (kWh/m ² a)	14,1	12,73
Demanda de calefacción (kWh/m ² a)	14,1	9,09
Demanda de refrigeración (kWh/m ² a)	-	3,64
Energía ventilación (kWh/m ² a)	2,51	2,51
<u>Transmitancia cerramientos:</u>		
U _{Fachada} (W/m ² K)	0,18	0,12
U _{Cubierta} (W/m ² K)	0,17	0,11
U _{Solera} (W/m ² K)	0,53	0,53
U _{Ventanas} (W/m ² K)	1,09	0,62
<u>Condiciones de confort en verano</u>		
Horas por encima de 25°C, horas (% del periodo)	437 (17%)	97 (4%)
Horas por encima de 26°C, horas (% del periodo)	137 (5%)	5 (0%)
Horas por encima de 27°C, horas (% del periodo)	16 (1%)	0 (0%)
Total	580 (23%)	102 (4%)
Temperatura máxima (°C)	27,72	26,32
[PINDAR et ál. 2006]		

Los resultados de la simulación son los siguientes:

-El modelo B (refrigeración activa) proporciona temperaturas de confort más bajas en verano que el modelo A (ventilación natural). Sin embargo, con el fin de alcanzar el objetivo de consumo de energía de 15 kWh/m²a tanto para calefacción como para refrigeración, es necesario utilizar una estrategia dual de refrigeración activa combinada con sistemas de refrigeración pasiva, básicamente de refrigeración pasiva nocturna. Si se utilizara exclusivamente una estrategia pasiva, la demanda de refrigeración asciende a 18,36 kWh/m²a.

Para compensar el uso de energía en la refrigeración activa, el modelo B necesita reducir la demanda de energía para calefacción por lo que se aumentan los niveles de aislamiento, siendo estos comparables a los de una vivienda Passivhaus en Alemania.

Aunque el modelo A proporciona un mayor número de horas de sobrecalentamiento, los autores consideran que todavía es aceptable. Ambos modelos utilizan la ventilación natural cuando las temperaturas exteriores son inferiores a las interiores. Y en ambos casos esto supone la apertura manual de las ventanas. En particular en modelo B utiliza un algoritmo preciso para simular esta situación. Los propios autores reconocen que se trata de una suposición irreal ya que es poco probable que los usuarios monitoricen constantemente la temperatura y procedan en consecuencia al cierre o la apertura de las ventanas, y que únicamente la utilización de sistemas automatizados permite llevar a cabo estos patrones de apertura y cierre de ventanas.

Los autores concluyen con un modelo de Passivhaus para el clima Mediterráneo. Si bien consideran que muchas pautas a seguir coinciden con el modelo original en Alemania, señalan las siguientes diferencias:

- El estándar en Alemania solo consideraba la situación de demanda de calefacción.
- El límite de 15 kWh/m²a de demanda de calefacción representa la eficiencia energética que minimiza el coste del ciclo de vida de la energía (costos de inversión del sistema energético y periodo de amortización) en base a los precios de Alemania.
- Un edificio con un cerramiento estanco para reducir las pérdidas de calor representa una solución económicamente eficiente en climas con dominio de la carga de calefacción, pero para algunos profesionales representa un sobreesfuerzo tecnológico en una región en la que la ventilación natural y la permeabilidad de los edificios proporciona una solución efectiva para reducir las cargas de refrigeración.

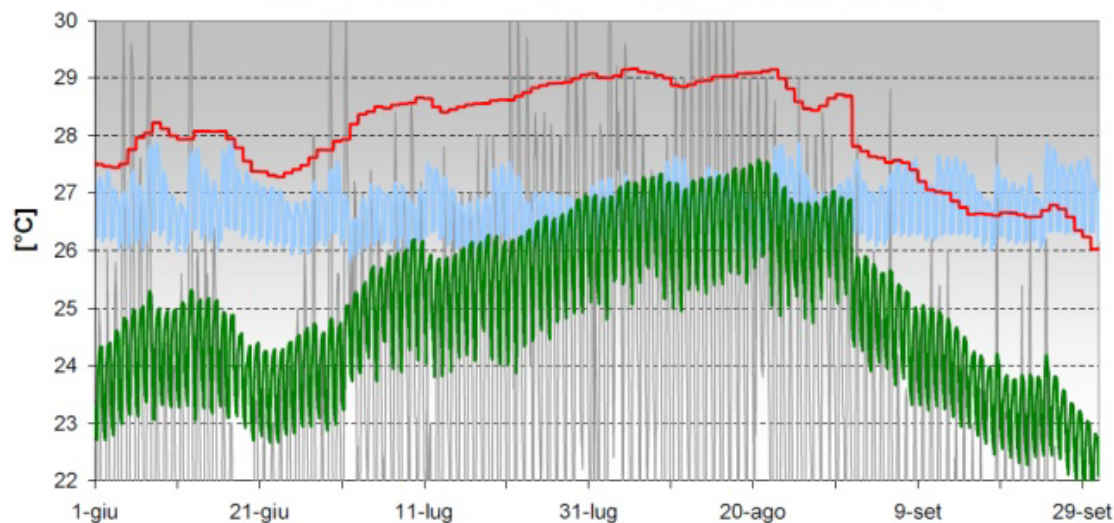
En este sentido, este estudio propone una revisión del estándar para climas mediterráneos, incorporando los siguientes criterios:

- Se introduce un límite en la demanda de refrigeración, al igual que sucede con la demanda de calefacción se establece un tope de 15 kWh/m²a.
- Se debe establecer un criterio de confort para verano, estudiándose modelos bajo la norma de confort adaptativo [UNE- EN 15.251:2008].

PROYECTO PASSIVE-ON: VIVIENDA EN ITALIA

Posteriormente, los mismos autores [PAGLIANO *et ál.* 2008] describen con más precisión los resultados del proyecto Passive-On en Italia referidos a un modelo adaptativo [UNE- EN 15.251:2008] buscando optimizar los modelos para los diferentes climas estudiados utilizando exclusivamente refrigeración pasiva.

En Milán y Roma, aumentando la velocidad del aire a 0,2 m/s, se superan únicamente entre el 1-3% las horas de confort según el modelo Fanger (1,2 met 0,5 clo) durante el verano (Fig. 2.26).



Gris: Temperatura exterior, Azul: Límite de temperatura de confort según Fanger, Rojo: Límite de confort adaptativo, Verde: Temperatura operativa interior

Figura 2.26. Modelo simulado en Roma [PAGLIANO et ál. 2008].

En Palermo, las temperaturas operativas interiores se sitúan en el límite superior del confort adaptativo, superándolas incluso el límite de Fanger el 15% del tiempo estival aún habiendo aumentado la velocidad del aire a 0,5 m/s. Para mejorar el confort se simula una opción consistente en aumentar los niveles de aislamiento, reduciendo notablemente los picos de temperatura, llegando a unos niveles parecidos a los de Milán y Roma.

Por último, cabe señalar que los desarrollos propuestos se basan en la construcción de modelos que se caracterizan por cargas limitadas internas de calor (obtenidos en el caso de edificios de viviendas, eligiendo cuidadosamente los equipos eléctricos y sistemas de iluminación de alta eficiencia y no sobredimensionados), en ambientes simulados en el contexto de clima no extremo. Por lo tanto, se recomienda aplicar, en lugar de los resultados cuantitativos, la esencia del análisis:

-En las localidades estudiadas, se considera posible no utilizar un sistema activo y así reducir a cero el consumo de refrigeración.

-Un aislamiento constante de superficies opacas, cuando se combina con otras estrategias que aquí se consideran (alta inercia térmica, la ventilación nocturna, las cargas internas bajas) puede mejorar significativamente la conducta térmica de la construcción y las prestaciones de confort.

2.2.2.8 2007 – ITALIA (BRNZOLO, TIROL DEL SUR): PRIMERA VIVIENDA COLECTIVA PASSIVHAUS EN ITALIA.

En 2005/2006 se construye uno de los primeros edificios de viviendas pasivos en Italia, situado en Bronzolo, Tirol del Sur (Fig. 2.27). Se trata de un edificio de 8 viviendas sociales en Bronzolo, cerca de Bolzano en el norte de Italia, con temperaturas medias muy dispares a lo largo del año, siendo en enero de 0,8°C y 22,5°C en julio. Las viviendas se desarrollan en tres plantas, teniendo además un sótano destinado a garaje, con trasteros y cuartos técnicos. Se construye bajo estándares propios del Centro de Europa, con valores de $U_{\text{fachada}} = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{cubierta}} = 0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{forjado garaje}} = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$, siendo las ventanas de vidrio triple con un valor $U_{\text{ventana}} = 0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Figura 2.27. Imágenes del proyecto de 8 viviendas Passivhaus en Bronzolo, Italia. Instituto Per L'Edilizia Sociale Della Provincia Autónoma Di Bolzano

MONOTORIZACIÓN DURANTE EL INVIERNO 2006/2007 Y EL VERANO DE 2007.

[SCHMITT *et ál.* 2007] realizan la primera monitorización de una de las primeras viviendas colectivas pasivas realizadas en Italia. Se describe el mes de julio del verano de 2006, sujeto a la monitorización, como un verano extremadamente cálido, con una temperatura media de 25,9°C, lejos de la media de Bronzolo de 22,5°C. La temperatura media dentro del edificio fue en Julio de 28,9°C con un máximo de 31,2 °C. Debido a estos niveles de inconfort se tomaron medidas encaminadas a mejorar la situación. Se descubrió que el manual del usuario no indicaba la necesaria sobre ventilación nocturna y el uso de las protecciones solares. Se proporcionó un nuevo manual en agosto de 2006 con estas recomendaciones a la vez que se recomendó sustituir la iluminación por sistemas de bajo consumo energético.

Otro aspecto mencionado como causa del sobrecalentamiento fue el funcionamiento por debajo de las expectativas del intercambiador Tierra-Aire del sistema de ventilación. El aire se calienta 2 K a su paso por la sala de instalaciones por posibles infiltraciones en el sistema de ventilación. A consecuencia de esto se decidió apagar el sistema de suministro de aire de renovación. No se pudo suprimir todo el sistema de ventilación debido a la ausencia de ventanas en los baños.

Finalmente se detectaron niveles muy altos de consumo eléctrico de los electrodomésticos, con una media de 25,7 kWh/m²a, excluyendo las instalaciones. Se informó a los ocupantes que para prevenir futuros sobrecalentamientos se debería hacer un uso más racional de la electricidad, pero el éxito de estas medidas no pudo señalarse debido a que las temperaturas exteriores descendieron en el verano de 2006 y los problemas de sobrecalentamiento no volvieron a aparecer.

Se señala, en relación al consumo de energía primaria para calefacción, que este alcanzó los 25,8 kWh/m²a, casi el doble del proyectado, estableciendo como posibles causas la alta temperatura de consigna interior, entre 1-2 k por encima de lo calculado y el posible efecto del secado de la humedad de construcción.

ANALISIS Y OPTIMIZACIÓN MEDIANTE SIMULACIÓN DINÁMICA.

Durante el invierno de 2006/2007 [SCHMITT *et ál.* 2007] monitorizaron un bloque de ocho apartamentos determinando una demanda de calefacción similar a las reseñadas en el proyecto CEPHEUS recogidas en [FEIST *et ál.* 2001 a]. Asimismo, durante este periodo se mantienen unos niveles de confort aceptables. Sin embargo, las mediciones durante el verano excedieron los límites de confort, alcanzando una temperatura media en verano de 31°C. Durante 4225 horas las temperaturas superaron los 25°C. [CATAGNA *et ál.* 2008] estudian la influencia de diferentes parámetros en las

temperaturas y desarrollan diferentes estrategias para reducir las temperaturas interiores durante el verano. Para ello trabajan sobre un modelo de simulación dinámica en el programa TRNSYS comparando los resultados con los datos obtenidos de la monitorización. Esto permite optimizar los elementos con una mayor influencia en las temperaturas de confort interiores. El estudio concluye que para mejorar este aspecto es necesario tomar las siguientes medidas:

- Eliminar la recirculación del aire de extracción.
- Una tasa de renovación en ventilación mecánica de 0,5 vol/h cuando sea necesaria la recuperación de calor y de 1,2 vol/h en el modo de verano (modo free-cooling).
- Instalar un sistema de apagado del recuperador entre 23°C en lugar de a 24°C y temperaturas interiores no superiores a 21°C.

Esta estrategia se demuestra posteriormente adecuada tanto en la reducción del consumo de energía como en el confort de temperatura de verano, sobrepasando la temperatura de 25°C solamente en un 13% de horas del año, comparado con el 48% de horas que habían sido medidas en [SCHMITT *et ál.* 2007].

2008 – SIMULACIÓN DINÁMICA DE LA VIVIENDA PASIVA EN BRNZOLO EN DIFERENTES LOCALIZACIONES DE ITALIA

[GIOVANARDI *et ál.* 2008] simulan el edificio monitorizado por [SCHMITT *et ál.* 2007] en Bronzolo, en diferentes localizaciones de Italia, Milán, Villafranca de Verona, Roma y Palermo, con el fin de generar unos patrones de adaptación del edificio a los diferentes climas presentes en Italia. El edificio optimizado por [CATAGNA *et ál.* 2008] es trasladado a diferentes situaciones en Italia manteniendo los parámetros iniciales y evaluando diferentes estrategias de protección solar y ventilación.

Se activa el free-cooling cuando la temperatura interior sobrepasa los 24°C y la temperatura exterior es menor que esta temperatura y no existen edificios alrededor. El criterio de confort utilizado es un modelo PMV según Fanger. Se simulan diferentes parámetros como son:

- La orientación, con el fin de evaluar las demandas de energía.
- La activación automática de protecciones solares si se superan los 26°C en el interior y la radiación en la superficie de los vidrios supera los 800 W/m²h.
- Espesor de aislamiento en los cerramientos, 280 mm, 200 mm y 150 mm.
- Si el ratio de ventilación de 1,2 vol/h no es suficiente para mantener el nivel de confort, se simulan dos modelos, en el primero aumentando el ratio hasta 2,5 vol/h, y el segundo instalando una refrigeración activa a partir de 26°C. En el caso de Palermo se elimina el sistema de calentamiento de aire.

Se concluyen lo siguiente:

- La orientación no tiene influencia en las cargas de energía.
- La utilización de protecciones solares automáticas puede reducir hasta un 40% las ganancias solares.
- Se puede reducir el espesor de aislamiento sin reducir la eficiencia energética pero reduciendo la inversión en materiales.
- la adaptación de las tasas de renovación de ventilación permite obtener niveles de confort es en todas las localizaciones salvo en Palermo donde es necesaria una refrigeración activa fácilmente suministrable por un sistema fotovoltaico.

El óptimo se alcanza con un free-cooling de 1,2 vol/h en Milán y Villafranca, 1,8 vol/h en Roma y 2,5 vol/h en Palermo y en cuanto al aislamiento, el óptimo se encuentra con 28 cm en Milán y Villafranca, 20 cm en Roma y 18 cm en Palermo.

2012 – IMPACTO DE LOS HÁBITOS DE LOS USUARIOS EN EL CONSUMO FINAL DE ENERGÍA

[EURAC 2012] en un estudio sobre los hábitos de los usuarios en el consumo final de energía en edificios pasivos, sobre las desviaciones del modelo en las simulaciones iniciales y los consumos finales de energía, llega a las siguientes conclusiones:

-El consumo más alto de energía de calefacción es 1,8 veces mayor en el más alto que en el más bajo.

-En el caso de la energía eléctrica, el apartamento con mayor consumo tiene 3 veces superior que el de menor consumo.

-Se descarta que las diferencias en el consumo de energía para calefacción se deba a unas menores ganancias solares por la diferente orientación de las ventanas en cada apartamento durante el invierno.

-Se concluye que los diferentes consumos de energía se deben más a un aumento en la temperatura de consigna de la calefacción en las habitaciones o a un uso de la apertura de ventanas que provocó un aumento en las pérdidas por ventilación mayores a las predichas en el cálculo a que ocasionaron un mayor consumo de energía para calefacción.

Finalmente se concluye que es necesaria una adecuada formación del usuario sobre las estrategias de ahorro energético en la vivienda pasiva.

2.2.2.9 2008 – HOLANDA: ESTUDIO DE LOS RIESGOS PARA LA SALUD EN VIVIENDAS PASIVAS EN HOLANDA

[HASSELAAR 2008] realiza una investigación de los riesgos para la salud en viviendas pasivas a partir de las relaciones entre las instalaciones técnicas y los patrones de uso de los habitantes, usando como metodología de trabajo las publicaciones previas de estudios de ambiente interno en viviendas pasivas y otras fuentes como participación en reuniones de expertos en la materia. Se visitan 500 viviendas que proporcionan datos de la eficiencia técnica de los sistemas, tanto en viviendas de energía casi cero como en viviendas estándar que incorporen instalaciones típicas de las viviendas pasivas.

Se describen problemas potenciales de sobrecalentamiento, ruido en las instalaciones, contaminación de legionela en el agua sanitaria, bajos niveles de ventilación, mecanismos de control de las instalaciones de utilización compleja, y carencia de flexibilidad de las instalaciones de ventilación. Se señalan por tanto, efectos percibidos para la salud en sistemas de ventilación con recuperador de calor.

Se realizan inspecciones, entrevistas y mediciones del rendimiento de los sistemas de climatización interior en dos viviendas pasivas en Heusden-Zolder, Holanda (51°3' N, 5°17' E) y Bocholt, Alemania (51° 50' N, 6° 37' E). En general, los usuarios son positivos en sus opiniones sobre las viviendas. Señalan algunos aspectos negativos, como que la ventilación provee suficiente calor a la vivienda, pero el flujo de aire es excesivo en las habitaciones, siendo escaso en sala de estar y baños; el cierre tiene un aislamiento acústico elevado, pero esto hace que los ruidos interiores sean más noticiables, y el ruido de los ventiladores provoca mayores molestias, lo que ocasiona que se bajen los niveles de funcionamiento del aparato causando bajos ratios de

renovaciones, especialmente en viviendas pequeñas con muchos ocupantes. Asimismo, se describe la alta influencia de los usos del habitante en la calidad del aire interior. Y el funcionamiento de los recuperadores de calor, provocando entre otros problemas, sobrecalentamientos en verano. Se indica que las viviendas más pequeñas y más ocupadas tienen un mayor riesgo de sufrir problemas.

Es muy significativo el estudio que se hace de la diferencia entre los problemas de salud percibidos entre una ventilación mecánica convencional (flujo simple) y otra de doble flujo con recuperador (Fig. 2.28), teniendo como causa probable valores bajos en la calidad del aire.

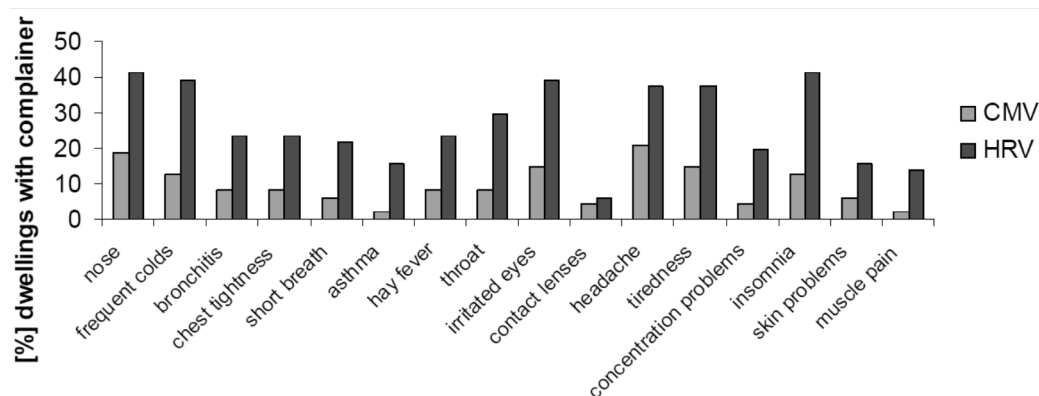


Figura 2.28. Porcentaje de casos en viviendas con un problema de salud. CMV= ventilación mecánica de flujo simple, con entradas de aire natural, HRV= ventilación mecánica de doble flujo con recuperador [HASSELAAR 2008] basado en Ginkel J.T. van. 2007. Inventarisatie woninggerelateerde gezondheidsklachten in Vathorst”, report for Municipality of Amersfoort, Delft (The Netherlands), OTB.

El sobrecalentamiento que tiende a producirse en las viviendas pasivas puede provocar picos de concentración de polución, causada por la carbonización de las emisiones. El aire seco es a menudo confundido con el aire contaminado con picos de emisiones causado por las altas temperaturas. Este problema puede deberse a que los fabricantes holandeses de sistemas de ventilación con recuperador con by-pass en el recuperador no instalaban este sistema por su sobrecosto.

La ventaja de calentar en invierno una vivienda prácticamente con la radiación, hace que la ventilación sea una clave fundamental para el control de la temperatura interior, junto con el control solar, especialmente en las habitaciones durante todo el año y en el salón en verano.

La ventilación mecánica se ha convertido en las viviendas superaisladas en el sistema de control de la temperatura, especialmente en los dormitorios (durante todo el año), y en las salas de estar (durante la temporada de verano). Sin embargo, cuando en la casa pasiva el aire interior se enfría y ningún sistema de calefacción está disponible o tiene una capacidad muy baja, el aire puede llevar un tiempo largo en acondicionarse. La tendencia de algunos ocupantes suele ser abrir todas las puertas para una difusión a lo largo de la vivienda del calor generado en las bocas de impulsión. Otros usuarios muestran sus preferencias en poder acondicionarse en un breve periodo de tiempo espacios más pequeños con sistemas de climatización menores pero con capacidad suficiente para subir la temperatura y sobre el que tener control personalizado.

2.2.2.10 2008 – ALEMANIA NORTE: ESTUDIO SOBRE VIVIENDAS PASIVAS EN RENANIA, NORTE DE ALEMANIA

[MAAß *et ál.*2008] realizan un estudio sobre viviendas pasivas construidas en Renania. En general la gran mayoría de viviendas se corresponde con viviendas adosadas en entornos de baja densidad a las afueras de las ciudades.

Señala que los usuarios de las viviendas se muestran más de acuerdo con el confort de invierno que con el de verano, señalando como posibles causas las mediadas de protección solar insuficientes. Algunas estancias tienen temperaturas superiores a 27°C, y en general se instalaron a posteriori numerosos sistemas de protección solar.

En la evaluación post ocupación a la cuestión sobre el ambiente general de las viviendas en verano, sobre 155 encuestados, 47 responde como muy bueno, 86 lo consideran bueno, 21 responde que mediocre, y uno respondió que malo.

2.2.2.11 2009 – SUECIA: VIVIENDAS PASIVAS EN SUECIA

Estudios de post ocupación de viviendas Passivhaus en diferentes distritos de Suecia (Fig. 2.29), Oxtorget en Värnamo (57°11'N 14°02'E), Glumslöv (55° 57' N, 12° 49' E) y Frillesås (57°19'N 12°10'E), señalan desconfort térmico debido a sobrecalentamientos. En el peor de los casos, en el distrito de Glumslöv, el 56% de los habitantes indica que la temperatura interior durante el periodo de verano es excesiva, mientras que en Oxtorget responde a esta cuestión el 31% y solamente el 11% en Frillesås.



Figura 2.29. De izquierda a derecha, promoción en Oxtorget- Värnamo, Frillesås, y Glumslöv [SAMUELSON, LÜDDECKENS, 2009].

En Oxtorget el 31% piensa que es demasiado caliente en el verano y el 54% dijo que es demasiado frío en invierno; 13 de 26 respondieron que tienen 25 °C o más durante verano y 16, 19 °C o menos durante los meses de invierno.

En Frillesås el 11% respondió que hace demasiado calor en verano y el 11% que es demasiado frío en invierno. La mayoría tiene alrededor de 22 ° C durante los meses de verano y alrededor de 20 °C durante los meses de invierno.

En Glumslöv piensa el 56% que es demasiado caliente en el verano y el 67% que es demasiado frío en invierno; 12 de 18 respondieron que hay 25 °C o más durante el verano y 13, 19 °C o menos durante los meses de invierno.

De las posteriores simulaciones se concluye que puede ser la orientación de los salones y la falta de protección solar la que genere el inconfort en verano.

2.2.2.12 2009 – MEDITERRANEO: VIVIENDAS PASSIVHAUS EN EL SUR DE EUROPA

En un estudio más extenso centrado en la región sur de Europa, [SCHNIEDERS 2009], se analiza la viabilidad del concepto Passivhaus en doce localidades del sur de Europa,

Italia, Península Ibérica, Sur de Francia, y comparando con una vivienda de referencia situada en Mannheim, sur de Alemania. Se establecen unos valores de aislamiento, estanqueidad, puentes térmicos y de ventilación diferentes para las diferentes localidades. La elección de las diferentes localidades busca la mayor representación climática del Sur de Europa. Respecto a las condiciones climáticas de las diferentes ciudades se muestran en la Tabla 2.21, tabla a la que se le incorporan las ciudades más importantes del entorno de este estudio.

Tabla 2.21. Condiciones climáticas de las diferentes ciudades del estudio y las ciudades más importantes de este estudio.

Ciudad	Latitud	Longitud	Altitud	mínima media mes más baja	Mínima media diaria	Mínima media mensual	Radiación solar sur enero	Máxima	Máxima media diaria	Máxima media mensual	Radiación solar sur julio	Media diferencia noche día
Mannheim	49,5°N	8,5°E	96	-13,8	-8,9	1,7	30	33,1	26,0	19,6	72	10,2
Lisboa	38,7°N	9,2°O	71	4,1	6,7	10,6	89	36,0	26,3	22,6	82	13,2
Oporto	41,2°N	8,7°O	73	0,0	5,1	9,4	66	32	25,6	19,4	81	8,3
Sevilla	37,2°N	5,9°O	31	-2,0	6,3	10,4	105	43,0	31,7	27,4	78	16,2
Madrid	40,5°N	3,6°O	582	-4,6	0,7	5,5	83	40,4	30,7	25,5	87	14,5
Zaragoza	41,4°N	1,0°O	247	-0,5	2,4	6,0		42,6	35,1	24,5		
Logroño	42,2°N	2,2°O	352	-1,0	2,0	5,4		42,8	34,2	22,2		
Pamplona	42,4°N	1,3°O	452	-2,8	1,2	5,0		41,2	31,6	20,9		
Vitoria	42,5°N	2,4°O	508	-3,0	1,0	4,8		38,8	29,2	19,1		
Bilbao	43,1°N	2,5°O	39	1,8	4,7	8,2		40,4	28,9	20,3		
San Sebastián	43,1°N	2,2°O	252	1,1	5,5	9,0		38,0	24,2	19,1		
Burdeos	44,8°N	0,7°O	61	-8,2	-4,3	6,2	52	34,0	26,7	20,9	83	10,7
Carpentras	44,1°N	5,1°E	105	-4,9	-0,4	5,7	70	35,6	25,0	21,5	87	13,5
Niza	43,7°N	7,2°E	10	2,0	3,9	8,7	80	30,6	26,6	23,9	88	6,4
Turín	45,2°N	7,7°E	287	-6,0	-1,3	1,6	54	31,0	26,3	23,0	90	8,9
Venecia	45,5°N	12,3°E	6	-4,4	-1,8	2,3	38	33,0	28,1	24,4	85	8,1
Campobasso	41,6°N	14,7°E	793	-6,0	-3,0	3,2	62	32,0	26,9	21,1	87	8,1
Nápoles	40,9°N	14,3°E	72	-3,0	2,1	9,1	58	35,0	27,9	25,6	86	9,2
Palermo	38,2°N	13,1°E	34	4,8	8,2	11,8	73	34,0	28,2	27,0	79	4,6

En gris claro se incorporan las ciudades más importantes del entorno de este estudio

Elaboración propia a partir de [SCHNIEDERS 2009] y [MMA 2001].

El estudio llega a la conclusión de que es posible alcanzar un clima interior agradable de acuerdo con la norma [UNE-EN ISO 7730:2006], únicamente recurriendo al pre-acondicionamiento del aire de suministro del sistema de ventilación (incluyendo el enfriamiento).

Se señalan los puntos clave para alcanzar el confort interior en verano pasan por el control solar, a través de la protección solar adecuada, la reducción de la transmisión de calor a través de los elementos opacos de fachada y minimizando las cargas internas de calor. En casi todos los casos, las protecciones solares son necesarias para mantener el confort térmico en verano. Se seleccionan protecciones solares móviles frente a las protecciones fijas como los parasoles ya que permiten alcanzar un mayor aporte en el periodo de invierno. La protección solar seleccionada es la persiana, por ser este el

sistema más común en los países mediterráneos. El valor g de la ventana con la persiana cerrada es del 8%. El funcionamiento seleccionado es el siguiente; las persianas de una estancia están cerradas completamente desde el 1 de abril hasta el 31 de octubre si la temperatura interior de la estancia supera los 25°C. El resto del tiempo, del 1 de noviembre al 31 de marzo, o si la temperatura es menor de 23°C, la persiana permanece completamente abierta. Entre ambas temperaturas se mantiene una relación lineal entre la temperatura y la fracción en sombra de la ventana.

Se modelan en un programa de simulación dinámica en las diferentes localizaciones con persianas exteriores que se cierran de forma automática según el modelo anteriormente descrito. El propio autor [SCHNIEDERS 2009] señala que se sabe poco de la aceptación de dichas prácticas entre los usuarios de viviendas, por lo que es difícil determinar operaciones con las persianas realistas. Existen sin embargo estudios en edificios de oficinas. [INKAROJIT 2005] aporta un modelo de operaciones en las protecciones de en edificios de oficinas. Al margen de los modelos de operación con las protecciones, llega a las siguientes conclusiones; los usuarios rara vez manipulan las protecciones más de una vez al día, y hay una variación considerable de manipulaciones posibles entre los diferentes usuarios en los patrones de manipulación. Algunos autores como [RAJA *et ál.* 2001], [NICOL 2001] e [INKAROJIT 2005] con resultados experimentales, señalan que estas operaciones están más determinadas por los niveles de luminancia y confort visual que por la temperatura. Se señala que [INKAROJIT 2005] realiza los estudios experimentales en Berkeley durante el invierno, con temperaturas internas por debajo de los 26°C.

[BERE 2012] en un estudio de post-ocupación en viviendas pasivas en el Reino Unido, avala la idea de que el uso de las protecciones solares exteriores se produce más por situaciones de confort visual y psicológico y no por regulación de temperatura.

Se señalan como puntos determinantes para eliminar el calor del edificio el enfriamiento mediante la ventilación nocturna, a ser posible sobre-ventilación, y en menor medida la conjunción con un sistema en contacto con el terreno (soleras en contacto con el terreno menos aisladas). En algunos casos se debe incluir un pre-enfriamiento del aire mediante un sistema de bomba de calor para alcanzar los objetivos de confort, y además en algunos casos un sistema de deshumidificación.

Aparte de que las necesidades de calefacción y refrigeración son menores que en los edificios convencionales, señala que el pico de demanda de calefacción y refrigeración es también menos pronunciado y la fluctuación de temperatura era menor cuando se aplica el sistema de refrigeración.

Desde el punto de vista de futuros diseños, resume en el capítulo 10 de conclusiones con la siguiente advertencia, *“...es importante señalar que las diferencias de los climas y los efectos en los parámetros individuales de los edificios son tan amplios que un balance energético adecuado debe ser realizado para cada vivienda Passivhaus. El uso de los valores estándares para diferentes edificios no es apropiado.”*

Señala asimismo que el diseño de casas pasivas en el Mediterráneo es más difícil que en el Centro de Europa ya que las condiciones de verano requieren consideraciones adicionales. Además, la radiación debe incorporarse a los cálculos con mayor precisión. Esto plantea cuestiones adicionales comparado con la demanda de calor y energía por metro cuadrado en el Centro de Europa.

Por otro lado, el diseño de casas pasivas es más sencillo en el sur de Europa, ya que se necesitan menores requerimientos en cuanto al aislamiento térmico, puentes térmicos, estanqueidad al aire, y eficacia del recuperador de calor, pudiéndose plantear

soluciones alternativas que permitan compensar las pérdidas excesivas de calor. Además, el uso pasivo de la energía solar es más prometedor que en el centro de Europa.

En cuanto a la influencia del diseño en la eficiencia del edificio llega a las siguientes conclusiones:

-Recomienda la utilización del doble vidrio de baja emisividad frente al vidrio triple, ya que no aporta grandes beneficios energéticos y si requiere una sobreinversión.

-Se inclina por la utilización de protecciones exteriores regulables frente a las protecciones en el propio vidrio o incluso las protecciones fijas.

-Un grado alto de aislamiento no solo garantiza una baja demanda de energía para calefacción sino que mejora el confort en verano. Recomendamos valores entre 10-20 cm según los casos.

-La estanqueidad tiene el mismo efecto que el aislamiento, especialmente con la utilización de ventilación con recuperador de calor.

-Se recomienda construcciones compactas para reducir la transferencia de calor.

-Considera que la ventilación nocturna tiene el mismo efecto que el aislamiento en fachadas, consiguiendo un efecto de igual magnitud mediante un sistema de ventilación mecánica dotada de by-pass. El efecto desaparece en climas con periodos prolongados de temperaturas nocturnas elevadas. En algunas zonas climáticas, la apertura de ventanas durante la noche puede aumentar el grado de humedad, necesitando cargas adicionales de deshumidificación.

-Menosprecia el efecto de la inercia térmica (página 232) salvo en lugares con una intensa radiación solar (Sevilla, Palermo, Nápoles), en los que se produce un ligero aumento de la carga de refrigeración y aumentan las horas de inconfort.

-La orientación tiene poca influencia en la demanda de calefacción y refrigeración pero alta en la carga de calefacción y refrigeración.

-Considera elevado el efecto de los colores claros en las superficies exteriores, que reducen la carga de refrigeración sin aumentar en demasía la demanda de calefacción.

-Utiliza la reducción de aislamiento en los climas más cálidos, teniendo la misma importancia que el aislamiento de fachadas y cubiertas en climas más fríos.

-Concluye que los puentes térmicos pueden ser menos exigentes a cambio de mejorar el aislamiento de cubiertas por ejemplo.

Se señala que se deben estudiar el uso de las técnicas de calefacción y refrigeración combinadas en viviendas pasivas con mayor profundidad, en primer lugar mediante estudios de implementación reales.

Los primeras experiencias con edificios altamente aislados en Italia, le sirven para aseverar que la experiencia es predominantemente satisfactoria, pero indicando que un estudio en profundidad de los resultados de estas experiencias es necesario para solventar la distancia entre las suposiciones realizadas en el estudio y la realidad en el uso de estos edificios.

Se cuestiona sobre qué temperatura y humedad son necesarias para el confort de los usuarios, y en qué condiciones podrían estar de acuerdo. También en cómo se operan los diferentes elementos que permiten la adaptación al clima, operaciones con las

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

persianas, ventanas, ventilación y otros factores que el estudio asume con unos valores estándar.

En el último capítulo se compara el comportamiento de el edificio de referencia en tres modelos climáticos con veranos más cálidos, el verano de 2003, en el que una ola de calor afectó a todo Europa, un modelo de proyección climática para 2090 en el que se señalan aumentos de temperatura de 6 °C, y la situación en un entorno de isla de calor en el centro de ciudad, con temperaturas de 5°C en verano y 2°C en invierno superiores a la periferia (situación típica de las estaciones climáticas en aeropuertos).

El modelo con peores expectativas es el de la proyección climática para 2090, seguido del modelo en islas de calor urbanas, y el verano de 2003. Se muestra la preocupación de que tenga un mayor efecto las islas de calor urbanas que el verano de 2003, lo que el autor considera que llevará a necesitar aire acondicionado allí donde antes no era necesario y en consecuencia realizar un cambio en nuestras costumbres a una mayor escala para prevenir esta situación.

Se concluye que las viviendas deben afrontar una mayor demanda de refrigeración, quedando únicamente las ciudades de Mannheim, Oporto y Campobasso sin demanda de refrigeración y llegando a los 60 kWh/m²a en algunas ciudades como Palermo, 24 kWh/m²a en Sevilla y 32 kWh/m²a en Niza. Además, las ciudades que no tienen demanda de refrigeración producen por otra parte los mayores ratios de horas de desconfort.

En la Tabla 2.22 se muestra en resumen los valores de aislamiento y parámetros de los sistemas de climatización del edificio en diferentes localizaciones.

Tabla 2.22. Demandas de energía y cargas de calefacción y refrigeración para un edificio Passivhaus en 12 ciudades del Mediterráneo y en la ciudad de referencia de Manheim.

Ciudad	Fachada		Cubierta		Solera		Ventanas			Eficiencia recuperador	Reducción puente térmico solera	Calefacción aire entrante	Control de refrigeración	Control de humedad en refrigeración
	U	e	U	e	U	e	U _{marco}	U _{vidrio}	g					
Mannheim	0,125	25	0,039	35	0,158	20	0,72	0,70	50%	85%	S	S	N	N
Lisboa	0,62	4	0,33	8	0,85	2	1,60	1,2	60%	85%	N	S	V	S
Oporto	0,202	15	0,155	20	0,432	6	1,60	1,2	60%	0%	N	N	O	N
Sevilla	0,353	8	0,155	20	1,66	0	1,60	1,2	60%	85%	N	S	ON/OFF	N
Madrid	0,291	10	0,127	25	0,432	6	0,72	1,2	60%	85%	N	S	ON/OFF	N
Burdeos	0,155	20	0,127	25	0,289	10	0,72	1,2	60%	85%	S	S	ON/OFF	N
Carpentras	0,202	15	0,155	20	0,346	8	0,72	1,2	60%	85%	N	S	ON/OFF	N
Niza	0,353	8	0,20	15	0,573	4	1,60	1,2	60%	85%	N	S	V	S
Turín	0,155	20	0,127	25	0,205	15	0,72	1,2	60%	85%	S	S	V	S
Venecia	0,155	20	0,155	20	0,289	10	0,72	0,70	50%	85%	S	S	V	S
Campobasso	0,202	15	0,127	25	0,289	10	0,72	1,2	60%	85%	S	S	O	N
Nápoles	0,291	10	0,155	20	0,432	6	1,60	1,2	60%	85%	N	S	V	S
Palermo	0,449	6	0,155	20	1,663	0	1,60	1,2	60%	85%	N	S	V	S

Unidades aislante: U, (W/m²K), e (cm)
 Control del sistema de refrigeración: O, ninguno, V velocidad variable, ON/OFF: Todo nada.

Elaboración propia a partir de [SCHNIEDERS 2009]

En la Tabla 2.23 se muestra en resumen las demandas de energía y cargas de calefacción y refrigeración.

Tabla 2.23. Demandas de energía y cargas de calefacción y refrigeración para un edificio Passivhaus en 12 ciudades del Mediterráneo y en la ciudad de referencia de Mannheim

Ciudad	Demanda de energía (20°C) para calefacción (kWh/m ² a)	Demanda de energía (26°C) para refrigeración (kWh/m ² a)	Demanda para deshumidificación (70% HR) (kWh/m ² a)	Carga media diaria de calefacción (W/m ²)	Carga media diaria de refrigeración sensible (W/m ²)	Carga media diaria de refrigeración latente (W/m ²)
Mannheim	15,60	0,00	0,00	8,10	0,0	0,15
Lisboa	12,80	0,12	0,12	10,61	1,22	3,15
Oporto	13,41	0,00	0,50	10,39	0,00	3,37
Sevilla	4,64	4,18	0,04	7,11	10,20	1,69
Madrid	12,68	0,38	0,00	10,08	4,06	0,00
Burdeos	8,76	0,00	0,02	10,03	0,00	0,31
Carpentras	10,98	0,00	0,01	9,35	0,00	0,13
Niza	12,26	1,37	2,64	10,53	3,67	6,89
Turín	14,83	0,77	2,26	10,18	3,56	5,30
Venecia	17,19	0,88	1,99	9,73	3,45	7,10
Campo basso	15,19	0,02	0,00	10,07	0,57	0,00
Nápoles	8,44	3,32	3,37	10,28	5,01	7,25
Palermo	3,13	7,22	7,18	6,93	6,64	8,08

PH: Edificio Passivhaus, RE: Edificio de referencia sin aislar

Elaboración propia a partir de [Schnieders et ál. 2011]

Para los climas más cercanos a la región estudiada observamos las siguientes apreciaciones realizados por [SCHNIEDERS 2009]:

Oporto:

La ciudad de Oporto tiene un invierno moderado, con una temperatura mínima medias de 5,1°C. En este caso, la baja demanda de calefacción permite prescindir del recuperador de calor. Esto hace que se incorpore una mayor cantidad de aislamiento en fachadas y cubierta y algo de aislamiento en la solera. Con una ventilación a través de ventanas abatidas se puede conseguir un buen confort de verano sin refrigeración activa. Se encuentran periodos con una humedad superior al 70% que incluso superaran en breves periodos de tiempo el 80%, pero dentro del rango de confort.

Una alternativa a este modelo consiste en incorporar un recuperador de calor, que permite reducir los niveles de aislamiento en fachada de 15 a 8 cm, de 20 a 10 cm en cubierta y de 6 a 4 cm en la solera sin cambiar las condiciones de confort en verano ni en invierno.

Burdeos:

El clima contiene un periodo relativamente frío, con un periodo de 6 días fríos con una temperatura media de -4,3°C, mientras que el resto del tiempo superan los -1°C, lo que hace que se necesite un elevado nivel de aislamiento, si bien la demanda de calefacción es baja durante el resto del año. El diseño del edificio se realiza por tanto en función de la demanda de calefacción.

En cuanto al verano, las temperaturas no sobrepasan los 35°C. La media típica diaria en verano está entre 20 y 25°C. Por tanto, no es necesaria la refrigeración activa para mantener el confort térmico. Debido a la influencia del atlántico se encuentran niveles de

humedad relativamente altos, lo que produce una demanda de deshumidificación casi despreciable.

El estudio realiza una simulación del mismo edificio sin protecciones solares, comprobando que se produce un ligero aumento de las horas de desconfort pero dentro de los límites.

Madrid:

El clima continental hace que se necesite un buen grado de aislamiento, aunque inferior al de Burdeos. En todo caso, se siguen necesitando buenos marcos de ventana y recuperador en el sistema de ventilación. Señalar que para entrar en el confort de verano, el estudio juega con la reducción de aislamiento en la solera en contacto con el terreno, estrategia que se acentúa según vamos acercándonos a climas más cálidos.

En verano, las temperaturas se sobrepasan los 40°C, no descendiendo de 20°C de forma habitual incluso durante las noches. Esto hace que se produzca una demanda de refrigeración activa relativamente baja. El ambiente seco de la meseta hace que se descienda del límite inferior de confort de humedad relativa situado 30%. El estudio simula el edificio sin una refrigeración activa pero con una renovación de aire intensa durante las noches, manteniéndose el edificio por debajo de 27°C, dentro de los rangos de confort. Esto provoca sin embargo un aumento en las fluctuaciones de temperaturas. El autor reconoce que por ello se necesita una estrategia activa por parte de los usuarios, un nivel bajo de ruido exterior y una baja contaminación exterior; todo esto unido a la posibilidad de encontrarse en un entorno climático urbano, conlleva que esta solución no sería satisfactoria en el centro urbano de Madrid.

Sevilla:

El clima se caracteriza por unos veranos muy cálidos con una intensa radiación solar. Son comunes los periodos por encima de los 35°C, con temperaturas nocturnas por encima de 20°C durante todo el verano. Por otro lado, en invierno se baja ocasionalmente hasta los 0°C, por lo que es necesario un sistema tanto para refrigeración como de calefacción. Se diseña el edificio desde la estrategia de verano, con un alto aislamiento en cubierta y menor en fachadas, pintando de color claro la cubierta. Como estrategia de refrigeración pasiva, se elimina el aislamiento en soleras. El sistema de ventilación se sigue incorporando un recuperador con una eficiencia del 85%. En estas condiciones el edificio se muestra dentro de los rangos de confort sin problemas tampoco con la humedad.

El estudio considera la probabilidad de entrar dentro de los rangos de confort eliminando tanto el recuperador de calor como la refrigeración activa buscando el mayor rendimiento económico. Se incorpora a la simulación una pintura altamente reflectante en la cubierta y fachadas y una ventilación nocturna intensa a través de las ventanas. Se comprueba que durante los periodos más cálidos, esta estrategia no es suficiente para mantener el confort, llegándose a temperaturas interiores por encima de los 29°C. En todo caso, el autor señala que el mismo edificio sin aislamiento sobrepasa alcanza los 37°C de temperatura interior aún utilizando persianas y ventilación intensa a través de las ventanas.

2.2.2.13 2010 – SUECIA: MONITORIZACIÓN DE DIFERENTES PROMOCIONES PASSIVHAUS EN SUECIA

Varios estudios demuestran el sobrecalentamiento excesivo de viviendas pasivas en Suecia. En Suecia, diferentes normativas estipulan los valores máximos de temperatura

alcanzables en verano e invierno, valores que van desde los 24°C en invierno a entre 23-25 °C en verano, no debiendo superarse los 26°C en el 10% del periodo estival en la parte más cálida de la vivienda [PERSSON, WESTERMARK 2012].

[JANSON 2010] retoma los mismos apartamentos evaluados por [SAMUELSON, LÜDDECKENS, 2009] y realiza monitorizaciones durante un año. En el caso de Oxtorget- Värnamo, se señala que solamente en cortos periodos se superan los 25°C, llegando a los 29°C. La medición de temperaturas en 8 apartamentos de la promoción Oxtorget- Värnamo se realiza durante la primavera, verano y otoño de 2007 (del 08-04-2007 al 05-10-2007, con dos periodos sin medición del 15-05 al 21-05, y del 31-07 al 13-08).

En la promoción de 12 apartamentos de la promoción Frillesås, se mide una temperatura interior máxima de 28,4 °C, siendo la máxima temperatura exterior en ese año de 31 °C. La temperatura media interior anual varía de 20,4°C a 26,8 °C. La medición de temperaturas en 12 apartamentos de la promoción Frillesås se llevó a cabo del 01-02-2007 al 01-02-2008.

[JANSON 2010] realiza también un estudio exhaustivo de unos apartamentos reformados según el estándar Passivhaus en el área de Brogårdén, Alingsås, Suecia (Fig. 2.30).

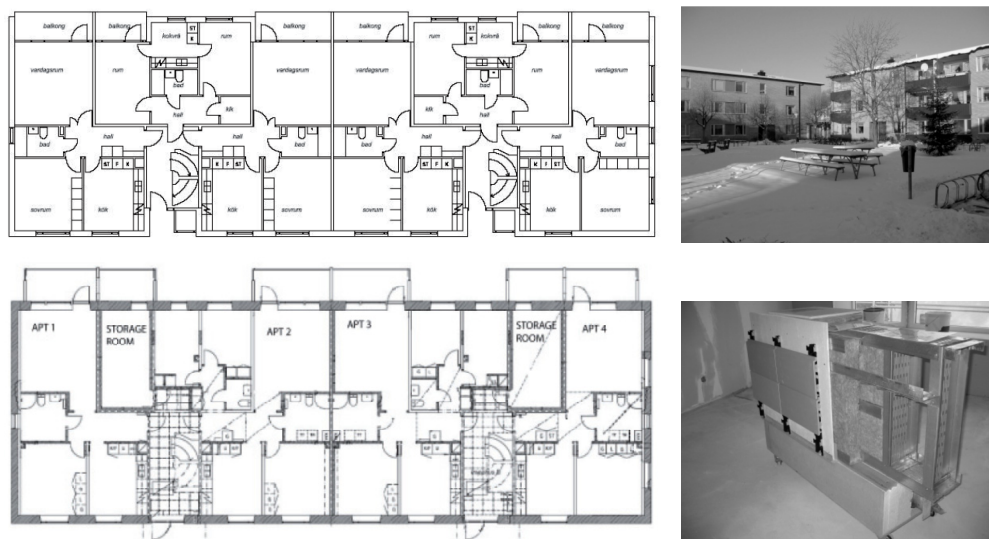


Figura 2.30. Apartamentos en Brogårdén-Alingsås, Suecia. Planta estado original, planta reformada, imagen exterior y solución de fachada en la renovación [JANSON 2010].

La sensación térmica interior durante los meses de verano es calificada de confortable por los usuarios de los apartamentos situados en planta baja (Apt. 1, Apt. 4), según las entrevistas realizadas. Sin embargo, los usuarios en la tercera planta (Apt. 3, Apt. 6), señalaron la existencia de temperaturas muy altas e inconfort. Las temperaturas experimentadas se confirmaron a partir de las mediciones. El apartamento 6 no tenía ningún sistema de protección solar, sin embargo, el usuario del Apartamento 3 había instalado unas persianas venecianas en el interior. Los apartamentos situados en la planta baja tienen asimismo problemas de bajas temperaturas en el periodo invernal. Se realiza un amplio análisis de las causas que generan esta situación, sin embargo se obvia en el estudio los problemas de sobrecalentamiento.

Concluye que el mayor número de usuarios satisfechos con la temperatura interior corresponde con la promoción de Frillesås, donde solo dos usuarios afirmaron no estar

satisfechos, uno con la baja temperatura de invierno, y el otro tanto con la baja temperatura de invierno como con la demasiado alta de verano. La mayoría de los usuarios instaló protecciones exteriores en la fachada sur, y algunos las complementaron con venecianas interiores, la mayoría por cuestiones de privacidad. Todos los usuarios que se había mostrado insatisfechos con la temperatura interior habían instalado protecciones solares exteriores. A pesar de las protecciones solares instaladas, algunos usuarios manifestaron que la temperatura interior era demasiado alta, sobre todo en verano y en situaciones en las que había invitado en las viviendas. Curiosamente, corresponden con las viviendas en las que nunca se había encendido la unidad de calefacción del sistema de ventilación.

En Oxtorget- Värnamo ningún usuario se quejó de temperaturas demasiado altas de interior en verano, todos dijeron que había sido muy cómodo.

La sensación térmica experimentada en los apartamentos renovados en Alingsås varía mucho dependiendo de en qué planta estaba situado apartamento. Los apartamentos de la planta baja, se dice que son fríos en invierno y adecuados en verano, el apartamento en el segundo piso se decía que era cómodo durante todo el año y los apartamentos en el tercer piso tenían una temperatura interior agradable en invierno, pero eran demasiado cálidos en verano. Todos los inquilinos tenían una temperatura interior medida en invierno de aproximadamente 20 °C, pero los inquilinos deseaban tener una temperatura interior de 22-23 °C. Las temperaturas interiores variaron en los apartamentos y se consiguieron mayores en las cocinas y dormitorios y menores en las salas de estar y cuartos de baño. En el segundo y tercer piso, los usuarios dijeron que los pavimentos eran cálidos y uno de los inquilinos afirmó estar descalzo durante todo el año. En la planta baja, los inquilinos percibieron los suelos como fríos durante todo el año.

[PERSSON, WESTERMARK 2012] mencionan dos viviendas pasivas en Lambohov, Linköping (58° 22' 54" N, 15° 34' 18" E), con temperaturas excesivas medidas durante el verano. Durante el mes de julio de 2010, la temperatura media del aire de extracción en estos dos apartamentos fue de 27,3°C. Más adelante, se midieron temperaturas de 26°C en el mismo aire de extracción durante el 60% del tiempo.

El propio autor señala *“..la combinación de un alto aislamiento y las altas ganancias solares de una vivienda pasiva durante el verano pueden resultar excesivas incluso en un clima frío”* [PERSSON, WESTERMARK 2012].

2.2.2.14 2011 – DINAMARCA (SKIBET): ESTUDIO DE LAS 10 PRIMERAS VIVIENDAS PASIVAS EN DINAMARCA DENTRO DEL PROYECTO COMFORT HOUSE.

En Skibet cerca de Vejle, Dinamarca, [LARSEN, JENSEN 2011] llevaron a cabo el registro de datos del ambiente interno de 10 viviendas certificadas Passivhaus (Skibet se encuentra en 55,7° Norte). Las diez viviendas formaban parte de un proyecto denominado Comfort House, cuyo objetivo era difundir el conocimiento del concepto Casa Pasiva en Dinamarca (Fig. 2.31).

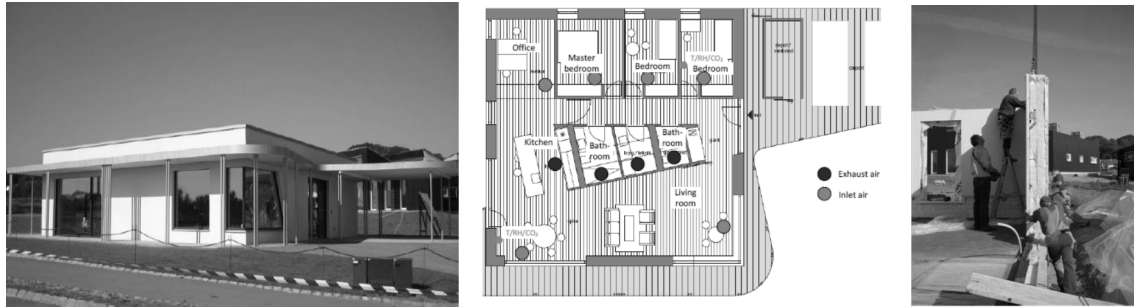


Figura 2.31. Vivienda estudiada Stenagervænget 37. Izquierda a derecha: Imagen del exterior; Planta de la vivienda con puntos monitorizados; Construcción mediante módulos prefabricados [LARSEN, JENSEN 2011] y [BRUNSGAARD 2010].

Las viviendas posteriormente se monitorizaron con el fin de evaluar los consumos predichos con las medidas y los usos de los habitantes. Dicha monitorización comprendía mediadas cada cinco minutos iniciándose en octubre de 2008 y prolongándose a lo largo de tres años. Se registraron los datos de temperatura de bulbo seco (DBT), humedad relativa (HR) y los niveles de CO₂ en varias ubicaciones además de los consumos de energía. Los primeros resultados señalaron graves problemas de sobrecalentamiento en verano e insuficientes temperaturas en invierno aunque el modelo [PHPP 2007-en] no lo había predicho.

Para ilustrar el problema del sobrecalentamiento, se seleccionó una de las diez casas. Los datos registrados en este estudio se comparó con los criterios establecidos en la categoría B del equivalente danés de la [UNE-CR 1752 IN:2008], que especifica un rango de bulbo seco verano aceptable de 23 a 26 °C. Los resultados para el mes de julio para el intervalo de 2009 bajo este estándar se ha superaron el 40 % del tiempo. En 2010 los mismos criterios se superaron el 60 % del tiempo, lo que resulta en un sobrecalentamiento grave.

Durante este periodo la vivienda fue ocupada por dos familias diferentes con patrones de ventilación también dispares. En 2009, las ventanas permanecieron abiertas la mayor parte del tiempo que permanecían ocupadas, dato comprobado por unas menores temperaturas y niveles de CO₂. Aunque las cargas internas eran las mismas en 2009 y 2010, los patrones de ventilación hicieron que el ambiente térmico se viera afectado, reduciendo las temperaturas en 2009 pero aún en valores demasiado altos.

[BRUNSGAARD 2010] ahonda en el estudio de las viviendas de esta promoción. El estudio se basa en análisis de los proyectos, encuestas de post ocupación y monitorizaciones; en é se señalan también problemas de sobrecalentamiento en tres viviendas monitorizadas y las distintas medidas de protección que adoptaron los usuarios, venecianas o estores interiores, aumento de ventilación natural y/o ropa ligera. Asimismo, algunos usuarios señalan que evitan abrir ventanas por cuestiones de seguridad. En algunos momentos los usuarios se refugian del calor en el garaje situado en el ala norte.

Comparadas con sus casas anteriores, en las que no habían sufrido nunca sobrecalentamientos, las condiciones en estas casas les obligaron a recurrir más a la ventilación natural, la protección solar, y a pesar de ello continúan insatisfechos con la temperatura ambiente interior, llegando este estudio a la conclusión de que la forma de resolver el problema es una combinación de varios factores; protección solar, mejora de la ventilación natural, informar a los usuarios de cómo vivir en una casa pasiva y cómo utilizarla, y probablemente el aspecto más importante, realizar simulaciones previas para

una mejor optimización del ambiente interior con vistas a una mejor protección de los edificios frente al sobrecalentamiento.

[BRUNSGAARD 2010] indica igualmente los problemas de uso de los habitantes como origen de los sobrecalentamientos, como el hecho de no abrir las ventanas por razones de seguridad o cuando se está fuera de la vivienda, señalando el usuario que “eso era lo que quería el idiota del arquitecto que hiciéramos” por razones térmicas. En la Tabla 2.24 se muestran algunos datos relevantes de las encuestas realizadas en tres de las viviendas (Tabla 2.24).

Tabla 2.24. Características del confort térmico interior, de diseño y datos de las encuestas en tres de las viviendas del proyecto Comfort House			
	Vivienda analizada 2	Vivienda analizada 7	Vivienda analizada 8
Características de diseño	Existe una protección solar permanente mediante voladizos en las ventanas de la fachada sur	Existe una protección solar permanente mediante voladizos en las ventanas de la fachada sur	No existe protección solar en las ventanas a sur
Comentarios	–	Temperaturas muy altas. Temperatura media del periodo 26°C.	–
Encuestas	Sensación de bastante calor en el verano. Instalaron protecciones solares interiores y trataron de resolver el problema con ventilación natural y vistiendo ropas ligeras.	Sensación de mucho calor en el verano. Trataron de resolver el problema con ventilación natural pero esto solo ayudó un poco, posteriormente pensaron instalar aire acondicionado. Tienen la sensación de que el calor se va moviendo por la vivienda con la radiación solar, y dicen que hace mucho calor en las habitaciones cuando duermen. No dejaban las ventanas del cuarto de la hija abiertas por la noche por temas de seguridad.	Sensación de bastante calor. Instalaron protecciones solares interiores pero creen que no ayudaron mucho. Tampoco funciona suficientemente la ventilación natural. Las ventanas tienen problemas en quedarse abiertas debido al mecanismo, y no se dejan abiertas cuando no se está en casa debido a la seguridad. Cuando nada funciona, se refugian en el garaje.
Elaboración propia a partir de [BRUNSGAARD 2010].			

Los problemas de sobrecalentamiento no habían sido estudiados en la fase previa de diseño ya que no se encontraba tradicionalmente en la construcción danesa en la que la ventilación natural podía asegurar un confort térmico incluso en los días más cálidos de verano. El autor señala que “en los nuevos edificios de bajo consumo energético, muy aislados y estancos, incluso con ganancias térmicas muy pequeñas, el edificio se puede recalentar muy rápidamente”, siendo por lo tanto necesario realizar un estudio previo del confort térmico mediante métodos simplificados o simulaciones en las estancias críticas con grandes ganancias internas o fuertes ganancias solares.

A partir de estos datos, los autores utilizan dos métodos de predicción del sobrecalentamiento. El primero, una simulación dinámica con un cálculo horario, y el segundo mediante un método estático que utiliza las temperaturas medias diarias incluido en la normativa danesa la instrucción BSI 202. Ambos métodos tienen una duración muy dispar, siendo mucho más elaborada la simulación dinámica. La simulación dinámica resulta más realista al poder incluir los patrones de funcionamiento (ocupación, ventilación, protección solares...). La simulación dinámica se muestra más

precisa en los periodos de primavera y verano. Ambos métodos válidos para las máximas de verano.

El estudio concluye que el objetivo de incrementar el ahorro energético provoca un empobrecimiento del clima interior, que entre de otros problemas puede causar sobrecalentamiento, que se ha materializado en las primeras viviendas pasivas y de baja energía en varios meses del periodo estival.

2.2.2.15 2011 – GLOBAL - ESTUDIO DE VIVIENDAS PASSIVHAUS EN DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS

[SCHNIEDERS *et ál.* 2011] extiende el estudio realizado en el clima mediterráneo a el resto del planeta, seleccionando para ello cinco climas característicos de la geografía mundial, climas en general extremos que van desde una ciudad situada en una región extremadamente fría, Ekaterimburgo, pasando por dos ciudades de clima subtropical cálido y húmedo, Tokio, Shanghái, y finalmente dos ciudades con clima cálido y seco, Las Vegas y Dubái. Se vuelve a recurrir al modelo de viviendas adosadas de la promoción Passivhaus en Hannover-Kronsberg sobre las cuales se realiza una simulación dinámica mediante el programa DYNBIL [FEIST 1998].

Salvo el caso de Ekaterimburgo, para las condiciones en las que se simulan las viviendas, es imposible alcanzar el confort únicamente mediante técnicas de refrigeración pasiva, por lo que se propone adecuar las viviendas con sistemas de climatización, aunque limitado a una carga de refrigeración $<10 \text{ W/m}^2$.

En resumen, este estudio trata de evaluar las demandas anuales de energía y las cargas tanto de calefacción como de refrigeración para poder mantenerse dentro de los parámetros de confort definidos por el estudio anterior de [SCHNIEDERS 2009]. Algunos valores obtenidos por este estudio se resumen en la Tabla 2.25.

Tabla 2.25. Demandas de energía y cargas de calefacción y refrigeración para un edificio Passivhaus y un edificio sin aislar en cinco ciudades alrededor del mundo.

Ciudad	Demanda de energía (20°C) para calefacción (kWh/m ² a)		Demanda de energía (26°C) para refrigeración (kWh/m ² a)		Demanda para deshumidificación (70% HR) (kWh/m ² a)		Carga media diaria de calefacción (W/m ²)		Carga media diaria de refrigeración sensible (W/m ²)		Carga media diaria de refrigeración latente (W/m ²)	
	PH	RE	PH	RE	PH	RE	PH	RE	PH	RE	PH	RE
Ekaterimburgo	22,4	602,2	0,0	0,1	0,0	0,0	10,3	191,5	0,9	8,4	0,9	1,1
Tokio	13,0	205,5	1,2	10,4	8,4	14,5	9,7	77,7	3,4	21,3	8,2	13,7
Shanghái	9,9	160,8	7,7	37,0	10,2	23,5	10,1	79,1	7,2	42,8	5,9	16,0
Las Vegas	13,2	103,3	12,0	76,9	0,0	0,0	9,3	61,9	10,3	51,8	0,0	0,0
Dubái	0,0	1,1	38,7	201,6	10,0	28,3	0,0	4,1	10,0	59,9	4,8	18,3

PH: Edificio Passivhaus, RE: Edificio de referencia sin aislar

Elaboración propia a partir de [SCHNIEDERS et ál. 2011]

2.2.2.16 2011 – LONDRES: EDIFICIO DE MADERA CONTRALAMINADA MURRAY GROVE.

[JOWETT 2011] hace un estudio del comportamiento en verano de un edificio de viviendas situado en Hackney, Londres construido con un sistema de paneles de madera contralaminados (Cross Laminated Timber, CLT). Las viviendas son de alquiler social, y se trata de uno de los primeros edificios en altura construidos con este material. Consta de planta baja y 8 plantas de vivienda, y tres o cuatro apartamentos por planta, con un núcleo en el que se desarrollan las escaleras y los ascensores. Las tres primeras plantas están destinadas a viviendas sociales y tienen su ascensor y escaleras propios, y las plantas 4^a-8^a están son en propiedad y mantienen una única escalera y ascensor (Fig. 2.32).

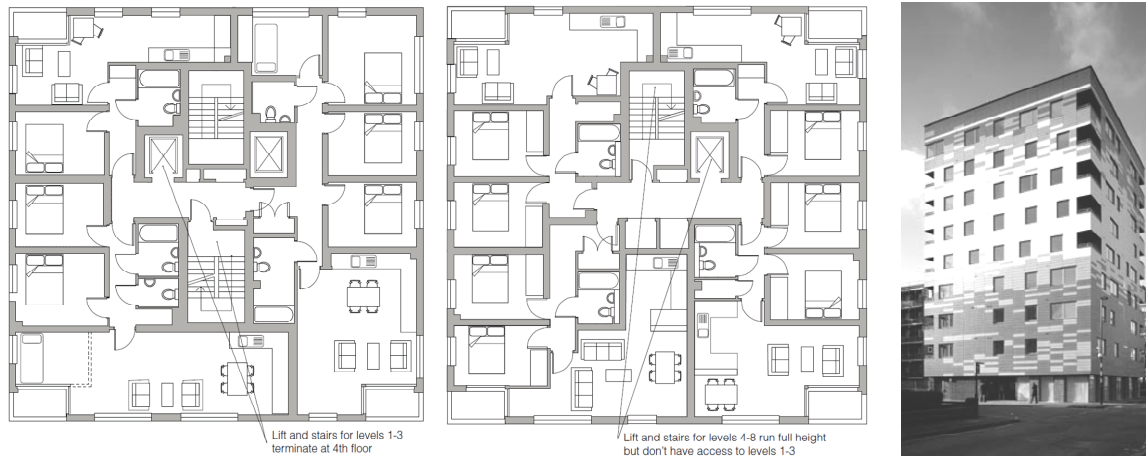


Figura 2.32. De izquierda a derecha, plantas 1^a-3^a, plantas 4^a-8^a, e imagen exterior. TRADA technology, www.trada.co.uk y Waugh Thistleton Architects.

La torre se conforma con los apartamentos alrededor de un núcleo generando una estructura de nido de abeja. Los muros de carga de CLT dotan al edificio de una gran resistencia y un buen comportamiento acústico entre apartamentos y separación con escaleras. Las fachadas alcanzan un valor de transmitancia $U=0,15 \text{ Wm}^2/\text{K}$ con solamente 100 mm de aislamiento debido a los 128 mm de CLT. Las ventanas sin embargo tienen un valor relativamente alto, de $U= 1,98 \text{ Wm}^2/\text{K}$. Todo el edificio se construye en paneles de CLT, salvo el sótano que se realiza en hormigón armado. El edificio no dispone de ventilación mecánica, y tiene 55 mm de recocado de mortero en el suelo (Fig. 2.33). Las viviendas tienen calderas individuales de condensación para una calefacción mediante radiadores.

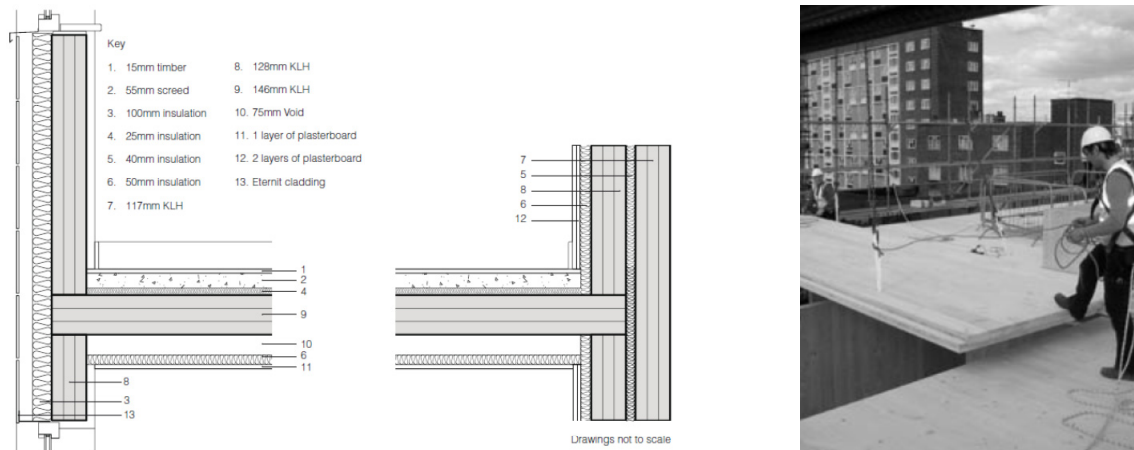


Figura 2.33. Izquierda a derecha: detalle de fachada, detalle de separación con el núcleo, construcción del edificio mediante paneles CLT. TRADA technology, www.trada.co.uk y Waugh Thistleton Architects.

El objetivo del estudio es el analizar el comportamiento de este tipo de construcción frente al sobrecalentamiento en verano. Se analizan mediante una combinación de monitorización y encuestas entre diferentes usuarios, y por otro lado mediante una simulación utilizando los datos anteriores para calibrar la dinámica térmica del edificio.

En primera fase, se busca por un lado analizar los patrones de uso de los habitantes respecto de la ventilación, realizándose mediante encuestas a los usuarios, y por otra

parte una monitorización de dos apartamentos, uno en la planta 3^a, seleccionado debido a su alta ocupación (dos adultos, dos niños y tres perros), y con un uso constante de la vivienda, localizado en el lado suroeste del bloque, y el segundo apartamento situado en el lado sureste de la planta 7^a, con una baja ocupación (Fig. 2.34).



Figura 2.34. Apartamentos monitorizados en la 3^a planta (vivienda social alta ocupación) y 7^a planta (vivienda en propiedad baja ocupación) indicando la posición de los sensores [JOWETT 2011].

El periodo de monitorización comprende un periodo corto de un mes templado y seco, del 8/04/2010 al 15/04/2010, y ningún apartamento utiliza la calefacción durante este periodo. Se constata la mayor temperatura alcanzada por el apartamento de 3^a planta con alta ocupación y orientación suroeste, y los patrones de utilización de la vivienda, por ejemplo la apertura regular de las ventanas para regular la temperatura en el apartamento de la 3^a planta y la baja ocupación del apartamento en planta 7^a.

En la fase de encuestas, se selecciona 10 residentes de los 29 apartamentos. Se pregunta a los encuestados por la duración de la apertura de las ventanas tanto en verano como en invierno, la duración del encendido de la calefacción y la calidad del aire interior. Todos menos uno señalaron la apertura de las ventanas en una o dos estancias durante el invierno para eliminar malos olores. Todos los encuestados señalan que las estancias más calientes en verano se corresponden con las que más radiación solar reciben, mientras que en invierno se corresponden con las estancias con mayores cargas internas por ocupación, cocina y aparatos eléctricos (salón-cocina) siendo los espacios menos habitados los más fríos.

En la segunda fase, se realiza una simulación dinámica y con datos de climáticos con la perspectiva de 2050 en base a emisiones medias-altas de gases con efecto invernadero. Se adopta un valor de estanqueidad al aire a partir de los test realizados de 2,02-3,82 m³/hm² a 50 Pa, por debajo de los 5,0 m³/hm² por el Código de Edificaciones Sostenibles de Londres, pero unas cinco veces superior al límite fijado por el Passivhaus Institut. Esta tasa de infiltración supone una tasa de renovación por infiltración de n_{inf} de 0,12 h⁻¹, muy por encima de n_{inf} de 0,042 h⁻¹ de media del Passivhaus.

En la simulación se compara la construcción ligera del edificio con un edificio realizado con materiales pesados pero con los mismos valores de transmitancia e infiltraciones con el fin de poder hacer un comparativo de los datos deseados. Se modelan los patrones de utilización de ocupación y funcionamiento de la calefacción según Tabla 2.26.

Tabla 2.26. Patrones de funcionamiento de ventilación natural y de ocupación

Modelo	Patrón de funcionamiento ventilación	Patrón de ocupación	Modelo climático
Edificio Existente	Funcionamiento sin calefacción con las ventanas abiertas en función de la concentración de CO ₂ y la temperatura. Puertas simuladas cerradas y ventanas programadas para abrirse con la temperatura entre 20 y 25°C o CO ₂ 800 ppm-1200 ppm.	Ocupación de dos personas por dormitorio de 23:00-8:00h, y 3 personas un ordenador e iluminación en la sala de estar de 8:00-23:00 + dos fases de 30 minutos de 1,6 kW de cargas internas por cocción a las 12:30 h y a las 19:00 h. Hall, rellanos, ascensores y cajas de escalera vacíos.	Temperaturas de Heathrow, Londres 2005
Edificio pesado			Temperaturas de Heathrow, Londres modelo 2050

Elaboración propia a partir de [JOWETT 2011]

La simulación se realiza para dos estancias monitorizadas previamente, la habitación oeste del apartamento en planta 3ª, y la habitación este del apartamento situado en la planta 7ª. Se seleccionan estas habitaciones por tener un tamaño similar y porque aunque la sala de estar es diferente tiene un aspecto similar. El resumen de resultados se muestra en la Tabla 2.27.

Tabla 2.27. Número de horas de temperatura seca en diferentes rangos

Habitación de apartamento planta 3ª				
	CLT CLIMA 2005	PESADO CLIMA 2005	CLT CLIMA 2050	PESADO CLIMA 2050
>25°	257	259	963	847
>28°	43	34	268	187
>31°	0	0	56	31
>34°	0	0	4	0
TOTAL	300	293	1291	1065
Habitación de apartamento planta 7ª				
	CLT CLIMA 2005	PESADO CLIMA 2005	CLT CLIMA 2050	PESADO CLIMA 2050
>25°	332	365	1114	1019
>28°	65	48	346	248
>31°	7	4	80	50
>34°	0	0	11	6
TOTAL	404	417	1551	1323

Elaboración propia a partir de [JOWETT 2011]

Las simulaciones para los periodos con más calor del verano dan unos valores para la construcción ligera de CLT de 1-2°C más de temperatura durante el día, y 2-3°C menos durante la noche con respecto a la construcción pesada. Utilizando las predicciones climáticas de 2050, esta variación se evidencia igualmente, con mayores diferencias entre la temperatura máxima y mínima del edificio ligero que en el pesado, que está limitada por la geometría del edificio que reduce la capacidad de enfriamiento por ventilación cruzada. La consecuencia es que se debe realizar una mayor ventilación y un mayor control solar.

Con los datos climáticos de 2005, ambas construcciones se sitúan debajo del 5% de horas (438 h) por encima de los 25°C y el 1% por encima de 28°C. Ambas

construcciones predicen incrementos importantes en los periodos de sobrecalentamiento con las predicciones climáticas de 2050. Los periodos por encima de los 25 °C son del 12,7% para la construcción de CLT y 11,6% para la construcción pesada. Los periodos por encima de 28°Cson del 2,8% en la construcción pesada y 3,9% en la ligera.

El autor concluye que este edificio demuestra una respuesta inteligente a las preocupaciones actuales y las ventajas ecológicas de la construcción en CLT, que además proporciona una respuesta térmica eficaz en términos de aislamiento, y aunque demuestra un mayor riesgo de sobrecalentamiento en predicciones futuras, lo mismo se puede decir de la construcción pesada.

Esto puede llevar a problemas de sobrecalentamiento en verano, más acusados con los modelos climáticos futuros. El cuestionario señala que intentos de refrigeración llevados a cabo por los usuarios pueden ser ineficaces. Esto se demuestra posteriormente con la simulación en la que se observa como el enfriamiento por ventilación cruzada deja de funcionar en los periodos de mayor temperatura del verano.

Asimismo, los usuarios detectan la infrutilización del sistema de calefacción, comprobando que con una mejora en el aislamiento, la estanqueidad y con unas ganancias solares suficientes, por lo menos en los apartamentos más ocupados, se puede prescindir del sistema de calefacción tradicional mediante agua, aunque es necesario realizar estudios económicos comparativos.

2.2.2.17 2011 – REINO UNIDO (NOTTINGHAM): CASA BASF.

La casa BASF es una vivienda experimental construida en un parque anexo a la Universidad de Nottingham siguiendo los estándares del Passivhaus Institut. La vivienda se desarrolla en dos plantas, una planta baja con sala de estar comedor y cocina en un único espacio además de un aseo y trastero, y una segunda planta con tres dormitorios y un baño (Fig. 2.35).

Ambas plantas disponen en la fachada sur de un espacio vidriado que hace de colchón para regular las temperaturas y aprovechamiento solar en invierno. La construcción de la planta baja se realiza mediante un sistema de encofrado perdido de piezas aislantes en poliestireno expandido mejorado con grafito (Neopor), que tiene una baja conductividad y alta densidad. Este encofrado sirve para la realización de un muro de hormigón armado in situ. LA segunda planta sin embargo se construye con paneles estructurales aislados

Se instala un sistema de intercambio tierra aire, que combinado con la instalación de 100 m² de paneles de cartón yeso con materiales de cambio de fase (PCM), tratan de contribuir a un enfriamiento pasivo durante el verano, construido con los paneles BASF Knauf Micronal DS 5000 X, con un punto de fusión de 23°C.



Figura 2.35. Imágenes de la Casa BASF. Derecha a izquierda: Imagen del exterior, cuarto principal y sección con el intercambiador tierra-aire [RODRIGUES, GILLOTT 2011].

Se lleva a cabo una monitorización de la vivienda durante el mes de julio mientras es utilizada por estudiantes de la Universidad de Nottingham [RODRIGUES, GILLOTT 2011]. En general es ocupada por una pareja y otra persona, pero es visitada y utilizada por numerosas personas a lo largo del día.

Los criterios utilizados para medir el sobrecalentamiento son los recogidos por la Guía A del CIBSE [CIBSE 2006], que establece un tope de 23°C en los dormitorios, no pudiendo sobrepasar 26°C más del 1% del tiempo, y un límite de 26°C en la sala de estar, no pudiendo sobrepasar 28°C más del 1% del tiempo.

Se monitorizan durante el mes de julio temperaturas por encima de 25°C, en la habitación suroeste durante el 25% del tiempo, en la habitación sureste 23% del tiempo, y solo 6% en la habitación norte; sin embargo en la sala de estar de la planta baja no se supera el 1% de horas por encima de 25°C. Se explica que estos sobrecalentamientos en la planta alta pueden deberse al aire caliente que llega tanto de la planta baja como de los espacios colchón en fachada. También se explica que las habitaciones tienen sobrecalentamientos también durante la noche, alcanzándose el pico de temperatura interior de 19:00-6:00 h entre mayo y agosto en la habitación suroeste con 31,8°C. En esta habitación y en el periodo anteriormente descrito se superan los 23°C durante el 9% del tiempo, siendo el 3,6% del tiempo mayores de 26°C.

Una encuesta posterior sobre la sensación de sobrecalentamiento revela datos interesantes sobre la percepción cultural de la temperatura. Un ocupante de origen chileno prefería las habitaciones calientes, mientras que el otro ocupante, de origen inglés, prefería el entorno bien ventilado más que caliente, así que abría las ventanas incluso en periodos con frío. Ambos señalaban que durante la noche de los periodos cálidos, mantenían las ventanas abiertas al espacio colchón, pero no dejaban abiertas las ventanas exteriores abiertas por el ruido de una carretera cercana.

2.2.2.18 2011 – AQUITANIA: ESTUDIO DE CONFORT DE VERANO DE VIVIENDAS CONSTRUIDAS CON MADERA EN EL CLIMA ATLÁNTICO

El consejo Regional de Aquitania junto con la Agencia francesa del Medioambiente y de Gestión de la energía (ADEME) promovieron en 2007 la realización de 5 proyectos de entre 10 y 40 viviendas de bajo consumo energético, inscrito dentro del programa ALIENOR, buscando incitar la producción de viviendas de características energéticas y medioambientales siguiendo los modelos del norte de Europa como referencia, es decir, bajo consumo energético, utilización de materiales derivados de la madera (Fig. 2.36).

Dentro de este programa, [DECKER *et ál.* 2011] llevan a cabo diferentes estudios sobre viviendas construidas con un uso intensivo de la madera, que incluyen análisis de confort y medidas de mejora a partir de estrategias bioclimáticas y de la utilización de

elementos de mejora de la inercia térmica. Los edificios estudiados en este trabajo son por un lado una vivienda experimental presentada al Solar Decathlon 2010 en Madrid denominada "Navepomo", una vivienda bifamiliar construida con pino marítimo situada en Taillan-Medoc (44° 54' 19.08" N, 0° 40' 6.96" W), y una tercera vivienda unifamiliar en Arrousets (43° 30' 0" N, 1° 29' 0" W).



Figura 2.36. Vivienda experimental Navepomo, vivienda bifamiliar en Taillan-Medoc y vivienda en Arrousets [DECKER et ál. 2011].

Uno de los objetivos principales es investigar las consecuencias en el confort de verano de la utilización de materiales ligeros como es la madera en edificios de bajo consumo energético en un clima cálido y húmedo como es la región de Aquitania. El estudio se basa en la normativa francesa desarrollando un nuevo modelo de confort a partir de dos premisas, limitar la temperatura interior a un máximo de 28°C, y añadiendo un criterio de confort adaptativo, limitando a un máximo del 8% horas fuera de las zonas de confort. A partir de estos criterios se han desarrollado otros proyectos en Aquitania recogidos en [www.constructionsdurablesaquitaine.com].

En cuanto a los sistemas de mejora del confort se desarrollan dos conceptos, uno de mejora de la inercia térmica (Aislamiento de alta densidad, PCM, madera masiva, fachadas vegetales) y sistemas de refrigeración pasivos (Sobre ventilación mecánica, aumento de la ventilación forzada, sistemas Tierra-Aire, mejora de la ventilación con PCM).

Los tres han sido monitorizados, pero el que mejor cuadro comparativo lo da la vivienda bifamiliar en Taillan-Medoc ya que se puede compara con otra vivienda bifamiliar de la promoción con las mismas características espaciales (la promoción consta de 41 en total en 9 bloques), pero construidas con prestaciones inferiores. Los edificios de referencia se monitorizan desde septiembre de 2009 mientras que los edificios de Bajo consumo lo hacen desde febrero de 2010. Los resultados del consumo energético de calefacción muestran un consumo de las viviendas de referencia de 29 y 36 kWh/m²a en el invierno de 2009-2010, mientras que en la vivienda de bajo consumo es de 6,1 kWh/m²a en el invierno de 2010-2011.

En cuanto a las temperaturas interiores, se toman mediciones en diferentes puntos de la planta baja y de la planta primera de dos viviendas de referencia y en las de bajo consumo energético durante el verano de 2010. Los resultados muestran unas temperaturas interiores menores en las viviendas de bajo consumo, seguramente debido al mayor aislamiento y al sistema Tierra-Aire. Considerando los márgenes de confort establecidos, se señala que se cumplen los requisitos, sin embargo se muestran para el periodo una media de 700 horas por encima de 25°C, muy por encima del límite anual establecido por el PHI de 5% de horas anuales.

Las conclusiones a las que llega este estudio establecen que para construir viviendas en madera en el clima atlántico de Aquitania manteniendo el confort en verano, es necesario un nivel relativamente elevado de aislamiento, una arquitectura compacta, una mejora de la inercia y la utilización de sistemas innovadores basados en los PCM.

2.2.2.19 2012 – HOLANDA: 441 VIVIENDAS VIVIEDAS DE BAJO CONSUMO ENERGÉTICO, PASSIVHAUS Y VIVIENDAS ENERGÍA CERO.

[MLECNIK *et ál* 2012] realizan un estudio de post ocupación sobre 441 viviendas de bajo consumo energético, Passivhaus o viviendas de Energía Cero. Se enfoca el trabajo sobre el clima interior, calidad del aire, ruido, control e información. En concreto sobre el confort interior se realizan 58 preguntas. Del total de cuestionarios, se devuelven completos 90, lo que sirve de base para la realización de este estudio. Todas las encuestas se refieren a viviendas nuevas en diferentes tipologías, desde aislada, adosada y tipologías de viviendas colectivas.

En cuanto a la satisfacción con el clima interior, seis usuarios respondieron (7%) que no estaban satisfechos con el clima interior en el salón durante el verano y 14 respondieron (16%) que no lo estaban con el clima interior en la habitación en el mismo periodo. Veintinueve respondieron (34%) que la temperatura interior en el salón era demasiado alta (por lo menos algunas veces) y el 49% encontraron la habitación demasiado caliente en verano.

Se señala que posiblemente la razón de la relativamente alta proporción de insatisfechos en lo referente al clima interior de las habitaciones en verano puede ser atribuida a aspectos del diseño arquitectónico como la orientación sur en habitaciones y la carencia de sistemas de protección solar. La disponibilidad de los mecanismo de protección solar se investigaron utilizando varias de la preguntas. En los salones, el 71% de los 88 usuarios tenía un sistema de protección solar instalado, el 14% tenía una protección solar estructural horizontal y el 16% no tenía un sistema de protección solar en todas las ventanas. En cuanto a las habitaciones, el 55% de 85 usuarios tenía un sistema exterior de protección solar, el 9% tenían un voladizo estructural horizontal y el 35% no tenía ningún tipo de protección solar. En lo que se refiere a la disponibilidad y el uso de los sistemas de protección solar internos, el 40% de 86 usuarios tenía un sistema de este tipo en los salones, siendo utilizado el 83%. El 48% de los 85 usuarios disponía de un sistema de protección solar interno en las habitaciones, utilizándolos el 90%.

También algunos casos de insatisfacción con la temperatura interior se pudieron deber a fallos en el sistema de ventilación, como puede ser el mal funcionamiento del by-pass, conduciendo a altas temperaturas internas.

Los datos sobre la humedad durante el verano denotan que solo un 9% (de 87 respuestas) experimentaron un aire demasiado seco en los salones, y el 6% señalaron que el aire era demasiado seco en las habitaciones. Por el contrario, el 3% describieron un aire demasiado húmedo en los salones, mientras que un 6% lo percibieron demasiado húmedo en las habitaciones.

Este estudio, señalan los autores, confirma que, como en otros países, los niveles de confort percibidos en las viviendas de consumo energético casi cero en Holanda son generalmente altos, y un conocimiento de esto puede ser una atracción para potenciales consumidores. Sin embargo, los niveles de confort percibidos son generalmente independientes de la categoría energética alcanzada, y futuras investigaciones son necesarias para confirmar hasta qué punto la percepción en las Casas Pasivas es diferente, ya que el muestreo se considera demasiado pequeño. El estudio destaca que

deben prestarse más atención al sobrecalentamiento en verano y los problemas de calidad del aire (en particular la humedad), y los problemas con la regulación de la temperatura en invierno.

Se señalan asimismo como una barrera a la adopción de estándares de viviendas de energía casi cero una percepción de confort de verano y/o la calidad del aire insuficientes, independientemente del nivel energético alcanzado por la vivienda. Algunos usuarios se muestran insatisfechos con los niveles de confort en lo referente a la temperatura interior durante el verano, particularmente en las habitaciones, así como de la calidad del aire, siendo esto algunas veces achacable a errores de diseño arquitectónico y en otras a deficiencias en las instalaciones de ventilación como la carencia de como el by-pass.

Los usuarios relacionan los niveles de confort directamente con los sistemas de ventilación y calefacción. Una ejecución cuidadosa, incluida la protección contra el ruido, un control de la humedad del aire suficiente y estrategias de renovación de malos olores, son puntos críticos en para el perfeccionamiento en todas las categorías de vivienda. No se deben olvidar aspectos como dotar de manuales de utilización asequibles de los sistemas de control, información oral de las instrucciones de uso, así como manuales escritos. Por ejemplo, se señala que la percepción de niveles pobres de calidad del aire en invierno, en general demasiado seco, así como ruido y malos olores, pueden ser evitados con un uso adecuado de los sistemas HVAC. En particular, en relación con la primera ocupación, la importancia de la fase de arrancado de la calefacción, ventilación y los sistemas de control, pueden ser vitales para una eficiencia óptima, siendo los usuarios los más adecuados para detectar y mejorar las deficiencias.

El estudio concluyo que una barrera para la adopción de las viviendas de energía casi cero puede ser una baja percepción de confort de verano, ya que como demuestra este estudio, algunos usuarios se mostraban su malestar con las temperaturas interiores estivales, sobre todo en los dormitorios.

2.2.2.20 2012 – LISBOA: ESTUDIO COMPARATIVO DE DOS VIVIENDAS UNIFAMILIARES.

[CARRILHO DA GRAÇA *et ál* 2012] llega a las mismas conclusiones que [SCHNIEDERS 2009] en un estudio comparativo de dos viviendas prototipo de consumo de Energía Casi Cero (Net Zero Energy Building (NZEB) en su denominación inglesa) en el contexto climático de Lisboa. Compara un edificio NZEB con grandes superficies acristaladas del 55%, 60,3 m² (utilizando protección solar interior) con un edificio idéntico con el estándar Passivhaus y una superficie acristalada más moderada del 21%, 23,0 m² (utilizando protección solar exterior). Ambos modelos son viviendas unifamiliares de una sola planta de 110 m².

El modelo de vivienda Passivhaus requiere estrategias de control climático que puedan asegurar el confort tanto en invierno como en verano a fin de reducir la demanda de energía. El modelo propuesto para Portugal y utilizado en este estudio, adopta una envolvente relativamente poco aislada y estanca, un óptimo uso de las ganancias solares, protección solar exterior, alta inercia térmica expuesta a la radiación solar, y una ventilación natural similar al utilizado por los mismos autores en el proyecto [PASSIVE-ON 2007].

En la Tabla 2.28. se muestran los valores adoptados para dicha simulación junto con los valores máximos de la normativa en Portugal, siguiendo sistemas constructivos habituales en Portugal, aunque por encima de los demandados por la normativa.

Componente	Valor Adoptado	Valor Normativa
Cubierta: Aislamiento de 15 cm, forjado de hormigón aligerado.	0,23 W/m ² K	1,20 W/m ² K
Solera: Aislamiento de 8 cm y 15 cm de hormigón.	0,41 W/m ² K	No hay un valor máximo
Fachada: Tabique doble aislado por en cámara con 10 cm, sin cámara de aire.	0,32 W/m ² K	1,45 W/m ² K
Tabiques de ladrillo perforado 11 cm enlucido		
Ventanas dobles con lámina de baja emisividad, g = 0,63, protegidas con persianas salvo el baño.	1,80 W/m ² K	No hay un valor máximo
Protección solar: Externa en la vivienda (P), interna en la vivienda (G). Se activan cuando la radiación solar incidente en la ventana supera los 150 W/m ² y las zonas están en modo refrigeración		
Elaboración propia a partir de [CARRILHO DA GRAÇA et ál 2012]		

En la Figura 2.37 se describen las características geométricas de los dos modelos analizados.

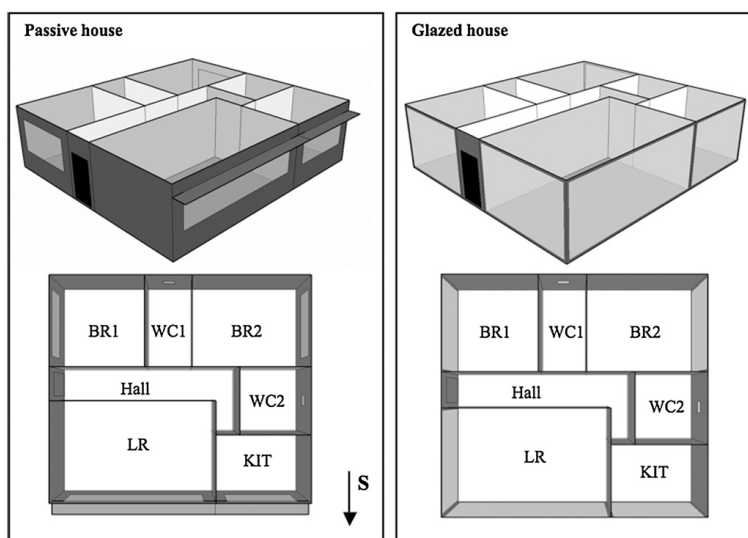


Figura 2.37. Modelos utilizados por [CARRILHO DA GRAÇA et ál 2012]. Izquierda, Casa Pasiva con superficie de ventanas moderadas y gran protección solar exterior (P). Derecha NZEB muy acristalada y protecciones solares interiores (G) [CARRILHO DA GRAÇA et ál 2012].

Se simulan ambos modelos mediante el programa de código abierto EnergyPlus analizando diferentes espacios de la vivienda y con dos modelos, uno sin sistemas de acondicionamiento y un segundo dotado de un sistema de calefacción y refrigeración en los diferentes espacios.

En el modelo simulado sin sistemas mecánicos de acondicionamiento, se toma como premisa el grado de confort a partir de un análisis de la temperatura operativa interior (media entre la temperatura del aire y la temperatura radiante), que no debe sobrepasar

los 25°C. Esta simplificación es válida para actividades casi sedentarias y sin que los usuarios reciban radiación solar directa y velocidad del aire inferior a 0,2 m/s.

La simulación señala como era de esperar un número significativamente alto de horas con sobrecalentamiento para el modelo (G). El salón puede sobrepasar los 28°C en una media de horas de 11 h por día durante la temporada de verano. Por el contrario, la casa pasiva (P) tiene un número de horas casi despreciable por encima de los 28°C. Como es de esperar, el incremento del área acristalada en la vivienda (G) reduce el número de días con necesidad de calefacción, ya que la vivienda es capaz de recibir mayor energía solar, y aunque la vivienda pasiva tiene menores ganancias solares, todavía tiene unos buenos resultados.

Se observa que la casa (P) tiene unas temperaturas menores y con menores fluctuaciones entre el día y la noche. En invierno, la vivienda (P) tiende a estar por encima de 20°C, mientras que la vivienda (G) puede sobrepasar esta temperatura durante el día. En otoño y primavera, cuando las temperaturas son moderadas y hay mayor radiación solar, la vivienda (G) tiende a sobrecalentarse (temperatura de confort mayor de 25°C). Durante una semana cálida de verano, la casa (P) puede permanecer por debajo de la temperatura exterior y por debajo de 28°C, mientras que la vivienda (G) muestra periodos persistentes sobre 30°C. En conjunto, ambas viviendas tienen un buen rendimiento pasivo en invierno. Esto es lo esperado cuando se asocia a un sistema de alta inercia térmica. En el caso de la vivienda (G), la inercia térmica conduce a una carga de refrigeración excesiva.

El mismo estudio realiza un interesante estudio sobre las orientaciones más apropiadas para ambos modelos. Se muestra que la suma de demanda de calefacción y refrigeración para la casa pasiva (P) y la vivienda acristalada (G) en diferentes orientaciones, donde se observa que la mejor orientación es la de la casa pasiva (P) con 350°, y la peor la de la casa acristalada (G) con 300°. En el mejor caso, la casa pasiva a 350°, la sala de estar tiene una demanda de calefacción de 30 W/m² y una demanda de refrigeración de 40 W/m². Para la peor opción, la casa (G) a 300°, la sala tiene una demanda similar de calefacción de uno 35 30 W/m², sin embargo la demanda de refrigeración alcanza 175 30 W/m².

Se concluye que la casa (G) presenta demandas de refrigeración y de calefacción durante la temporada de calefacción (De mediados de noviembre hasta mediados de marzo).

Las demandas anuales de calefacción y refrigeración de estas dos situaciones se señalan en la Tabla 2.29, observándose los elevados valores de demanda de refrigeración en la vivienda (G).

Casa	Calefacción (KWh/m ² a)	Refrigeración (KWh/m ² a)
P	12,3	3,0
G	8,8	86,8

Elaboración propia a partir de [CARRILHO DA GRAÇA et ál 2012]

Se concluye que el edificio altamente acristalado tiene mayores riesgos de sufrir sobrecalentamiento, con temperaturas en la sala de estar superiores a los 28°C durante

más del 46% del tiempo en verano. Comparativamente, la extremadamente sombreada casa Passivhaus raramente excede estos límites. Con estos dos modelos se realiza un estudio económico comparativo.

2.2.2.21 2012 – ALPES: EVALUACIÓN DEL CONFORT EN 46 EDIFICIOS PASIVOS. PROYECTO ENERBUILD TOOL

[EURAC 2012] realiza la monitorización de viviendas pasivas en el entorno de los Alpes comprendiendo los países de Italia, Alemania, Suiza, Austria y Francia. En primer lugar se realiza un cuestionario de Evaluación de Post Ocupación para evaluar la satisfacción general y el uso de los edificios. Posteriormente se realiza una monitorización cuantitativa de gran duración para evaluar los consumos de energía final y primaria y los niveles de confort. En total se estudian 32 edificios de viviendas, tanto en construcción masiva como en construcción ligera, de los cuales doce corresponden con vivienda colectiva y de estos once son viviendas sociales.

Se observa que el porcentaje de personas que opina que en invierno tiene una sensación de frío o algo frío el 24,5%, en verano sienten como levemente cálido, caluroso o muy caluroso el 49%, siendo los usuarios que sienten un ambiente caluroso o muy caluroso el 10,2%.

Se añaden las frecuencias con las que se abren las ventanas y la duración durante el verano y duración de la misma. En cuanto a las frecuencias, el 25% responde 2 veces al día, el 22,9% más de 4 veces y el 16,7% solo durante la noche. La duración de la apertura es para el 39,6% más de 60 minutos y para el 25% entre 30 y 60 minutos.

También es significativo el dato del confort acústico que genera la ventilación tanto de día como de noche. Vemos que sobretodo de noche hay un 19,6% de usuarios que valoran el ruido de la ventilación como negativo o muy negativo.

En cuanto al consumo de energía predicho por el programa PHPP y los datos monitorizados se observa una discrepancia considerable en un gran número de las promociones. Sin embargo los datos se acercan mucho más cuando los datos se corrigen en los términos de temperatura interior, datos exteriores del clima y cuando se tienen en cuenta las costumbres de los usuarios.

En la misma región alpina, un estudio en este caso sobre 46 edificios públicos revela los mismos problemas ante el confort de verano. Sobre un máximo de 150 puntos en la apreciación de confort de verano, la media de los edificios obtiene aproximadamente 47 puntos. En [BERCHTOLD 2012] podemos encontrar un resumen de los resultados de encuestas sobre el confort en 46 edificios públicos en la región de los Alpes dentro del estudio ENERBUILD Tool: Transnational Pilot Testing on 46 Buildings and Experiences on Advisory Services.

2.2.2.22 2012 – LÉRIDA. MONITORIZACIÓN DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR PASSIVA DE CONSTRUCCIÓN LIGERA.

[BUNYESC 2012] analiza el comportamiento de una de las primeras viviendas con certificación Passivhaus construida en España, en la provincia de Lérida, con un clima severo tanto en invierno como en verano según la clasificación climática vigente en España, D3 según [CTE DB HE1 2009]. Se trata de una vivienda unifamiliar en un entorno periurbano. La vivienda desarrolla el programa alrededor un patio abierto al este, para aprovechar la luz de la mañana, y tres plantas, sótano destinado a estudio, planta baja y primera de vivienda. Tiene un diseño de vivienda adosada, pero se monitoriza como vivienda unifamiliar aislada al no tener ninguna construcción en sus laterales (Fig. 2.38).



Figura 2.38. Fachada sur, plantas baja y primera y fachada norte [DRUET et ál. 2011].

La vivienda se construye mediante un entramado de madera con 18 cm de aislamiento de lana de oveja en la fachada ($U=0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$) y 28 cm en la cubierta ($U=0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$). Las ventanas ocupan un 52,13 % al suroeste un 13,43% al norte y un 46,54% al sureste. Las carpinterías se resuelve con marcos de madera y vidrio doble de baja emisividad con una $U=1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Se disponen diferentes tipos de protecciones solares, toldos, persianas de madera y voladizos horizontales.

La ventilación se realiza a través de un sistema de ventilación mecánica dotado de un recuperador de calor de rendimiento de 70 % que se conecta a un sistema de pozo canadiense Tierra-Aire. La vivienda dispone de una caldera de condensación de gas natural de 24 kW que produce el agua caliente necesaria para la calefacción por suelo radiante y para ACS (sistema mixto) y una contribución solar conseguida con la instalación de tres paneles térmicos (80 %), superior al 50 % exigido por el CTE para esta zona. La vivienda no cuenta con un sistema de refrigeración activa.

Los dos primeros inviernos 2009-2010 y 2010-2011 se monitoriza una demanda de calefacción de $10 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, mientras que el tercer invierno 2011-2012 baja a $8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. El autor señala la exactitud con lo predicho por el [PHPP 2007-en].

La monitorización del verano de 2010 señala saltos de temperatura exteriores muy elevados, con máximas exteriores de 37°C durante el día y mínimas de 19°C durante la noche en un día típico de verano. En el interior sin embargo se mantienen máximas de 27°C y mínimas de 23°C . Si bien el programa [PHPP 2007-en] había predicho frecuencias de sobrecalentamiento por encima de 26°C del 18%, una estrategia de ventilación nocturna unido a cerrar las ventanas durante el día permite no alcanzar esos rangos en el mes monitorizado (7/6/2010-7/7/2010), y el autor se muestra optimista ante los periodos de sobrecalentamiento, si bien recomienda la utilización activa a partir de la energía solar para aquellos lugares en los que se quieran alcanzar mayores rangos de confort.

El autor concluye que es posible lograr un ahorro energético a lo largo de todo el año, siendo necesario tomar precauciones que eviten salirse de las temperaturas de confort durante el verano, como son la ventilación nocturna y la protección solar. Propone otras soluciones bioclimáticas como el patio y la vegetación de difícil utilización en vivienda colectiva.

2.2.2.23 2011 - EUROPA: ESTUDIO DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CUATRO CIUDADES EUROPEAS

[REMUND, GANTOLIER 2011] evalúan los efectos del cambio climático en cuatro localidades europeas (Estocolmo, Berna, Roma y Sevilla) según los modelos climáticos A1, B1 y A1B en una vivienda unifamiliar construida bajo el estándar Passivhaus en y la

misma vivienda construida bajo un concepto de baja energía para cumplir con ambos estándares en Bozen, Norte de Italia.

El estudio concluye que se producirán una reducción en la carga de calefacción y un aumento en la carga de refrigeración. La demanda de calefacción en algunos modelos (A2 como el que mayor incidencia del calor predice) se verá reducida entre un 30·% para Berna, 32% para Estocolmo, 47% para Roma y más de un 60% para Sevilla.

En la Tabla 2.30 se observa que mientras que en las ciudades del norte las cargas de calefacción descienden, en las ciudades del sur las cargas de refrigeración tienden a ascender. En cuanto a las frecuencias de sobrecalentamiento, se vuelven mucho más frecuentes, especialmente en la ciudad de Berna.

Tabla 2.30. Simulación en el escenario A1B en la variante más desfavorable de invierno frío y verano cálido.

	Tipo	periodo	Demanda de calefacción (W/m ²)	Carga de calefacción (W/m ²)	Demanda de refrigeración (W/m ²)	Frecuencia de exceso de temperaturas	Carga de refrigeración (W/m ²)
Sevilla	PH	2000-2009	0,6	4,5	20,2	40%	14,8
		2060	0,2	4,3	25,1	43%	16,2
	NEH	2000-2009	5,8	9,8	24,1	40%	19,0
		2060	3,5	10,1	30,8	41%	20,9
Berna	PH	2000-2009	30,8	16,7	0,5	2%	6,2
		2060	28,5	15,5	1,5	9%	8,3
	NEH	2000-2009	62,9	30,8	0,5	1%	7,1
		2060	59,0	28,8	1,5	7%	9,9
Estocolmo	PH	2000-2009	45,1	20,8	0,4	0%	4,9
		2060	38,9	19,7	0,6	3%	5,6
	NEH	2000-2009	86,1	37,5	0,3	0%	5,2
		2060	75,3	35,5	0,6	1%	6,2

[REMUND, GANTOLIER 2011]

2.2.2.24 2013 – REINO UNIDO: INVESTIGACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y RIESGOS DE SOBRECALENTAMIENTO EN EDIFICIOS PASSIVHAUS EN EL FUTURO.

[McLEOD *et ál* 2013] realizan una investigación sobre la influencia que tendrá el cambio climático según diferentes modelos probabilísticos en los edificios construidos bajo referencia Passivhaus en el Reino Unido. Para ello, utilizando como modelo las viviendas de la promoción Passivhaus en Hannover-Kronsberg, un adosado de esquina suroeste, considerando esta pieza como la que tiene una mayor posibilidad de sobrecalentamiento en verano debido a la radiación solar que recibe durante las horas del atardecer cuando existe una temperatura exterior más alta. Posteriormente realiza una serie de simulaciones introduciendo tres variantes constructivas para evaluar el funcionamiento de la inercia térmica, construcción pesada, media y ligera. Un cuarto modelo es simulado para utilizarlo como edificio de referencia, construido este según un estándar británico con unos valores de aislamiento y estanqueidad bajos pero que no llegan al estándar Passivhaus.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

No se señalan las operaciones con las protecciones solares, indicando en el texto que este no es un sistema habitual en el Reino Unido y por tanto se da por entendido que no se instalan. En cuanto a la ventilación, los tres modelos Passivhaus están dotados de un sistema de ventilación mecánica con recuperador del 85%, con un caudal constante de 30 m³/h por persona; la vivienda de referencia se ventila de forma natural. Se programa una ventilación a través de las ventanas cuando la temperatura interna sobrepasa los 22°C y mayor que la exterior, realizando una apertura progresiva de las mismas hasta un máximo de 10° de oscilación que se produce cuando se alcanza en el interior los 26°C.

Para evaluar el confort térmico considera sobrecalentamiento los valores superiores a 25°C, en consonancia con lo indicado por el PHI y recogido en el [PHPP 2007-es]. Adicionalmente, se describen los valores por encima de 28°C en la sala de estar según [CIBSE 2006] y [CIBSE 2005], así como la temperatura máxima operativa como forma de evaluar los riesgos para la salud.

En una segunda fase del estudio se evalúan cinco factores con una mayor influencia en el sobrecalentamiento, inercia térmica (baja, media y alta), porcentaje de vidrios al sur (10-60%), protecciones solares exteriores (0-100%), estanqueidad al aire (0,0042-0,042 h⁻¹) y ganancias internas (0,69 W/m² baja y 2,06 W/m² alta).

Este estudio concluye lo siguiente:

La tendencia general de los cuatro modelos a un descenso de la demanda específica de calefacción entre el periodo de control (1961-1990) y 2080, valores que alcanzan el 63% de media en las viviendas Passivhaus (de 6,83 a 2,6 kWh/m²a) y 34% en la vivienda de Referencia (de 39,3 a 26 kWh/m²a). La Tabla 2.31 resume algunos de los hallazgos de este estudio.

Tabla 2.31. Valores de los cuatro modelos de vivienda simulados para el clima de referencia 1961-1990, 2005, y para el percentil del 90% del 2030, 2050 y 2080 según el modelo A1F1.

	Demanda de calefacción (kWh/m ² a)					Carga de calefacción (W/m ²)					Ti >25°C (% horas anuales)					Ti >28°C (% horas anuales)					Ti máxima (°C)					
	PERIODO CLIMÁTICO	19961-1990	2005	2030	2050	2080	19961-1990	2005	2030	2050	2080	19961-1990	2005	2030	2050	2080	19961-1990	2005	2030	2050	2080	19961-1990	2005	2030	2050	2080
FEES		36,9	37,3	27,2	23,1	15,6	25	26,2	22,2	20,1	18,8	0	1,6	3,9	8,2	20	0	0	0	0,5	5,4	25,2	27,3	27,2	29,0	31,6
PH Pesado		5,2	4,2	2,4	2	0,4	6,3	5,9	7,2	5,4	9,1	0	0,9	2,4	6,6	18,8	0	0	0	0	3,9	24,6	26,4	26,3	28,0	30,6
PH Medio		5,7	5,2	2,9	2,4	0,7	6,5	8,6	6,1	5,6	8,1	0	1,3	3,5	7,6	19	0	0	0,3	4,4	25,1	26,9	26,9	28,7	31,5	
PH Ligero		6,7	6,3	3,4	2,9	0,9	7,1	16,1	5,8	6	4,4	0	3,2	5,8	10	20,1	0,5	0	1,2	7,2	26,4	28,5	28,6	30,2	32,9	

Elaboración propia a partir de [McLEOD et ál 2013]

El descenso de la carga de calefacción pico es mucho menos pronunciado que la demanda de calefacción ya que aunque los modelos predicen una tendencia al

calentamiento climático, se siguen produciendo periodos significativos fríos para ejercer su influencia sobre la carga de calefacción pico. En este aspecto se observa que en todos los periodos se mantiene una carga de calefacción $<10\text{W/m}^2$ mientras que el mínimo alcanzado por el edificio de referencia no baja de 20W/m^2 .

En contraste con la caída de la demanda de calefacción, se observa un aumento del riesgo de sobrecalentamiento a partir de los indicadores de porcentaje de horas $>25^\circ\text{C}$, $>28^\circ\text{C}$ y la temperatura máxima operativa. Se observa que el edificio de referencia se comporta un poco peor que la vivienda Passivhaus con inercia media, mientras que el que muestra peor comportamiento es el edificio Passivhaus de construcción ligera.

Se concluye que las viviendas Passivhaus y superaisladas tienen riesgos de sobrecalentamiento en el Reino Unido, Irlanda y Norte de Europa. En la rápida transición hacia los edificios de Consumo de Energía Cero, los diseñadores de Passivhaus y edificios de bajo consumo energético se encontrarán en la disyuntiva de conseguir objetivos de calefacción muy pequeños a expensas de un ambiente térmico interior agradable. De acuerdo con los resultados de este artículo, en un verano más cálido que la media, se pueden observar temperaturas que superan los 25°C entre el 5 y el 10% del año.

A partir de 2050, en veranos más cálidos que la media, la duración de temperaturas $>28^\circ\text{C}$ crece rápidamente en todo el tipo de viviendas estudiadas. A menos que haya un movimiento hacia del diseño a largo plazo basado en la minimización de los futuros riesgos de recalentamiento, los sistemas de refrigeración activos pueden llegar a ser un requisito de facto en Passivhaus urbana y viviendas de bajo consumo energético en el Reino Unido en los próximos 30-40 años.

Si las emisiones globales continúan por una trayectoria de escenario alto (A1F1), entonces la demanda de calefacción media de las viviendas Passivhaus en Londres es probable que caiga considerablemente (Hasta un 40%) a mediados de este siglo, mientras que la carga de calefacción se mantenga sin cambios sustanciales. En relación a los riesgos de sobrecalentamiento, el concepto Passivhaus, cuando se usa sin sistemas de refrigeración activa, parece ofrecer una ligera protección adicional con un sistema de ventilación natural en el modelo de referencia.

La eficiencia de las viviendas Passivhaus en este estudio se demuestra muy sensible a pocos datos de diseño. En particular, el riesgo de sobrecalentamiento por temperaturas $>25^\circ\text{C}$, se demuestra muy dependiente de la reducción de la transmisión solar a través de protecciones solares exteriores totales, así como al porcentaje de superficie vidriada en la fachada sur. Se demuestra que un diseño que busque una reducción de la carga de calefacción (W/m^2) frente a la demanda de calefacción ($\text{kWh/m}^2\text{a}$) produce mejores resultados en relación a la reducción de los periodos de sobrecalentamiento.

La inercia térmica juega un papel importante en la duración global de los periodos de sobrecalentamiento, relacionada con la reducción de la carga de calefacción. Sin embargo, no tiene influencia en la reducción de la demanda de calefacción. Se indica sin embargo que son necesarias investigaciones del efecto de la inercia térmica en periodos largos de olas de calor (cuando las posibilidades de la ventilación nocturna son limitadas). Los resultados les llevan a afirmar que el uso de la inercia térmica puede ser perjudicial en el caso de los dormitorios.

En cuanto a la influencia que tienen los diferentes factores analizados en el sobrecalentamiento, se concluye que el factor más importante es el porcentaje de protección solar para temperaturas $>25^\circ\text{C}$ en la vivienda y también para temperaturas $>26^\circ\text{C}$ en las habitaciones. La ocupación tiene una mayor influencia en los dormitorios.

Se realiza igualmente un ranking de la influencia de uno de los factores analizados con influencia en el sobrecalentamiento y los demás aspectos definitorios del estándar Passivhaus. Por ejemplo se ilustra que la demanda de calefacción está muy influenciada por el porcentaje de ventanas en la fachada en el modelo analizado, y este factor es cuatro veces más importante que la influencia de la inercia térmica en la demanda de calefacción. Este es un dato relevante a la hora de iniciar el proceso de diseño donde tanto una demanda de calefacción $<15\text{kWh/m}^2\text{a}$ y una carga de calefacción $<10\text{W/m}^2$ deben cumplirse para obtener la certificación Passivhaus.

Se indica que se debe prestar una atención especial a los presupuestos de diseño especialmente en contextos urbanos, donde las posibilidades de ventilación a través de las ventanas pueden ser limitadas o no ser posibles, y las ganancias internas en viviendas sociales en el Reino Unido (grandes ocupaciones) pueden ser mayores de lo que propone [PHPP 2007-en].

Se concluye que se debe realizar una definición más clara sobre los criterios de sobrecalentamiento aceptables con respecto a la morbilidad y los riesgos de mortalidad en función de la temperatura y de la CAI. La investigación sobre los riesgos que puede generar el sobrecalentamiento se deben extender a tipologías ocupadas por personas vulnerables, especialmente personas mayores y niños (apartamentos para ancianos, residencias, guarderías), en los que una combinación de grandes superficies vidriadas, ganancias internas elevadas y pocas posibilidades de ventilación a través de las ventanas a menudo coexisten. Técnicas de análisis de sensibilidad simples, que sean utilizados con el modelado de escenarios probabilísticos, proporcionan un medio para facilitar la optimización del diseño de transitorios en la cara del cambio climático acelerado.

2.2.2.25 2015: REINO UNIDO: MONITORIZACIÓN DE 23 APARTAMENTOS SOCIALES CONSTRUIDOS EN EL ESTÁNDAR PASSIVHAUS

De reciente publicación es la monitorización de 25 apartamentos sociales construidos en el estándar Passivhaus [SAMENI *et ál.* 2015]. Este estudio contiene resultados muy relevantes sobre el comportamiento de los diferentes apartamentos frente a los periodos de calor estival. Para evaluar el sobrecalentamiento este estudio utilizada los modelos propuestos por la norma inglesa CIBSE TM52 [CIBSE 2013], de carácter adaptativo, y en los casos en los del modelos adaptativo [UNE- EN 15.251:2008] así como el cumplimiento de los límites asignados por el Passivhaus Institut.

Las viviendas monitorizadas, situadas en Sampson Close Coventry, al este de Birmingham, se corresponden con una tipología de bloque de apartamentos, con tres plantas ocupadas por viviendas con un total de 18 apartamentos y 5 viviendas adosadas. El periodo de monitorización abarca diferentes meses de los veranos de 2011, 2012 y 2013 con un total de 201 días. Los apartamentos monitorizados varían en cada verano siendo 11 el primer verano, 9 el segundo y 5 el tercero (25 en total). A partir de las monitorizaciones se lleva a cabo un estudio de los patrones de ocupación y se extrapolan los datos a todo el año.

Los resultados señalan que los límites del estándar Passivhaus se superan en 18 de las 25 monitorizaciones (72%) de los apartamentos, con picos del 37% de las horas por encima de los 25°C . Dos de los apartamentos alcanzan el límite del valor anual en 45 días de monitorización del año 2011. En el año 2013, con el periodo de monitorización más largo (1 mayo-31 agosto), los 5 apartamentos superan el valor máximo anual del Passivhaus, con máximos del 32% de horas.

El estudio concluye que el factor que mayor incidencia tiene en la reducción de las horas de sobrecalentamiento es el comportamiento del usuario.

2.2.2.26 2015-MONOTORIZACIÓN VIVIENDA UNIFAMILIAR EN JUNGUITU, VITORIA-GASTEIZ

Por último, recientemente se han publicado los resultados de la monitorización y el análisis del funcionamiento de la primera vivienda pasiva construida en el País Vasco llevada a cabo por la Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea y el Laboratorio de Calidad del Gobierno Vasco junto con la Universidad de Aalborg [HIDALGO *et ál.* 2015]. La vivienda analizada forma parte de un conjunto de tres viviendas unifamiliares.

Esta vivienda unifamiliar, situada en la periferia de Vitoria-Gasteiz, se distribuye en una planta, con forma de paralelepípedo orientada según el eje este-oeste, con las estancias principales abiertas al sur y los cuartos húmedos al norte. Consta de 176 m² útiles. La vivienda tiene el certificado Passivhaus, cumpliendo con todas los requisitos del estándar.

En el periodo estival se utiliza la ventilación manual a través de las ventanas como principal sistema de confort. La protección solar la proporciona un alero en cubierta. Las ventanas no tienen sistema de protección solar.

El estudio lleva a cabo una monitorización de las ocupaciones diarias, mostrando unos perfiles de ocupación similares o incluso superiores a los designados por el Código Técnico de la Edificación, siendo algo menores en el periodo veraniego y los fines de semana.

Se constata que se produce un sobrecalentamiento según la norma ISO 7730 en el 9,8% de las horas, aumentando si se consideran las horas sin ocupación al 13,9%, mostrando que las horas más cálidas se corresponden con el atardecer cuando la vivienda está desocupada. Se concluye que las áreas con mayor problema de sobrecalentamiento son las que tienen mayor ocupación, siendo la orientación oeste la más afectada.

El análisis según el modelo de confort EN 15251 muestra que el edificio está dentro de los rangos de confort de la Categoría II en el 97% del verano.

En cuanto al criterio de horas >25°C se recogen unos periodos de 11,8% del tiempo, un 10 % más alto que el límite del estándar PH.

Se concluye que la vivienda no presenta sobrecalentamiento según los modelos adaptativos, pero sí conforme al estándar Passivhaus y a la norma ISO 7730.

2.2.3 CONCLUSIONES

A la vista de los estudios anteriormente descritos podemos llegar a las siguientes conclusiones:

-Simulaciones dinámicas:

Este mecanismo de estudio prevé horas de confort que las encuestas algunas veces no confirman. Dichas simulaciones dinámicas contienen demasiados parámetros que luego es difícil que los usuarios sigan en la realidad. Por ejemplo, [SCHNIEDERS 2009] en su estudio a partir de simulaciones dinámicas de las viviendas en adosadas de Hannover-Kronsberg en diferentes ciudades del mediterráneo europeo, establece patrones de apertura y cierre de las persianas demasiado precisos, algo solo posible con una automatización domótica de las protecciones solares. El mismo autor se cuestiona sobre

qué temperaturas y humedad son necesarias para el confort de los usuarios, y en qué condiciones podrían estar de acuerdo el clima mediterráneo. También en cómo se operan los diferentes elementos que permiten la adaptación al clima, operaciones con las persianas, ventanas, ventilación y otros factores que el estudio asume con unos valores estándar.

-Evaluaciones pos ocupación:

Aunque las encuestas a veces son limitadas en cuanto al número de usuarios que participan en las mismas, muestran claramente diferencias con las evaluaciones llevadas a cabo mediante simulaciones dinámicas o monitorizaciones. Como señala [BRUNSGAARD 2010] en el caso de las viviendas Comfort House en Dinamarca, parámetros que los diseñadores dan por hecho como son la ventilación nocturna, chocan de frente con la necesidad de seguridad al tratarse de unas viviendas que se desarrollan en planta baja.

-Tipologías y emplazamientos:

Casi todos los casos enumerados se corresponden con tipologías de viviendas unifamiliares y adosadas en entornos periurbanos. Esto tiene una incidencia enorme en los resultados finales, ya que por ejemplo se pueden producir patrones de ventilación nocturna difícilmente alcanzables en una vivienda urbana en un entorno ruidoso o contaminado. Además, dichas viviendas permiten actuar en mejoras en las protecciones solares a posteriori o en incrementos de la ventilación cruzada y por tiro entre plantas.

Sobre el aspecto tipológico, señalar que como demuestran los estudios expuestos, las horas de sobrecalentamiento se reducen en gran medida mediante la sobre ventilación nocturna y el sombreadamiento. El primer aspecto, debido a los puntos expuestos, viviendas en centro de ciudad con contaminación del aire, acústica e incluso en ciertos casos lumínica, o la falta de fachadas opuestas que permitan un buen tiro térmico puede ser compensado por el sistema de ventilación mecánica, a costa de un mayor consumo energético. En cuanto a las protecciones solares, el factor más definitorio del riesgo de sobrecalentamiento, parece más lógico a recurrir a protecciones fijas integradas en el diseño arquitectónico que a una domotización de sistemas de protección más sencillos.

-Situación:

Existe una laguna clara en cuanto a las zonas climáticas estudiadas. Los modelos construidos y monitorizados pertenecen casi todos al centro y norte de Europa, salvo raras excepciones. En cuanto a los modelos simulados, si tomamos como referencia el estudio más serio en la materia [SCHNIEDERS 2009], "*Passive Houses in South Wets Europe*", vemos que las ciudades más cercanas estudiadas se corresponden con Burdeos, Madrid y Oporto, existiendo una gran laguna entre la costa Atlántica y el Centro de la península Ibérica. Este es un hecho importante ya que la variación climática entre ambas ciudades es enorme, correspondiéndose precisamente con la situación del País Vasco y Navarra. Este hecho cobra mayor importancia si tenemos en cuenta que este estudio otorga unas condiciones de confort sin refrigeración activa para la ciudad de Burdeos, mientras que para que para la ciudad de Madrid se concluye que estaríamos al límite del confort sin un sistema de refrigeración activo, con picos de 27°C en el interior, y teniendo en cuenta el efecto del calor y el ruido en el centro urbano, no se recomienda prescindir de la refrigeración activa. En este caso, se necesitaría carga de refrigeración de 4,06 W/m² para el modelo estudiado.

-Tendencias climáticas:

Existen pocos estudios que valoren el comportamiento de los edificios en los modelos climáticos más usuales salvo [SCHNIEDERS 2009], [REMUND, GANTOLIER 2011], [McLEOD *et ál* 2013] y [JOWETT 2011], los demás estudios se limitan a valorar los edificios en base a los climas de referencia, aunque algunos estudios someten a los edificios a simulaciones en años climáticos especialmente cálidos. [SCHNIEDERS 2009] hace hincapié en el efecto de las islas de calor urbanas sobre el sobrecalentamiento del edificio, mucho más potente que el modelo climático del año 2003.

-Sensibilidad del edificio a las variantes de diseño y constructivas:

Los diferentes estudios hacen referencia a algunos o varios de los factores determinantes en el comportamiento del edificio tanto en invierno como en verano. Aspectos como el aislamiento (de fachadas y cubiertas, compacidad, puentes térmicos, tipos de ventanas y vidrios), ventilación, estanqueidad al aire, vidrios (superficie orientación y tipos), efectos dinámicos (inercia térmica y ventilación nocturna) y protecciones solares. Casi todos los estudios, referidos al norte o centro de Europa diseñan estrategias enfocadas a la conservación de calor, correspondientes a estas zonas climáticas, aunque sea a costa de empeorar en algunos casos el confort de verano de los edificios. Nuevamente, el estudio de [SCHNIEDERS 2009] es el que más profundiza en estos aspectos, aunque sin llegar a desarrollar qué combinaciones son más o menos favorables. [McLEOD *et ál* 2013] sí desarrolla una metodología para determinar qué combinaciones pueden llegar a influenciar más en el riesgo de sobrecalentamiento del edificio.

En cuanto a la inercia térmica, el mismo [SCHNIEDERS 2009] reconoce que es un asunto aún por desarrollar, olvidado en los países de norte de Europa ya que salvo los edificios muy ligeros, no aporta mayores ventajas respecto a las construcciones sólidas.

-Sensibilidad del edificio a los patrones de uso:

Todas las simulaciones se muestran de acuerdo en que los patrones de uso son fundamentales a la hora de cuantificar las horas de sobrecalentamiento que tiene el edificio, fundamentalmente las ganancias internas de calor. Estas se ven muy afectadas por la ocupación, ya que este es un factor que es aunque beneficioso en invierno, pueden llegar a afectar en gran medida a la vivienda en verano. [JOWETT 2011] muestra que aunque una vivienda con una mayor ocupación puede parecer que va a tener mayor sobrecalentamiento, el hecho de que haya por parte de los usuarios mayor interacción con la ventilación a través de las ventanas puede reducir el número de horas de sobrecalentamiento. Asimismo, la actuación de los habitantes con la apertura de las ventanas y las protecciones solares exteriores tiene un alto grado de incertidumbre, si bien se señala en varios estudios que sobre ese aspecto es de vital importancia una formación del usuario final, tanto por medio de manuales de usuario claros y sencillos hasta con reuniones con los técnicos responsables del diseño. En todo caso, es difícil de imaginar un patrón de apertura y cierre de persianas como el propuesto por [SCHNIEDERS 2009] en que debemos suponer demasiados aspectos, que el usuario está en casa todo el día, que está atento a la temperatura interior y que en función de esto va a actuar sobre las persianas hasta el punto de bajarlas completamente o casi si la temperatura interior sobrepasa los 25°C, y como señala [McLEOD *et ál* 2013] en base a una encuesta sobre usuarios de una vivienda pasiva [BERE 2012], los usuarios priorizan el confort visual (vistas, iluminación natural) al confort térmico.

Se muestra en la Tabla 2.32, 2.33 y 2.34 un resumen junto de los estudios sobre confort en verano analizados.

Tabla 2.32. Resumen de estudios sobre confort de verano en edificios Passivhaus o bajo consumo energético. NORTE DE EUROPA.

	Autores	Número	Tipología (1)	Simulación dinámica	Construidas	Monitorizadas	Encuestas	Modelo confort	Sobrecalentamiento	Medidas recomendadas por el estudio o utilizadas por los usuarios finales
SUECIA										
Goteburgo	[ISAKSSON, KARLSON 2006]	20	A	N	S	S	S	EN ISO 7730	Sí, en las plantas altas de los adosados centrales	Gran influencia de la ocupación.
Lindås	[BOSTRÖM et ál. 2003]	20	A	N	N	N	S	Encuesta	Si para la mayoría.	Ventilación natural, protección solar adicional
	[PERSSON, WESTERMAR K 2012] citando a [RUUD, LUNDIN 2004]					S			Temperaturas medias por encima de 25°C, superando los 30°C.	
	[ISAKSSON 2009]					S		Encuesta		Dificultad de controlar la ventilación mecánica para combatir el calor
Oxtorget	[SAMUELSON, LÜDDECKEN S, 2009]	8	A	N	S	N	S	Encuesta	31% exceso calor, 50% tiene más de 25°C	Orientación y falta de protección solar
	[JANSON 2010]					S	S		horas>25°C	Cortos periodos. No hay quejas de usuarios
Frillesas	[SAMUELSON, LÜDDECKEN S, 2009]	12	A	N	S	N	S	Encuesta	11% exceso calor, la mayoría tiene una media de 22°C	Orientación y falta de protección solar
	[JANSON 2010]					S	S		horas>25°C	Cortos periodos. Los usuarios han instalado persianas exteriores y se siguen quejando de temperaturas altas.
Glumslöv	[SAMUELSON, LÜDDECKEN S, 2009]								56% demasiado calor, 67% tiene más de 25°C	Orientación y falta de protección solar
Alingsås	[JANSON 2010]	8	B	N	S	S	S		horas>25°C	Se quejan los usuarios del último piso
Lambohov	[PERSSON, WESTERMAR K 2012]	2		N	S	S	N		horas>25°C	60% >26°C
DINAMARCA										
Skibet	[LARSEN, JENSEN 2011]	10	U	S	S	S	N		horas>26°C	Se superan entre 40-60 % de los periodos monitorizados.
	[BRUNSGAARD 2010]					S	S		horas>26°C	Sobrecalentamiento en tres de las viviendas
(1) U: Unifamiliar, A: Adosado, B: Bloque de apartamentos, V: Variadas										
Elaboración propia a partir de las referencias bibliográficas mencionadas.										

Tabla 2.33. Resumen de estudios sobre confort de verano en edificios Passivhaus o bajo consumo energético. CENTRO DE EUROPA

	Autores	Número	Tipología (1)	Simulación dinámica	Construidas	Monitorizadas	Encuestas	Modelo confort	Sobrecalentamiento	Medidas recomendadas por el estudio o utilizadas por los usuarios finales
ALEMANIA										
Nordrhein-Westfalen	[BERNDGEN-KAISER, FREY 2006]	150	V	N	S	N	S	Encuesta	37% encuestados opina que las temperaturas interiores son muy altas en verano	81% había instalado protecciones solares
Renania	[MAAß et ál.2008]	155	A	N	S	N	S	Encuesta	27 usuarios califican el confort de verano mediocre o malo	Protección solar insuficiente con estancias por encima de 27°C
Darmstadt	[FEIST 1999]	4	A	S	S	S	S	Horas>25°C	Depende de las medidas simuladas, muy altas sin protección solar.	Las estructuras ligeras son más sensibles al sobrecalentamiento. La ventilación es un factor fundamental
Hannover (CEPHEUS)	[FEIST et ál. 2001 a], [FEIST et ál. 2001 b]	32	A	S	S	S	8/32	Horas>25°C	95% del tiempo por debajo de 25,3°C	Ventilación como factor fundamental para evitar sobrecalentamientos
	[DANNER, VITTAR 2001].	32	A	N	N	S		Encuesta		40% de usuarios instaló un sistema de protección solar adicional
Lucerna (CEPHEUS)	[FEIST et ál. 2001 a]	4	A	S	S	S	3/4	Horas>25°C	95% del tiempo por debajo de 24,7°C	Ventilación como factor fundamental para evitar sobrecalentamientos
Alpes	[EURAC 2012]	46	V	N	S	S	46	Horas>25°C	El confort de verano alcanza puntuaciones medias encuestas, mientras que se producen diversas situaciones en las monitorizaciones	
Londres Murray Grove	[JOWETT 2011]	29	B	S	S	S	10/29	Horas>25°C	<5%	Simulación da aumento del sobrecalentamiento en climas futuros
Nottingham m. Casa Basf	[RODRIGUES, GILLOTT 2011]	1	U	S	S	S	S	Horas>23°C dormitorio y >26°C salón	Sí en alguna zonas	Las encuestas señalan variantes según el origen cultural de los usuarios
Birmingham	[SAMENI et ál. 2015]	25	B	N	S	S	N	Horas>25°C, Adaptativo	72% apartamentos con exceso de horas >25°C	No
Heusden-Zolder, Bochoit	[HASSELAAR 2008]	500	V	N	S	N	S		Problemas con el confort de verano	Rechazo de la ventilación mecánica
Holanda	[MLECNIK et ál 2012]	441	V	N	S	N	90/441	Encuesta	Porcentajes elevados de usuarios con sensación de calor	Problemas arquitectónicos (protecciones solares) y ventilación mecánica
(1) U: Unifamiliar, A: Adosado, B: Bloque de apartamentos, V: Variadas										
Elaboración propia a partir de las referencias bibliográficas mencionadas.										

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

Tabla 2.34. Resumen de estudios sobre confort de verano en edificios Passivhaus o bajo consumo energético. SUR DE EUROPA

	Autores	Número	Tipología (1)	Simulación dinámica	Construidas	Monitorizadas	Encuestas	Modelo confort	Sobrecalentamiento	Medidas recomendadas por el estudio o utilizadas por los usuarios finales
Bronzolo, Italia	[SCHMITT et ál. 2007]	8	B	N	S	S	N	Horas>25°C	Si 48% >25°C	Reducir aportes internos, mejorar ventilación mecánica
	[CATAGNA et ál 2008]	8	B	S	S	N	N	Horas>25°C	Si 13% >25°C	Mejora de la programación de la ventilación mecánica
Sur Europa	[FORD et ál. 2007]							EN 15.251		
Reino Unido		1	A	S	N	N	N	ASHRAE 55	96% <25°C	
Sevilla		1	A	S	N	N	N	EN 15.251	Se cumple confort	Control solar clave
Granada		1	A	S	N	N	N	EN 15.251	Se cumple confort	Control solar clave
Portugal		1	U	S	N	N	N	EN ISO 7730	71% <25°C	Recurrir a refrigeración activa
Milán		1	U	S	N	N	N	EN 15.251	Se superan los 27,5°C de media durante el mes de agosto	Consideran estar dentro del confort en un modelo adaptativo
Roma		1	U	S	N	N	N	EN 15.251	Se superan los 30°C de media durante el mes de agosto	Consideran estar dentro del confort en un modelo adaptativo
Palermo		1	U	S	N	N	N	EN 15.251	Se superan los 32,5°C de media durante el mes de agosto	Se debe recurrir a refrigeración activa, no siendo suficiente en periodos muy cálidos
Carpetras		1	A	S	N	N	N	Horas>25°C	Dentro del confort	Ventilación nocturna permite una refrigeración pasiva
Niza		1	A	S	N	N	N	Horas>25°C	Dentro del confort	Ventilación nocturna permite una refrigeración pasiva
Marsella	[SCHNIEDERS 2005]	1	A	S	N	N	N	Horas>25°C	Se superan en todas las variantes simuladas	Recomienda investigar patrones de uso adaptados al sur de Europa
Milán	[PINDAR et ál. 2006]	1	U	S	N	N	N		Desconfort si no se utiliza refrigeración activa	
Sur Europa	[SCHNIEDERS 2009]		A	S	N	N	N	Modelo propio Horas>25°C	Sí con sistemas activos	Se puede alcanzar el confort, en varios casos con sistemas activos y un uso de ventilación nocturna y de las protecciones solares automatizado en todos
Aquitania	[DECKER et ál. 2011]	3	U, A	S	S	S	N	menos del 8% horas>28°C	Dentro del confort	Algunas viviendas superan el criterio de 5%>25°C
Lérida	[BUNYESC 2012]		U	NO	S	S	-	>26°C	Dentro del confort	Protección solar Patio
Lisboa	[CARRILHO DA GRAÇA et ál 2012]		U	S	N	N	N	Horas>25°C	Ocasionalmente	Necesario enfriamiento activo.
Vitoria-Gasteiz	[HIDALGO et ál. 2015]	1	U	S	S	S	N	EN ISO 7730, EN 15.251, TM 52, H>25°C		

(1) U: Unifamiliar, A: Adosado, B: Bloque de apartamentos, V: Variadas

Elaboración propia a partir de las referencias bibliográficas mencionadas.

2.3 DEFINICIONES DEL CONFORT TÉRMICO INTERIOR. SOBRECALENTAMIENTO Y SUS CONSECUENCIAS

2.3.1 CONFORT TÉRMICO EN VERANO

Para evaluar el confort térmico en relación al sobrecalentamiento, se definen una métrica del sobrecalentamiento y unas zonas de confort. Los dos modelos más ampliamente adoptados son el Modelo de Balance Térmico o empíricos, definidos en Europa en la norma [UNE-EN ISO 7730:2006] desarrollado por Per Ole Fanger, y los Modelos Adaptativos, descritos en la norma europea en [UNE- EN 15.251:2008]. La normativa estadounidense sigue el mismo criterio, un modelo empírico y un modelo adaptativo recogidos ambos en [ASHRAE 55:2004] y revisiones posteriores. Los Modelos de Balance Térmico están basados en estudios con cámaras climáticas, mientras que los modelos adaptativos lo hacen sobre estudios de campo. En el Reino Unido, se sigue un criterio parecido con las normas CIBSE, la Guía A [CIBSE 2006] sigue un modelo empírico y CIBSE TM36 un modelo adaptativo, revisado en la actualidad con el documento CIBSE TM52 [CIBSE 2013]. Las guías CIBSE definen asimismo unos parámetros límites de sobrecalentamiento.

La mayoría de los estándares y normas de confort térmico actuales están basados en los estudios realizados por Fanger, y además de modelos de balance térmico, son también llamados modelos estáticos, modelos constantes o empíricos. Su modelo es la base sobre la que se desarrollan estándares internacionales mencionados, [ASHRAE 55:2004] y posteriores revisiones, [UNE-EN ISO 7730:2006] así como por el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) [CTE DB HE2 2009].

No hay un valor absoluto fijado para definir el confort térmico, como lo evidencia el amplio rango de climas habitado por el hombre. La definición más aceptada a nivel internacional recogida tanto en [UNE-EN ISO 7730:2006] como en [ASHRAE 55:2004] y versiones posteriores, señala el confort como *“la condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico”*. Desde un punto de vista del diseñador, el objetivo es construir un ambiente en el que los ocupantes se sientan térmicamente confortables. También la norma [UNE-EN ISO 7730:2006] nos señala que *“La insatisfacción puede ser originada por la incomodidad global del cuerpo debida al calor o al frío, expresada por los índices PMV y PPD o por el enfriamiento (o calentamiento) indeseado de una parte del cuerpo”*. El término “condición de la mente” nos indica que el confort térmico es subjetivo y puede ser diferente entre individuos, incluso con las mismas condiciones ambientales. Siendo el confort térmico el resultado de una experiencia física, fisiológica y psicológica, solo es posible definirlo a partir de una evidencia experimental. Sin embargo, es ampliamente reconocido que los factores físicos que determinan en mayor medida el confort térmico son la temperatura del aire, la temperatura radiante, la humedad, y la velocidad del aire. La correcta combinación de estos factores depende principalmente de la actividad metabólica (MET) y de la vestimenta (CLO).

De los factores físicos mencionados anteriormente, el más importante es la temperatura operativa t_o , que se compone de la temperatura del aire y la media de las temperaturas radiantes del recinto t_r .

2.3.2 MODELOS DE CONFORT

2.3.2.1 MODELOS EMPÍRICOS

La UNE-EN-ISO 7730 sobre Ambientes térmicos moderados, establece la determinación de los índices PMV y PPD y especificaciones de las condiciones para el bienestar térmico. Esta norma especifica métodos de medida y de evaluación de ambientes térmicos moderados y extremos en los que se desenvuelve el hombre. Presentan un método para la estimación de la sensación térmica y el grado de incomodidad (insatisfacción térmica) de las personas expuestas a ambientes térmicos moderados, y permite especificar ambientes térmicos aceptables para el bienestar. Estos índices son el Voto Medio Estimado (PMV), que refleja la opinión de un grupo de personas sobre su sensación térmica en una escala de 7 niveles, de -3 (frío) a +3 (muy caluroso), pasando por el 0 (neutro). El Porcentaje estimado de insatisfechos (PPD) establece una previsión cuantitativa del número de personas insatisfechas con el ambiente térmico, y se determina en función del PMV. La norma trata también de los índices de malestar térmico local, que son fundamentalmente las molestias por corrientes de aire: (DR = Draught Rating), que se determinan en función de la temperatura del local, la velocidad media del aire y la intensidad de la turbulencia. Finalmente comenta los ambientes térmicos aceptables para el bienestar y añade diversos anexos con tablas y programas de cálculo.

Como se puede entender directamente del alcance de la norma y luego se confirma en el desarrollo de la misma, el objetivo de la norma no es limitar las condiciones ambientales de un espacio, sino normalizar un método, basado en el modelo de balance térmico de Fanger, para dadas unas condiciones obtener un porcentaje de satisfechos. Ciertamente es que este proceso siempre se puede hacer en orden inverso, partiendo del resultado que se quiere obtener y dejando como variable aquel parámetro que se quiera. No es hasta el anexo A, de puro carácter informativo y con título "*Ejemplo de requerimientos de confort térmico para diferentes categorías de ambientes y tipos de espacio*" que la norma nos muestra unos límites de temperatura operativa.

La tabla 1 de la [UNE-EN ISO 7730:2006], define el confort térmico en una escala de siete niveles. Los votos de sensación térmica se trasladan a esta escala en sus números equivalentes, de -3 a +3 (Tabla 2.35)

+3	Muy caluroso
+2	Caluroso
+1	Ligeramente caluroso
0	Neutro
-1	Ligeramente fresco
-2	Fresco
-3	Frío
Elaboración propia según [UNE-EN ISO 7730:2006]	

[UNE-EN ISO 7730:2006], a partir de las fórmulas desarrolladas por Fanger para el cálculo PMV y fija tres clases de PVM referidas a tres clases de confort A, B y C. La clase A (PMV entre -0,5 y +0,5) es la más utilizada. Para una actividad sedentaria, la categoría A define una temperatura mínima de 21°C, la categoría B, 20°C y la categoría C, 19°C, para una humedad relativa del 40%. En verano, las temperaturas máximas definidas en función de la vestimenta adecuada van de 25,5°C para la categoría A, 26°C

para la categoría B, y 27°C para la categoría C, todas para una humedad relativa de 60%. Las tres categorías permiten una cierta fluctuación de los valores en función de los porcentajes de personas insatisfechas que se asuman (Fig. 2.39).

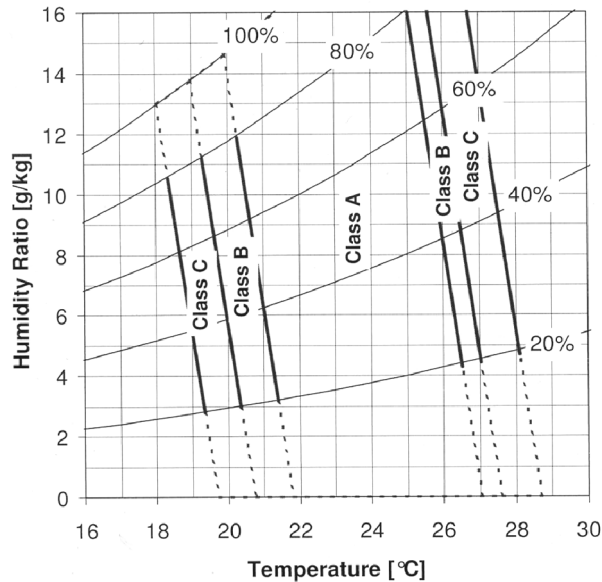


Figura 2.39. Rangos aceptables de temperatura y humedad para las diferentes categorías de la norma [UNE-EN ISO 7730:2006] [SCHNIEDERS 2009].

La norma norteamericana [ASHRAE 55:2004] y siguientes revisiones (la última en el año 2013), propone unos márgenes similares (Fig. 2.40).

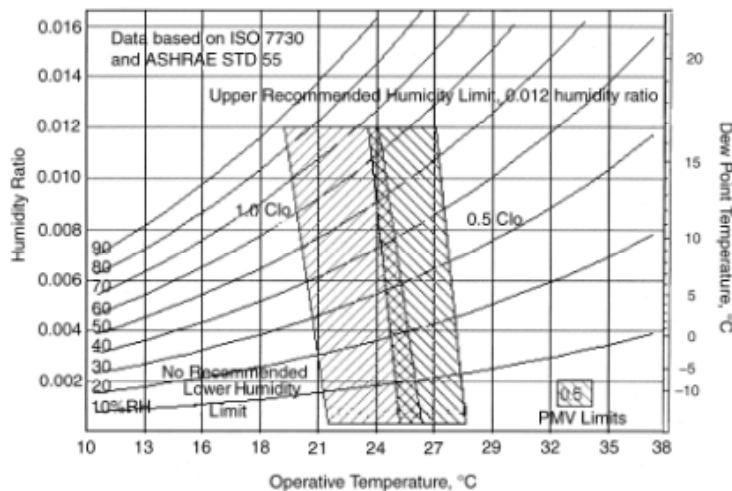


Figura 2.40. Rangos aceptables de temperatura y humedad para los espacios según [ASHRAE 55:2004] [ASHRAE 55:2004]

Según el modelo Fanger, las condiciones óptimas de confort (PMV situado entre -0,5 y +0,5), se obtienen un rango de temperaturas de entre 21°C y 26°C en condiciones clásicas de trabajo de oficina en verano. El modelo es muy sensible al grado de vestimenta CLO (4°C de temperatura entre un modelo con vestimenta de invierno y uno de verano), y a la actividad (6°C más entre una actividad sedentaria y una marcha

deportiva) y a la humedad, con una bajada de 2°C aproximadamente de la zona de confort para una humedad relativa que pase del 40% a cerca del 100%. Por el contrario, la velocidad del viento no tiene una influencia tan grande, por ejemplo un paso de 0 m/s a 1 m/s solo permite aumentar 1°C el rango de confort. En la Fig. 2.41 se puede apreciar el efecto mediante la herramienta de confort de la Universidad de Berkeley (Fig. 2.41).

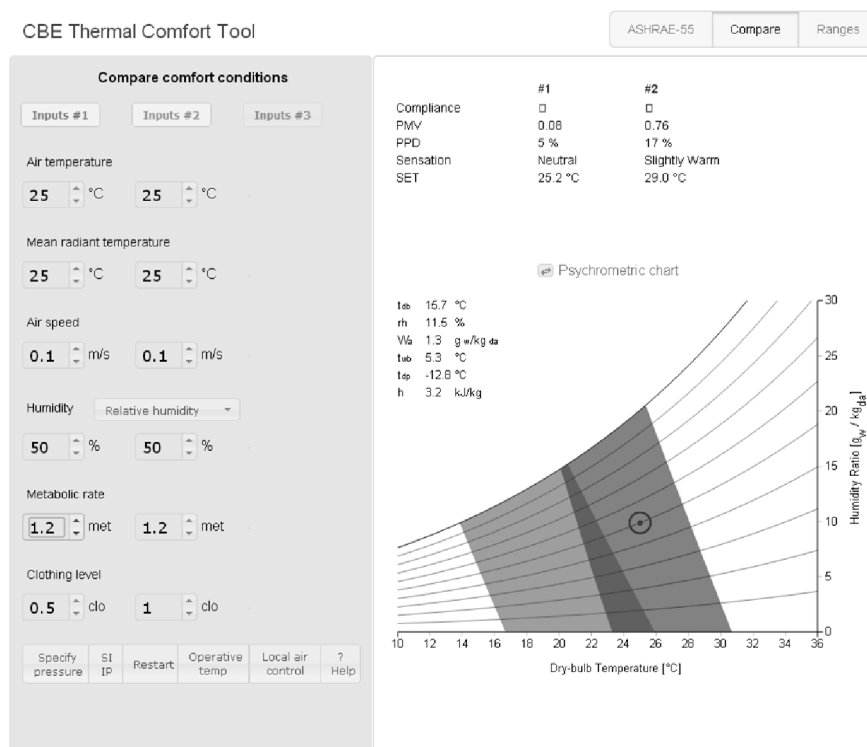


Figura 2.41. Comparativo entre dos rangos de confort según el grado de vestimenta clo, 0,5 a la izquierda y 1 a la derecha [HOYT et ál. 2013].

Señalar que en España existe otra norma que define los rangos de confort a la hora de calcular las instalaciones de climatización, el reglamento de instalaciones térmicas RITE 2007 [CTE DB HE2 2009]. Se basa fundamentalmente en la norma [UNE-EN ISO 7730:2006], describiendo unos rangos de confort similares en el apartado IT 1.1 Exigencia De Bienestar e Higiene.

HUMEDAD

[UNE-EN ISO 7730:2006] nos indica que la humedad tiene una influencia bastante limitada en espacios con temperaturas inferiores a 26°C y actividades con un valor MET<2. Un aumento de un 10% en la humedad relativa, da lugar a un aumento en la sensación térmica equivalente a un aumento de 0,3°C en la temperatura operativa. La versión anterior de esta norma restringía la humedad relativa a un intervalo de entre el 30% y el 70%, no solo por confort sino también por razones de higiene, pero en [UNE-EN ISO 7730:2006] en su Anexo F, solo nos indica que en lo relativo a la humedad, es aceptable un amplio rango de valores.

[ASHRAE 55:2004] señala el límite de humedad a 0,012 kg/kg (kilogramos de agua/kilogramos de aire), que se corresponde con una presión de vapor de agua de 1.1910 kPa, o un punto de rocío de 16,8°C. No establece unos límites inferiores en cuanto a confort, pero por cuestiones higiénicas (sequedad de la piel, irritación de ojos,

electricidad estática, etc.) se recomienda limitar el contenido mínimo de humedad. En todo caso, la humedad absoluta sí define la temperatura máxima de confort. Así, con una humedad de 0,00 kg/kg podemos llegar hasta los 28,3°C de temperatura de confort, siendo 26,8°C el límite para 0,012 kg/kg de humedad absoluta.

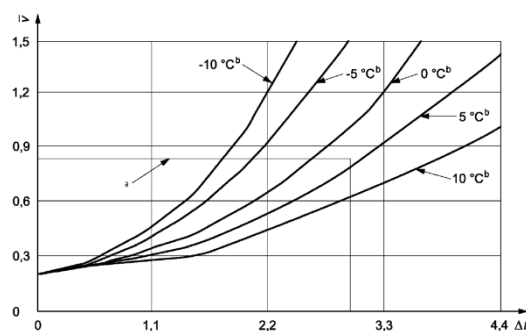
[UNE- EN 15.251:2008] establece igualmente un límite superior a la humedad absoluta de 12 g/kg. En función de las categorías, en la tabla B.26 establece unos rangos que van de un mínimo del 20% a un máximo del 70%.

El reglamento de instalaciones térmicas RITE 2007 [CTE DB HE2 2009], recomienda que en fase de diseño, en la mayoría de los usos, la humedad relativa se mantendrá alrededor del 50% en verano y del 40% en invierno. Las tolerancias en espacio y tiempo deberán ser generosas, entre $\pm 10\%$ y $\pm 15\%$, salvo situaciones que requieran un control estricto de la humedad relativa.

Mantener un valor del 40% en invierno se debe a la necesidad de reducir el consumo de energía. Es fácil calcular que la potencia térmica necesaria para tratar el aire exterior de 2 g/kg de humedad específica (condiciones medias exteriores) a 6 g/kg de humedad específica interior (correspondiente a un 40% de humedad relativa) es de 9 kW por kg/s de aire.

VELOCIDAD DEL AIRE

En cuanto a la velocidad del aire, la norma [UNE-EN ISO 7730:2006] señala en el anexo G que una forma de aumentar los rangos de temperatura es aumentando la velocidad del aire y da una gráfica para calcular el confort por encima de 26°C que se puede alcanzar a determinadas velocidades del aire. Indica que dependerá de la actividad y de la vestimenta, y la gráfica se nos facilita para unos valores de 1,2 Met y 0,5 Clo, típicos de verano (Fig. 2.42). La gráfica limita a una velocidad del aire a 0,82 m/s, a mayor velocidad los papeles vuelan y se levanta el polvo, y un aumento de temperatura hasta 29°C, similar a otros estudios.



Δt , aumento de temperatura por encima de 26°C; v, velocidad media del aire m/s; a, límites de actividad ligera y fundamentalmente sedentaria; b, (tr-ta), °C (ta temperatura del aire °C; tr, temperatura media radiante, °C. Para actividad ligera y fundamentalmente sedentaria, Δt debería ser $<3^{\circ}\text{C}$ y $v < 0,82$ m/s

Figura 2.42. Velocidad del aire necesaria para compensar el aumento de temperatura [UNE-EN ISO 7730:2006]

[ASHRAE 55:2004] señala las mismas premisas, sin embargo parece que posteriores revisiones, [ASHRAE 55:2013] tienen la intención de aumentar los rangos de confort en función de velocidades del aire elevadas. En esa dirección van los trabajos desarrollados por [HOYT *et ál.* 2013]. El efecto del viento se puede observar en la Figura 2,43.

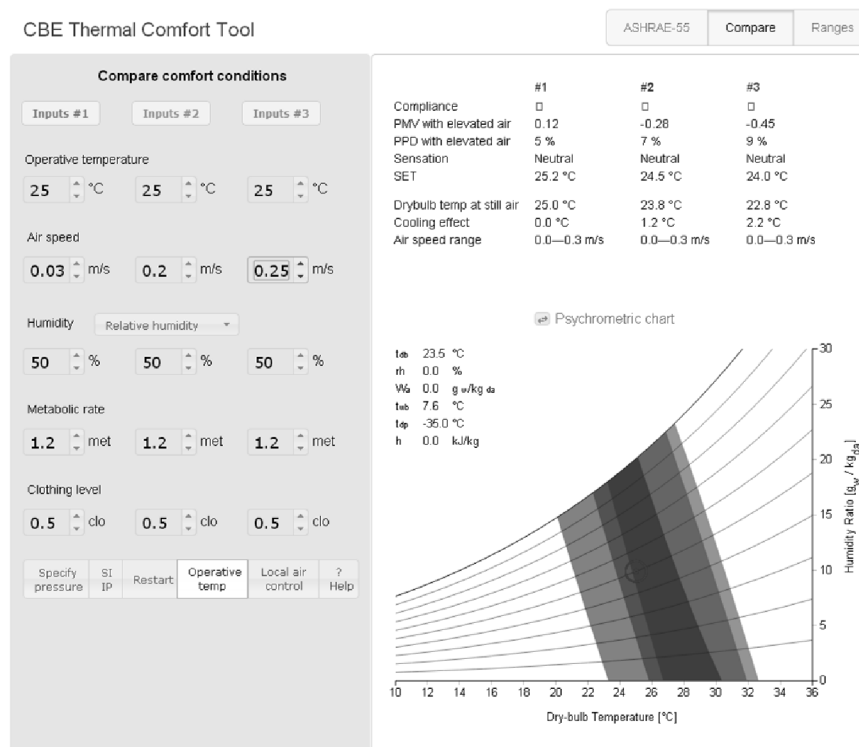


Figura 2.43. Comparativo entre dos rangos de confort según la velocidad del viento, 0,03 m/s a la izquierda, 0,2 m/s en el centro y 0,25 m/s a la derecha [HOYT et ál. 2013]

En todo caso, es difícil crear un movimiento del aire con una velocidad homogénea en una estancia, lo que además puede provocar malestar por corrientes [SCHNIEDERS 2009].

2.3.2.2 MODELOS DE CONFORT ADAPTATIVOS

A principios del siglo XXI, algunos trabajos, [DE DEAR et ál. 1997] y [ENERGY AND BUILDINGS 2002] muestran que el modelo de Fanger es válido en verano para los edificios climatizados pero no para el caso de los edificios ventilados de forma natural. Estos modelos concluyen que la sensación de confort depende en gran medida de la adaptación del individuo a su entorno. Estos trabajos demuestran especialmente que, en los edificios ventilados de forma natural, la temperatura exterior, cuando es más alta en verano, predispone a los individuos a una mayor capacidad de adaptación (Fig. 2.44).

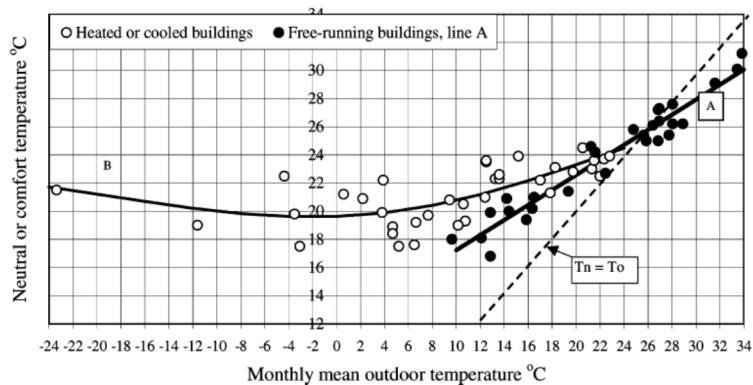


Figura 2.44. Cambio de la temperatura de confort respecto de la temperatura exterior, en el caso de edificios acondicionados mecánicamente (círculos vacíos) y edificios ventilados de forma natural (círculos rellenos) [ENERGY AND BUILDINGS 2002] a partir de M A Humphreys 1978 Outdoor temperatures and comfort indoors Building Research and Practice(J. CIB) 6(2), pp 92-105.

[DE DEAR *et ál.* 1997] realizan el estudio con 21.000 medidas en 160 edificios en diferentes zonas climáticas alrededor del mundo, tanto climatizados mecánicamente como con ventilación natural, estableciendo como rangos de confort:

- $T_{\text{conf}} = 22,6^{\circ}\text{C} + 0,04 \text{ ET} \pm \Delta$ para edificios acondicionados mecánicamente

- $T_{\text{conf}} = 18,9^{\circ}\text{C} + 0,255 \text{ ET} \pm \Delta$ para edificios con ventilación natural

donde:

-ET es la temperatura efectiva media diaria exterior

- Δ es la desviación aceptable de la temperatura de confort

Otros modelos estudios han propuesto otros rangos de confort:

- $T_{\text{conf}} = 11,9^{\circ}\text{C} + 0,534 T_m$, siendo T_m la temperatura media mensual [AULICEMS 1969]

- $T_{\text{conf}} = 18,5^{\circ}\text{C} + 0,36 T_{\text{olt}}$, siendo T_{olt} la temperatura media mensual a largo plazo [NICOL *et ál* 1999]

- $T_{\text{conf}} = 21,42^{\circ}\text{C} + 0,206 T_m$, siendo T_m la temperatura media mensual en base horaria [MCCARTNEY 2002]

- $T_{\text{conf}} = 18,8^{\circ}\text{C} + 0,33 T_m$, siendo T_m la temperatura media mensual en base horaria [NICOL 2005]

El modelo adaptativo a servido de base a las diferentes normas. En Europa, la norma [UNE- EN 15.251:2008] recoge en su Anexo A. 2, *Temperaturas interiores aceptables para el diseño de edificios sin sistemas de enfriamiento mecánico* generando una gráfica de confort adaptativo (Fig. 2.45).

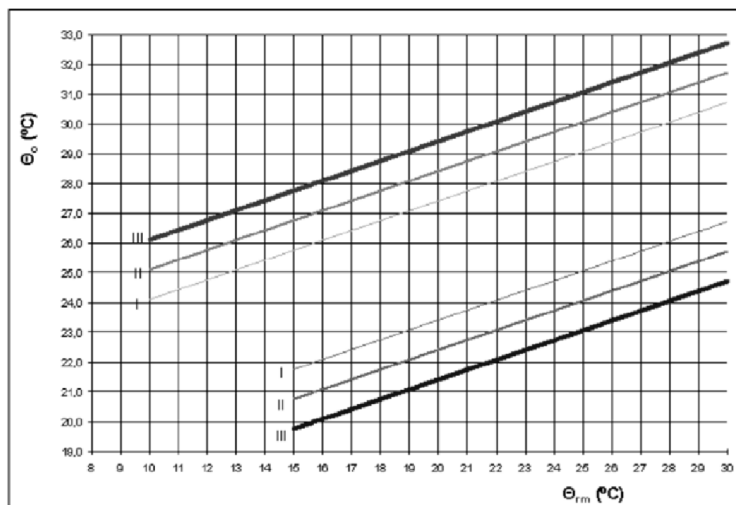


Figura 2.45. Valores de diseño de la temperatura operativa interior (θ_o) para edificios sin enfriamiento mecánico en función de la temperatura exterior media ponderada exponencialmente (θ_{rm}) [UNE- EN 15.251:2008].

El Anexo 2 de la [UNE- EN 15.251:2008], propone temperaturas interiores de verano aceptables (sin sistema de refrigeración activo) en función de las temperaturas exteriores. Estas temperaturas interiores son apropiadas para ocupantes con una actividad sedentaria compatible con el uso de vivienda (MET entre 1,0-1,3), en las que existe una posibilidad sencilla de apertura de ventanas y en la que los ocupantes puedan adaptar con facilidad su vestimenta a las condiciones exteriores. Dependiendo de la categoría del edificio, la expresión de las temperaturas máximas es:

$$\theta_i = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 \pm \Delta$$

siendo:

- θ_i , temperatura interior

- $\Delta = \pm 2$, Edificios Categoría I.

- $\Delta = \pm 3$, Edificios Categoría II.

- $\Delta = \pm 4$, Edificios Categoría III.

- θ_{rm} , temperatura promedio de funcionamiento, calculada según el apartado 3.11 de la [UNE- EN 15.251:2008]. El método simplificado de cálculo propone la siguiente ecuación:

$$-\theta_{rm} = (\theta_{ed-1} + 0,8 \theta_{ed-2} + 0,6 \theta_{ed-3} + 0,5 \theta_{ed-4} + 0,4 \theta_{ed-5} + 0,3 \theta_{ed-6} + 0,2 \theta_{ed-7}) / 3,8$$

-Donde θ_{ed-1} es la temperatura promedio exterior diaria del día anterior y así a continuación.

El anexo nos señala que la ventilación mecánica con aire no acondicionado (en verano) puede utilizarse, pero la apertura y el cerramiento de las ventanas deben ser de prioritaria importancia como medio para regular las condiciones térmicas del espacio. Aplicado a edificios ventilado naturalmente, la zona central (Zona de confort Clase I) corresponde a un PMV comprendido entre -0,5 y +0,5. Una aproximación al confort adaptativo aplicado a una semana canicular del verano de 2003 nos daría una zona de confort (Clase I) de 25-31°C, mientras que la norma [UNE-EN ISO 7730:2006] fijaría un

rango de 22-26°C. La norma advierte que para valores por encima de 25°C, se rige por una base de datos limitada.

La norma realiza una aclaración que hace respecto a la utilización de algún otro sistema de climatización como apoyo: “La ventilación mecánica con aire no acondicionado (en verano) puede utilizarse, pero la apertura y cerramiento de ventanas debe ser de prioritaria importancia como medio para regular las condiciones térmicas en el espacio. Además puede haber otros métodos de baja potencia de control personal del ambiente interior tales como ventiladores, persianas, ventilación nocturna etc.” A este respecto también dice: “Cuando los límites de temperatura adoptados presentados en el capítulo A.2 (gráfico superior) no pueden garantizarse mediante medios pasivos, el enfriamiento mecánico es inevitable. En tales casos deberían usarse los criterios de diseño para los edificios con enfriamiento mecánico.”

La norma norteamericana ASHRAE ESTÁNDAR 55, a partir del año 2004 [ASHRAE 55:2004] y siguientes revisiones propone unos márgenes similares en el punto 5.3. desarrollados por [DE DEAR et ál. 1997] (Fig. 2.46).

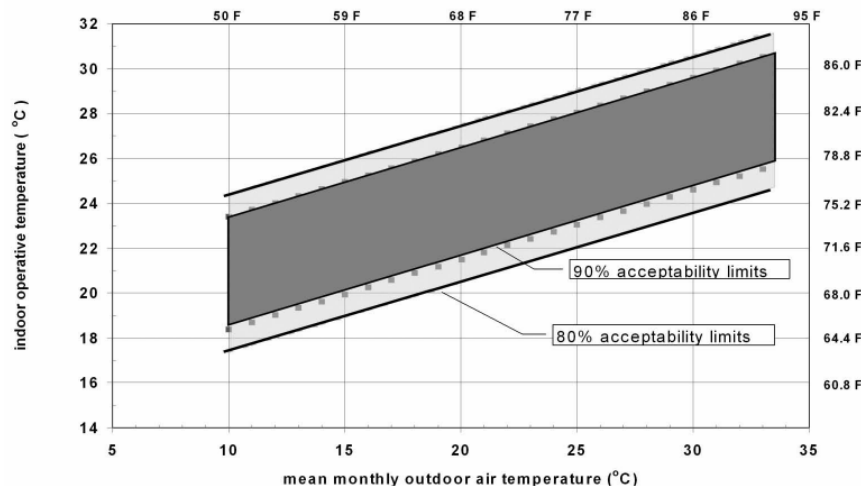


Figura 2.46. Rangos aceptables de temperatura y humedad para los espacios acondicionados de forma natural [ASHRAE 55:2004]

En este caso, para una temperatura media exterior de 31,4°C, el rango para el 80% iría del 24-31°C, mientras que para el 90% sería de 25-30°C calculados según el rango de confort mediante la fórmula:

$$-t_{op} = 0,31 * t_{(a(out))} + 17,8$$

siendo:

- t_{op} , temperatura operativa interior

- $t_{(a(out))}$, temperatura exterior (media mensual)

El estándar dispone que la temperatura operativa no puede ser extrapolada más allá de los límites que se observan en el gráfico, 10°C y 33.5°C.

Hay que destacar que ASHRAE 55 y EN UNE 15.251 utilizan una referencia de temperatura media exterior diferente. La primera utiliza una media mensual de temperatura exterior ($t_{(a(out))}$), mientras que la segunda utiliza un dato que denomina

temperatura externa media exponencial promedio de funcionamiento, Θ_{ed} . La diferencia se puede observar en la Tabla 2.36.

Tabla 2.36. Comparativa de temperatura exterior utilizada en los dos modelos adaptativos ASHRAE 55 y EN UNE 15251	
ASHRAE 55	EN UNE 15.251
$(t_{a(out)}) = (TMA + TMI) / 2$	$\Theta_{nm} = (\Theta_{ed-1} + 0,8 \cdot \Theta_{ed-2} + 0,6 \cdot \Theta_{ed-3} + 0,5 \cdot \Theta_{ed-4} + 0,3 \cdot \Theta_{ed-6} + 0,2 \cdot \Theta_{ed-7}) / 3,8$ Θ_{ed} hace referencia a la temperatura externa promedio diario y es una media de la temperatura exterior promedio horario durante un día (24h).
Elaboración propia a partir de [ASHRAE 55:2004] y [UNE- EN 15.251:2008]	

En todo caso como se señala en [SCHNIEDERS 2009] “*asumiendo que el confort térmico es realmente juzgado diferentemente por los usuarios de edificios dotados de aire acondicionado de los ventilados de forma natural, todavía es obvio que existe una relación directa lineal entre la temperatura ambiente y la temperatura de confort, como se asume en varias correlaciones de los modelos adaptativos, solo puede ser válido dentro de ciertos límites, y las extrapolaciones puede conducir a resultados erróneos*”. Una aproximación a estos límites la encontramos en [DE DEAR et ál. 1997], en la que solamente 2 de los 116 edificios analizados sin aire acondicionado preferían temperaturas por debajo de 21°C, y 3 sobre 27°C. Otros estudios en climas tropicales [NICOL et ál 1999] señalan que a partir de 27°C los usuarios activan los ventiladores, probablemente con la intención de reducir el desconfort. En general, temperaturas por encima de 26°C se consideran temperaturas fuera del confort.

Los modelos adaptativos, si bien están progresando en las normativas en los últimos años, siguen estando discutidos en numerosos foros por estar, por ejemplo, las temperaturas determinadas de forma indirecta [SCHNIEDERS 2009].

En general los modelos empíricos funcionan bien en el entorno de PVM = 0, y se asume un cierto grado de adaptación a través de la ropa, pudiendo considerar que la temperatura de confort se puede situar en un área entre los 25°C y los 27°C.

2.3.3 RIESGO DE SOBRECALENTAMIENTO

2.3.3.1 NORMATIVAS EN EUROPA

En línea con el artículo 4 de EPBD, se demanda a los edificios diferentes aspectos globales, intermedios o individuales con el fin de alcanzar una alta eficiencia energética. Los valores actuales dependen de la zona climática y de la tipología edilicia.

El aspecto más general se refiere a la eficiencia energética del edificio en el que la energía necesaria para la refrigeración (o las emisiones de CO₂ generadas por este consumo de energía) están incluidas [ASIEPI].

En un segundo nivel cubre la eficiencia energética por usos. En este caso se establece una eficiencia mínima del efecto combinado de la envolvente del edificio y el sistema de refrigeración. En consecuencia, si el edificio tiene aire acondicionado, los requerimientos mínimos limitarán la energía consumida final y las emisiones de CO₂.

En un tercer nivel se pueden limitar los efectos de la envolvente y de los sistemas HVAC de forma independiente. Si el edificio está climatizado, los requerimientos mínimos se refieren a las máximas necesidades de refrigeración y a una eficiencia mínima del sistema de climatización. Alternativamente, si no se exige un sistema de refrigeración, los mínimos requerimientos pueden referirse a un indicador de sobrecalentamiento. En este caso, el valor límite se utiliza para demostrar que la refrigeración no es necesaria.

Un requerimiento adicional puede fijar un cierto porcentaje de necesidades de refrigeración cubiertas por energías renovables.

En un cuarto nivel, se limita la demanda de refrigeración (o de sobrecalentamiento), limitando algunos parámetros relevantes como son la reducción de las ganancias solares, la modulación de las ganancias solares y la disipación de las ganancias solares e internas por medio de la ventilación.

[ALVAREZ, MOLINA 2009] menciona que algunos países europeos incluyen algún tipo de evaluación del riesgo de sobrecalentamiento en sus normativas de eficiencia energética, pero no es obligatorio en todos los tipos de edificios.

Existen diferentes aproximaciones para evaluar el riesgo de sobrecalentamiento en los edificios no acondicionados. Solamente en Francia, Alemania y Bélgica (en la región de Flandes) son requerimientos obligatorios. En general, la eficiencia de un edificio es aceptable en términos de confort térmico cuando no se supera un porcentaje de número de horas fuera de los rangos de confort. Este es el modelo utilizado por la normativa alemana, en la que limita este porcentaje a un 10% del tiempo de ocupación. La temperatura interior depende de la zona climática, variando de 27°C en las regiones más cálidas a 25 °C en las más frías [OLESEN 2006], en función de la temperatura media exterior mensual de la región. Por debajo de 16,5°C se toma 25°C de máxima, por debajo de 18°C se toma 26°C de máxima y por encima de 18°C, 27°C. Este modelo se aproxima más a un criterio adaptativo. La ocupación se calcula para las 24 horas del día en el caso de viviendas. Además existe un valor máximo de ganancias solares obligatorio.

Una aproximación diferente la encontramos en Bélgica (Región de Flandes) en la que el número de horas por encima de la temperatura interior deseada y sopesada teniendo en cuenta una extensión del rango a partir de una expresión que utiliza los grados-hora (Fig. 2.47). Este indicador de sobrecalentamiento no debe ser mayor de 17.500 Kh (Kelvin hora) para los edificios residenciales independientemente de si se instala un sistema de aire acondicionado o no. Este indicador se calcula en base a la inercia térmica y a la relación entre los aportes (solares e internos) y las pérdidas (transmisión y ventilación). En función de este indicador de sobrecalentamiento, se define una probabilidad convencional (p_{cool}) de que una instalación de refrigeración sea instalada. Esta probabilidad está comprendida entre 0 y 1. Este indicador no es muy estricto, por ello se considera inaceptable el sobrepasarlo. Si no se cumple el requerimiento se debe revisar el diseño del edificio. Si al final de la obra se sigue sin cumplir el requisito de sobrecalentamiento, se debe abonar una multa proporcional a la desviación. El sistema virtual se activa en función de si el indicador sobrepasa los 8000 Kh. En vivienda el método se calcula como sigue; si no se instala equipo de climatización en la fase de construcción, pero el riesgo de sobrecalentamiento excede el valor límite, 8000 Kh, se considera que las posibilidades de que se instale en el futuro un sistema de refrigeración activa son reales. A mayor valor del indicador, mayores posibilidades existirán de que en un futuro se instale una climatización. El sistema tiene en cuenta el consumo de refrigeración ficticia, proporcional al valor p_{cool} . A partir de los 17.500 Kh, se establecen las multas.

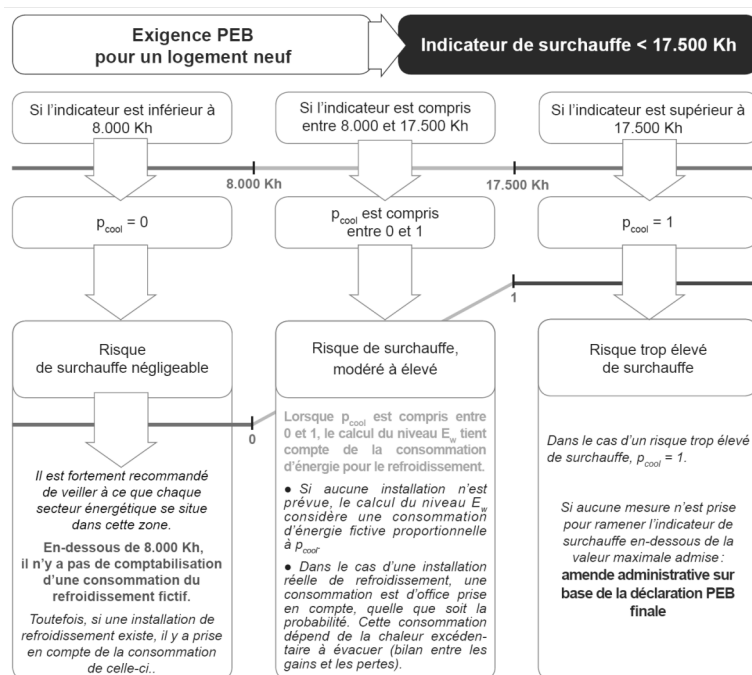


Figura 2.47. Proceso de comprobación del indicador de sobrecalentamiento exigido e la normativa de Valonia [GUILLEMEAU et ál. 2010].

En Francia, el cálculo térmico reglamentario [RT 2012], mantiene el criterio establecido en la anterior normativa de 2005. Se determina una temperatura máxima a la que puede llegar el edificio, la temperatura interior convencional T_{ic} . Esta temperatura no debe pasar un valor límite superior definido en cada una de las ocho zonas climáticas en las que la norma divide la Francia Continental. Esta temperatura se calcula para un día de referencia cálido y corregido por la inercia térmica acumulada. El cálculo se realiza en una serie de siete días, siendo la temperatura del séptimo día la utilizada como indicador, en el caso de otros edificios (públicos) se toma el quinto día (viernes). Asimismo, en la normativa francesa se señala que en todos aquellos locales en los que se instala un sistema de refrigeración, este deberá funcionar a partir de los 26°C. Los elementos que integran el cálculo del valor T_{ic} son las máscaras de sombreado próximas, la inercia diaria y secuencial, gestión de las protecciones móviles, factor de transmisión luminosa, factor solar de las paredes opacas, de los puentes térmicos y de las aberturas de fachada.

Esta metodología está en estos momentos en revisión esperando que próximamente se sustituya por un valor denominado "Dies" (*Durée d'Inconfort d'Eté Statistique*) o duración estadística del inconfort de verano. Se busca tomar en cuenta la duración e intensidad del inconfort y no solo sobrepasar un límite, y afinar más la duración de la ocupación de los edificios. Este valor se fijará mediante un modelo adaptativo que tenga en cuenta la temperatura exterior, la situación del usuario en el tiempo horario respecto de las zonas de inconfort, evaluación estadística del nivel de inconfort de los ocupantes, y cálculo del valor "Dies" por integración del porcentaje de insatisfechos [CACCARELLI 2014].

En Holanda se establece un indicador pero sin un máximo aplicable solamente a viviendas, lo mismo que en Irlanda. En el caso de Holanda el procedimiento de cálculo del confort de verano se calcula de forma indirecta a través de la predicción de un consumo de energía para refrigeración ficticio en edificios en los que no hay un sistema

de refrigeración instalado. Sin embargo no es un elemento obligatorio en el cálculo energético oficial. El objetivo de este cálculo ficticio es estimular la utilización de sistemas de refrigeración pasivos y evitar en el futuro la instalación de equipos de refrigeración portátiles o individuales [ALVAREZ *et ál.* 2010].

En el caso de España, la normativa no tiene requerimientos en relación al sobrecalentamiento en los edificios no climatizados, aunque sí existen requerimientos en cuanto a protecciones solares y a la superficie acristalada. Sí se limita el valor mensual de la carga de refrigeración. Para cada espacio en el que la demanda mensual de refrigeración resulta inferior que el límite, se asume que la refrigeración no es necesaria en ese mes. Cuando la demanda de refrigeración es superior al límite, se calcula el consumo de energía necesario para la refrigeración con el sistema de refrigeración establecido (si existe) o con un equipo de bajo consumo energético virtual en el caso de los espacios no climatizados.

En Grecia, se requieren los criterios de la norma EN 15.251 para edificios públicos en el que se deben mantener 27°C durante las horas de ocupación si los edificios están ventilados mecánicamente. Para los edificios ventilados de forma natural, no existen requerimientos, pero se requiere una evaluación de estrés térmico una vez ocupado.

En Italia no existen requerimientos sobre el confort de verano, dándose algunas recomendaciones para garantizar el confort como la utilización de la inercia térmica.

Por tanto, solamente Alemania y Bélgica tienen limitaciones explícitas oficiales sobre el sobrecalentamiento, teniendo Francia un sistema indirecto referido a un edificio de referencia. En el resto de países, para los edificios no climatizados, el tema del sobrecalentamiento se trata vagamente, en forma de recomendaciones pero no obligaciones restrictivas, siendo utilizado como penalización en el consumo energético a través de un sistema de climatización virtual. En general, las normativas prefieren dar recomendaciones para reducir los efectos del sobrecalentamiento, como son la ventilación nocturna y la inercia térmica, salvo en Italia en los que se obliga a tener una cierta inercia térmica para regular el calor en los meses más cálidos.

Existen otras normativas que no son de obligado cumplimiento. Por ejemplo en el Reino Unido el *Environmental Design Guide A* del CIBSE, [CIBSE 2006], recomienda un valor máximo de 25°C en la sala de estar y 23°C en las habitaciones ya que se considera que temperaturas superiores a 24°C perjudican el sueño [DENGEL, SWAINSON 2012] y define el sobrecalentamiento cuando la temperatura operativa supera los 28°C durante el 1% de las horas anuales ocupadas en las salas sin climatizar, y cuando supera 26°C el 1% de las horas anuales ocupadas en las habitaciones. Este cálculo se realiza con un verano más cálido que la media mediante un cálculo en base horario. [CIBSE 2005], en el manual CIBSE TM 32, ofrece igualmente una metodología en base a un modelo adaptativo. Finalmente, una nueva Guía CIBSE TM52 [CIBSE 2013], *Limits of Thermal Comfort. Avoiding Overheating in European Building*, perfila mejor la definición de sobrecalentamiento, estableciendo los siguientes criterios:

- Usos archivo clima DSY
- Sobre la base de la temperatura operativa
- Sobre la base de tres criterios (necesidad de pasar dos)
- La temperatura máxima no puede superarse más del 3% de las horas ocupadas por año
- Exceso ponderado diario (hora grado) no puede superarse más del 6%;

- Temperatura máxima menor que el límite superior
- La temperatura umbral basada en la variación de la temperatura media del aire media diaria exterior (límite adaptativo).

El criterio de sobrecalentamiento utilizado por el PHI [PHPP 2007-en], tiene su base en la normativa alemana DIN 1946-2 en el que se limita a un 10% de las horas anuales utilizadas por encima de 25°C. En el caso de las viviendas con estándar Passivhaus, se interpretan esas horas como el 10% de las horas totales del año, ya que se asume una ocupación continua. Como recomendación se indica que es deseable que este número de horas no exceda del 5-6% del total. Esta comprobación se realiza con un algoritmo integrado en el [PHPP 2007-en] y no en una simulación dinámica. Para edificios residenciales se recomienda el uso de simulaciones dinámicas. Entre los parámetros más importantes se señalan las ventanas respecto a su orientación, el sombreado y las propiedades del acristalamiento, el intercambio de aire, fuentes de calor internas, el aislamiento térmico y el coeficiente de absorción de las superficies opacas y las masas con capacidad térmica interiores [GONZALO, VALLENTIN 2013].

Es común también el los Sellos de Edificación Sostenible dedicar apartados a evitar el sobrecalentamiento en verano, generalmente indicando medidas clásicas bioclimáticas. En Francia por ejemplo, el sello “*Bâtiments Durables Méditerranéens*”, localizado en edificios a construir en la Región Provenza-Costa Azul, señala una serie de recomendaciones para evitar el sobrecalentamiento, algunos obligatorios y otros opcionales para obtener el sello de calidad [COEUDEVEZ, DÉOUX 2011].

Pero como señala [ALVAREZ *et ál.* 2010], el problema no es si se utilizan indicadores absolutos o relativos para expresar la frecuencia tolerable en la que se excede un cierto nivel de temperatura interior, sino la definición de la temperatura interior máxima en sí misma, que es fijada siempre independientemente de las condiciones climáticas exteriores.

2.3.3.2 MODELOS DE CONFORT TÉRMICO A LARGO PLAZO

En Los últimos años, el renovado esfuerzo por alcanzar edificios de consumo energético casi cero, la importancia del confort y su conexión con el uso de energía ha ido tomando una mayor importancia sobre todo en los países con climas más templados. Se han desarrollado un número importante de proyectos europeos (SCATs, Commoncense, ThermCo, KeepCool por ejemplo) con el objetivo de implementarlos en las normativas EN 15251, ISO 7730 y ASHRAE 55 [CARLUCCI 2013].

En las décadas anteriores la literatura científica ha propuesto numerosos sistemas para medir la respuesta del cuerpo humano a las condiciones climáticas, y numerosos autores utilizan términos como índice de inconfort, índice de estrés, o índice de calor para identificar modelos analíticos que describen la percepción humana del ambiente térmico circundante al que un individuo o grupo es expuesto. Recientemente, un nuevo tipo de índice de inconfort se ha propuesto en la literatura científica, en las normativas y en las guías de construcción, especialmente para describir con brevedad las condiciones de confort a largo plazo en los edificios o para predecir los fenómenos de inconfort, en particular el sobrecalentamiento estival. [CARLUCCI 2013] recopila la literatura científica al respecto ordenando por familias las diferentes metodologías de cálculo.

En la norma europea [UNE- EN 15.251:2008], se introduce este concepto en el punto 8 “*Evaluación del ambiente interior e indicadores a largo plazo*”. Nos indica que esta evaluación se puede realizar con diferentes metodologías basadas en el diseño, cálculo,

mediciones, o cuestionarios. En cuanto al cálculo, el punto 8.3 describe tres metodologías, desarrolladas en el Anexo F, de carácter informativo, con el título “*Evaluación a largo plazo de las condiciones generales de bienestar térmico*”. Este anexo propone 3 métodos basados en la suma de parámetros obtenidos a partir de simulaciones por ordenador. El Método A, nos propone calcular el porcentaje de horas de ocupación en las cuales el PMV o la temperatura operativa están fuera del rango de confort. El Método B utiliza un criterio de grados-horas. El Método C, criterio PPD.

[CARLUCCI 2013] realiza un análisis detallado de los modelos más habituales de confort a largo plazo, 16 en total, sobre un edificio de oficinas con 54 variantes constructivas. Este estudio permite valorar la capacidad de cada metodología para prever el riesgo de sobrecalentamiento de un edificio. El estudio concluye que ninguno de los métodos es completamente fiable, y se producen divergencias cuando se cambia de modelo de confort.

2.3.3.3 CONFORT TÉRMICO Y SALUD

Al margen de si el confort térmico se establece desde un método determinista o adaptativo, los criterios utilizados para definir el sobrecalentamiento en los edificios vienen muy determinados por los numerosos estudios realizados sobre los usuarios de edificios de oficinas y comerciales. Como resultado de ello, el sobrecalentamiento ha sido definido como el límite al cual sobreviene una experiencia de inconfort en los ocupantes, o por una preferencia térmica de los mismos. Otros estudios señalan la conveniencia de realizar una aproximación al sobrecalentamiento desde el punto de vista de la salud, como por ejemplo la Organización Mundial de la Salud (WHO). Esta organización tiene editada una Guía de temperaturas en las viviendas [WHO 1990] en la que tiene como objetivo proteger la salud de las personas más débiles o más vulnerables a las temperaturas extremas, y no a la sensación de satisfacción con la temperatura del ambiente. Esta guía sugiere que hay un riesgo mínimo en personas mayores sedentarias con temperaturas comprendidas entre 18°C y 24°C. Apoyando este criterio, existen estudios que demuestran que los ancianos se sienten confortables en temperaturas que no son buenas para su salud por ejemplo [HOVARTH, ROCHELLE 1997], [COLLINS *et ál.* 1981], [NATSUME *et ál.* 1992], [ROGER, CARRÉ 2009], [ORMANDY, EZRATTY 2006]. En [HENSEN, VAN HOOFF 2006], podemos encontrar una extensa bibliografía al respecto.

Existen numerosos estudios que ratifican el impacto negativo que tienen las temperaturas altas sobre las personas mayores. Como ejemplo, [MARTINEZ *et ál.* 2004] describen el impacto de la ola de calor de 2003, las altas temperaturas provocaron un aumento de las defunciones respecto de las esperadas del 14,72% en personas mayores de 65 años durante el periodo de junio-agosto de 2003, alcanzando el 22,55% en el mes de agosto, que afectó tanto a los habitantes de la ciudad como los del medio rural. [MARTINEZ *et ál.* 2004] señalan que “*este fenómeno es un problema de salud pública emergente por su riesgo atribuible creciente debido al envejecimiento de la población. Algunos estudios han observado un umbral de temperatura y han estimado el incremento en la mortalidad por cada grado de temperatura por encima de dicho umbral. El exceso de mortalidad también se ha asociado a períodos de 3 o más días consecutivos de temperaturas inhabituales, ya sea en verano o en invierno y su efecto se puede observar en el mismo día o con un retraso de hasta 3 días después del incremento de temperaturas. Estas asociaciones podrían ser compatibles con un efecto mayor de las temperaturas extremas en las zonas donde son poco frecuentes y ponen de manifiesto la importancia de la variación de las temperaturas en la salud humana*”.

Existen otros estudios similares en España que ratifican el efecto causa en [BALLESTER 1996], [PAJARES et ál. 1997], [LINARES, DÍAZ 2008].

A este respecto, cabe recordar que en España, las personas mayores de 64 años son el 16,9%, con una previsión de alcanzar el 22,5% para el año 2030 [DOL, HAFFNER 2010]. De estos, un 34,3% se espera que sean personas dependientes en algún grado. A esto hay que añadir que según el Instituto Nacional de Estadística en su informe de *Hogares españoles: tamaño, composición y cambios en la década 1991-2001*, son más de 1.275.000 personas mayores que viven solas del total de 2.876.572 de personas que viven en hogares unipersonales, la mayor parte mujeres, 1.043.471 y la tendencia poblacional indica que el número de personas mayores de 65 años que viven solas aumentará en el futuro. Es evidente que al combinación de persona mayor y sobrecalentamiento puede derivar en un aumento de casos de problemas de salud o defunciones por una falta de atención directa y en la que la configuración futura de las viviendas puede tener un efecto relevante.

La ola de calor de 2003 provocó la revisión de los estándares de alerta médica en muchos países, sobre todo en lo referente a los protocolos sanitarios [MARTINEZ et ál/ 2004], [KOVATS et ál. 2006] entre otros, pero además provocó en algunos países una revisión de las normas, y es desde instancias públicas sanitarias desde donde han llegado nuevos criterios de confort en las viviendas. En Londres por ejemplo, se dieron 12 días consecutivos con temperaturas entre 26 y 37°C, y temperaturas nocturnas por encima de 19°C durante 7 días continuados, combinado con valores altos de humedad relativa.

A partir de esta acontecimiento, en el Reino Unido, el Gobierno introdujo la Housing Health and Safety Rating System (HHSRS), [OPDM 2006], como una aproximación para definir los riesgos potenciales para la salud y seguridad de cualquier deficiencia en los edificios. En el caso del sobrecalentamiento señala que *“Cuando la temperatura se eleva, el estrés térmico se incrementa, desencadenando inicialmente una defensa del cuerpo sudando. Las altas temperaturas pueden incrementar la tensión vascular y trauma, y cuando las temperaturas exceden de 25°C, la mortalidad se incrementa y se produce un incremento de los ataques cardíacos. La deshidratación es un problema primordial tanto en ancianos como en niños”* [DENGEL, SWAINSON 2012]. Es el caso igualmente de la metodología de cálculo utilizada por la norma francesa [RT 2012].

2.3.4 CONCLUSIONES

Los modelos de confort vigentes, han dejado bastante bien definidos los límites inferiores de confort, es decir, el modelo adecuado para la estación fría, pero sin embargo difieren en gran medida en la consideración del confort en su límite superior, en la que los modelos empíricos, que limitan la temperatura con una línea clara función de la humedad y de la velocidad del aire, están siendo desplazados por los modelos adaptativos en las que se considera que en los edificios refrigerados de forma natural, la temperatura interior de confort se puede definir en función de la temperatura exterior.

Ciertamente, los niveles de confort actuales, cada vez más reducidos a un gradiente de temperatura más limitado, son mucho más exigentes que hace solamente 100 años, en el que una temperatura de 14-16 °C se consideraba ya confortable, y en la que se convivía con el frío de una forma más natural [DEPREZ 2013]. Hoy en día una temperatura menor de 20° nos parecería una situación no confortable, a pesar de que existe una tendencia dentro de la arquitectura ecológica a reivindicar menores temperaturas de consigna.

Este estudio utiliza como criterios de confort los siguientes parámetros:

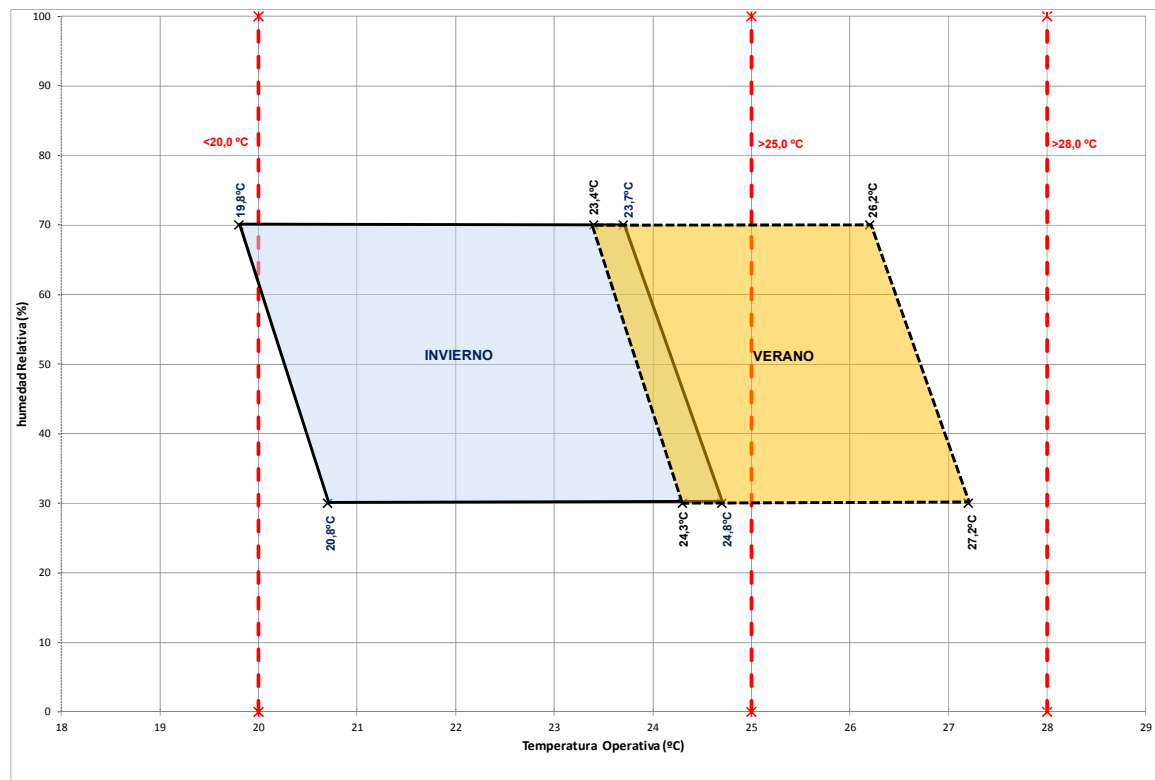
- La temperatura de consigna en invierno se sitúa en 20 °C.
- La temperatura de consigna en verano se sitúa en 26 °C en los casos que se estudie la refrigeración activa.
- La humedad relativa máxima del 70%.
- Humedad relativa mínima del 30%.

Para visualizar el confort de utilizarán por un lado el modelo empírico de la norma europea EN-ISO 7730 [UNE-EN ISO 7730:2006] y vigente en España implementada en el Código Técnico de la Edificación, el modelo adaptativo de la norma europea EN 15.251 [UNE- EN 15.251:2008].

El modelos EN-ISO 7730 se utiliza en todos los caso, ya que es el modelo que nos propone un confort en función de la humedad relativa de los espacios. Cuando el modelo simulado tenga una ventilación natural y las expectativas de confort del modelo EN-ISO 7730 no se cumplan, se utilizará el modelos adaptativo EN 15.251. Señalar que los límites del modelo EN-ISO 7730 se obtienen para la Categoría II con un MET de 1,1 y un CLO 1 en invierno y 0,5 en verano (Fig. 2.48). Añadir que se grafían las temperaturas >25°C, >28°C y menores de 20°C, utilizadas en el confort por el PHI. Asimismo, en la parte inferior de la gráfica se añaden las horas <20°C, >25°C y >28°C, así como las horas por encima del 70% de humedad relativa, el porcentaje mensual y anual y la humedad relativa máxima alcanzada.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

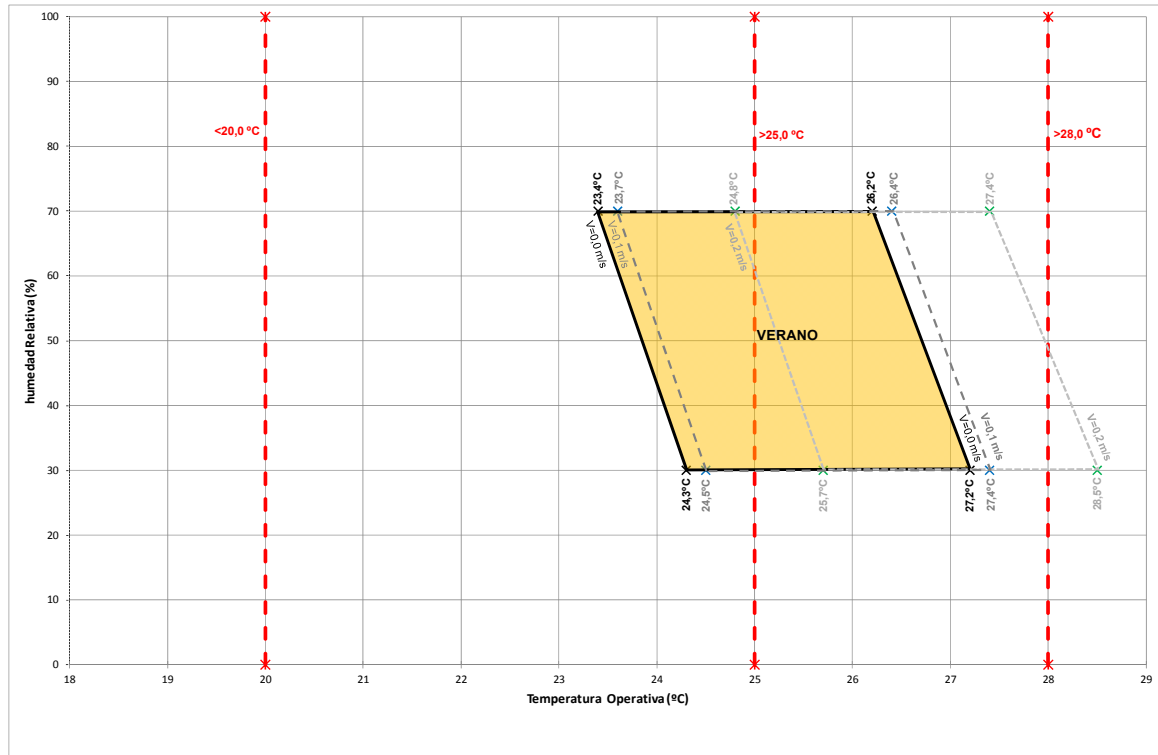
Iñigo Rodríguez Vidal



CLIMA 2000-2009 - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2					
	ANUALES (8760 Horas)	OCTUBRE	NOVIEMBRE-DICIEMBRE	ENERO-FEBRERO	MARZO-ABRIL
HORAS <20°C	3	0	0	0	0
HORAS >25°C	1074	0	0	0	0
HORAS >28°C	48	0	0	0	0
Tª MÁXIMA	29,5	24,7	24,4	23,8	24,6
HORAS HR>70%	182	0	0	0	0
% HORAS>70%	2	0	0	0	0
HR MÁXIMA	86,9	61,5	48,1	41,5	58,4

Figura 2.48. Límites utilizados en este estudio en todo el año según la norma UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - invierno 1,0 CLO verano 0,5 CLO - V = 0 m/s HR 30% - 70%.

En verano la norma permite ampliar los límites de confort en función de la velocidad del viento (Fig. 2.49).



CLIMA 2000-2009 - TIPO [E] - AI-4,8 W/m ²						
	VERANO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
HORAS <20°C	3,0	2	1	0	0	0
HORAS >25°C	1074,0	15	253	391	333	80
HORAS >28°C	48,0	0	6	16	26	0
Tª MAXIMA	29,5	25,8	28,3	29,0	29,5	27,2
HORAS HR>70%	182,0	23	39	39	47	34
% HORAS>70%	5,0	3	5	5	6	5
HR MÁXIMA	86,9	78	78,9	86,9	80,6	82,0

Figura 2.49. Límites utilizados en este estudio en verano según la norma UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - 0,5 CLO - V= 0-2,0 m/s HR 30% - 70%.

Los estudios realizados desde el PHI en climas cálidos [SCHNIEDERS 2009] y [SCHNIEDERS *et ál.* 2011], utilizan un modelo de confort derivado de la EN-ISO 7730, en la que se consideran conjuntamente el confort de invierno y verano, y que se ven ampliados a una zona “aceptable” del 0- 80% de humedad relativa (Fig. 2.50).

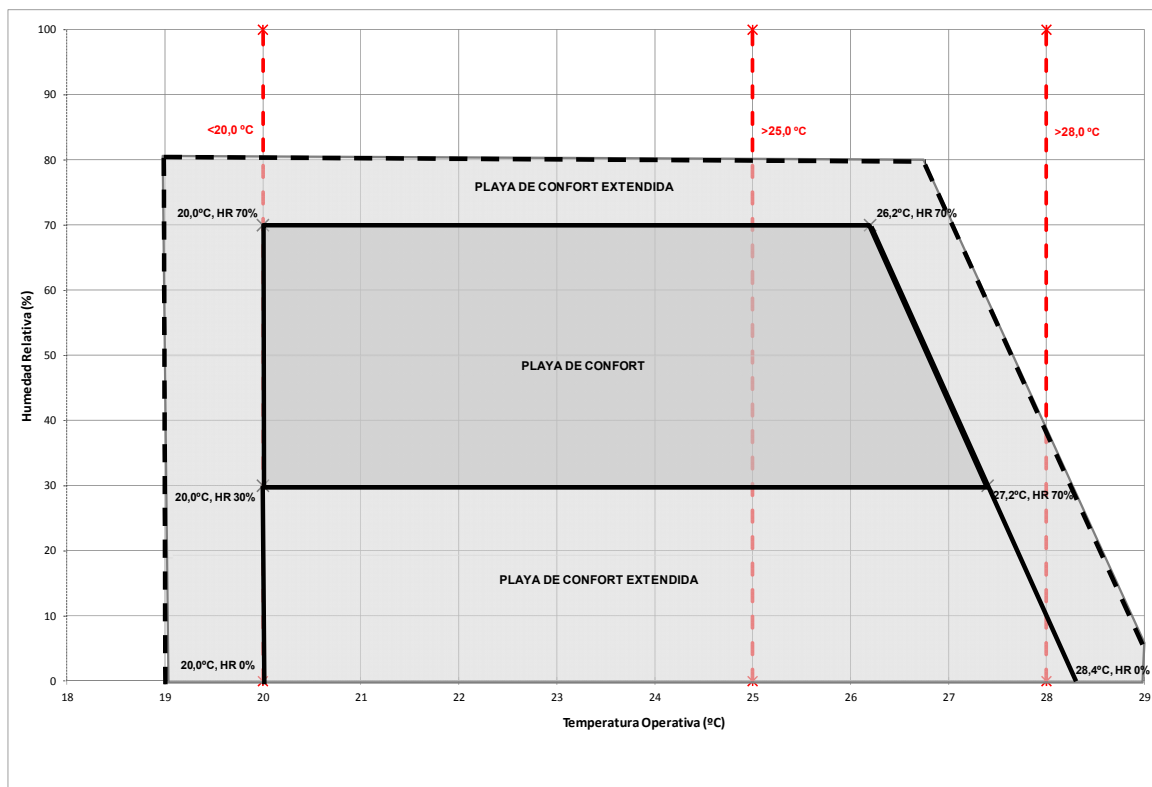


Figura 2.50. Límites de confort propuestos por el PHI en los estudios de referencia en climas cálidos. Elaboración propia a partir de [SCHNIEDERS 2009] y [SCHNIEDERS et ál. 2011].

En cuanto al modelo adaptativo, la Figura 2.51 nos acota la playa de confort seleccionada para este estudio. Destacar que los estudios llevados a cabo por el PHI no consideran los modelos adaptativos al poner en duda la capacidad de los mismos para cubrir las expectativas de los usuarios [SCHNIEDERS et ál. 2011].

En cuanto a los periodos de utilización de los diferentes modelos de confort, la ISO 7730 recomienda considerar todo el año separando el invierno del verano por el periodo de calefacción. El modelo de confort adaptativo EN 15251 considera la evaluación del periodo sin calefacción y con ventilación natural. La norma CIBSE TM: 32 considera el periodo del 1 MAYO- 30 DE SEPTIEMBRE.

En este estudio se separa el periodo de verano según este último criterio, estableciendo el resto del año como periodo invernal.

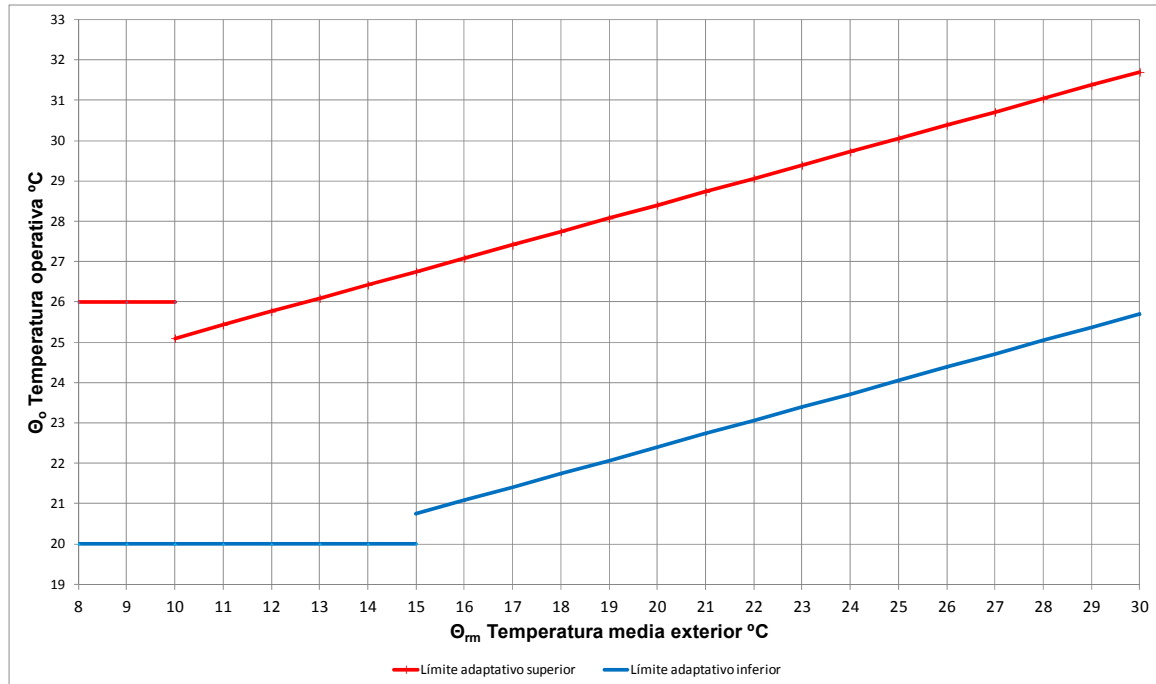


Figura 2.51. Playa de confort en edificios sin sistemas de enfriamiento activo según UNE-EN:15.251:2007 de Categoría II (PPD<10%) en función de la temperatura exterior. Elaboración propia a partir de [UNE- EN 15.251:2008].

En cuanto a la evaluación del sobrecalentamiento, se considera el criterio establecido por el PHI de número de horas por encima de 25 °C inferior al 10%, recomendándose no superar el 5%. Se le incorporan los criterios más restrictivos de la normativa británica CIBSE TM36 [CIBSE 2005] que considera las horas por encima de 25°C durante las horas nocturnas en las habitaciones y las horas por encima de 28°C en los estares a lo largo del año a un 1% de las horas ocupadas. Estos valores considerados por la norma CIBSE tienen su origen en estudios médicos y como medio de evitar la alta tasa de defunciones que originó la ola de calor del verano de 2003. Se consideran valores a partir de los cuales el calor es insoportable.

Para la visualización de la evolución de las temperaturas operativas se utiliza un gráfico de elaboración propia utilizando como referencia el programa de evaluación del sobrecalentamiento ZUH Helena Sommer[®], de la empresa ZUB Systems GmbH [ZUB 2013]. Este gráfico nos permitirá evaluar el porcentaje de horas nocturnas por encima de 25°C y visualizar los periodos del verano con mayores temperaturas, no incorpora sin embargo la humedad relativa. El gráfico permite visualizar durante los meses de mayo a septiembre las temperaturas <20°C, las que están entre 20-25°C, las de la franja 25-28°C y las superiores a 28°C. Además se indican mes a mes las máximas temperaturas operativas alcanzadas en el interior de las viviendas, el número de horas >25°C en la franja horaria de 22:00-8:00 h y el porcentaje de horas nocturnas por encima de 25°C (Fig. 2.52).

EVALUACIÓN DEL ESTÁNDAR DE CONSTRUCCIÓN PASSIVHAUS Y SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO CLIMÁTICO DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA VASCA Y LA COMUNIDAD FORAL NAVARRA

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

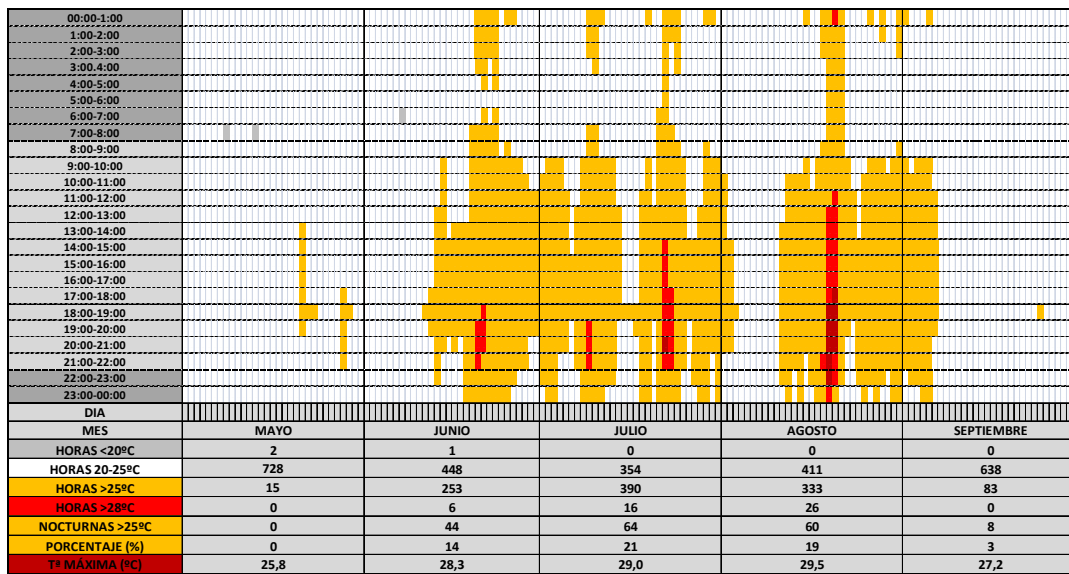


Figura 2.52. Evolución de las temperaturas operativas interiores durante los meses de mayo a septiembre. Elaboración propia a partir de [ZUB 2013].

2.4 ESTRATEGIAS DE ENFRIAMIENTO PASIVO E HIBRIDO

El enfriamiento pasivo puede cubrir ampliamente todas las medidas y procesos para controlar y reducir las necesidades de refrigeración (activa) de los edificios. Incluye todas las medidas preventivas para evitar el sobrecalentamiento en el interior de los edificios y las estrategias para expulsar al exterior el calor interno, tanto el producido en el interior como el que traspasa los cerramientos desde el exterior [SANTAMOURIS, ASIMAKOPOULOS 1996]. Una metodología habitual es el acoplamiento del edificio con depósitos de frío naturales exteriores que pueden absorber el calor interno del edificio, por ejemplo, el cielo exterior, el aire ambiental externo, la tierra, mediante los procesos de transferencia de calor habituales, conducción, convección, radiación, evaporación o mediante pequeñas instalaciones de bajo consumo energético, ventiladores o bombas de calor (sistemas híbridos).

Para evitar el sobrecalentamiento y crear unas condiciones de confort interiores del edificio en los periodos cálidos (incluso en primavera y otoño), las estrategias de enfriamiento pueden diseñarse en tres niveles:

- Limitación de las ganancias térmicas interiores del edificio;
- Modulación de las ganancias de calor;
- Expulsión del calor del interior del edificio.

Las dos primeras medidas sirven para minimizar las ganancias de calor y el aumento de temperatura interior, mientras que la tercera medida busca descender las temperaturas interiores.

2.4.1 LIMITACIÓN DE LAS GANANCIAS DE CALOR

El primer paso consiste en prevenir las ganancias de calor para evitar salir de las zonas de confort en el interior del edificio, e incluirá todas las medidas para evitarlo. Las ganancias de calor en los edificios se pueden dividir en internas y externas.

2.4.1.1 LIMITACIÓN DE LAS GANANCIAS INTERNAS DE CALOR

Se incluyen en este apartado las siguientes fuentes:

- Ocupación (calor metabólico): El calor emitido por las personas depende de la actividad metabólica que realice (un adulto produce unos 65-80 W en una actividad sedentaria, pudiendo llegar a 800 W en una actividad deportiva).
- Actividad: Las actividades humanas como cocinar, duchas, generan un calor variable en función de los usos de los edificios.
- Sistemas de producción y almacenamiento de A.C.S.: Los sistemas de acumulación de agua especialmente, pueden tener unas pérdidas de entre 1-2kWh por día [DENGEL, SWAINSON 2012], que puede añadirse al hecho de que muchos edificios antiguos carecen de un aislamiento en la red de conducciones.
- Aplicaciones eléctricas: Casi todos los aparatos consumidores de electricidad generan pérdidas de calor en su funcionamiento. La eficiencia de un electrodoméstico mide entre otros aspectos la cantidad de calor que el aparato emite en uso; a mayor eficiencia menor, calor residual generado. Un edificio con unos electrodomésticos de baja eficiencia energética puede generar problemas de sobrecalentamiento como se demuestra en algunos de los ejemplos mencionados en el capítulo de estado del arte, por ejemplo en [SCHMITT *et ál.* 2007] en el que se apunta un uso excesivo de los electrodomésticos como causa principal.

-Sistemas centralizados de calefacción: Los sistemas centralizados de producción de calor, con una amplia red de distribución de agua y sistemas de intercambio de calor (a veces situados en el interior de las viviendas) para mantener una disponibilidad permanente de A.C.S. y calefacción, llevan el agua del circuito primario a alta temperatura, 60-80 °C, funcionando las 24 horas del día. Este aspecto puede generar altos aportes de calor no deseado a los edificios.

2.4.1.2 LIMITACIÓN DE LAS GANANCIAS EXTERNAS DE CALOR

Producidas por el acoplamiento del edificio con el ambiente exterior, podemos clasificarlas en varios grupos:

-Ganancias solares por los cerramientos opacos: Las ganancias a través de los cerramientos opacos pueden ser significativas, especialmente en edificios con un bajo aislamiento térmico. Es especialmente sensible el sistema de cubiertas debido a la alta radiación solar que reciben en verano. Para evitar este efecto, existen en el mercado las denominadas cubiertas frías. Estas se caracterizan por construirse con materiales altamente reflectantes, que reducen las ganancias solares durante el día [ZINZI, CITTERIO 2010]. Otra variante son las cubiertas verdes. Estas, además de tener una afección en el clima interior del edificio, afectan al clima exterior urbano y a la estética del edificio, por lo que se han convertido los últimos años en el paradigma estético de la sostenibilidad.

Las cubiertas verdes no solo mejoran el aislamiento de los edificios gracias a la resistencia térmica de la capa de tierra, sino que también mejoran el control solar del edificio, ya que la mayor parte de la radiación solar incidente es absorbida por la capa de vegetación en la fotosíntesis, la respiración y la evapotranspiración. El resultado es la reducción de la carga térmica para el ambiente interior con respecto a una cubierta estándar. Actuaciones de cubiertas verdes se ven fuertemente afectadas por los materiales utilizados, las características del edificio y el uso y las condiciones climáticas [ZINZI, CITTERIO 2010]. En la Figura 2.53 se muestra el edificio de la Academia de Ciencias de California, del estudio de Renzo Piano, en el que el objetivo final era prescindir de un sistema de climatización activo. Para ello, una de las medidas consiste en utilizar una cubierta verde de 10.000 m², que junto con un complejo sistema de apertura de lucernarios y ventanas permiten refrescar el interior.

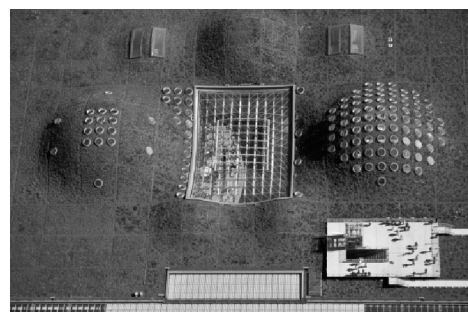


Figura 2.53. Imágenes de la Academia de Ciencias de California, del estudio de Renzo Piano [Renzo Piano Building Workshop] <http://www.rpbw.com/>.

-Ganancias solares por las ventanas: El aporte de calor a través de las ventanas se produce por una combinación compleja de diferentes valores, orientación, grado de sombreado (persianas, voladizos), fecha del año, tipo de vidrio. El valor de transmisión de calor de los vidrios g, que es la relación entre la energía solar que es conducida, transmitida y radiada al interior del edificio en relación a la energía incidente,

determina la cantidad de energía que entrará a través de los vidrios. Las ventanas serán un factor determinante en la regulación del calor, ya que por un lado será una energía deseada en invierno y por otro lado podrá generar sobrecalentamientos indeseados.

-Temperatura ambiente exterior: Si el aire exterior tiene una temperatura superior al aire interior, todo aire que se incorpore al edificio mediante la ventilación (e infiltraciones no deseadas) incrementará la temperatura interior. Esto generalmente ocurrirá en los meses de verano y en lugares situados en centros de ciudad (islas de calor urbanas),

-Microclimas: Tradicionalmente este concepto se asocia al entorno próximo del edificio, en cuestiones referidas al urbanismo (materiales de las urbanizaciones, árboles, etc.). Pero también existen otros factores que se refieren a la piel del edificio, como puede ser el calor expulsado de las propias instalaciones o el calor generado por radiación sobre los acabados del edificio, como por ejemplo fachadas con alta inercia térmica que liberarán durante la noche el calor retenido durante el día, y que será susceptible de entrar de nuevo al edificio a través de las ventanas o por el propio sistema de ventilación, y en definitiva, generará un microclima alrededor del edificio que tenderá a aumentar la temperatura interior [DENGEL, SWAINSON 2012].

-Factor de forma: algunos estudios señalan que los edificios con factores de forma algo más elevados pueden llegar a funcionar mejor en climas cálidos [GONZALO, VALLENTIN 2013].

-Cambios en las regulaciones de ahorro energético: como se ha comentado, diversos autores, [MALDONADO 2005] por ejemplo, señalan como las normas de ahorro energético tienden a preocuparse por el ahorro de consumo de energía en el periodo frío, lo que lleva a una mayor estanqueidad, y aislamiento. Esto puede generar un aumento en la demanda de energía para refrigeración, importante en los climas del sur de Europa.

2.4.2 MODULACIÓN DE LAS GANANCIAS DE CALOR

La modulación de las ganancias de calor puede llevarse a cabo utilizando materiales de alta inercia térmica en la estructura del edificio. Los materiales pesados como el ladrillo y el hormigón tienen la capacidad de acumular el calor y el frío y liberarlo de una forma gradual. Esto permite una atenuación de los picos en las temperaturas internas difiriendo la emisión de calor en un periodo de tiempo cuando las temperaturas exteriores son inferiores. Al mismo tiempo reduce el flujo de calor que alcanza el interior del edificio, ya que una parte del calor es almacenado por el cerramiento y radiado al exterior durante la noche. Durante la noche, la inercia acumula el frío que luego es cedido gradualmente durante el día. A mayor diferencia de temperatura entre el día y la noche, mejor funcionamiento tiene la inercia térmica [SANTAMOURIS, ASIMAKOPOULOS 1996].

La inercia térmica continúa generando opiniones contrapuestas sobre sus beneficios en la regulación de las temperaturas. Algunos documentos señalan que la importancia es mayor en edificios permanentemente ocupados, como los edificios residenciales [SANTAMOURIS, ASIMAKOPOULOS 1996], mientras que otros indican que es más necesaria en edificios ocupados durante el día, como oficinas, y en cambio en los edificios residenciales es mejor una baja inercia térmica para poder disipar rápidamente el calor durante la noche [ROULET 2008-b]. Los estudios del PHI inciden numerosas veces en la poca importancia que tiene la inercia térmica en el confort térmico en Alemania [PASSIPEDIA], pero dejan pendiente su influencia en climas más cálidos [SCHNIEDERS 2005], [SCHNIEDERS 2009], y señalan que en edificios de construcción

ligera, es necesario tomar medidas adicionales (protección solar y/o ventilación) para garantizar un confort adecuado [PASSIPEDIA].

La distribución de la masa térmica en la construcción y su tamaño influye de una forma decisiva en la eficacia de la misma. Se recomiendan espesores no mayores de 10 cm, a poder ser distribuidos en todos los cerramientos, limitando al máximo los acabados con capacidad aislante (moquetas, madera, etc.).

2.4.3 EXPULSIÓN DEL CALOR

En muchos climas, la limitación y la modulación de las ganancias de calor no son suficientes para mantener el confort durante el día. El diseño del edificio debe permitir expulsar el calor generado en el interior del edificio mediante métodos naturales o híbridos. Generalmente, los sistemas están basados en métodos de ventilación, a veces combinados con sistemas evaporativos, y casi siempre con sistemas mecánicos de ventilación. se describen brevemente algunos métodos de expulsión. Básicamente, podemos encontrar tres tipos de refrigeración pasiva en función del mecanismo de transferencia de calor que utilice, enfriamiento convectivo, conductivo, radiante y evaporativo. Existen ejemplos conocidos en la arquitectura tradicional (Fig. 2.54).

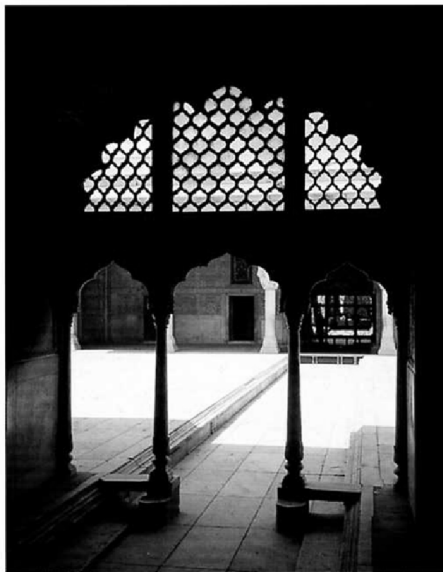


Figura 2.54. Refrigeración por combinación del efecto convectivo, conductivo y evaporativo. El gobernador mongol Sha Jahan hizo correr agua por las estancias probadas de su palacio para climatizarlas. En verano enfriaba el agua con hielo y en invierno añadía agua caliente. Un sistema de celosías suministraba una corriente de aire refrescada por agua en los meses más calurosos, además de proporcionar sombra [BEHLING 2002].

Este tipo de sistemas asociados a la evaporación tienen un funcionamiento adecuado en climas con una humedad relativa baja y altas temperaturas, no siendo recomendables en lugares con una alta humedad relativa (clima tropical). Un ejemplo que aún arquitectura tradicional y confort lo podemos ver en la Figura 2.55.

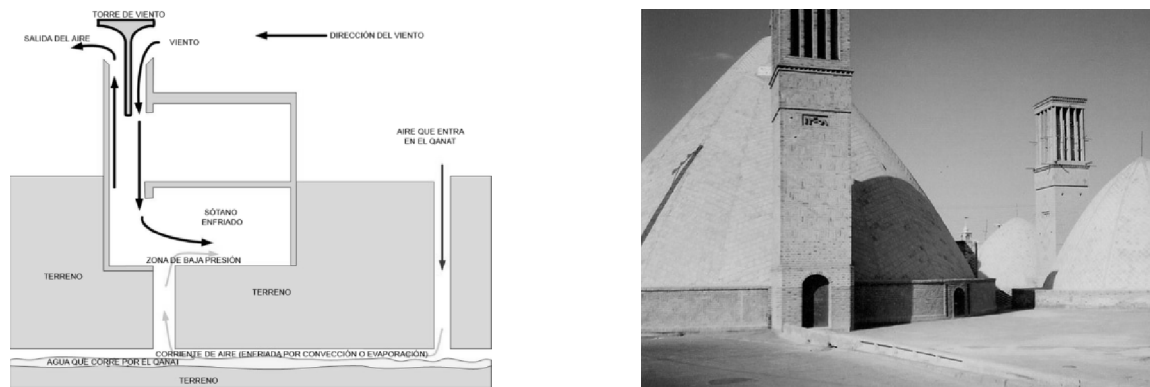


Figura 2.55. Funcionamiento de un captador de vientos asociada a un contacto con el terreno y una fuente de agua con evaporación en la ciudad de Naeen, cercano a Yazd, Irán [WIKIPEDIA].

Se debe recordar que previamente a todo diseño arquitectónico que busque reducir el sobrecalentamiento en los edificios, es necesario un planeamiento urbanístico que genere un microclima adecuado. Las calles estrechas de la arquitectura árabe tradicional, que mantiene la urbanización en sombra, los patios estrechos, que permiten una ventilación cruzada, las calles orientadas hacia los vientos dominantes para evacuar el calor generado, la correcta orientación en función del clima, etc., son premisas que vienen determinadas desde la fase de planeamiento urbano y que contribuyen en gran manera a una base adecuada para conseguir un confort correcto en el interior de los edificios sin tener que recurrir a sistemas activos de refrigeración.

2.4.3.1 ENFRIAMIENTO CONVECTIVO

Se alcanza empleando directamente masas de aire frío. Podemos encontrar diferentes técnicas en la arquitectura tradicional, muchas provenientes del mundo árabe, generalmente asociadas a procesos evaporativos.

-Ventilación: En la medida que el clima lo permita, se evacúa el calor aumentando la tasa de ventilación. Esta técnica de uso general se aplica tanto a edificios ligeros como pesados, pero solo funciona cuando la temperatura exterior es inferior a la temperatura de confort. Si no es el caso, se debe acudir a la refrigeración mediante ventilación nocturna, que consiste en evacuar el calor acumulado en el edificio durante las horas nocturnas, y bajar la temperatura de la masa térmica del edificio. Comprende por tanto dos periodos, un periodo de enfriamiento, en tanto que la temperatura exterior sea inferior a la interior, en general durante la noche, cuando mediante la apertura de los huecos se permite evacuar el aire cálido del interior del edificio mientras que el aire frío se infiltra. Un segundo periodo de protección, cuando la temperatura exterior es superior a la interior, se reduce al máximo la ventilación garantizando una calidad del aire adecuada, y en la que el calor va aumentando la temperatura del interior a la vez que la estructura cede el frío acumulado durante la noche. Esta estrategia es posible en lugares con una diferencia de temperatura de alrededor de 15°C [SANTAMOURIS, ASIMAKOPOULOS 1996]. [ARTMANN *et ál.* 2007] realiza un estudio del potencial de refrigeración mediante ventilación nocturna en los diferentes climas de Europa. Este estudio concluye que en el Centro, Este y algunas regiones del Sur de Europa, el potencial de refrigeración climático (Climatic Cooling Potential) es significativo, pero pueden ocurrir series de noches cálidas, dando al traste con una refrigeración a partir de la ventilación nocturna, pudiendo ser necesarias otras medidas de refrigeración si las expectativas de confort son altas. Para el Sur de España, el potencial climático de

refrigeración es limitado [ARTMANN *et ál.* 2007]. La Figura 2.56 nos muestra algunos de los resultados de este estudio.

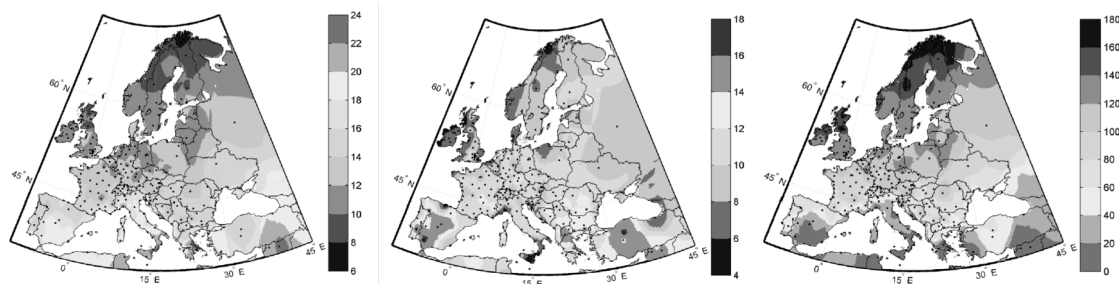


Figura 2.56. De izquierda derecha: Temperatura media de las mínimas en el mes de julio (°C); Diferencia media de temperaturas mínimas y máximas en julio (K); Potencial climático de refrigeración en el mes de julio (Kh/noche). Basado ambos en datos de Meteonorm [ARTMANN *et ál.* 2007].

La ventilación nocturna se enfrenta a diversos problemas. Necesita mantener protegidas las aberturas en caso de temporal (entrada de lluvia), no es posible en entorno ruidos, complica la situación de seguridad del edificio y puede entrar en contradicción con la ventilación mecánica.

-Ventiladores de techo: Reducen la sensación de calor por evaporación del sudor en la piel humana.

2.4.3.2 ENFRIAMIENTO CONDUCTIVO

Producido cuando los cuerpos pierden calor por conducción, buscando un elemento a menor temperatura, generalmente el terreno o elementos adosados al mismo, para evacuar el calor del edificio.

-Acoplamiento al terreno: La alta capacidad térmica del terreno permite en algunos climas disipar el calor generado por el edificio, al mantener una temperatura más baja que la del ambiente (en condiciones de verano) (Fig. 2.57). La temperatura depende de la profundidad, el contenido en humedad, y la conductividad del terreno. En regiones con un clima templado, una profundidad de 2-3 m puede ser suficiente para servir como fuente de refrigeración. Algunas medidas pueden potenciar el efecto, protegiendo con una capa de grava de 10 cm la superficie del terreno o regando la superficie del terreno para utilizar el efecto de refrigeración evaporativa. Se puede aprovechar el fenómeno de forma directa, reduciendo el aislamiento de las partes del edificio en contacto con el terreno, o de forma indirecta, haciendo pasar el aire de ventilación por una tubería enterrada en el terreno (pozo canadiense).



Figura 2.57. Recreación de una forma de refrescamiento básico mediante contacto con las solera en una ola de calor en Sicilia en las horas centrales del día, en la película Baaria, La puerta del viento, de Giuseppe Tornatore. Baaria - La porta del vento. Giuseppe Tornatore 2009 . Medusa Film / Quinta Communications / Ministero per i Beni e le Attività Culturali (MiBAC).

En la escuela Jaer, en Nesodden, Noruega (Fig. 2.58), la refrigeración de verano se realiza mediante una ventilación intensiva utilizando ventiladores que fuerzan la entrada a través de unos conductos que discurren bajo tierra. El sistema se complementa mediante la apertura de las ventanas.

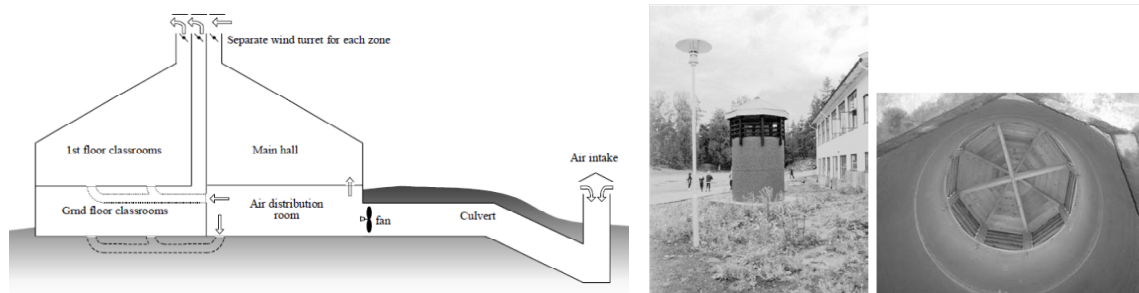


Figura 2.58. Funcionamiento de un acoplamiento al terreno mediante un tubo de 20 m de largo y 1,6 m de diámetro conectado al sistema general de ventilación. Escuela Jaer, en Nesodden, Noruega [SCHILD, BLOM 2002].

La arquitectura tradicional en países cálidos tiene numerosos ejemplos de la utilización del acoplamiento al terreno como método de refrigeración, en la que se incluyen todas las tipologías a lo largo del mundo de viviendas enterradas (Fig. 2.59).

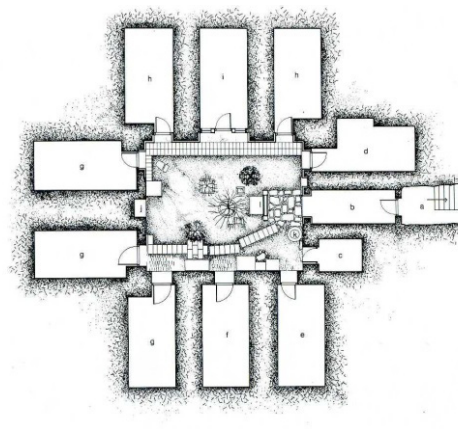


Figura 2.59. Viviendas enterradas en Miao Shan, Valle del Loess, China. Chang K. & Blaser W. (1987) Architectures de Chine. Edition André Delcourt Lausanne ²².

- Acoplamiento al terreno mediante líquidos refrigerantes: aprovechando el principio anteriormente descrito, se puede hacer circular a través del terreno un sistema de tuberías por el que circula un líquido que cede el calor al terreno, haciendo circular estas tuberías posteriormente por la estructura del edificio.

2.4.3.3 ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO

El enfriamiento evaporativo o latente es un proceso adiabático, es decir, sin alterar el cómputo total de energía de un ambiente. Es una técnica basada en el efecto de la evaporación como disipador de calor y se basa en el aprovechamiento de la gran entalpía de vaporización del agua como modo de enfriamiento. [ZINZI, CITTERIO 2010]. La temperatura del aire seco puede ser reducida mediante la transición de fase de agua líquida a vapor de agua. La refrigeración por evaporación puede ser directa o indirecta. En el primer caso, refrigeramos el aire mediante la vaporización de agua de forma directa. En el segundo, la evaporación se lleva a cabo dentro de un intercambiador de calor, sin un cambio en el contenido de agua del aire. En los sistemas modernos se combinan los efectos de evaporación con el movimiento del aire enfriado. Esto puede ocurrir de forma natural (enfriamiento por evaporación pasiva) o con la integración mecánica (enfriamiento evaporativo híbrido). Este último es utilizado en sistemas de ventilación con recuperador de calor. El aire de extracción es humidificado y enfriado, después pasa por un recuperador de calor, el cual enfría el aire de renovación. Este tipo de sistemas están disponibles en el mercado para grandes instalaciones centralizadas. En la Figura 2.60 se muestra una aplicación curiosa de este efecto.

²² Para mayor información del funcionamiento de las casas enterradas en Miao Sahan ver: Jean Bouillot J., Huang L. Cave dwelling in china climatic conditions & microclimatic effects. PLEA 2008 – 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22nd to 24th October 2008.



Figura 2.60. Nevera africana. Imágenes de neveras fabricadas de forma tradicional y propuesta de nevera comercial creada por Fabio Molinas. Nevera OLTU, diseño de Fabio Molinas.

Un caso de enfriamiento evaporativo lo podemos ver en el proyecto de reforma de la bolsa de la Valletta en Malta, en la que en condiciones de aire seco y cálido se inyecta aire en el espacio (90 litro por hora a 25 bares) y junto con la ventilación natural consigue enfriar el aire interior. Una experiencia parecida se ha utilizado en la Torre evaporativa Ben Gurion en Israel, Fig. 2.61.

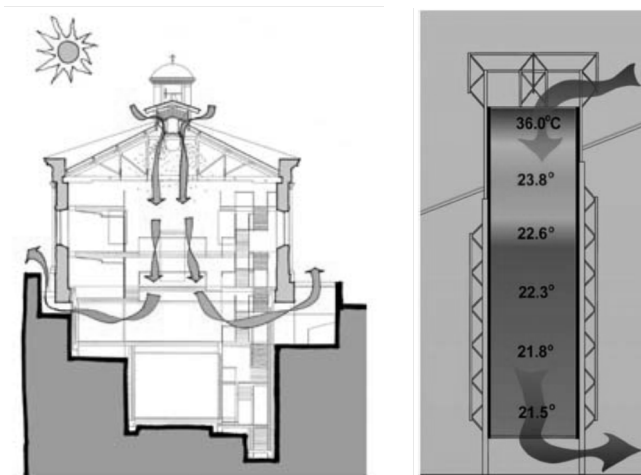


Figura 2.61. Experiencias con enfriamiento evaporativo: Bolsa en la Valletta en Malta y torre evaporativa Ben Gurion, Israel. [ZINZI, CITTERIO 2010].

2.4.3.4 ENFRIAMIENTO RADIANTE

El enfriamiento radiante se basa en el principio fundamental de que todo cuerpo caliente emite energía térmica en forma de radiación electromagnética hacia los cuerpos fríos. El sol radia calor en forma de ondas cortas hacia la tierra durante el día y la tierra radia calor en forma de onda larga durante la noche. hacia el cielo frío. Se produce con una alta intensidad en cielos despejados y limpios. En viviendas Passivhaus, en el que el fuerte aislamiento limita la radiación, este sistema solo puede utilizarse mediante cubiertas con aislamiento desplazable durante la noche. Una variante es la denominada Cubierta “Pond” o Sistema “Skytherm”, en el que unos paneles aislantes giran durante la noche para enfriar unas bolsas de agua. Existen una variedad de sistemas que aplican los principios de enfriamiento radiativo, pero casi todos funcionan más sobre el papel que en la práctica, al requerir de complejos sistemas de desplazamiento.

2.4.4 REFRIGERACIÓN ACTIVA

La refrigeración activa se puede considerar uno de los mayores avances en el confort en los países cálidos. La refrigeración activa o climatización activa, se ha convertido en un elemento común en muchos edificios del centro y sur de España, no así en la zona norte. En la mayoría de los casos, se trata de sistemas individuales instalados una vez habitada la vivienda, aunque cada vez es más común realizar pre-instalaciones del sistema.

El sistema más popular es el denominado sistema de Unidades Split. El sistema consiste en dos partes, una situada en el exterior de la vivienda, en la que el exceso de calor es transferido al exterior, y una unidad interior dotada de un ventilador que hace circular el aire a través de la unidad enfriándolo. Estos sistemas tienen la capacidad de funcionar dando calor en el periodo invernal. El abaratamiento de estos sistemas está haciendo que en las viviendas de alto valor de mercado se empiecen a instalar como signo de confort (Fig. 2.62).



Figura 2.62. Instalación de refrigeración mediante sistema multisplit en el edificio de viviendas en Bilbao. Carlos Ferrater arquitecto. Imagen del autor

La popularización de estos sistemas se debe a su bajo coste y a la facilidad de instalación. La climatización se ha expandido en todo Europa, estando menos del 5% de las viviendas dotadas de aire acondicionado, pero alcanzando en el uso terciario valores más altos, del 5% en Alemania y Austria al 20% en Grecia y Portugal [SALOMON, AUBERT 2007]. Además se está produciendo un crecimiento de más del 10% anual [MALDONADO 2005]. En Italia, el crecimiento entre 1996 y 2002 fue del 14%, en España del 12%, en el Reino Unido del 10%, y en Francia del 8%. [SALOMON, AUBERT 2007] señala que en Estados Unidos, la penetración es del 65% en viviendas y en Japón del 85%, alcanzando China el 16%. El Instituto Nacional de Estadística, en Encuesta de Hogares y Medio Ambiente 2008, indica que el 35,5% de los hogares españoles dispone de aire acondicionado, manteniéndose una temperatura media en el territorio de 22,3°C, siendo de 21,4°C en el norte de España y 22,6°C en Andalucía y Levante.

[IDAE 2011 b] señala que la tasa de viviendas equipadas con aire acondicionado en España es del 48,9% (50,1% en bloques de apartamentos y 48,8% en viviendas unifamiliares). Sin embargo, la tasa se concentra en la zona del Mediterráneo 66,7%, y en la España Continental 39,3%, disponiendo de esta instalación solamente el 1,1% (1,3% en bloques de vivienda) de los hogares de la zona del Atlántico norte. Los sistemas son de tipo individual en su mayor parte. El equipo dominante es la bomba de calor reversible, con una penetración a nivel nacional del 78%, elevándose esta cifra al 83% en la zona Mediterránea, y al 84% en las viviendas unifamiliares. En la zona norte

predomina el equipo portátil 67% frente a la bomba de calor reversible 28% y equipos solo frío un 5%. En los hogares españoles, el consumo eléctrico derivado del aire acondicionado representa solamente el 0,8% del total, muy por debajo del consumo del standby que llega al 2,3%. Por zonas, en el Atlántico Norte el consumo de refrigeración implica únicamente el 0,1%, frente al 1,1% de la zona mediterránea.

La industria de la climatización constata un crecimiento de las ventas en climas en los cuales no se esperaba [SANTAMOURIS, ASIMAKOPOULOS 1996]. A pesar de las diferencias climáticas, una vez que un edificio de oficinas está dotado de aire acondicionado tiene consumos variables (15-110 kWh/m²), pero se constata que no existen grandes diferencias entre un edificio en Grecia y otro en Suecia [SANTAMOURIS, ASIMAKOPOULOS 1996]. A modo de ejemplo [SANTAMOURIS, ASIMAKOPOULOS 1996] presentan el consumo de refrigeración en diferentes edificios terciarios en Grecia, representando del total de energía consumida el 12% en oficinas, 12% en edificios comerciales, 2% en escuelas, 1% en hospitales y 4% en hoteles.

En España el consumo total en los hogares es de 5.042 TJ sobre un total de 215.978 TJ, de los cuales a la zona del Atlántico Norte le corresponden 68 TJ. Por hogares en bloques de vivienda, cada hogar consume 5,0 GJ en refrigeración, frente a 32,7 GJ en calefacción [IDAE 2011 b].

En las regiones secas y calurosas de Estados Unidos, los refrigeradores mediante sistemas de evaporación son muy populares. Estos sistemas hacen pasar el aire seco y cálido del exterior por una manta humedecida. Este aire humedecido y enfriado se distribuye posteriormente por la vivienda.

En el mercado también existe actualmente una tecnología capaz de producir aire refrigerado a partir de la energía solar. Son los sistemas conocidos como Refrigeración por Absorción. Este sistemas, al igual que los sistemas de refrigeración por compresión, aprovecha que las sustancias absorben calor al pasar de estado líquido al gaseoso, pero en vez de utilizar un compresor, se basa en que algunas sustancias como el bromuro de litio tienen la capacidad de absorber otra sustancia, como el agua, en fase de vapor.

2.4.5 SISTEMAS ANALIZADOS EN ESTE ESTUDIO

En este estudio se van a valorar los sistemas de menor complejidad técnica en vivienda colectiva de promoción pública, la reducción de aportes solares mediante protecciones solares y la expulsión del calor mediante la utilización de la ventilación nocturna.

Se descartan otros sistemas como el acoplamiento al terreno, por no ser de usos común en la vivienda colectiva la conexión de las viviendas con el terreno, espacio que suele ocupar el espacio de garajes o los locales comerciales.

En cuanto a los sistemas de enfriamiento pasivo, se valora la necesidad de energía para la refrigeración, al margen del sistema con el que se obtenga.

**EVALUACIÓN DEL ESTÁNDAR DE CONSTRUCCIÓN PASSIVHAUS Y SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO CLIMÁTICO
DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA VASCA Y LA COMUNIDAD FORAL NAVARRA**

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

3 FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 FUNDAMENTOS DE LA SIMULACIÓN TÉRMICA DE LOS EDIFICIOS

Como señala [FEIST 2012-b], ya descrito en el capítulo de introducción, a la hora de implementar las viviendas pasivas en otros climas diferentes al clima continental Centroeuropeo, los pasos iniciales consisten en realizar un estudio paramétrico de las soluciones de diseño de construcción partiendo de un diseño convencional y posteriormente modificando cada uno de los aspectos que influyen en el comportamiento del edificio, recomendando unos primeros pasos mediante simulaciones dinámicas mediante programas validados para poder después transponer los resultados a modelos simplificados.

En las primeras promociones desarrolladas por el PHI se utilizó un programa desarrollado en 1981 por el propio Wolfgang Feist junto con Johannes Werner, Claus Kahlert y Wolfgang Fleig de nombre DYNBIL. Este es un programa de utilización interna de los científicos del Passivhaus Institut, por lo que no se pueden disponer detalles de su funcionamiento. Para conocer más aspectos de las características del programa se nos remite al documento [FEIST 1992].

En las primeras casas pasivas desarrolladas por el PHI de Darmstadt se utilizó el señalado programa de simulación dinámica. El proceso de cálculo del balance energético de edificios de bajo consumo energético es una tarea exigente, derivada principalmente por la multitud de datos que se deben introducir. En el proyecto de Kranichstein en Darmstadt, fue necesario introducir más de 2000 datos de entrada, sin tener en cuenta los datos climáticos. Los costes asociados a modelos de este tipo son elevados, y si bien no todos los datos tienen la misma importancia, la introducción errónea de algunos datos puede llevar a resultados muy alejados de la realidad, echando a perder todo el cálculo. Dicho programa de simulación fue afinado con las mediciones realizadas en la promoción citada. Posteriormente, se procedió a realizar un comparativo con diferentes programas, pudiendo concluir qué elementos eran esenciales y llegando a modelos simplificados con una entrada razonable de datos y que ofrecieran balances energéticos fiables [FEIST 2006].

Las ventajas de la simplificación no solo están ligadas a un proceso de cálculo más claro, sino sobre todo a:

- Menor tiempo de búsqueda de datos e introducción de datos, ya que solo se utilizan los datos de la envolvente del edificio y de la ventilación
- Una reducción en consecuencia de las fuentes de errores en el momento del diseño y una mayor facilidad de control del proceso de cálculo en las diferentes fases.
- El cálculo se concentra en los valores más importantes.
- Integración de todos estos valores.

En general los programas de simulación dinámica pueden llegar a ser muy precisos para ciertos procesos físicos, por ejemplo la conducción de calor no estacionaria o para los intercambios de calor por radiación, pero también realizan sus simplificaciones en los puntos más débiles del programa. En la práctica de la construcción de edificios con un concepto conocido, la utilización de un sistema de cálculo simplificado puede llegar a ser más eficaz y preciso ya que evitará numerosas fuentes de error. Para la construcción de viviendas pasivas en Centroeuropa, para la cual el proceso ha sido

validado y optimizado miles de veces, se ha desarrollado el PHPP²³, el cual ha sido calibrado según los cálculos de simulación realizados a partir de modelos complejos no estacionarios.

El PHPP ha sido desarrollado comparando sistemáticamente la utilización de funcionalidades con los resultados de las simulaciones no estacionarias [FEIST 2006]. Solo se utilizaron los modelos de simulación que han sido previamente validados por mediciones realizadas en vivienda pasivas construidas. La comparación se ha realizado para el estándar de casa pasiva, por lo tanto para edificios con una demanda energética muy baja. Los resultados del PHPP se han comparado continuamente con muestras suficientemente importantes procedentes de viviendas pasivas construidas, mostrando siempre una buena correlación. Podemos encontrar diversos proyectos calculados con el programa de certificación PHPP, y el comparativo con las monitorizaciones llevadas a cabo con un mayor detalle en [PASSIPEDIA].

En el PHPP hay una serie de condiciones límite:

-Para las fuentes de calor internas se toma el valor de $2,1 \text{ W/m}^2$ ($\pm 0,3$), valor bajo y que tiene sentido en una vivienda en la que se utilizan electrodomésticos con una buena calificación energética. Existe una hoja de cálculo dentro del programa en el que se pueden detallar las fuentes de calor de una forma más precisa, Ganancias de Calor de fuentes Internas (GIC). Ganancias de calor internas demasiado elevadas conducirían a consumos de calefacción muy bajos, incluso a pensar que se pueden realizar viviendas de consumo nulo con construcciones de calidad media.

-Temperatura de consigna interior de 20°C

-Para las ganancias solares, se debe tener en cuenta la suciedad de los vidrios, introduciéndolo como un factor de sombreado.

-Se introducen una serie de factores de reducción de temperatura en los diferentes elementos constructivos.

-Se introduce el valor de estanqueidad obtenido a partir de un ensayo certificado según [UNE-EN 13289] no admitiéndose simplificaciones.

El PHPP ha sido desarrollado como una herramienta de concepción para que el arquitecto planifique y optimice el proyecto de casa pasiva. Las diferentes ventanas del programa están dedicadas a las diferentes partes del edificio, desde el montaje de las carpinterías, la ventilación y las instalaciones del edificio. El manual del PHPP nos aconseja en la toma de decisiones para alcanzar un mejor resultado.

La simulación térmica dinámica consiste en estimar con cierta frecuencia temporal, normalmente cada hora, la potencia para proporcionar ciertos servicios, potencia térmica suministrada en ese intervalo, adicionada para proporcionar calefacción o extraída para proporcionar refrigeración en sus diversas formas, convectiva, radiante, latente (humedad del aire) y la energía consumida por los sistemas para conseguirlo [IDAE 2008].

La ventaja de las herramientas de simulación dinámica de los edificios, comparada con los sistemas estacionarios basados en ecuaciones estriba en que los efectos a corto y largo plazo generados por la inercia térmica del edificio pueden ser tenidos en cuenta. Especialmente en los edificios de alta eficiencia energética como las viviendas

²³ Acrónimo inglés de *Passive House Planning Package*

Passivhaus, con una envolvente de alta calidad, las constantes temporales pueden ser de varias semanas. El comportamiento térmico durante el verano depende altamente del comportamiento dinámico del cerramiento del edificio. Por el contrario, la desventaja de las herramientas de simulación dinámica es el tiempo que necesitan para validar los resultados [PFLUGER 2005]. Una simulación realista del comportamiento térmico del edificio en periodos inferiores a un mes solo es posible mediante la utilización de programas de simulación dinámica.

Durante los últimos años se han desarrollado diferentes sistemas, entre otros TRNSYS, EnergyPlus, DOE-2, DROEB, BLAST, ESP-r, etc. La dificultad radica en todos ellos en encontrar un equilibrio entre el detalle en la modelización y la velocidad de cálculo.

En este estudio se utiliza el programa de simulación DesignBuilder [DESIGNBUILDER]. El programa nace como interface gráfico del programa EnergyPlus, el cual está desarrollado por el Departamento de Energía de Estado Unidos, uniendo la funcionalidad de dos programas, BLAST y DOE-2, ideados entre los años 70 y 80 con el objetivo de realizar simulaciones energéticas, y por otro lado estudiar sistemas HVAC. EnergyPlus permite calcular el balance térmico del edificio y el ambiente exterior, la interacción con los sistemas HVAC, y el análisis lumínico.

El estudio mediante simulación dinámica permite evaluar de una forma adecuada la situación de las viviendas frente a la radiación solar y la ocupación, con datos más fiables del comportamiento del edificio.

3.2 DETERMINACIÓN DE LAS CIUDADES REFERENCIA. CLIMA Y DATOS CLIMÁTICOS

3.2.1 LA IMPORTANCIA DEL CLIMA EN EL ESTÁNDAR PASSIVHAUS

El clima local y urbano es un parámetro fundamental en el diseño de las viviendas Passivhaus. La radiación solar, la temperatura exterior, la temperatura del cielo y otros parámetros climáticos son factores decisivos a la hora de calcular el balance energético, por lo que es necesario disponer de datos contrastados. El clima local influye en los valores de aislamiento en las fachadas y en las carpinterías, así como en el tamaño y orientación de las estancias y la proporción de huecos a disponer. Esto finalmente determina si el periodo invernal o estival es el más crítico a la hora de dar respuesta mediante un diseño adecuado del edificio [GONZALO, VALLENTIN 2013]. En la Figura 3.1 se muestra un mapa de la demanda de calefacción para las casas pasivas económicamente optimizadas, en varios lugares de Europa y los valores de demanda de calefacción, carga de calefacción junto con los periodos por encima de 25 °C en varias ciudades de Alemania.

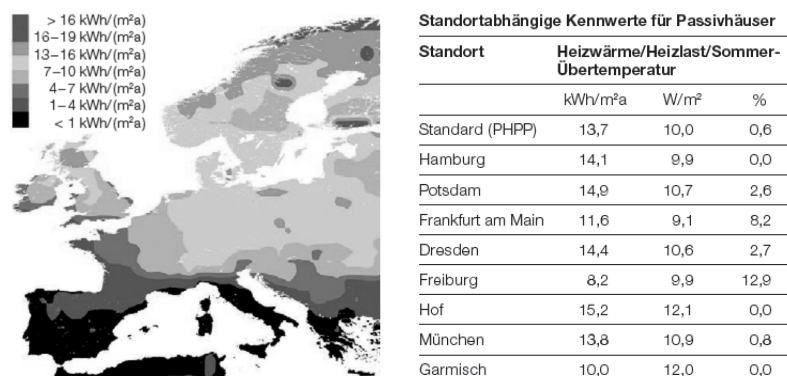


Figura 3.1. Características de calefacción para las casas pasivas económicamente optimizadas, en varios lugares de Europa. Calefacción y de carga de calefacción características y la frecuencia de sobrecalentamiento (>25 °C) para una casa pasiva en varios lugares de Alemania [GONZALO, VALLENTIN 2013]

Una forma particular de clima es el que se produce en las ciudades densamente pobladas y urbanizadas. El efecto más conocido es el que tiene sobre el confort de verano, ya que generalmente este tipo de ciudades mantienen una temperatura superior al entorno rural, especialmente en las olas de calor veraniegas. La ventilación cruzada funciona eficazmente en las urbanizaciones de baja densidad, pero no es eficaz en los centros urbanos con alta densidad, debido al retardo en el enfriamiento del aire exterior que produce la masa construida urbana. Como consecuencia de esto se pueden generar diferentes conceptos de ventilación y construcción para las viviendas de las grandes ciudades frente a las situadas en entornos de baja densidad [GONZALO, VALLENTIN 2013].

3.2.2 CONSIDERACIONES GENERALES. POBLACIÓN Y DENSIDAD

El objetivo de este estudio es abarcar el máximo de población dentro del territorio, por tanto, se buscan las poblaciones con mayor número de habitantes. En general como vemos en el Figura 3.2, la población se concentra en la vertiente cantábrica del territorio. A partir de ahí, encontramos dos focos importantes de población en las capitales, Vitoria-Gasteiz y Pamplona, bajando notablemente la densidad en el sur de Navarra. Otra área con una fuerte concentración de población la encontramos en el valle del Ebro, particularmente en la capital de la Rioja, Logroño y Tudela.

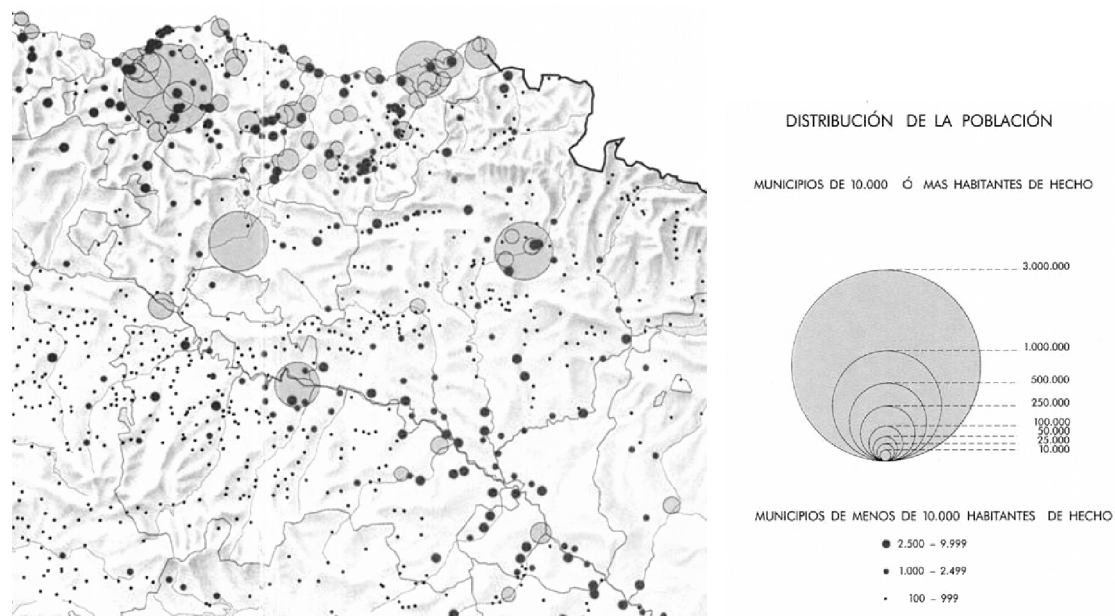


Figura 3.2. Distribución de la población de los municipios en 1981 [ATLAS IGN 1992]

En la Tabla 3.1 se detallan las ciudades más pobladas de la CAV y Navarra junto con el número de habitantes.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

Tabla 3.1. Población de las mayores localidades de la CAV y CFN		
PROVINCIA	Localidad	Censo
BIZKAIA (1.156.447)	Bilbao	349.356
	Barakaldo	100.502
	Getxo	79.839
	Portugalete	47.233
	Santurtzi	47.020
	Basauri	41.799
	Leioa	30.637
	Galdakao	29.219
	Durango	28.691
	Sestao	28.651
	Erandio	24.457
GIPUZKOA (713.818)	Donostia-San Sebastián	186.500
	Irún	61.113
	Errenteria	39.178
	Eibar	27.439
	Zarautz	22.760
	Arrasate/Mondragón	22.051
	Hernani	19.354
	Tolosa	18.836
	Lasarte-Oria	18.024
Hondarribia	16.795	
ARABA/ALAVA (321.417)	Vitoria-Gasteiz	241.386
	Laudio/Llodio	18.510
	Amurrio	10.139
	Salvatierra/Agurain	4.995
	Iruña Oka/Iruña de Oca	3.100
	Ayala/Aiara	2.935
	Alegria-Dulantzi	2.870
	Zuia	2.427
	Artziniega	1.832
Zigoitia	1.755	
NAVARRA (644.477)	Pamplona	196.955
	Tudela	35.369
	Burlada/Burlata	18.248
	Zizur Mayor/Zizur Nagusia	14.120
	Estella-Lizarra	13.947
	Tafalla	11.201
	Ansoáin/Antsoain	10.976
	Villava/Atarrabia	10.308
	Berriozar	9.605
	Aranguren	8.579
	Baztán	7.974
	Noáin (Valle de Elorz)/Noain (Elortzibar)	7.808
	Altsasu/Alsasua	7.711
	Huarte/Uharte	6.781
	Berriplano/Berriobeiti	6.325
	San Adrián	6.225
	Peralta/Azkoien	5.975
	Sangüesa/Zangoza	5.080
	Lodosa	4.836
	Castejón	4.183
	Viana	4.062

Elaboración propia a partir de los datos del Instituto Nacional de Estadística. Cifras oficiales de población resultantes de la revisión del Padrón municipal a 1 de enero de 2013.

3.2.3 CLASIFICACIONES CLIMATICAS

3.2.3.1 INTRODUCCIÓN

La determinación de clima de una zona, entendido clima como la secuencia de estados de la atmósfera que se va produciendo a medida que pasa el tiempo, presenta gran complejidad, ya que a los valores estadísticos sobre los elementos del tiempo atmosférico en una región durante un periodo representativo, esto es temperatura humedad, presión, vientos y las precipitaciones, deben añadirse los factores físicos que modifican el clima. Son los factores referidos a la ubicación en el planeta, como son latitud, altitud, orientación del relieve, continentalidad o distancia al mar, masas de agua y la dirección de los vientos.

La convención recomendada por la Organización Meteorológica Mundial (World Meteorological Organization o WMO), considera que 30 años es la base para la escala de tiempo climática, y las propiedades estadísticas las calculadas durante los 30 años consecutivos de 1931-1960; las que más frecuentemente se consideran y denominan “Normales Climatológicas Reglamentarias” [ROLDAN 1985]. El clima presenta un comportamiento difícil de predecir, puede listarse una tendencia climática relacionada con los movimientos de la Tierra, radiación solar, movimientos orbitales... y, gracias a las estaciones meteorológicas, basándose en las estadísticas, pero al mismo tiempo hay factores inesperados, que actúan como impulsores o moderadores de los distintos factores climatológicos.

La importancia del clima junto con los factores geográficos que al mismo tiempo lo afectan y modifican, son vitales con repercusiones socioeconómicas, además de ser un importante instrumento de referencia para el seguimiento de la variabilidad y del cambio climático y en el caso concreto que nos ocupa del diseño de viviendas así como todos los aspectos de la vida cotidiana.

Es por ello que las clasificaciones climáticas, aunque complejas, son necesarias para diferenciar las diferentes áreas climáticas de un territorio [MEAZA 1996].

3.2.3.2 FACTORES CONDICIONANTES DEL CLIMA

A lo largo del tiempo puede observarse que la relación entre arquitecturas vernáculas y el entorno microclimático es determinante para la tipología edificatoria y su emplazamiento.

Como se indica en la introducción los factores la latitud, la continentalidad y las masas de agua, altitud y relieve, van a definir las particularidades de la meteorología del País Vasco y Navarra. El espacio natural del País Vasco y Navarra presenta unas características físicas definitorias del territorio y por ende de las variaciones climáticas en el mismo. Es un territorio de reducida extensión, con un territorio costero y montañoso al mismo tiempo.

La vertiente atlántica al norte abarca el 63% del territorio del País Vasco, y la vertiente mediterránea más meridional abarca parte de Álava y Navarra. Desde la perspectiva orográfica, la escasa altitud de las sierras facilita el paso de una a otra vertiente a través de los puertos de montaña de la cadena Divisoria cantábrico-mediterránea.

LA LATITUD

El territorio del País Vasco y Navarra se sitúa entre los paralelos 42° y 43,5°, en la zona templada de la Tierra, consecuentemente queda definido la incidencia de los rayos solares en el terreno, variando entre el verano y el invierno entre un 70° en el solsticio

de verano y un 25° en el solsticio de invierno. Se encuentra ubicado al norte de la Península Ibérica, entre el Golfo de Vizcaya y la depresión central del Ebro. Está unida al continente europeo por el nordeste y entre el Atlántico y el mediterráneo, por tanto son éstas las zonas desde donde llegan las masas de aire. La posición adelantada en el Atlántico de la península ibérica permite en las latitudes más septentrionales la existencia de un clima oceánico templado. Al mismo tiempo se ve limitado hacia el extremo meridional donde se asienta la zona templada por la Cordillera Cantábrica, y en el territorio referido, por los Montes Vascos.

La circulación más frecuente de la componente oeste en los vientos y queda suavizada por su paso por el Atlántico, de tal manera que atempera los rigores de las estaciones invernales y estivales. Las masas de aire marítimas llegan a la costa con gran cantidad de vapor de agua cargadas de calor latente, que al llegar a la costa se condensa y precipita.

LA CONTINENTALIDAD

Ambas zonas, costa Vasca y área de influencia mediterránea están delimitadas por una orografía montañosa, cadenas litorales y prelitorales de nivel medio definida por lo Montes Vasco. El alejamiento del influjo del mar, unido a perfil geográfico, repercute directamente en el grado de humedad, precipitaciones, las temperaturas más o menos moderadas a lo largo del año.

El mecanismo que utiliza el mar es doble. Por un lado utiliza su propio calor para evaporar grandes cantidades de líquido; calienta el aire. Los fuertes vientos del oeste que barren la superficie del mar en estas latitudes facilitan los flujos de energía a nivel tanto a nivel superficial como atmosférico. El proceso de enfriamiento del agua superficial marina al contacto con el aire conlleva un aumento de su densidad, se hunde y es sustituida por las aguas más cálidas y menos densas que trae desde el sur la corriente del Golfo. Al mismo tiempo, la corriente de Golfo repercute en la zona del litoral aporte de humedad y moderación térmica, con inviernos más suaves que los correspondería a su latitud mientras que en la zona más meridional, la influencia es mediterránea, adentrándose su influjo a lo largo del valle del Ebro. Se ha calculado que más del 75% de los días las masas de aire en Euskadi son de procedencia atlántica [MEAZA 1996].

La segunda influencia que tiene importancia es el mar Mediterráneo, llegado de masas de aire húmedo, aceleradas por vientos del este o sureste y que tienen importancia directa con las precipitaciones en esta área.

FACTORES GEOGRÁFICOS LOCALES MICROCLIMÁTICOS

Un tipo de clima afecta por lo general a grandes áreas del territorio. Sin embargo, dentro de estas áreas y debido a factores propios del terreno aparecerán variaciones climáticas particulares, o microclimas, con características muy marcadas capaces de modificar sensiblemente el clima local [UCAR *et ál.*, 1990]. Estos factores se pueden resumir en el área estudiada en:

-Distancia al mar: tiene un efecto regulador del gradiente térmico, reduciendo las temperaturas máximas y aumentando las mínimas.

-Altitud: en climas húmedos se comprueba que la temperatura desciende de 0,3 a 0,8 °C. Además se produce una mayor radiación solar y una mayor radiación nocturna, con lo que se incrementa el gradiente térmico.

-Presencia de vegetación: tiene un efecto similar al mar, al evitar el sobrecalentamiento del suelo y evita la radiación nocturna, reduciendo el salto de temperatura día-noche, dando lugar a un clima típico fresco de día y atemperado de noche.

-Emplazamiento: la orografía intrincada y montañosa de la zona aquí determinada y la situación de ésta respecto a la península ibérica, a su vez de carácter macizo y con una importante altitud media, hace del País Vasco y Navarra una zona de gozne entre la península Ibérica y la depresión de Aquitania, estando por todo ello influenciado por estas áreas geográfica y a pesar de no ser ninguna de ellas lugares de nacimiento de masas de aire sí presentan gran importancia en las modificaciones bariométricas e hídricas [RUIZ Y GALDOS 2008].

Del mismo modo, no siendo la Península ibérica lugar de nacimiento de masas de aire ni poseyendo centros de acción que puedan considerarse tales, sí ejerce una influencia notable en la degeneración de dichas masas y en el reforzamiento y debilitamiento de grupos bariométricos. Las dos influencias más sobresalientes que ejerce la Península en su conjunto sobre nuestra región consisten en el efecto de borrasca peninsular estival y el desecamiento de las masas oceánicas que penetran desde el Oeste y sobre todo desde el Suroeste [RUIZ 1982].

El bloque peninsular ejerce un desecamiento de las corrientes sudoeste en los sucesivos pasos de cadenas montañosas que ya en el País Vasco, en su ascensión se enfría y expande, saturándose y pudiendo producir lluvias y precipitaciones y que al descender bruscamente desde los 1000m de altitud hasta el nivel del mar, en un corto recorrido, se calienta por compresión, recrudescido por la bajada de la humedad relativa que limpia el cielo y hace aumentar la insolación. Produce sensaciones muy calurosas, más acusadas a medida que disminuye el nivel altitudinal. Este proceso se conoce como el efecto föhn. En la Tabla 3.2 vemos como la diferencia de temperaturas de sur a norte es de más de 10°C

Localidad	Tª media 16/12/2013	Tª media Diciembre	Tª máxima 16/12/2013	Tª media de las máximas Diciembre	Tª mínima 16/12/2013	Tª media de las mínimas Diciembre	Humedad relativa %
Bera	13,6	8,7	16,6	13,1	9,5	4,2	35%
Pamplona	3,9	5,6	9,9	9,1	0,1	2,1	84%
Estella	0,8	5,6	8,6	9,2	-1,9	2,0	89%
Carcastillo	2,2	5,3	11,5	10,0	-2,5	1,3	92%
Tudela	1,7	6,4	4,2	10,1	-0,5	-3,4	100%

Elaboración propia a partir de [METEO NAVARRA]

En el sentido opuesto cuando los vientos son Noroeste es la formación montañosa de la sierra central de Álava y los Montes Vascos, algo más depresiva que la cordillera cantábrica, la que determina que esta zona se constituya como paso para esos flujos, actuando de rampa ascendente, aumentando la condensación y por ende el total pluviométrico en intensidad y frecuencia. Las lluvias son más abundantes del oeste al

este debido a la mayor masividad y altitud de las montañas, las masas de aire cargadas de humedad penetran desde el mar y sufren violentas ascensiones orográficas.

Las cuencas hídricas son un punto del relieve definitorio de particularidades climáticas. No siempre las cuencas son paralelas a las estructuras geológicas, sino que en algunos puntos los valles cortan perpendicularmente los ejes de dichas estructuras geológicas aprovechando alguna fractura. En el País Vasco y Navarra son dos las cuencas acuíferas: Los ríos septentrionales de las cuencas vasco cantábricas y los meridionales que vierten sus aguas al Ebro.

Los ríos vascocantábricos, producen valles que atraviesan variedades litológicas y por tanto con ensanchamientos y estrechamientos variables, creando valles profundos, con pendientes medias que oscilan entre el 7-10%, con un índice de sinuosidad del tipo 1 y alturas del fono del valle superiores a 200 m. Los ríos de la vertiente mediterránea, presentan un aspecto general palmeado, son valles más alargados que los cantábricos, pero presentan formas más ovaladas. Las pendientes son acusadas en las cabeceras, del 10-20% pero se remansan a niveles medianos del 1.5-3% para descender hasta 0.2-0.6% en su desembocadura [RUIZ, GALDOS 2008]. Existen valles en los que la insolación es mínima a lo largo del año.

En el área estudiada esto tiene diferentes efectos sobre la edificación. En las laderas norte cantábricas recibirán poca radiación solar, estarán expuestas a los vientos fríos dominantes, aumentará la humedad ambiente y descenderá la temperatura con respecto a la media de esa zona climática. Las laderas este y oeste presentan aparte de las diferencias normales (Sol matinal en el Este y por la tarde en el Oeste, con posibilidad de sobrecalentamiento en verano) otra influencia notable como son los vientos provenientes del noroeste que barren estas laderas con frecuencia. También es común la acumulación de nieblas en los fondos de los valles, con una humedad sensiblemente mayor y las temperaturas menores que las del entorno climático.

-Zonas urbanas y rurales: Generalmente los centros urbanos poseen una temperatura de entre 3 y 5°C más alta que la zona rural adyacente, provocando con frecuencia fenómenos de inversión térmica, sobre todo por la noche. Con respecto al viento, dependiendo de la configuración urbana, se acentuarán las corrientes de aire en calles expuestas al viento dominante o se minimizarán en entornos protegidos.

En la Tabla 3.3 se resumen los efectos microclimáticos típicos del territorio de estudio.

	TEMPERATURA	HUMEDAD	RADIACIÓN	VIENTOS
DISTANCIA AL MAR	Disminución en verano y aumento en invierno	Aumenta	Disminuye	Incrementan
AUMENTO ALTITUD	Disminuye	Disminuye	Aumenta	Incrementan
PRESENCIA VEGETACIÓN	Disminuye	Aumenta	–	Disminuyen
TERRENO SOBRE LADERA NORTE	Disminuye	Aumenta	Disminuye	Incrementan vientos fríos
TERRENO SOBRE LADERA SUR	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Disminuyen
TERRENO SOBRE LADERA ESTE	–	–	Aumenta por la mañana y disminuye por la noche	–
TERRENO SOBRE LADERA OESTE	–	–	Disminuye por la mañana y aumenta por la tarde	Aumentan los vientos cuando hay componente Noroeste
TERRENO EN DEPRESIÓN	Disminuye	Aumenta	Disminuye	Disminuyen
ZONA URBANA	Aumenta	Disminuye	Disminuye	Disminuyen
ZONA RURAL	Disminuye	Aumenta	Aumenta	Incrementan

Elaboración propia a partir de [UCAR et ál.,1990]

A nivel particular, la sensación térmica y a nivel constructivo, el diseño y construcción de un proyecto eficiente, el estudio del clima y del microclima es fundamental. Los componentes aquí descritos hablan de la importancia del lugar. Todos los componentes hacen variar el clima. De ahí la dificultad del diseño arquitectónico eficiente. En lo referente a arquitectura, los componentes aquí listados hacen variar notablemente el rendimiento energético de un edificio.

3.2.3.3 ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS

Los elementos climáticos en una zona son los referidos a las condiciones climáticas. Estos elementos climáticos son los que se miden, anotan y forman parte de los datos estadísticos. Dichos datos no dependen únicamente de los fenómenos meteorológicos, sino que están condicionados por todo lo descrito anteriormente.

Los distintos elementos climáticos son: La insolación, la humedad y nubosidad, precipitaciones, temperatura, viento. De todos estos fenómenos nos centraremos en la radiación solar y en las temperaturas ya que estos dos factores son la base del diseño de las arquitecturas pasivas.

LA INSOLACIÓN

Nos remite al número medio de horas de sol en las distintas estaciones y meses. Dada la latitud del País Vasco y Navarra el sol varía su trayectoria desde nordeste a noroeste en verano, siendo de sureste a suroeste en invierno es sólo en los equinoccios cuando el sol aparece exactamente por el este y se oculta por el oeste. La insolación no es exactamente un dato estadístico de energía recibida. Depende en gran medida además de la orientación y de la pendiente de los relieves del entorno y el sombreado y nubosidad.

Si sólo fuese por la latitud, el promedio de horas de sol en la zona estudiada sería similar en todo el territorio. La nubosidad tan variable en la orientación norte-sur,

modifica estos datos de manera muy significativa. Es en la costa donde menos horas de sol hay de media (1500-1700 horas) aunque aumentan considerablemente del oeste al este. En el territorio continental también aumenta la insolación del oeste al este y de norte al sur. En la zona intermedia de la CAPV se dan entre 1700-2000 horas mientras que en la Rioja Alavesa llegan a las 2200 horas [EVE 1998].

La energía solar obtenida queda marcada por la diferencia con una medición teórica sin nubes y la real con la nubosidad a lo largo del año pasa de 480 W/m² suponiendo una nubosidad nula en junio a la media medida en junio de 235 W/m² y de 55 W/m² en Diciembre., que se sitúa en 235 W/m² en junio cogiendo una potencia media anual de radiación solar calculada para País Vasco y Navarra de 150 W/m². Las zonas de menor insolación son las sierras meridionales de Vizcaya y Guipúzcoa, las de menor insolación [MEAZA 1996].

Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOT AL
Donostia-San Sebastián	1,53	2,22	3,49	4,39	5,18	5,62	5,59	4,93	4,11	2,59	1,66	1,33	3,55
Bilbao	1,98	1,56	3,43	4,30	5,17	5,55	5,49	4,87	4,08	2,72	1,70	1,38	3,54
Vitoria-Gasteiz	1,56	2,32	3,58	4,46	5,40	6,11	6,28	5,49	4,37	2,83	1,79	1,38	3,80
Pamplona	1,62	2,49	3,80	4,58	5,66	6,62	6,86	5,95	4,60	2,96	1,87	1,47	4,04
Logroño	1,77	2,66	4,07	4,98	5,85	6,80	7,05	6,13	4,76	3,07	1,97	1,54	4,22
Zaragoza	2,05	3,21	4,66	5,82	6,75	7,56	7,76	6,64	5,25	3,52	2,35	1,79	4,78
Almería	2,84	3,72	4,93	6,52	7,21	7,94	7,89	7,02	5,71	4,15	3,02	2,46	5,29
Santa Cruz de Tenerife	3,47	4,22	5,04	6,11	6,59	7,22	7,60	7,02	5,90	4,79	3,70	3,17	5,40

Elaboración propia a partir de [SANCHEZ et ál. 2012]

La capital con el valor más bajo de irradiancia es Bilbao seguida de San Sebastián, Oviedo, Santander, Vitoria, Lugo y La Coruña [SANCHEZ et ál. 2012].

Ciudad	Irradiación directa	Irradiación difusa	TOTAL	Puesto entre las 52 capitales de provincia española
Bilbao	1,98	1,56	3,55	52°
Donostia-San Sebastián	2,01	1,54	3,54	51°
Vitoria-Gasteiz	2,21	1,59	3,80	48°
Pamplona	2,44	1,60	4,04	45°
Logroño	2,66	1,56	4,22	42°
Zaragoza	3,30	1,48	4,78	24°
Almería	3,71	1,58	5,29	2°
Santa Cruz de Tenerife	3,38	2,02	5,40	1°

Elaboración propia a partir de [SANCHEZ et ál. 2012]

En el Atlas de Radiación Solar en España encontramos la radiación solar de todas las capitales de provincia [SANCHEZ et ál. 2012]. A lo largo del año, [EVE 1998] tiene caracterizado la CAPV es zonas según su radiación solar a lo largo de los diferentes meses del año (Fig. 3.3).

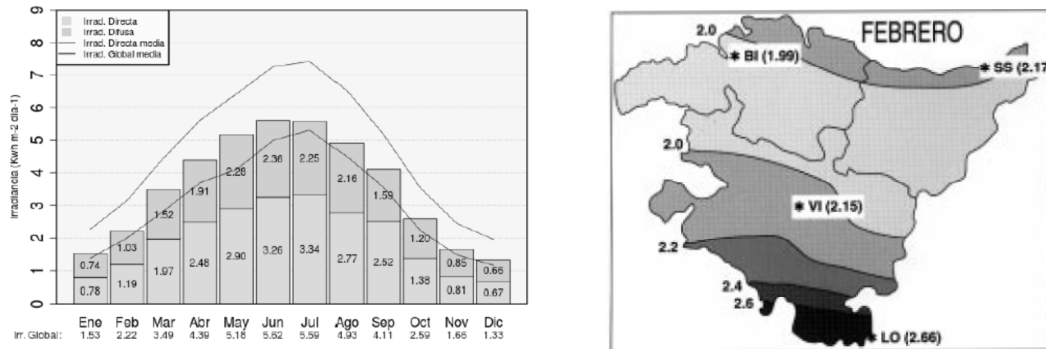


Figura 3.3. Irradiancias Global, Directa y Difusa en las capitales de provincia [1983-2005] [SANCHEZ et ál. 2012]; Isolíneas de irradiación media en cada mes del año en kWh/m² en la CAPV [EVE 1998].

La irradiación global anual sobre superficie horizontal (kWh/m²) en la Comunidad Foral de Navarra crece de norte a sur, siendo en la en la franja norte 1150 kWh/m², llegando hasta 1600 kWh/m² en la zona más alta, en el sur del territorio (Bardenas) (Fig. 3.4). Meteo Navarra dispone de mapas estadísticos con la radiación solar de todo el territorio [METEO NAVARRA].

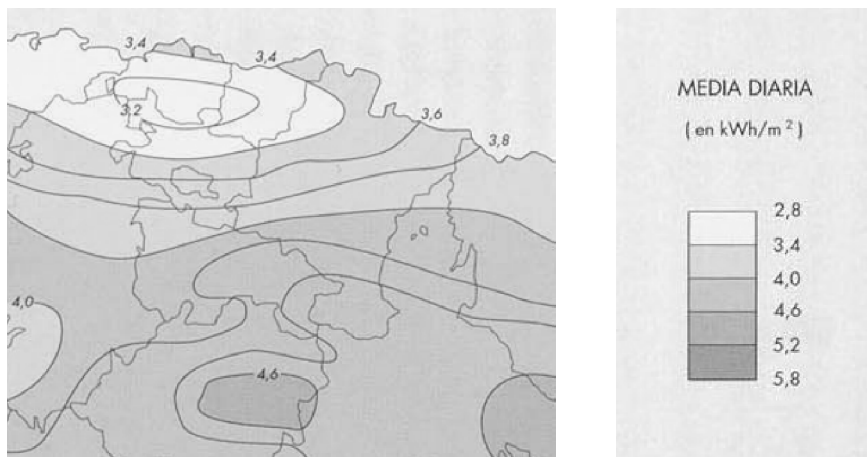


Figura 3.4. Irradiación global anual sobre superficie horizontal (kWh/m²) en la CAV y la Comunidad Foral de Navarra [ATLAS IGN 1992].

La Figura 3.5 grafía la Irradiancia Global media en la península ibérica y en Europa. [SANCHEZ et ál. 2012] señala que “A la vista de este mapa radiativo es manifiesto que España es el país europeo que recibe en promedio, con una diferencia sustancial, la mayor cantidad de radiación sobre una superficie horizontal, por lo que es el que ofrece, sin ningún género de dudas, un mayor potencial de aprovechamiento de la fuente de energía solar. Otra característica importante es la de ser asimismo el país que muestra los mayores contrastes, gradientes radiativos y complejidad en la distribución de dicha energía radiativa. Esto no es sin embargo de extrañar, ya que este mapa radiativo es reflejo de la variedad de regiones climáticas existentes en España condicionada a su vez por la diversidad orográfica de la península Ibérica”.

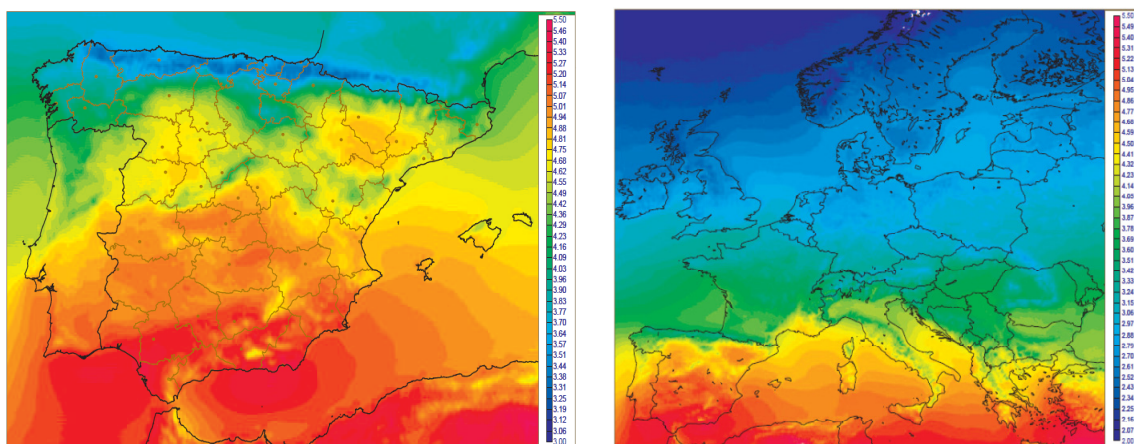


Figura 3.5. Irradiancia Global media en la península ibérica y en Europa [1983-2005] (Kwh/m² dia) SIS (CM-SAF) [SANCHEZ et ál. 2012].

La Figura 3.6 muestra los valores de irradiación solar de las diferentes capitales europeas. Vemos como Bilbao y Donostia-San Sebastián se aproximan a los valores globales de una ciudad como Berna, mientras que la zona sur alcanza los valores de la ciudad de Roma.

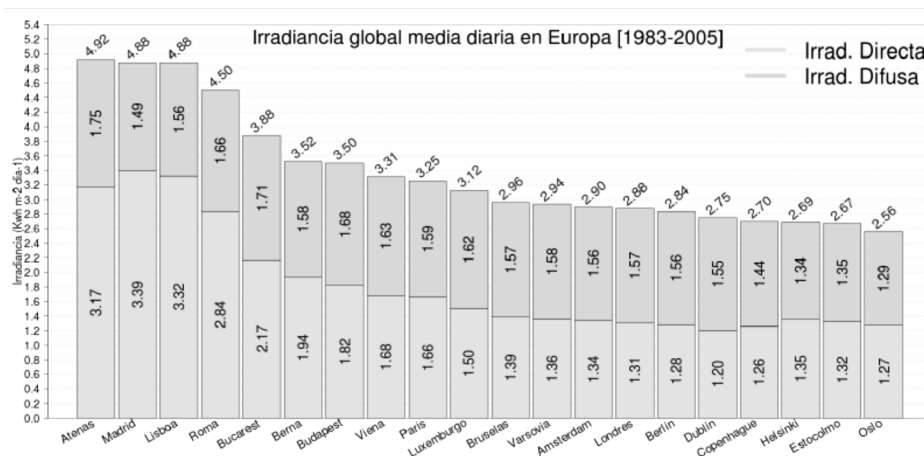


Figura 3.6. Irradiancia Global media en las capitales de Europa (Kwh/m² dia) [SANCHEZ et ál. 2012].

A este factor debe unirse la orografía y sinuosidad del relieve. Este factor determina que en pequeños tramos existan zonas soleadas junto a otras sombreadas. Esta particularidad condiciona la vegetación, los cultivos y la búsqueda de un hábitat confortable. No siempre ha sido así, lo escarpado de algunos valles vasco-cantábricos, y dada la latitud del territorio que hace que el sol se eleve no más de 25° sobre el horizonte en invierno nos hace encontrar fondos de valles e incluso pueblos habitados totalmente sombríos. La Figura 3.4 muestra un mapa de pendientes del territorio.

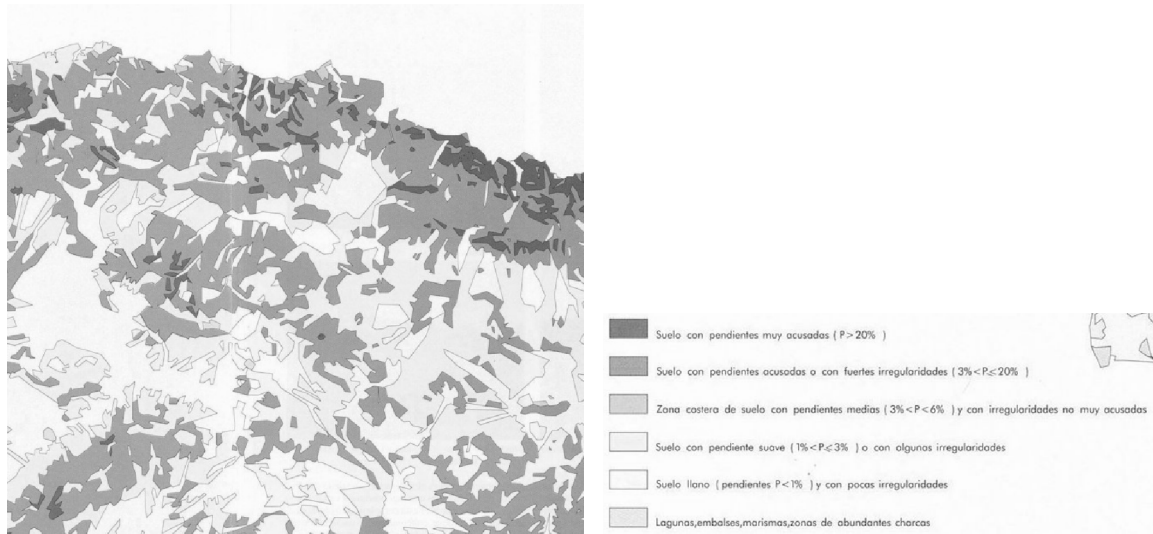


Figura 3.7. Pendientes en % en País Vasco y Navarra [ATLAS IGN 1992].

El relieve es un factor determinante en el microclima sobre todo en la zona norte del territorio, ya que se unen tres factores, la exposición al sol, al predominar laderas a norte o poblaciones situadas en fondo de valles, la exposición a los vientos y la exposición a la humedad arrastrada por estos. [UCAR *et ál.*,1990] establece cinco posibles consecuencias del clima sobre la edificación en función de las posibles ubicaciones características en el País Vasco (Fig. 3.8).

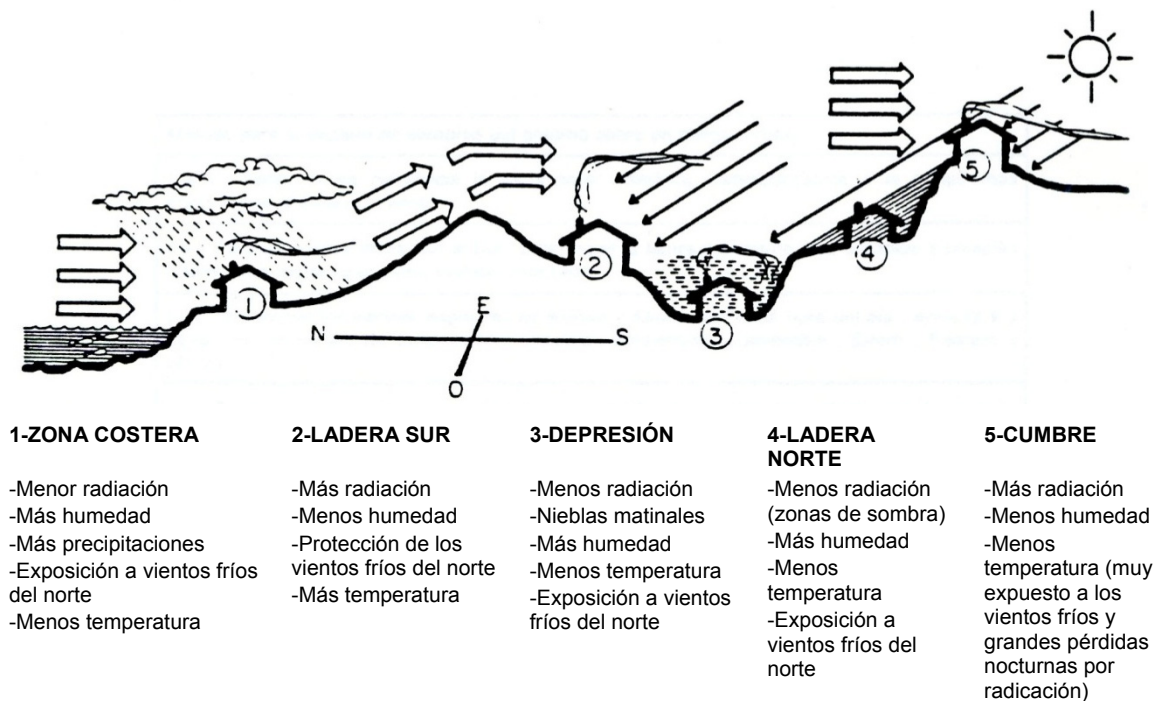


Figura 3.8. Influencia del relieve en el microclima en la franja cantábrica [UCAR *et ál.*,1990].

Como dato curioso, del estudio de número de horas potenciales de sol (es decir si el día está despejado) en San Sebastián se observa que la parte occidental de la playa de

Ondarreta tiene una hora y veinte minutos menos de sol que la parte oriental de la playa de la Concha (Fig. 3.9).

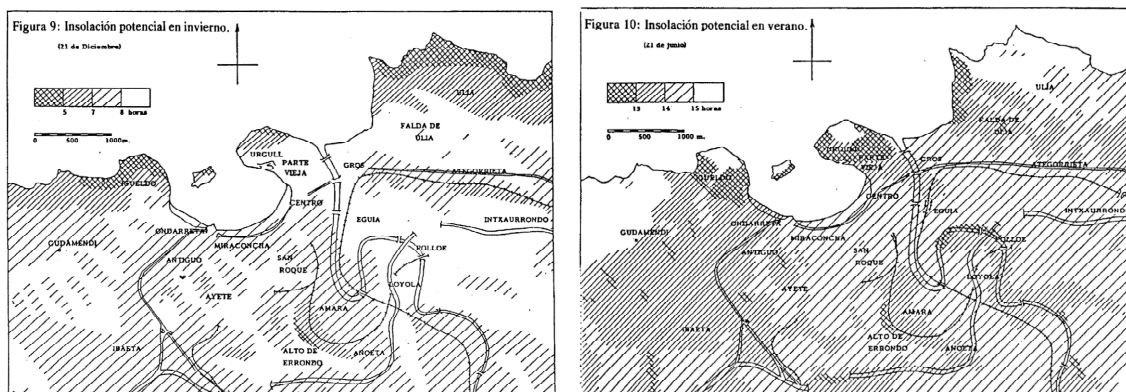


Figura 3.9. Efecto del relieve en la ciudad Donostia-San Sebastián en el número de horas de sol. Arriba, invierno, abajo verano [URIARTE 1986].

Otro dato comparativamente destacable es la variación de las horas de sol entre Vitoria y Pamplona, aún estando a similar latitud. En Pamplona la medida llega a seis, mientras que en la capital alavesa alcanza sólo dos horas. Este hecho reafirma la idea del efecto topográfico diferenciador que con esta situación se produce. En la Tabla 3.6, observamos la gran variabilidad en el número de horas de sol entre un mínimo como es San Sebastián con 1695, hasta un máximo en Zaragoza de 2614 horas.

Tabla 3.6. Número de horas de sol en el periodo 1971-2000													
Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
Donostia-San Sebastián	95	99	134	135	166	178	192	184	167	131	103	87	1695
Hondarribia	91	104	139	148	174	185	202	192	167	136	100	82	1724
Bilbao	86	97	128	128	160	173	188	179	157	123	93	78	1584
Vitoria-Gasteiz	82	106	145	154	182	207	239	221	178	137	95	73	1830
Pamplona	95	121	170	175	214	258	302	283	218	160	108	85	2201
Logroño	107	133	183	188	212	257	301	285	214	161	115	90	2242
Zaragoza	133	165	210	221	263	295	337	311	231	192	146	116	2614

Elaboración propia a partir de [MMA 2001].

LA HUMEDAD Y NUBOSIDAD

Los parámetros de humedad expresan la cantidad de vapor de aire que contiene un volumen de aire y la que podría contener si estuviera saturado. En toda la vertiente cantábrica se supera el 70 % de humedad relativa anual. Esta humedad disminuye hacia la zona media y sur del territorio.

La nubosidad está íntimamente ligada con la humedad pero la observación de la cantidad de nubes es estadísticamente difícil de cuantificar. La consideración de cielo despejado a cubierto, nos da comparativos estadísticos entre los distintos observatorios del territorio. La media de nubosidad se cubre con tres mediciones diarias. Dado que en la costa es habitual la existencia de brumas matinales, que desaparecen rápidamente, esa nubosidad sí reflejada en los datos, no es realmente apreciada por los habitantes, ya que la medición a medio día es de día despejado. Estas diferencias son sobre todo en veranos, llegando a ser en el observatorio de Igeldo, el doble los días que a las 13.00

está despejado frente a los que indican las estadísticas. [MEAZA 1996]. Existen claras diferencias entre la costa y el interior y de oeste a este. Las nieblas que se producen tiene distintos orígenes, ya sea niebla costera, niebla de montaña o niebla de valle, por ello, todo el territorio se encuentra afectado de una u otra niebla. Al igual que las observaciones de nubes, las de nieblas están sujetas a cierto grado de subjetividad (Tabla 3.7).

Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
Donostia-San Sebastián	14	14	14	15	16	14	13	12	11	13	14	14	164
Hondarribia	14	13	13	14	13	11	10	10	12	13	13	14	146
Bilbao	14	13	14	15	14	12	10	11	10	12	14	14	151
Vitoria-Gasteiz	14	13	12	14	14	11	8	7	8	11	13	15	134
Pamplona	13	11	10	12	10	7	4	3	5	9	11	13	107
Logroño	13	10	10	12	12	7	4	5	7	11	12	14	116
Zaragoza	9	6	7	7	7	4	2	2	4	6	8	11	70

Elaboración propia a partir de [MMA 2001].

Las nieblas de costa, según observaciones el monte Igeldo, se deben al contraste máximo entre la temperatura fría del agua del mar y la del aire suprayacente, más cálido. Por ello los meses más propensos para esta situación son Abril, Mayo y junio. Esta situación facilita la inversión térmica.

Las nieblas de montaña aunque presenten en todos los relieves altos, son frecuentes principalmente en la cadena divisoria de los montes entre Guipúzcoa y Navarra. Las masas húmedas que llegan del norte, se elevan a ras de la montaña, el aire se enfría y por condensación se forman nieblas (Tabla 3.8).

Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
Donostia-San Sebastián	7	6	7	9	10	11	10	9	8	7	7	6	97
Hondarribia	2	1	1	1	0	0	1	1	2	2	2	2	14
Bilbao	2	2	2	2	2	2	2	3	4	3	2	2	29
Vitoria-Gasteiz	5	4	3	3	3	4	4	6	6	6	6	4	54
Pamplona	4	1	1	0	1	0	0	0	1	2	2	4	17
Logroño	8	4	2	2	1	1	1	1	2	5	7	8	41
Zaragoza	7	3	1	1	0	0	0	0	1	2	5	8	28

Elaboración propia a partir de [MMA 2001].

Las nieblas de valle son habituales en el interior. Su origen está en las noches frescas y húmedas, con cielos despejados. El aire frío desciende al fondo de los valles. En ese punto se estanca y condensa la humedad. Al amanecer se producen inversiones térmicas, con aire frío abajo y más caliente encima que impide la disipación del mismo. Por tanto requieren una situación anticiclónica estable y que la masa que recubre sea fría y húmeda [MEAZA 1996]. La cercanía al mar hace igualmente que se produzcan valores de humedad relativa dispares entre la costa y el interior en los meses de verano (Tabla 3.9).

Tabla 3.9. Humedad relativa en % mensuales y anuales en el periodo 1971-2000

Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
Donostia-San Sebastián	75	74	75	77	79	82	83	83	79	76	76	74	78
Hondarribia	75	73	72	72	73	74	75	77	76	77	76	75	75
Bilbao	72	70	70	71	71	72	73	74	73	73	74	73	72
Vitoria-Gasteiz	83	79	73	72	71	71	71	71	71	77	82	84	75
Pamplona	78	73	67	66	64	62	59	60	62	70	76	79	68
Logroño	77	71	65	63	62	59	57	59	64	72	76	79	67
Zaragoza	75	68	60	58	56	52	49	53	59	69	74	77	62

Elaboración propia a partir de [MMA 2001]

LOS VIENTOS

La situación del País Vasco y Navarra, meridional respecto al eje central y en la zona intermedia de las corrientes de los vientos del oeste es básica para el clima último de esta zona. Como cualquier zona, el clima es consecuencia directa de los vientos que actúan sobre ella.

En esta zona a nivel de macroescala, los vientos dominantes son los vientos del oeste, que avanzan formando grandes meandros que capturan tanto corrientes cálidas del sur como corrientes frías del norte e incluso contracorrientes del este. Además de este flujo del oeste existen borrascas que provocan a su vez vientos de dirección muy variable. En invierno predomina la corriente en chorro en latitudes bajas, por lo que predominan las borrascas y los frentes nubosos. En otoño y primavera, el flujo de esta corriente se suaviza y presenta tiempos cambiantes, alternando días calurosos con otros más frescos y húmedos. En verano los flujos del oeste avanzan hacia el norte, permitiendo un clima en calma consecuencia del anticiclón de las Azores.

A nivel superficial, llamado mesoescala, los vientos quedan afectados por la orografía, se presenta como una superficie de rozamiento que frena la velocidad de los vientos y que cambia su dirección. Otro fenómeno es la influencia de las diferencias de temperaturas entre zonas de terreno muy próximas entre sí. Es por ello que en zonas muy cercanas presentan grandes variaciones eólicas, conocidas como las brisas marinas, los vientos de montaña y valle. En la CAPV tenemos medias anuales que van de unas medias máximas de 5 m/s en la costa y montañas a unas mínimas de 1-3 m/s en las zonas más llanas (Fig. 3.10).

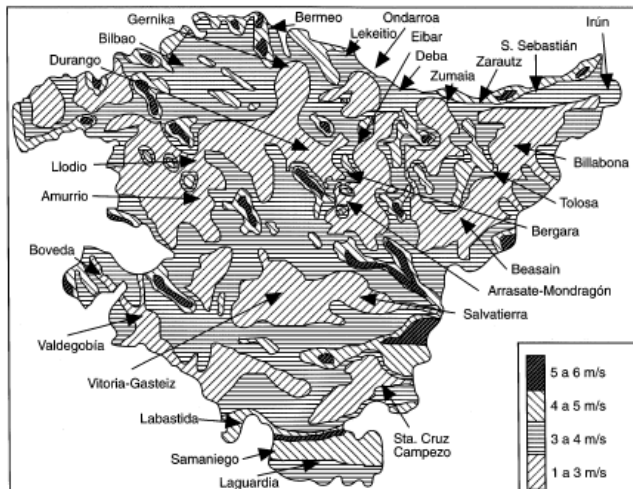


Figura 3.10. Isótopos de velocidades del viento anuales en la Comunidad autónoma Vasca [EVE 1993].

[METEO NAVARRA] divide en varias zonas el territorio en función de la velocidad media anual del viento. Las máximas se alcanzan en la zona del pre-pirineo con 6 m/s, a la zona norte se le asigna 5 m/s, y desciende hasta los 4 m/s en la zona Sur. En concreto en las zonas estudiadas pueden destacarse varios tipos de viento:

-El viento sur en las zonas norte presenta efectos de calentamiento y desecación, con gran bajada de humedad. El periodo más largo que presenta viento sur es el bimestre octubre-noviembre.

-Las galernas son típicas de la costa sureste del cantábrico, entre el cabo Machichaco y el cabo Bretón. Son entradas súbitas de aire con ráfagas de fuerza 8 y 9 que no afectan sólo al litoral, sino que penetran varios kilómetros en el interior. Se presentan con temperaturas muy altas a las mañanas y poco viento. Las más frecuentes se producen en verano.

-El cierzo es un viento típico del valle del Ebro, sopla del noroeste siguiendo la dirección del valle. Es un viento persistente, de fuerza moderada o fuerte.

- Vientos predominantes del Noroeste con altas velocidades.

[SANCHEZ *et ál.* 2012] presentan las rosas de los vientos características de las capitales de provincia españolas. En la Figura 3.11 se observa como tres capitales del territorio en estudio, Donostia-San Sebastián, Bilbao y Pamplona tienen valores muy dispares en la rosa de los vientos anual. En San Sebastián predominan los vientos del Sur en otoño e invierno y vientos de norte en primavera y verano. Las velocidades son algo bajas en verano [ROLDAN 1985-b]. En Bilbao, las mayores frecuencias de la dirección corresponden a los vientos de NW con diferencia sobre los demás, figurando en casi todos los meses como la dirección dominante, solamente cambia en enero, noviembre y diciembre en la que predomina la dirección SE [ROLDAN 1985-c]. En Pamplona, predominan los vientos del Noroeste, con velocidades medias en general. Existe una componente Sudeste de mayor velocidad [SOUSA 1985].

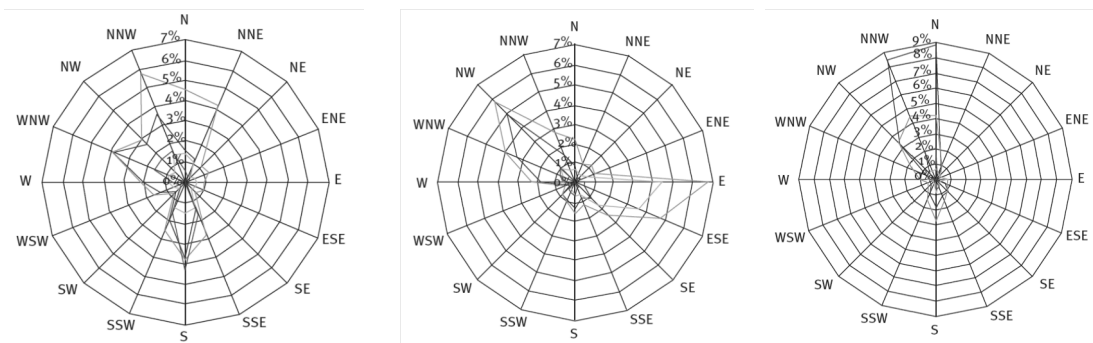


Figura 3.11. Rosa de los vientos de Donostia-San Sebastián, Bilbao y Pamplona-Iruña. Periodo 1971-2000. [SANCHEZ et ál. 2012].

TEMPERATURAS

Las temperaturas medias mensuales y anuales son similares en todo el territorio, siendo más significativo el estudio de las oscilaciones y las temperaturas medias mensuales. Así en la costa las diferencias entre los mese fríos y los más cálidos son de unos 11-12 °C y en el otro extremo, zona de la Ribera o de la rioja alavesa, llega a ser de unos 17-18°C [MEAZA 1996]. La altitud también influye en la disminución de la temperatura, aunque no es un dato exacto y la disminución no es lineal, se puede decir que el gradiente térmico está por debajo de los 0,5°C cada 100 metros (Tabla 3.10).

Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
Donostia-San Sebastián	8,2	8,8	9,7	10,7	13,8	16,2	18,6	19,1	17,7	14,9	11,1	9,3	13,2
Hondarribia	8,6	9,5	10,9	12,4	15,7	18,2	20,6	21,0	19,0	15,8	11,5	9,6	14,4
Bilbao	9	9,8	10,8	11,9	15,1	17,6	20,0	20,3	18,8	15,8	12,0	10,0	14,3
Vitoria-Gasteiz	4,7	5,9	7,9	9,2	12,9	15,9	18,7	19,1	16,6	12,4	7,9	5,6	11,5
Pamplona	5,0	6,5	8,6	10,2	14,0	17,5	20,7	20,9	18,0	13,6	8,6	6,0	12,5
Logroño	5,8	7,5	9,8	11,4	15,3	19,0	22,2	22,3	19,1	14,1	9,2	6,6	13,5
Zaragoza	6,4	8,4	10,9	13,0	17,2	21,3	24,5	24,4	20,7	15,5	10,0	7,1	15,0

Elaboración propia a partir de [MMA 2001].

[EVE 1998] divide el territorio de la CAPV en varias zonas según las temperaturas medias anuales (Tabla 3.11).

Tabla 3.11. Temperaturas medias °C mensuales y anuales en el periodo 1971-2000

Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ZONA COSTERA												
Sondica	8,8	9,5	10,1	11,2	14,2	16,8	19,2	19,5	18,0	15,5	11,5	9,4
Villabona	8,8	8,8	9,4	11,2	14,6	17,5	20,1	20,0	18,3	15,4	10,7	8,5
ZONA INTERMEDIA												
Eibar	7,4	8,5	9,4	11,2	14,5	17,7	20,0	20,3	18,3	14,8	10,2	7,9
Amurrio	7,0	8,1	9,0	10,9	14,1	17,1	19,4	19,4	17,1	13,9	9,7	7,7
Abadiano	6,2	7,1	8,0	9,7	13,4	16,7	19,1	19,3	17,2	13,8	8,9	6,7
Legazpia	5,6	6,9	8,2	10,3	14,0	17,6	19,9	19,2	17,2	13,1	8,0	5,8
ZONA INTERIOR DE ALAVA												
Vitoria-Gasteiz	4,9	5,7	7,0	9,0	12,2	15,6	18,3	18,5	16,1	12,6	7,6	5,3
Urrunaga	3,8	5,0	6,1	8,3	11,5	15,2	17,8	18,2	16,0	12,1	6,9	4,1
ZONA RIOJA												
Haro	5,1	6,2	7,9	10,0	13,3	16,8	19,9	19,8	17,1	12,9	7,7	5,5
Logroño	6,0	7,4	8,9	11,1	14,4	18,2	21,7	21,4	18,7	14,3	8,9	6,3

Elaboración propia a partir de [EVE 1998].

En Navarra, la zona más fría se corresponde con el prepirineo y la zona que contiene la Sierra de Aralar y la Sierra de Urbasa-Andía. Las temperaturas aumentan hacia el norte, llegando a máximas en Bera de Bidasoa, y hacia el sur con máximas en la zona de Tudela.

También es interesante tabular el número de días fríos y cálidos en función de diferentes temperaturas (Tabla 3.12). Los indicadores de días fríos nos señalan que el número de días fríos o muy fríos aumenta con la continentalidad, y en cuanto a los indicadores de días cálidos, se constata que según vamos descendiendo al sur nos encontramos con una mayor proporción de días calurosos con temperaturas máximas >25°C y >30°C y mínimas que un bajan de los 18°C.

Tabla 3.12. Número de días cálidos, fríos o muy fríos

Ciudad	Tª máxima < 0°C	Nº días helada	Tª mínima < -5°C	Tª media > 18°C	Tª mínima > 18°C	Tª máxima > 25°C	Tª máxima > 30°C
Donostia-San Sebastián	0	7	0	72	14	22	4
Hondarribia	0	13	1	108	26	58	9
Bilbao	0	11	0	98	10	66	14
Vitoria-Gasteiz	1	49	5	61	1	60	18
Pamplona	1	42	4	87	5	80	32
Logroño	0	26	2	105	11	95	44
Zaragoza	0	25	1	131	39	118	59

Elaboración propia a partir de [MMA 2001].

[RUIZ 1982] ejemplariza esta transición climática en el porcentaje de días muy fríos, fríos, templados, cálidos y muy cálidos señalados en la Tabla 3.13.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

Tabla 3.13. Porcentaje de días muy fríos (mf), fríos (f) ,templados (t) ,cálidos (c) y muy cálidos (mc)

Ciudad	% días mf	% días f	% días t	% días c	% días mc
Donostia-San Sebastián	2,6	14,1	25,8	51,8	5,7
Bilbao	0,3	7,8	23,6	54,3	14
Vitoria-Gasteiz	7,6	16,3	23,7	38	14,4
Pamplona	5,9	15,7	24,2	37,8	16,4
Logroño	2,1	13,2	24,7	37,2	22,8

Elaboración propia a partir de [RUIZ 1982].

En las zonas costeras se puede destacar el bajo porcentaje de días muy fríos y de días muy cálidos, siendo estos mayores a los muy fríos, pero con un porcentaje muy bajo respecto a las otras zonas. Las cuencas intermedias presentan una distribución equilibrada de los días, entre templados y cálidos, frente a las zonas costeras donde el porcentaje de días cálidos es claramente superior al resto de las zonas. El valle medio del Ebro y la zona de la ribera Navarra, presenta un porcentaje de días muy cálidos claramente superior al resto. Resumiendo, la costa se define por el neto predominio de tiempo cálido, que va disminuyendo en el interior a favor de un tiempo frío y muy frío en las cuencas intermedias y de muy cálido en el Valle Medio del Ebro [RUIZ 1982].

LAS PRECIPITACIONES

Ya sean de lluvia, nieve o granizo, en el territorio objeto de estudio existen grandes contrastes entre el interior y el exterior. Esta variación se explica por la orografía. La orientación oeste-este de las montañas y dado que son más bajas que el resto de la cordillera cantábrica, junto con la influencia del viento oeste, se conjugan para aumentar la inestabilidad, dado que las masas de aire frío deben saltar dichas montañas (Tabla 3.14).

Tabla 3.14. Precipitaciones mensuales y anuales en mm en el periodo 1971-2000

Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
Donostia-San Sebastián	148	124	124	153	130	94	92	112	115	155	170	146	1565
Hondarribia	168	150	144	168	138	96	98	112	138	174	186	167	1738
Bilbao	126	97	94	124	90	64	62	82	74	121	141	116	1195
Vitoria-Gasteiz	76	65	61	86	70	51	43	45	42	74	89	80	779
Pamplona	63	52	52	77	74	47	40	43	43	74	80	75	721
Logroño	27	23	26	44	48	47	31	23	24	31	36	37	399
Zaragoza	22	20	20	35	44	31	18	17	27	30	30	23	318

Elaboración propia a partir de [MMA 2001].

Separando este fenómeno por zonas, se observa que en la vertiente cantábrica el 70% de situaciones de precipitación se deben a componente norte. La pluviosidad es mayor en la segunda mitad del verano. En la zona media disminuyen aunque siguen siendo elevadas, ya que los montes no son capaces de frenar la componente norte. Se notan a su vez flujos del suroeste. En esta zona media no son tan acusadas las diferencias oeste-este como en la vertiente cantábrica, dato que indica una mayor influencia de masas húmedas provenientes del mediterráneo.

La nieve es un fenómeno inusual a nivel del mar y más abundante conforme aumenta la altitud. En las cuencas centrales son más habituales que en la costa y que en la zona sur, hacia la ribera Navarra, donde disminuye progresivamente. El granizo a diferencia de la nieve es más frecuente en las costas que en los observatorios del interior, causado tanto por el relieve como por la inestabilidad que adquieren las masas de aire polar en contacto con la capa más templada del agua (Tabla 3.15).

Tabla 3.15. Días de nieve, granizo y tormenta en diversas ciudades del ámbito de estudio.

Ciudad	Días de nieve anuales	Días de granizo anuales	Días de tormenta
Donostia-San Sebastián	4	11	31
Hondarribia	1	3	1
Bilbao	2	7	24
Vitoria-Gasteiz	11	2	21
Pamplona	10	3	23
Logroño	5	2	19
Zaragoza	1	1	21

Elaboración propia a partir de [MMA 2001].

3.2.3.4 CLASIFICACIÓN DE LOS TERRITORIOS CLIMÁTICOS

Una primera clasificación a nivel planetario de los climas de la Península Ibérica presenta dos variedades. El clima oceánico y el clima mediterráneo, siendo este último el de mayor representación.

CLASIFICACIÓN SEGÚN KÖPPEN-GEIGER

El primero en realizar una clasificación bioclimática fue Wladimir Peter Köppen en 1930, su última revisión de 1936 y conocida también como clasificación de Köppen-Geiger. A pesar de que esta clasificación se definió hace unos 100 años, sigue siendo una de las clasificaciones más utilizadas en estudios climatológicos de todo el mundo. La clasificación de Köppen define distintos tipos de clima a partir de los valores medios mensuales de precipitación y temperatura. Para delimitar los distintos climas se establecen intervalos de temperatura y precipitación basados principalmente en su influencia sobre la distribución de la vegetación y de la actividad humana [AEMET *et ál.* 2011]. El sistema de Köppen se basa en que la vegetación natural tiene una clara relación con el clima, por lo que los límites entre un clima y otro se establecieron teniendo en cuenta la distribución de la vegetación [METEO NAVARRA].

Resumiendo la clasificación climática de Köppen:

A - Climas Macrotérmicos (Cálidos, de la zona intertropical).

B - Climas secos (localizados en las zonas subtropicales y en el interior de los continentes de la zona intertropical o de las zonas templadas). Se divide en dos tipos: Desértico (BW) y semidesértico o estepario (BS).

C - Climas Mesotérmicos o templados.

D - Climas fríos (localizados en latitudes altas, próximas a los círculos polares y donde la influencia del mar es muy escasa).

E - Climas polares. Se localizan en las zonas polares, limitadas. Hacia el ecuador por los Círculos polares.

H - Climas indiferenciados de alta montaña.

Para determinar los subgrupos o subtipos se añaden otras letras minúsculas:

f - Lluvias todo el año (en la zona intertropical): Af = clima de selva.

w - Lluvias en la época de sol alto (verano térmico), también en la zona intertropical: Aw = Clima de sabana

m - Lluvias de monzón. Similar al Aw, pero con lluvias más intensas originadas por la diferencia acentuada de las presiones atmosféricas entre el océano y los continentes. Sólo se presenta en el sur y sureste del continente asiático.

s - Lluvias en invierno. Corresponde al clima subtropical seco o clima mediterráneo (Csa según Köppen), localizado en las latitudes subtropicales de las costas occidentales de los continentes.

En la Figura 3.12 se muestra un mapa del mundo con los diferentes climas según Köppen-Geiger para el periodo 2001-2028.

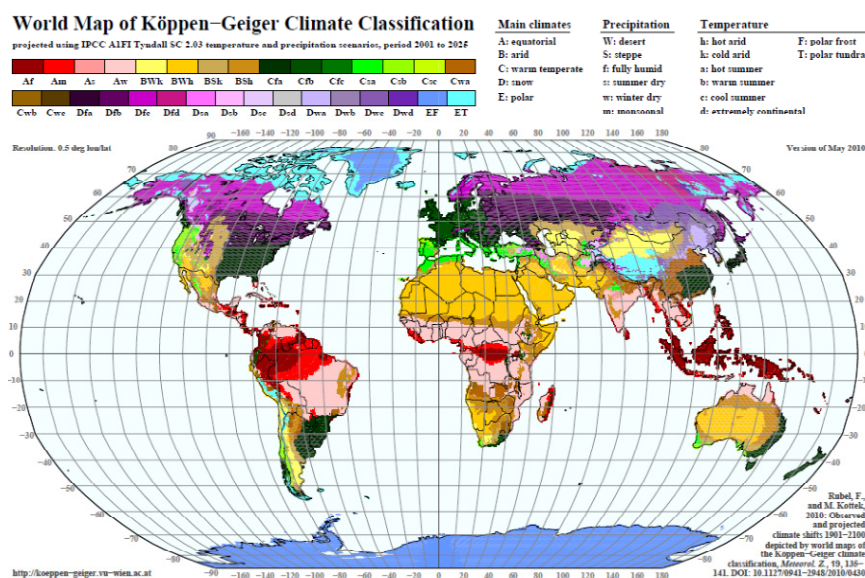


Figura 3.12. Clasificación mundial de los climas según Köppen-Geiger. Periodo 2001-2028 <http://koepfen-geiger.vu-wien.ac.at>.

Cuando se va a regiones pequeñas, la variabilidad de la clasificación Köppen-Geiger es grande. El mismo Aemet, varía mucho la regionalización del clima en función de los periodos, aunque manteniendo a grandes rasgos las zonas climáticas. En la Figura 3.13 se ven las modificaciones en la clasificación climática según Köppen-Geiger que ha ido haciendo el Instituto Geográfico nacional. En la edición de 2005 [ATLAS IGN 2005], se produce una mayor penetración de los climas Bsk en el territorio de Navarra. [AEMET et ál. 2011] introduce el clima Csb en la zona media navarra, ausente hasta ese momento.

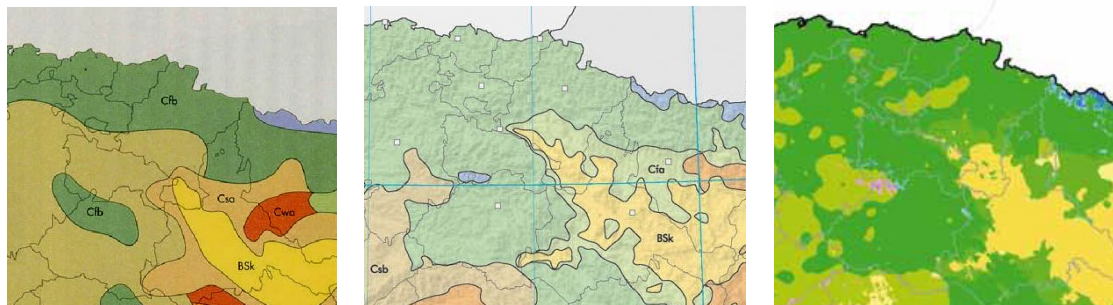


Figura 3.13. Clasificación climática de Köppen-Geiger según el Atlas Nacional de España del IGN, 1ª Edición, 1992 [ATLAS IGN 1992], Atlas Nacional de España del IGN, 2ª Edición, 2005 [ATLAS IGN 2005], y a partir de las observaciones del periodo periodo 1971-2000 [AEMET et ál. 2011].

[METEO NAVARRRA] realiza una discretización más pormenorizada de los climas Köppen en Navarra a partir de su red de estaciones meteorológicas. En el caso del País Vasco, otras fuentes [RUIZ, GALDOS 2008] propone para la CAPV una división clara entre norte y sur en franjas paralelas a la costa (Fig. 3.14).

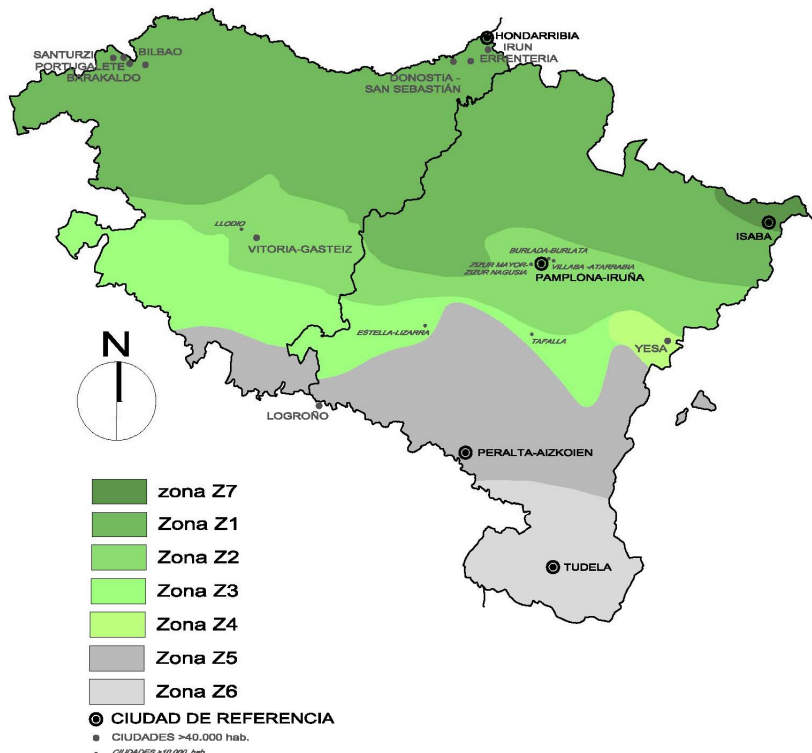


Figura 3.14. Clasificación climática de Köppen-Geiger en el País Vasco y Navarra. Mapa de elaboración propia a partir de [AEMET et ál. 2011], [METEO NAVARRRA] y [EUSKALMET].

En un corte norte sur de 100 km pueden diferenciarse tres zonas, la vertiente atlántica antes mencionada, que ocupa gran parte del territorio del País Vasco y la zona norte de Navarra, la zona media en el centro y en el extremo sur coincidiendo con el valle del Ebro, la Ribera de Navarra y la Rioja Alavesa. En la Tabla 3.16 se resumen las características climáticas presentes en el territorio según Köppen-Geiger.

EVALUACIÓN DEL ESTÁNDAR DE CONSTRUCCIÓN PASSIVHAUS Y SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO CLIMÁTICO DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA VASCA Y LA COMUNIDAD FORAL NAVARRA

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

Tabla 3.16. Resumen de las características de los climas en el País Vasco y Navarra		
GRUPO C: CLIMAS DE LATITUDES MEDIAS	Húmedos con temperatura media del mes más frío entre -3°C (o 0°C) y 18°C, y la del mes más cálido supera los 10°C	
Cfb: Marítimo de costa occidental u oceánico	Es un clima templado de veranos frescos, con precipitaciones abundantes y bien repartidas durante todo el año, aunque en Navarra existe un mínimo en verano. No hay ningún mes seco. La vegetación propia es el bosque templado: de las zonas más cálidas a las más frías, conforme aumenta la altitud, se dan los robles pedunculados y robles albares (<i>quercus robur</i> y <i>quercus petraea</i>), las hayas (<i>fagus sylvatica</i>) y los abetos (<i>abies alba</i>).	Se da en el norte de Navarra: Vertiente cantábrica, Valle del Arakil, Urbasa, al norte de la cuenca de Pamplona y en el Pirineo.
Cf2b: Marítimo de costa occidental u oceánico (Dos meses secos)	Clima templado con veranos frescos y precipitaciones abundantes, aunque con dos meses secos ($2^*t > p$). Los bosques aquí son robledales de robles pubescentes (<i>quercus pubescens</i>).	Se da en una franja al sur del clima Cfb: Sur de la sierra de Urbasa, cuenca de Pamplona y Sierra del Perdón, y tramo bajo de los valles pirenaicos hasta Artieda.
Csb: Mediterráneo de veranos frescos	Clima templado de veranos secos y frescos. Es un clima mediterráneo en cuanto a las precipitaciones, pero con temperaturas más bajas. Aparece como transición entre el Cfb y Csa, y también en las mismas zonas que el Csa, debido a la altitud. La vegetación natural es el bosque de tipo submediterráneo: quejigales y carrascales o encinares (<i>quercus faginea</i> y <i>quercus rotundifolia</i>).	Se da en una franja al sur del Cf2b: Sierra de Codés, alrededores de Estella, y en la Sierra de Ujué.
Cfa: Subtropical húmedo	Clima templado húmedo con veranos cálidos. En Navarra se encuentra en el límite del Cf2b, cuando la lejanía del mar hace que los veranos sean ya calurosos. La vegetación propia es el bosque submediterráneo: quejigales y carrascales o encinares(<i>quercus faginea</i> y <i>quercus rotundifolia</i>).	Se da en la Navarra Media oriental, en el sur de la cuenca de Lumbier, hasta Yesa y las cercanías de Aibar.
Csa: Mediterráneo	Clima templado de veranos secos y cálidos. Hay un mínimo claro de precipitación en verano. Es el clima típicamente mediterráneo. La vegetación natural es el bosque mediterráneo: carrascales o encinares(<i>quercus rotundifolia</i>).	Aparece al sur del Csb y Cfa, que conforman la transición con el clima marítimo Cfb. Desde Viana, Puente la Reina y Aibar al norte hasta aproximadamente Villafranca en el sur.
GRUPO B: SECO	Temperaturas inferiores a la evapotranspiración potencial	
Bsk: Estepario frío o mediterráneo seco	Precipitaciones escasas durante todo el año. No existe un mínimo claro de precipitación en verano, sino que los valores pluviométricos son bajos durante todo el año. Temperatura media anual inferior a 18°C. La vegetación potencial son los matorrales (coscoja, tomillo, romero) y pinares de pino de Alepo (<i>pinus halepensis</i>).	Este clima lo encontramos en el sur de la Ribera, al sur de Villafranca.
GRUPO D: CLIMAS CONTINENTALES O DE INVIERNOS MUY FRÍOS	Húmedos con temperatura media del mes más frío inferior a -3°C (o 0°C) y temperatura media del mes más cálido superior a 10°C.	
Dfb: Clima continental de verano fresco	Clima frío de bosque con precipitaciones abundantes, en invierno en forma de nieve. Es posible la existencia de este clima en las mayores alturas del Pirineo, donde se dan inviernos muy fríos y con nieve, si la temperatura media del mes más frío es inferior a los valores indicados. En otro caso sería Cfb. La vegetación natural es el bosque de alta montaña de pino negro (<i>pinus uncinata</i>), y los pastizales alpinos.	Se podría dar este clima en Larra y en la Mesa de los Tres Reyes.
Elaboración propia a partir de [METEO NAVARRA] y [EUSKALMET]		

Podemos apreciar como esta división climática se corresponde con el mapa de vegetación potencial del ministerio de Medio Ambiente y en la presencia del olivo como medidor del avance del clima mediterráneo es la capacidad de adaptación del olivo (Fig. 3.15).

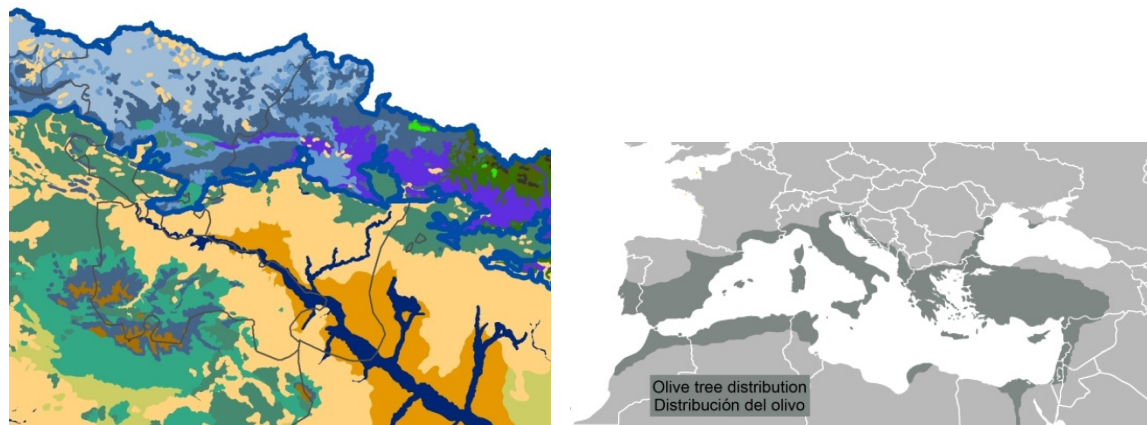


Figura 3.15. Izquierda: Mapa de vegetación potencial del Ministerio de Medio Ambiente. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente, www.magrama.gob.es. Derecha: Mapa de distribución del olivo en el mediterráneo [WIKIPEDIA].

CLASIFICACIÓN SEGÚN MARTÍN OLCINA

[MARTIN, OLCINA 2001] realizan una buena clasificación climática de España, separando en variedades climáticas los grandes grupos climáticos que abarcan climas tan diferentes como el de Madrid, Barcelona o Sevilla englobados todos en el clima mediterráneo (Tabla 3.17).

TIPO	SUBTIPO	VARIEDAD	Precipitación mm	Régimen pluviométrico	tm(°C)	Amplitud térmica	Observaciones	
OCEÁNICO	ATLÁNTICO	GALLEGO	1000-2500	Máximo invernal y mínimo estival	11-15	8,5-12	Abundante nubosidad y elevada humedad relativa	
		ASTURIANO Y CÁNTABRO	900-1500		12-14	10-11		
		VASCO LITORAL	1100-2000		12-14	10-12		
	DE MONTAÑA	-	1000-2500		<12	-		
MEDITERRÁNEO	SUBMEDITERRANEO		700-900	-	11-14	14,5-16		
	CONTINENTAL	MESETA NORTE	350-550	Máximo invernal o primavera y mínimo estival	10-12,5	16-18	Heladas frecuentes en invierno	
		MESETA SUR	350-550		12-15	18-20,5	Temperaturas estivales altas	
		VALLE EBRO	300-550	Máximo equinoccios	13-15	18-20	Viento dominante del Nw seco	
	DE FACHADA ORIENTAL	CATALAN	550-750	Máximo otoñal y mínimo estival	14-17	14-17	Precipitaciones torrenciales en otoño	
		VALENCIANO	400-850		15,5-17,5	13,5-16,5		
		BALEAR	400-800		16-18	13,5-16,5		
	MERIDIONAL	LITORAL	400-750	Máximo invernal y mínimo estival	17-18,5	10-13,5	Heladas excepcionales	
		VALLE GUADALQUIVIR	550-650		17-18,5	15-18,5	Temp. Máximas estivales muy elevadas	
		EXTREMEÑO	450-600		16-16,5	16,5-18	Temp. Máximas estivales altas	
	ARIDO O DEL SUDESTE		150-350	Mínimo estival	14,5-18,5	13,5-17,5	Extrema aridez	
		DE MONTAÑA		600-2000	-	<14	-	
	SUBTROPICAL	LITORAL		75-350	Máximo invernal y mínimo estival	18-21	5-7,5	Viento dominante NE en N y extrema aridez en S
DE MAR DE NUBES			500-1000	13-16		6-8	Elevada humedad ambiental	
DE ALTURA			450-700	<12		12-14	Aire muy seco	
Los límites son los citados por los autores no se considerarán de manera rigurosa Prec. (mm): Precipitación media anual (mm) Rég. Pluv.: Régimen estacional pluviométrico tm (°C): temperatura media anual °C Amplitud tér: amplitud térmica anual en °C								
Elaboración propia a partir de [MARTIN, OLCINA 2001].								

Los tiempos que afectan al País Vasco y Navarra son el clima oceánico atlántico vasco litoral (Bilbao y Donostia-San Sebastián), oceánico de montaña, clima submediterráneo (Pamplona y Vitoria-Gasteiz) y mediterráneo continental del valle del Ebro (zona sur de País Vasco y Navarra) (Fig. 3.16).

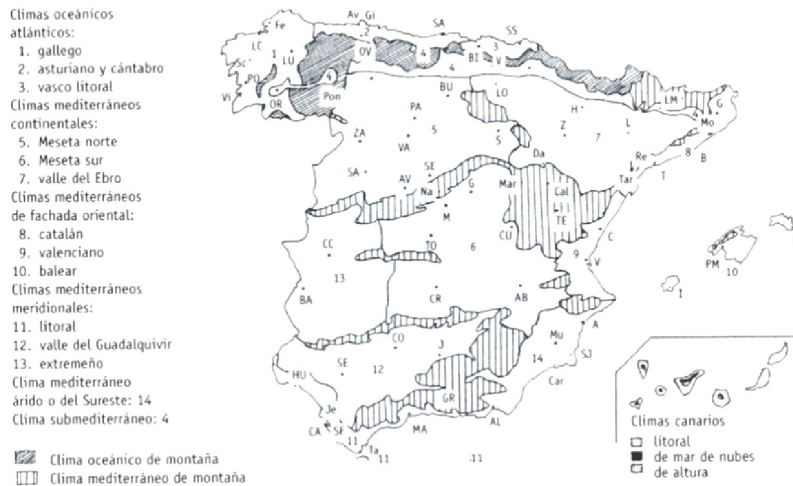


Figura 3.16. Clasificación de los climas en España según *Climas y Tiempos de España* [MARTIN, OLCINA 2001].

CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DEL MINISTERIO DE FOMENTO

El Ministerio de fomento tiene realizado un mapa climático de España a partir de los datos climáticos del Instituto Nacional de Estadística, muy en sintonía con el Mapa climático propuesto por [MARTIN, OLCINA 2001], introduciendo un clima de transición en la montaña vasca diferenciado del clima de montaña específico y dividiendo el clima del sur de Navarra en dos grupos, Mediterráneo árido y subárido y Mediterráneo continentalizado de veranos cálidos (Fig. 3.17).



Figura 3.17. Clasificación climática de Ministerio de Fomento de España [MINISTERIO FOMENTO].

La clasificación climática de la Península Ibérica del Ministerio de Fomento es un buen compendio de las clasificaciones anteriormente expuestas, mostrando en mi opinión de forma clara la diversidad climática de las áreas de estudio.

CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE INOCENCIO FONT TULLOT.

Dentro de las clasificaciones climáticas de la Península Ibérica que existen, la realizada por Inocencio Font, es una de las más aceptadas hoy en día. Para establecer esta clasificación consideró entre otros factores el índice de continentalidad y el régimen pluviométrico. El índice de continentalidad k se obtiene a partir de la latitud del lugar y la diferencia de temperatura del mes más cálido y la del mes más frío. Para la pluviometría se consideraron las precipitaciones obtenidas en los meses de junio, julio y agosto. A partir de estos datos desarrolla la Tabla 3.18 con los diferentes climas.

I ZONA PARDA	Veranos poco lluviosos o secos	I.1. ATLÁNTICA $K < 20$	I 1.1. Marítima $K < 10$
			I 1.1. Submarítima $10 < K < 20$
		I 2 CONTINENTAL $K > 20$	I 2.1 Atenuada $20 < K < 30$
			I 2.2 Extremada $K > 30$
		I 3 MEDITERRÁNEA El otoño es la estación más lluviosa	I 3.1 Noroeste
			I 3. Levante
I 3.3 Sureste			
I ZONA VERDE	No presenta veranos secos. Pertenece a la zona húmeda. La precipitación media anual > 1000 mm	II 1 Marítima $K < 10$	
		II 2 Submarítima $K > 10$	
		II 3 Pirenáica	
Elaboración propia a partir de [FONT TULLOT 1983].			

A partir de estos datos desarrolla el mapa climático de la Figura 3.18.

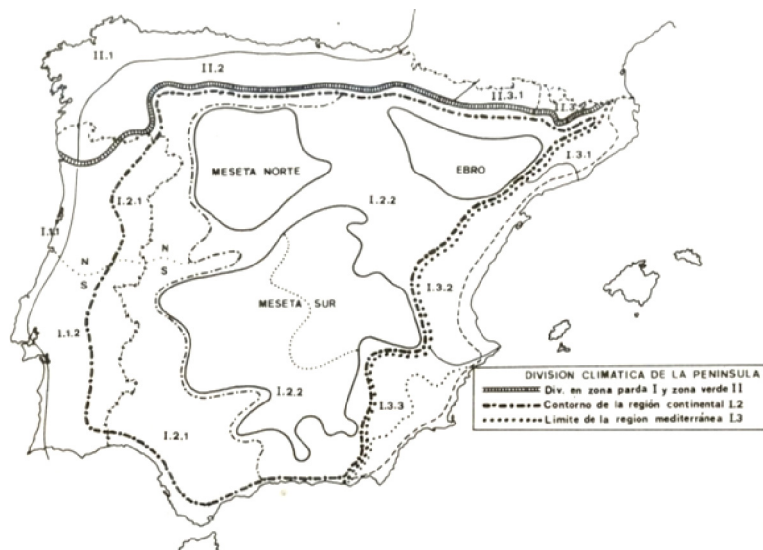


Figura 3.18. División climática de la Península [FONT TULLOT 1983].

CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA CTE 2009, INDICE DE SEVERIDAD CLIMÁTICA Y MODIFICACIONES CTE 2013

Con el objetivo de limitar la demanda energética de los edificios, desde las distintas directivas europeas se especifica la importancia de considerar las peculiaridades climáticas de cada territorio y es competencia de cada país establecer el procedimiento y las exigencias específicas que deben cumplir sus edificios. En el caso de España, la determinación de las zonas climáticas en el CTE se realiza a partir del cálculo de las severidades climáticas de invierno y de verano para localidades que disponen de registros climáticos contrastados. Una vez obtenidas las dos severidades climáticas, la zona climática se determina localizando los dos intervalos correspondientes en los que se encuentran dichas severidades, de acuerdo con la Figura D1 del DB-HE1 [CTE DB HE1 2009].

La severidad climática combina los grados-día y la radiación solar de la localidad, de forma que se puede demostrar que cuando dos localidades tienen la misma severidad climática de invierno (SCI), la demanda energética de calefacción de un mismo edificio situado en ambas localidades es sensiblemente igual. Lo mismo es aplicable para la severidad climática de verano (SCV). Para invierno se definen cinco divisiones distintas (A,B,C,D,E) correspondientes a los siguientes intervalos de valores $A \leq 0,3$ hasta $E > 1,3$ de acuerdo con la Figura D.2a del DB-HE1 [CTE DB HE1 2009]. Para verano se definen 4 divisiones distintas (1,2,3,4) correspondientes a los siguientes intervalos de valores severidad $1 \leq 0,6$ hasta severidad $4 > 1,25$ de acuerdo con la Figura D.2b del DB-HE1 [CTE DB HE1 2009]. El cuadro se complementa con una Tabla de zonas Climáticas donde se indica la Zona correspondiente a cada Capital de Provincia y las correcciones a aplicar, dentro de cada Provincia, a los diferentes Municipios en función a su altitud geográfica respecto a la Capital.

Considerando la gran diversidad climática, el CTE establece requisitos diferentes para los edificios situados en cada zona. Por ejemplo, en la zona climática más fría, zona E1, el valor de transmitancia térmica (U) permitido para los cerramientos es de $0,57 \text{ W/m}^2\text{K}$ mientras que en la zona climática más cálida, zona A4, es de $0,94 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Por otro lado, el valor U para las ventanas es más bajo en climas más fríos y en fachadas con una mayor superficie acristalada. Sirva de ejemplo, en la zona E1, en una fachada orientada al norte y un 55% de acristalamiento, el máximo valor U permitido es de 1,9 W/m²K, mientras que en la zona A4, en una fachada con orientación sur y un 20% de acristalamiento es de 5,7 W/m²K.

El método general pone pues en relación la zona climática de la capital de provincia con el resto de municipios. Este método tenía ciertos errores reconocidos en los que capitales de provincia con una altitud considerable (Granada capital) no corregían la zona climática de municipios situados en la costa a una altitud al nivel del mar. La revisión del CTE DB HE en el 2013 corrige este error al modificar la zona climática de municipios situados a una diferencia de altitud negativa respecto de la capital. Asimismo, el [CTE DB HE1 2013] propone una variación en las zonas climáticas de ciertas capitales de provincia como es el caso de Donostia-San Sebastián que pasa a una zona D1.

Para un cálculo más pormenorizado, el [CTE DB HE1 2009] propone en el anexo D.2.1., donde indica el cálculo de las severidades climáticas para municipios con datos climáticos contrastados. En función de la disponibilidad de datos climáticos existen dos correlaciones alternativas, de la cual analizaremos únicamente la denominada "Correlación 1".

Severidad climática de invierno (SCI):

A partir de los grados-día de invierno, y de la radiación global acumulada.

$$SCI = a \cdot Rad + b \cdot GD + c \cdot Rad \cdot GD + d \cdot (Rad)^2 + e \cdot (GD)^2 + f$$

Siendo:

GD la media de los grados-día de invierno en base 20 para los meses de enero, febrero, y diciembre. Para cada mes están calculados en base horaria, y posteriormente divididos por 24.

Rad la media de la radiación global acumulada para los meses de enero, febrero, y diciembre (kW h / m²).

Los valores a, b, c, d, e y f para el cálculo de la severidad climática de invierno se dan en el Anexo D.2 del [CTE DB HE1 2009].

Severidad climática de Verano (SCV)

$$SCV = a \cdot Rad + b \cdot GD + c \cdot Rad \cdot GD + d \cdot (Rad)^2 + e \cdot (GD)^2 + f$$

Siendo:

GD la media de los grados-día de invierno en base 20 para los meses de enero, febrero, y diciembre. Para cada mes están calculados en base horaria, y posteriormente divididos por 24.

n/N el ratio entre número de horas de sol y número de horas de sol máximas sumadas cada una de ellas por separado para los meses de enero, febrero, y diciembre.

Los valores a, b, c, d, e y f para el cálculo de la severidad climática de verano se dan en el Anexo D.2 del [CTE DB HE1 2009]

Aplicando el método descrito en el Anexo D.2 del [CTE DB HE1 2009] para las localidades situadas en la Comunidad de Madrid con datos meteorológicos suficientes para aplicar dicho método obtenidos de [PINAZO 2010], obtendríamos la Tabla 3.19.

Tabla 3.19. Clasificación climática de diversos municipios atendiendo al CTE DB HE1 2009.

CIUDAD	Altura	Diferencia altura referencia**	SCI	SCV	ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA	
					Método Anexo D.2	Tabla D.1
Madrid Barajas	582	-7	1,05	1,07	D3	D3
Colmenar Viejo	1004	+415	1,11	1,01	D3	E1
Retiro	667	+78	0,96	1,24	D3	D3
Cuatro Vientos	687	+98	0,96	1,35	D4	D3
Navacerrada*	1890	+1301	1,73	0,28	E1	E1
Torrejón de Ardoz*	611	+22	1,05	1,34	D4	D3
Getafe*	637	+48	0,98	1,39	D4	D3
Aranjuez*	520	-69	0,91	1,27	C4	D3
Buitrago*	974	+385	1,13	0,78	D2	D1
Robledo de Chavela*	790	+201	0,90	1,16	C3	D1

*No se facilitan datos de radiación solar de estas ciudades, por lo que se les ha asignado el valor de las ciudades colindantes.
 ** El [CTE DB HE1 2009] señala una altura de referencia para la localidad de Madrid de 589 m.
 Elaboración propia a partir de datos procedentes de [PINAZO,2010]

A la vista de los resultados de la Tabla 3.19 vemos que ciertas ciudades tienen pequeñas desviaciones en cuanto a su zonificación climática. En el caso de Cuatro vientos, Torrejón de Ardoz y Getafe vemos que se produce un aumento de la severidad climática en verano, aunque por valores relativamente ajustados. En el caso de Colmenar Viejo, la corrección por la altura situando en una zonificación E1, no se corresponde con el cálculo ya que nos sigue manteniendo una zonificación D3. Una situación similar se produce en Robledo de Chavela, en el que la altura lleva a una corrección en la zonificación pasando a D1, obteniendo un valor de C3 según la metodología del Anexo D.2. En el caso de Aranjuez, se obtiene una zonificación C4, precisamente la correspondiente a la provincia de Toledo, en la que está prácticamente insertada.

Conscientes de la necesidad de adecuar la zonificación climática a la realidad climática de las diferentes poblaciones, [ALVAREZ *et ál.* 2008] desarrolla un método de interpolación para obtener una zonificación climática de cualquier municipio a partir de los datos climáticos de las estaciones meteorológicas más cercanas, ejemplarizando el método en los municipios de Andalucía, y siendo presentado como documento reconocido del Código Técnico de la Edificación CT-DR/CC.AA-007/09.

Otros estudios demuestran desviaciones entre la zonificación climática propuesta por el [CTE DB HE1 2009] y los datos propios, por lo que la revisión del Documento de Ahorro energético HE1 en su revisión de 2013 ha variado de manera sustancial la clasificación climática de ciertos municipios.

3.2.4 DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS CLIMÁTICAS Y LAS LOCALIDADES DE REFERENCIA

Los parámetros más decisivos en el balance energético de un edificio son la temperatura, la radiación solar, y la humedad de verano [SCHNIEDERS 2009]. Esto quiere decir que la mayoría de los modelos climáticos descritos con anterioridad, si bien

nos permiten hacernos una idea de las regiones climáticas que encontramos en el País Vasco y Navarra, no nos dicen qué necesitamos saber para construir una Casa Pasiva según el estándar Passivhaus ya que muchos de los aspectos que toman en consideración, como la cantidad de precipitación o el tipo de vegetación, solo afectan indirectamente a la respuesta térmica del edificio. Además, la radiación solar (el parámetro más importante en una Casa Pasiva) no determina explícitamente las zonas climáticas [SCHNIEDERS *et ál.* 2011], y sin embargo sí se ve muy afectado por aspectos como la orografía o el número de días de niebla.

Para caracterizar los climas en términos de realizar edificios más eficientes energéticamente, los siguientes parámetros son especialmente importantes [SCHNIEDERS *et ál.* 2011]:

- Media de temperaturas mínimas (Carga de calefacción).
- Media de temperaturas máximas (Carga de refrigeración).
- Radiación solar en los periodos más fríos y más cálidos.
- Máximas y mínimas diarias en los periodos cálidos (Ventilación nocturna).
- Humedad en los periodos cálidos (deshumidificación del aire de ventilación) demanda de energía para deshumidificación.

Por ello, y atendiendo a todo lo anteriormente expuesto, se eligen como ciudades de referencia las siguientes poblaciones, atendiendo a la de mayor número de habitantes en cada zona climática:

-Z1: Clima oceánico, Köppen Cfb , Bilbao, Donostia-San Sebastián, Hondarribia, Elizondo.

-Z2: Clima oceánico de transición, Köppen Cf2b Marítimo de costa occidental u oceánico: Vitoria-Gasteiz, Pamplona-Iruña, Altsasu-Alsasua.

-Z3: Clima mediterráneo continentalizado subhúmedo, Köppen Csb, Marítimo de costa occidental u oceánico (Dos meses secos): Estella-Lizarra, Logroño.

-Z4: Clima mediterráneo continentalizado de inviernos fríos, Köppen Csa, mediterráneo: Peralta-Azkoien.

-Z5: Clima mediterráneo árido y subárido, Köppen Cfa: Yesa.

-Z6: Clima mediterráneo árido y subárido, Köppen Bsk: Tudela.

-Z7: Clima de montaña, Köppen Dfb: Isaba, Orreaga-Roncesvalles.

3.2.5 SITUACIONES CLIMÁTICAS EXTREMAS: CAMBIO CLIMÁTICO, MICROCLIMAS URBANOS Y OLAS DE CALOR

3.2.5.1 INTRODUCCIÓN

Los datos climáticos proporcionados por las estaciones meteorológicas se refieren normalmente a estaciones situados en aeropuertos cerca de las grandes ciudades. Situaciones climáticas más extremas pueden ocurrir en otras localizaciones. Normalmente se consideran tres condiciones que agravan el clima en verano:

- Cambios climáticos según los escenarios evaluados.

-Años climáticos extremos, por ejemplo el verano de 2003, especialmente cálido en Europa, particularmente en el sur de Francia, Portugal y España acompañado de altos niveles de radiación.

-Islas de calor urbanas, con aumentos de hasta 5 °C en verano.

3.2.5.2 ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

En 1988 la UNEP (Programa de medio ambiente de las Naciones Unidas) y la WMO (Organización Meteorológica Mundial) crearon el IPCC (Panel Intergubernamental para el cambio Climático) como respuesta a la creciente preocupación suscitada por el entonces problema del cambio climático, problema que ya se había convertido en una cuestión política [INHOBÉ 2003]. El objetivo del IPCC consiste en evaluar el estado del conocimiento en los diferentes aspectos que pudieran estar involucrados en el cambio climático, incluyendo la Ciencia, el Medio Ambiente, los impactos naturales y socioeconómicos, así como las estrategias de respuesta. El IPCC ha logrado ser la máxima autoridad científica y técnica en la problemática del cambio climático.

El año 2003 Europa vivió la ola de calor más intensa registrada durante un verano. Esto convirtió el calentamiento global y el cambio climático en el asunto más importante de la agenda mundial. El Tercer Grupo Intergubernamental de Expertos para el Cambio Climático (IPCC en sus siglas en inglés) [IPCC 2002] predice un incremento en la temperatura de la superficie de 1,5-5,8°C en el periodo 1990-2100 junto con un incremento en la variabilidad climática y en los eventos extremos. Las líneas de investigación se centran en los cambios en la frecuencia, intensidad y duración de los eventos extremos, como son los días cálidos, las olas de calor y las precipitaciones. Por otra parte, la amplitud del calentamiento tiene un margen incierto. Los escenarios climáticos para 2100 señalan un incremento en la temperatura de 3,5°C con una incertidumbre de +2,5 °C. Las olas de calor extremas como la acaecida en 2003 pueden ser cada vez más frecuentes y más de la mitad de veranos pueden ser más calurosos que el de 2003 [EEA 2012].

[EEA 2012] en su documento de 2012 respecto a la temperatura global señala que tres tomas de datos independientes muestran incrementos en las medias de temperatura (tierra y mar) en la década de 2002-2011 de 0,77-0,80 °C por encima de la era pre-industrial. El ártico se ha calentado significativamente más que el planeta en su conjunto. Este estudio prevé incrementos de 1,1-6,4 °C para 2100 teniendo en cuenta la incertidumbre de los modelos. En cuanto a Europa, se ha registrado un incremento de 1,3°C más que en la era preindustrial y predice un incremento de 2,5-4,0°C en el periodo 2071-2100. También señala un incremento en la temperatura de los océanos, estimando aumentos en la superficie del mar de hasta 1,0 m.

En cuanto a las regiones que conciernen a este estudio, [EEA 2012] predice las siguientes conclusiones, en general para el verano, se prevén temperaturas extremas junto con una reducción en las precipitaciones, con una previsión de aumento de la demanda de energía. Esto se verá más agravado en el área Mediterránea, que junto con la menor accesibilidad al agua potable puede repercutir en la industria del turismo. Las ciudades y áreas urbanas, con un incremento en los últimos años de la población, se muestran más vulnerables a los extremos climáticos (Inundaciones del Elba 2002, Copenhague 2011).

La Figura 3.19 muestra el aumento en las temperaturas extremas y lo representa por la combinación de número de días en un verano cálido (Junio-Agosto) con días de temperatura máxima >35°C y noche tropicales con una temperatura mínima >20°C.

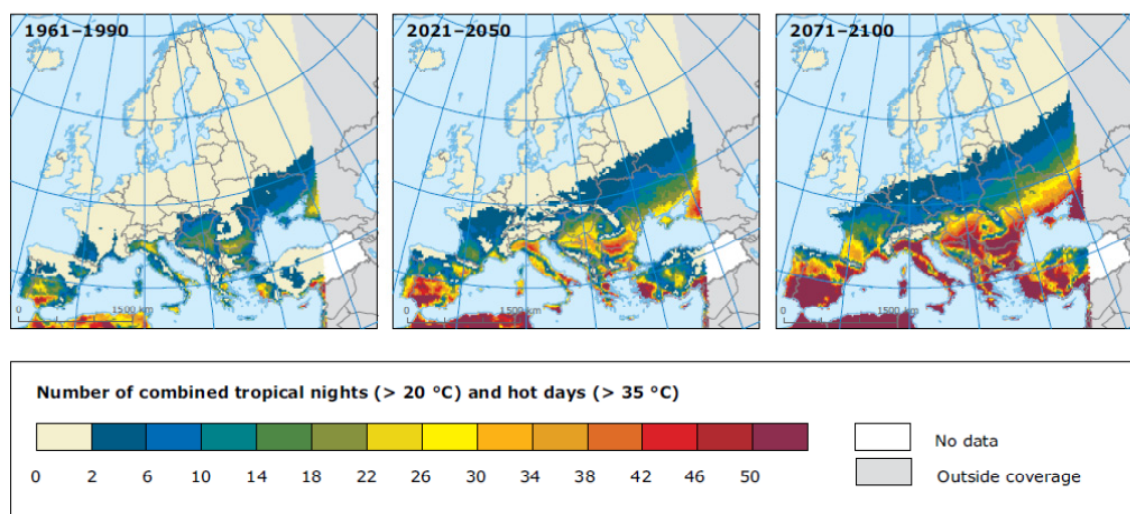


Figura 3.19. Combinación de número de días en un verano cálido (Junio-Agosto) con días de temperatura máxima >35°C y noche tropicales con una temperatura mínima >20°C. Todas las proyecciones son medias de seis proyecciones climáticas regionales según el escenario A1B para los periodos 1961-1990, 2021-2050 and 2071-2100 [EEA 2012]

CONCEPTO DE ESCENARIOS

Según el IPCC, los “escenarios” son descripciones coherentes y consistentes de cómo el sistema climático de la Tierra puede cambiar en el futuro. La metodología empleada para la construcción de escenarios varía de acuerdo al propósito de la evaluación. Durante años, los escenarios han sido utilizados por los gobiernos en los ámbitos empresariales y militares como base para el planeamiento estratégico. Estos escenarios socioeconómicos proporcionan un marco para el pensamiento estructurado de cómo el futuro se puede revelar. Por ejemplo, los escenarios pueden requerirse para:

- Ilustrar el cambio climático (en términos del presente clima)
- Proyección de las consecuencias potenciales del cambio climático, como por ejemplo, estimar el cambio futuro de la vegetación natural e identificar especies en riesgo.
- Planeamiento estratégico ante riesgos de incrementos de nivel del mar y de inundaciones.
- Políticas de control de las emisiones, etc.

INCERTIDUMBRE EN LOS ESCENARIOS

El concepto de incertidumbre está implícito en la filosofía de desarrollo del escenario y su caracterización. La cuantificación de la incertidumbre ha llegado a ser una rama principal de la investigación de los escenarios. Las más importantes incertidumbres son:

- Incertidumbres en las emisiones futuras de los gases de invernadero y aerosoles; es decir, cada escenario tiene diferente composición atmosférica e implica diferente forzamiento radiativo.
- Incertidumbre en la sensibilidad del clima global a consecuencia de las diferencias de los procesos físicos y de la respuesta de los diferentes modelos.
- Incertidumbres en los cambios climáticos regionales.

ESCENARIOS DE EMISIONES

Existen escenarios del “posible clima futuro”, que son derivados de los escenarios de posibles emisiones futuras de gases de efecto invernadero, los cuales se utilizan en modelos climáticos como elemento introducido para el cálculo de proyecciones climáticas. Cualquier descripción posible del clima futuro dependerá de asunciones sobre las emisiones futuras de los gases de invernadero y otros agentes contaminantes; es decir, dependerán de la opción del panorama de las emisiones. Un panorama en el cual la emisión de gases de invernadero es baja, debe conllevar a un cambio menos rápido del clima que uno en el cual las emisiones son altas. Un panorama del cambio del clima por lo tanto es una descripción coherente de un cambio futuro del clima bajo asunciones específicas sobre el crecimiento de emisiones de gases de efecto invernadero y de otros agentes contaminantes y sobre otros factores que puedan influenciar en el clima futuro.

Los escenarios comprenden una línea evolutiva similar en lo que respecta a sus características demográficas, sociales, económicas y de cambio tecnológico y está constituido de cuatro familias de escenarios: A1, A2, B1 y B2.

A1. La familia de escenarios y línea evolutiva A1 describe un mundo futuro de crecimiento económico muy rápido; la población mundial alcanza su nivel más alto a mitad de siglo y disminuye posteriormente, produciéndose una rápida introducción de nuevas tecnologías más eficientes. Las cuestiones más importantes son la interacción cultural y social entre las regiones y la capacitación, con una importante reducción de las diferencias regionales en los ingresos per cápita. La familia de los escenarios A1 se divide en tres grupos que describen las distintas direcciones del cambio tecnológico en el sistema energético. Los tres grupos A1 se distinguen por su énfasis tecnológico: fuentes de energía intensivas de origen fósil A1F1, de origen no fósil (A1T) o un equilibrio entre todas las fuentes A1B (el equilibrio se define como la no dependencia excesiva de una fuente de energía concreta, suponiendo que se apliquen ritmos similares de mejoras en todas las formas de aprovisionamiento energético y en las tecnologías de uso final).

A2. La familia de escenarios y línea evolutiva A2 describe un mundo muy heterogéneo. La cuestión subyacente es la autosuficiencia y preservación de las identidades locales. Los perfiles de fertilidad en las distintas regiones tienden a converger muy lentamente, lo cual acarrea un aumento continuo constante de la población. El desarrollo económico tiene una orientación principalmente regional y el crecimiento económico per cápita y el cambio tecnológico están fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.

B1. La familia de escenarios y línea evolutiva B1 describe un mundo convergente, con la misma población mundial, que alcanza su nivel más alto a mediados del siglo para disminuir posteriormente, como línea evolutiva A1 pero con cambios rápidos en las estructuras económicas hacia una economía de la información y de los servicios, con reducciones en el consumo de materiales e introducción de tecnologías limpias y de recursos eficaces. En esta línea evolutiva se hace hincapié en las soluciones mundiales a la sostenibilidad económica social y ambiental, lo que comprende una mejora de la equidad.

B2. La familia de escenarios y línea evolutiva B2 describe un mundo en el que se hace hincapié en las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y ambiental. Se trata de un mundo cuya población mundial crece continuamente, a un ritmo menor al de la línea evolutiva A2, con niveles medios de desarrollo económico y cambios tecnológicos menos rápidos y más variados que en las líneas evolutivas B1 y A1.

Aunque el escenario también está orientado hacia la protección ambiental y a la equidad social, se centra en las escalas: local y regional.

En cuanto a la España, [MORATA 2014] resume para las diferentes regiones los resultados regionalizados de cambio climático en España a partir de los resultados del IPCC-AR4:

Temperatura máxima:

-Se observa tendencia al aumento del valor medio de la temperatura máxima a lo largo de todo el período, alcanzándose incrementos de entre 3-5°C a final del siglo XXI.

-Se identifica tendencia al aumento de la temperatura máxima menos pronunciada en las regiones costeras, Valle del Ebro e Islas Baleares y más acentuada en el Pirineo y las regiones del centro y sur peninsular.

-El mayor incremento de temperatura máxima corresponde a los meses de verano de hasta 5-7°C, y es menos intenso en la zona cantábrica que en el resto de la Península. En invierno el valor medio esperado manifiesta un incremento con valores en torno a los 3°C.

-Para las Islas Canarias se observa incremento de la temperatura máxima de orden similar al de las regiones del norte peninsular, aunque sin variación estacional

-El porcentaje de días cálidos mantiene tendencia creciente constante a lo largo de todo el período hasta alcanzar tasas en torno al 50%. La duración de olas de calor presenta incremento de en torno a 5 días hasta la mitad del período; a partir del año 2050 la tendencia aumenta hasta alcanzar valores próximos a los 40 días a finales del siglo XXI.

Temperatura mínima:

-Se obtiene tendencia creciente del valor medio de la temperatura mínima anual que se mantiene constante a lo largo de todo el período con valores próximos a 3-4°C de aumento a finales del siglo XXI.

-Aumento menos pronunciado de las temperaturas mínimas en el norte peninsular, y más acentuado en el centro de Castilla-La Mancha y noreste de Andalucía.

-El incremento de temperatura mínima es mayor en el sur peninsular en los meses de verano alcanzando valores próximos a 4°C. En invierno el aumento es de aproximadamente 2°C. En primavera y otoño se observa incremento intermedio en todas las regiones.

-Los resultados para Canarias muestran comportamiento análogo a las regiones peninsulares pero sin variación estacional.

-En número de días de helada disminuye hasta valores entre 10-15 días menos anuales; mientras que el porcentaje de noches cálidas aumenta entre el 40-50% para los últimos años del siglo XXI.

En la Figura 3.20, se muestra el cambio de temperatura máxima para la CFN y el CAPV.

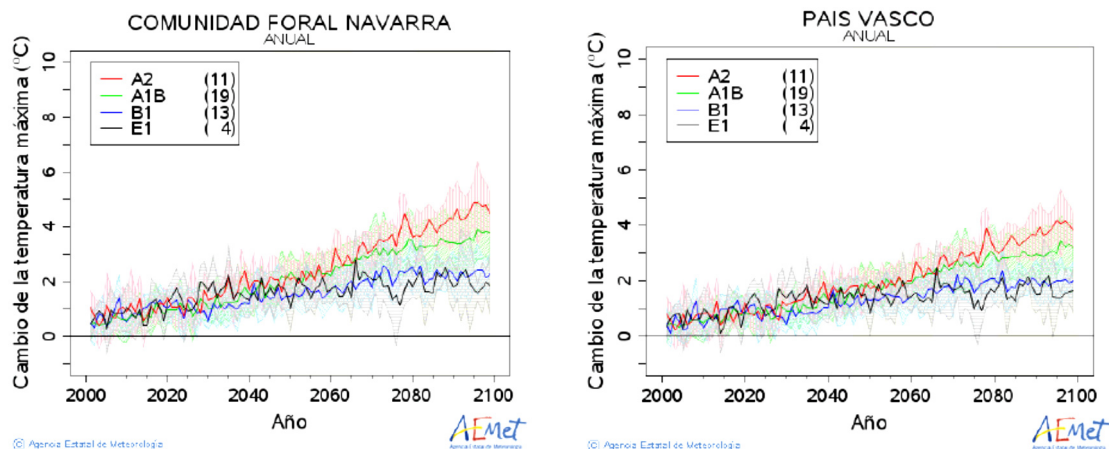


Figura 3.20. Cambio de temperatura máxima en la Comunidad Foral Navarra y País Vasco según los diferentes escenarios [MORATA 2014]

Otra gráfica interesante nos muestra el aumento en la duración de las olas de calor (Fig. 3.21).

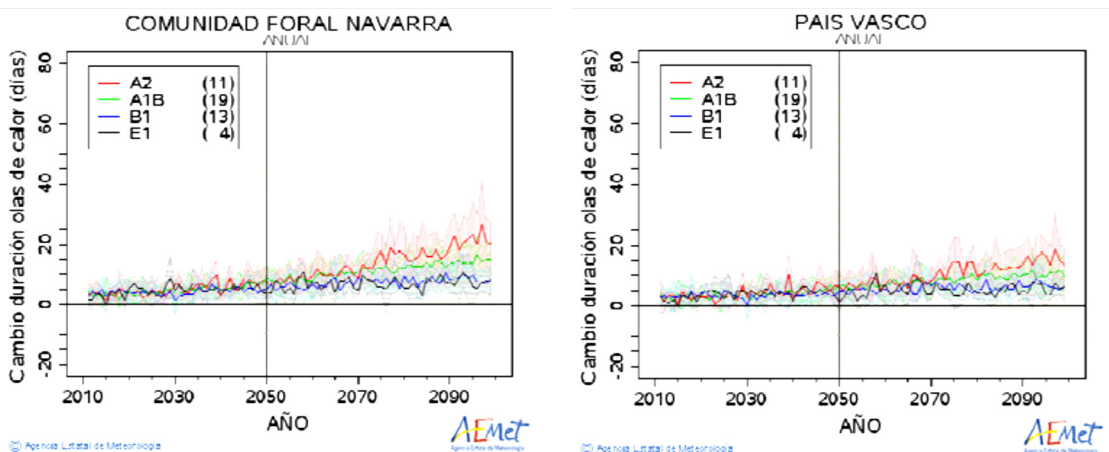


Figura 3.21. Duración de las olas de calor en la Comunidad Foral Navarra y País Vasco según los diferentes escenarios [MORATA 2014].

3.2.5.3 ISLAS DE CALOR URBANAS

Es bien conocido que las ciudades son a menudo más cálidas que el entorno rural. Los primeros estudios relevantes [LANDSBERG 1981] y [OKE 1982]. Muchos de los datos meteorológicos provienen de estaciones situadas en aeropuertos, en las afueras de las concentraciones urbanas, en algunos casos a más de 20-30 km del centro de las ciudades. Las investigaciones resaltan que el efecto de isla urbana es más intenso en verano, con cielos despejados y velocidades del viento bajas, situaciones típicas del verano es grandes áreas de este estudio. Este fenómeno se acentúa muchas veces durante la noche, lo que puede impedir el buen funcionamiento de la ventilación nocturna.

Numerosas referencias citan la influencia de las ciudades en el aumento de las temperaturas en las ciudades, sobre todo en las más grandes. [LECHNER 2009] cita medias anuales de 0,8°C más cálidas, con temperaturas mínimas invernales 1,7°C

superiores a las zonas rurales y 4°C más altas en verano. La radiación solar sin embargo puede ser un 20% menor debido a la polución del aire. Se puede incrementar el efecto de isla de calor por una menor velocidad del viento, aunque en ciertas configuraciones urbanas se puede dar el caso contrario.

[OLGYAY 1963] señala en ciudades como Washington diferencias de temperatura de 4°C, llegando por la noche a 6°C, contrastando con la diferencia de temperatura por latitud que es de unos 5°C. [YAÑEZ 2008] sitúa en 5°C la diferencia de temperatura.

[FERNANDEZ, LAVIGNE 2009] señala como posible causa de estas islas de calor a los edificios más o menos altos en situaciones próximas, la radiación solar incidente se encuentra atrapada al incidir las sucesivas reflexiones en las diferentes fachadas, y existiendo además superficies horizontales absorbentes como son el asfalto, las terrazas, y las cubiertas de teja por citar algunos ejemplos. En verano, la radiación solar siendo cercana a la vertical, incide en las superficies horizontales entre los edificios, siendo las pérdidas por radiación infrarroja hacia el cielo relativamente pequeñas, lo cual evita el enfriamiento de las fachadas. Las pérdidas de calor de las superficies verticales se produce pues típicamente por convección natural o forzada cuando hay viento. Sin embargo en las zonas densas, la convección natural del suelo se reduce por la que se produce en altura en las cubiertas calientes, acentuando el efecto por el hecho de tener una menor velocidad del viento por la rugosidad de las propias edificaciones. Existen además los efectos antropométricos, estimados en 1K, hecho que muchas veces lo producen los mismos sistemas de climatización que combaten el calor. Asimismo, la mineralización de los espacios urbanos evita el enfriamiento por evapotranspiración de la vegetación, fenómeno típico en el medio rural.

[ESCOURROU 1991] señala diferencias de temperaturas entre el centro y el extrarradio de París de hasta 10°C, que se va intensificando año a año con el aumento de la densidad urbana (Fig. 3.22).

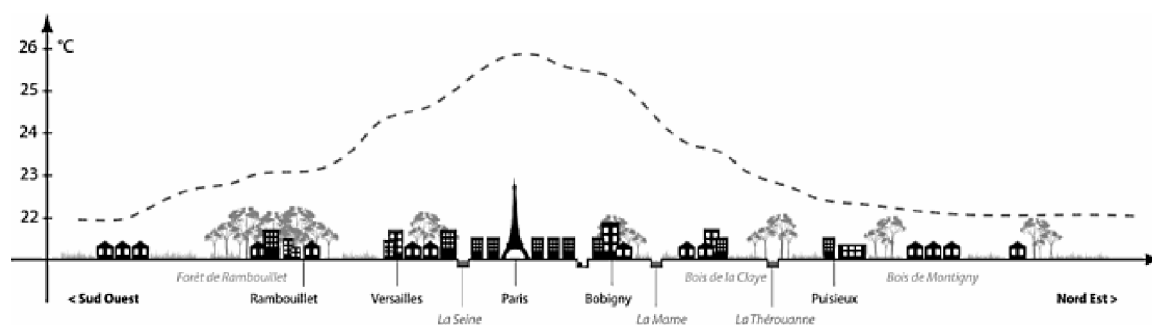


Figura 3.22. Esquema del perfil de la isla de calor urbana de París [www.iau-idf.fr]

Algunas grandes aglomeraciones tienen muy estudiado los microclimas generados por la alta densidad urbana, como es el caso de París. En la Figura 3.23 se muestran las temperaturas medias de 1995-2004 en la aglomeración de París, con diferencias entre el campo y el centro de la ciudad de más de 2°C de media, con picos en épocas de verano de 8,4°C.

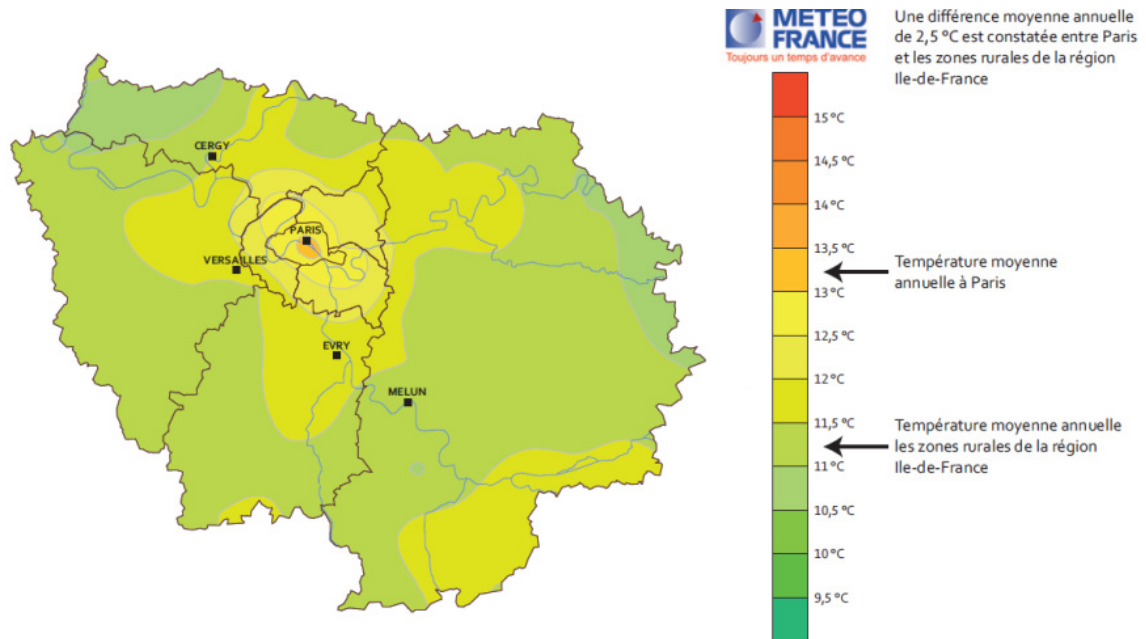


Figura 3.23. Esquema del perfil de la isla de calor urbana de París. APUR (Atelier Parisien d'Urbanisme) a partir de los datos de Météo France. www.apur.org

[SARTAMOURIS, ASIMAKOPOULOS 1996] señalan además que el fenómeno de las islas de calor es más intenso durante las noches, cuando los edificios y el aire continúa caliente provocando estrés térmico en las personas, encontrando las mayores diferencias entre las temperaturas de la ciudad y el campo durante el atardecer, alcanzándose diferencias entre 5-10°C. Concluyen que el clima en las ciudades se caracteriza por los siguientes aspectos:

- Temperaturas ambiente altas incluso en el atardecer.
- Humedad relativa baja, debido a la carencia de fuentes de humedad.
- Patrones de vientos afectados por la topografía urbana que favorece el estancamiento de la contaminación.
- Reducción de la radiación solar directa e incremento de la radiación difusa provocadas por las partículas contaminantes en suspensión.

[SANTAMOURIS *et ál.* 2001] señala como el efecto de las islas de calor urbanas decrece en función de la intensidad del viento y recoge los diferentes estudios que se han realizado para parametrizar la influencia de diferentes factores en el incremento de temperatura. El más conocido es el propuesto por [OKE 1987] que relaciona la Intensidad de calor de una ciudad "ideal" ΔT , en función de la velocidad del viento en el medio rural a 10 metros de altura u y la población de la ciudad p :

$$\Delta T = \frac{p^{0,25}}{4u^{0,5}}$$

A partir de esta formulación, numerosos estudios han cuantificado los valores de la Intensidad de calor de las Islas Urbanas, mostrando la Figura 3.24 el gráfico más extenso que recoge los diferentes estudios. Vemos que en una ciudad Europea de 100.000 habitantes se puede esperar una intensidad de isla de calor de unos 6°C.

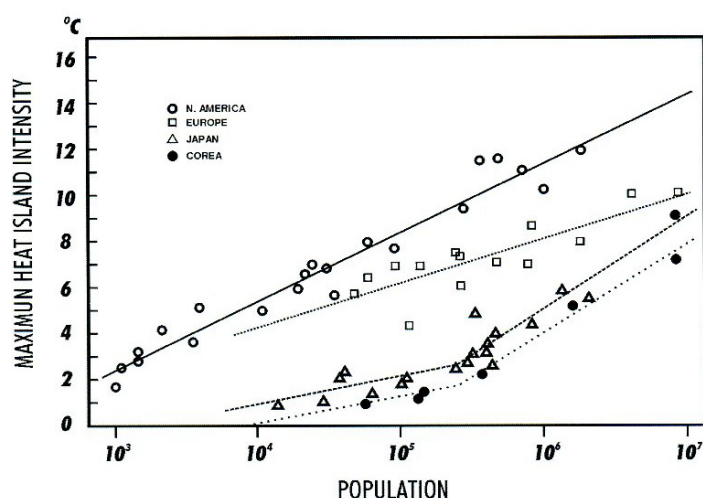


Figura 3.24. Diferencia máxima de temperatura entre la temperatura rural y urbana recogiendo estudios de Estados Unidos, Europa, Corea y Japón en función de la población [SANTAMOURIS et ál. 2001] a partir de Park H.S. City Size and Urban Heat Island Intensity for Japanese and Korean Cities. Geographical Review of Japan, A, Vol.60, septiembre, pág. 238-250-

[OKE 1987] propone también una formulación de la intensidad de la isla de calor a partir de la relación entre el ancho W y la altura de los edificios situados en una calle H :

$$\Delta T = 7,54 - 3,97 \ln \left(\frac{H}{W} \right)$$

Con esto [OKE 1987] trata de evaluar la influencia del tejido urbano en la intensificación de la isla de calor urbana. Los diferentes estudios sobre las islas de calor urbanas se encuentran resumidos en [SANTAMOURIS 2007]; casi todos sobre poblaciones mayores de 120.000 habitantes. Una extensa bibliografía se puede obtener también en [MORENO 1992]. Existen igualmente algunos estudios de islas de calor urbanas en diferentes ciudades de la Península Ibérica.

En la ciudad de Logroño durante el año 1987, [GARCIA RUIZ et ál. 1989] llevaron a cabo un muestreo de temperaturas en 27 puntos de la ciudad demostrando que sobre todo en las primeras horas de la noche se produce una isla de calor de una intensidad de unos 3°C y menor intensidad a las 15:00 h, si bien en general se producen pequeñas variaciones de temperatura debido sobre todo a la limitación espacial de la ciudad.

En Barcelona [MORENO 1990] señala unas diferencias de 2,9°C para las máximas y de -0,2°C para las mínimas, mientras que [CARRERAS et ál 1990] se señalan valores máximos de 6,9°C entre los diferentes puntos de la ciudad.

Cifras superiores se obtienen en Madrid. [LOPEZ et ál. 1991] señalan 7°C y 3°C respectivamente, calculados a partir de los datos del aeropuerto y la agrupación de varios observatorios urbanos. [FERNÁNDEZ 2002] recoge picos de incremento de temperatura de más de 10°C entre el área metropolitana y en centro de Madrid.

En Donostia-San Sebastián, [GOIKOETXEA 1991], realiza una toma de datos durante el año 1990 en 40 puntos de la ciudad. El estudio constata la existencia de una isla de calor, señalando que se producen los valores máximos en Gros y Amara y mínimos en el área de Lorea en el barrio del Antiguo, señalando como posibles causas el mayor o menos grado de insolación según se describe en [URIARTE 1986]. Aunque el estudio no da cifras medias, describe la situación en la fecha del 20 y 21 de octubre de 1990. En

estas fechas, existen variaciones de temperatura de más de 3°C, picos de 18,6°C en Gros y Calle Matía en el Antiguo, y valores algo superiores a 14°C en Lorea, Zonas de Pasajes y Altza.

En Tarragona, [BRUNET, CORONAS 1992] realiza un estudio comparativo entre las estaciones del aeropuerto de Reus y la ciudad de Tarragona. Se evidencia en este estudio la fluctuación diaria y anual de la isla de calor, al registrarse a lo largo del día mayores temperaturas mínimas en la ciudad y, por el contrario, más altos valores de las temperaturas máximas en el aeropuerto.

En la ciudad de Zaragoza, [CUADRAT *et ál.* 1993 a] concluyen que a partir de los datos analizados durante el año 1992 demuestran la influencia de la ciudad sobre el clima y ponen de manifiesto la existencia de la isla de calor urbana, cuya intensidad consideran moderada si se tiene en cuenta la extensión y entidad poblacional de Zaragoza. Con los valores anuales se comprueba que la temperatura media de Zaragoza es 0,6° superior a la de su aeropuerto, y por la noche la supera en 1,1°. El fenómeno de la isla térmica es, sobre todo, nocturno; la comparación entre las temperaturas máximas y las mínimas mensuales de ambos observatorios muestran que, en cualquier mes del año, la ciudad es durante la noche más cálida que el aeropuerto y particularmente en invierno; durante el día los valores se uniforman y no llegan a establecerse diferencias significativas. Se destaca que los días de viento el fenómeno desaparece por completo. Un estudio similar se lleva a cabo en Teruel [CUADRAT *et ál.* 1993 b] arrojando valores medios de 2,2°C de la isla de calor, produciéndose valores mayores de hasta 4°C por inversión térmica debido a la topografía de la ciudad.

[BELLO 1995] realiza un estudio en Alcalá de Henares en función de los usos del suelo, edificación, zonas verdes, espacios abiertos duros, industria y agua. Se ponen en relación los valores obtenidos con las características meteorológicas, tiempo estable y tiempo inestable. Se concluye que existe una alta correlación entre la isla de calor y la densidad edificatoria, concluyendo un valor de 2,17°C en caso de tiempo inestable, 4,2°C el valor medio anual y 5,02°C como isla de calor con tiempo estable.

En la ciudad de Palma de Mallorca, [GUAL *et ál.* 2002] realizan un estudio para el periodo comprendido entre noviembre de 1998 y junio de 1999. Se observa una intensidad de la isla de calor de entre 4,0°C y 7,4°C, siendo mínima para el mes de diciembre y máxima para los meses de febrero y marzo, siendo algo inferior para abril y junio. Para el centro histórico se prevén valores máximos de 9,8°C valores alcanzables en las noches de invierno de los meses más fríos, reduciéndose a 5,9°C con valores de viento de 1 m/s utilizando la fórmula propuesta por [OKE 1987]. Los valores obtenidos a partir de formulaciones son muy dispares, siendo el valor ofrecido por la formulación de [OKE 1987] el que más se acerca a la media de los valores medidos.

[ALONSO *et ál.* 2004] estudian la isla de calor de la ciudad de Salamanca comparando una estación meteorológica urbana con una situada fuera del área de influencia de la ciudad. La evolución diaria de la isla de calor muestra dos situaciones claramente diferenciadas, siendo la isla de calor diurna la que representa un mayor calentamiento de la zona rural que de la zona urbana, a lo que se denomina inversión de la isla de calor. La variable que cuantifica el fenómeno de forma más clara es la intensidad de la isla de calor calculada con las temperaturas máximas. La isla de calor nocturna, que presenta valores de intensidad media positiva, tomando como variable más representativa la intensidad de la isla calculada con las temperaturas mínimas. Los valores medios anuales indican que las inversiones de la isla diurna son pequeñas, y permanecen por debajo de -1.0 °C. Por su parte, las intensidades medias positivas de la isla nocturna se sitúan entre los 1.9 °C y los 3.6 °C.

En Lisboa [ALCOFORADO, ANDRADE 2006] describe la intensidad de la isla urbana nocturna de la ciudad de Lisboa entre 0,5°C y 4°C tanto en verano como en invierno. [PINHO, MANSO 2000] en un estudio en la ciudad costera de Aveiro, señalan intensidades de la isla de calor urbana de hasta 7,5°C en condiciones anticiclónicas y viento débil, señalando como condicionantes más importantes la proximidad de la costa y el lago interior y las condiciones meteorológicas. A mayor densidad urbana, menos espacios urbanos verdes y más densidad de tráfico mayor es la intensidad de la isla de calor. Se señala que en condiciones de cielos cubiertos y fuertes vientos, la isla de calor se reduce a un margen entre 1-2°C.

Existen numerosos modelos para predecir la intensidad de las islas de calor urbanas descritos por ejemplo en [KOLOKOTRONI *et ál.* 2007] página 107, pero todos ellos toman en cuenta numerosos factores válidos únicamente para cada emplazamiento particular.

3.2.5.4 OLAS DE CALOR EXTREMAS

Aunque generalmente no se diseñan los edificios para situaciones climáticas extremas que pueden ocurrir una vez en un siglo, es una metodología habitual para calibrar la sensibilidad de un edificio a las olas de calor, utilizar valores de años climáticos extremos. En este caso, la ola de calor de 2003, reconocida por su duración e intensidad, se utiliza para evaluar el comportamiento del modelo ante una situación extrema de calor. En ciudades como Córdoba se llegaron a alcanzar los 46,2°C, con mínimas superiores a los 24°C. Estas temperaturas se prolongaron durante la primera quincena de agosto con valores de Donostia-San Sebastián de 38,6°C.

3.2.5.5 IMPLICACIONES DE LAS SITUACIONES EXTREMAS EN LOS EDIFICIOS

[JENTSCH *et ál.* 2008] señala que en la áreas desarrolladas del mundo, los habitantes se concentran en ciudades en un 75%. Esto implica que los efectos del cambio climático se deben concentrar sobre todo en las áreas urbanas construidas. Es por ello que cobra gran importancia el análisis del impacto del cambio climático en las estrategias de diseño de los edificios y en el planeamiento urbano en post de evitar o por lo menos minimizar los riesgos de sobrecalentamiento. Atendiendo a los modelos de cambio climático anteriormente expuestos, el sobrecalentamiento en el periodo estival puede ocupar un mayor número de horas en los edificios ventilados de forma natural, y aumentar el consumo energético en los edificios dotados de sistemas de refrigeración. Esta evolución en el clima junto con el efecto de las islas de calor urbanas puede llevar aparejado una situación grave de inconfort mucho mayor que en las zonas rurales.

Es evidente que el cambio climático y sus implicaciones deben estar reflejados en el diseño de los edificios futuros y en los rehabilitados en cuanto a la forma, elección de material, inercia térmica e instalaciones. Sin embargo, seguimos manteniéndonos en la tradición del movimiento moderno de la arquitectura del siglo XX, diseñando los edificios priorizando la estética y la funcionalidad frente a la eficiencia energética.

En última instancia, puede conducir a una estrategia de "hacer que funcione", cuando los servicios en la construcción deben estar integrados en un enfoque de diseño ecológicamente racional. Además, esto también aumenta el riesgo de fallos en los sistemas de instalaciones de climatización y eléctricos si no se realiza con cuidado desde el inicio de la planificación hasta la puesta en marcha de las instalaciones, y por otra parte, este tipo de estrategia aumenta los costos de funcionamiento del edificio al asumir las instalaciones los fallos de diseño de la arquitectura.

El cambio climático puede aumentar el coste de esta estrategia, haciendo incluso inviable ciertos edificios ya construidos que forman parte del parque edificatorio. Por lo tanto, la evaluación de los nuevos edificios y de los existentes frente a los cambios climáticos puede durante los próximos años ser cada vez más importante [JENTSCH *et ál.* 2008].

[FRANK 2005], en un estudio sobre el efecto del cambio climático en las demandas de calefacción y refrigeración en Suiza señala que debido a la vida útil de los edificios, entre 50-100 años, el estudio del comportamiento energético de los mismos a partir de situaciones climáticas exteriores estables basadas en datos de los últimos 10-30 años debe ser revisada, especialmente para las condiciones de verano. Focaliza igualmente los temas de estudio en la superficie vidriada y los sistemas de protección solar, la inercia térmica en conjunción con la estrategia de ventilación, el balance de humedad del edificio y su impacto en el ambiente interior y el efecto de las islas de calor sobre el confort interior.

[McLEOD *et ál.* 2013] señala que en un futuro caracterizado por veranos más cálidos y con situaciones climáticas extremas, la refrigeración activa puede convertirse en una necesidad para mantener el confort térmico. La cuestión es si estimular el concepto del PHI puede retrasar la aparición del sobrecalentamiento y es inherentemente menos vulnerable a las olas de calor (en comparación con una vivienda convencional) es muy relevante para adaptar el diseño, así como a la hora de prever medidas de mitigación (sombreamiento, sobreventilación, etc.). Asimismo señala que el aumento continuo de los factores de riesgo económicos (aumento del precio de la energía) y sociales (aumento de la edad de la población), hacen que el análisis de esta cuestión sea relevante.

3.2.6 DATOS CLIMÁTICOS UTILIZADOS EN ESTE ESTUDIO

Para la realización de las simulaciones del modelo a estudiar se utiliza la base de datos generada por el programa Meteonorm [REMUND *et ál.* 2012]. Meteonorm es principalmente un método de cálculo de la radiación solar en cualquier superficie y localización, basado en algoritmos que permiten obtener los datos climáticos de radiación y temperatura en base horaria a partir de las distancias a las estaciones meteorológicas más cercanas mediante una metodología de interpolación.

El programa permite obtener los siguientes datos:

-Temperatura, humedad, precipitación y velocidad del viento en los periodos 1961-1990, 2000-2009, y parámetros de radiación en los periodos 1981-1990, 1986-2005.

-Acceso a los escenarios de cambio climático del [IPCC 2007] B1, A1B y A2.

Basándose en la experiencia del PHI, los datos generados por Meteonorm²⁴ son plausibles para numerosas localizaciones pero deben ser utilizados con precaución debido a que todavía es susceptible de generar errores [REMUND, GANTOLIER 2011].

En cuanto a las olas de calor, [SCHNIEDERS 2009] toma unos valores de isla de calor urbana de +5°C durante el verano (de mayo a septiembre) se asume una temperatura tanto por el día como por la noche de +5°C. En invierno (de noviembre a marzo), se toma un valor de +2°C. En los periodos de transición (abril y octubre) se realiza una transición lineal. Debido a que el programa de simulación obtiene los datos climáticos desde estaciones climáticas situadas en las afueras de las ciudades (aeropuertos por lo general), el efecto de las islas de calor no está considerada y por tanto no se puede

²⁴ La base teórica del programa se puede obtener en la propia web www.meteotest.com o bien en www.meteonorm.com.

predecir en los programas de simulación utilizados. A la vista de esto y de los datos anteriores recopilados en ciudades medias españolas, solamente podremos conjeturar el efecto que las viviendas situadas en los centros urbanos.

No se valoran tampoco los efectos de las olas de calor extremas.

3.3 GANANCIAS DE CALOR INTERNAS EN PASSIVHAUS

Las ganancias de calor internas son un concepto fundamental en el balance energético de las casas pasivas desde el punto de vista del clima de Centroeuropa. El PHI en su programa de certificación [PHPP 2007-es] utiliza un valor general de $2,1 \text{ W/m}^2$ (viviendas), aumentándolo considerablemente para otras tipologías, $2,8 \text{ W/m}^2$ (centros educativos), $3,5 \text{ W/m}^2$ (oficinas), $4,1 \text{ W/m}^2$ (residencias de ancianos). En un periodo típico de calefacción en Centroeuropa de 225 días, puede suponer unas ganancias de calor de $11,3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, con un factor de aprovechamiento del 90% en edificios bien aislados [SCHNIEDERS 2009]. Este puede ser un valor equivalente a la propia demanda de calefacción del edificio, por lo que se debe tratar con precaución, ya que el hecho de tener una demanda de calefacción tan baja hace que pequeños aumentos en las cargas internas puedan suponer reducir la demanda de calefacción a la mitad. Este valor de $2,1 \text{ W/m}^2$ utilizado por [PHPP 2007-es] para viviendas ha sido contrastado mediante monitorizaciones en proyectos realizados según el estándar en Centroeuropa, pero como señala [SCHNIEDERS 2009], sigue sin estar estudiado en el sur de Europa. Este valor además está calculado teniendo en cuenta los aportes de agua fría y las pérdidas por evacuación de agua, evaporación, etc. Es decir, en invierno se considera una temperatura de agua fría superior a la que tendríamos en una región del sur de Europa, y el efecto inverso en verano, en la que tendríamos un agua más fría.

Como hemos señalado [FEIST 1999] concluye que se deben realizar los estudios de invierno y verano por separado, asumiendo en su estudio un valor de $2,48 \text{ W/m}^2$ en verano, y reduciéndolo incluso a $1,6 \text{ W/m}^2$ en el caso de invierno para poder comprobar la capacidad de la vivienda de ser calefactada en casos excepcionales (una persona sola habitando una vivienda).

El programa de certificación del Passivhaus [PHPP 2007-es] utiliza un valor por defecto de ganancias de calor internas de $2,1 \text{ W/m}^2$, que tiene en cuenta tanto las ganancias de calor debido a las personas como las pérdidas de calor del sistema de agua caliente sanitaria y la evaporación de agua (plantas, cocina, etc.). Para evaluar el riesgo de sobrecalentamiento el programa introduce un margen de seguridad, suponiendo un valor superior de $2,6 \text{ W/m}^2$. El programa permite asimismo un cálculo más preciso de los valores de cargas internas, siendo este valor muy importante a la hora de evaluar la demanda de calefacción de los edificios, y sin embargo, un aspecto perjudicial durante los periodos cálidos (Fig. 3.25). Se puede obtener mayor información sobre la metodología de cálculo que utiliza en el [PHPP 2007-es] en [SCHNIEDERS *et ál.* 2011] página 75.

Cálculo Ganancias internas de calor (GIC) Columna N°	Personas			P m²	Dem. anual de calef.		kWh/(m²a)	Período de calef.		Fuentes de GIC (W)
	ASRE	4,0	75		46	225		día	día	
Aplicación	1 Existente (1/10), o número de personas	2 Dentro de la envolvente térmica (1/10)	3 Consumo nominal	4 Factor de utilización	5 Frecuencia	6 Energía usada (kWh/a)	7 Incluido en el balance eléctrico	8 Disponibilidad	9 Utilizado durante el período de tiempo (kWh/a)	10
Lavavajillas	1	1	1,1 kWh/uso	1,00	65 (fP ^a)	286 *	0,30	8,76	=	10
Lavadora	1	1	1,0 kWh/uso	1,00	57 (fP ^a)	217 *	0,30	8,76	=	7
Secado de ropa: Tendadero	1	0	0,0 kWh/uso	0,88	57 (fP ^a)	0 *	1,00	8,76	=	0
Consumo energético por evaporación	1	0	0,0 kWh/uso	0,60	57 (fP ^a)	0 * (1-0)	1,00	8,76	=	0
Frigorífico	1	1	0,3 kWh/d	1,00	365 día	102 *	1,00	8,76	=	12
Congelador	1	0	0,6 kWh/d	0,90	365 día	181 *	1,00	8,76	=	0
o Combinación	0	1	0,7 kWh/d	1,00	365 día	0 *	1,00	8,76	=	0
Cocina	1	1	0,3 kWh/uso	1,00	500 (fP ^a)	500 *	0,50	8,76	=	29
Iluminación	1	1	20,8 W	1,00	2,9 kh(P ^a)	241 *	1,00	8,76	=	28
Consumos electrónicos	1	1	80,0 W	1,00	0,55 kh(P ^a)	176 *	1,00	8,76	=	20
Electrodomésticos / Otros	1	1	50,0 kWh	1,00	1,0 (fP ^a)	200 *	1,00	8,76	=	23
Aparatos Auxiliares (ver hoja Electricidad-Aux)	0	0,0				0 *	0	8,76	=	4
Otras aplicaciones (ver hoja Electricidad)	0	0,0				0 *	0	8,76	=	0
Personas	4	1	80,0 WIP	1,00	8,76 kh/a	2803 *	0,55	8,76	=	176
Agua fría	4	1	-5,0 WIP	1,00	8,76 kh/a	8,76 kh/a			=	-20
Evaporación	4	1	-25,0 WIP	1,00	8,76 kh/a	-876 *	1,00	8,76	=	-100
Total								W		188
Valor específico								W/m²		2,50
Oferta de calor procedente de GIC							225 día	kWh/(m²a)		13,5

Figura 3.25. Ejemplo de la utilización de la hoja de cálculo del PHPP para las ganancias internas [PHPP 2007-es]

Llama la atención que pese a la recomendación de utilizar un margen de seguridad en las ganancias internas en el periodo estival para dimensionar adecuadamente las necesidades de refrigeración, los dos estudios relevantes realizados desde el PHI, “Viviendas pasivas en el Sur de Europa” [SCHNIEDERS 2009], y “Viviendas pasivas en diferentes climas” [SCHNIEDERS et ál. 2011], utilizan unos aportes internos estándar en verano relativamente bajos, aunque posteriormente realiza unos breves análisis de la influencia al aumentar los aportes internos en los consumos de energía para refrigeración y los periodos de sobrecalentamiento. En la Tabla 3.20 se muestran los valores utilizados por estos dos estudios. Se observa que los aportes internos en invierno son siempre más altos que los utilizados en el verano²⁵.

²⁵ Recordamos que ambos estudios utilizan una vivienda adosada de unos 170 m² calefactados.

Tabla 3.20. Aportes internos estándar utilizados en los estudios de referencia del PHI para evaluar el estándar en climas cálidos

	VERANO	INVIERNO	REFERENCIA
Lisboa	1,9	2,1	[SCHNIEDERS 2009]
Oporto	1,7	2,6	
Sevilla	2,1	2,8	
Madrid	1,7	2,5	
Burdeos	1,6	2,4	
Niza	1,8	2,6	
Venecia	1,6	2,6	
Nápoles	1,9	2,6	
Palermo	2,1	2,8	
Ekaterimburgo	1,0	1,5	
Tokio	1,6	2,4	
Shanghái	1,9	2,6	
Las Vegas	2,2	2,7	
Dubai	2,8	3,2	

Elaboración propia a partir de [Schnieders 2009] y [Schnieders et ál. 2011].

En la versión 2009 del programa de certificación, el PHI ha realizado algunos ajustes en los aportes internos, siempre vistos desde la perspectiva del cálculo invernal. En un texto titulado “*Aportes internos en relación a la superficie habitable*” [PHI 2015], reconocen que el cálculo de los aportes internos en relación al consumo eléctrico (usando los datos de Alemania) conduce a lo indicado en la Figura 3.26. En esta figura observamos que para una vivienda de 70 m² correspondería un valor de ganancias internas de 5,5 W/m². El PHI justifica que estos valores al disponer las viviendas utilizadas para realizar la gráfica de consumo eléctrico antiguas y dispones de aparatos eléctricos poco eficientes, nada acorde con las construcciones Passivhaus ni con la tendencia de ahorro energético de la Unión Europea.

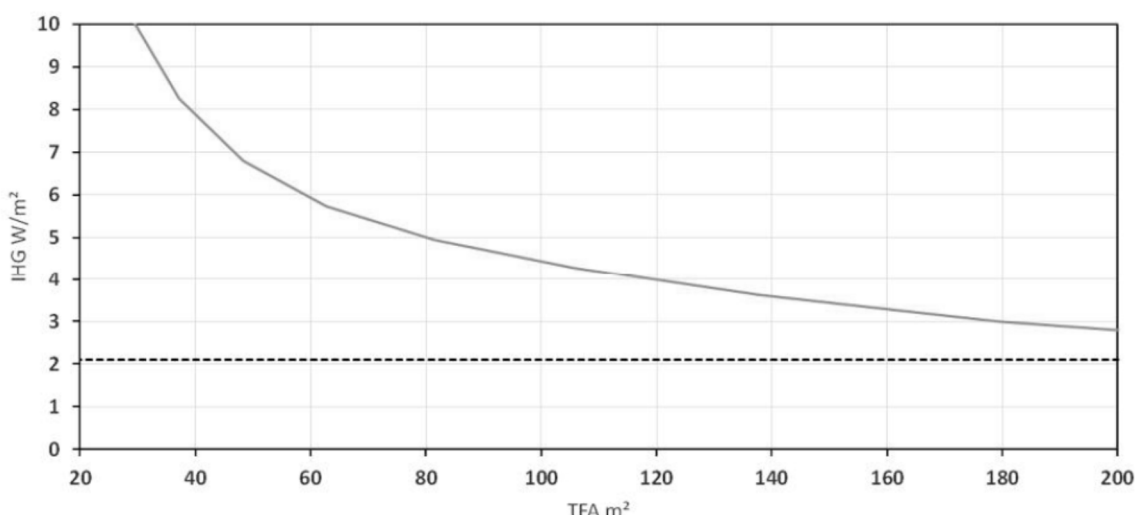


Figura 3.26. Aportes internos en relación al área habitada utilizando datos de consumo eléctrico de la Agencia Alemana de la Energía North Rhine-Wetsfalia (<https://energiertools.ea-nrw.de>) [PHI 2015].

Para rebatir este dato estadístico, el PHI realiza en cálculo de aportes internos en una vivienda eficiente con electrodomésticos de alta eficiencia energética (A+++), iluminación LED y sistemas de producción de ACS de alta eficiencia. Como factores que

disminuyen las ganancias internas incluye el agua fría mientras que la circulación de agua caliente por las tuberías se incluye como aporte positivo.

Para el cálculo de la ocupación se realiza con una fórmula estadística proveniente de la sociología alemana. Esta curva da unos valores de 1,8 persona en 75 m² [PHI 2015], muy alejado de la realidad en vivienda colectiva de promoción pública. En un estudio sobre los aportes internos del Passivhaus en el Reino Unido, [GRANT, CLARK 2014] señalan que las ocupaciones descritas por el PHI referidas al tipo alemán de 40 m²/persona están lejos de la realidad en vivienda social en el Reino Unido. Se señala que es normal que una vivienda social de 65 m² tenga 2 o 3 ocupantes, y 4 en una vivienda de 80 m². Para fundamentar los datos de ocupación utilizan la base de datos del Building Research Establishment (BRE) con 32.000 viviendas. La ocupación de una vivienda de 75 m² se eleva rápidamente a las 2,5 personas, mientras que después da igual lo que aumente la vivienda, se estabiliza en 3 personas como promedio. Es decir, que aunque el promedio de persona/m² sea parecido a lo asumido por el PHI, las viviendas pequeñas tienen una mayor ocupación de la prevista.

Señalar que el PHI asigna un valor de 80 W por persona con una ocupación del 55% del tiempo. El dato de la ocupación puede significar una variabilidad muy grande en función de la ocupación que se adopte. En el caso del invierno, la repercusión de asignar unos valores bajos solo puede ser un consumo de energía para calefacción menor del previsto. Sin embargo, desde el punto de vista del verano, puede repercutir en una mayor dificultad para estar dentro de los límites de confort.

Como ejemplo señalar que para 4 ocupantes de una vivienda de 75 m² obtendríamos unas ganancias sensibles de tendríamos un valor $2 \times 80 \text{ W} \times 0,55 = 88 \text{ W}$, ajustado al valor de superficie nos daría 1,17 W/m², mientras que si consideramos 4 ocupantes el valor puede ascendería a 2,34 W/m².

3.3.1 GANANCIAS DE CALOR EN LA NORMATIVA ESPAÑOLA

El CTE-DB HE1 en su Anexo A [CTE DB HE1 2013] establece las cargas internas en función de su densidad de las fuentes internas, los espacios habitables se clasifican en espacios habitables de muy alta, alta, media o baja carga interna.. Para ese propósito se considerará Baja carga interna cuando la suma de todas las fuentes internas (ocupantes, iluminación, equipos) no alcance los 6 W/m², Media entre 6-9 W/m², Alta entre 9-12 W/m² y Muy alta para valores >12 W/m².

El programa LIDER [LIDER 2007] discretiza las cargas internas en Baja, Media y Alta según la Tabla 3.21. En viviendas se considera Baja carga interna.

INTENSIDAD	OCUPACIÓN SENSIBLE (W/m ²)	OCUPACIÓN LATENTE (W/m ²)	EQUIPOS (W/m ²)
Baja	2	1,26	1,5
Media	6	3,79	4,5
Alta	10	6,31	7,5

Elaboración propia a partir de [LIDER 2007]

El manual de “*Condiciones de aceptación de Procedimientos alternativos a LIDER y CALENER*” en sus Anexos. asigna unas cargas internas según el patrón de ocupación de 2,15 W/m² de calor sensible y hasta 1,36 W/m² de calor latente. A eso le añade un calor generado por los equipos entre 0,44-4,40 W/m² y entre 0,44-4,40 W/m² por la iluminación. Se considerará régimen de verano desde el último domingo de marzo al

último sábado de octubre. El resto del año se considerará régimen de invierno [AICIA 2009-2] (Fig. 3.27).

Ocupación sensible (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	2.15
Sábado	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
Festivo	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
Ocupación latente (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	1.36
Sábado	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
Festivo	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
Iluminación (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral, sábado y festivo	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	2.20	4.40	4.40	4.40	2.20
Equipos (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral, sábado y festivo	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	2.20	4.40	4.40	4.40	2.20

Figura 3.27. Discretización horaria de las fuentes de calor internas en el manual Condiciones de aceptación de Procedimientos alternativos a LIDER y CALENER [AICIA 2009-2].

Sobre los hábitos de ocupación, en un estudio sobre viviendas en Sevilla, [LEÓN *et al.* 2010] muestran las gráficas de ocupación media diaria, en días laborables y fines de semana, respectivamente, en comparación con el protocolo utilizado por el programa informático LIDER (Fig. 3.21). Este programa, establecido por el documento básico HE 1 de CTE para la aplicación de la opción general de la limitación de demanda energética de los edificios, utiliza el mismo protocolo de ocupación media en la vivienda tanto para el invierno como para el verano. Comparando los resultados de ocupación media diaria de las viviendas, se observa que en días laborables la ocupación recogida en las encuestas y las establecidas oficialmente, tanto para invierno como para verano, presentan bastante aproximación, excepto en la franja horaria entre las 20:00h y las 23:00 h, en la que el programa LIDER considera un porcentaje menor de ocupación. Por el contrario, en días festivos existe una importante diferenciación debido a la hipótesis de ocupación tan simplificada que utiliza el programa oficial, al considerar una ocupación total y continuada durante todo este periodo.

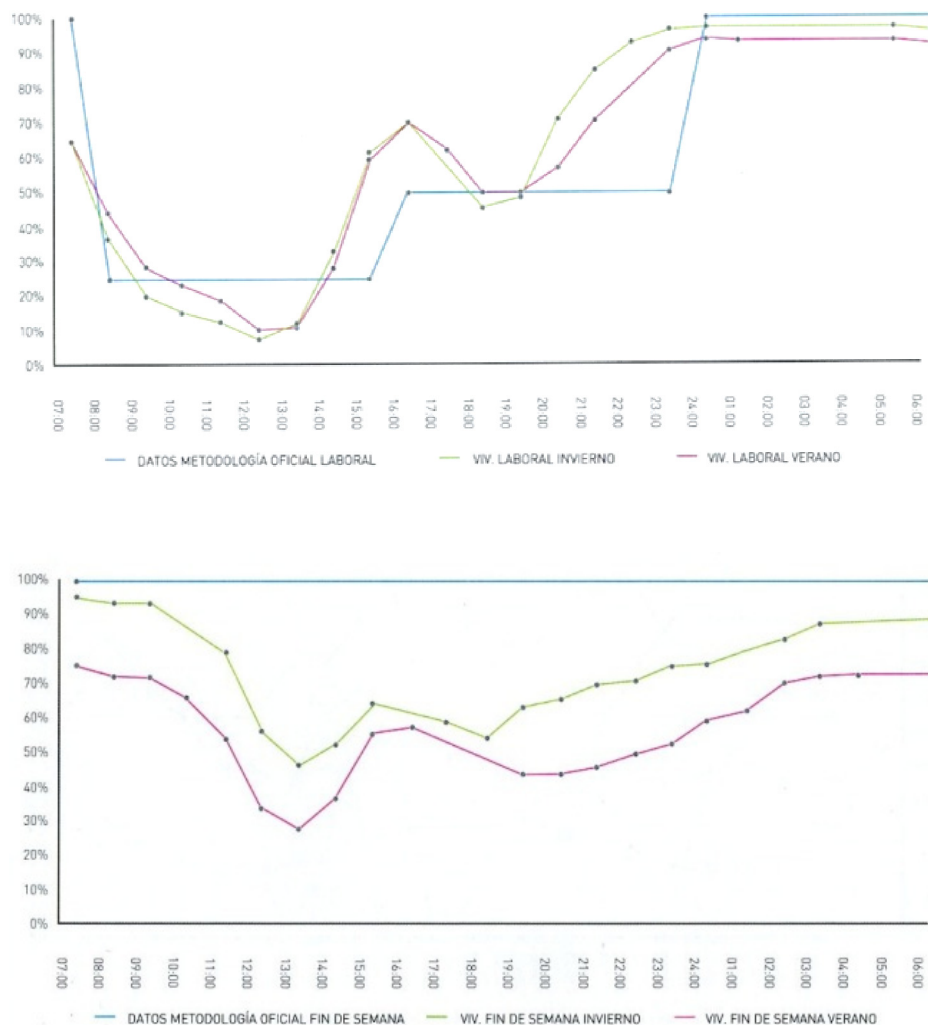


Figura 3.28. Comparativa de la ocupación según la metodología oficial y la monitorización en viviendas del edificio Cros-Pirotecnia en Sevilla. Arriba día laboral, abajo día festivo [SENDRA et ál. 2011].

Este estudio concluye que se constata un nivel de ocupación habitual de las viviendas claramente inferior al estimado en los procedimientos de análisis, lo que tiene una especial influencia sobre el peso específico real de las demandas de calefacción y refrigeración, siendo en la realidad inferior a los modelos propuestos.

3.3.2 GANANCIAS DE CALOR EN OTRAS NORMATIVAS

La norma UNE-EN ISO 13790:2004 **“Eficiencia energética en los edificios. Cálculo del consumo de energía para calefacción de espacios”** [UNE-EN ISO 13790:2004] en su Tabla G.8 describe los datos típicos de ocupación y flujos de calor para edificios residenciales, señalando una media para salas de estar y cocinas de 9 W/m^2 , y de 3 para otras áreas W/m^2 acondicionadas como los dormitorios.

La normativa suiza SIA 380/1 [SIA 380/1:2009] calcula los aportes internos por persona en función de una ocupación de 1 persona cada 40 m^2 en vivienda colectiva y 70 W por persona, con una presencia de 12 horas. Las cargas internas de los aparatos las sitúa en 100 MJ/m^2 en vivienda colectiva, con un factor de corrección de 0,7. Para una familia media suiza estos datos suponen una potencia de 500 W , que dadas las dimensiones

de las viviendas suizas viene se recomienda unos aportes internos de al menos 5 W/m^2 [ROULET 1987-a]. Por otro lado, [FRANK 2005] en un estudio sobre la incidencia climática utiliza el valor medio de 4 W/m^2 .

La norma británica CIBSE Guide A [CIBSE 2015] en el Capítulo 6, dedica todo un apartado a la consideración de las ganancias internas, especialmente a los edificios de oficinas, de los cuales se disponen existen datos más contrastados que en vivienda. En cuanto a las viviendas, describe en la Tabla 6.15 todos los aparatos eléctricos disponibles en viviendas, mientras que para las personas asigna un valor obtenido del ASHRAE Handbook of Fundamentals del año 2013 de 115 W para hombres, con un ajuste hombre/mujer de 95 W (65 W sensibles y 30 latentes).

La norma UNE-CR_1752=2008_IN en su Tabla D.1. [UNE-CR 1752 IN:2008], nos da los valores de la tasa metabólica para diferentes actividades similares El Factor metabólico permite considerar personas de diferentes constituciones físicas. Indique 1.00 para hombres, 0.85 para mujeres, 0.75 para niños o un valor intermedio si se trata de un grupo mixto.

3.3.3 GANANCIAS DE CALOR UTILIZADAS EN ESTE ESTUDIO

En este estudio se utiliza en el núcleo del análisis la metodología oficial en la normativa española descrita en las “*Condiciones de aceptación de Procedimientos alternativos a LIDER y CALENER*” [AICIA 2009-2] así como los datos de ocupación. Los valores máximos de ocupación sensible son de $2,15 \text{ W/m}^2$ y los de ocupación latente de $1,36 \text{ W/m}^2$ (Tabla 3.22).

	00:00-8:00 h	8:00-16:00	20:00-00:00
Laboral	100%	25%	50%
Sábado y festivos	100%	100%	100%

Elaboración propia a partir de [AICIA 2009-2]

En cuanto al porcentaje de uso de los equipos y la iluminación, se utilizan los valores de la Tabla 3.23. Los valores máximos de los equipos eléctricos son $4,40 \text{ W/m}^2$ y los de la iluminación $4,40 \text{ W/m}^2$.

	00:00-8:00 h	8:00-18:00	18:00-19:00	19:00-23:00	23:00-00:00
Laboral	10%	25%	50%	100%	50%
Sábado y festivos	10%	25%	50%	100%	50%

Elaboración propia a partir de [AICIA 2009-2]

Esta metodología asigna para la vivienda estudiada arroja un valor medio de $4,80 \text{ W/m}^2$ para los aportes sensibles. Posteriormente se realiza un análisis de la variación de los aportes internos con las mismas pautas de ocupación con el fin de evaluar la incidencia de los aportes internos en el confort. Se estudian los aportes internos según la Tabla 3.24. Los aportes internos AI-1,60 W/m^2 representan una vivienda con baja ocupación según los criterios del PHI, los aportes internos AI-2,60 W/m^2 el modelo máximo recomendado por el PHI para evaluar la situación verano y los aportes internos AI-6,00 W/m^2 un modelo de alta ocupación.

Tabla 3.24. Aportes internos comparados en este estudio

	PH INVIERNO	PH VERANO	CTE	AI ALTO
Aporte interno sensible	AI-1,60 W/m ²	AI-2,60 W/m ²	AI-4,80 W/m ²	AI-6,00 W/m ²

[Elaboración propia]

De la combinación de los aportes internos estudiados y la ocupación según [AICIA 2009-2] se obtienen los siguientes valores anuales (Tabla 3.25).

Tabla 3.25. Aportes internos comparados en este estudio. Valores anuales obtenidos en la vivienda de referencia

	AI-1,60 W/m ²			AI-2,60 W/m ²			AI-4,80 W/m ²			AI-6,00 W/m ²		
	May-Sep	Oct-Abr	Total	May-Sep	Oct-Abr	Total	May-Sep	Oct-Abr	Total	May-Sep	Oct-Abr	Total
Sensible	2829	3947	6776	5529	7715	13244	5529	7715	13244	6687	9329	16016
Latente	2057	2871	4928	3497	4880	8377	3497	4880	8377	4372	6100	10472
Iluminación	1514	2099	3613	1514	2099	3613	6058	8396	14454	7573	10494	18067
Equipos	1514	2099	3613	2475	3438	5913	6058	8396	14454	7843	10881	18724
Total sensible	5857	8145	14002	9518	13252	22770	17645	24507	42152	22103	30704	52807

[Elaboración propia]

**EVALUACIÓN DEL ESTÁNDAR DE CONSTRUCCIÓN PASSIVHAUS Y SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO CLIMÁTICO
DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA VASCA Y LA COMUNIDAD FORAL NAVARRA**

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

4 ELECCIÓN DEL EDIFICIO DE REFERENCIA

4.1 TIPOLOGIA EDILICIA

Atendiendo al trabajo realizado por el IDAE “*Análisis del consumo energético del sector residencial en España*” [IDAE 2011 b], un alto porcentaje de los hogares de España, el 70%, vive en bloques de viviendas, aumentando este valor en el área del Atlántico Norte al 74%. El hogar medio tiene 9,3 estancias, incluyendo cuartos de baño y cocina en el caso de los bloques de apartamentos, 7,1 en la zona del Atlántico Norte. El tamaño del apartamento medio es de 86,5 m², algo menor en el Atlántico Norte, 82,2 m². El tamaño del hogar, expresado como el número de miembros del hogar, es una variable con repercusión significativa en el consumo energético, y alcanzó en 2010 en España la media de 2,7 personas/hogar. La mitad de los hogares españoles son de tamaño reducido con 1 ó 2 miembros, mientras que los hogares de tamaño superior a 5 miembros apenas representan el 9% [IDAE 2011 b]. Señalar que es uno de los países europeos con un mayor índice de personas que habitan en apartamentos frente a viviendas individuales, sólo superado por Estonia y Letonia [ECONOMIDOU *et ál.* 2010].

La tipología edificatoria tiene un efecto significativo tanto en la demanda de calefacción como en el riesgo de sobrecalentamiento. Las viviendas colectivas tienen una menor superficie de intercambio energético con el exterior que las tipologías de vivienda unifamiliar, lo cual hace que tengan una menor pérdida de calor en invierno pero paralelamente tienen un mayor riesgo de sobrecalentamiento debido a esta menor superficie en contacto con el exterior y una menor capacidad de ventilación, tanto por el número de aberturas como por la distribución de las mismas. [GUPTA, GREGG 2012] en un estudio del riesgo de sobrecalentamiento en climas futuros de las diferentes tipologías presentes en el Reino Unido, señala las tipologías de bloques de apartamentos y las de viviendas adosadas entre medianeras como las tipologías con mayores periodos de sobrecalentamiento frente a las viviendas bifamiliares o unifamiliares. En los estudios señalados en el Capítulo 2 se observa que la tendencia en Europa es a analizar viviendas unifamiliares y adosados (solamente 5 de los 31 estudios analizan bloques de apartamentos), una tipología más común en Centro Europa, pero menos común en el ámbito territorial que abarca este estudio y anecdótico en vivienda VPO.

[GUPTA, GREGG 2012], para el estudio de la tipología de viviendas de apartamentos selecciona una vivienda pasante situada en medio de una tipología de bloque, al considerar esta situación la más habitual dentro de los bloques de viviendas. La vivienda estudiada tiene un programa similar a una vivienda de promoción pública de las construidas en nuestro entorno, con la característica favorable para mejorar la ventilación natural de tener dos fachadas opuestas.

Otros factores tipológicos que influyen en gran medida son la orientación, que juega un papel relevante como se demuestran en los estudios referidos en el Capítulo 2, y la situación dentro del edificio, siendo las viviendas tipo las más sensibles al sobrecalentamiento, y en algunos casos las viviendas bajocubierta, generalmente debido al poco aislamiento o no dotar la cubierta de sistemas constructivos que atemperen la radiación solar.

Las viviendas colectivas sociales realizadas en las últimas décadas tienen asimismo algunas características tipológicas que las hacen más sensibles a futuros sobrecalentamientos en caso de construirse bajo estándares de bajo consumo energético. En primer lugar algunas de las estrategias de refrigeración pasiva pueden estar penalizadas. La ventilación cruzada por ejemplo no es posible en muchas de las

tipologías realizadas, ya que generalmente nos encontramos con viviendas con huecos en una fachada o en dos fachadas colaterales. Además, es habitual la construcción de viviendas en entornos urbanos con un alto nivel de contaminación acústico, lo que dificulta la ventilación nocturna natural. Por otra parte, en los últimos años también ha sido una tendencia generalizada la supresión de los balcones y terrazas, generalmente debido a la búsqueda de soluciones compactas y libres de puentes térmicos. Esta decisión ha dejado a las persianas enrollables, el sistema más común en vivienda colectiva pública (prácticamente en el 100% de los casos), como único medio de protección solar, siendo un sistema que requiere de una manipulación por parte de los usuarios en función de la radiación solar.

4.1.1 SINTESIS TIPOLOGICA EN EDIFICACIÓN DE VIVIENDA PÚBLICA EN EL PAÍS VASCO Y NAVARRA

En este punto se trata de definir un modelo o modelos de vivienda tipo que se repitan de forma más común en las Viviendas de Protección Oficial (VPO) en los territorios del País Vasco y de Navarra. La norma básica que define la tipología de vivienda son las Normas de Diseño, en el País Vasco [GOBIERNO VASCO 2009] y en [GOBIERNO FORAL NAVARRA 2004]. Ambas normativas, muy similares, definen el programa de la vivienda de protección oficial incluyendo las superficies mínimas de las diferentes estancias, número de habitaciones, baños, dotaciones etc., así como los espacios comunes y los espacios anejos de las viviendas, garajes y trasteros. Por último, y como dato tipológico relevante, define la proporción de viviendas de 1, 2, 3 y 4 habitaciones que debe contener una promoción de viviendas. Anexo B, se resumen las características generales de dicha normativa en el País Vasco. Estas normas no definen las tipologías de vivienda, pero como veremos más adelante, sí existen unos criterios generales que definen de una manera muy clara las posibilidades tipológicas, generalmente relacionados con la viabilidad económica y que podemos considerar como criterios propios de las diferentes instituciones que desarrollan viviendas VPO.

Además, existen otras normativas que influyen de forma clara en la caracterización tipológica, las normas de Accesibilidad de las Comunidades Autónomas, Decreto 68/2000 en el País Vasco [GOBIERNO VASCO 2000] y Decreto Foral 154/1989 [GOBIERNO FORAL NAVARRA 1989] en Navarra y la Normativa Nacional integrada en el CTE [CTE DB SUA 2010], así como la normativa de protección contra el fuego, de carácter nacional exclusivamente, incorporada igualmente en el CTE [CTE DB SI 2006].

Entre los estamentos que desarrollan viviendas VPO podemos distinguir tres grupos; el primero formado por las viviendas desarrolladas directamente por las instituciones públicas, es decir, Departamento de Vivienda de las Comunidades, Diputaciones o Ayuntamientos; el segundo lo configuran las empresas públicas de promoción de la vivienda, VISESA en el País Vasco, NASUVINSA en Navarra (anteriormente VINSAs), a las que los últimos años se le han incorporado una multitud de empresas públicas promocionadas desde los diferentes órganos municipales y Diputaciones; por último, en tercer lugar están las promociones privadas que desarrollan mediante diferentes mecanismos, por ejemplo las cooperativas, promociones con características de vivienda VPO.

Aunque como hemos dicho anteriormente estas entidades desarrollan viviendas según las normas de diseño generales de las diferentes comunidades, tienen criterios propios, a veces recogidos en documentos y otras veces son criterios que van variando en el tiempo en función de las características de la promoción o de los intereses que en el momento tienen las instituciones en desarrollar algún aspecto en particular.

Los tres grupos definidos desarrollan tipologías similares pero con unos criterios algo diferentes, resumidos en tres variantes:

-Los Departamentos de Vivienda: Los últimos años se centran en la vivienda de alquiler social, es decir, viviendas que generalmente cumplen el programa mínimo, máxima compacidad, número mínimo de viviendas por núcleo, mínimo número de viviendas por rellano, orientaciones en salones etc. Además se suelen excluir los balcones y terrazas por razones de simplicidad constructiva y de superficie edificada (criterios económicos).

-Empresas Públicas de Promoción de Vivienda Pública: A partir de los criterios propios comentados anteriormente, caracterizan de una forma clara las tipologías desarrolladas por estas entidades. Así, por ejemplo, la Empresa Pública de Vivienda del País Vasco, VISESA, tiene editadas su propias normas [VISESA 2007] centradas básicamente en la definición del producto constructivo, pero que también nos indica, por ejemplo, en su apartado 2-1-B.- Elementos Comunes y Urbanización, punto 210B1 que *“El número de viviendas por edificio y núcleo de comunicaciones (en función de su programa, tamaño, distribución y agrupación por escalera) será el máximo posible, que con carácter general no serán menos de 15 viviendas de programas amplios (VPO y VPT) o 20 viviendas de programas reducidos (VS)”*, o siguiendo en el punto 21B02 *“en ningún caso se dispondrán promociones con menos de 10 viviendas por núcleo”*. También se definen características más accesorias pero que excluyen un sinnúmero de variantes tipológicas como la incorporada en el punto 22A11 en el que se excluyen miradores y galerías de las viviendas bajo su promoción. En este grupo de promociones es común encontrar promociones sin terrazas ni balcones por los mismos criterios señalados anteriormente, aunque en determinadas promociones no se sigue la regla general.

-Promociones privadas de VPO o VPT (Vivienda de precio Tasado): Dichas promociones buscan satisfacer en un grado mayor los requisitos de los compradores. Es un modelo muy desarrollado en la conurbación de Pamplona y en Navarra en general, en la que las promociones son desarrolladas por las propias empresas constructoras o estamentos de diferente orden, Sindicatos de Trabajadores por ejemplo, y en las que se busca atraer al comprador con algunas mejoras respecto a lo que podría ser una Vivienda Social o VPO desarrollada por el Estado. Estas promociones suelen relajar las cuestiones de compacidad o número de viviendas por núcleo, y es fácil encontrar en las mismas tipologías clásicas de dos viviendas por planta, o la incorporación de balcones y miradores.

Es importante señalar una cuestión tipológica de rango superior que condiciona sobre manera la variabilidad tipológica que encontramos en la vivienda VPO, sintetizado en las normas del País Vasco [GOBIERNO VASCO 2009] en el punto 4.3.b.– Iluminación y Ventilación. 1) *Toda escalera común de la edificación contará con iluminación natural diurna, bien sea cenital o a través de fachadas o patios, y artificial complementaria*. Este punto, a primera vista sin importancia mayor, condiciona de una manera enorme las posibilidades tipológicas de las viviendas, quedando descartadas numerosas tipologías que se realizan en Europa en las que la escalera toma una posición interior a la edificación, permitiendo la realización de promociones muy compactas. A modo de ejemplo en la Figura 4.1, viviendas en Zúrich del estudio de arquitectura Baumschlager&Eberle, en que se muestra la reducción al mínimo de las superficies comunes a costa de ventilar mecánicamente el elemento de escalera.



Figura 4.1. Viviendas en Ruggächern, Zúrich. Arquitectos Baumschlager&Eberle. Arquitectos: Baumchslager&Eberle [www.baumschlager-eberle.com]

En resumen, en lo referente a la cuestión tipológica, estos tres grupos se diferencian en el mayor o menor grado de compacidad de sus promociones y de densidad de viviendas por núcleo o incluso ante la actitud sobre balcones y terrazas. Podemos considerar que de forma generalizada se ha promovido desde los dos primeros grupos de actuación, Instituciones Públicas e Instituciones Privadas de carácter Público, la vivienda de alta densidad, desprovista de balcones, terrazas y miradores y en general de una gran sencillez formal y material, mientras que en el tercer grupo, viviendas desarrolladas por Instituciones Privadas pero según las Normativas de VPO, encontramos una mayor variedad de propuestas.

Todo lo anterior se encuentra con un segundo punto que caracteriza la definición tipológica de la vivienda VPO, que es el planeamiento Urbanístico. En este punto podríamos diferenciar dos tendencias de actuación; la primera, la más general, las viviendas de VPO se insertan en parcelas desarrolladas en un plan general y no pensadas específicamente para el desarrollo de VPO y, en un segundo lugar, planeamientos específicos para el desarrollo de VPO.

En el primer caso, ciertas tipologías se adaptan con mayor facilidad a los criterios de las Instituciones promotoras que otras. Por ejemplo, las tipologías tipo torre, 20x20 m se adecúan con facilidad al permitir cuatro viviendas por núcleo y planta, mientras que los bloques lineales o de manzana encuentran mayores dificultades, ya que han sido previstos para tipologías de dos viviendas por rellano. Es típico en este tipo de promociones encontrarse con la muy extendida tipología de bloque lineal de entre 10-14 metros de fondo, en la que se insertan cuatro viviendas por planta y escalera, siendo la mayor dificultad la derivada de encontrar una orientación adecuada para las cuatro viviendas. En el caso de estar orientado el eje mayor en dirección norte-sur, el problema se resuelve situando unas viviendas al sol de la mañana y otras al sol de la tarde. Sin embargo, en el caso de tener una orientación este-oeste, la complicación estriba en dotar a todas las viviendas de un mínimo de orientación sur. La misma dificultad encontramos en las tipologías de manzana, en la que un fondo edificatorio similar al anterior lleva a la búsqueda de soluciones en las que ciertas viviendas se abren al patio y otras al exterior.

La segunda tendencia de actuación es el desarrollo de un planeamiento urbanístico específico para el desarrollo de promociones de alta densidad apropiados a los criterios anteriormente señalados. Es una tendencia de los últimos años, con un máximo exponente en el municipio de Vitoria-Gasteiz, en el que el planeamiento ya ha buscado incorporar tipologías de alta densidad o donde mediante modificaciones del

planeamiento, se han adecuado las parcelas a las tipologías marcadas desde las promotoras de vivienda pública., viviendas en torre, viviendas en H, etc.

En ambos modelos, la búsqueda de promociones con una alta densidad edificatoria impide en la mayoría de los casos obtener unas promociones en la que todas sus viviendas tengan una orientación óptima a sur, y las viviendas se “reparten” esta orientación de mejor o peor manera. En el caso de las promociones en Centroeuropa con estándar Passivhaus u otro sello de bajo consumo energético, el criterio de una buena orientación se mantiene a rajatabla. Esto es debido a que, si bien el estándar se otorga al conjunto de la promoción, es decir a la demanda media de energía de todas las viviendas incluidas en la promoción, se busca que no haya grandes desproporciones entre los diferentes apartamentos a resultas de unas orientaciones desequilibradas. Un buen ejemplo podemos verlo en la Figura 4.2, promoción de 354 viviendas en Innsbruck; la totalidad de las viviendas recibe un buen soleamiento, incluso la vivienda más desfavorable, una pequeña vivienda situada en la esquina norte de la promoción que recibe sol de mañana y tarde, ayudado además por la gran dimensión del patio de manzana.

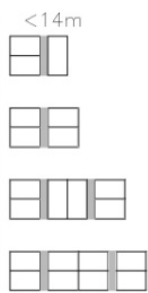
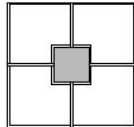


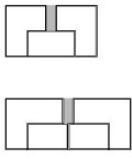
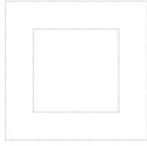


Figura 4.2. 354 viviendas pasivas en Lorenareal, Innsbruck Austria. dinA4 y Team K2 arquitectos. Ayuntamiento de Neue Heimat Tirol. De izquierda a derecha: plano de situación, imagen aérea de la promoción y planta baja. Prácticamente la totalidad de las viviendas tienen orientación sur. Demanda de calefacción 14,5 kWh/m²a [www.nht.at]

Evidentemente, las estrategias urbanísticas llevadas a cabo en el territorio de este estudio incluyen además parcelas urbanísticas que necesitan de soluciones muy singulares generalmente debidas a las características de territorio o condicionadas por las vías de comunicaciones por ejemplo. Podemos encontrarnos promociones en parcelas con fuerte pendiente, siguiendo la curva de un vial o rotonda, u otros caprichos urbanísticos condicionados generalmente por los sistemas de comunicaciones por la topografía. Sin embargo, en general, las promociones de VPO buscarán limar estas variantes y adecuarlas al máximo a las promociones estándar. Estas singularidades corresponden a un porcentaje elevado de las promociones realizadas dadas las características del territorio y de las parcelas disponibles.

A grandes rasgos, podemos simplificar las tipologías básicas desarrolladas en vivienda protegida como se indica en el Tabla 4.1. En este cuadro señalamos las tipologías más recurrentes haciendo los mismos descartes que por lo general realizan las instituciones públicas:

- Viviendas unifamiliares.
- Dos o menos viviendas por escalera.
- Bloques lineales de fondo menor de 9 metros (imposibilitan realizar al menos tres viviendas por escalera.
- Viviendas en dúplex.
- Tipologías en galería (si bien es una tipología que en los inicios de la promoción pública se utilizó de una forma regular, desde la administración autonómica se fue descartando por considerar que no era del agrado de los usuarios).

Tabla 4.1. Síntesis tipológica en la edificación de vivienda VPO en el País Vasco y Navarra				
	LINEAL F<17	BLOQUE/TORRE	LINEAL F>17	MANZANA
FONDO	12-17 m	20 x 20	>17x>20	>30x>30
Patios a estancias principales	No	No	Sí	Sí
DENOMINACION	TIPO U1	TIPO U2	TIPO U3	TIPO U4
E-O				
N-S		Existen variantes con 5 viviendas por planta. Mayor número de viviendas genera plantas orientadas a norte	No es recomendable	
Condicionantes		Orientación indiferente	Exige orientación N-S del eje mayor para evitar viviendas sin soleamiento.	Las tipologías de los apartamentos se adaptan en cada fachada al soleamiento. Se pueden dar apartamentos al patio si tiene una dimensión suficiente, minimizando la radiación solar
[Elaboración propia].				

4.1.2 MODELO TIPOLOGICO SIMULADO

A partir los condicionantes tipológicos generados por lo expuesto en el punto anterior se trata de sintetizar un módulo de vivienda básico. Las viviendas más realizadas dentro de las tipologías de VPO, con las siguientes características básicas:

- Superficie útil 75 m²: Este es un criterio de máxima viabilidad económica, es decir, el máximo rendimiento económico que obtiene la constructora en función de los baremos

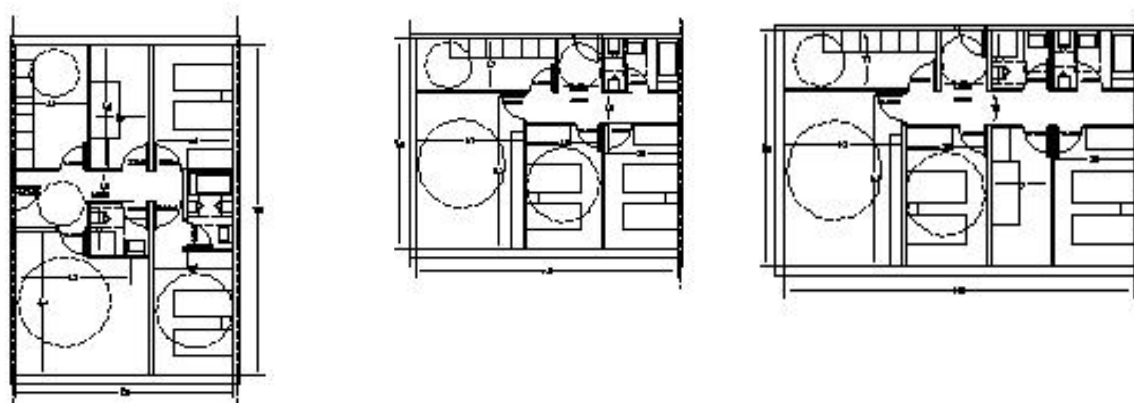
de la vivienda VPO, definido por ejemplo en las Normas de VISESA en su punto 21C01 [VISESA 2007].

-Vivienda de tres habitaciones, con dos baños, salón-comedor y cocina y viviendas con dos habitaciones, baño completo, salón-comedor y cocina (el espacio salón comedor cocina puede ser unitario en muchas ocasiones). Para cada promoción se suele definir la proporción de viviendas de 4 dormitorios, 3 dormitorios, 2 dormitorios y un dormitorio, pero por lo general, la tipología mayoritaria se corresponde con lo expuesto en las normas de VISESA [VISESA 2007] en su punto 21A02, en la que se exige que en toda promoción las viviendas de 2 dormitorios sean <40%, las viviendas de 3 dormitorios >60%, y las de uno y 4 dormitorios <10%. Se descartan las viviendas de 1 y 4 dormitorios, debido a su escasa repercusión en las promociones. Entre los tipos de 2 y 3 dormitorios se selecciona la tipología de 3 dormitorios; por ser la más común y la que genera mayor variedad en su situación dentro de los edificios y en el número de habitantes. El análisis de los aportes internos de alguna forma implica el análisis más importante ya que lleva implícito la densidad de la vivienda. Así, una vivienda de 3 dormitorios con 3 personas puede equivaler a una de dos dormitorios con dos personas.

-En ningún caso las viviendas tendrán por única orientación el Norte, punto 22A02 de las Normas de VISESA [VISESA 2007];

-Las viviendas se dispondrán, preferentemente, con ventilación cruzada (con frente a dos fachadas, bien opuestas o bien de esquina). En los casos de viviendas de 3 y 4 dormitorios, dicha ventilación cruzada será obligada, punto 22A01 de [VISESA 2007]. A este respecto, cabe señalar que se entiende como ventilación cruzada el mero hecho de disponer de dos fachadas con huecos practicables, no necesariamente opuestas.

En la Figura 4.3 se observan los módulos de vivienda típicos en VPO con el programa estándar.



T1-VIVIENDA 3 HABITACIONES
PASANTE

T2-VIVIENDA 2
HABITACIONES

T3-VIVIENDA 3 HABITACIONES

Figura 4.3. Módulos tipológicos esquemáticos utilizados en las promociones públicas en la CAV y Navarra. [Elaboración propia]

Con estas características se selecciona un módulo básico base para la simulación al que se le abrirán huecos en diferentes posiciones en función de la situación que ocupen en la promoción. Como características geométricas propias de los huecos en la edificación VPO serían las siguientes:

Carpinterías exteriores:

-Superficies vidriadas: Atendiendo al punto 33 A01 de las normas de VISESA, [VISESA 2007], *“la superficie del hueco de iluminación-ventilación estará comprendida entre el 15% y el 20% de la superficie de la dependencia a la que sirven..”*, se establece una dimensión de huecos de partida para cada tipología. Asimismo, la habitual disposición de radiadores bajo las ventanas ya no es posible con la entrada en vigor del CTE Seguridad de Utilización y Accesibilidad [CTE DB SUA 2010], por lo que se busca situar los radiadores en fachada pero no debajo de las ventanas. Las viviendas desarrolladas con unos criterios tan estrictos de superficies interiores suelen adoptar el modelo de hueco vertical, ya que esto permite alcanzar la superficie vidriada requerida sin inhabilitar paredes interiores para la disposición del mobiliario y los radiadores.

-Sistema de sombreamiento: se utiliza el sistema más habitual de persianas monoblock de aluminio lacado, definido en el punto 33 B02 y siguientes de las normas de VISESA, [VISESA 2007].

Orientación:

En cuanto a lo orientación, si bien la sur es la considera óptima en viviendas Passivhaus para viviendas situadas en el Hemisferio Norte para obtener un buen aprovechamiento de la energía solar durante el invierno, se estudian en una fase inicial otras posibles orientaciones a fin de considerar las repercusiones del sobrecalentamiento en las variantes tipológicas comunes en la promoción de vivienda pública. Aunque la orientación sur es la ideal, recordemos que, como se ha comentado, debido a la orografía, la ordenación urbanística y la vegetación, se deberían considerar las obstrucciones solares que generan en los edificios de formar particular a la hora de alcanzar un rendimiento energético óptimo según el estándar Passivhaus. Asimismo, como se relata en los estudios mencionados en el Capítulo 2, son las orientaciones oeste las más vulnerables al sobrecalentamiento, y en las que más difícil es minimizar la radiación solar mediante sistemas convencionales como persianas y voladizos.

A partir de estas premisas obtendríamos una serie de combinaciones posibles según se abran huecos en las diferentes fachadas. Se optas por un hueco vertical de 1 metro de ancho y la altura de 2,30 m. Se abren en fachadas en función de las premisas expuestas anteriormente, con lo que corresponde un hueco para dormitorios y dos para salones. Se distribuyen ordenadamente en fachada. A partir de esto tendríamos las combinaciones posibles en la Figura 4.4 se describen las tipologías de vivienda más comunes en VPO, con la vivienda T3 seleccionada y las variaciones tipológicas posibles en función de la disposición de los huecos en función de si el tipo se orienta en su dimensión larga según el eje norte-sur o la dirección este-oeste. Según este esquema de construcción obtendríamos las tipologías de la Figura 4.4.

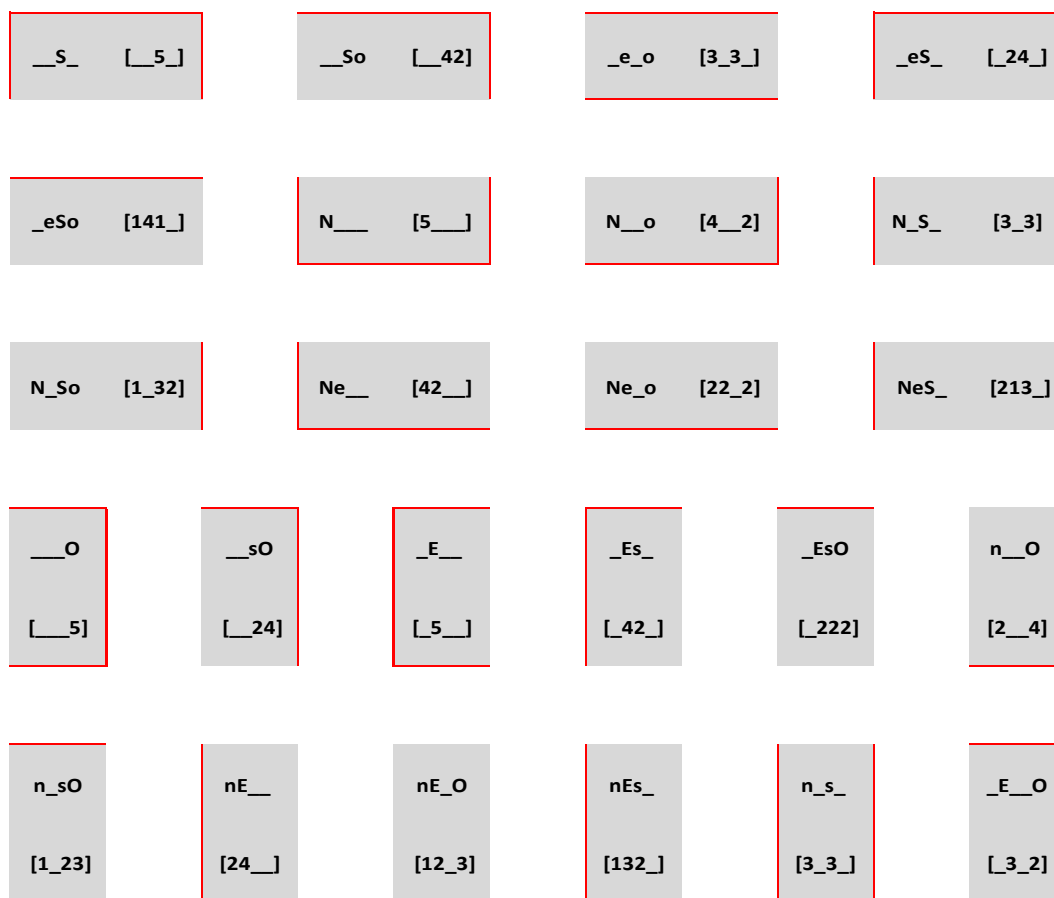


Figura 4.4. Combinaciones analizadas según la posición de los huecos en la tipología orientada en su eje principal este-oeste y en la tipología orientada en su eje principal norte-sur. En rojo se indican medianeras de las viviendas.

Para la descripción del tipo se denomina según el orden Norte-Este-Sur-Oeste, en mayúscula si es un lado largo, minúscula si es un lado corto y guión si no tiene huecos. Así una tipología orientada con el eje este-oeste con huecos en el norte y en el este se denominaría [Ne__]. A continuación se indican los huecos que tiene cada fachada. En el ejemplo anterior sería [Ne__] [42__], es decir, lado largo a Norte con cuatro huecos, lado corto a Este con dos huecos. Así se obtendrían 23 tipologías básicas analizar en una primera fase. Señalar que se descartan una serie de tipos, concretamente los tipos con huecos abiertos en una sola fachada corta, al no ser posible la distribución de un programa de vivienda de protección oficial con ese ratio de fondo a fachada. No se analizan orientaciones intermedias para simplificar los casos a estudiar.

En el Anexo A se muestran las características geométricas del módulo de vivienda simulado.

4.1.3 ESTUDIO TIPOLOGICO EN DOS ÁREAS DE PAMPLONA.

A modo ejemplo se realiza un estudio tipológico de las nuevas áreas desarrolladas los últimos años en Pamplona-Iruña con vivienda colectiva: La primera comprende el barrio de Mendillorri y la segunda el área en Desarrollo de Soto Lezkairu. Este estudio se lleva a cabo a partir de los datos del Servicio de Información Territorial de Navarra (SITNA) el

cual dispone para la ciudad de Pamplona la distribución tipológica de todas las plantas de vivienda con sus superficies construidas. Como se ha comentado, se ajusta la orientación de las parcelas a la dirección predominante, ya que ninguno de los barrios tiene una orientación alineada estrictamente con los ejes cardinales. En la Figura 4.5 se muestra la información catastral que proporciona Servicio de Información Territorial de Navarra (SITNA).

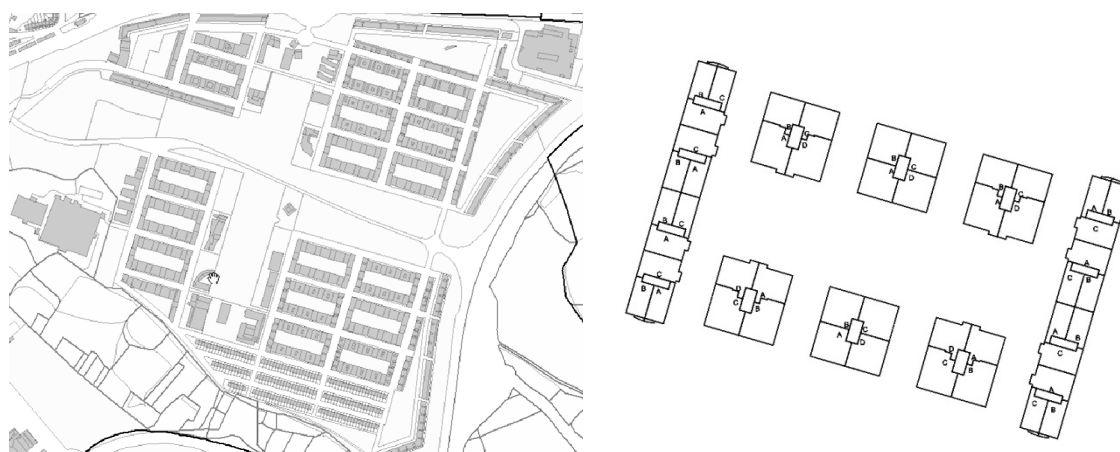


Figura 4.5. Estructura urbana del barrio de Mendillorri y plano de distribución de plantas de una de las promociones. Servicio de Información Territorial de Navarra (SITNA)

En el caso de Mendillorri (Fig. 4.6), una promoción de los años 90 del siglo pasado, se evidencia una mayor variedad tipológica, en la que se prima la buena orientación, la ventilación cruzada y en la que se dan tipos que en la actualidad han desaparecido prácticamente de las promociones públicas como es el caso de las viviendas en dúplex. Al sur de la ordenación algunas promociones se desarrollan mediante la tipología de adosado, la cual no se han computado.



Figura 4.6. Imagen aérea del barrio de Mendillorri en la que se aprecia la combinación de bloques lineales con los bloques-torre de 20x20 m. Bing, Microsoft Corporation®.

En la Tabla 4.2, vemos que el tipo más común es el [_e_o] con un 23% de las viviendas estudiadas (6 tipos de bloques con aproximadamente 3550 viviendas). Al darse un número elevado de bloques torre de unos 20x20 m, se da un número elevado de tipos con orientación noroeste, noreste, suroeste y sureste en sus diferentes combinaciones, un 48% en total, siendo por tanto el tipo más corriente en su conjunto. Las orientaciones norte-sur son más escasas, finalmente no suponen más del 7% de las promociones.

Tabla 4.2. Cómputo tipológico en el barrio de Mendillorri, Pamplona-Iruña

BARRIO DE MENDILLORRI																
TIPOS BLOQUE	BLOQUE 1		BLOQUE 1		BLOQUE 2		BLOQUE 2		BLOQUE 2		BLOQUE 2		BLOQUE 2			
	TORRE 20X20		TORRE 20X20		LINEAL 1		LINEAL 2		LINEAL 3		LINEAL 4		LINEAL 5			
	4 VIVIENDAS		5 VIVIENDAS													
TIPOS VIVIENDA	Nº TIPO	TOTAL	Nº TIPO	TOTAL	Nº TIPO	TOTAL	Nº TIPO	TOTAL	Nº TIPO	TOTAL	Nº TIPO	TOTAL	Nº TIPO	TOTAL	% DEL TOTAL	
S		0	1	18		0		0		0		0		0	0	
_So	1	309	1	18		0		0		0	1	3		0	312	9
_e_o		0		0	4	592		0		0		0	30	240	832	23
eS	1	309	1	18		0		0		0	1	3		0	312	9
_eSo		0		0		0	1	4		0		0		0	4	0
N__		0		0		0		0		0		0		0	0	0
N_o	1	309	1	18		0	1	4		0		0		0	313	9
N_S_		0		0		0		0		0		0		0	0	0
N_So		0		0		0		0		0		0		0	0	0
Ne__	1	309	1	18		0		0		0	1	3		0	312	9
Ne_o		0		0		0		0		0	1	3		0	3	0
NeS_		0		0		0		0		0		0		0	0	0
_O		0		0	2	296		0		0		0		0	296	8
_sO		0		0	1	148		0		0		0	1	8	156	4
E		0		0	2	296		0		0		0		0	296	8
Es		0		0	1	148		0		0		0	1	8	156	4
_EsO		0		0		0		0	1	3		0		0	3	0
n__O		0		0	1	148		0		0		0	1	8	156	4
n_sO		0		0		0		0	1	3		0		0	3	0
nE__		0		0	1	148		0		0		0	1	8	156	4
nE_O		0		0		0		0		0		0		0	0	0
nEs_		0		0		0		0		0		0		0	0	0
n_s_		0		0		0	27	108	14	42	30	90		0	240	7
_E_O		0		0		0		0		0		0		0	0	0
VIVIENDAS POR PLANTA	4		5		12		29		16		34		34			
Nº PLANTAS TIPO	3		9		4		4		3		1		1			
TOTAL		1236		90		1776		116		48		102		272	3550	100
Nº BLOQUES	103		2		37		1		1		3		8			

Elaboración propia a partir de los datos del SITNA.

El barrio de Soto Lezkairu, ha iniciado su desarrollo en los últimos años a partir de un Plan Parcial aprobado de forma definitiva el 19 de enero de 2006. El plan se desarrolla a partir de una unidad mayor en manzana atravesada por viales que la parten en piezas en L y bloques lineales. En los ejes principales del desarrollo surgen bloques-torre de 10 plantas (Fig. 4.7).

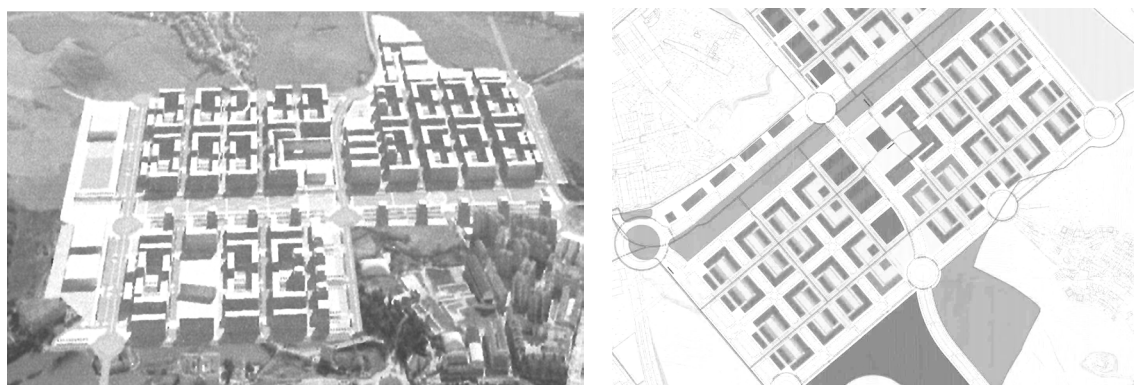


Figura 4.7. Estructura urbana de Soto Lezkairu. Imágenes del Plan Parcial del área de reparto ARS-3/U.I. XVI Lezkairu. Honorato-Martín-Sánchez S.L. 3-G Arquitectos.

Debido a la crisis el desarrollo de las viviendas está siendo lento, por lo que no se han incorporado todavía ninguna de las promociones al catastro. Sin embargo, las promotoras disponen de información de numerosos bloques que se encuentran a la venta. Aunque hasta ahora y en general las promociones públicas recurrían a tipologías con un mayor número de viviendas por escalera y las promociones privadas utilizaban la

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

tipología de vivienda pasante con dos viviendas por escalera, en esta promoción este criterio no se mantiene. Las razones pueden estar en que Pamplona las promociones de vivienda son desarrolladas en gran parte según el modelo de vivienda tasada, en la que existe un cierto margen para ir a mayores superficie y en que el descenso en la demandas de vivienda ha hecho que haya una fuerte competencia a la hora de vender, invirtiéndose la situación de años anteriores. Así, vemos algunas promociones tasadas con una estructura de máximo aprovechamiento de viviendas por núcleo de escalera (Fig. 4.x) y promociones de VPO en la que predominan las viviendas pasantes y con superficies de vivienda llevadas al límite de la vivienda VPO (Fig. 4.8).

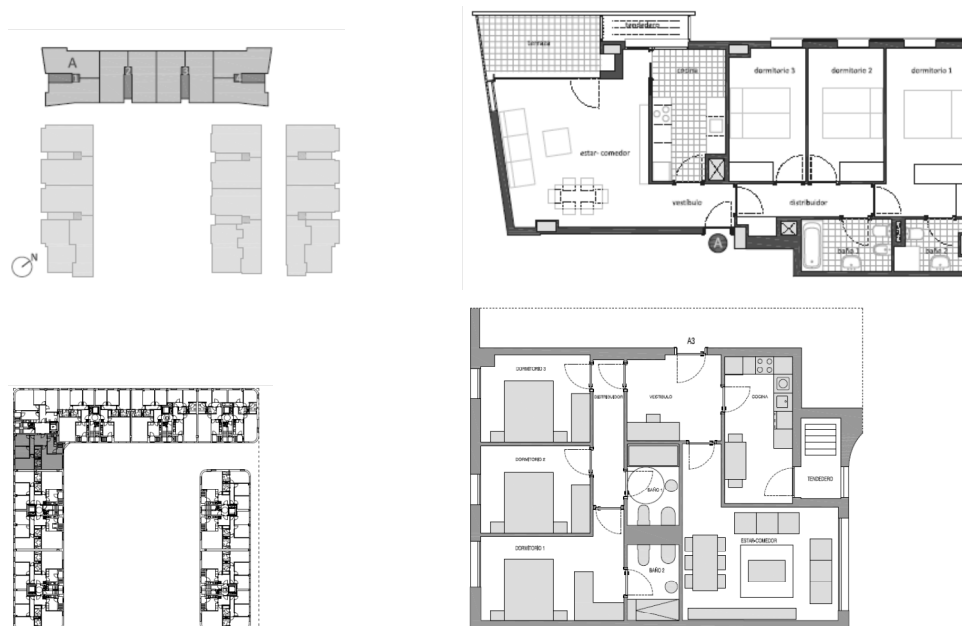


Figura 4.8. Arriba: 145 Viviendas Protegidas Tasadas. Plano de promoción y planta de distribución de vivienda de 85 m² útiles. Grupo Proginisa [www.proginisa.com]; Abajo: 114 viviendas en Lezkairu. Plano de promoción y planta de distribución de vivienda de 90 m². Promociones Plazaola. Vaillo+Irigaray arquitectos [www.vailloirigaray.com].

Sin embargo, en cuanto a las terrazas, las viviendas tasadas se incorporan aunque de forma tímida mientras que en la promoción VPO desaparece por completo (Fig. 4.9).



Figura 4.9. Balcones en esquinas de las viviendas VPT y viviendas sin terrazas en las viviendas VPO. Derecha: 145 Viviendas Protegidas Tasadas. Grupo ProginSA [www.proginSA.com]; Izquierda: 114 viviendas en Lezkairu. Promociones Plazaola. Vaillo+Irigaray arquitectos [www.vailloirigaray.com].

Teniendo en cuenta que no se dispone de la información de todas las plantas, se hace un cómputo global de todas las tipologías del Plan Parcial Lezkairu aplicando un tipo que encaje con lógica en el estándar VPO. En la Tabla 4.3 se muestran los cómputos globales de las tipologías resultantes, en la que la vivienda [_e_o] domina a las demás con un 24%. Se da un número elevado de tipos con orientación noroeste, noreste, suroeste y sureste en sus diferentes combinaciones, un 36% en total, siendo por tanto el tipo más corriente en su conjunto. El tipo con una orientación predominantemente [n_s_] también aparece con frecuencia en un 19% de los casos.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

Tabla 4.3. Cómputo tipológico en el barrio de Soto Lezkairu, Pamplona-Iruña

BARRIO DE SOTO LEZKAIRU																		
	BLOQUE 1		BLOQUE 2		BLOQUE 2		BLOQUE 2		BLOQUE 2		BLOQUE 2		BLOQUE 2		TOTAL TIPOS		%	
	TIPO L 1		TIPO L 2		TIPO L 3		TIPO L 4		LINEAL HORIZONTAL		20X20		LINEAL VERTICAL					
TIPOS VIVIENDA	Nº TIPO	TOTAL	Nº TIPO	TOTAL	Nº TIPO	TOTAL	Nº TIPO	TOTAL	Nº TIPO	TOTAL	Nº TIPO	TOTAL	Nº TIPO	TOTAL	Nº TIPO	TOTAL	Nº TIPO	% DEL TOTAL
S		0		0		0		0		0		0		0		0		0
_So	1	91	1	63	1	63		0		0	1	70		0		287		5
_e_o	2	182	2	126	4	252	4	252		0		0	2	448		1260		24
eS	1	91	1	63		0	1	63		0	1	70		0		287		5
_eSo		0	1	63		0		0		0		0		0		63		1
N__		0		0		0		0		0		0		0		0		0
N_o	1	91	1	63	1	63		0	1	28	1	70		0		315		6
N_S_		0		0		0		0		0		0		0		0		0
N_So		0		0		0		0		0		0		0		0		0
Ne_	1	91	1	63		0	1	63	1	28	1	70		0		315		6
Ne_o	1	91		0		0		0		0		0	1	224		315		6
NeS_		0		0		0		0		0		0		0		0		0
_O		0		0		0		0		0		0		0		0		0
_sO	1	91		0	1	63	1	63	1	28		0	1	224		469		9
E		0		0		0		0		0		0		0		0		0
Es	1	91		0	1	63	1	63	1	28		0	1	224		469		9
_EsO		0		0		0		0		0		0		0		0		0
n_O		0	1	63	1	63	1	63		0		0		0		189		4
n_sO		0		0		0	1	63		0		0		0		63		1
nE_		0	1	63		0	1	63		0		0		0		126		2
nE_O		0		0	1	63		0		0		0		0		63		1
nEs_		0		0	1	63		0		0		0		0		63		1
n_s_	4	364	4	252	2	126	2	126	4	112		0		0		980		19
_E_O		0		0		0		0		0		0		0		0		0
VIVIENDAS POR PLANTA	13		13		13		13		8		4		5					
Nº PLANTAS TIPO	7		7		7		7		7		7		7					
TOTAL		1183		819		819		819		224		280		1120		5264		
Nº BLOQUES	13		9		9		9		4		10		32					

Elaboración propia a partir de los datos del SITNA.

4.2 TIPOLOGIA CONSTRUCTIVA

4.2.1 CONSTRUCCION TÍPICA VIVENDA PROTECCION OFICIAL EN LA ZONA DE ESTUDIO

Salvo excepciones, la vivienda VPO en la zona de estudio tiene unas características comunes caracterizada por la estructura porticada de hormigón armado, generalmente mediante forjados unidireccionales de viguetas y bovedillas. En cuanto al cerramiento de fachadas, la evolución ha pasado por unas primeras promociones en los años ochenta construidas con aislamiento en cámara, mediante fachadas clásicas con acabados en ladrillo caravista o raseos de mortero, una segunda fase en los años noventa en el que la fachada ventilada se impuso como solución para fachadas, y finalmente, en las últimas décadas, los sistemas de fachadas prefabricadas de hormigón armado han tomado el relevo (Fig. 4.10).



Figura 4.10. Imagen de la construcción de un edificio de VPO con las técnicas habituales, estructura porticada de hormigón armado y fachada de paneles prefabricados. Izquierda, imagen del exterior en obras; derecha, imagen aérea de la promoción. La torre se corresponde con las viviendas VPO y el edificio bajo con las viviendas tasadas. 75 Vpo + 25 Vpt, Locales, Garajes y Anejos en la Parcela Ib.18.1 "Amerika Plaza" para Etxegintza (Empresa Municipal de la Vivienda Donostia-San Sebastián), Donostia-San Sebastián. Estudio Ugari, José Javier Uranga y Patxi Gastaminza arquitectos. Imagen del autor y Etxegintza [www.donostia.org].

En la Figura 4.11 se observa una solución clásica de fachada ventilada, en este caso a partir de paneles de vidrio. La gran ventaja de este sistema es que permite eliminar los puentes térmicos de forjados y una multitud de acabados exteriores.



Figura 4.11. Solución de fachada ventilada mediante paneles de vidrio anclado. Proyecto de 170 viviendas VPO, Leioa, Bizkaia. Roberto Ercilla, Miguel Ángel Campo y Eduardo Escauriaza arquitectos [www.robertoercilla.com].

Estos tres tipos de tipologías de fachadas se combinan en las promociones realizadas en la actualidad, pero imponiéndose el último sistema debido a que permite una reducción considerable de los tiempos en la ejecución. Este sistema constructivo soluciona el aislamiento por el interior de la fachada, dejando el material más pesado (panel de hormigón armado) al exterior (Fig. 4.12).

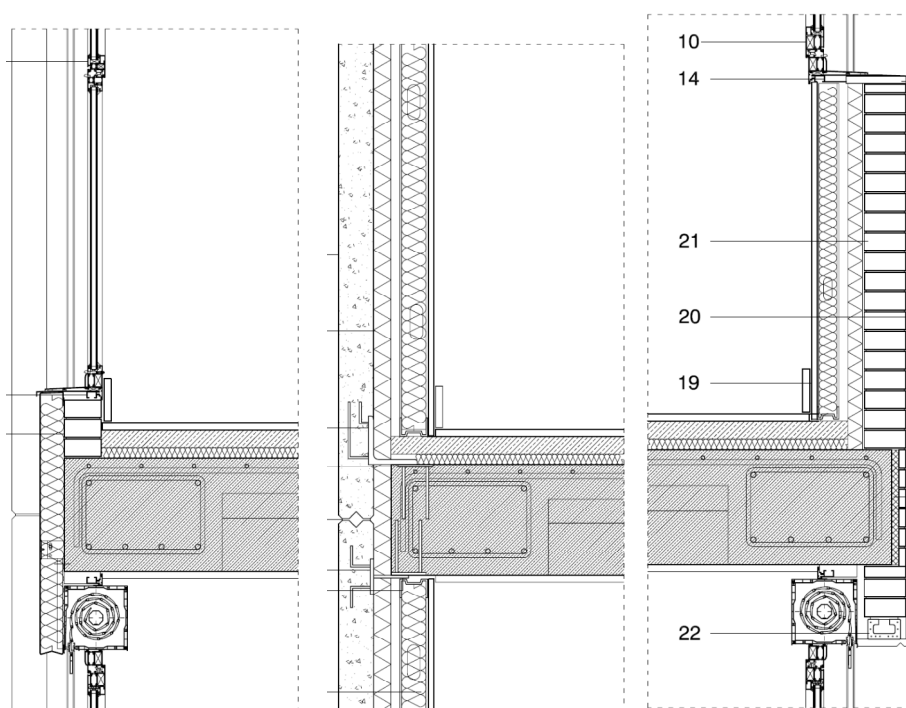


Figura 4.12. Solución de encuentro de forjado con fachada de una promoción de VISESA. Derecha, fachada mediante elementos prefabricados de hormigón armado, sección por paneles y sección por ventanas. Izquierda, solución de fachada hacia patio mediante raseo de mortero monocapa y trasdosado de placa de yeso. Proyecto de 108 viviendas VPO y 48 sociales en la parcela A.I.U. I.B.20, Iza-Ibaeta, Donostia-San Sebastián. Joseba Fernández Beldarrain y Enrique Muga Francisco (SATIE S.L.).

Señalar que recientemente VISESA ha licitado un concurso para la construcción de viviendas VPO en estructura de paneles contralaminados (CLT) y de consumo energético casi nulo.

4.2.2 CONSTRUCCIÓN EN PASSIVHAUS

La construcción de viviendas Passivhaus se caracteriza por los grandes espesores de aislamiento y la ausencia de puentes térmicos. Estos dos aspectos, junto con la resolución de la estanqueidad al aire, hacen que las soluciones constructivas busquen dotar a todo el espesor del cerramiento de cierta capacidad aislante con el fin de evitar grandes espesores de fachadas. En cualquier caso, la construcción de los cerramientos deriva de las mismas tipologías constructivas utilizadas en España, a saber, aislamiento por el exterior, aislamiento en cámara y aislamiento en todo el espesor. Las soluciones aisladas exclusivamente por el interior son descartadas por no convenir a la resolución de los puentes térmicos.

Tampoco es habitual en viviendas Passivhaus la construcción mediante sistemas porticados de hormigón armado, característica típica en la construcción en España. Dicho sistema es descartado por diferentes motivos, entre ellos la dificultad para resolver los puentes térmicos generados por este tipo de construcción. El sistema más utilizado en estructura de hormigón armado es el de muros y losas de hormigón armado, bien realizado in situ o mediante sistemas prefabricados. Este tipo de construcciones resuelve posteriormente las fachadas con sistemas de aislamiento por el exterior (ETICS) o fachadas ventiladas (Fig. 4.13).

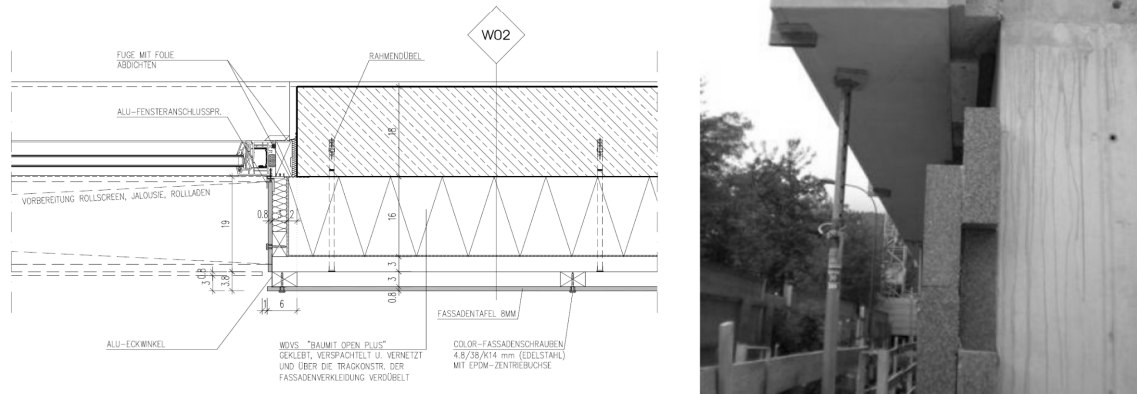


Figura 4.13. Detalle de fachada del proyecto de 354 viviendas pasivas en Lorenareal, Innsbruck Austria. dinA4 y Team K2 arquitectos. Ayuntamiento de Neue Heimat Tirol. www.nht.at. Desde el interior 18 cm de hormigón armado, 16 cm de aislamiento de poliestireno de alta densidad y sistema de fachada ventilada [www.nht.at].

Otra de las características comunes a la construcción Passivhaus en Centroeuropa es la construcción mediante sistemas derivados de la madera, bien únicamente en los cerramientos o incluso incluyendo los sistemas estructurales. Este tipo de construcción es habitual en este tipo de promociones, ya que aúna las ventajas de la construcción Passivhaus con las características ecológicas de la madera (siempre que se utilice madera local) y que, aun no siendo un precepto del estándar, suele ir asociado al mismo en numerosas ocasiones. Este tipo de construcción permite asimismo un alto grado de prefabricación, gracias al desarrollo de diferentes técnicas de utilización de la madera encolada y a la ligereza propia del material junto con unas buenas características aislantes. Por último, la gran implantación de la industria de la madera en estos países debido a disponer de grandes plantaciones de árboles destinados a carpintería (alerce principalmente y abeto, abeto rojo, pino, etc.) hace que se haya desarrollado este tipo de construcción de una forma cultural lógica.

En el proyecto CEPHEUS [KRAPMEIER, DRÖSSLER 2001] y [FEIST *et ál.* 2001 a] podemos observar una buena relación de las tipologías constructivas en vivienda Passivhaus.

4.2.2.1 SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN LIGERA TÍPICOS EN PASSIVHAUS

Como hemos visto, las ventajas de la construcción en madera en Centroeuropa junto con la pertinencia económica y cultural ha hecho que un buen número de las promociones se haya realizado con derivados de este material, constituyéndose en un símbolo no oficial del estándar Passivhaus desde la primera promoción experimental de viviendas en Darmstadt- Kranichstein. La irrupción de la construcción Passivhaus en el sur de Europa viene de la mano de una arquitectura con intereses ecológicos y sostenibles, haciendo que las promociones que se están construyendo en el país sean primordialmente construcciones de madera. De las nueve viviendas certificadas Passivhaus en España a fecha de mayo de 2013, seis están predominantemente construidas en madera (Fig. 4.14).

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal



Figura 4.14. Farhaus en Castellterçol (Cataluña), diseñada por Jordi Fargas i associats [passivhausprojekte.de].

Uno de los objetivos de este estudio es valorar el comportamiento de las construcciones ligeras de madera frente al confort de verano. Como hemos visto en el capítulo 2.2, las viviendas en construcción ligera están más expuestas a los episodios de sobrecalentamiento que las viviendas en construcción pesada.

Si atendemos a la arquitectura tradicional, la construcción ligera de madera no es mayoritaria en los países mediterráneos. [ZHAI 2010] realiza un estudio sobre 114 tipos de viviendas tradicionales obteniendo la proporción de construcciones ligeras frente a las masivas en función de las zonas climáticas según Köppen. Es necesario aclarar que este estudio clasifica las construcciones tradicionales de rollizos de madera como estructuras masivas. [ZHAI 2010] observa que las construcciones ligeras realizadas con madera o derivados, paja o bambú, predominan en los climas continentales, ecuatoriales o tropicales, mientras que las construcciones pesadas, incluyendo las viviendas de tierra o madera recubierta con tierra, adobe, piezas masivas de madera son características en los climas oceánicos (costa vasca), mediterráneos (valle del Ebro), áridos, y polares. Los resultados de este estudio se muestran en la Tabla 4.4.

Zona climática	Porcentaje de tipologías constructiva	
	Ligera	Masiva
Polar-Tundra (<i>Tundra-Ice cap</i>)	0%	100%
Continental subártica	0%	100%
Oceánica (<i>West coast maritime</i>)	0%	100%
Montaña (<i>High altitude</i>)	0%	100%
Mediterránea	32%	68%
Desértica	26%	74%
Continental (<i>Humid mid latitude</i>)	58%	42%
Ecuatorial húmedo	62%	38%
Subtropical húmedo	75%	25%
Sabana tropical	100%	0%
TOTAL	40%	60%

Elaboración propia a partir de [ZHAI 2010]

Vemos pues que la construcción con sistemas ligeros derivados de la madera no ha sido un sistema utilizado por la arquitectura vernácula, caracterizada siempre por un fuerte componente bioclimático. Aunque numerosos estudios recalcan los problemas que la baja inercia térmica de las construcciones mediante derivados de la madera puede generar en las horas de sobrecalentamiento de los edificios, algunos estudios

como [SZALAY 2004] especifican que la densidad de las construcciones de madera en la actualidad se puede mejorar hasta alcanzar valores próximos a la construcción tradicional utilizando tabiquerías interiores pesadas o forjados de hormigón armado.

A continuación realizo un breve repaso a los sistemas de construcción en madera. Atendiendo a la clasificación proporcionada por [KOLB 2008], se pueden distinguir los siguientes tipos de construcciones en madera:

Construcción mediante rollizos de madera: Es el sistema de construcción tradicional en las zonas frías del planeta, especialmente norte de Europa y zonas alpinas donde caracterizan la imagen no solo de las viviendas sino también de iglesias y edificios públicos. En su origen, a partir de troncos enteros de madera ensamblados, se iban levantando muros de fachada y de carga, más o menos trabajados. Las juntas se rellenaban con barro, musgo o cualquier otro material que garantizara la estanqueidad. Este sistema ha derivado en numerosas patentes en la actualidad que forman elementos más o menos trabajados generalmente pensados para la autoconstrucción.

Construcciones de entramado de madera: Estas construcciones, desarrolladas en Europa en la Edad Media, se caracterizan por la realización de entramados de madera tridimensionales de vigas y pilares. Dependiendo de las zonas, el entramado permanecía visto al rellenarse los huecos que dejaba libre la madera o se revestía por completo con tejas de madera, ladrillo o incluso piedra. En la actualidad es un sistema que ha sido desplazado por los sistemas modernos de construcción con madera.

Sistema ballon frame o sistema de plataforma: Sistema basado en un entramado de piezas pequeñas de madera dispuestas muy cerca y unidas mediante clavos, o tornillos. Este sistema se desarrolló en Estados Unidos en el siglo XIX y es la base de los sistemas modernos de construcción en madera.

Sistemas ligeros panelados: Derivado del sistema anterior, los paneles exteriores, interiores o ambos, contribuyen a rigidizar el sistema. Las piezas verticales contribuyen a transportar las cargas verticales mientras que los paneles son los encargados de soportar los esfuerzos horizontales. Mediante este sistema se construyen el 90% de las viviendas unifamiliares en Norteamérica y Escandinavia [KOLB 2008]. En lo que respecta a la apariencia de estos edificios, no corresponde con la imagen tradicional de la construcción de madera en Centroeuropa. Las costillas internas permanecen ocultas bajo paneles tanto por el interior como por el exterior. Las fachadas se revisten generalmente con paneles a partir de derivados de la madera, pero también con raseos monocapa sobre las placas aislantes de derivados de la madera. La capa interior se reviste con paneles de cartón yeso o similares. Este sistema es uno de los más utilizados en la construcción de viviendas de madera en Europa.

Sistemas de construcción porticados: En estos sistemas se construye una estructura de vigas y pilares de madera, generalmente madera laminada, siguiendo un entramado. Permite construir edificios en altura, el gran reto actual de la construcción de madera. A veces los pilares de madera son sustituidos por pilares metálicos o de hormigón armado. Es un sistema que permite grandes superficies acristaladas, más adecuadas a los requerimientos modernos. Se pueden realizar grandes luces con pocos apoyos y permite una rápida construcción a partir de piezas realizadas a medida en fábrica y unidas in situ mediante tornillería y uniones especiales. Las fachadas pueden realizarse a partir de cualquier sistema ya que no tienen ninguna función estructural.

Sistema de paneles de madera macizos: El desarrollo industrial ha permitido los últimos años producir paneles en grandes formatos con capacidad de trabajar como muros o como forjados. Los componentes se realizan a partir de pequeñas piezas de madera

maciza encolada o piezas de derivados de la madera. Tiene en común con los sistemas de rollizos de madera que el aislante debe ser colocado al exterior o interior de la capa resistente. Estos productos se producen bajo patentes exclusivas de los fabricantes, siendo el sistema más desarrollado el de paneles de madera contralaminada, CLT (Cross Laminated Timber). En la Figura 4.15 se observan los sistemas más comunes de fabricación de paneles de madera maciza.



Madera contra laminada (CLT)
Se trata de un sistema formado por diferentes capas de madera maciza pegadas con las fibras a 90° encoladas en su cara ancha, aunque a veces se encola la cara estrecha también. Como mínimo presenta 3 capas de paneles encolados orientados ortogonalmente a las capas adyacentes. En configuraciones especiales se pueden disponer las capas a pares para aumentar el espesor. El número de capas va de tres a siete según los fabricantes.



Tableros de virutas laminadas LSL (Laminated Strand Lumber)
Se trata de un tablero fabricado a partir de virutas de madera de diferentes especies aunque predomina el álamo, pegadas con un adhesivo de poliuretano libre de formaldehidos. Las fibras se orientan según el sentido original de la fibra y se prensan con vapor en caliente y se lija.



Tableros de chapa laminada LVL (Laminated Veneer Lumber)
Se realiza con capas de chapa de madera laminada encoladas con un adhesivo estructural resistente al agua. Se obtiene por corte en rotación de los troncos en planchas que posteriormente se secan y se encolan unas a otras.

Figura 4.15. Sistemas de fabricación de paneles de madera maciza. www.klh.es, www.lpcorp.com, GP Lamb

En la Figura 4.16 se observan algunas imágenes de los diferentes sistemas constructivos en madera.

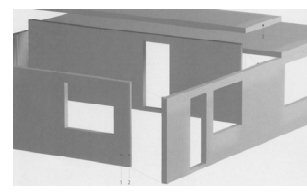
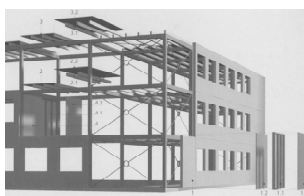
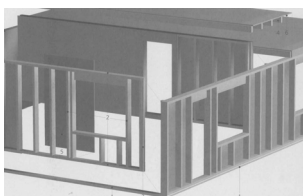
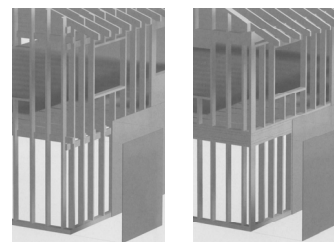
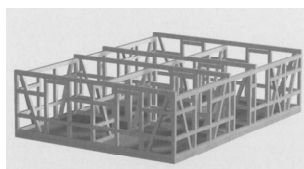
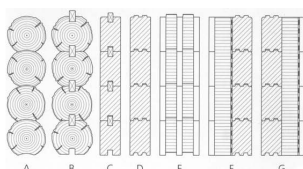


Figura 4.16. Sistemas de construcción en madera. De derecha a izquierda y de arriba abajo: Sistema de rollizos y su evolución en el mercado actual; sistema de entramado; sistema de ballon frame y de plataforma; sistema ligeros con paneles; sistema porticado; sistema de paneles de madera macizos (CLT). [KOLB 2008]

La construcción más desarrollada en sistemas derivados de la madera es el sistema ligero de paneles. Este sistema generalmente tiene una baja inercia térmica, aunque es posible mejorarla con diferentes técnicas. Su mayor utilización es en las tipologías de

baja altura, hasta un máximo de 4 plantas, pudiendo utilizarse en fachadas combinado con sistemas estructurales porticados de hormigón armado, acero o incluso madera laminada.

El sistema de paneles macizos con mayor densidad está entrando en el mercado de forma masiva, ofrecido incluso ya en catálogos de productores locales. Uno de los motivos de su amplio desarrollo se corresponde con la alta rigidez estructural que se obtiene con el entramado de forjados y muros portantes debidamente arriostrados. Sobre este tema es interesante consultar el número dedicado a edificios altos de madera de la revista *Structural Engineering International* [IASBE 2008-2], con numerosos ejemplos de las posibilidades de construcción de edificios altos con paneles de madera maciza o combinaciones con sistemas porticados. La limitación actual en la altura de construcción viene dada más por las normativas, 6 plantas por ejemplo en Suiza, o 22 metros de evacuación vertical en Austria, que por las posibilidades técnicas de las nuevas tecnologías de construcción con madera.

4.2.3 TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA DEL MODELO SIMULADO

A los efectos de la simulación térmica la importancia de la sección constructiva radica en su capacidad térmica con el fin de evaluar la sensibilidad mayor o menor al riesgo de sobrecalentamiento. Es por esto que se simulan varios cerramientos con mayor o mayor densidad. En cuanto a los sistemas constructivos de madera, se analizan únicamente a efectos de construcción en fachada, al margen del sistema estructural adoptado en forjados principalmente.

En cuanto a los valores de partida de los elementos que componen el edificio, se adoptan inicialmente los recomendados por el trabajo de [SCHNIEDERS 2009], “*Casas Pasivas en el Suroeste de Europa*”, teniendo como referencia los valores propuestos para la ciudad de Burdeos, como ciudad más cercana a la zona en estudio por el norte, y Madrid por el sur, resumida en la Tabla 2.21 del Capítulo 2 de este estudio. En una primera fase, el modelo se construirá con una estructura de forjados de hormigón armado sin tener en cuenta los elementos estructurales verticales, dato que se supone que no se tienen en cuenta los puentes térmicos que debieran resolverse. La fachada se compone de un sistema de aislamiento por el exterior (SATE) sobre un bloque de hormigón interior. Posteriormente se analizan 3 sistemas adicionales de fachada con diferentes capacidades térmicas con el fin de valorar la influencia de la inercia térmica en los modelos simulados. Para todos los modelos se mantiene la estructura de hormigón armado debido a que se considera que tanto en la actualidad como en un futuro cercano seguirá siendo el sistema constructivo predominante en vivienda colectiva. En cuanto a la tabiquería, se considera una construcción mediante tabiquerías ligeras, sistema que se ha impuesto los últimos años en la construcción de viviendas. En todo caso, se dota a los modelos de una capacidad térmica interior fija de $88 \text{ KJ/m}^2\text{K}$ [PHPP 2007-es]. Los cuatro sistemas de fachada simulados se describen a continuación junto con su denominación:

1-Madera ligera: Construcción de fachada mediante paneles de derivados de madera con una capacidad térmica total de $49 \text{ KJ/m}^2\text{K}$.

2-Madera pesada: Construcción con paneles estructurales de madera contralaminada con una capacidad térmica total de $68 \text{ KJ/m}^2\text{K}$.

3-Bloque hormigón: Construcción con bloques de hormigón (1400 kg/m^3) con una capacidad térmica total de $132 \text{ KJ/m}^2\text{K}$.

4-Bloque tierra: Construcción con bloques de tierra prensada (1885 kg/m^3) con una capacidad térmica total de $173 \text{ KJ/m}^2\text{K}$.

Los sistemas tendrán diferentes espesores totales en función de la zona climática en la que se sitúen al variar el espesor final del aislante para alcanzar los valores necesarios de transmitancia en fachada. El resumen de los sistemas constructivos analizados se muestra en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Tipologías constructivas analizadas en este estudio.

	TIPO DE SOLUCION CONSTRUCTIVA			
	1-MADERA LIGERA:	2-MADERA PESADA:	3-BLOQUE HORMIGÓN:	4-BLOQUE TIERRA:
	Construcción de madera ligera	Construcción de madera pesada	Construcción SATE con bloques de hormigón	Construcción SATE con bloques de tierra prensada
Fachada	Entramado con paneles de derivados de madera Aislante de lana mineral	Madera pesada CLT Aislante fibra de madera	Bloque hormigón Aislante XPS	Bloque tierra prensada Aislante XPS
Estructura	Hormigón armado	Hormigón armado	Hormigón armado	Hormigón armado
Cubierta	Plana invertida	Plana invertida	Plana invertida	Plana invertida
Tabiques	Cartón yeso con aislante lana mineral	Cartón yeso con aislante lana mineral	Cartón yeso con aislante lana mineral	Cartón yeso con aislante lana mineral
[Elaboración propia].				

En el Anexo A se detallan las características constructivas del modelo simulado.

5 EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS VIVIENDAS

5.1 CONSIDERACIONES INICIALES

Los estudios paramétricos parten por lo general de unas premisas que buscan aproximarse al comportamiento real de los usuarios con el fin de mejorar las prestaciones energéticas de los edificios. Hemos visto que por un lado tenemos los estudios descritos sobre el riesgo de sobrecalentamiento realizados a partir de modelizaciones en las que se asumen comportamientos estandarizados de cómo los ocupantes utilizarán las viviendas. Por otro lado se han descrito algunas monitorizaciones, pero estas demuestran variaciones en los datos muy amplios en función de los diferentes patrones de comportamiento de los usuarios. En el caso de las monitorizaciones del consumo de energía durante el periodo de calentamiento invernal, existen estudios en los que se dan patrones de uso que generan diferencias de consumos con un factor mayor de 6 entre viviendas [BAJA, JAMES 2007].

A este respecto, este estudio cuyo fin último es evaluar la viabilidad del estándar Passivhaus en viviendas sociales colectivas, especialmente en lo referido al comportamiento estival, los tres patrones de afectados por el comportamiento de los usuarios serán la propia ocupación y los aportes internos generados por las personas y el uso de los electrodomésticos, la utilización de los sistemas de regulación de las protecciones solares de forma manual y la realización periódica de la ventilación nocturna llevada a cabo de forma manual (apertura de ventanas).

En lo que se refiere a la ocupación y los aportes internos derivados de la misma, se utilizarán diferentes valores en las sucesivas fases de estudio. El cuerpo principal del estudio se basará en los valores vigentes en la normativa española descritos en el Capítulo 3. Este será un dato fundamental puesto que a mayores aportes internos, mayor dificultad tendrá la vivienda de disipar el exceso de calor. Estos valores recogidos en [AICIA 2009-2], establecen un valor medio horario de 4,77 W/m² de carga sensible, valor que está muy por encima del recomendado por el PHI de 2,60 W/m² de media para evaluar los periodos de sobrecalentamiento durante el verano. El PHI recomienda para el periodo invernal un valor de 1,6 W/m² en los casos en los que la ocupación de la vivienda no se conozcan de antemano o pueda ser muy variable, que se considera óptimo, ya que evidentemente una vivienda con baja ocupación tiene que ser capaz de satisfacer las necesidades de consumo energético y confort con los mismos sistemas diseñados para el periodo invernal en el resto del edificio. En lo que se refiere a los periodos de ocupación, los valores propuestos en [AICIA 2009-2] parecen aproximarse de una forma real a los hábitos de la sociedad española como se expone en [LEÓN *et ál.* 2010] por lo que no se harán más reflexiones al respecto, si bien este es un campo con enormes líneas de investigación como se ha visto en el Capítulo 3.

Sobre los sistemas de regulación solar, este estudio analiza un sistema de ocultación solar situado en el exterior que se activa a partir de una temperatura interior superior a 23°C. Esta activación en el caso de las simulaciones es automática, siendo más complicado que esto se realice en situaciones reales si se debe realizar a partir de operaciones manuales de los usuarios. Sobre este aspecto ya se ha comentado que existen estudios que demuestran que los patrones de activación de las persianas tienen más que ver con cuestiones psicológicas como la intimidad que por la temperatura interior [BERE 2012]. En un estudio sobre el impacto de los patrones de uso de la ventilación y la protección solar en viviendas [MAVROGIANNI *et ál.* 2014] señalan la alta variabilidad que estos patrones de uso generan en los resultados finales, indicando

además que existen muy pocos estudios que indiquen el comportamiento frente a las olas de calor.

Por último, la ventilación nocturna, fácil de activar en las simulaciones, genera asimismo una serie de reflexiones de amplio calado en cuanto a su aplicabilidad en la vida diaria. En primer lugar, al margen de cómo se obtenga esta ventilación, están los valores adoptados en este estudio. El valor máximo se sitúa en las 8 r/h. Este es un valor máximo a partir del cual se consideran que se producen corrientes molestas, vuelo de papeles, etc. [SCHNIEDERS 2009]. Este es un valor máximo que también adoptan otros estudios [DE HERDE, MASSART 2010]. El importante estudio del sobrecalentamiento en viviendas incluido en la normativa del Reino Unido. “*Climate change and the indoor environment: impacts and adaptation TM 36:2005*” [CIBSE 2005] asume los valores máximos de 12 r/h.

Estos valores se pueden conseguir de forma natural, aprovechando las condiciones climáticas del entorno (por diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior y por el viento), o mediante sistemas mecánicos. En principio, la ventilación natural no genera sobrecostos económicos ya que con la manipulación de las ventanas convencionales se pueden obtener valores suficientes, aunque existen estrategias de ventilación en la arquitectura bioclimática que necesitan de sobrecostos iniciales para su construcción. Con ventilaciones cruzadas se pueden alcanzar fácilmente valores de más de 10 r/h [SCHNIEDERS 2009]. [NIACHOU *et ál* 2005] en un estudio sobre un edificio de apartamentos en Atenas, señala valores de entre 3-5 r/h para apartamentos con una sola orientación y entre 10-15 r/h en apartamentos con dos orientaciones. Si se considera exclusivamente el efecto térmico, los valores alcanzables a través de las ventanas varían mucho en función de la amplitud de la abertura que se practica en la ventana, desde una posición de apertura mínima hasta mantener las ventanas completamente abiertas, siendo el efecto conseguido directamente proporcional a la superficie abierta. El programa utilizado en este estudio para las simulaciones Designbuilder [DESIGNBUILDER] utiliza el motor de cálculo EnergyPlus, y junto con los ficheros climáticos utilizados que contienen valores estadísticos del viento, permite valorar la incidencia del viento en ventilación natural en los modelos. Sin embargo, para mantenerse en el lado de la seguridad, se prescinde del efecto del viento en los modelos.

Por el contrario, como ya se ha señalado en otras ocasiones, esta ventilación no es posible en numerosos entornos en los que se edifica vivienda social en el País Vasco y Navarra, debido al ruido nocturno que se produce en la ciudad, o por condiciones sociales y psicológicas, por ejemplo mantener las puertas de los cuartos cerradas durante la noche como costumbre habitual. Sería en este caso, el más general, cuando se debería acudir a la ventilación mecánica inteligente, y si esta no es suficiente, valorar la inclusión de sistemas con refrigeración activa o refrigeración pasiva. Cuando la temperatura externa es inferior a la máxima marcada en el interior, es posible aprovechar la ventilación para refrigerar el espacio interior. Esto permite limitar al mínimo la ventilación exterior cuando esta supone aportes de calor y aumentarla al máximo para utilizarla como refrigeración pasiva. Esta es la mejor forma de alcanzar los objetivos sin la intervención activa de los usuarios. El problema es que para poder llevar a cabo esta estrategia se deben aumentar considerablemente los consumos de electricidad y el dimensionamiento inicial del sistema, como por ejemplo el tamaño de los conductos y el aislamiento de los mismos. La demanda de electricidad necesaria para transportar en el mismo sistema de conductos se incrementa proporcionalmente al aumento de la tasa de aire entre en cuadrado y el cubo, por lo que una previsión de

conductos adecuada es necesaria para poder obtener una eficiencia energética lógica [SCHNIEDERS 2009]. Por otro lado, el incremento de energía provocado por el uso intensivo de los ventiladores puede ser mayor que la implementación de sistemas de refrigeración activa mediante bombas de calor por ejemplo. En ese caso se debería realizar una valoración de eficiencia y amortización de sistemas que este estudio no aborda.

Sobre los patrones de funcionamiento de la ventilación nocturna, se ha buscado programar las aperturas de una forma sistemática en unos horarios determinados, para aprovechar al máximo el descenso de temperaturas nocturnas pero sin tener que estar permanentemente pendientes de la temperatura para regular su funcionamiento. La idea es alejarse de los sofisticados patrones de funcionamiento que se introducen en numerosos estudios de las mismas características. Aunque la apertura se realiza en función de la temperatura interior, se ha programado durante unas horas en la que los usuarios pueden estar activos, a última hora de la noche y por la mañana. En las programaciones de diferentes estudios es fácil establecer una apertura durante toda la noche por ejemplo y poner una temperatura de consigna que adapte la superficie abierta a la temperatura interior, pero estos supuestos se corresponden más con un sistema de apertura de ventanas automatizado que con la realidad. Ese problema, por otra parte, desaparece con los sistemas de ventilación mecánica inteligente, aunque en ambos casos, y como relata [MLECNIK *et ál* 2012] los problemas de ruido con los ventiladores generan otro tipo de desconfort relacionado principalmente con el ruido de los sistemas de ventilación o directamente del ruido proveniente del exterior (Ver Capítulo 2).

5.2 ESTRUCTURA GENERAL DEL ANÁLISIS

La metodología seguida en este estudio para la caracterización del comportamiento energético y de confort de los modelos propuestos se realiza en dos partes principales cada una con varias fases que describimos a continuación

En la **Primera Parte**, que denominamos “*Adecuación al estándar Passivhaus*”, se buscará optimizar unas tipologías que cumplan con el estándar Passivhaus desde los objetivos marcados por el PHI en el periodo invernal, máximo consumo de energía anual para calefacción 15 kWh/m²a y con una carga máxima de 10 W/m². Esta primera parte se divide en dos fases:

- Fase I (Evaluación):

Se simulan todos los modelos seleccionados en el Capítulo 4, situándolos en las ciudades de referencia propuestas en el Capítulo 3. En esta fase se utilizan las mismas características constructivas en todas las ciudades de referencia y los mismos patrones de funcionamiento de calefacción. El objetivo es obtener una aproximación del comportamiento del modelo a los diferentes climas descritos en el periodo con demanda de calefacción. Para esta simulación se utilizarán los valores de aportes internos recomendados por el PHI, 1,6 W/m², característicos de una vivienda con baja ocupación, con el fin de obtener unos valores de aislamiento óptimos para afrontar el periodo invernal dentro del estándar. En esta fase se obtendrá un ranking de tipos en función de las necesidades de calefacción para todas las ciudades de referencia. De este ranking se seleccionan para las siguientes fases los modelos con mayores necesidades de calefacción y los modelos con menores necesidades de calefacción o con periodos de sobrecalentamiento más altos, buscando generar una selección representativa.

- Fase II (Optimización):

En cada zona climática se optimizan los modelos tipológicos, dotándolos de los valores de aislamiento suficiente para cumplir con los requisitos del PHI en el invierno para el modelo seleccionado, y se analiza el mismo modelo en las diferentes ciudades de cada zona climática. Los modelos representativos se evalúan en la ciudad más cálida de cada región climática, mientras que el tipo seleccionado como con más demanda de calefacción en invierno se simula en todas las ciudades.

En la **Segunda Parte**, llamada "Adaptación del estándar al clima de estudio", se analiza el comportamiento de las viviendas frente al sobrecalentamiento, estival (o anual), que se pueda producir en las diferentes zonas climáticas con los aportes internos definidos por el Código Técnico de la Edificación. En esta fase se toman las medidas de control del sobrecalentamiento más evidentes, protecciones solares y ventilación nocturna. Se analizan los principios de "apagado" y de "extracción" tal y como se definen en el CIBSE TM36 como los métodos más efectivos para combatir el sobrecalentamiento [CIBSE 2005]. El principio de apagado busca la efectividad del control de la radiación solar que penetra en el edificio y el principio de extracción utiliza una ventilación mecánica inteligente para extraer el calor durante la noche e introducir aire más frío del exterior, siempre que las condiciones climáticas sean favorables a su uso. Las protecciones solares fijas se sitúan en la fachada sur de tipo horizontal, con un ancho de 1,5 m. No se evalúan protecciones solares fijas adaptadas a las orientaciones este y oeste, de diseño más complejo y que requieren de un análisis más detallado. Se considera que 1,5 m es un valor común adoptado en los planeamientos municipales como vuelo máximo. Además, como señala el PHI en su estudio sobre el comportamiento de viviendas Passivhaus durante el verano [FEIST 1999], ya descrito en el Capítulo 2, los valores más efectivos se alcanzan con vuelos de 1,5 m, reduciéndose los periodos de sobrecalentamiento de un 25% a un 5%, perdiendo efectividad con valores superiores.

Esta segunda parte del estudio la dividimos en diferentes fases de análisis:

- Fase I: Aproximación al problema

Se evalúa una primera aproximación del comportamiento de los diferentes tipos con la inclusión de protecciones solares y una ventilación nocturna máxima de 4 r/h durante 6 horas. El objetivo principal es valorar la capacidad de las viviendas para resistir el sobrecalentamiento mediante medidas pasivas básicas y seleccionar los tipos más sensibles a los periodos de sobrecalentamiento una vez dotados de protecciones solares fijas y móviles.

- Fase II: Utilización de sistemas activos de refrigeración

Se evalúa el cumplimiento del estándar Passivhaus en cuanto a las demandas de energía máxima para refrigeración según se recoge en los criterios de certificación ($\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) + 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{aK}\cdot\text{DDH})$), o alternativamente carga de refrigeración de $10 \text{ W}/\text{m}^2$), manteniendo los aportes internos descritos por la normativa española. Evidentemente, en esta fase los periodos de sobrecalentamiento se inscribirán en el límite que genera la temperatura de consigna interior, 26°C establecidos por el PHI.

- Fase III: Análisis de la capacidad de los sistemas de Ventilación Mecánica Controlada Inteligente

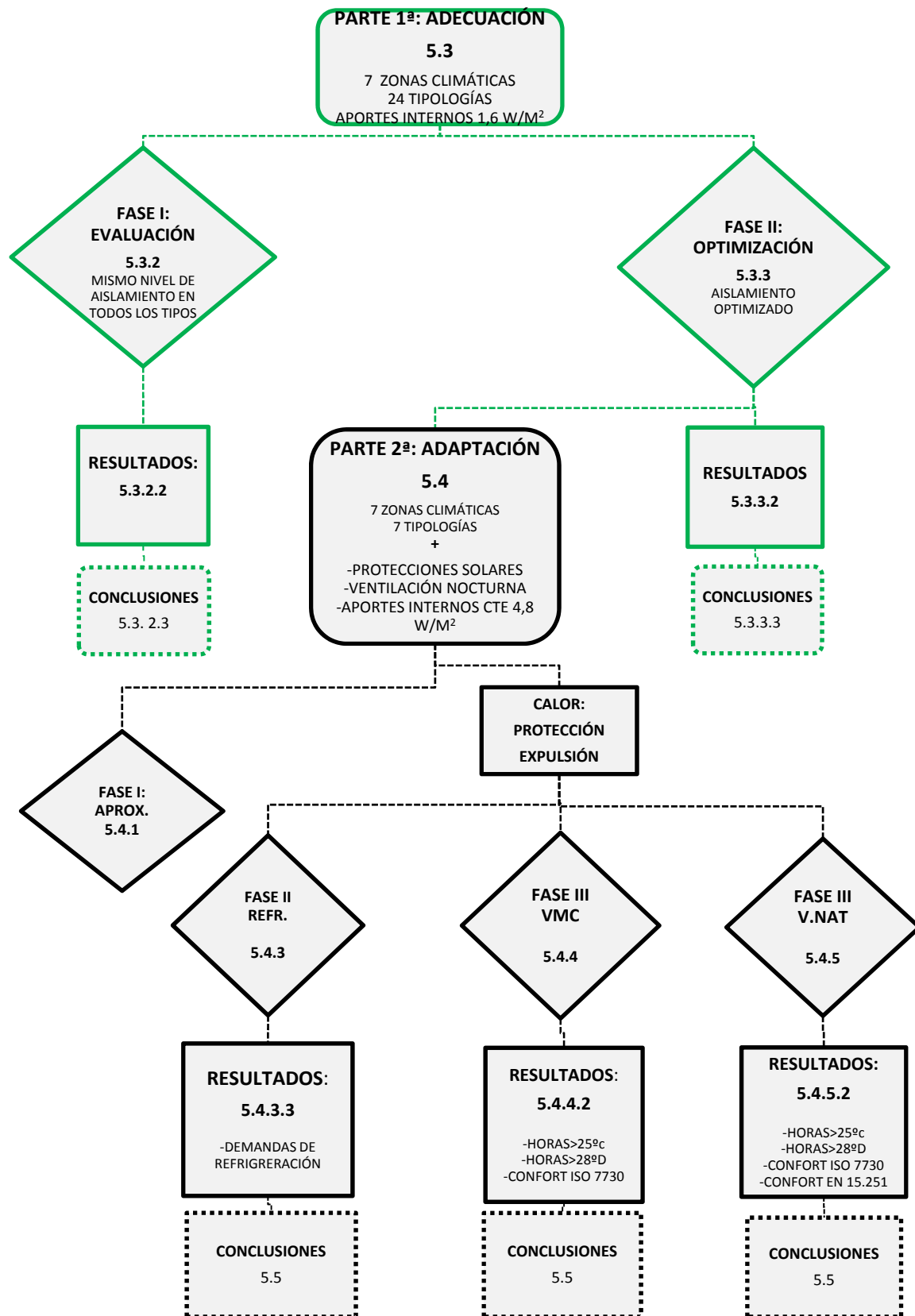
Se evalúa la utilización de la ventilación mecánica inteligente para refrigeración nocturna (principalmente). En este caso se analizan por separado los periodos de invierno y de verano. Con esta estrategia se busca optimizar los modelos para posibles combinaciones con sistemas de ventilación natural, es decir, poder disponer de un

sistema de ventilación mecánica en el invierno y utilizar la ventilación natural en verano como caso más probable.

-Fase IV: Análisis de la capacidad de la ventilación natural

Se evalúa la utilización de la ventilación natural para el control de los periodos de sobrecalentamiento. En este punto se analizarán diferentes estrategias de ventilación, de forma más intensiva o más baja, cuestión que normalmente implicará una mayor o menor interacción de los usuarios en la apertura de las ventanas.

En la página siguiente se muestra un esquema de la estructura de simulaciones del Capítulo 5.



5.3 PARTE 1ª: ADECUACIÓN AL ESTÁNDAR

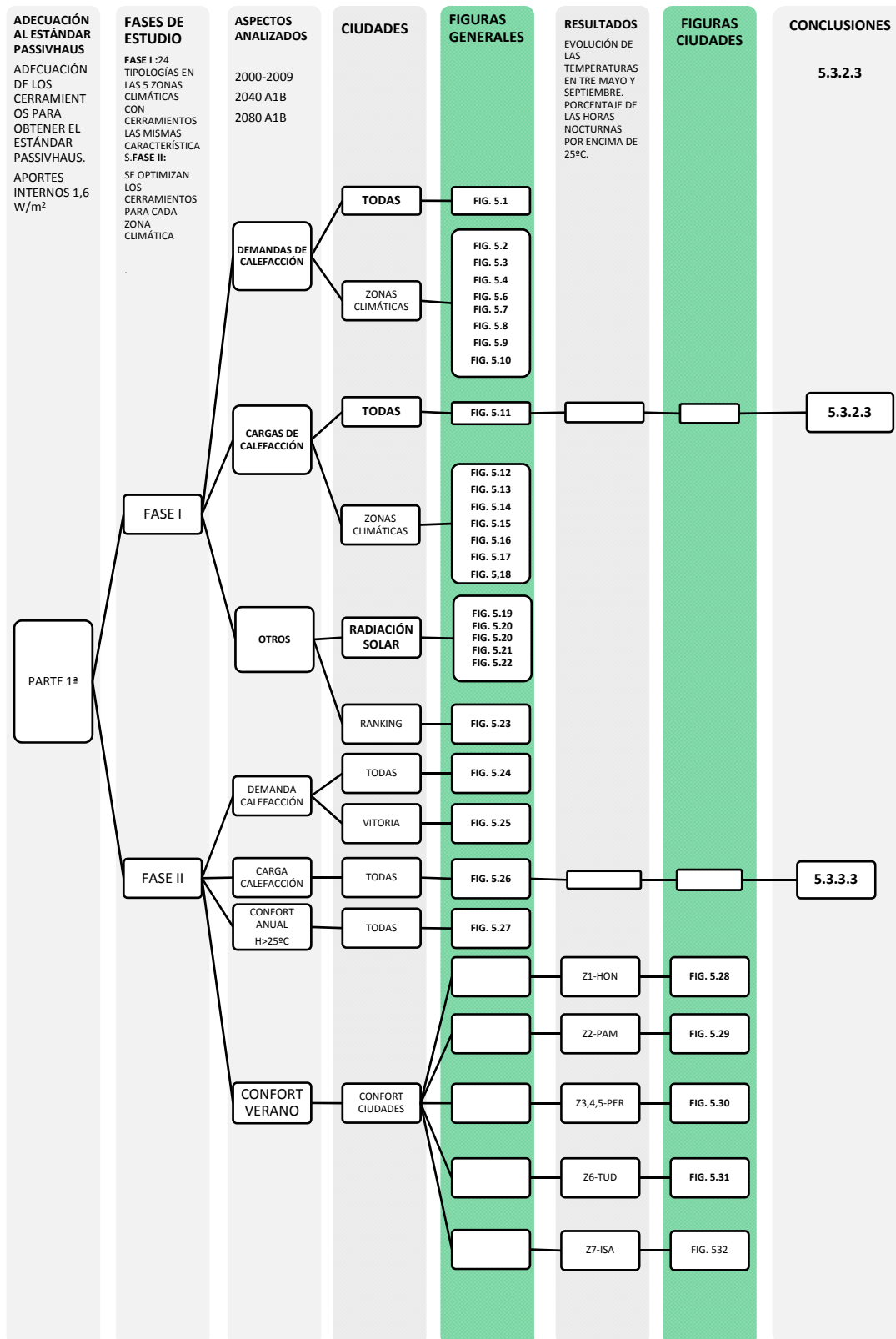
5.3.1 ESTRUCTURA DE RESULTADOS DE LA PARTE 1ª: ADECUACIÓN AL ESTÁNDAR

En el siguiente esquema se resume la estructura de la Parte 1ª del estudio junto con las Figuras obtenidas con los resultados de las simulaciones:

EVALUACIÓN DEL ESTÁNDAR DE CONSTRUCCIÓN PASSIVHAUS Y SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO CLIMÁTICO DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA VASCA Y LA COMUNIDAD FORAL NAVARRA

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal



5.3.2 FASE I. EVALUACIÓN

5.3.2.1 CRITERIOS Y OBJETIVOS

Como método de aproximación al comportamiento de las diferentes tipologías en función de su orientación en las diferentes ciudades de referencia seleccionadas, se parte de un modelo constructivo único, programado según las características determinadas por el PHI. Aunque pueda parecer una obviedad para los más conocedores de la importancia del clima en el diseño arquitectónico, la irrupción del estándar desde los países de Centroeuropa ha hecho que se asimilen muchos de los conceptos del estándar, como por ejemplo los grandes espesores de aislamiento, sin una adecuación precisa a cada situación climática, muy variable por otra parte como ya se ha expuesto en el Capítulo 3. Evidentemente, estos fuertes espesores de aislamiento, o los excelentes rendimientos de las carpinterías Passivhaus, tienen un efecto directo en el consumo de energía para calefacción, pero con efectos negativos en otros periodos más suaves del año (inclusive en el propio invierno).

Las características constructivas del modelo simulado se exponen en la Tabla 5.1. Partimos de un modelo construido en un estándar habitual en la región, compuesto por una estructura de hormigón armado, cerramiento pesado aislado por el exterior, cubierta plana invertida, y un forjado sobre espacio exterior aislado por la cara externa. La tabiquería interior será ligera. Al modelo se le incorpora una capacidad térmica interna con un valor fijo de $88,2 \text{ KJ/m}^2\text{K}$ ($25 \text{ Wh/m}^2\text{K}$), equivalente a la tabiquería y otros elementos interiores. Se considera un valor bajo puesto que es común la realización de tabiquerías en sistemas ligeros con un bajo aporte de capacidad térmica¹.

¹ El valor típico de una tabiquería ligera puede rondar los $22,5 \text{ KJ/m}^2\text{K}$ ($6 \text{ Wh/m}^2\text{K}$). El PHI recomienda una capacidad térmica mínima total de $60 \text{ Wh/m}^2\text{K}$ ($216 \text{ KJ/m}^2\text{K}$) [PHPP 2007-es].

Tabla 5.1. Características constructivas del modelo simulado			
Componente	Descripción	Espesor	Valor adoptado
Forjado sobre espacio exterior	Revoco Exterior	1 cm	1,20 W/m ² K
	Aislamiento poliestireno extrudido XPS conductividad 0,042 W/mK	20 cm	
	Losa de hormigón armado densidad 2600 kg/m ³	30 cm	
	Recrecido de hormigón ligero	5 cm	
	Suelo de madera	0,5 cm	
	Total	56,5 cm	
Fachada	Revoco Exterior	1 cm	0,155 W/m ² K
	Aislamiento poliestireno extrudido XPS conductividad 0,034 W/mK	20 cm	
	Bloque de hormigón 18 cm densidad 1400 kg/m ³	18 cm	
	Enlucido de yeso	1,5 cm	
	Total		0,154 W/m ² K
Cubierta	Grava 1840 kg/m ³	10 cm	
	Aislamiento poliestireno extrudido XPS conductividad 0,042 W/mK	25 cm	
	Impermeabilización		
	Losa de hormigón armado densidad 2600 kg/m ³	25 cm	
	Enlucido de yeso	1,5 cm	
	Total	61,5 cm	0,153 W/m ² K
VENTANAS			
Vidrio	Vidrio doble baja emisividad 6/13 mm con argón		1,34 W/m ² K
	SGHC	0,42	
	Transmisión de luz	0,68	
Marco	PVC		1,00 W/m ² K
PROTECCIONES SOLARES			
Protección solar fija	No		
Protección solar móviles	Lamas de alta reflectividad 80%		
TABICQUERIA	Ligeros, baja masa térmica		
CAPACIDAD INTERNA TABICQUERIA			88,2 KJ/m ² K
<i>[Elaboración propia]</i>			

En cuanto a los sistemas HVAC, se organizan según se describe en la Tabla 5.2. La ocupación se establece en 0,038 personas/m², un valor relativamente bajo pero que se corresponde con el análisis de la ocupación de los hogares españoles señalado en el Capítulo 4.

Para la ventilación mecánica suave se establece un valor de 8,33 ls/persona, que se corresponde con los valores recomendados de PHI, y que a lo largo del año con las ocupaciones establecidas por el CTE nos proporciona unos valores aproximados de 0,6 r/h. Asimismo, se incorpora al modelo una ventilación nocturna en un largo periodo del año (1 abril – 30 septiembre) como punto de partida para los posteriores análisis del comportamiento estival del modelo.

Por último, señalar que no se introduce un modelo de funcionamiento de las protecciones solares, es decir, se mantienen todo el día abiertas. El objeto es valorar el comportamiento del modelo frente al sobrecalentamiento de forma inicial.

Tabla 5.2. Sistemas HVAC			
Componente	Programación	Consigna	Valor adoptado
Ocupación	Ocupación CTE		0,038 personas/ m ²
Ventilación Mecánica mínima	Todo el año 24 h		8,33 l s/persona
Recuperador de calor sensible 85%	Todo el año 24 h	Se apaga si calienta el aire exterior más de 20°C	
Ventilación nocturna de verano	1 abr-30 sept, (00:00-6:00 h)	Si la temperatura interior es superior a 20 °C y la exterior 2 °C menos que de la interior	4 r/h máximo
Economizador		Activado cuando se apaga recuperador	
Calefacción	1 de octubre al 31 de marzo 24 h	Activado Si temperatura <20°C	
Refrigeración	No		
Protección solar externa	No, siempre abiertas		
[Elaboración propia]			

En esta primera fase de aproximación, el objetivo es evaluar el funcionamiento de las viviendas en el periodo invernal en el caso más desfavorable. Por ello, tal y como recomienda el PHI se introducen unos aportes internos de 1,6 W/m² de forma constante, valor que simula una vivienda con una baja ocupación.

5.3.2.2 RESULTADOS DE LA FASE I

5.3.2.2.1 ANÁLISIS DE LAS DEMANDAS DE CALEFACCIÓN ANUALES

Análisis por zonas climáticas:

La primera gráfica representativa muestra la demanda de calefacción anual en kWh/m²a de todas las tipologías en todas las ciudades de referencia (Fig. 5.1). En general vemos que la respuesta de los tipos a los diferentes climas arroja una demanda anual de calefacción muy variable.

En primer lugar, si atendemos a la agrupación climática por zonas, se aprecia que las mayores demandas de calefacción anuales se producen en las zonas climáticas Z7 (Isaba, Roncesvalles) con valores parecidos a los de la zona Z2 (Vitoria-Gasteiz, Altsasu-Alsasua, Pamplona-Iruña). Esto sucede principalmente en las orientaciones con menos radiación invirtiéndose el orden en orientaciones con mayor radiación. Por otro lado, se observa que las Zonas climáticas con menor demanda de calefacción se corresponden con la zona Z1 (Donostia-San Sebastián, Elizondo, Bilbao y Hondarribia), seguido de la zona climática Z6 (Tudela). Igualmente, en ciertas orientaciones, las demandas de calefacción mínimas las encontramos en la zona Z1. Las ciudades correspondientes a la zona Z3 (Estella-Lizarrá, Logroño), Z4 (Peralta) y Z5 (Yesa) se sitúan entre ambos grupos de máximos y mínimos, con un comportamiento relativamente homogéneo.

En cuanto a las ciudades fuera de las Comunidades objeto de estudio utilizadas como referencia (Mannheim en Alemania, Burdeos en Francia, Soria y Zaragoza), se observa que, la ciudad de Mannheim muestra obviamente valores por encima del límite establecido de 15 kWh/m²a, debido a la falta de aislamiento en fachadas y ventanas, con valores pico de 23,54 kWh/m²a en orientaciones muy expuestas (3 fachadas) y con poca radiación solar [nE_O]. La ciudad de Soria se agrupa en la zona de valores más altos, próximos a la zona Z7. La ciudad de Zaragoza mostraría valores cercanos a los de la ciudad de referencia de Tudela, zona Z6. Por último, la ciudad de Burdeos muestra valores variables en la zona intermedia de demandas de calefacción.

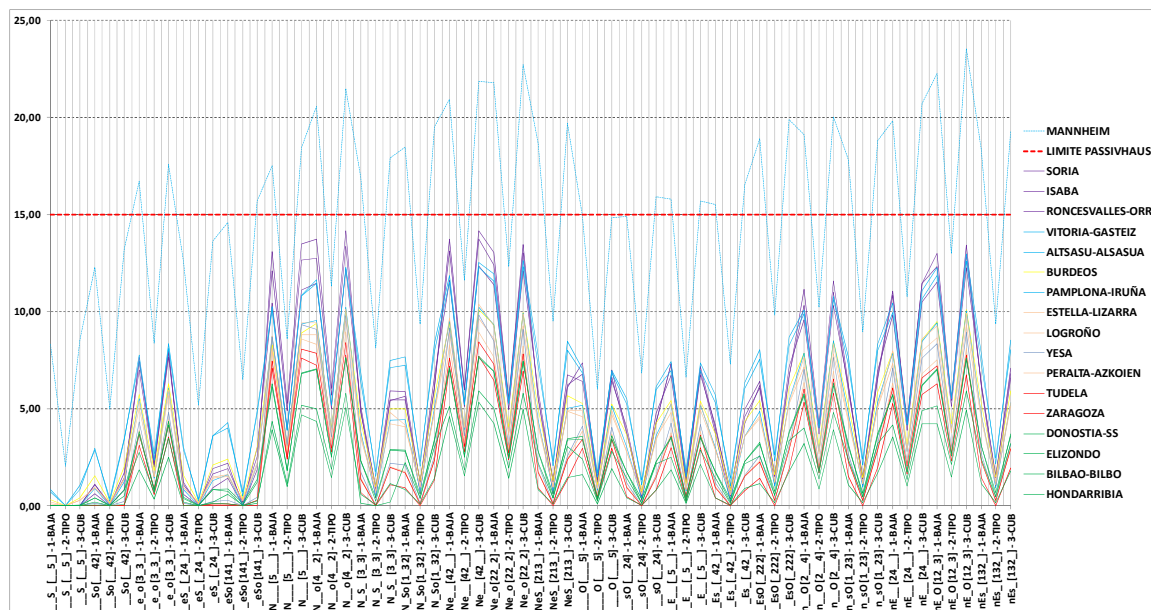


Figura 5.1. Demanda de calefacción anual en kWh/m²a para todos los tipos y ciudades de referencia. Las ciudades se ordenan en la leyenda de mayor a menor demanda [Elaboración propia].

Pasamos a continuación a desglosar las demandas de calefacción en cada zona climática.

En la zona Z1 vemos las ciudades de referencia junto con Burdeos (Fig. 5.2). Las cuatro ciudades se agrupan dos a dos; Donostia-San Sebastián tiene los mayores valores (7,70 kWh/m²a), cercanos a los de Elizondo, mientras que los valores más bajos de las máximas se corresponden con Bilbao y Hondarribia (5,33 kWh/m²a), que se corresponde con la cubierta en la orientación [Ne_]. Esta muestra corrobora los valores climáticos analizados en el Capítulo 3, y vemos como ciudades tan próximas como Donostia-San Sebastián y Hondarribia arrojan datos muy dispares estando a una distancia de no más de 20 km y con una situación cercana ambas al mar². En cuanto a la ciudad de referencia de Burdeos, se aprecian unos valores sensiblemente mayores a la ciudad de la zona con mayor demanda, Donostia-San Sebastián, que se corresponden con un clima con mayor rigor climático en invierno, alcanzando máximos de 10,09 kWh/m²a.

En todos los casos observamos que la demanda de calefacción se encuentra muy por debajo del máximo establecido en 15 kWh/m²a, por lo que los valores de aislamiento adoptados están muy por encima de lo necesario en los modelos de este estudio, incluso en los tipos más expuestos, las tipologías bajo cubierta y sobre espacio exterior abierto.

² Es posible que la diferente situación de la estación meteorológica, expuesta en la cima del Monte Igeldo en el caso de Donostia-San Sebastián y situada a nivel del mar junto en el aeropuerto en Hondarribia, pueda generar estos valores tan dispares.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

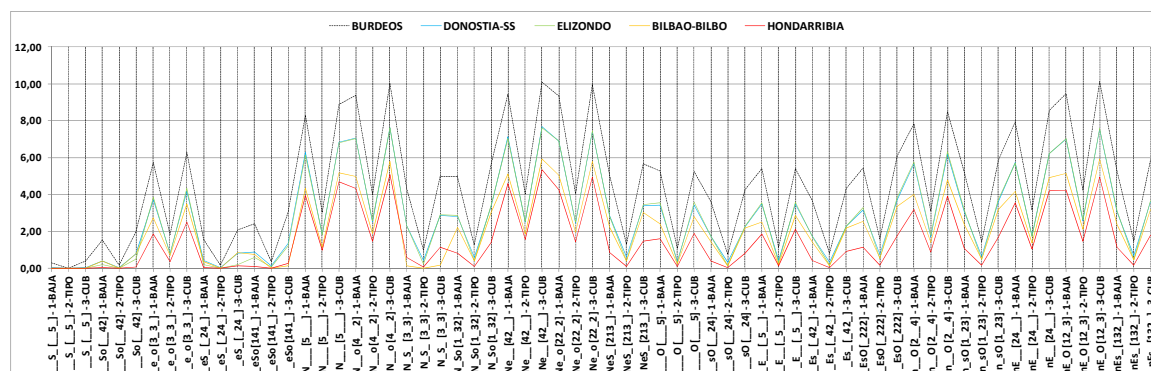


Figura 5.2. Zona Z1: Demanda de calefacción anual en kWh/m²a para las ciudades de referencia y Burdeos. Las ciudades se ordenan en la leyenda de mayor a menor demanda [Elaboración propia].

En la zona Z2 vemos que las ciudades de Vitoria-Gasteiz y Altsasu-Alsasua tienen los valores más altos, muy próximos entre sí, siendo sensiblemente menores los de Pamplona-Iruña, muy próximos a los que muestra la ciudad de Burdeos³ (Fig. 5.3).

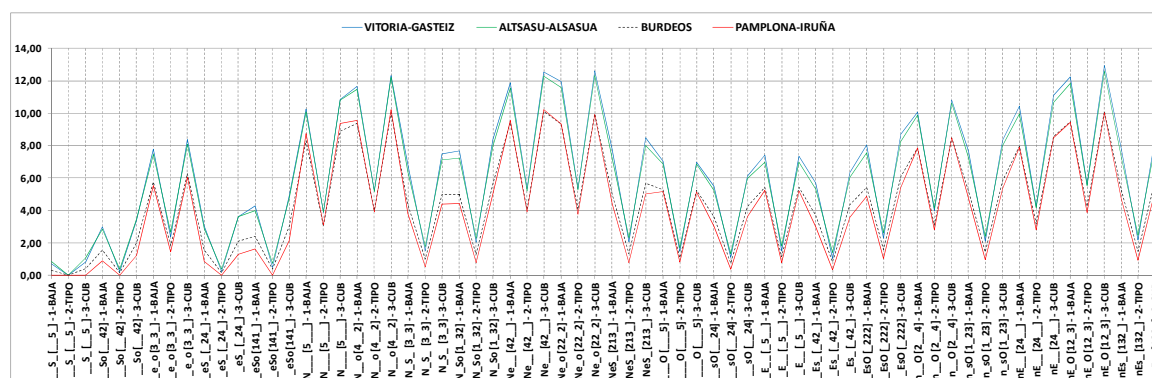


Figura 5.3. Zona Z2: Demanda de calefacción anual en kWh/m²a para las ciudades de referencia y Burdeos. Las ciudades se ordenan en la leyenda de mayor a menor demanda [Elaboración propia].

En las Zonas Z3, Z4 y Z5 los valores de demanda de calefacción están relativamente agrupados, siendo los máximos los correspondientes a la ciudad de Estella-Lizarrza, seguidos muy de cerca en casi todos los tipos por los valores de Logroño y Yesa, alternándose en algunas tipologías, la [N___] por ejemplo (Fig. 5.4). Los valores de Burdeos son algo superiores a los de Estella-Lizarrza en casi todos los casos, mostrando una gráfica muy similar. Peralta-Azkoien se diferencia a la baja de los valores del resto del grupo debido a estar en la posición más al sur de la zona climática.

³ Las ciudades de Vitoria-Gasteiz y Altsasu/Alsasua, estando en una zona con temperaturas similares, tienen índices de radiación muy diferentes respecto de Pamplona, lo que determina las demandas de calefacción anuales.

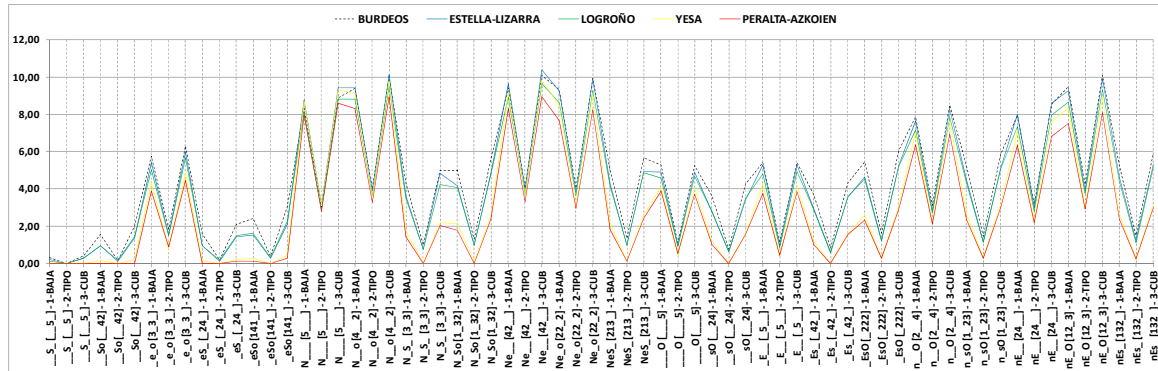


Figura 5.4. Zona Z3,Z4 y Z5: Demanda de calefacción anual en kWh/m²a para las ciudades de referencia y Burdeos. Las ciudades se ordenan en la leyenda de mayor a menor demanda [Elaboración propia].

En la zona Z6 los valores están próximos al grupo anterior, pero son superiores a las ciudades con menor demanda de la zona Z1 (Hondarribia) (Fig. 5.5). Los valores máximos dentro de la Zona Z6 (Tudela) los encontramos en las tipologías [Ne_] de cubierta (8,45 kWh/m²a), superiores a los de Zaragoza (7,71 kWh/m²a), siendo muy superiores a las demandas de Hondarribia para la misma tipología (5,33 kWh/m²a).

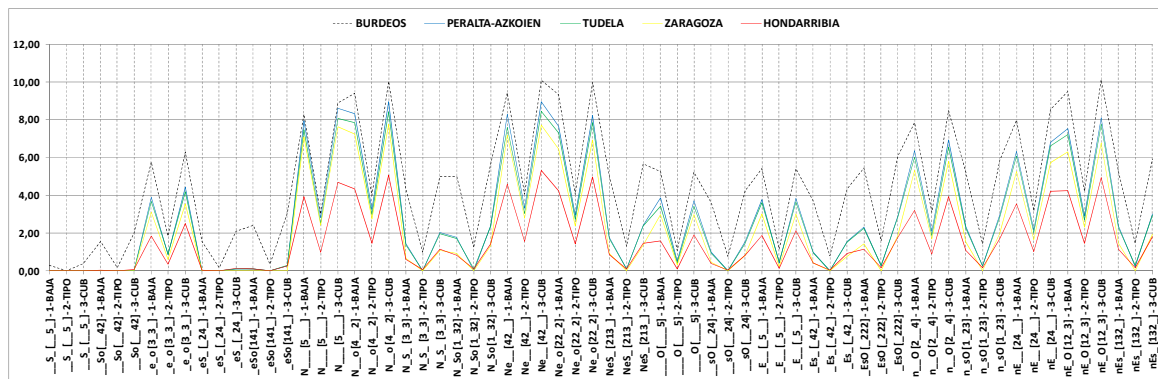


Figura 5.5. Zona Z6: Demanda de calefacción anual en kWh/m²a para Tudela, Peralta-Azkoien, Zaragoza, Hondarribia y Burdeos. Las ciudades se ordenan en la leyenda de mayor a menor demanda [Elaboración propia].

Por último, en la zona Z7 correspondiente al clima de montaña, obtenemos las mayores demandas de calefacción anuales (Fig. 5.6). En las orientaciones con menor radiación solar, está Isaba en la parte alta de la demanda, seguido de Orreaga-Roncesvalles, con unos valores similares a Vitoria-Gasteiz. Se observa que la ciudad de Soria alcanza unos valores ligeramente superiores a los de Isaba. En los tipos con mayor radiación solar, el orden se altera, obteniendo valores con mayor demanda Vitoria-Gasteiz sobre las ciudades de montaña y Soria e incluso Hondarribia.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

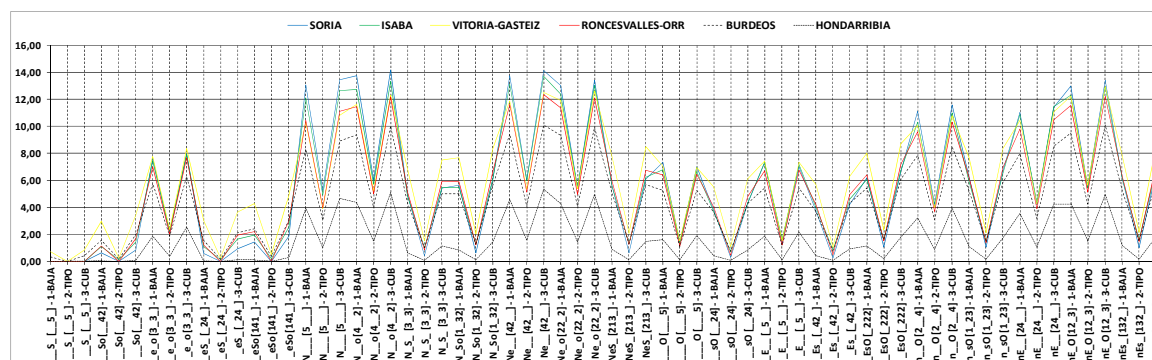


Figura 5.6. Zona Z7: Demanda de calefacción anual en kWh/m²a para las ciudades de referencia de la zona Z7, Burdeos y Vitoria-Gasteiz. Las ciudades se ordenan en la leyenda de mayor a menor demanda [Elaboración propia].

Análisis tipológico:

Si realizamos un análisis tipológico, vemos que en todas las zonas y ciudades se produce una gráfica similar, caracterizada por los siguientes aspectos:

-Los tipos con mayor demanda se corresponden con las plantas bajo cubierta, denominadas (3-CUB) con valores próximos a las Plantas sobre espacio abierto, denominadas (1-BAJA). En la Figura 5.7 se ejemplariza con la tipología [Ne__], pero se produce el mismo efecto en todas las tipologías y con todas las orientaciones. Se observa además que la diferencia de valores puede llegar al triple entre una vivienda tipo y una vivienda de cubierta.

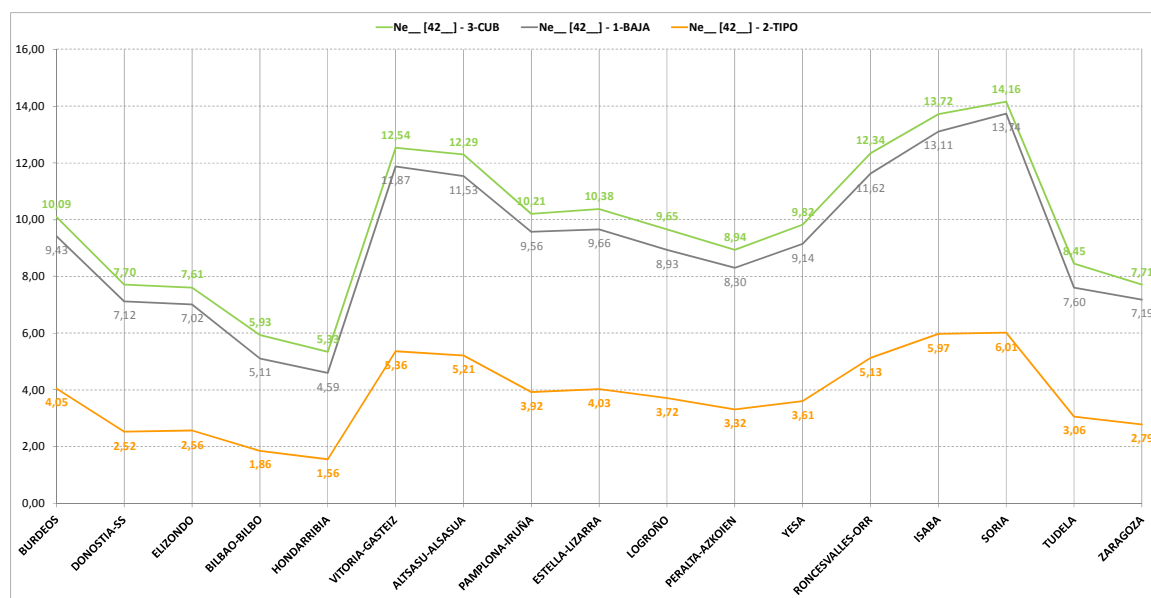


Figura 5.7. Demanda de calefacción anual en kWh/m²a para las ciudades de referencia de planta baja, tipo y bajocubierta en la tipología Ne [42_]. Las ciudades se ordenan en la leyenda de mayor a menor demanda [Elaboración propia].

Similar evolución se observa en orientaciones con menor demanda de calefacción. En la Figura 5.8 se observa que las tipologías de Planta baja y Planta bajo cubierta tienen unas demandas muy superiores a las tipologías de planta tipo, que en este caso tienen

demandas casi irrelevantes en todas las orientaciones salvo las ciudades de Altsasu- Alsasua, Vitoria-Gasteiz e Isaba.

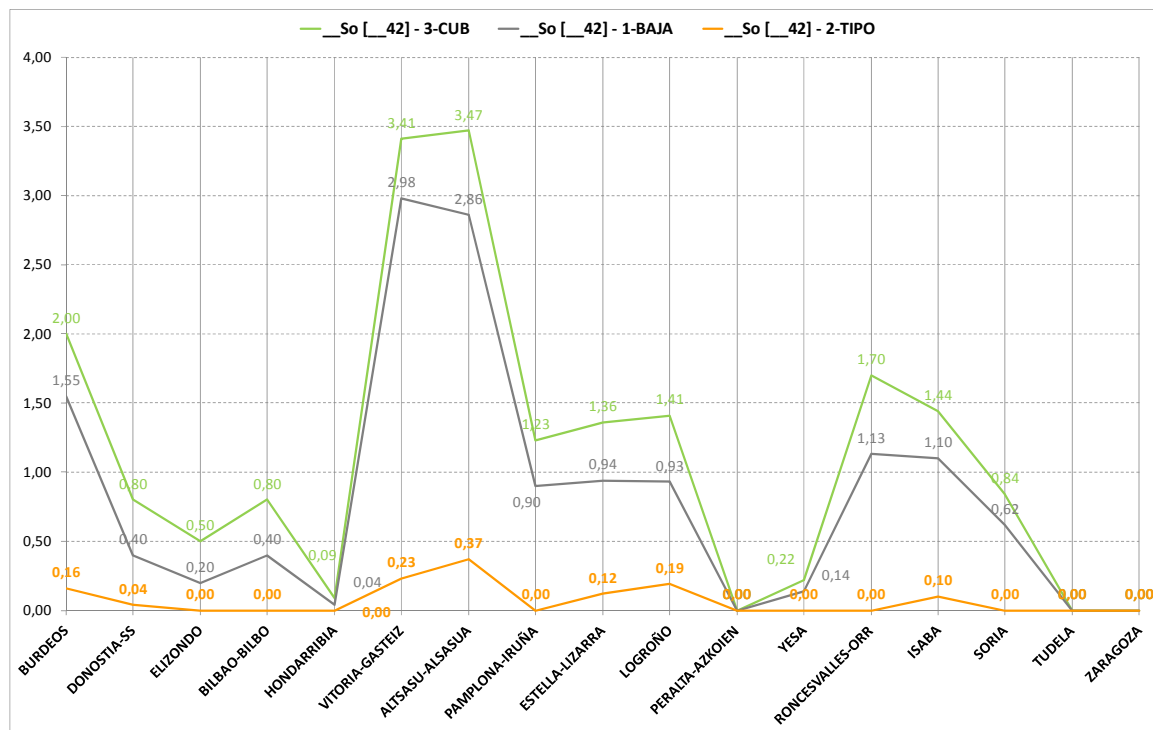


Figura 5.8. Demanda de calefacción anual en kWh/m²a para las ciudades de referencia de planta baja, tipo y bajocubierta en la tipología So [42]. Las ciudades se ordenan en la leyenda de mayor a menor demanda [Elaboración propia].

Análisis de demandas por orientación:

En la Figura 5.9, se ordenan las demandas de calefacción anuales en cada ciudad de referencia para la tipología de bajo cubierta. Se observa que:

-Las orientaciones con mayor demanda de calefacción se corresponden con la [Ne__], [N__o], [Ne_o], [nE_O], [N__], [nE__] y [n__O], con alternancias en los máximos en las diferentes ciudades.

-Las orientaciones con menores demandas de calefacción se corresponden con [S__], [So_], [eS_], [eSo], [n_s_], [sO], y [Es_].

-En una zona intermedia podemos encontrar el resto de tipologías. Empezando por la más fría, [e_o], [EsO], [nEs_], [n_sO], [E__], [__O], [NeS_], [N_So] y finalmente [N_S_].

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

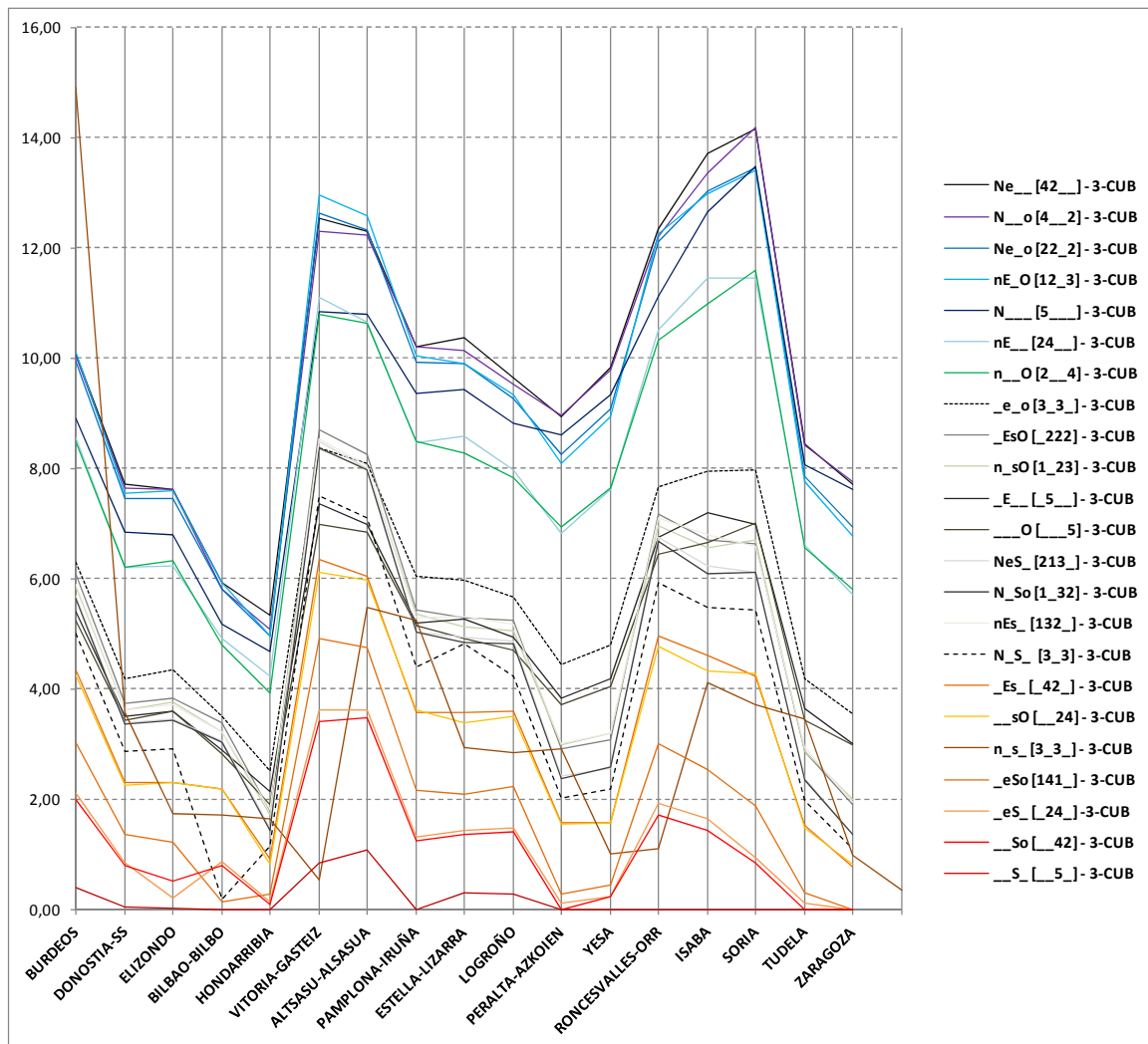


Figura 5.9. Demanda de calefacción anual en kWh/m² para todas las orientaciones analizadas en la tipología bajo cubierta y todas las ciudades de referencia. Las ciudades se ordenan en la leyenda de mayor a menor demanda [Elaboración propia].

Similar respuesta se observa en las plantas tipo, aunque lógicamente con inferiores demandas (Fig. 5.10).

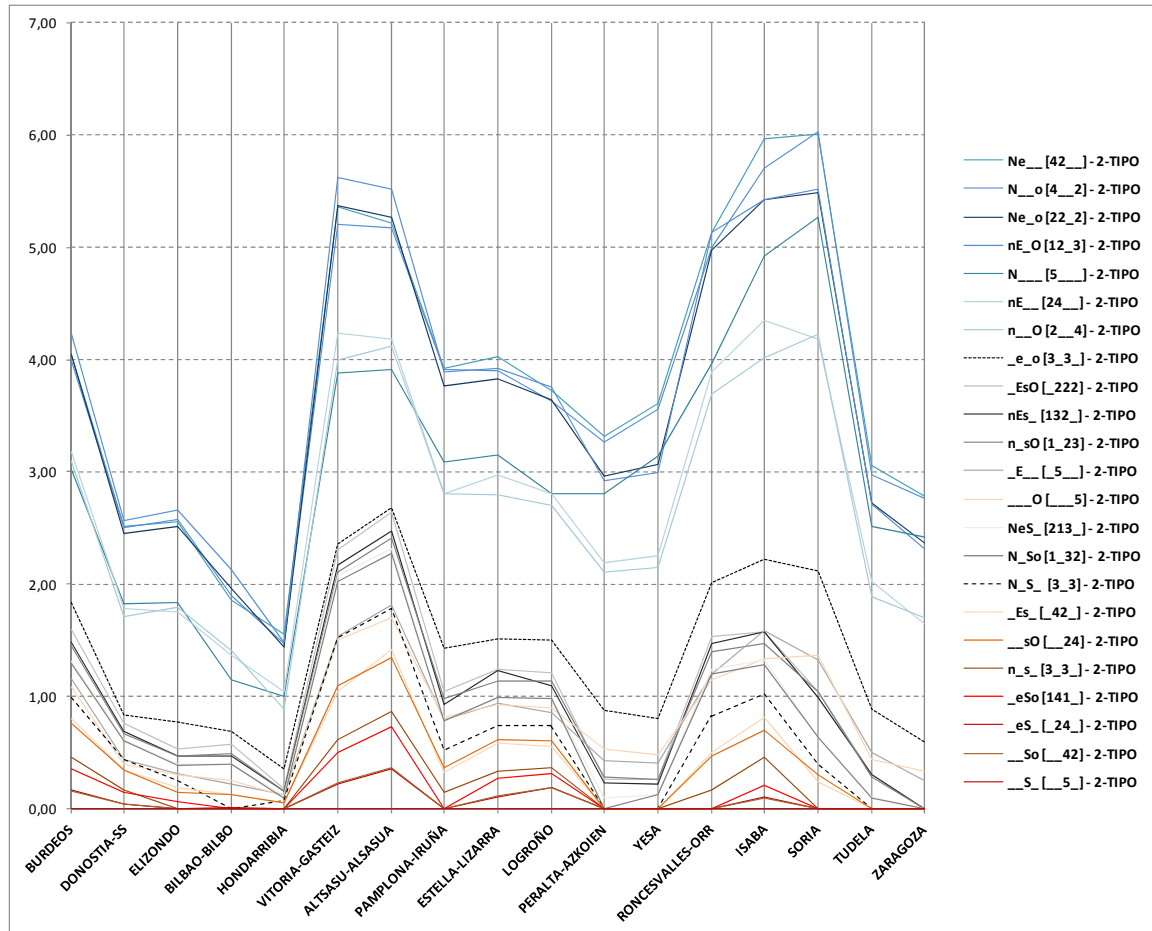


Figura 5.10. Demanda de calefacción anual en kWh/m²a para todas las orientaciones analizadas en la planta tipo y todas las ciudades de referencia. Las ciudades se ordenan en la leyenda de mayor a menor demanda [Elaboración propia].

5.3.2.2.2 ANÁLISIS DE LA CARGA DE CALEFACCIÓN MEDIA DIARIA

Análisis por zonas climáticas:

La primera gráfica representativa (Fig. 5.11), muestra la demanda de carga media diaria de calefacción en W/m^2 de todas las tipologías en todas las ciudades de referencia. En este caso, las gráficas nos muestran un comportamiento más complejo. La ciudad de Mannheim nuevamente se encuentra fuera de los valores establecidos por el estándar, lo cual nos indica que lógicamente los valores de aislamiento están por debajo de los necesarios en la ciudad del sur de Alemania para alcanzar el estándar como ya habíamos expuesto en el caso de la demanda de energía para calefacción. El resto de los climas nos muestra una situación más compleja. Por un lado tenemos las ciudades con menos radiación, pero con temperaturas mínimas más moderadas, y por otro lado las ciudades con mayor radiación, pero que a su vez se corresponden con las ciudades con temperaturas mínimas más bajas. Esto hace que tengamos en algunas regiones valores de carga de calefacción media diaria muy altas unidas a demandas de calefacción anuales muy bajas.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

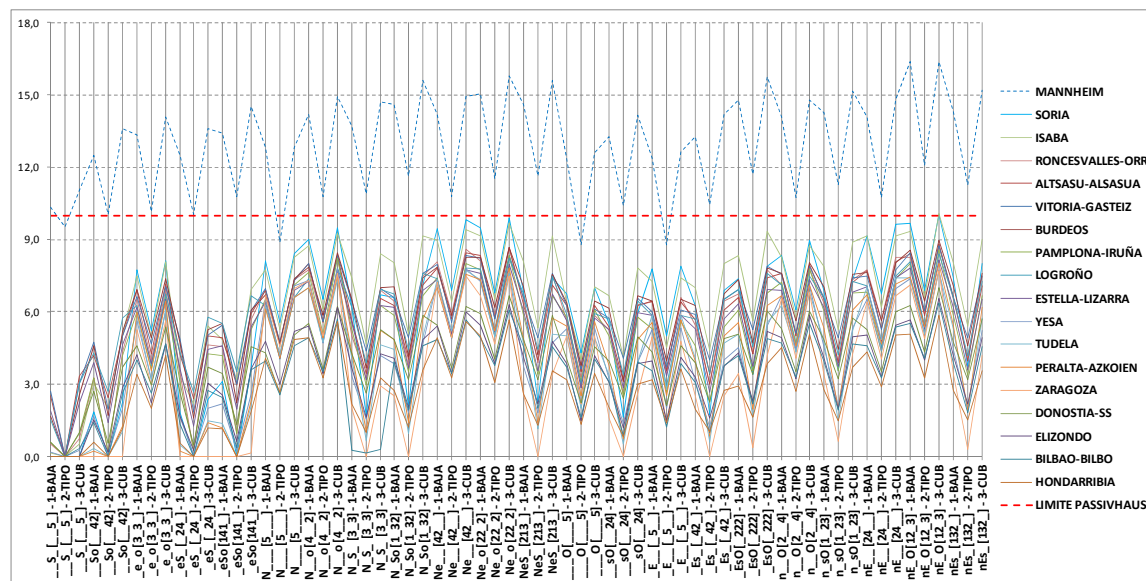


Figura 5.11. Potencia máxima (media diaria) W/m^2 para todas las zonas climáticas analizadas. Las ciudades se ordenan en la leyenda de mayor a menor demanda [Elaboración propia].

En la zona Z1 (Fig. 5.12) vemos como las tipologías con mayor carga de calefacción media diaria se corresponden con las ciudades que tienen las tipologías con mayor demanda anual de energía para calefacción, produciéndose un descenso equidistante entre las diferentes ciudades dentro de la zona.

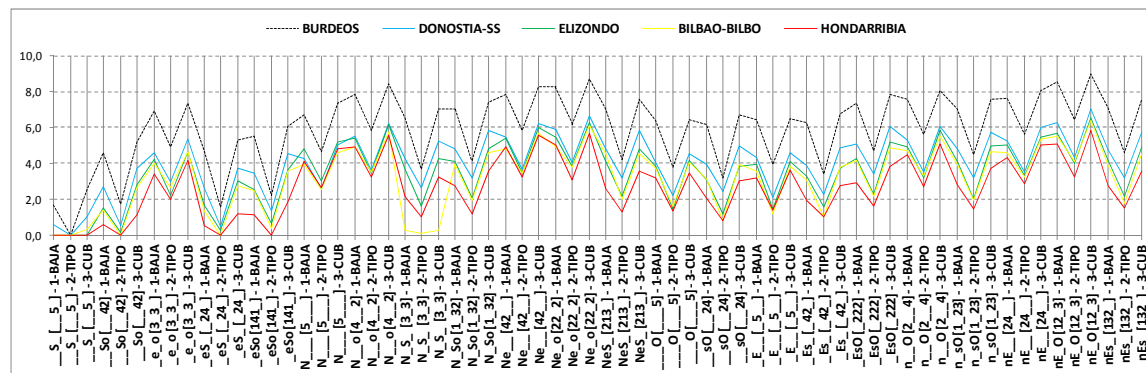


Figura 5.12. Zona Z1: Carga media diaria de calefacción (W/m^2) para las ciudades de referencia y Burdeos. Las ciudades se ordenan en la leyenda de mayor a menor demanda [Elaboración propia].

En las zonas Z2 y Z3 (Fig. 5.13) vemos un comportamiento similar, aunque acentuándose el rango entre las potencias mayores y menores.

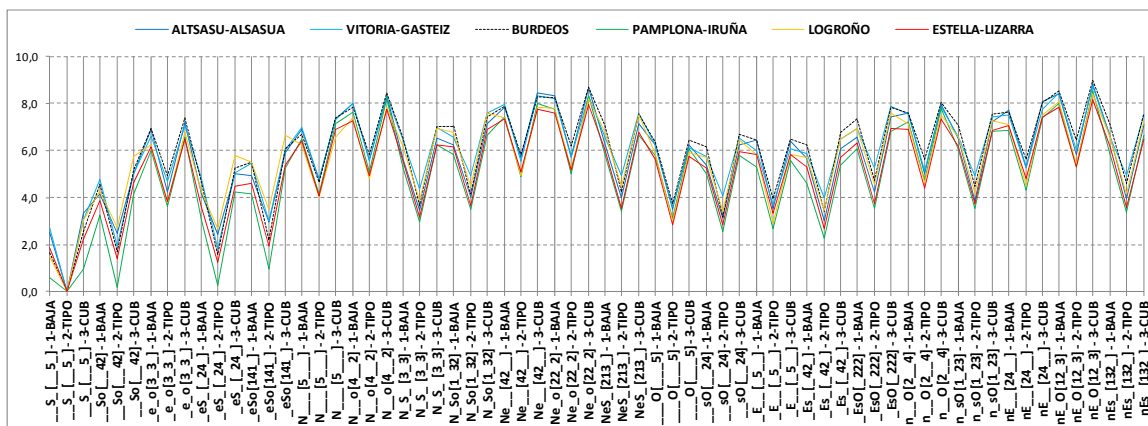


Figura 5.13. Zona Z2 y Z3: Potencia media diaria de calefacción anual en W/m²a para las ciudades de referencia y Burdeos. Las ciudades se ordenan en la leyenda de mayor a menor demanda [Elaboración propia].

En las zonas Z4, Z5 y Z6 (Fig. 5.14), vemos la gran diferencia entre valores pico altos y bajos, y como los valores más bajos se corresponden con la misma ciudad que obtiene los valores más altos. De alguna manera, la gráfica nos muestra una aproximación al clima continental de la zona.

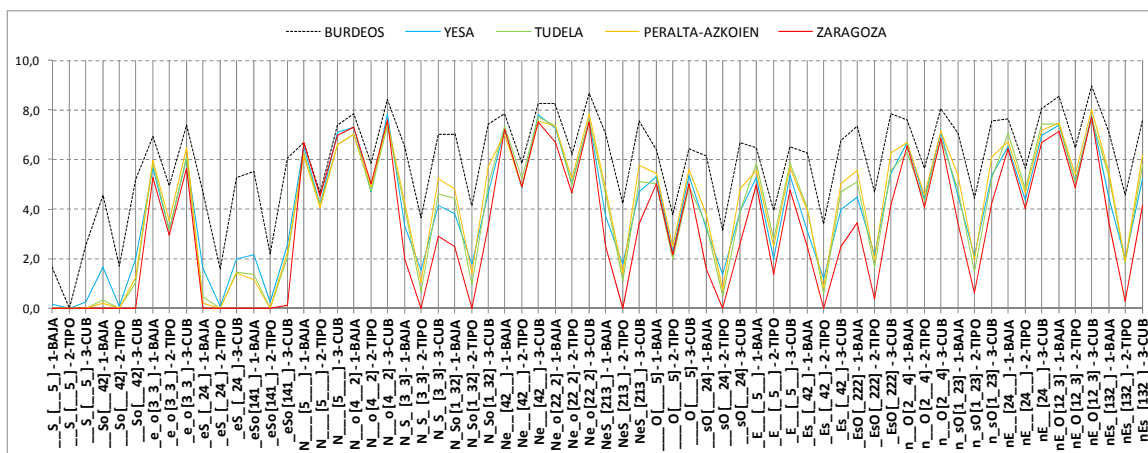


Figura 5.14. Zona Z4, Z5 y Z6: Carga media diaria de calefacción (W/m²) para las ciudades de referencia y Burdeos. Las ciudades se ordenan en la leyenda de mayor a menor demanda [Elaboración propia].

Este efecto lo vemos igualmente en la zona Z7 y la ciudad de referencia de Soria (Fig. 5.15), en las que una misma ciudad contiene los máximos y los mínimos.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

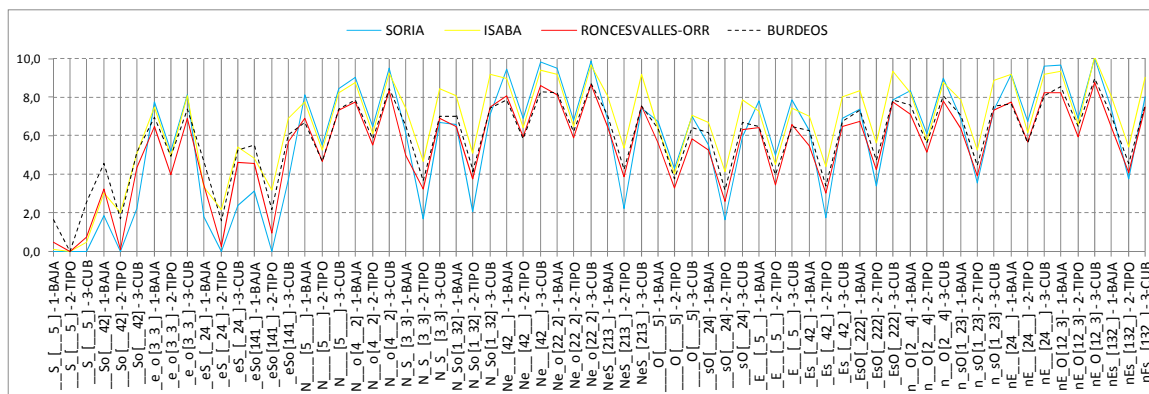


Figura 5.15. Zona Z7: Carga media diaria de calefacción (W/m^2) para las ciudades de referencia y Burdeos. Las ciudades se ordenan en la leyenda de mayor a menor demanda [Elaboración propia].

En la Figura 5.16, a fin de visualizar el efecto descrito, se muestran las cargas de calefacción de la tipología [Ne_] con respecto a la tipología [_So]. Vemos que en las regiones con alta radiación (Soria, Tudela, Zaragoza), la diferencia de potencia media diaria entre la tipología [Ne_] y la [_So] alcanza el gradiente más alto frente a las regiones con menor radiación.

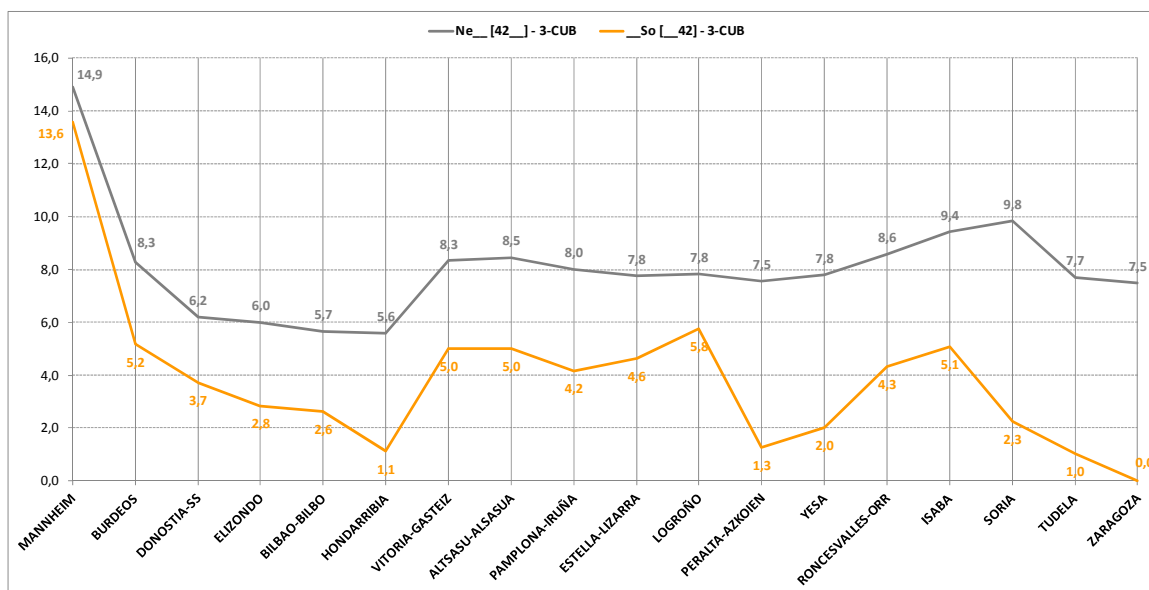


Figura 5.16. Carga máxima (media diaria) W/m^2 comparativa entre la planta bajo cubierta de los tipos [Ne_] y [_So]. Las ciudades se ordenan en la leyenda de mayor a menor demanda [Elaboración propia].

Estos resultados se acentúan si consideramos las cargas de calefacción máximas pico horarias, mostrados en la Figura 5.17 para las ciudades de Donostia-San Sebastián y Tudela.

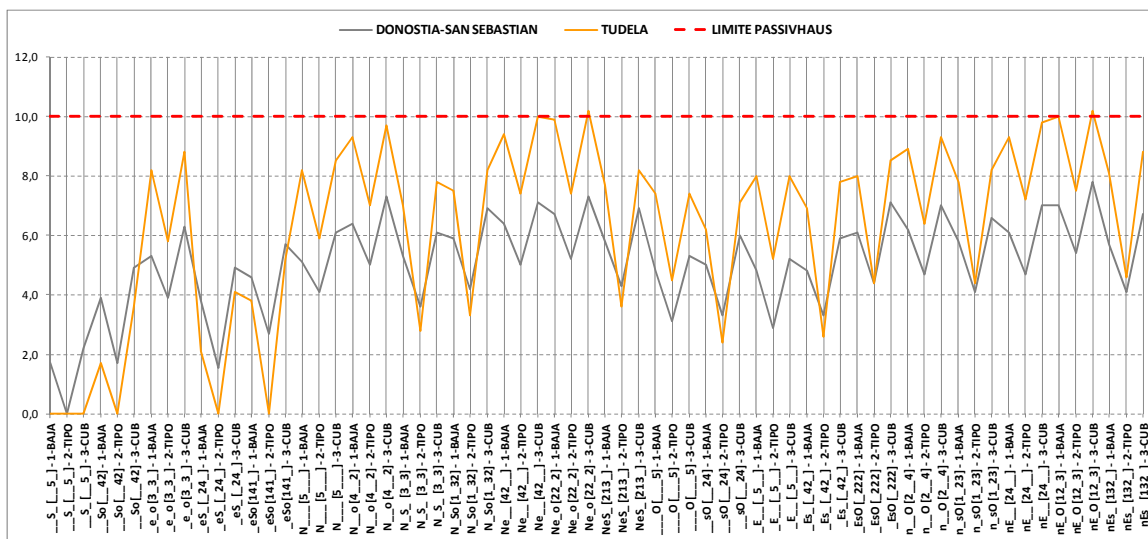


Figura 5.17. Comparativo de la potencia máxima pico horaria (W/m^2) para las ciudades de Donostia-San Sebastián y Tudela. Las ciudades se ordenan en la leyenda de mayor a menor demanda [Elaboración propia].

En cuanto a las potencias máximas horarias (Fig. 5.18), se observa como ciertas tipologías superan la demanda media diaria de los $10 W/m^2$, aunque este no es un valor limitado por el estándar.

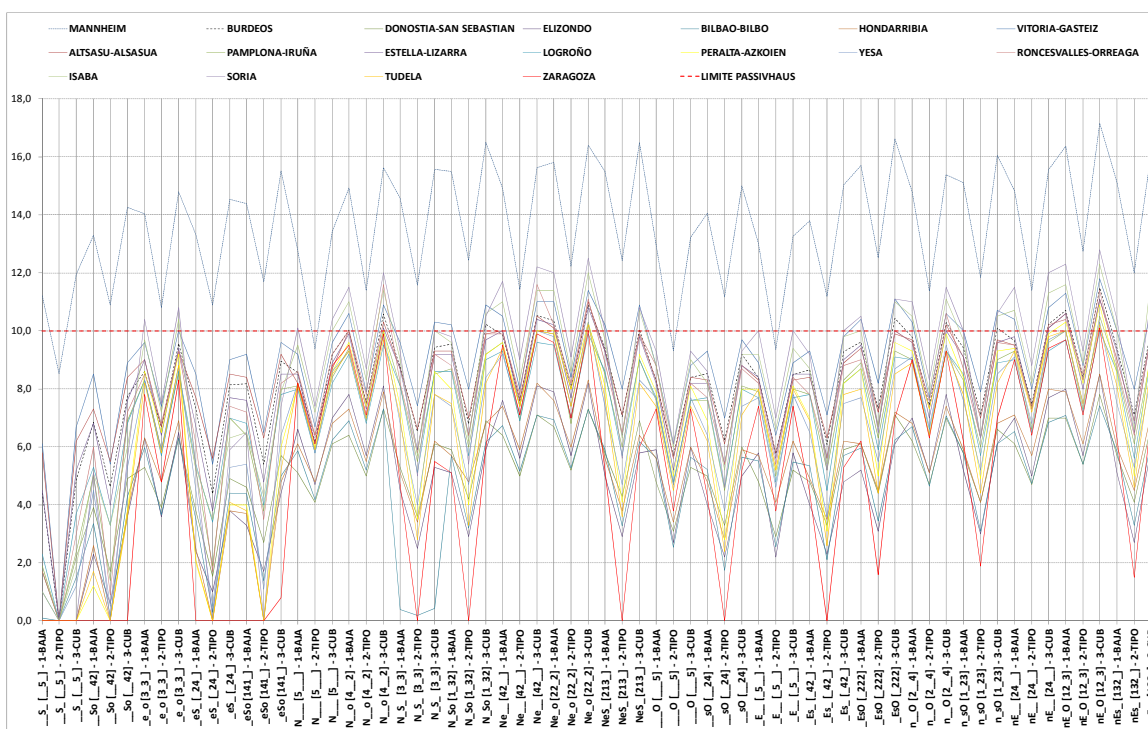


Figura 5.18. Potencia máxima horaria (W/m^2) para todas las ciudades y tipologías. Las ciudades se ordenan en la leyenda de mayor a menor demanda [Elaboración propia].

5.3.2.2.3 OTROS ASPECTOS RELEVANTES

Las ganancias solares a través de los huecos de fachada muestran una gráfica regular entre las diferentes ciudades, con un ranking de tipologías similar en todas las ciudades

de referencia. En la Figura 5.19 vemos como las gráficas de ganancias solares son paralelas en todas las ciudades manteniéndose el mismo orden tipológico.

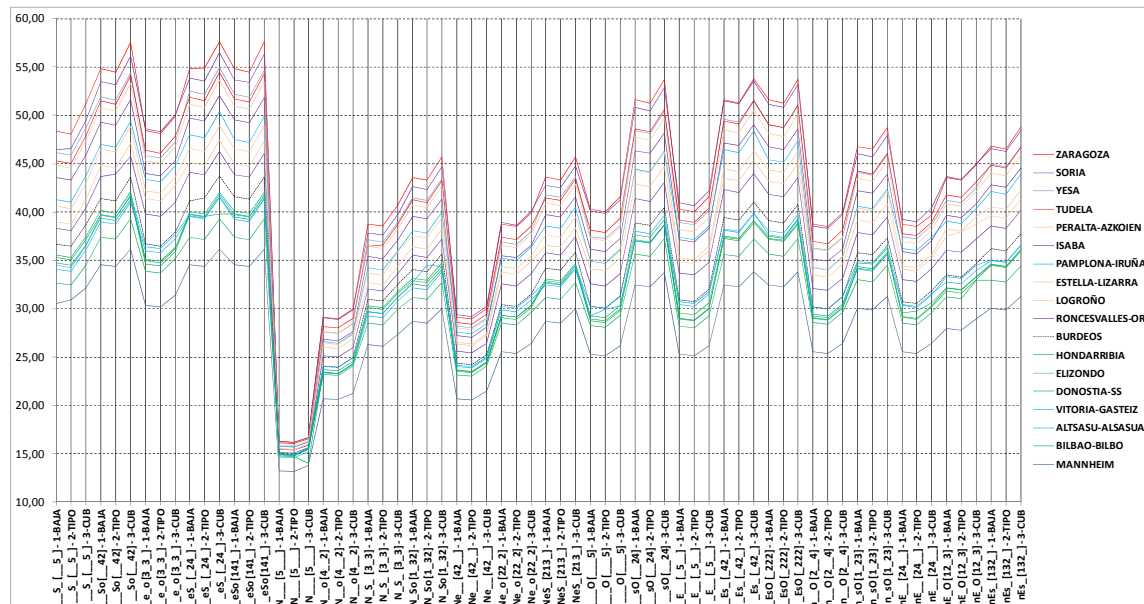


Figura 5.19. Ganancias anuales por radiación solar en kWh/m²a para todos los tipos y ciudades de referencia. Las ciudades se ordenan en la leyenda de mayor a menor demanda [Elaboración propia].

En la Figura 5.20 vemos las ganancias para las viviendas tipo en las diferentes ciudades y orientaciones. El ranking de radiación solar está liderado por las ciudades más al sur de la zona de estudio, Zaragoza, Soria, Yesa y Tudela, intercalándose las ciudades de montaña como Isaba. En la parte baja están las ciudades costeras y por último las ciudades situadas en la zona centro, Vitoria-Gasteiz y Altsasu-Alsasua. Como dato relevante señalar que el ranking lo cierra la ciudad costera de Bilbao⁴.

⁴ Este dato se corresponde con lo que muestra la Fig. 3.4. del Capítulo 3 en la que se observa que el punto más bajo de radiación solar se corresponde con la llanada alavesa y las laderas norte de los montes que dan al Cantábrico.

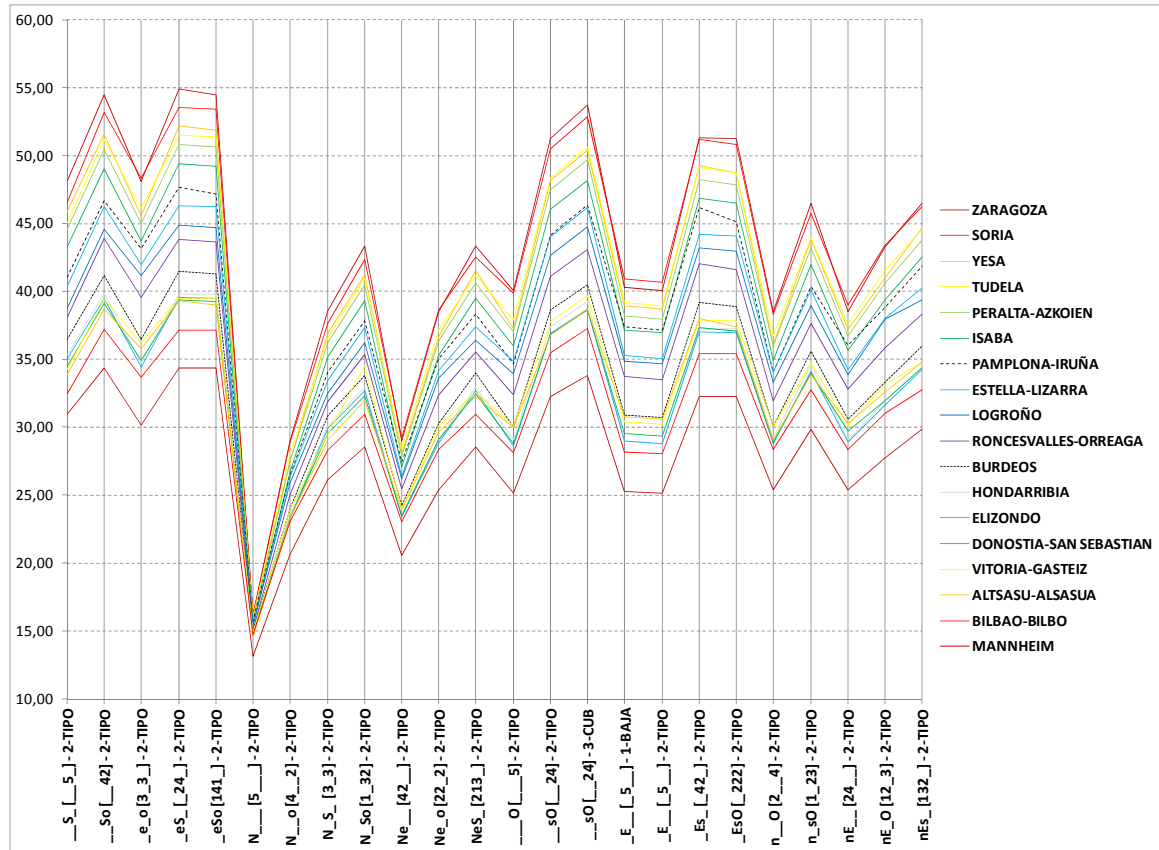


Figura 5.20. Ganancias anuales por radiación solar en kWh/m² en la planta tipo y todas las ciudades de referencia. Las ciudades se ordenan en la leyenda de mayor a menor demanda [Elaboración propia].

En la Figura 5.21 se ordenan las tipologías de cubierta por orientaciones. Vemos en esta gráfica que lógicamente, las tipologías con menor radiación solar se corresponden con las orientaciones con una fachada a norte, [N___], [N_o], [Ne___].

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

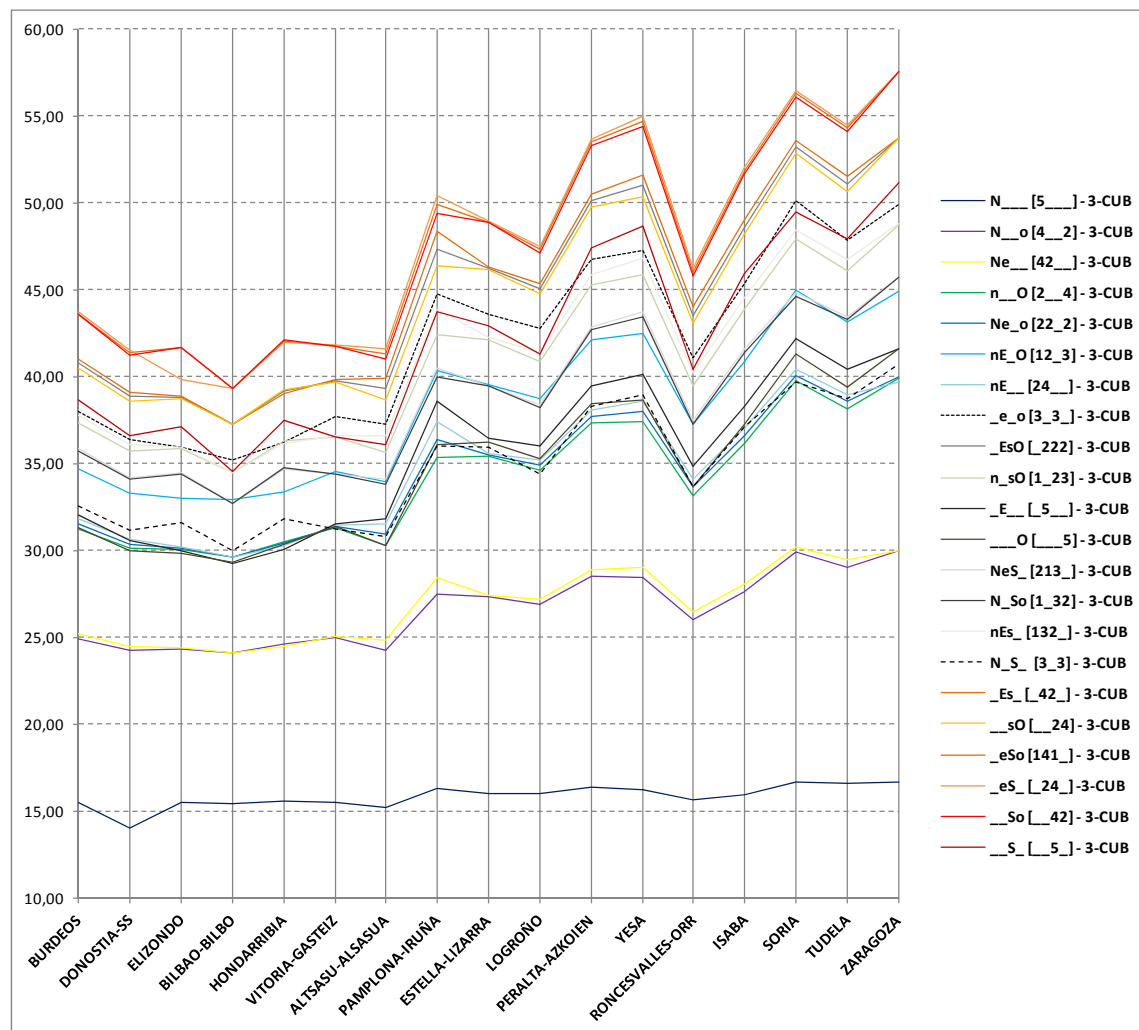


Figura 5.21. Ganancias anuales por radiación solar en kWh/m²a en la planta cubierta (3-CUB) ordenada por orientaciones. Las ciudades se ordenan en la leyenda de mayor a menor demanda [Elaboración propia].

En la tipología [__S_] vemos la gran diferencia de valores en las ganancias solares de las diferentes ciudades (Fig. 5.22). En la parte alta tendríamos Zaragoza, Soria, Yesa, Tudela y Peralta-Azkoyen. Con los valores más bajos estarían Bilbao, Altsasua-Altsasu, Vitoria-Gasteiz, Donostia-San Sebastián, Elizondo y Burdeos. En un punto intermedio alto se encontrarían Logroño, Estella-Lizarrá y Pamplona-Iruña junto con Roncesvalles-Orreaga. Las diferencias entre los valores mínimos y máximos llegan al 60%.

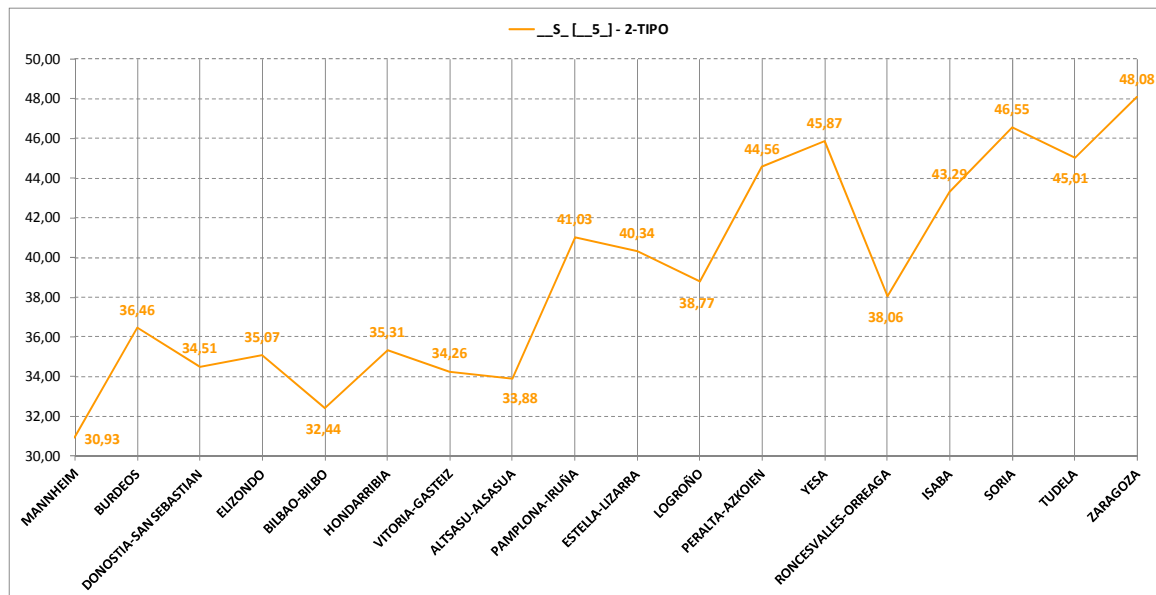


Figura 5.22. Ganancias anuales por radiación solar en kWh/m² para la tipología __S__[5] [Elaboración propia].

5.3.2.3 CONCLUSIONES DE LA FASE I

A la vista de lo anteriormente expuesto, vemos que la variabilidad climática descrita en el Capítulo 3 tiene sus consecuencias en las demandas anuales de calefacción y en las cargas medias diarias de calefacción. Por zonas podemos llegar a las siguientes conclusiones:

Zona Z1:

El clima moderado debido a la cercanía del mar y la menor radiación solar hacen que los valores de demanda anual de calefacción sean los más bajos de todas las zonas climáticas. Las cargas de calefacción medias diarias son también bajas, existiendo un rango pequeño entre los valores máximos y los mínimos. Dentro de la zona Z1, la ciudad con mayores necesidades de calefacción sería Donostia-San Sebastián y con valores próximos se situaría Elizondo. Bilbao y Hondarribia muestran valores muy bajos, próximos al 30%. Las potencias de calefacción siguen la misma relación pero con valores más próximos entre sí.

Los valores de aislamiento para esta región estarían muy por encima de los necesarios para alcanzar un estándar Passivhaus, por lo que en la siguiente Fase se revisan a la baja.

Zona Z2:

En este caso tenemos los valores más altos de todas las zonas analizadas junto con las ciudades de montaña. Podemos diferenciar las ciudades de Vitoria-Gasteiz y Altsasu-Alsasua con los valores más altos respecto de Pamplona-Iruña con valores un 20% más bajos. En cuanto a la carga de calefacción media diaria alcanza para algunos tipos los valores límite del estándar, acentuándose la diferencia entre los valores más altos y más bajos.

Debido precisamente a que la carga media diaria de calefacción roza el límite del estándar para algunas tipologías, se concluye que los valores adoptados en fachada en

esta Fase son los correctos para alcanzar el estándar, pudiendo reducir ligeramente los valores de cubierta y forjados sobre espacio exterior.

Zonas Z3, Z4 y Z5:

En estas zonas climáticas vemos que las demandas de calefacción anuales están muy por debajo del límite del estándar, con máximas de 10 kWh/m²a para Estella-Lizarra y Logroño, y algo menores para Yesa y Peralta-Azkoien. Sin embargo, unos valores altos de carga media de calefacción en las plantas más expuestas recomiendan mantener unos valores altos de aislamiento en cubierta y forjados sobre espacios abiertos, pudiendo reducir los valores de aislamiento en fachadas.

Zona Z6:

En esta zona obtenemos valores de demanda de calefacción algo inferiores a las zonas Z3, Z4 y Z5, con valores máximos sobre los 8 kWh/m²a para Tudela, y algo inferiores en Zaragoza. En cuanto a la carga de calefacción media diaria, se dan valores puntuales altos en las tipologías más expuestas, acentuándose aún más los rangos entre los valores máximos y los mínimos.

Los valores de aislamiento en fachada se pueden reducir a valores similares a la costa, reforzando los correspondientes a cubierta y a forjados sobre espacios exteriores.

Zona Z7:

Se dan los valores más altos de demanda de calefacción anual en la población de Isaba, similares a los de la ciudad de referencia de Soria. Igualmente, la carga de calefacción media diaria alcanza los valores más altos con Soria e Isaba, produciéndose un rango amplio entre máximas y mínimas.

Los valores adoptados de aislamiento en esta zona climática son los adecuados para alcanzar el estándar sin modificación alguna.

5.3.3 FASE II: OPTIMIZACIÓN

5.3.3.1 CRITERIOS Y OBJETIVOS

A la vista de los valores anteriores, se optimizan los espesores de aislamiento para las diferentes zonas climáticas. Para ello se selecciona el tipo con mayor demanda de calefacción o potencia entre los tipos más comunes. Se descartan por tanto las tipologías más excepcionales, viviendas con tres orientaciones y, viviendas solo a norte. Se comprueba que en todas las zonas climáticas, las mayores demandas en el periodo invernal se corresponden a las orientaciones noroeste [N__o] y [n__O] y noreste [Ne__] y [nE__] en la planta bajo cubierta. Se selecciona la tipología noreste [Ne__] y se optimiza para entrar dentro de los criterios del PHI, ya que se corresponde con la que muestra valores más elevados. De las diversas ciudades de cada región, se optimiza para la ciudad con mayor demanda en dicho periodo. A partir de estas premisas, se obtienen los valores de aislamiento reflejados en la Tabla 5.3. Nuevamente se simula con los valores de aportes internos recomendado por el PHI en el periodo invernal, 1,6 W/m².

Tabla 5.3. Valores de transmitancia y espesor equivalente de la envolvente térmica optimizados para cumplir con los criterios Passivhaus en el periodo invernal.

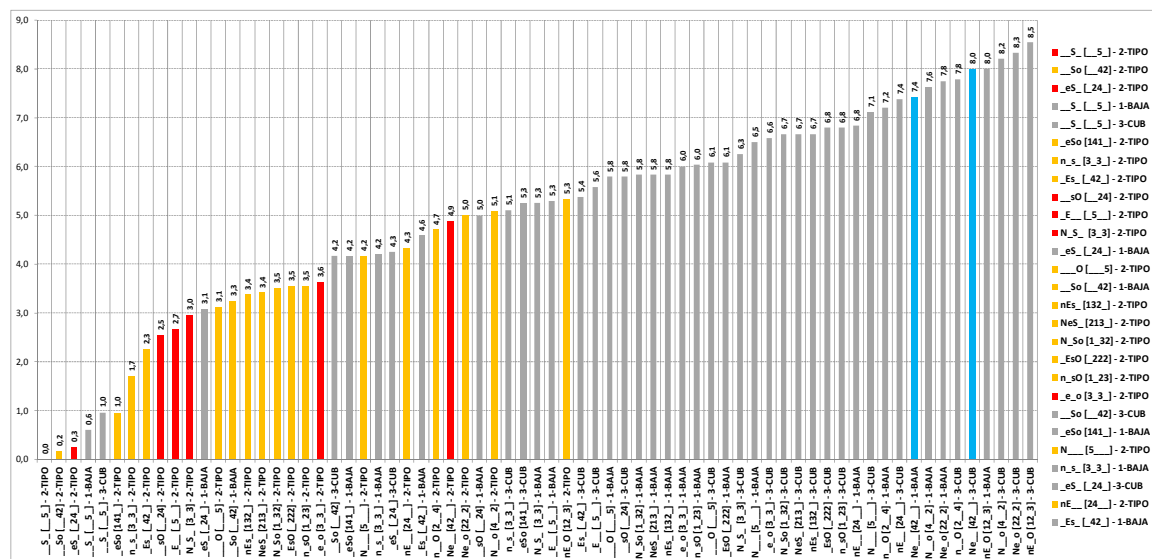
		Espesor cm / U_{FACH} W/m ² K	Espesor cm / $U_{FORJADO PB}$ W/m ² K	Espesor cm / $U_{CUBIERTA}$ W/m ² K	Espesor cm / U_{VIDRIO}/U_{MARCO} W/m ² K
Referencia	Mannheim	30/0,10	40/0,1	40/0,10	0,78/0,72
Referencia	Burdeos	15/0,20	20/0,20	20/0,20	1,34/1,00
Zona Z1	Donostia-San Sebastián, Elizondo, Bilbao, Hondarribia	10/0,28	15/0,25	15/0,25	1,34/1,00
Zona Z2	Vitoria-Gasteiz, Alsasua, Pamplona	20/0,15	20/0,20	20/0,20	1,34/1,00
Zona Z3	Estella, Logroño,	10/0,28	20/0,20	20/0,20	1,34/1,00
Zona Z4	Peralta	10/0,28	20/0,20	20/0,20	1,34/1,00
Zona Z5	Yesa	10/0,28	20/0,20	20/0,20	1,34/1,00
Zona Z6	Tudela	10/0,28	15/0,25	15/0,25	1,34/1,00
Zona Z7	Isaba	20/0,15	25/0,15	25/0,15	1,34/1,00
Referencia	Soria	20/0,15	25/0,15	25/0,15	1,34/1,00
Referencia	Madrid	10/0,28	20/0,20	20/0,20	1,34/1,00

[Elaboración propia]

Para esta Fase y las posteriores se reduce el número de tipologías analizar, seleccionando varias tipologías que representen una muestra significativa. En la Figura 5.23 vemos como para el ejemplo de Pamplona-Iruña, las tipologías con menor carga de calefacción se corresponde con las viviendas situadas en plantas intermedias (viviendas tipo), y las mayores demandas en las viviendas más expuestas (baja y cubierta). La tipología [Ne_] se utiliza como modelo de máxima demanda invernal, descartándose tipologías más anecdóticas o representativas (esquinas con tres fachadas). A partir de ahí, los modelos seleccionados para significar el comportamiento de los diferentes tipos se seleccionan entre las viviendas tipo desde el más bajo al más alto, [__S_], [_eS_], [__sO], [_E_], [N_S_], [_e_o] y [Ne_]. Aunque en este ranking aparecen tipologías que pudieran ser susceptibles de análisis en las fases siguientes, en realidad cuando se dotan de medidas de protección solar fijas y móviles es previsible que no sean las que más sufran el sobrecalentamiento, por ejemplo es el caso del tipo [n_s], y se opta por analizar el tipo [_e_o], mucho más complicada a la hora de gestionar las protecciones solares y muy numerosa en la realidad constructiva como se ha visto en el Capítulo 4.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal



En amarillo se marca la planta tipo, y de estas, en rojo las tipologías seleccionadas. En azul, se remarcan los valores de la cubierta y la planta baja de la tipología [Ne__].

Figura 5.23. Ranking de carga media diaria de calefacción para la ciudad de Pamplona-Iruña en W/m2 y selección de tipologías representativas para las sucesivas fases de estudio [Elaboración propia].

5.3.3.2 RESULTADOS DE LA FASE II

En la Figura 5.24 se muestra la demanda de calefacción para la tipología [Ne__]. Todas las ciudades se acercan al límite de 15 kWh/m²a de forma más equilibrada, manteniéndose el ranking de ciudades más frías y más cálidas en cada zona climática. Las demandas más altas se sitúan en los 14,68 kWh/m²a en la ciudad de Estella-Lizarrza, mientras que las más bajas se corresponden con la vivienda tipo situada en Hondarribia con una demanda de 2,66 kWh/m²a.

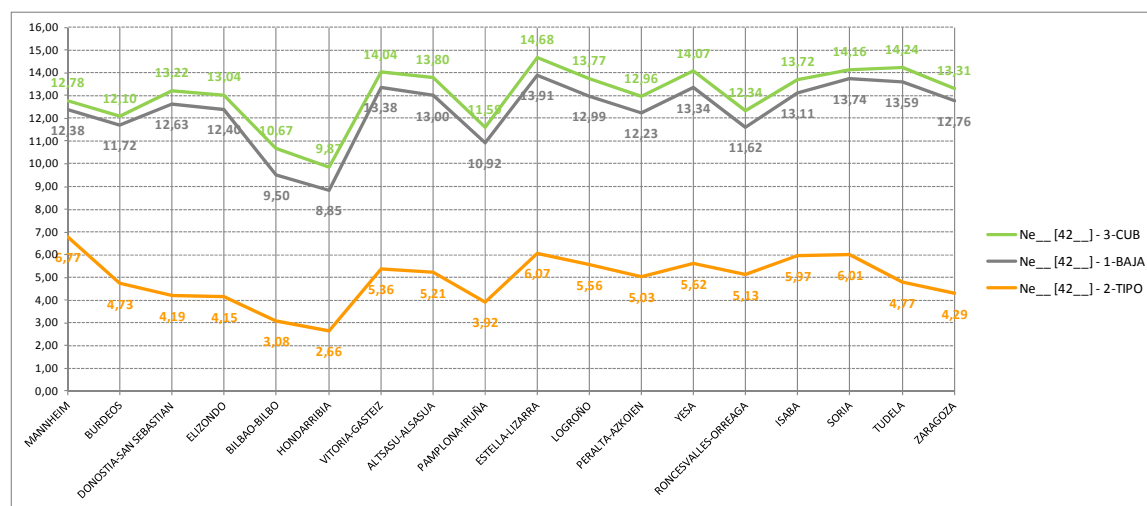


Figura 5.24. Demanda de calefacción anual en KWh/m²a en la tipología [Ne_] para todas las ciudades [Elaboración propia].

En la Figura 5.25 vemos un desglose de ganancias y pérdidas de calor en la tipología [Ne__] para la ciudad de Vitoria-Gasteiz. Las importantes pérdidas que se producen por el forjado sobre espacio abierto (-12,47 kWh/m²a) y por la cubierta (-11,03 kWh/m²a) hacen que se produzca una gran diferencia en la demanda de energía para

calentamiento con respecto a la planta tipo. Se aprecia igualmente las bajas pérdidas de calor por infiltraciones debido esto a la alta estanqueidad y cómo el funcionamiento del recuperador permite obtener unas demandas relativamente bajas debidas a la ventilación mecánica de los espacios.

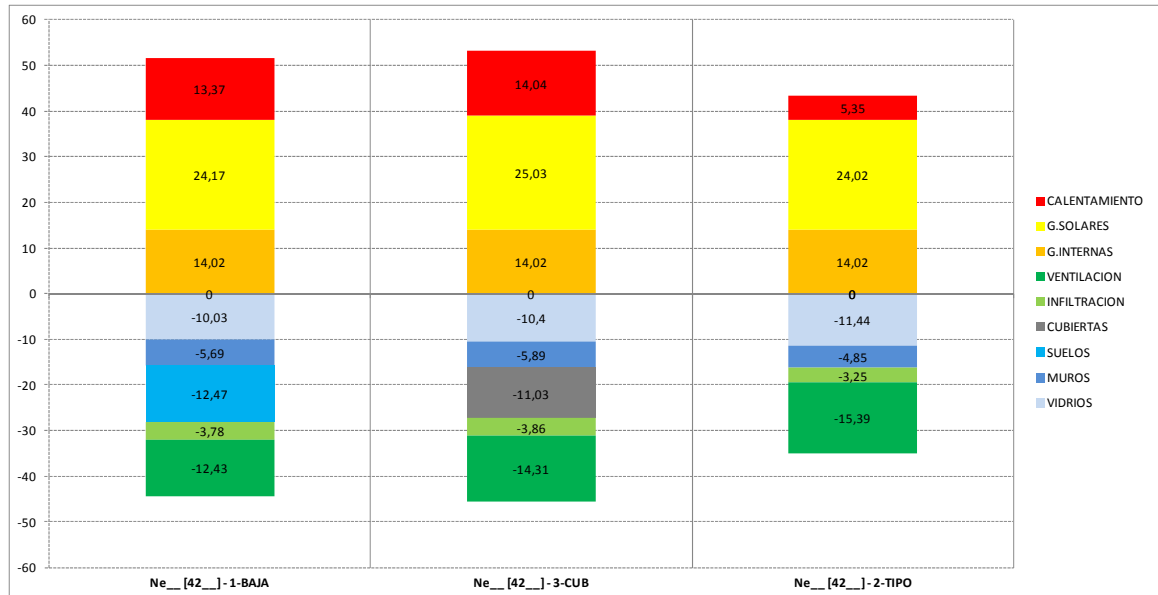


Figura 5.25. Ganancias y pérdidas de calor para la tipología [Ne_] en la ciudad de Vitoria-Gasteiz en KWh/m²a [Elaboración propia].

En cuanto a la carga de calefacción (Fig. 5.26) vemos como obtenemos un valor medio diario más cercano entre todas las ciudades de referencia, con valores máximos en la planta de cubierta de 10,2 W/m² en Tudela y mínimos en las plantas tipo en Hondarribia de 4,1 W/m².

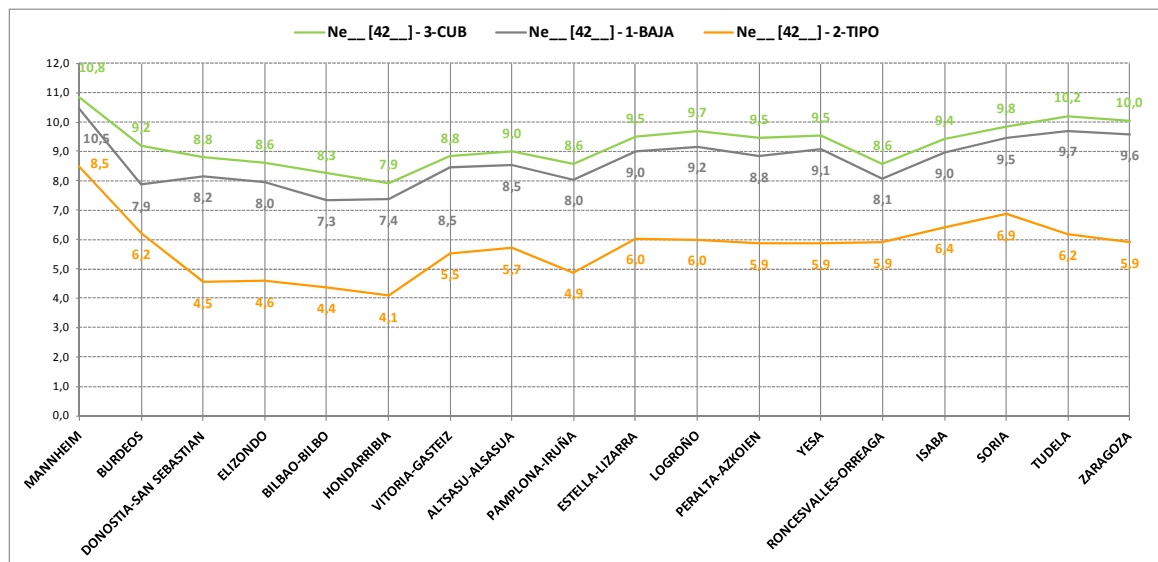


Figura 5.26. Potencia máxima (media diaria) W/m² tipología [Ne_] [Elaboración propia].

5.3.3.2.1 ANÁLISIS DEL CONFORT EN VERANO

Durante los meses de verano, las viviendas sin protecciones solares fijas ni móviles muestran periodos de sobrecalentamiento muy elevados, significando que la ventilación nocturna adoptada de 4 r/h durante 6 horas no es suficiente. En la Figura 5.27 se visualizan los periodos anuales por encima de los 25°C en los tipos seleccionados. Se aprecian valores que sobrepasan claramente los límites del 10% de horas anuales (875 horas) por debajo de 25°C marcado por el PHI. Esto ocurre en todos los tipos menos en la tipología [Ne_] (la más fría de las estudiadas) y en las ciudades de Donostia-San Sebastián, Elizondo y Vitoria-Gasteiz.

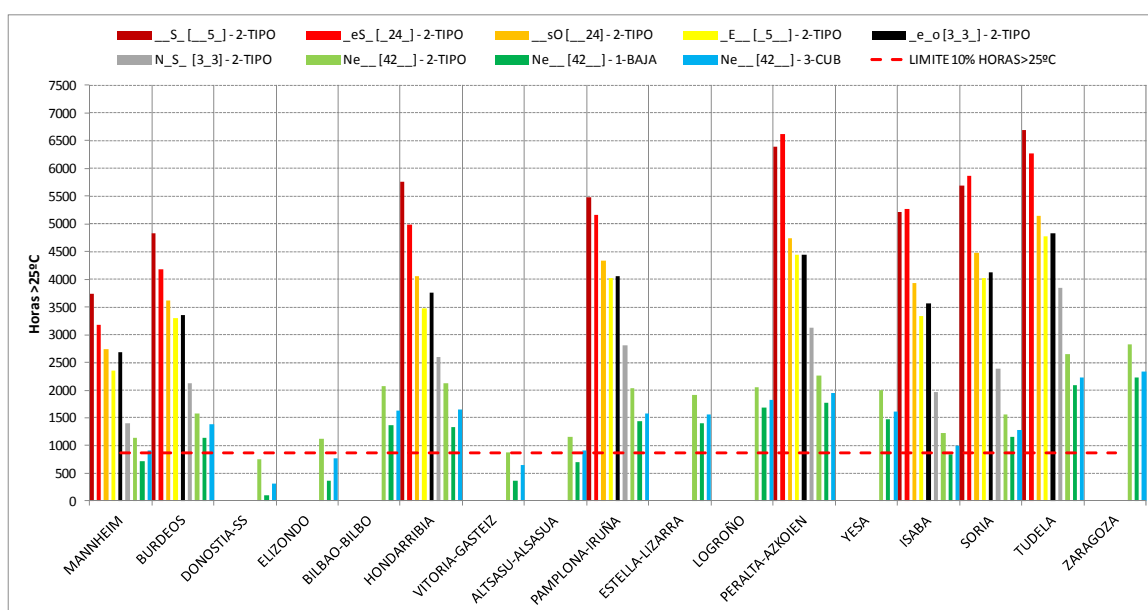


Figura 5.27. Viviendas sin protecciones solares fijas ni móviles, con refrigeración nocturna de 6 h de 4 r/h. Periodos de sobrecalentamiento en horas por encima de 25°C tipología [Ne_] [Elaboración propia].

A partir de este punto se analiza el confort en las ciudades más cálidas de cada zona climática, Hondarribia para la Zona 1, Pamplona-Iruña para la Zona 2, Peralta-Azkoien para las Zonas 3,4 y 5, Tudela para la Zona 6 e Isaba para la Zona 7. Se selecciona un tipo con una orientación sensible al sobrecalentamiento, la vivienda Tipo [E_]. Esto nos permitirá concluir que si el tipo supera los límites de confort, todos los que están menos expuestos a los periodos de sobrecalentamiento también estarán dentro de los límites de confort del PHI, ya que son tipos menos expuestos al sobrecalentamiento y las ciudades tienen temperaturas exteriores y radiaciones más bajas.

Se muestra a continuación la evolución horaria de las temperaturas durante los meses de mayo, junio, julio y agosto para las ciudades de referencia seleccionadas, significando tres aspectos importantes para valorar la incidencia del sobrecalentamiento, las horas >25°C, las horas >28°C, y las horas >25°C durante las horas de sueño (22:00-8:00 h). Se añaden además las temperaturas máximas de cada mes y la zona con el 10% de horas máximas.

ZONA Z1: CIUDAD DE REFERENCIA HONDARRIBIA

En la ciudad de Hondarribia vemos ampliamente superados los límites de confort del PHI, con periodos prolongados de temperaturas por encima de los 25°C y máximas en el mes de julio que alcanzan los 33,4°C. Las horas nocturnas >25°C alcanzan el 82% en el mes de julio. Se evidencia especialmente la falta de protección solar y la necesidad de una mayor intensidad de la ventilación nocturna (Fig. 5.28).

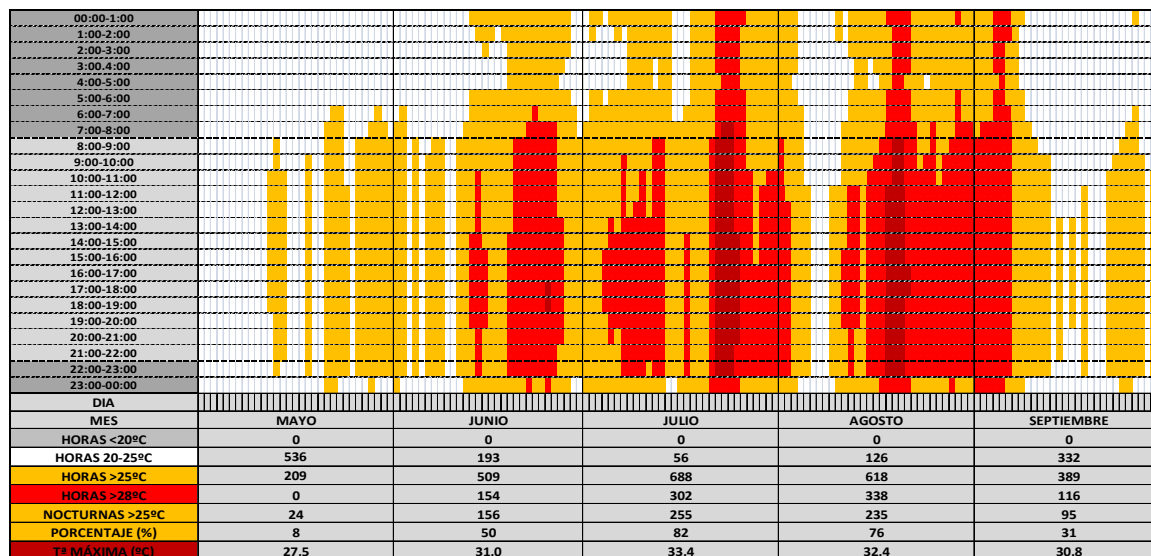


Figura 5.28. Evolución horaria de la temperatura operativa en verano en la zona climática Z1-Hondarribia, para la vivienda Tipo [_E_] [Elaboración propia].

ZONA Z2: CIUDAD DE REFERENCIA PAMPLONA-IRUÑA

En la ciudad de Pamplona-Iruña se acentúa lo visto en la costa, con periodos prolongados de temperaturas por encima de los 25°C y máximas en el mes de julio que alcanzan los 35,1°C. Las horas nocturnas >25°C alcanzan el 98% en el mes de julio (Fig. 5.29).

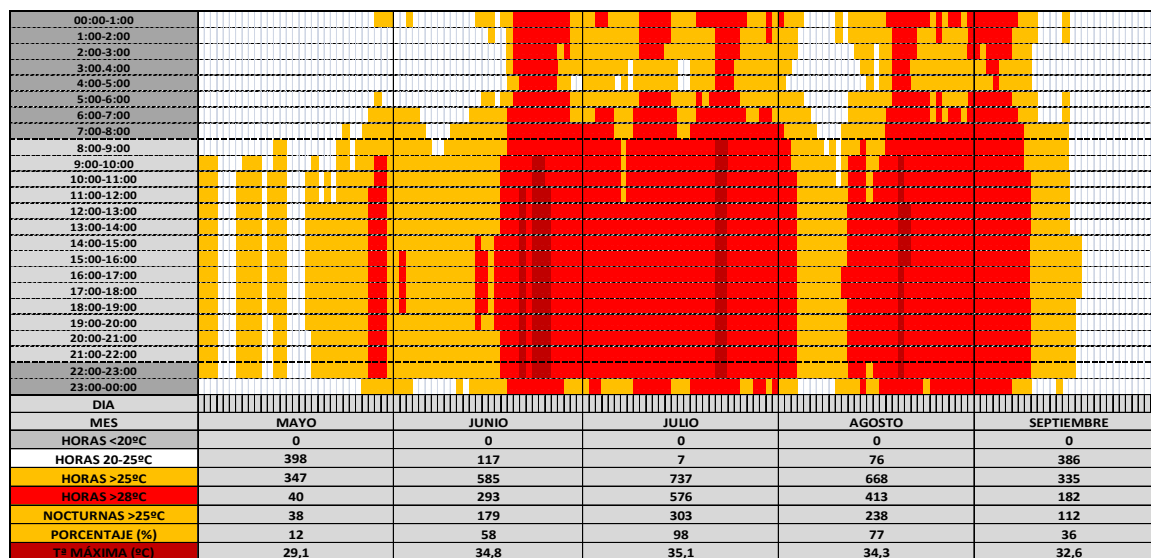


Figura 5.29. Evolución horaria de la temperatura operativa en verano en zona climática Z2 para la ciudad de referencia Pamplona-Iruña para la vivienda Tipo [_E_] [Elaboración propia].

ZONA Z3, Z4 Y Z5: CIUDAD DE REFERENCIA PERALTA/AZKOIEN

En el caso de Peralta-Azkoien el proceso se acentúa aún más, con máximas que alcanzan valores algo más bajos (34,5°C en el mes de junio) que en Pamplona-Iruña, pero de forma más constante, llegando las horas nocturnas con temperaturas >25°C del mes de julio al 100% (Fig. 5.30).

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

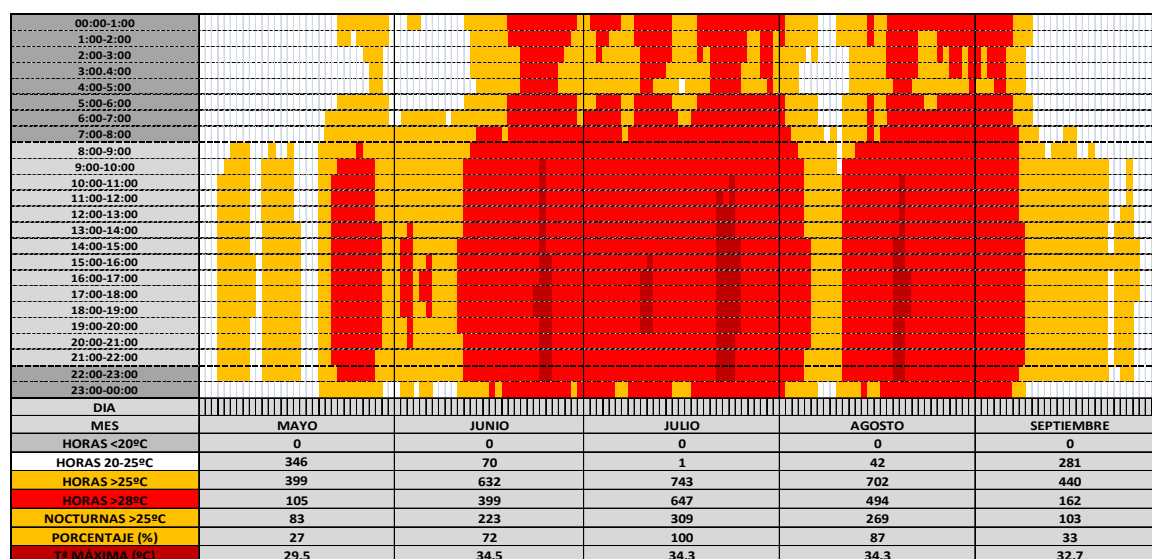


Figura 5.30. Evolución horaria de la temperatura operativa en verano en la zona climática Z3,Z4, y Z5 para la ciudad de referencia de Peralta-Azkoien, para la vivienda Tipo [_E_] [Elaboración propia].

ZONA Z6: CIUDAD DE REFERENCIA TUDELA

En Tudela observamos una situación similar a la de Peralta-Azkoien, produciéndose igualmente las máximas en junio (36,7°C). El hecho de que las máximas se produzcan en Junio tanto en Peralta-Azkoien como en Tudela puede deberse a que en esas fechas además de producirse la mayor radiación solar, las temperaturas nocturnas no descienden tanto como en los meses de julio y agosto (Fig. 5.31).

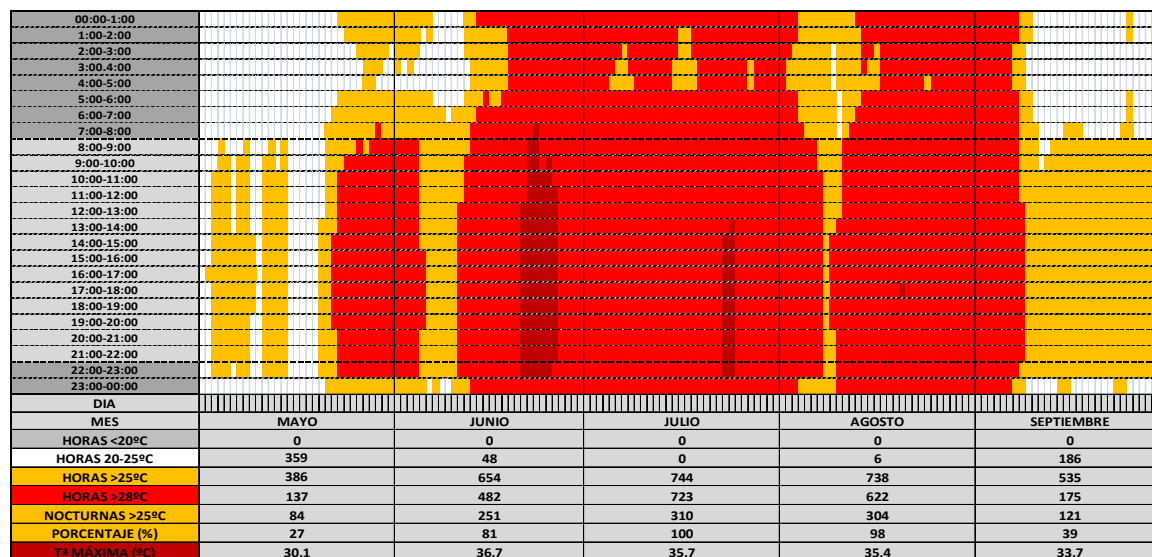


Figura 5.31. Evolución horaria de la temperatura operativa en verano en la zona climática Z6 para la ciudad de referencia de Tudela, para la vivienda Tipo [_E_] [Elaboración propia].

ZONA Z7: CIUDAD DE REFERENCIA ISABA

La población de Isaba (Fig. 5.32), a pesar de situarse en una zona más montañosa, sufre largos periodos de sobrecalentamiento y altas temperaturas (32,6°C en el mes de julio).

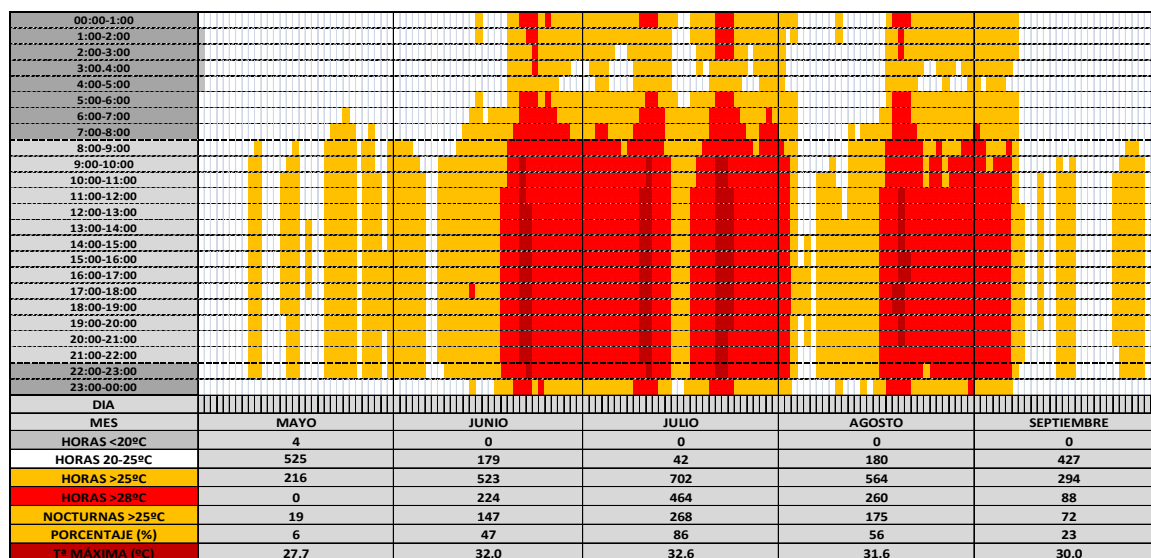


Figura 5.32. Evolución horaria de la temperatura operativa en verano en la zona climática Z7 para la ciudad de referencia de Isaba, para la vivienda Tipo [E_] [Elaboración propia].

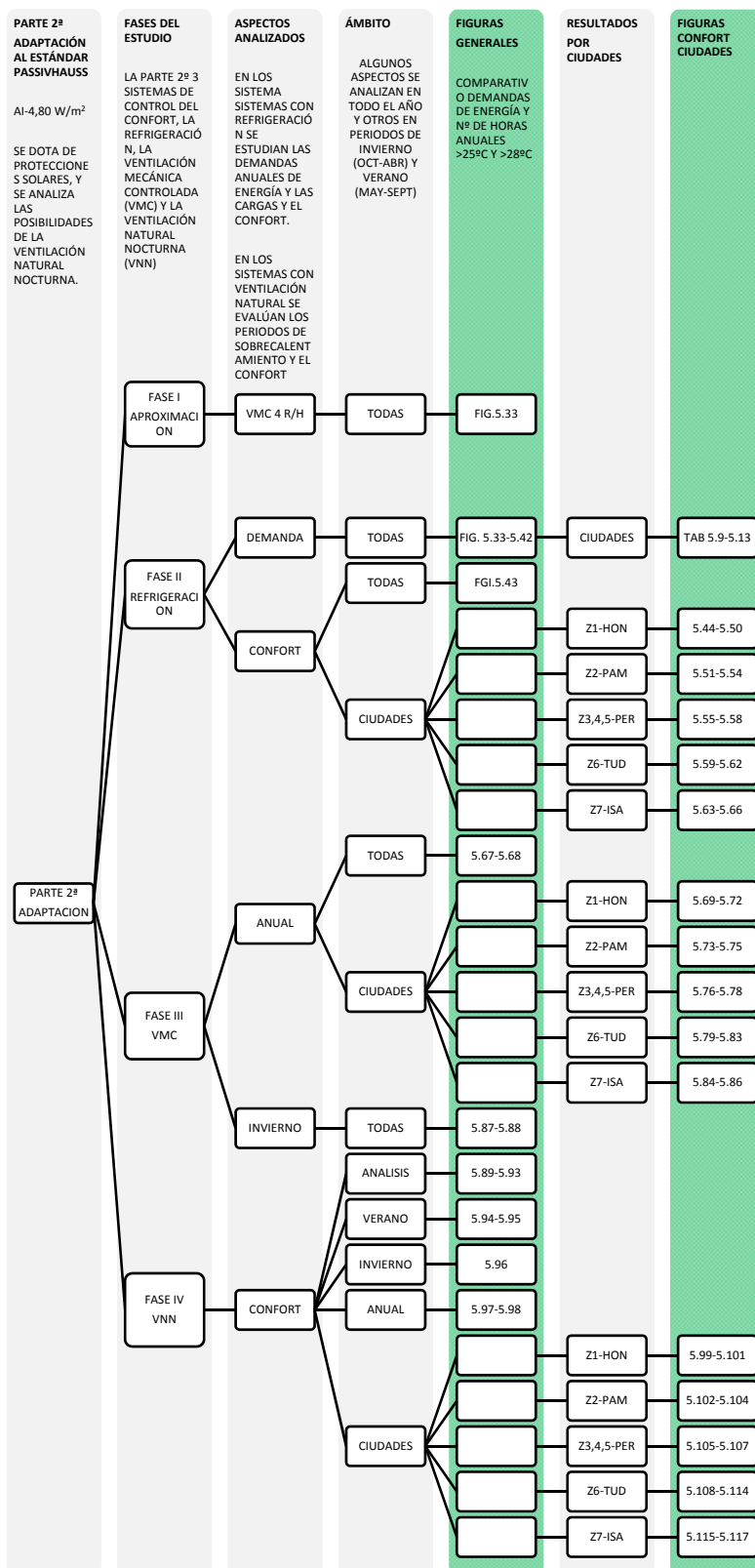
5.3.3.3 CONCLUSIONES FASE II, OPTIMIZACIÓN

La optimización en los espesores muestra de forma clara la diferencia climática contrastada en el territorio de estudio. El espesor de aislamiento en fachadas es el que mayor variabilidad puede sufrir, desde los 10 cm en climas más templados (Zona costera Z1) hasta los 20 cm en la Zona media Z2 correspondiente a Vitoria-Gasteiz y las zonas de montaña, volviendo a los 10 cm en la zona sur (Zonas 3,4,5 y 6). En todas las zonas se mantiene un espesor algo mayor en cubiertas y sobre espacios libres. Esto permite atenuar las fuertes diferencias de pérdidas de calor frente a la vivienda tipo. Las carpinterías requieren de un aislamiento relativamente bajo si lo comparamos con el necesario en los climas de Centroeuropa. Asimismo, la alta compacidad de la vivienda colectiva permite alcanzar los valores del estándar sin necesidad de espesores tan altos de aislamiento.

5.4 PARTE 2ª. ADAPTACIÓN DEL ESTÁNDAR AL CLIMA DE ESTUDIO

5.4.1 ESTRUCTURA DE RESULTADOS DE LA PARTE 2ª: ADAPTACIÓN AL ESTÁNDAR

En el siguiente esquema se resume la estructura de la Parte 2ª junto con las Figuras obtenidas con los resultados de las simulaciones:



5.4.2 FASE I: APROXIMACIÓN AL PROBLEMA

En esta fase y posteriores se incorporan los valores de aportes internos de calor de la normativa española. Este dato como veremos más adelante, será de vital importancia en la consideración de los resultados obtenidos⁵. Se mantiene los modelos analizados en la fase anterior, sin protecciones solares ni fijas ni móviles.

En una primera fase se evalúa el impacto que tiene sobre el confort el aumento de los aportes internos de la normativa española respecto a los aportes internos del Passivhaus invernales utilizados en la Parte I del estudio. Se mantiene una ventilación nocturna media (del 1 abril al 30 de septiembre) durante 6 horas (00:00-6:00 h), el volumen máximo de renovaciones de 4 r/h y un punto de funcionamiento de 20°C, a partir del cual el modelo introduce aire del exterior hasta el máximo señalado. Este es un valor que se podría obtener fácilmente con una instalación ventilación mecánica controlada. Más complicado como se irá demostrando más adelante es establecer un mecanismo similar con la apertura de las ventanas de forma manual.

En esta fase se busca cuantificar los periodos de sobrecalentamiento existentes a lo largo del año en el modelo de vivienda construido comúnmente en VPO y considerando una actuación nula sobre los medios de protección solar (persianas). Estas premisas consideran un supuesto en el que los ocupantes no accionan las persianas manualmente durante las fluctuaciones de temperatura interior, hecho que se aleja de la realidad, pero que busca cuantificar la evolución de las temperaturas interiores a lo largo del año en un sistema con nula actuación sobre la protección solar⁶. En todo caso, este será otro punto clave del estudio, ya que las operaciones con las protecciones solares móviles de forma manual requerirían de una atención que no siempre es posible en la forma de vida moderna.

La Figura 5.33 muestra los valores de temperaturas >25°C. La incidencia de unos mayores aportes internos incorporados (una media de 4,8 W/m²) hace que los valores anuales de inconfort sean mayores que en el modelo optimizado, con aportes internos de 1,6 W/m². En este caso ninguna de las tipologías entra dentro de la zona de confort del PHI.

⁵ En el Capítulo 6 se realiza un estudio sobre la influencia de los aportes internos en el confort.

⁶ Señalar que ha sido habitual en algunas promociones no incorporar persianas en cuartos de estar, pero debido a las quejas de los vecinos o a las actuaciones de los mismos instalando persianas por el exterior, es una decisión que no se suele adoptar en la actualidad.

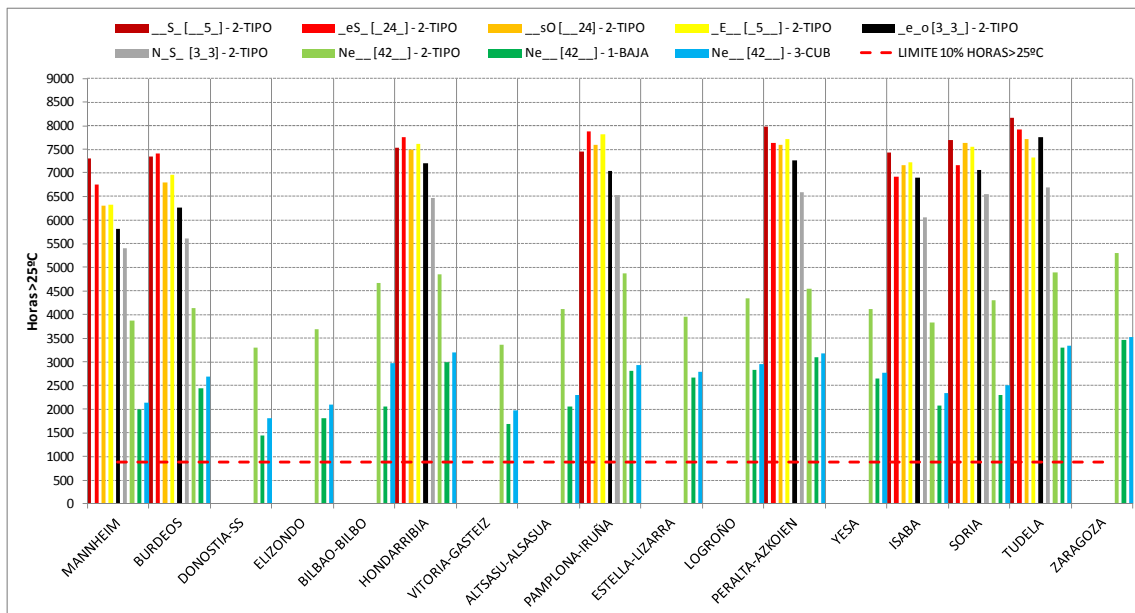


Figura 5.33. Viviendas sin protecciones solares fijas ni móviles, con refrigeración nocturna de (00:00-6:00 h), 6 horas de 4 r/h. Periodos de sobrecalentamiento en horas por encima de 25°C vivienda tipo [Ne__] [Elaboración propia].

A partir del siguiente punto se incorporarán sistemas de protección solar automatizados en función de la temperatura interior para alcanzar valores de protección solar más adecuados con el fin de alcanzar el confort térmico adecuado según los modelos seleccionados.

5.4.3 FASE II: ANALISIS CON SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN ACTIVA

5.4.3.1 CRITERIOS Y OBJETIVOS

Se establecen unas protecciones solares móviles graduales metálicas de alta reflectancia (80%) tipo veneciana. Esta es una tipología de persiana común en Centroeuropa ya que evita los puentes térmicos generados por las cajas de persiana, más habituales en el ámbito de estudio. En la Figura 5.34 se muestra un modelo habitual de lamas orientables presente en el mercado con un sistema de reducción de los puentes térmicos.



Figura 5.34. Sistema de protección solar Lamisol de Griesser [Griesser].

Las protecciones solares móviles se programan para cerrarse a partir de una temperatura interior mayor de 23°C. A este respecto, como ya se comentó, esta situación difícilmente se corresponde con la realidad ya que los patrones de uso de las persianas suelen determinarse más por criterios psicológicos que de control de temperatura salvo en los casos extremos de una fuerte radiación. En el estudio mencionado del CIBSE TM36, las persianas se programan siguiendo un criterio de ocupación, cerrándolas en función de la radiación solar pero solamente en las horas en que la vivienda permanece desocupada [CIBSE 2005]. En nuestro caso, se busca explorar las posibilidades de reducción del sobrecalentamiento con esta acción, si bien entendemos que en una estructura construida de persiana adosada a la carpintería puede no ser muy realista debido al grado de desconexión con la realidad que puede tener⁷. Se mantiene la programación durante todo el año, aunque lógicamente en la práctica las protecciones exteriores serían reguladas en función de las condiciones climáticas y las necesidades de iluminación natural. Señalar sobre este aspecto que el mencionado estudio de viviendas Passivhaus en clima Mediterráneo [SCHNIEDERS 2009] establece el funcionamiento de las persianas exclusivamente en verano, opción que tiene su lógica en obtener la máxima captación solar durante este periodo. Sin embargo, tanteos iniciales con un patrón de funcionamiento similar arroja periodos de sobrecalentamiento y demandas anuales de refrigeración fuera de los máximos del estándar⁸. En la Tabla 5.4 se muestran los patrones de funcionamiento de las protecciones solares.

⁷ Existen sistemas de protección solar más avanzados que permiten prescindir de la radiación solar sin oscurecer las estancias, generalmente en sistemas que incorporan terrazas o mecanismos exteriores adosados a la fachada.

⁸ Los valores de aportes internos inferiores y la tipología de vivienda estudiada en dicho documento, vivienda unifamiliar adosada, pueden estar detrás de las divergencias con este estudio.

Tabla 5.4. Tipología y programación de la protección solar exterior móvil.			
Tipología	Protección solar fija	Protección solar móvil	
		Control	Funcionamiento
[Ne_]	No	Si $T^{a_{int}} > 23^{\circ}\text{C}$ cerrada	Activado todo el año
[N_S_]	Fachada sur 1,5 m		
[_E_] ⁹	Fachada este 1,5 m		
[_e_o]	No		
[_sO]	Fachada sur 1,5 m		
[_eS_]	Fachada sur 1,5 m		
[_S_]	Fachada sur 1,5 m		
[Elaboración propia]			

En cuanto a los sistemas HVAC (Tabla 5.5), se mantienen los establecidos en la Fase I. Sin embargo, en este modelo se estudia una ventilación natural calculada por el programa de simulación en función del clima exterior sin considerar la acción del viento (solo efectos térmicos) con las ventanas abiertas un 10% durante 12 horas (21:00-9:00 h) para comparar los valores con el sistema sin ventilación nocturna. Con esto se busca introducir la consideración del efecto del clima local en el cómputo de las r/h que se producen por diferencia térmica y de su dependencia de la superficie de apertura.

⁹ En la tipología [_E_] se incorpora una protección solar horizontal, que en principio no es la óptima para este tipo de orientaciones. Sin embargo, la alta exposición de esta tipología cuya única orientación es la este, junto con la combinación de esta tipología con otras dentro de una edificación, hace que sea apropiado incorporar un voladizo de estas características a modo de terraza para rebajar la incidencia solar sin recurrir al uso permanente de las persianas para evitar el asoleamiento.

Tabla 5.5. Sistemas HVAC con sistema de refrigeración activa			
Componente	Programación	Consigna	Valor adoptado
Ocupación	Ocupación CTE		0,038 personas/ m ²
Ventilación Mecánica suave	Todo el año 24 h		8,33 l s/persona
Recuperador de calor sensible 85%	1 de octubre al 30 abril.	Economizador si Temperatura interior >24°C o si temperatura exterior >20°C	
Ventilación nocturna de verano	En las ocasiones que se incorpora, 12 horas (21:00-9:00 h) 10% de la superficie de las ventanas (osciladas). Del 1 mayo-30 septiembre.	Si la temperatura interior es superior a 20 °C y la exterior al menos es igual o menor que de la interior	
Economizador		Activado cuando se apaga recuperador	
Calefacción	1 de octubre al 30 abril 24 h	Activado Si temperatura <20°C	
Refrigeración	Todo el año	Activado Si temperatura >26°C	
Deshumificación	Opcional	HR>70%	
Protección solar externa	Todo el año activa	Persianas bajadas si temperatura interior >23°C	

[Elaboración propia]

5.4.3.2 LIMITES MÁXIMOS DEL PHI EN REFRIGERACIÓN EN LAS CIUDADES DE REFERENCIA ESTUDIADAS.

Como se señala en los criterios de certificación del PHI, el máximo valor de demanda de energía de refrigeración se ha modificado para cubrir un mayor campo de climas del planeta, incluyendo unos valores mayores en la energía necesaria para deshumidificar. En la Tabla 5.6 recordamos los criterios de certificación del PHI expuestos más extensamente en el Capítulo 2.

Tabla 5.6. Valores máximos de energía para refrigeración (incluida deshumidificación) según los criterios vigentes a fecha de (13-09-2013)	
Demanda total de refrigeración:	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) + 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{aK})\cdot\text{DDH}$,
o alternativamente carga de refrigeración:	$\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$ y la demanda de refrigeración $\leq 4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) - \theta_e + 2,0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{aK})\cdot\text{DDH} - 75 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ y nunca mayor que $45 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) + 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{aK})\cdot\text{DDH}$ Siendo: θ_e : La temperatura media exterior anual DHH (Dry degree hours): Horas de temperatura seca (tiempo absoluto de la diferencia entre el punto de rocío y la temperatura de referencia de 13° en todos los periodos que sea positiva).

[Elaboración propia a partir de [FEIST 2012]

Como se indicó en dicho Capítulo 2, lo criterios de energía para refrigeración sensible y latentes son provisionales y pueden sufrir “adaptaciones con el avance del conocimiento” [FEIST 2012]. En todo caso, son valores que afectan especialmente a climas cálidos y húmedos aumentando los valores de energía para refrigeración latente especialmente. Estos valores máximos se incorporan a partir de la versión del año 2012 de la herramienta de certificación PHPP, indicándose únicamente los valores para

algunas capitales de provincia españolas. Además, la base climática utilizada para calcular dichos valores es la proporcionada por la agencia americana NASA Langley Research Center Atmospheric Sciences Data Center POWER Project [SCHNIEDERS *et ál.* 2011]. Para el cálculo del valor de DDH, en este estudio se utilizan los valores climáticos proporcionados por Meteonorm [REMUND *et ál.* 2012], produciéndose pequeñas divergencias¹⁰. La metodología de cálculo la podemos encontrar en [SCHNIEDERS *et ál.* 2011]. El rango de de estas desviaciones las vemos en el ejemplo de la Tabla 5.7.

	PHPP 2012	METEONORM	PASSIPEDIA
Sevilla	9,55	6,68	0
Madrid (Barajas)	0	0,55	0
Lleida	4,45	9,47	0
Lisboa	5	7,05	0,07

[Elaboración propia]

En cualquier caso, como hemos comentado, los valores son relativamente bajos, ya que la metodología se aplica especialmente a países tropicales cálidos y húmedos con el fin de ampliar el margen de climas en los cuales el estándar pueda ser de aplicación, en especial climas con cargas bajas de refrigeración sensible pero con cargas altas de refrigeración latente y continuada a lo largo del año. A partir de los datos de Meteonorm, los valores anuales de Grados Día Secos en base 13°C (DDH) que obtenemos se expresan en la Tabla 5.8. Se aprecia cómo el efecto de la ampliación del margen de energía para refrigeración se produce particularmente en la ciudad costera (Hondarribia), la que tiene el ambiente exterior más húmedo, en la que pasamos del límite de 15 kWh/m²a a 18,03 kWh/m²a.

Zona climática-Ciudad de Referencia	DDH (kKH)	Límite de energía para refrigeración
Z0-Burdeos	5,14	16,54
Z1-Hondarribia	10,08	18,03
Z2-Pamplona	3,80	16,14
Z3,Z4,Z5-Peralta	4,35	16,30
Z6-Tudela	3,64	16,09
Z7-Isaba	1,32	15,40

[Elaboración propia]

5.4.3.3 RESULTADOS

Como hemos señalado, en las simulaciones en las que se incorpora refrigeración activa se valora en primer lugar las demandas de refrigeración anual y la carga media diaria de refrigeración puesto que los criterios de confort se consideran alcanzados al estar el sistema dotado de una consigna de refrigeración situada en 26°C.

5.4.3.3.1 DEMANDA ANUAL DE REFRIGERACIÓN. SISTEMA SIN VENTILACIÓN NATURAL NOCTURNA

¹⁰ Un estudio sobre dichas divergencias lo encontramos en [MONTEYNE 2013]

La demanda de refrigeración se mantiene por debajo de los límites en todas las ciudades de referencia, sin embargo, el aumento de la demanda no mantiene una relación directa con la proximidad al mar. La ciudad de Hondarribia tiene demandas de energía para refrigeración mayores que las de Pamplona-Iruña, aproximándose a las de Peralta-Azkoien (Fig. 5.35).

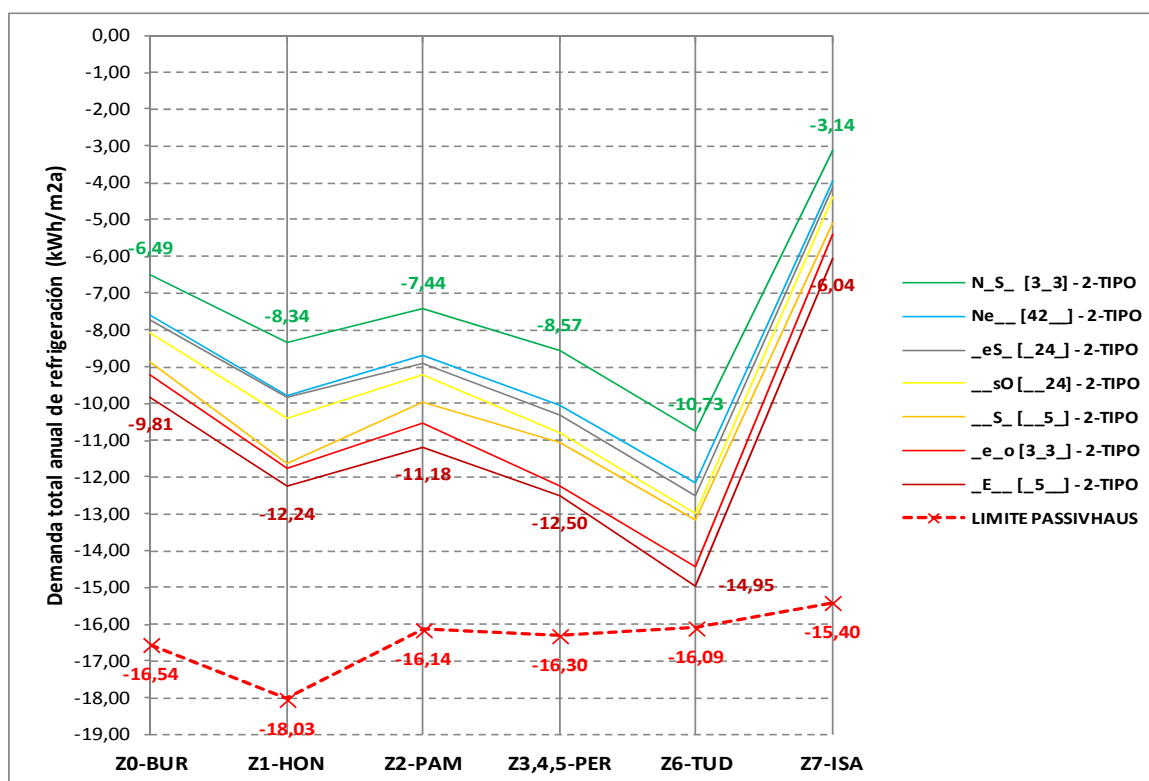


Figura 5.35. Demanda de refrigeración total anual (kWh/m²a) sin ventilación natural nocturna [Elaboración propia].

Este desajuste se entiende si se observa la gráfica de demanda de refrigeración diferenciada en demanda sensible y latente (Fig. 5.36). En el caso de la demanda de refrigeración latente, la ciudad de Hondarribia presenta valores superiores a la tendencia, debido a la mayor humedad ambiental de la villa costera.

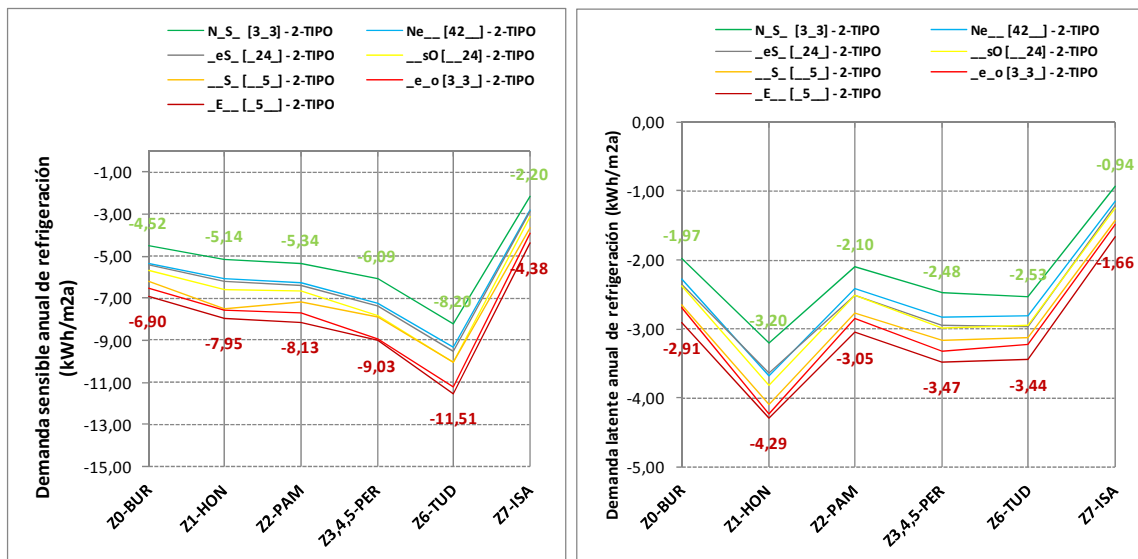


Figura 5.36. Demanda de refrigeración sensible y latente anual (kWh/m²a) sin ventilación natural nocturna [Elaboración propia].

5.4.3.3.2 CARGA DE REFRIGERACIÓN MÁXIMA MEDIA DIARIA

En cuanto a las cargas de refrigeración (Fig. 5.37), la mayor diferencia la observamos en el ranking en el que las viviendas con orientaciones [_sO] y [_e_o] que se destacan con los valores más altos. También se observa que Hondarribia presenta los picos máximos de carga latente de refrigeración.

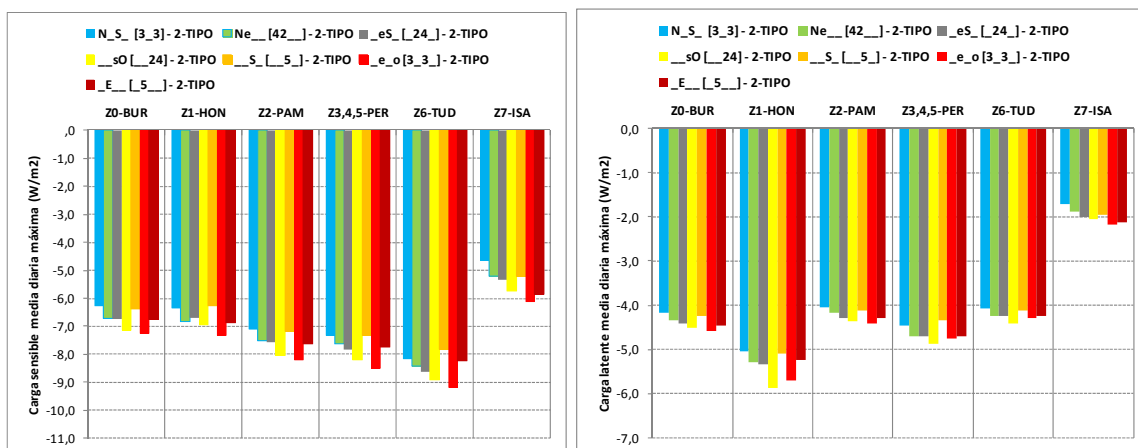


Figura 5.37. Carga media diaria máxima sensible y latente de refrigeración (W/m²) [Elaboración propia].

La carga total media de refrigeración se representa en la Figura 5.38. En este caso, la tipología [_e_o] presenta las mayores demandas en todas las ciudades de referencia, con valores entorno a los 13,0 W/m².

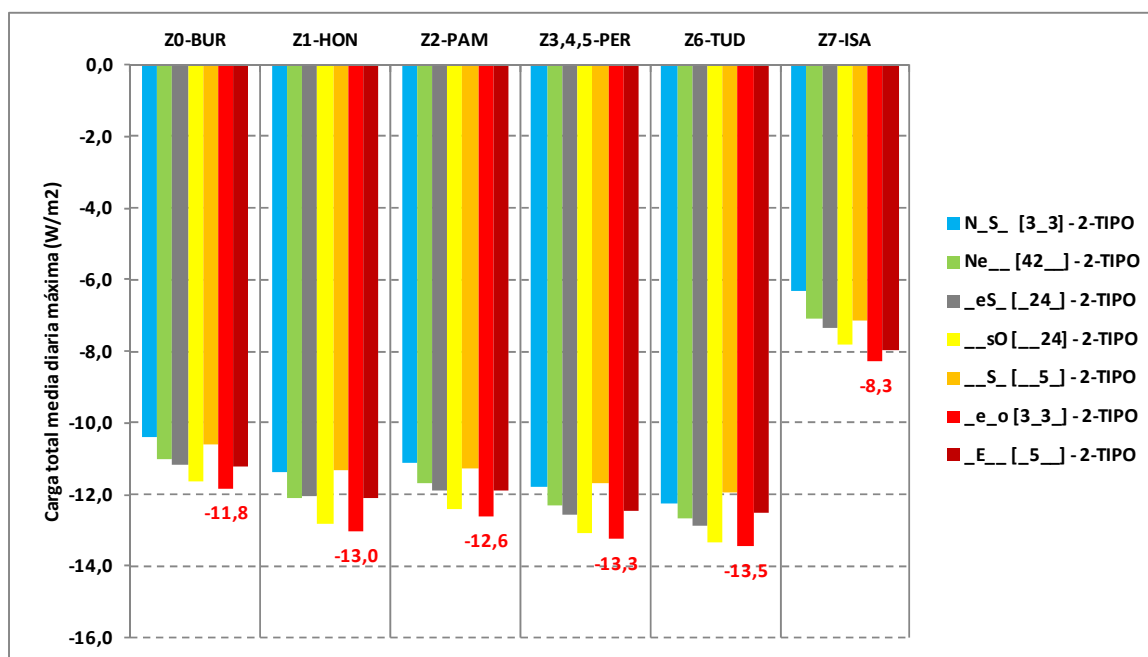


Figura 5.38. Carga media diaria máxima de refrigeración (W/m^2) [Elaboración propia].

5.4.3.3 SISTEMA CON REFRIGERACIÓN ACTIVA Y VENTILACIÓN NATURAL NOCTURNA DE BAJA INTENSIDAD

Se incorpora un sistema de ventilación programado consistente en la apertura de las ventanas un 10% (posición oscilada), durante 12 h (21:00-9:00 h) siempre que la temperatura interior sea mayor de 20°C y la exterior sea al menos igual o menor. La introducción de la ventilación nocturna, aunque de baja intensidad, tiene efectos notables en la reducción de la demanda de energía para refrigeración, reduciendo a la mitad los valores de demanda de energía para refrigeración (Fig. 5.39).

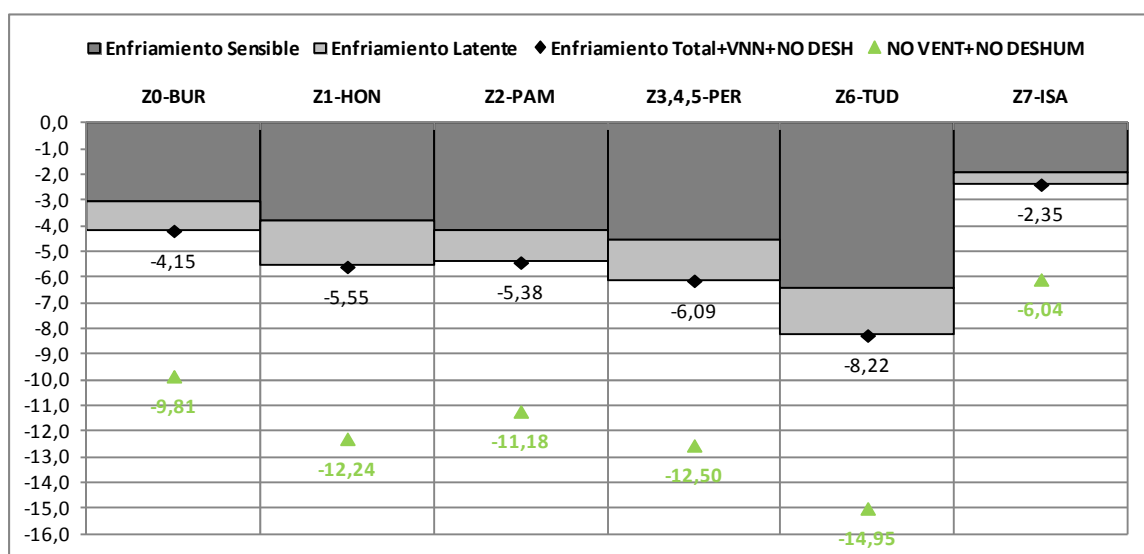


Figura 5.39. Planta tipo [*E*]. Demanda de refrigeración total anual (kWh/m^2a) abriendo las ventanas un 10% (osciladas) durante 12 h (21:00-9:00 h) comparado al sistema sin ventilación natural nocturna [Elaboración propia].

La Figura 5.40 nos permite comparar las demandas de refrigeración en varios supuestos: sin ventilación nocturna, con ventilación nocturna de baja intensidad y sin deshumidificación y con ventilación nocturna de baja intensidad con deshumidificación (regulada al 70%). Los valores más bajos se corresponden al modelo ventilado pero en el que no se practica la deshumidificación con el sistema de refrigeración instalado. Sin embargo, especialmente en el caso de Hondarribia, introducir aire del exterior aporta una alta tasa de humedad en el aire interior, cuestión que se aprecia si activamos la deshumidificación. En el resto de ciudades de referencia la deshumidificación no tiene un efecto apreciable.

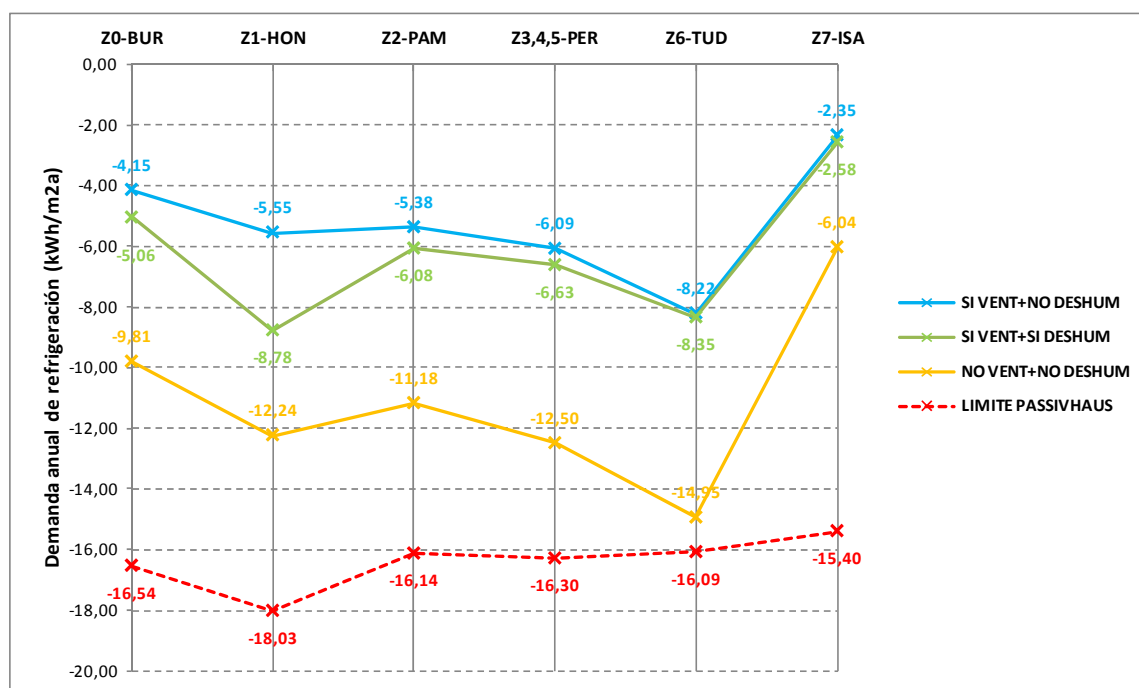


Figura 5.40. Comparativa de la demanda de refrigeración total anual (kWh/m²a) en la vivienda Tipo [E] abriendo las ventanas un 10% (osciladas) durante 12 h (21:00-9:00 h) sin deshumidificación, con deshumidificación y en un tercer caso sin ventilación natural ni deshumidificación [Elaboración propia].

Un análisis de la evolución de la humedad relativa en el interior de la vivienda comparando el sistema con ventilación nocturna y sin ventilación nocturna permite visualizar el efecto descrito. Introducir aire exterior permite bajar la temperatura interior, pero por otro lado esto provoca un aumento de la humedad relativa con picos del 87% en el periodo visualizado (mes de julio) en la ciudad de Hondarribia (Fig. 5.40).

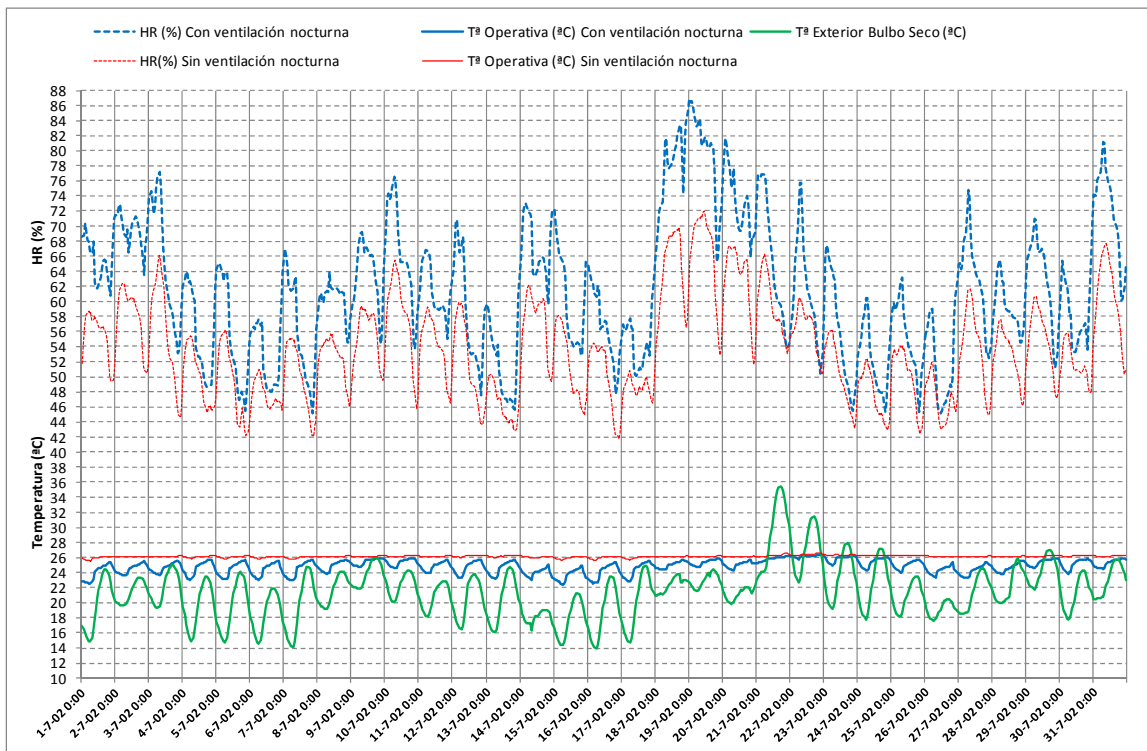


Figura 5.41. Zona 1-Hondarribia. Evolución de la temperatura exterior y la temperatura operativa interior y humedad relativa interior en el mes de julio para la vivienda Tipo [E]. Efecto de la ventilación natural nocturna comparado con modelo sin ventilación nocturna [Elaboración propia].

En las ciudades del interior, con humedades exteriores más bajas, no se produce un aumento tan alto de la humedad relativa en el interior con el proceso de ventilación por ejemplo en Tudela (Fig. 5.41).

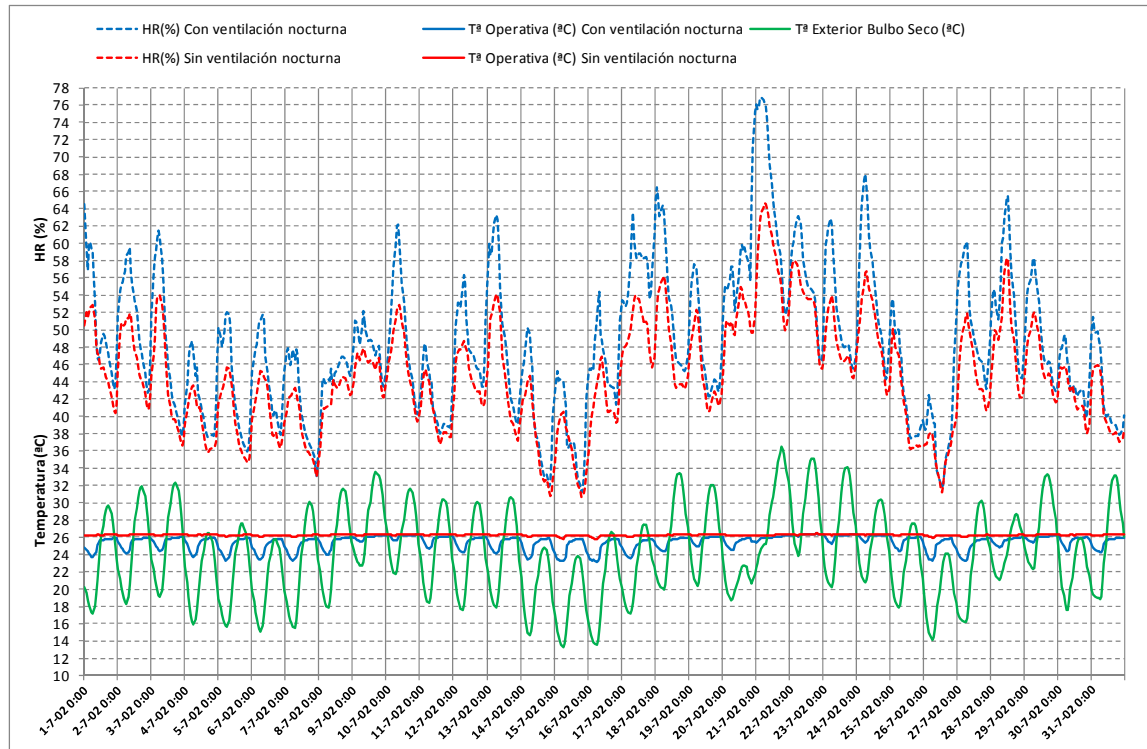


Figura 5.42. Zona 6-Tudela. Evolución de la temperatura exterior y la temperatura operativa interior y humedad relativa interior en el mes de julio para la vivienda Tipo [_E_]. Efecto de la ventilación natural nocturna comparado con modelo sin ventilación nocturna [Elaboración propia].

5.4.3.3.4 CONFORT ANUAL

Aunque en este caso las viviendas cuentan con refrigeración activa, la temperatura de consigna establecida en 26°C no evita que se den numerosas horas por encima de los 25°C, desapareciendo sin embargo los periodos por encima de 28°C. La Figura 5.43 nos muestra además que la ciudad de Hondarribia lidera el ranking de ciudades con temperaturas más altas para todos los tipos en el caso de no dotar de ventilación nocturna a las viviendas.

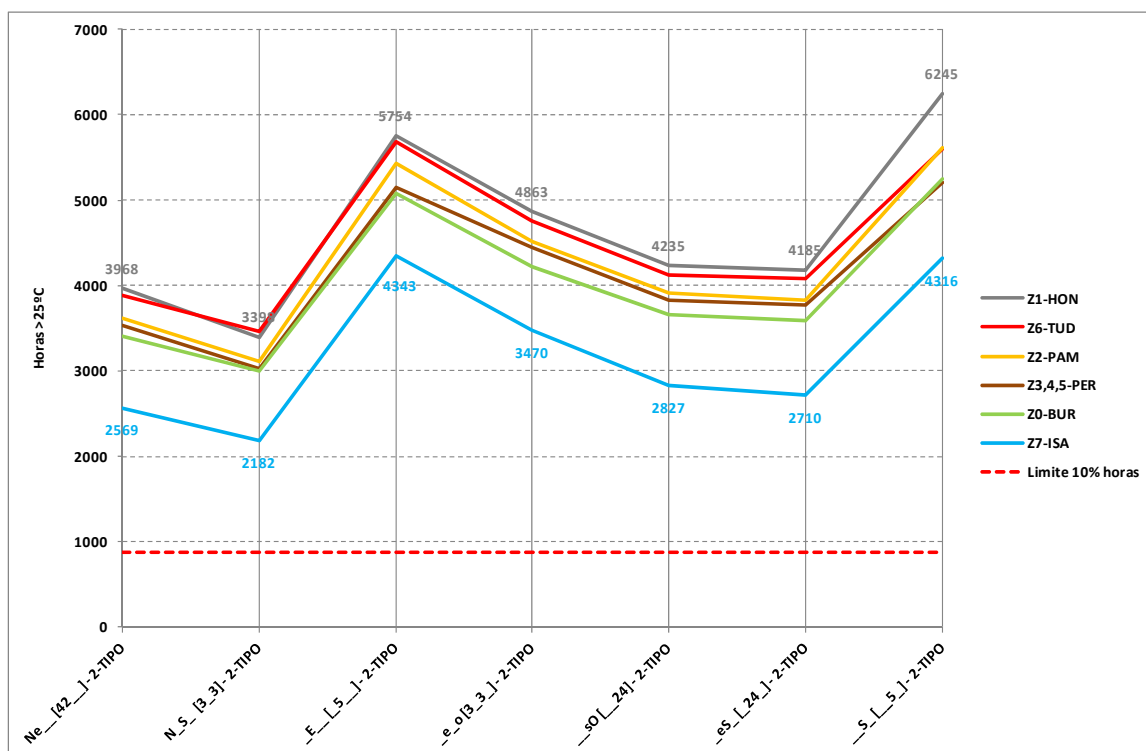


Figura 5.43. Número de horas anuales por encima de 25°C para todos los tipos analizados en las ciudades de referencia. Sistema con refrigeración activa y sin ventilación nocturna [Elaboración propia].

5.4.3.4 ANALISIS DETALLADO DEL CONFORT

A la vista de los resultados anteriores, se detalla mediante gráficos de confort el funcionamiento de la tipología con mayor demanda anual de refrigeración (kWh/m²a), correspondiéndose esta con la vivienda tipo [E] en la ciudad más cálida de cada zona climática.

5.4.3.4.1 ZONA Z1: CIUDAD DE REFERENCIA HONDARRIBIA

En Hondarribia las temperaturas anuales se mantienen entre los 22°C y los 26°C con máximas durante el verano de 26,5°C. Durante el invierno se mantienen las humedades relativas dentro del rango de confort (Fig. 5.44).

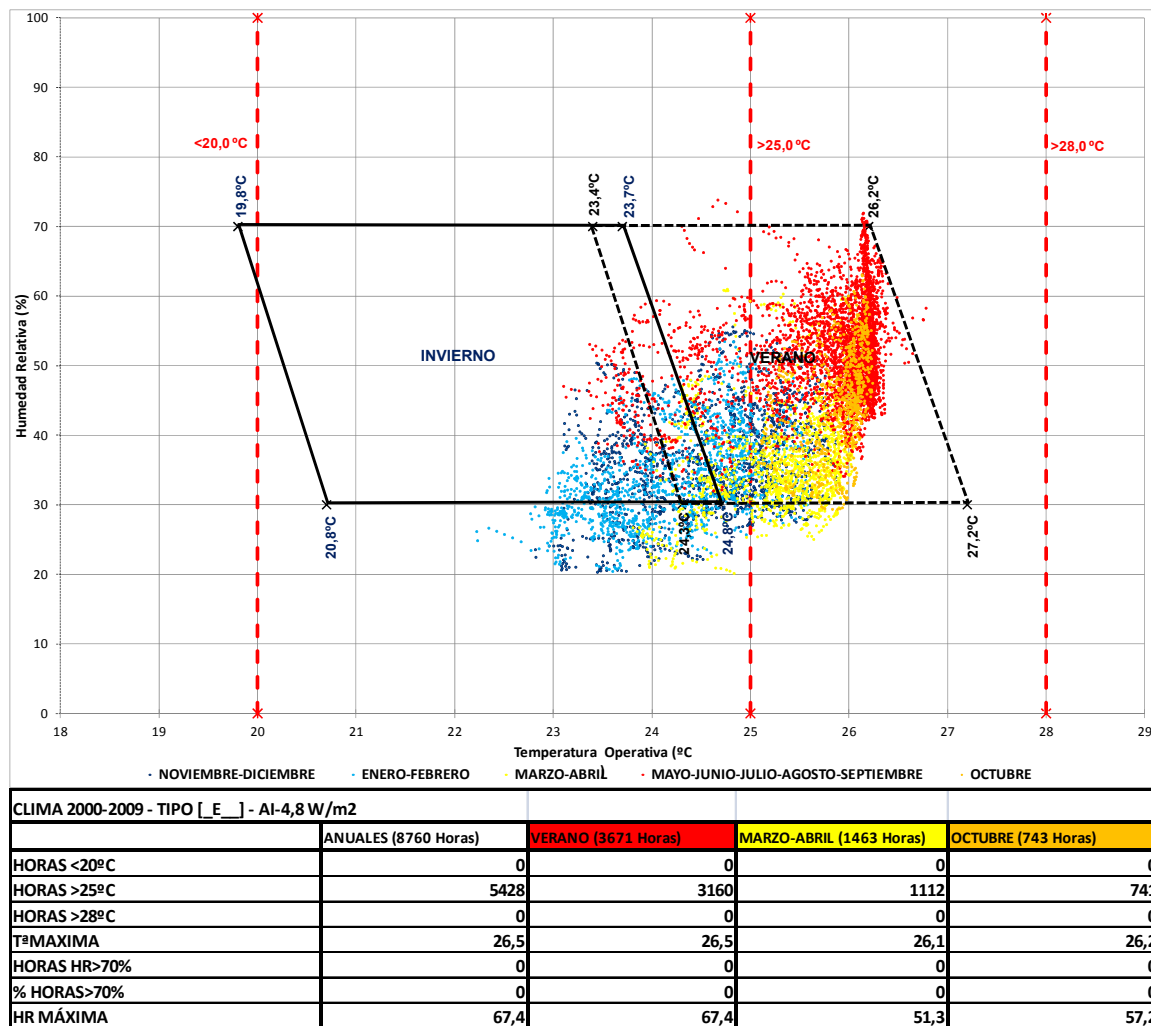


Figura 5.44. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 1-Hondarribia para la vivienda Tipo [E]. Caso con calefacción y refrigeración en el aire de impulsión. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

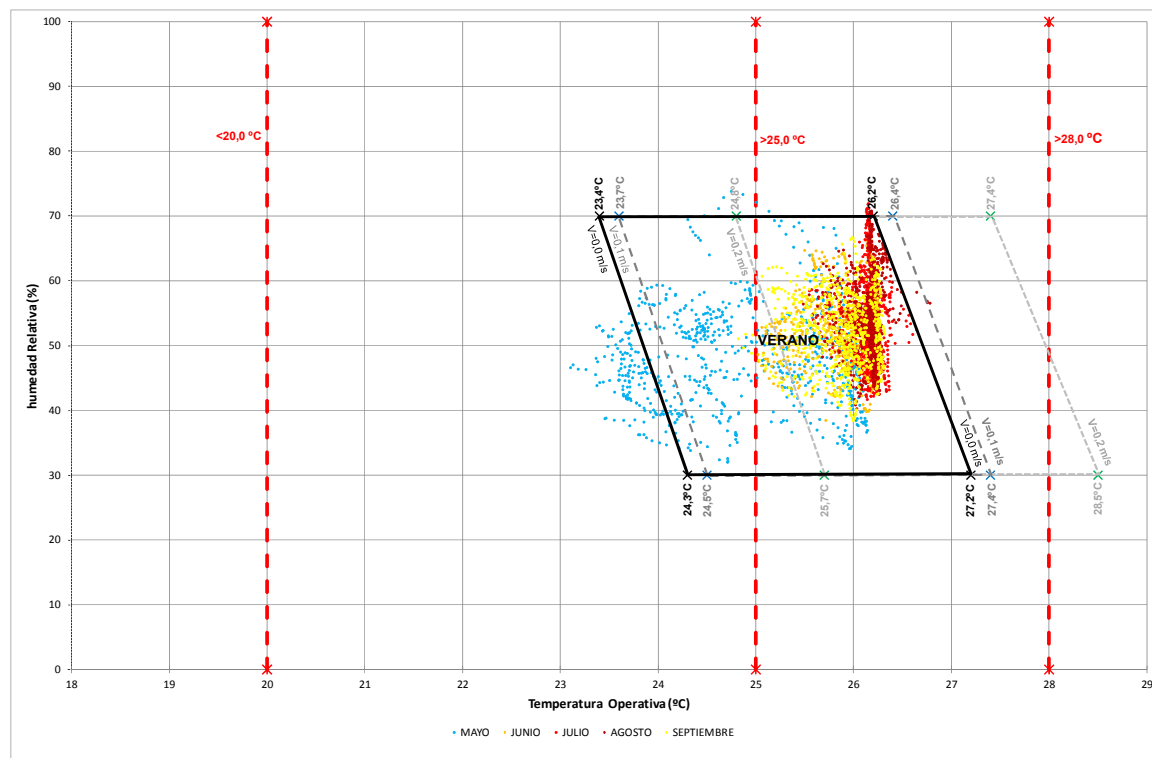
Resultan las siguientes demandas de energía y cargas medias diarias de refrigeración, Tabla 5.9:

Tabla 5.9. Zona 1-Hondarribia. Demandas de refrigeración y cargas medias diarias máximas para la vivienda tipo [E]			
	Sin ventilación nocturna	Con ventilación nocturna y deshumidificación	Con ventilación nocturna y sin deshumidificación
Demanda de refrigeración sensible (kWh/m ² a)	7,95	5,22	3,82
Demanda de refrigeración latente (kWh/m ² a)	4,29	3,56	1,73
Demanda de refrigeración total (kWh/m ² a)	12,24	8,78	5,55
Carga de refrigeración sensible media 24h (W/m ²)	6,9	6,1	5,1
Carga de refrigeración latente media 24h (W/m ²)	5,3	6,7	3,3
Carga de refrigeración total 24h (W/m ²)	12,2	12,8	8,4

[Elaboración propia]

En la Figura 5.45 se desglosa en comportamiento de la vivienda durante los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre en el gráfico de confort. Vemos que en el modelo

sin ventilación natural nocturna no se superan las humedades relativas del 70%, manteniéndose en el centro del verano unas temperaturas que giran alrededor de los 25-26°C.



CLIMA 2000-2009 - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2							
	VERANO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	
HORAS <20°C	0	0	0	0	0	0	0
HORAS >25°C	3160	349	665	744	744	658	
HORAS >28°C	0	0	0	0	0	0	
Tª MÁXIMA	26,5	26,2	26,4	26,4	26,5	26,3	
HORAS HR>70%	0	0	0	0	0	0	
% HORAS>70%	0	0	0	0	0	0	
HR MÁXIMA	67,4	65,9	67,4	59,1	63,1	66,6	

Figura 5.45. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 1-Hondarribia para la vivienda Tipo [E]. Periodo estival del 1-05 al 30-09. Playa de confort en verano UNE-ISO 7730. CATEGORIA II - 1,1 MET - 0,5 CLO - V= 0,0 - 0,2 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

En la Figura 5.46 se observa cómo la temperatura interior se mantiene de forma casi constante durante todo el mes de julio.

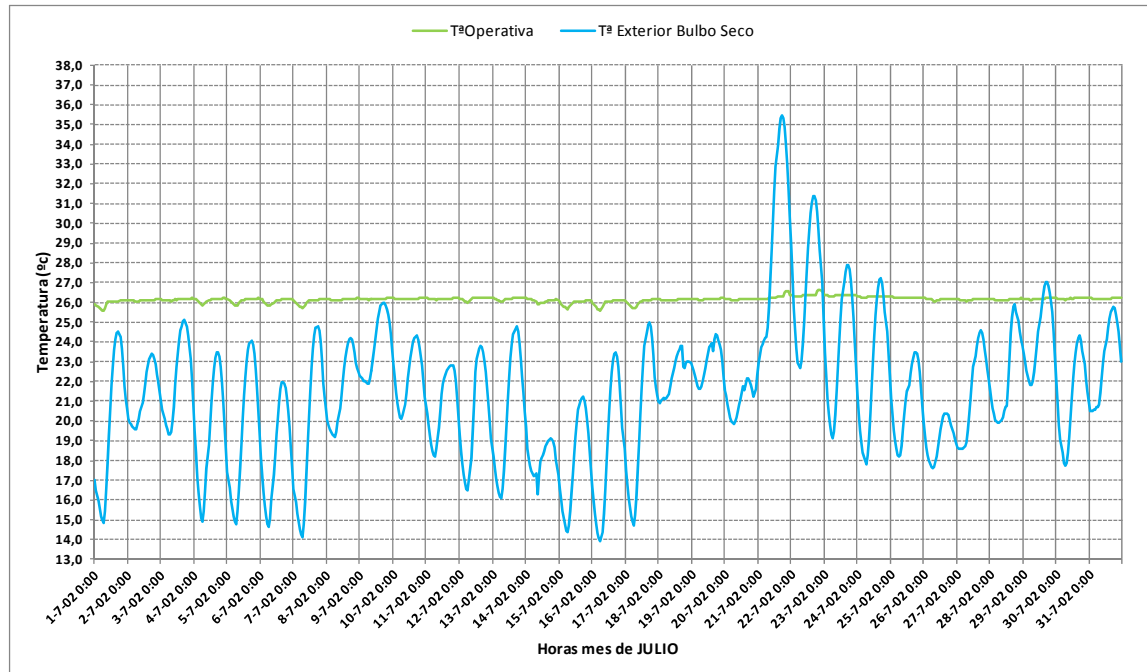


Figura 5.46. Zona 1-Hondarribia. Evolución de la temperatura exterior y la temperatura operativa interior y humedad relativa interior en el mes de julio para la vivienda Tipo [E_] [Elaboración propia].

INCORPORACIÓN DE LA VENTILACIÓN NOCTURNA NATURAL

En el caso de Hondarribia, ciudad costera con un alto grado de humedad, observamos que la ventilación nocturna a través de las ventanas provoca un aumento considerable de las horas con una humedad por encima del 70% durante los meses de verano, alcanzando valores cercanos al 90%. Los valores máximos se alcanzan en el mes de agosto, con una máxima HR del 87,4% y un 23% de horas por encima del 70% (Fig. 5.47).

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

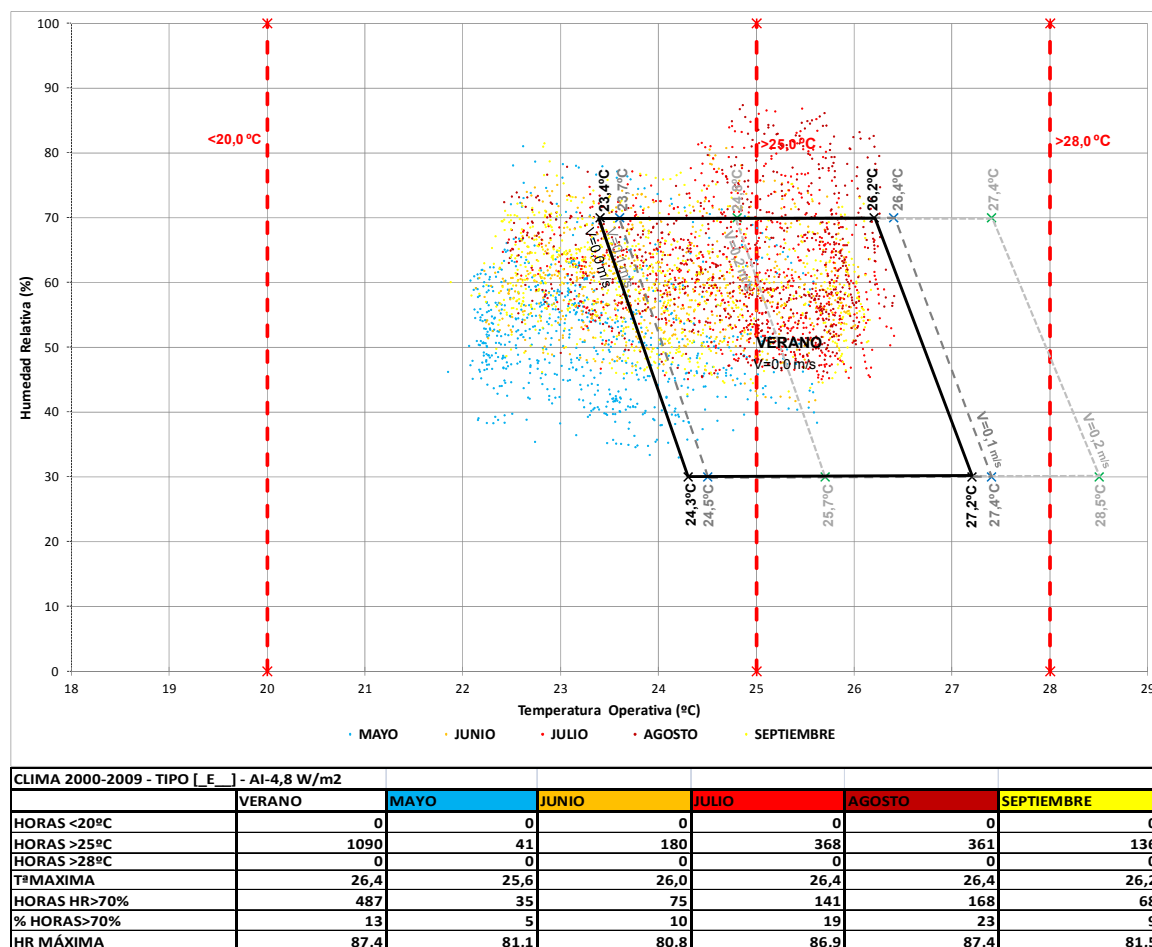


Figura 5.47. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 1-Hondarribia para la vivienda Tipo [E]. Periodo estival del 1-05 al 30-09. Playa de confort en verano UNE-ISO 7730. CATEGORIA II - 1,1 MET - 0,5 CLO - V= 0,0 - 0,2 m/s, HR 30% - 70%. Ventilación nocturna ventanas osciladas (10% superficie total) 12 h (21:00-9:00 h) [Elaboración propia].

La utilización del aire exterior nocturno provoca un descenso del consumo de energía para refrigeración, no tanto de las temperaturas máximas, pero sí con una reducción de las temperaturas medias. En la Figura 5.48 se muestra la evolución de la temperatura interior durante el mes de julio.

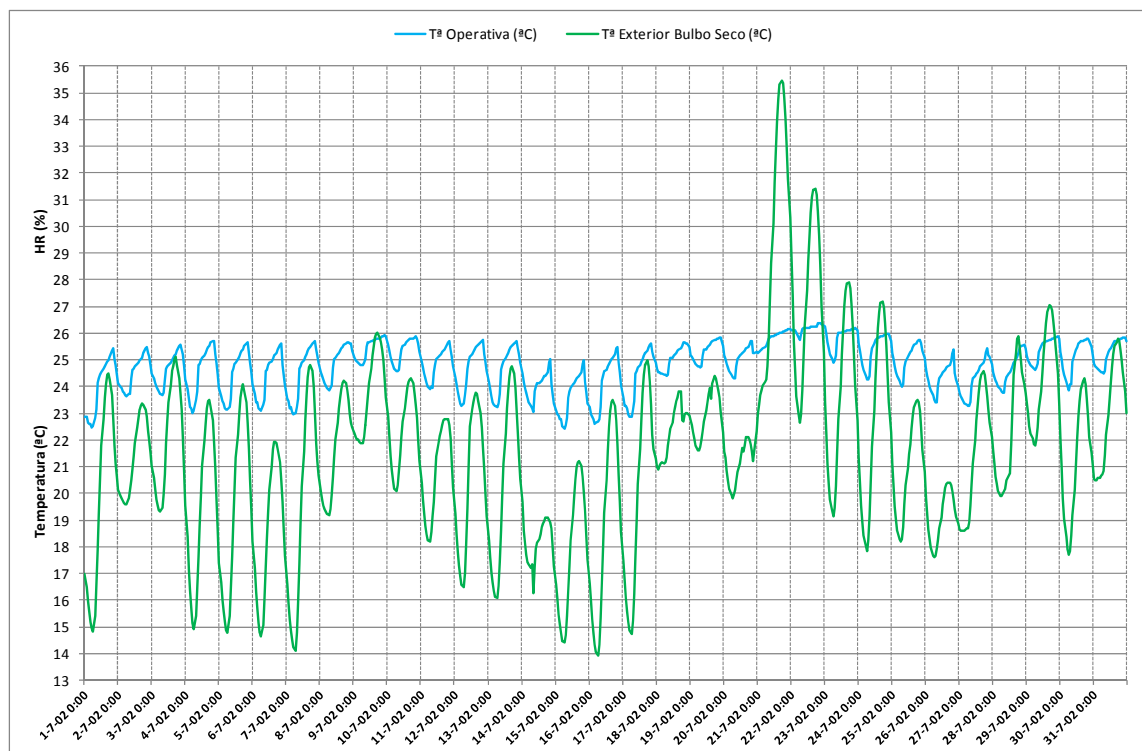
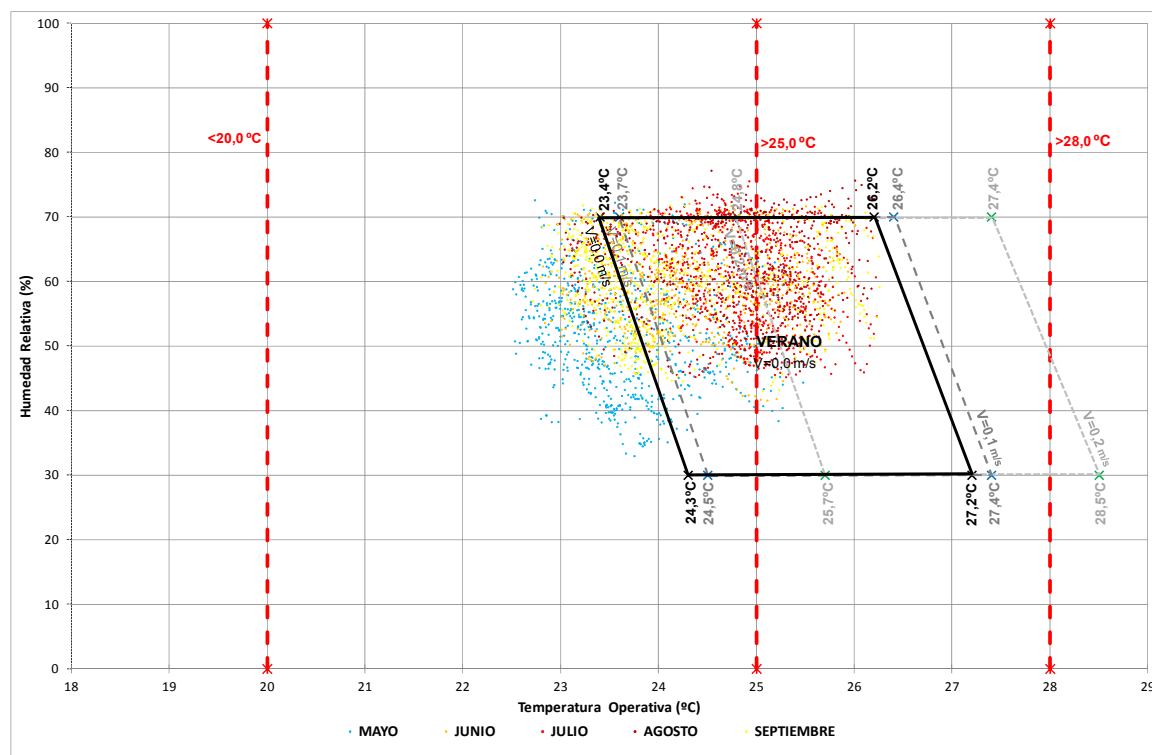


Figura 5.48. Zona 1-Hondarribia. Evolución de la temperatura exterior y la temperatura operativa interior y humedad relativa interior en el mes de julio para la vivienda Tipo [E]. Efecto de la ventilación natural nocturna [Elaboración propia].

La utilización de la ventilación natural nocturna necesitaría de un sistema de deshumidificación, en cuyo caso el sistema se comportaría como el expuesto en la Figura 5.49.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal



CLIMA 2000-2009 - TIPO [E] - AI-4,8 W/m ²							
	VERANO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	
HORAS <20°C	0	0	0	0	0	0	0
HORAS >25°C	941	23	171	290	310	141	
HORAS >28°C	0	0	0	0	0	0	
T ^o MAXIMA	26,3	25,3	25,9	26,2	26,2	26,3	
HORAS HR>70%	275	14	45	88	101	27	
% HORAS>70%	7	2	6	12	14	4	
HR MÁXIMA	77,2	72,6	73,0	75,6	77,2	71,9	

Figura 5.49. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 1-Hondarribia para la vivienda Tipo [E]. Periodo estival del 1-05 al 30-09. Playa de confort en verano UNE-ISO 7730. CATEGORIA II - 1,1 MET - 0,5 CLO - V= 0,0 - 0,2 m/s, HR 30% - 70%. Ventilación nocturna ventanas osciladas (10% superficie total) 12 h (21:00-9:00 h) y deshumidificación para HR>70% [Elaboración propia].

El análisis de la evolución horaria de las temperaturas del sistema con ventilación natural nocturna y deshumidificación durante el verano se muestra en la Figura 5.50. Se observan periodos por encima de 25°C prolongados especialmente en las horas nocturnas alcanzando el 36% de las horas nocturnas >25°C en el mes de agosto.

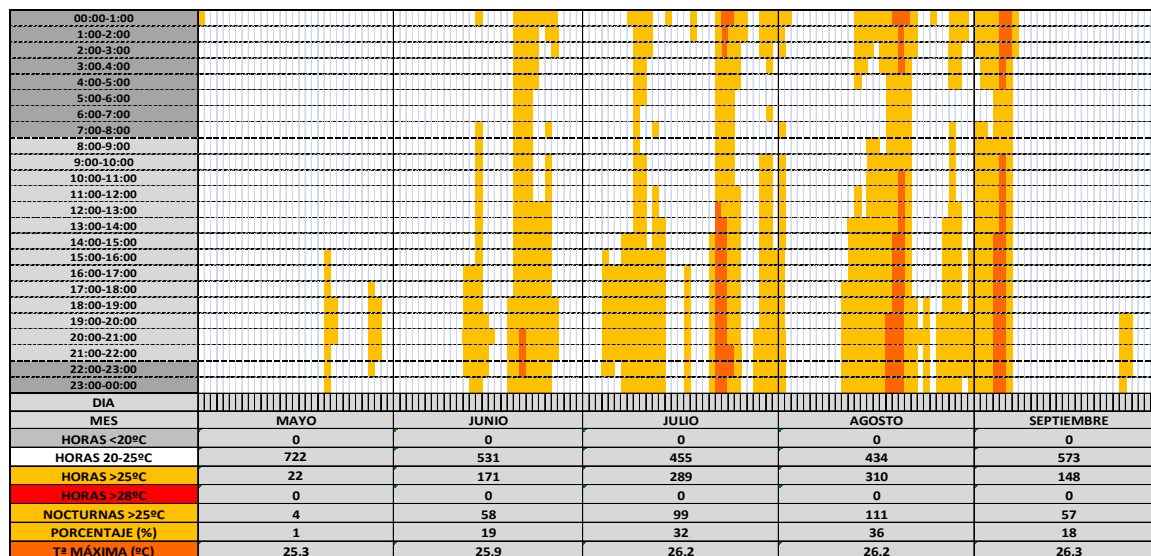


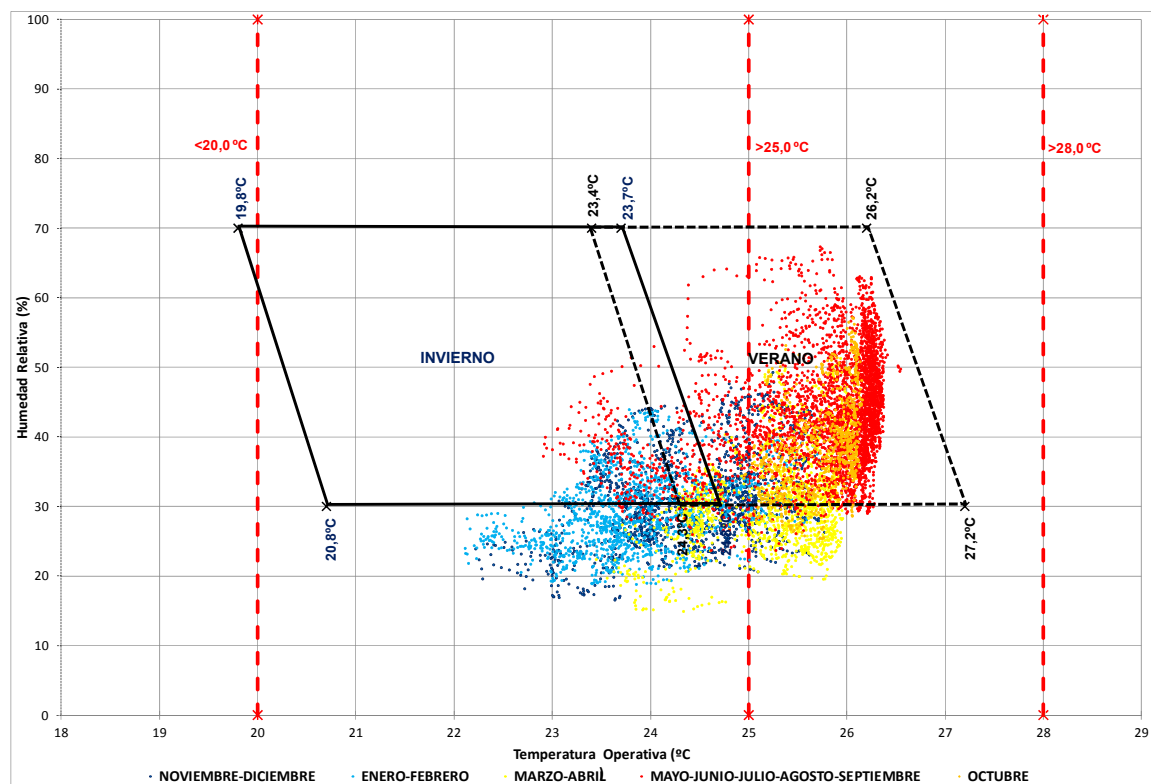
Figura 5.50. Evolución horaria de la temperatura operativa en verano en la Zona 1-Hondarribia para la vivienda Tipo [E]. Horas nocturnas por encima de 25°C y deshumidificación para HR>70% [Elaboración propia].

5.4.3.4.2 ZONA Z2: CIUDAD DE REFERENCIA PAMPLONA-IRUÑA

En Pamplona-Iruña las temperaturas anuales se mantienen entre los 22°C y los 26°C con máximas durante el verano de 26,5°C. El mayor rigor invernal hace que durante el invierno aparezca un grupo de temperaturas más centrado en el área de los 22-23°C (Fig. 5.51).

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal



CLIMA 2000-2009 - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2				
	ANUALES (8760 Horas)	VERANO (3671 Horas)	MARZO-ABRIL (1463 Horas)	OCTUBRE (743 Horas)
HORAS <20°C	0	0	0	0
HORAS >25°C	5428	3160	1112	741
HORAS >28°C	0	0	0	0
Tª MAXIMA	26,5	26,5	26,1	26,2
HORAS HR>70%	0	0	0	0
% HORAS>70%	0	0	0	0
HR MÁXIMA	67,4	67,4	51,3	57,2

Figura 5.51. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 2 Pamplona-Iruña para la vivienda Tipo [E]. Caso con calefacción y refrigeración en el aire de impulsión. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V = 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

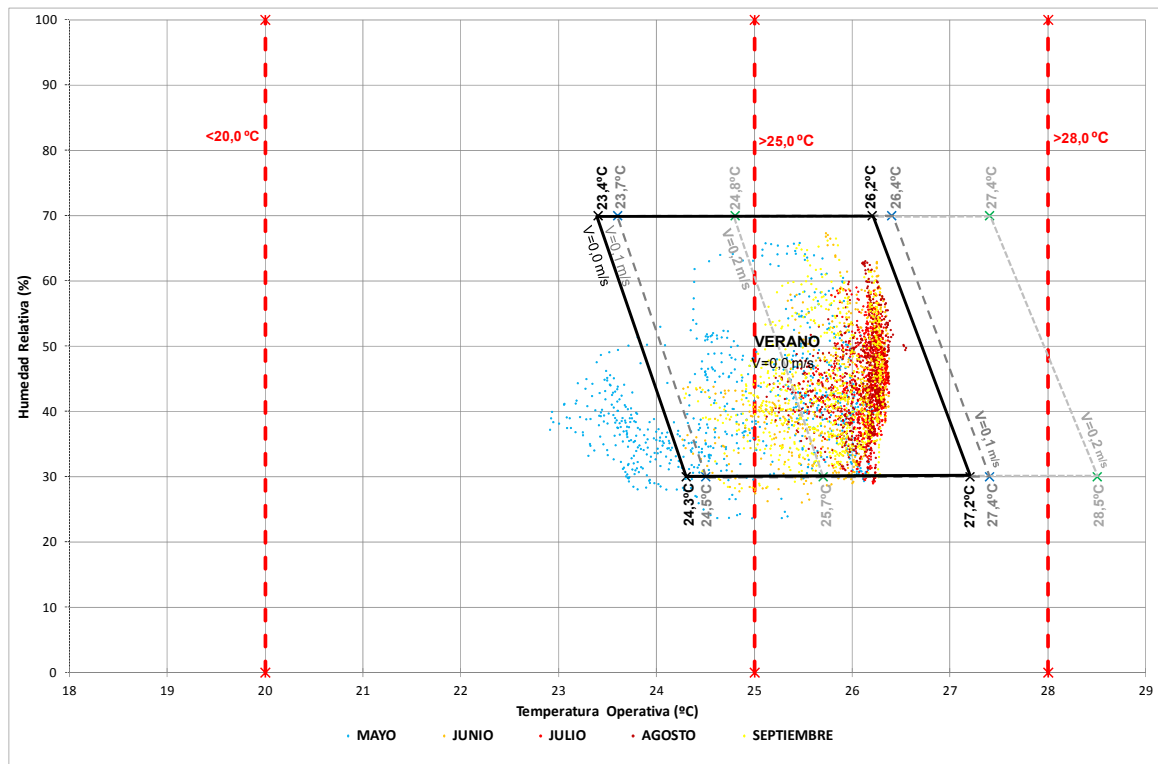
Resultan las siguientes demandas de energía y cargas medias diarias de refrigeración, Tabla 5.10:

Tabla 5.10. Zona 2-Pamplona-Iruña. Demandas de refrigeración y cargas medias diarias máximas para la vivienda tipo [E_]

	Sin ventilación nocturna	Con ventilación nocturna y deshumidificación	Con ventilación nocturna y sin deshumidificación
Demanda de refrigeración sensible (kWh/m ² a)	8,13	4,49	4,17
Demanda de refrigeración latente (kWh/m ² a)	3,05	1,59	1,21
Demanda de refrigeración total (kWh/m ² a)	11,18	6,08	5,38
Carga de refrigeración sensible media 24h (W/m ²)	7,6	6,1	5,6
Carga de refrigeración latente media 24h (W/m ²)	4,3	3,6	2,8
Carga de refrigeración total 24h (W/m ²)	11,90	9,7	8,4

[Elaboración propia]

En la Figura 5.52 se desglosa en comportamiento de la vivienda durante los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre. Las humedades relativas se mantienen dentro de los rangos de confort durante todo el verano.

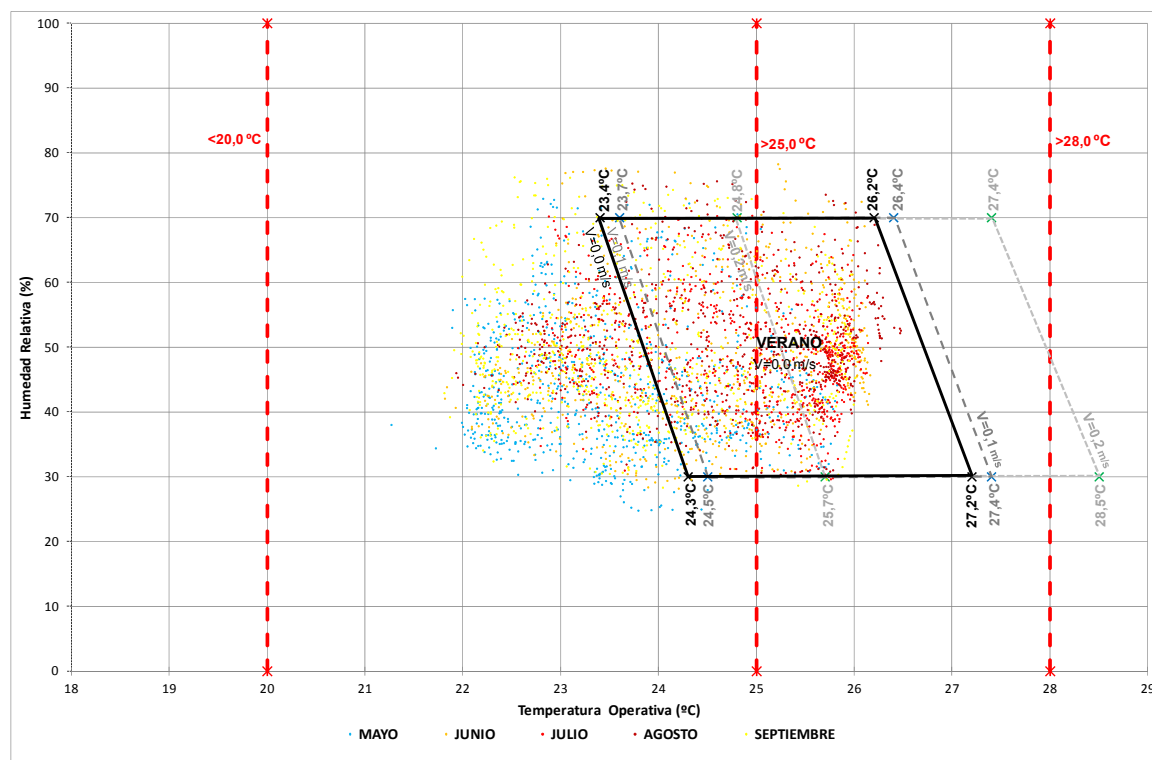


CLIMA 2000-2009 - TIPO [E_] - AI-4,8 W/m2						
	VERANO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
HORAS <20°C	0	0	0	0	0	0
HORAS >25°C	3160	349	665	744	744	658
HORAS >28°C	0	0	0	0	0	0
T ^o MAXIMA	26,5	26,2	26,4	26,4	26,5	26,3
HORAS HR>70%	0	0	0	0	0	0
% HORAS>70%	0	0	0	0	0	0
HR MÁXIMA	67,4	65,9	67,4	59,1	63,1	66,6

Figura 5.52. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 2-Pamplona/Iruña para la vivienda Tipo [E_]. Periodo estival del 1-05 al 30-09. Playa de confort en verano UNE-ISO 7730. CATEGORIA II - 1,1 MET - 0,5 CLO - V= 0,0 - 0,2 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

INCORPORACIÓN DE LA VENTILACIÓN NOCTURNA NATURAL

En el caso de Pamplona/Iruña, la incidencia en el aumento de humedad que provoca la ventilación nocturna es mucho menor. Las máximas se producen en el mes de junio, con una HR del 78,3%, pero los periodos por encima del 70% se reducen a un máximo del 29% en el mes de junio (Fig. 5.53).



CLIMA 2000-2009 - TIPO [_E_] - AI-4,8 W/m2							
	VERANO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	
HORAS <20°C	0	0	0	0	0	0	0
HORAS >25°C	1159	61	281	377	319	118	
HORAS >28°C	0	0	0	0	0	0	
Tª MAXIMA	26,5	25,8	26,2	26,1	26,5	26,0	
HORAS HR>70%	110	13	29	3	26	39	
% HORAS>70%	3	2	4	0	3	5	
HR MÁXIMA	78,3	73,0	78,3	70,4	75,7	76,3	

Figura 5.53. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 2-Pamplona/Iruña para la vivienda Tipo [_E_]. Periodo estival del 1-05 al 30-09. Playa de confort en verano UNE-ISO 7730. CATEGORIA II - 1,1 MET - 0,5 CLO - V= 0,0 - 0,2 m/s, HR 30% - 70%. Ventilación nocturna ventanas osciladas (10% superficie total) 12 h (21:00-9:00 h) [Elaboración propia].

El análisis de la evolución horaria de las temperaturas del sistema con ventilación natural nocturna y sin deshumidificación durante el verano se muestra en la Fig.ura 5.54. Se observan periodos por encima de 25°C prolongados sobretudo en las horas nocturnas alcanzando el 18% >25°C en el mes de agosto coincidiendo con las máximas de 26,5°C.

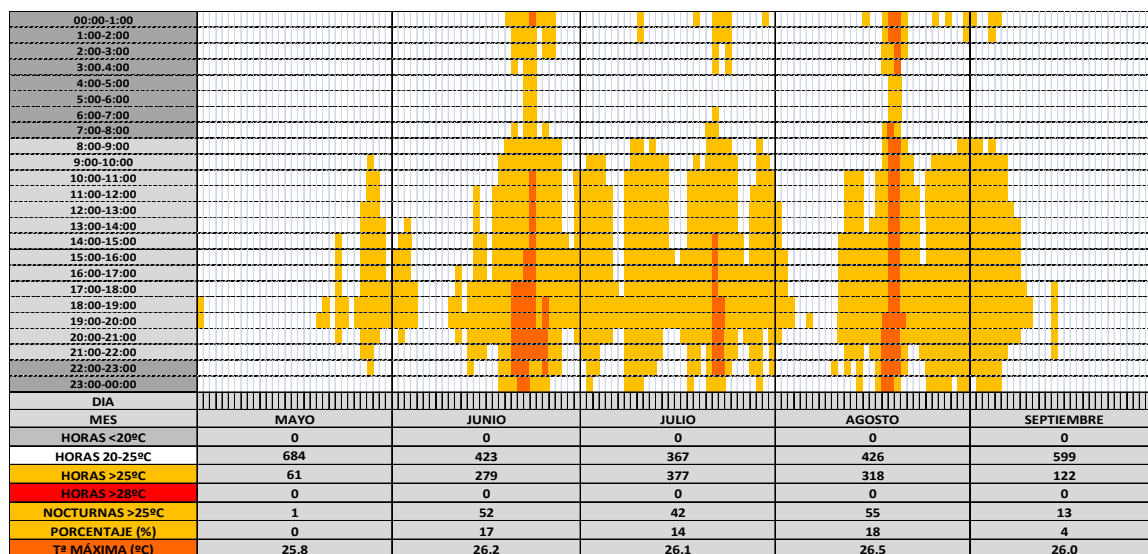


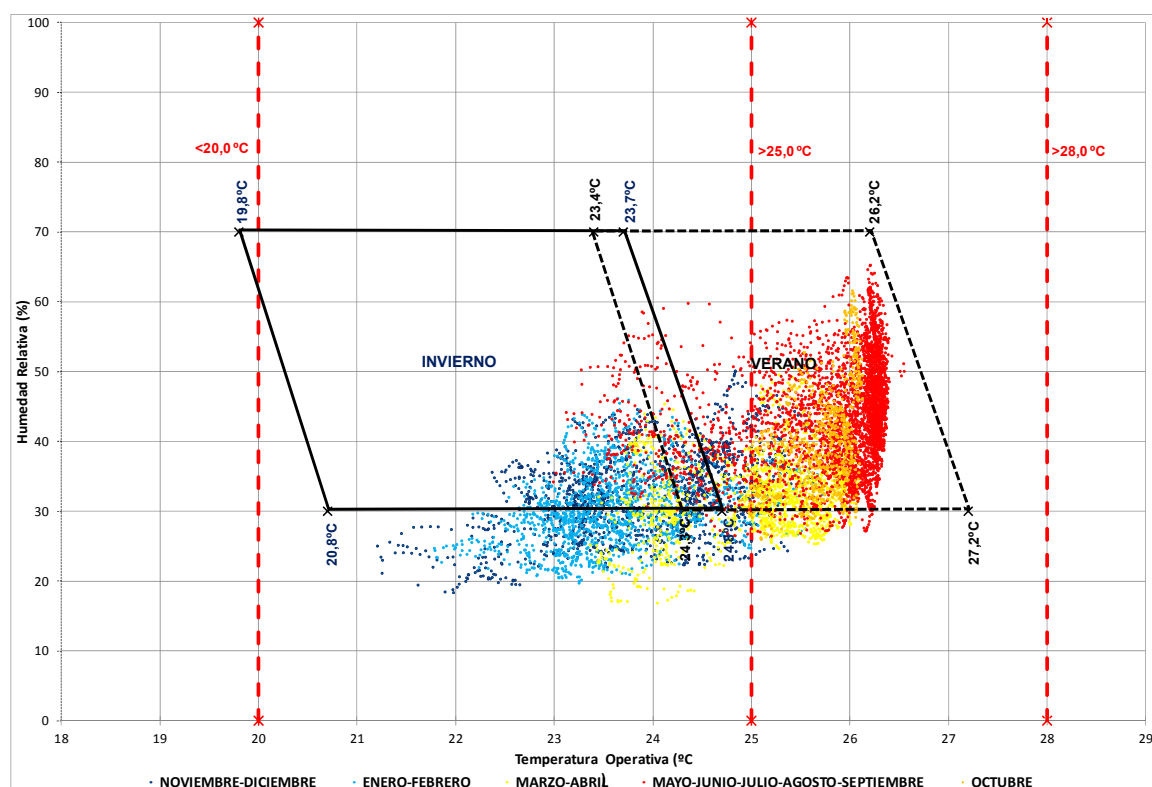
Figura 5.54. Evolución horaria de la temperatura operativa en verano en la Zona 2 Pamplona-Iruña para la vivienda Tipo [_E_]. Horas nocturnas por encima de 25°C [Elaboración propia].

5.4.3.4.3 ZONA Z3, Z4 Y Z5: CIUDAD DE REFERENCIA PERALTA/AZKOIEN

En Peralta-Azkoién las temperaturas anuales se mantienen entre los 22°C y los 26°C con máximas durante el verano de 26,5°C. El mayor rigor invernal hace que durante el invierno aparezca un grupo de temperaturas más centrado en el área de 22-23°C, apareciendo temperaturas interiores de 21°C (Fig. 5.55).

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal



CLIMA 2000-2009 - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2				
	ANUALES (8760 Horas)	VERANO (3671 Horas)	MARZO-ABRIL (1463 Horas)	OCTUBRE (743 Horas)
HORAS <20°C	0	0	0	0
HORAS >25°C	5150	3235	1007	731
HORAS >28°C	0	0	0	0
Tª MAXIMA	26,5	26,5	26,1	26,1
HORAS HR>70%	0	0	0	0
% HORAS>70%	0	0	0	0
HR MÁXIMA	65,3	65,3	50,5	61,6

Figura 5.55. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 3,4,5 Peralta/Azkoien para la vivienda Tipo [E]. Caso con calefacción y refrigeración en el aire de impulsión. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

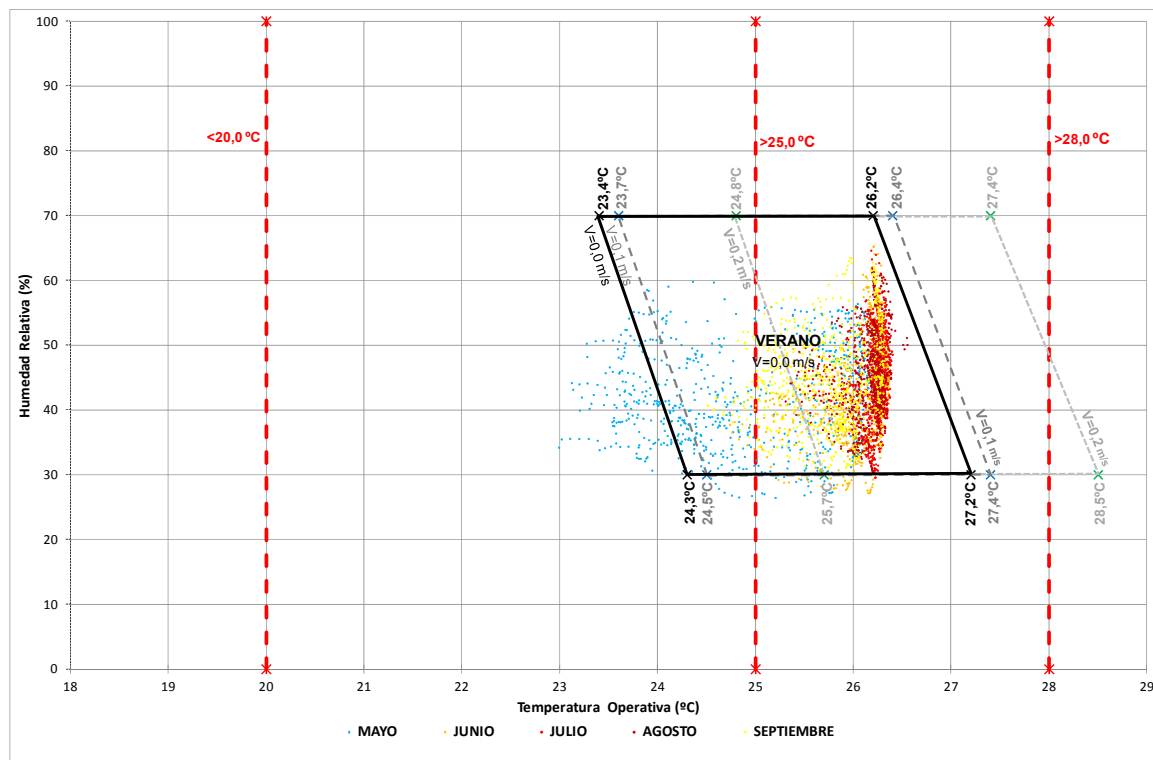
Resultan las siguientes demandas de energía y cargas medias diarias de refrigeración, Tabla 5.11:

Tabla 5.11. Zona 3,4,5 Peralta/Azkoien. Demandas de refrigeración y cargas medias diarias máximas para la vivienda tipo [E]			
	Sin ventilación nocturna	Con ventilación nocturna y deshumidificación	Con ventilación nocturna y sin deshumidificación
Demanda de refrigeración sensible (kWh/m ² a)	9,03	4,81	4,58
Demanda de refrigeración latente (kWh/m ² a)	3,47	1,82	1,51
Demanda de refrigeración total (kWh/m ² a)	12,50	6,63	6,09
Carga de refrigeración sensible media 24h (W/m ²)	7,8	6,6	6,0
Carga de refrigeración latente media 24h (W/m ²)	4,7	4,2	3,3
Carga de refrigeración total 24h (W/m ²)	12,5	10,8	9,3

[Elaboración propia]

En la Figura 5.56 se desglosa en comportamiento de la vivienda durante los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre. La acumulación de temperaturas en torno a los

26°C nos indica el mayor número de horas que se mantiene en funcionamiento el sistema de refrigeración activa.



CLIMA 2000-2009 - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2						
	VERANO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
HORAS <20°C	0	0	0	0	0	0
HORAS >25°C	3235	353	710	744	744	684
HORAS >28°C	0	0	0	0	0	0
TªMAXIMA	26,5	26,2	26,4	26,4	26,5	26,3
HORAS HR>70%	0	0	0	0	0	0
% HORAS>70%	0	0	0	0	0	0
HR MÁXIMA	65,3	59,8	65,3	64,7	62,0	63,5

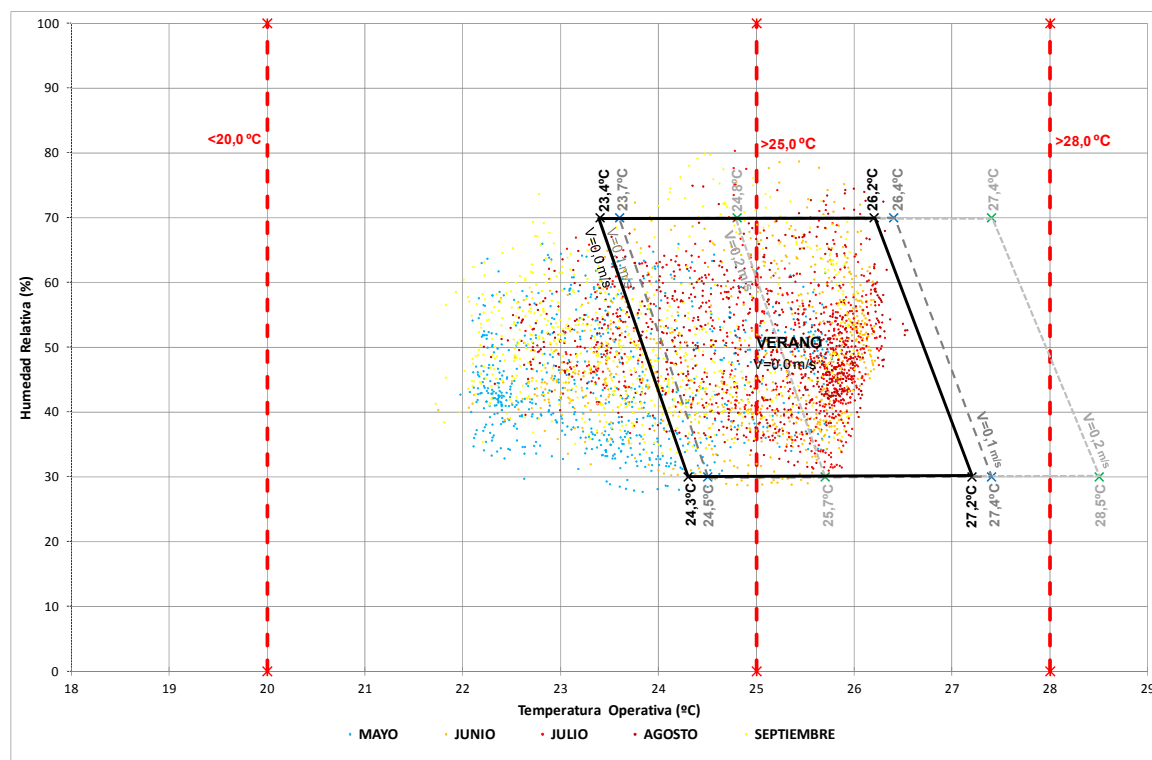
Figura 5.56. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 3,4,5 Peralta/Azkoien para la vivienda Tipo [E]. Periodo estival del 1-05 al 30-09. Playa de confort en verano UNE-ISO 7730. CATEGORIA II - 1,1 MET - 0,5 CLO - V= 0,0 - 0,2 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

INCORPORACIÓN DE LA VENTILACIÓN NOCTURNA NATURAL

En el caso de Peralta/Azkoien, la incidencia en el aumento de humedad que provoca la ventilación nocturna es mucho menor con un máximo de 80,4% en el mes de julio. La ventilación natural nocturna, aprovechando las menores temperaturas exteriores de la zona actúa provocando un descenso en las temperaturas medias, aún manteniéndose los picos controlados por la refrigeración activa (Fig. 5.57).

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal



CLIMA 2000-2009 - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2						
	VERANO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
HORAS <20°C	0	0	0	0	0	0
HORAS >25°C	1481	108	387	474	393	115
HORAS >28°C	0	0	0	0	0	0
Tª MAXIMA	26,5	25,8	26,2	26,3	26,5	26,0
HORAS HR>70%	79	0	17	14	16	32
% HORAS>70%	2	0	2	2	2	4
HR MÁXIMA	80,4	66,0	78,7	80,4	75,5	80,0

Figura 5.57. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 3,4,5 Peralta/Azkoien para la vivienda Tipo [E]. Periodo estival del 1-05 al 30-09. Playa de confort en verano UNE-ISO 7730. CATEGORIA II - 1,1 MET - 0,5 CLO - V= 0,0 - 0,2 m/s, HR 30% - 70%. Ventilación nocturna ventanas osciladas (10% superficie total) 12 h (21:00-9:00 h) [Elaboración propia].

El análisis de la evolución horaria de las temperaturas del sistema con ventilación natural nocturna y sin deshumidificación durante el verano se muestra en la Figura 5.58. Se observan periodos por encima de 25°C prolongados sobretudo en las horas nocturnas alcanzando el 26% >25°C en el mes de julio coincidiendo con las máximas de 26,5°C.

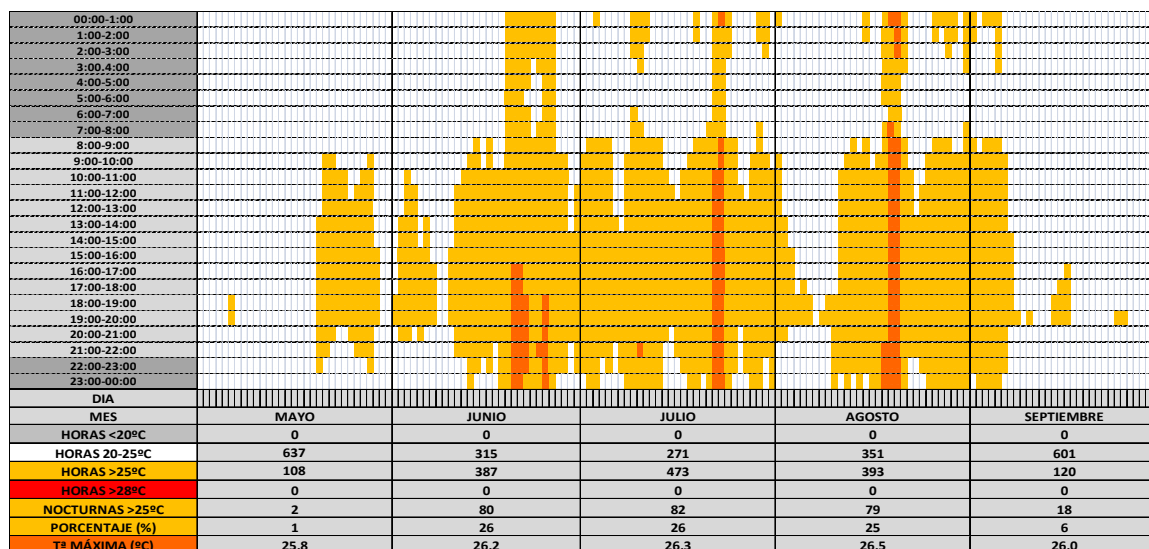


Figura 5.58. Evolución horaria de la temperatura operativa en verano en la Zona 3,4,5 Peralta/Azkoien para la vivienda Tipo [_E_]. Horas nocturnas por encima de 25°C [Elaboración propia].

5.4.3.4.4 ZONA Z6: CIUDAD DE REFERENCIA TUDELA

En Tudela las temperaturas anuales se mantienen entre los 22°C y los 26°C con máximas durante el verano de 26,5°C. El mayor rigor invernal hace que durante el invierno aparezca un grupo de temperaturas más centrado en el área de los 22-23°C (Fig. 5.59).

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

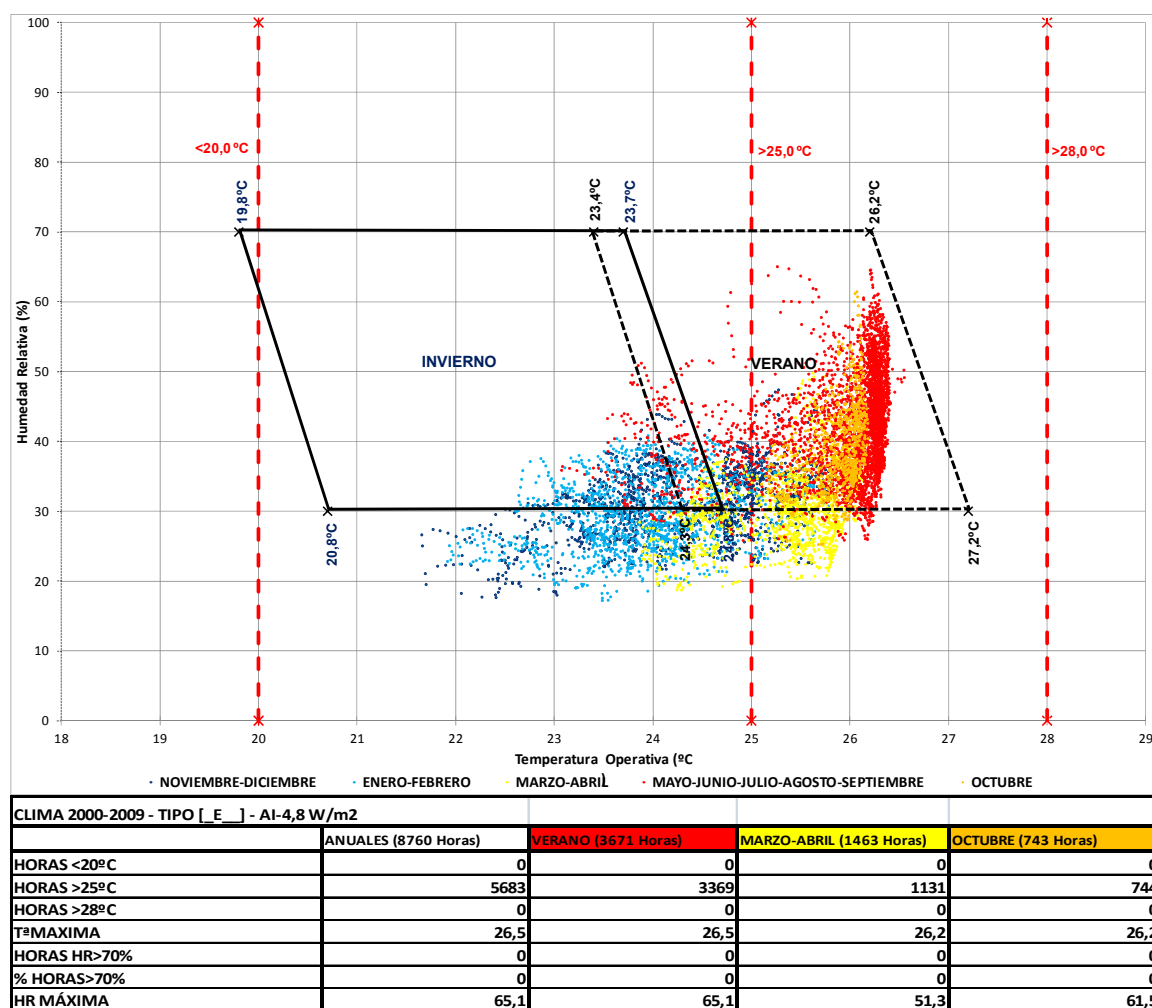


Figura 5.59. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 6 Tudela para la vivienda Tipo [E]. Caso con calefacción y refrigeración en el aire de impulsión. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V = 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

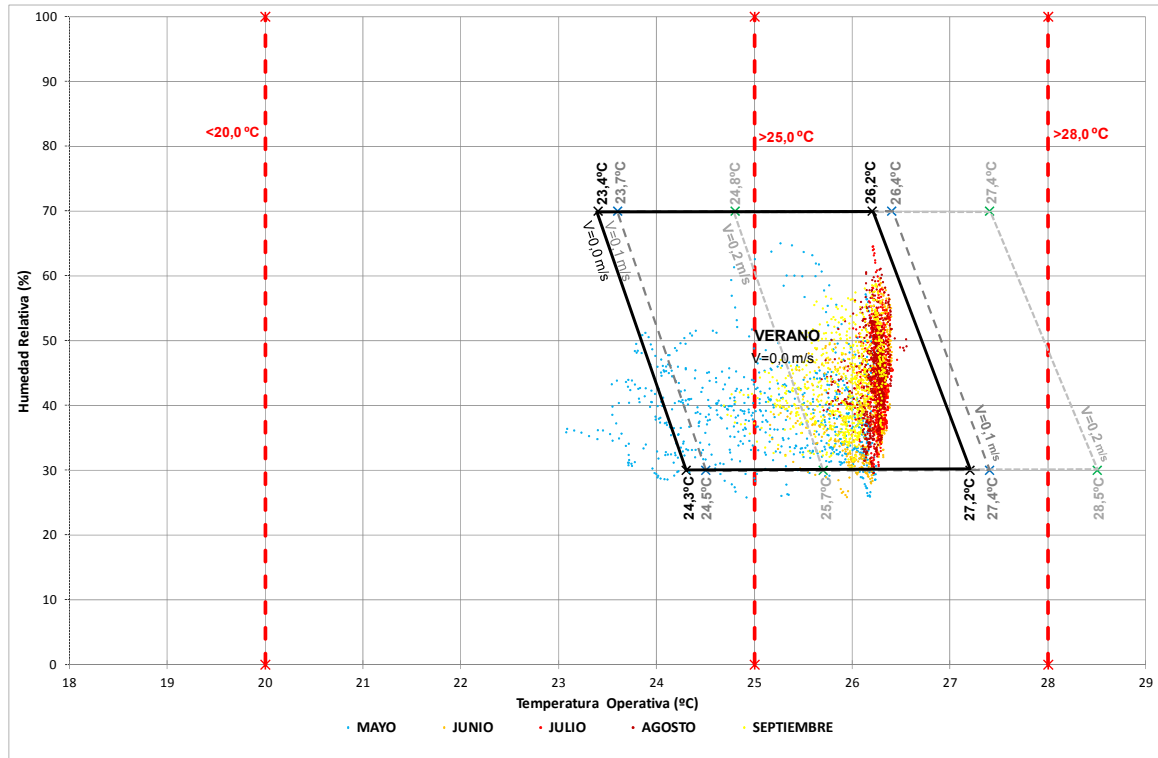
Resultan las siguientes demandas de energía y cargas medias diarias de refrigeración, Tabla 5.12:

Tabla 5.12. Zona 6 Tudela. Demandas de refrigeración y cargas medias diarias máximas para la vivienda tipo [E]

	Sin ventilación nocturna	Con ventilación nocturna y deshumidificación	Con ventilación nocturna y sin deshumidificación
Demanda de refrigeración sensible (kWh/m ² a)	11,51	6,49	6,44
Demanda de refrigeración latente (kWh/m ² a)	3,44	1,86	1,78
Demanda de refrigeración total (kWh/m ² a)	14,95	8,35	8,22
Carga de refrigeración sensible media 24h (W/m ²)	8,3	7,6	7,4
Carga de refrigeración latente media 24h (W/m ²)	4,2	4,0	3,8
Carga de refrigeración total 24h (W/m ²)	12,5	11,6	11,2

[Elaboración propia]

En la Figura 5.60 se desglosa el comportamiento de la vivienda durante los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre.



CLIMA 2000-2009 - TIPO [_E_] - AI-4,8 W/m2		MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
	VERANO					
HORAS <20°C		0	0	0	0	0
HORAS >25°C		3369	455	720	744	706
HORAS >28°C		0	0	0	0	0
T ^o MAXIMA		26,5	26,3	26,4	26,5	26,3
HORAS HR>70%		0	0	0	0	0
% HORAS>70%		0	0	0	0	0
HR MÁXIMA		65,1	65,1	59,7	64,6	61,2

Figura 5.60. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 7 Tudela para la vivienda Tipo [_E_]. Periodo estival del 1-05 al 30-09. Playa de confort en verano UNE-ISO 7730. CATEGORIA II - 1,1 MET - 0,5 CLO - V= 0,0 - 0,2 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

INCORPORACIÓN DE LA VENTILACIÓN NOCTURNA NATURAL

En el caso de Tudela, la incidencia en el aumento de humedad sobre el confort que provoca la ventilación nocturna es casi nula con un máximo de 76,9 % en el mes de julio. La ventilación nocturna, aprovechando las menores temperaturas exteriores de la zona actúa provocando un descenso en las temperaturas medias, aún manteniéndose los picos controlados por la refrigeración activa (Fig. 5.61).

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

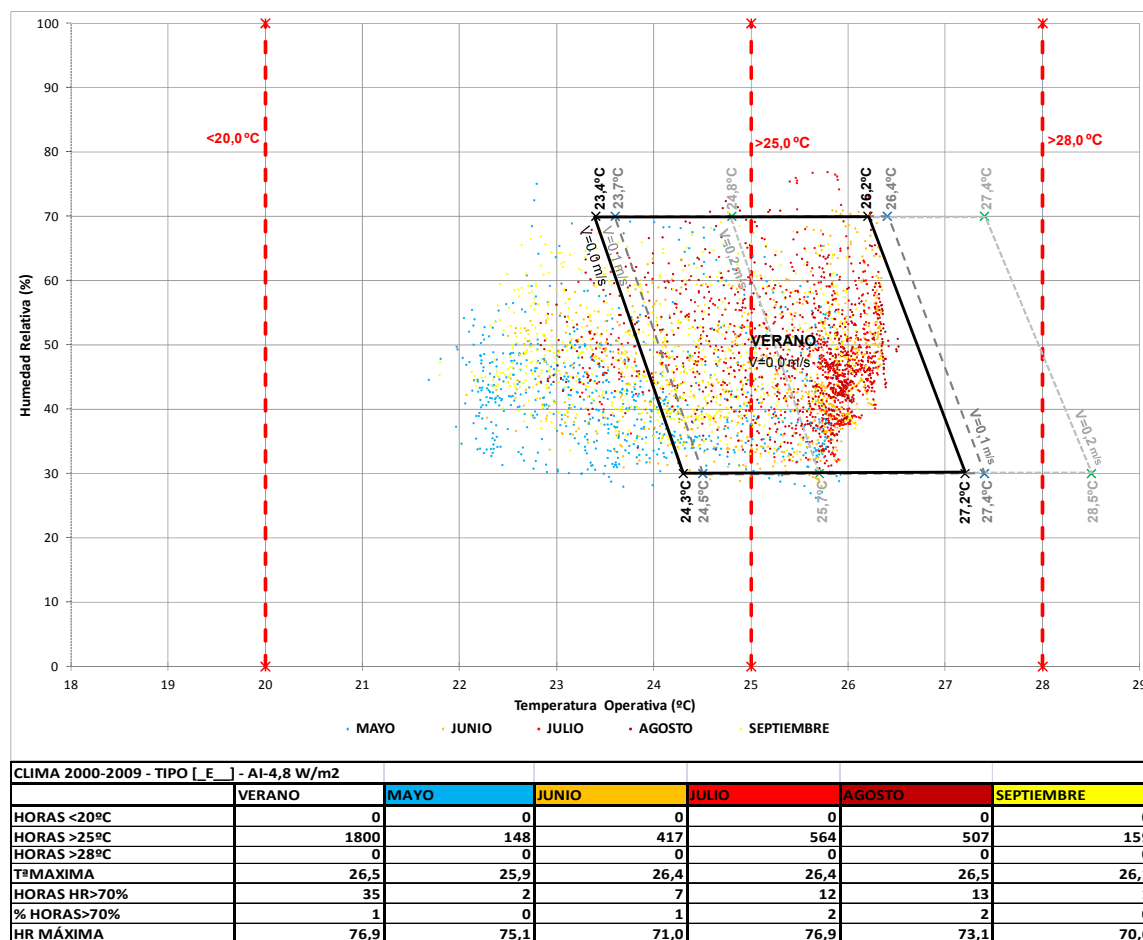


Figura 5.61. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 6 Tudela para la vivienda Tipo [E]. Periodo estival del 1-05 al 30-09. Playa de confort en verano UNE-ISO 7730. CATEGORIA II - 1,1 MET - 0,5 CLO - V= 0,0 - 0,2 m/s, HR 30% - 70%. Ventilación nocturna ventanas osciladas (10% superficie total) 12 h (21:00-9:00 h) [Elaboración propia].

El análisis de la evolución horaria de las temperaturas del sistema con ventilación natural nocturna y sin deshumidificación durante el verano se muestra en la Figura 5.62. Se observan periodos por encima de 25°C prolongados sobretudo en las horas nocturnas alcanzando el 45% horas >25°C en el mes de julio coincidiendo con las máximas de 26,5°C.

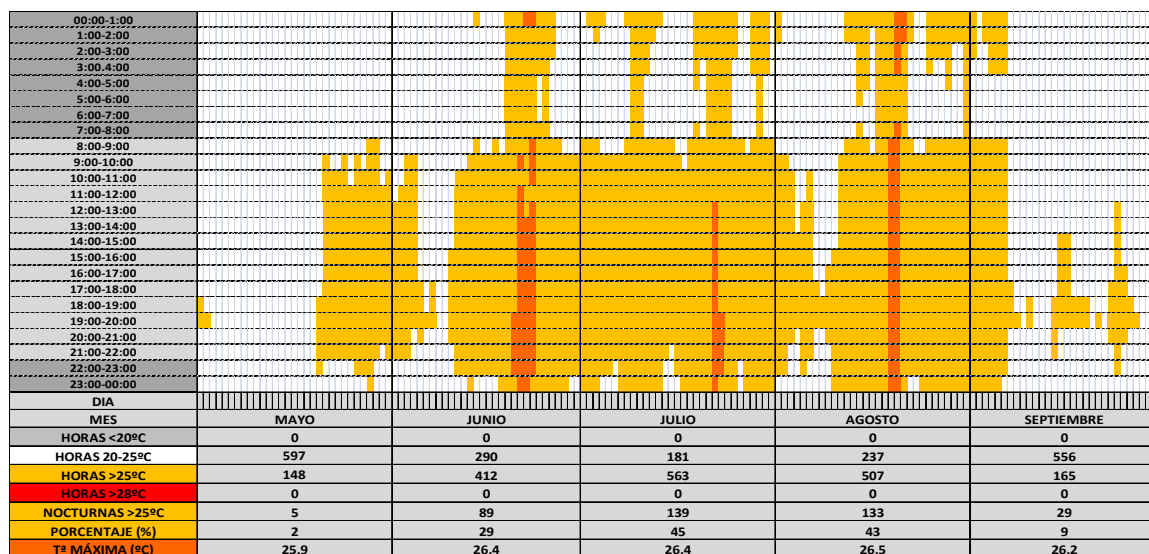


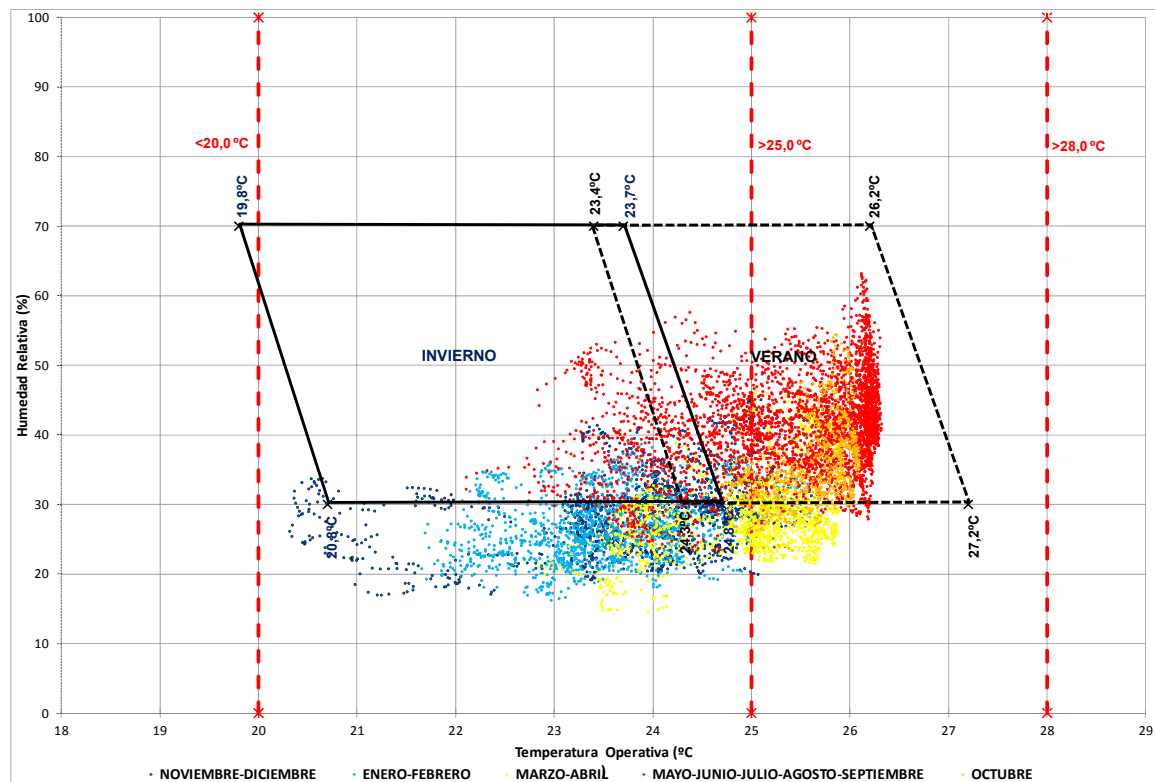
Figura 5.62. Evolución horaria de la temperatura operativa en verano en la Zona 6 Tudela para la vivienda Tipo [E]. Horas nocturnas por encima de 25°C [Elaboración propia].

5.4.3.4.5 ZONA Z7: CIUDAD DE REFERENCIA ISABA

En Isaba las temperaturas anuales se mantienen entre los 20°C y los 26°C con máximas durante el verano de 26,3°C. En esta región se da el mayor rigor invernal y hace que durante este periodo aparezca un grupo de temperaturas más centrado en el área de los 21-23°C. Las humedades relativas invernales son especialmente bajas, por debajo del 30% en numerosas horas (Fig. 5.63).

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal



CLIMA 2000-2009 - TIPO [_E_] - AI-4,8 W/m2				
	ANUALES (8760 Horas)	VERANO (3671 Horas)	MARZO-ABRIL (1463 Horas)	OCTUBRE (743 Horas)
HORAS <20°C	0	0	0	0
HORAS >25°C	4346	2604	910	665
HORAS >28°C	0	0	0	0
TªMAXIMA	26,3	26,3	25,9	26,1
HORAS HR>70%	0	0	0	0
% HORAS>70%	0	0	0	0
HR MÁXIMA	63,2	63,2	46,3	54,5

Figura 5.63. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 7 Isaba para la vivienda Tipo [_E_]. Caso con calefacción y refrigeración en el aire de impulsión. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIerno 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

Resultan las siguientes demandas de energía y cargas medias diarias de refrigeración, Tabla 5.13:

Tabla 5.13. Zona 7 Isaba. Demandas de refrigeración y cargas medias diarias máximas para la vivienda tipo [E].

	Sin ventilación nocturna	Con ventilación nocturna y deshumidificación	Con ventilación nocturna y sin deshumidificación
Demanda de refrigeración sensible (kWh/m ² a)	4,38	1,99	1,89
Demanda de refrigeración latente (kWh/m ² a)	1,66	0,59	0,46
Demanda de refrigeración total (kWh/m ² a)	6,04	2,58	2,35
Carga de refrigeración sensible media 24h (W/m ²)	5,8	3,2	3,2
Carga de refrigeración latente media 24h (W/m ²)	2,2	1,7	1,0
Carga de refrigeración total 24h (W/m ²)	8,0	4,9	4,2

[Elaboración propia]

En la Figura 5.64 se desglosa en comportamiento de la vivienda durante los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre.

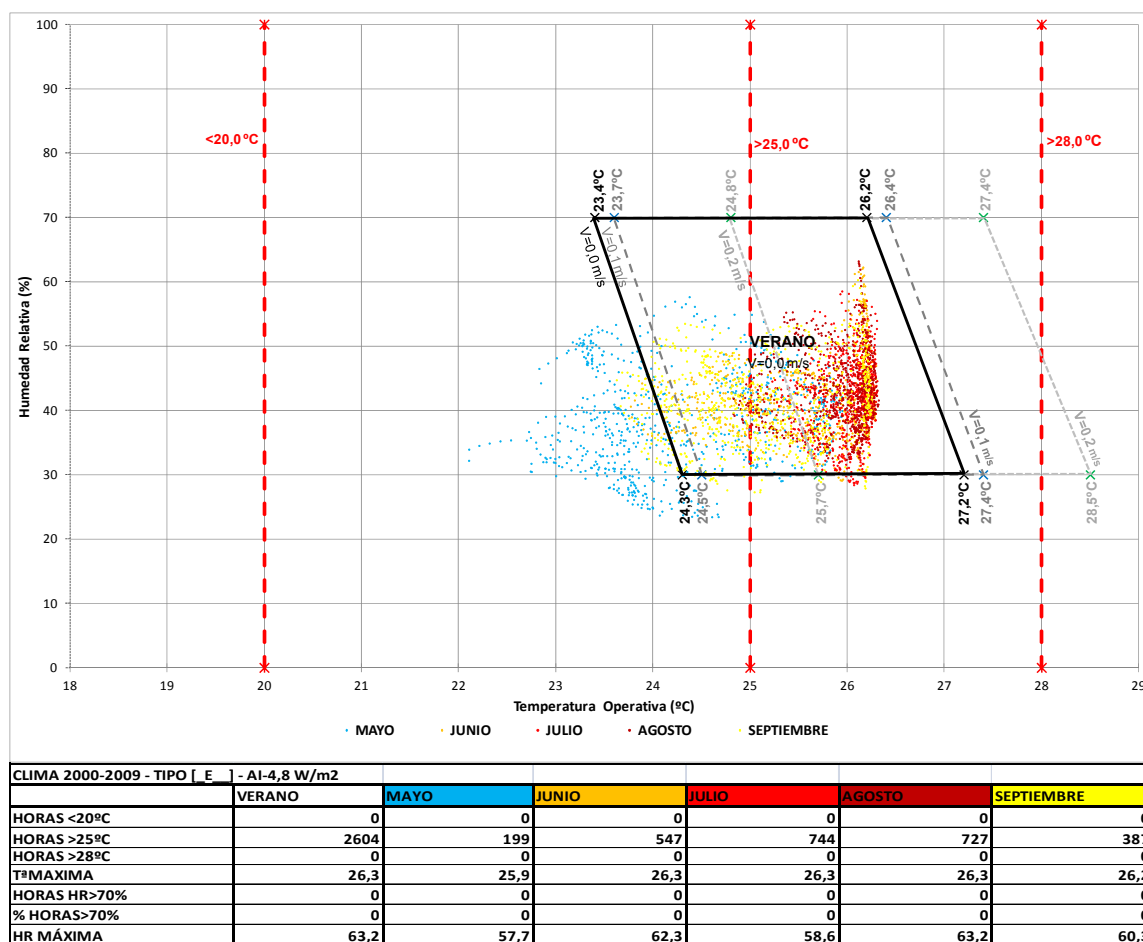
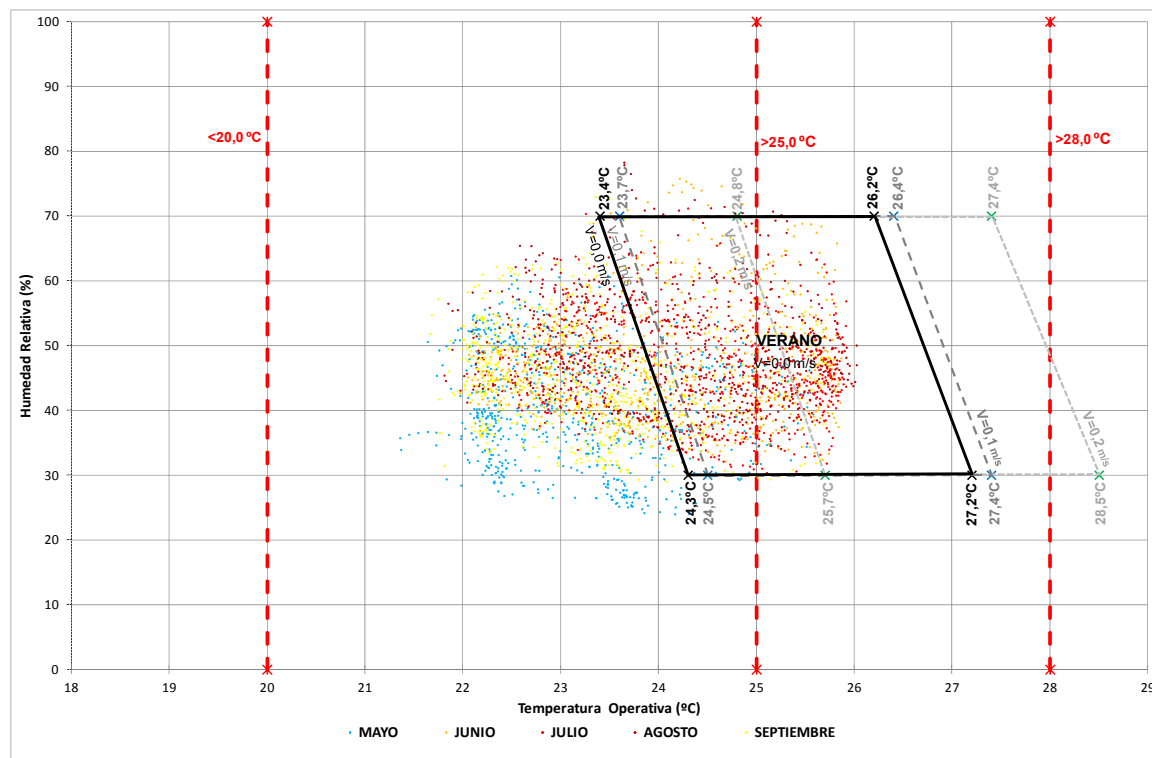


Figura 5.64. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 7 Isaba para la vivienda Tipo [E]. Periodo estival del 1-05 al 30-09. Playa de confort en verano UNE-ISO 7730. CATEGORIA II - 1,1 MET - 0,5 CLO - V= 0,0 - 0,2 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

INCORPORACIÓN DE LA VENTILACIÓN NOCTURNA NATURAL

En Isaba, la utilización de la ventilación nocturna hace desaparecer prácticamente las horas por encima de 26°C. Los periodos con HR>70% son bastante reducidos, salvo el mes de agosto que alcanzan un 16% de las horas (Fig. 5.65).



CLIMA 2000-2009 - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2							
	VERANO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	
HORAS <20°C	0	0	0	0	0	0	0
HORAS >25°C	716	26	184	273	170	63	
HORAS >28°C	0	0	0	0	0	0	
TºMAXIMA	26,0	25,6	25,9	25,9	26,0	25,7	
HORAS HR>70%	34	0	14	2	16	2	
% HORAS>70%	1	0	2	0	2	0	
HR MÁXIMA	78,3	60,8	75,8	71,2	78,3	73,0	

Figura 5.65. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 7 Isaba para la vivienda Tipo [E]. Periodo estival del 1-05 al 30-09. Playa de confort en verano UNE-ISO 7730. CATEGORIA II - 1,1 MET - 0,5 CLO - V= 0,0 - 0,2 m/s, HR 30% - 70%. Ventilación nocturna ventanas osciladas (10% superficie total) 12 h (21:00-9:00 h) [Elaboración propia].

El análisis de la evolución horaria de las temperaturas del sistema con ventilación natural nocturna y sin deshumidificación durante el verano se muestra en la Figura 5.67. Se observan periodos por encima de 25°C bajos sobretudo en las horas nocturnas alcanzando el 16% de las horas>25°C en el mes de julio coincidiendo con las máximas de 26,0°C.

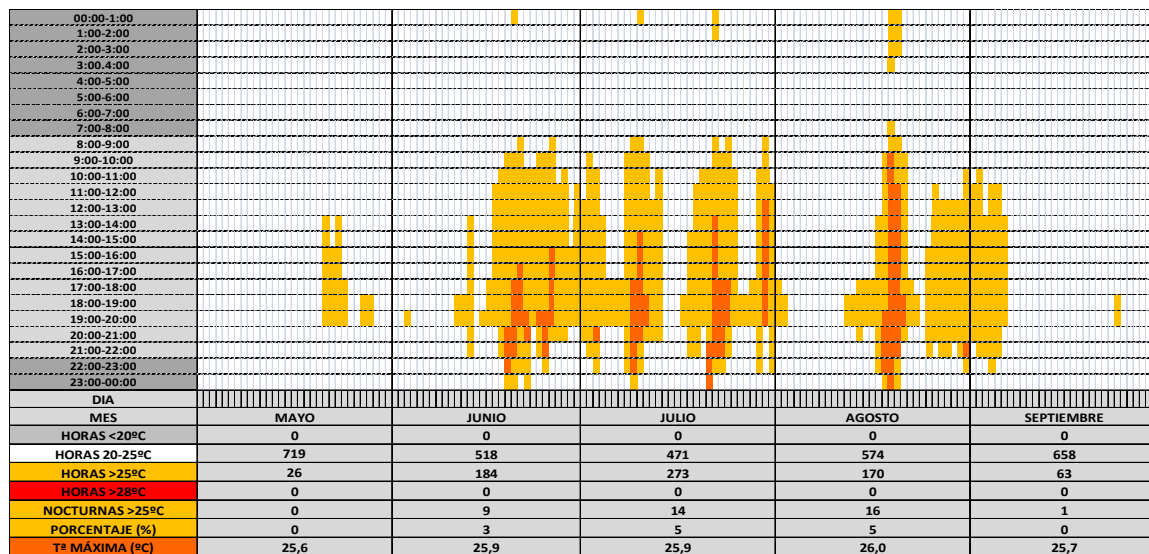


Figura 5.66. Evolución horaria de la temperatura operativa en verano en la Zona 7 Isaba para la vivienda Tipo [E]. Horas nocturnas por encima de 25°C [Elaboración propia].

5.4.4 FASE III: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE LA VENTILACIÓN MECÁNICA CONTROLADA INTELIGENTE COMO SISTEMA DE REGULACIÓN DEL CONFORT

5.4.4.1 CRITERIOS Y OBJETIVOS

En este punto se analiza la capacidad de los sistemas de ventilación mecánica inteligente para, aprovechando las temperaturas bajas exteriores, regular el confort interior. Como se comenta en la introducción al capítulo, la ventilación mecánica permite la utilización de las condiciones ambientales exteriores para regular el confort interior. Se limita la intensidad del sistema a 8 r/h, y para considerar que el sistema es efectivo se debe poner en funcionamiento cuando la temperatura exterior es al menos de 3 K menos que la del interior, si no entraríamos en consumos eléctricos menos eficientes que los de un sistema de refrigeración activa convencional [HASTINGS, WALL 2007-2] y [SCHNIEDERS *et ál.* 2011]. Se establece una programación de los sistemas mecánicos según la Tabla 5.14. Durante el verano se activa la ventilación mecánica con una temperatura interior superior a 20°C con el fin de aprovechar al máximo el efecto del aire exterior fresco. Sin embargo, en invierno se programa con 24°C en el interior.

Componente	Programación	Consigna	Valor adoptado
Ocupación	Ocupación CTE		0,038 personas/ m ²
Ventilación Mecánica suave	Todo el año 24 h		8,33 l s/persona
Recuperador de calor sensible 85%	1 de octubre al 30 abril.	Economizador si Temperatura interior >24°C o si temperatura exterior >20°C	
Ventilación mecánica controlada	VERANO: 24 h On INVIERNO: 24 h On	VERANO: Si la temperatura interior es superior a 20 °C y la exterior al menos 3°C inferior. INVIERNO: Si la temperatura interior es superior a 24 °C y la exterior al menos 3°C inferior.	Máximo 8 r/h
Economizador		Activado cuando se apaga recuperador	
Calefacción	1 de octubre al 30 abril 24 h	Activado Si temperatura <20°C	
Refrigeración	Todo el año	Activado Si temperatura >26°C	
Deshumificación	Opcional	HR>70%	
Protección solar externa	Todo el año activa	Persianas bajadas si temperatura interior >23°C	

[Elaboración propia]

El valor de funcionamiento máximo en r/h se establece para la ciudad más expuesta al sobrecalentamiento para estar por debajo del periodo máximo solicitado por el PHI, 10% de horas anuales (875 horas). El máximo obtenido en la Zona 1-Hondarribia es de 4 r/h, en la Zona 2-Pamplona-Iruña de 6 r/h, en la Zona 3,4,5-Peralta-Azkoien de 8 r/h, en la Zona 6-Tudela 8 r/h y en la Zona 7-Isaba 1,5 r/h. La ciudad de referencia en la Zona 0-Burdeos requiere un máximo de 4 r/h. En el invierno se mantiene la capacidad máxima solicitada en los meses de verano, aunque como veremos, no sea necesario dicho valor para estar en unos rangos de confort aceptables.

5.4.4.2 ANÁLISIS DEL CONFORT

5.4.4.2.1 ANUAL

La Figura 5.67 nos muestra que es posible conseguir un confort de temperaturas según el PHI en todas las zonas salvo la representada por Tudela (Zona 6) y en la Zona 3,4,5-Peralta-Azkoien la tipología [E_] sobrepasa ligeramente las premisas de confort del PHI.

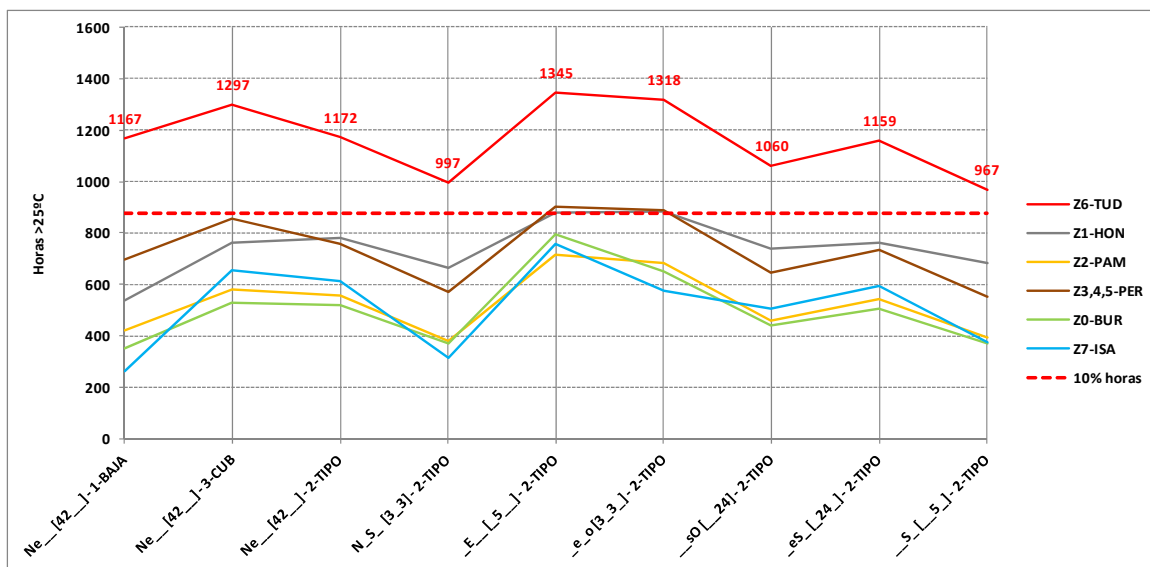


Figura 5.67. Sistema VMC. Número de horas anuales por encima de 25°C para los tipos analizados en las ciudades de referencia [Elaboración propia].

En cuanto a las horas por encima de 28°C, en la zona Z3.4,5-Peralta-Azkoien superan el valor máximo del 1% horas anuales algunas de las tipologías estudiadas (Fig. 5.68).

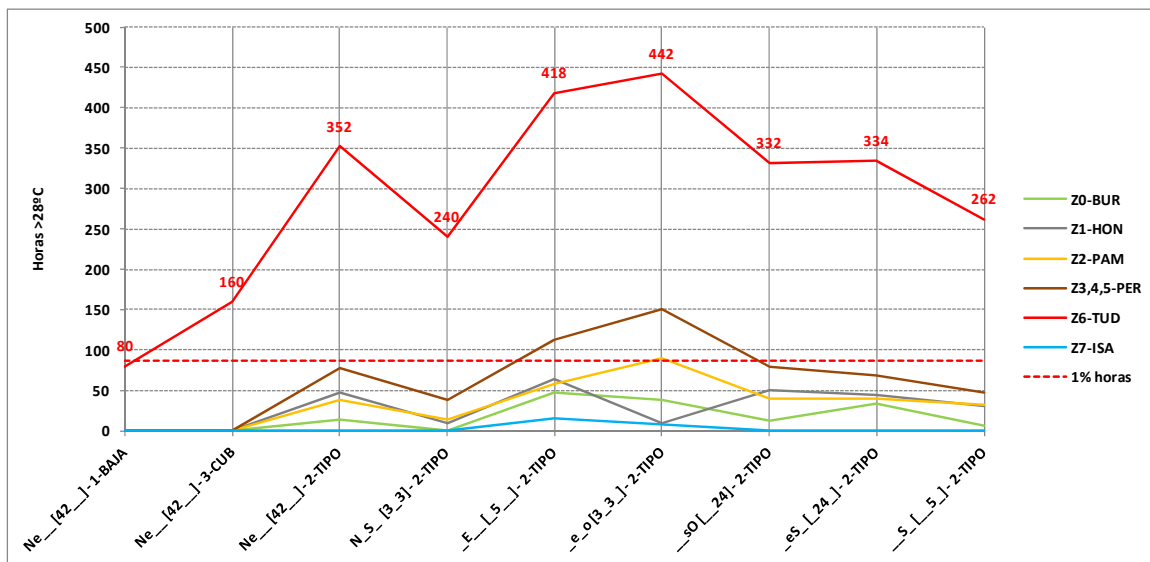


Figura 5.68. Sistema VMC. Número de horas anuales por encima de 28°C para los tipos analizados en las ciudades de referencia [Elaboración propia].

5.4.4.2.2 CIUDADES DE REFERENCIA

ZONA Z1: CIUDAD DE REFERENCIA HONDARRIBIA

En Hondarribia (Fig. 5.69), con la programación de invierno en la VMC las temperaturas se muestran en el rango de 22-24°C. Sin embargo, en el mes de Octubre algunas

temperaturas se disparan hasta casi los 27°C (máxima de 26,9°C), debido a las altas temperaturas que se producen estadísticamente en esas fechas (Verano de San Miguel). En cuanto a las humedades relativas, permanecen por debajo del 70% durante todo el invierno, salvo algunos picos en octubre. La capacidad máxima necesaria de la VMC para mantenerse dentro de los límites de confort del PHI es de 4 r/h, funcionando para el caso de la tipología mostrada [E] en una media de 0,70 r/h a lo largo del invierno.

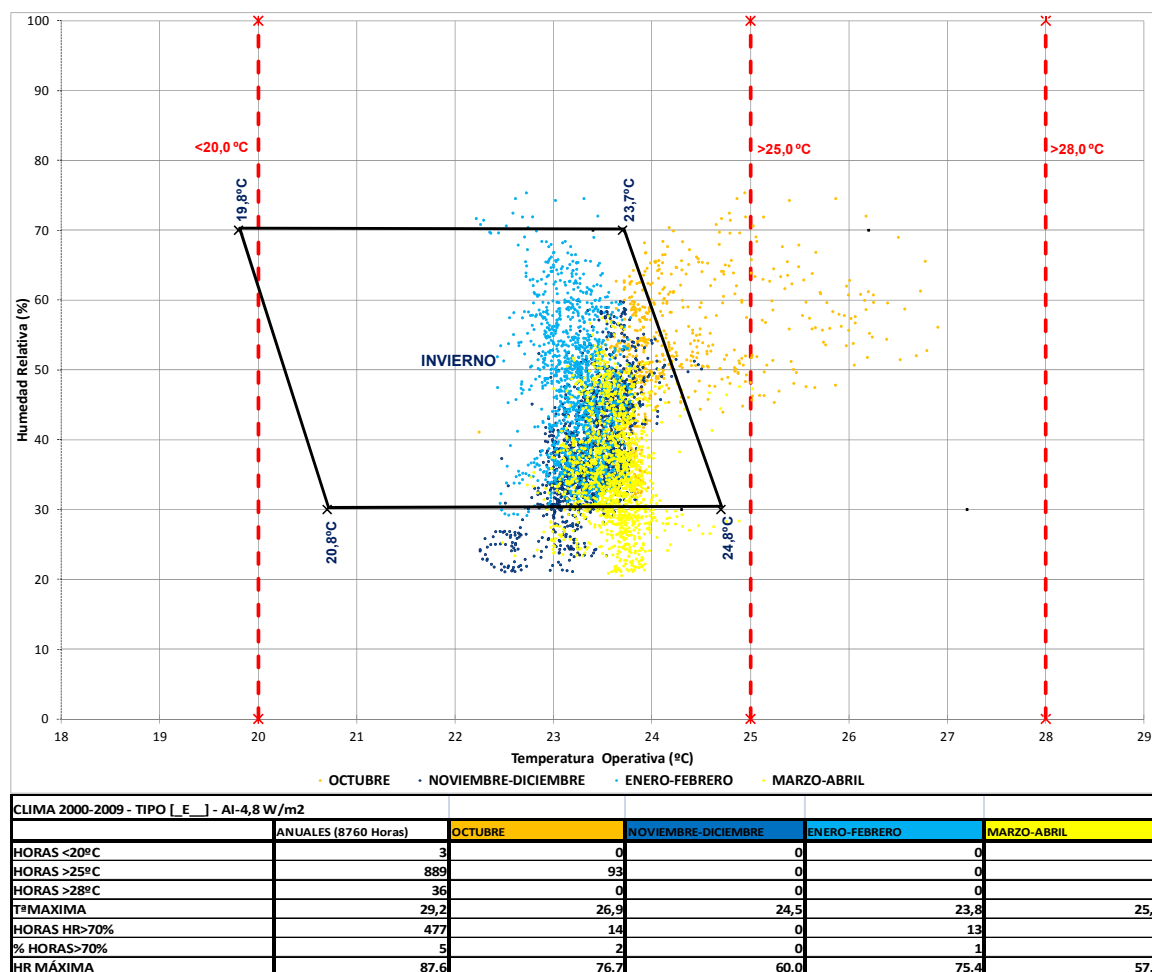
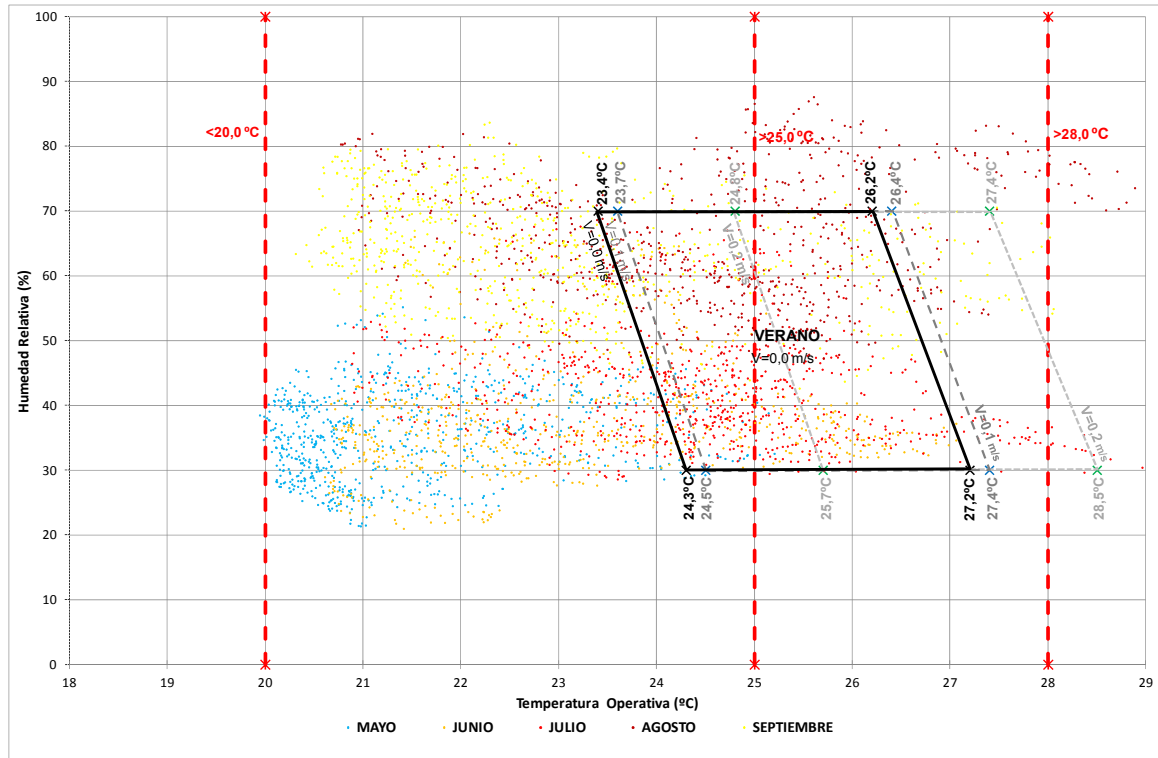


Figura 5.69. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 1-Hondarribia para la vivienda Tipo [E]. Caso con calefacción en el aire de impulsión y utilización del sistema VMC para el control del sobrecalentamiento. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

En verano (Fig. 5.70), la utilización de la ventilación nocturna amplía el rango de temperaturas desde los mínimos de 20°C hasta un máximo de 28,9°C en el mes de julio. Esta ventilación intensiva hace que en el mes de agosto aumenten las horas con alta humedad hasta el 36% de las horas con un máximo del 87,6%. La capacidad máxima necesaria de la VMC para mantenerse dentro de los límites de confort del PHI es de 4 r/h, funcionando para el caso de la tipología mostrada [E] en una media de 2,14 r/h a lo largo del verano.



CLIMA 2000-2009 - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2						
	VERANO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
HORAS <20°C		3	3	0	0	0
HORAS >25°C		795	4	111	243	318
HORAS >28°C		36	0	0	15	18
Tª MAXIMA		29,2	25,2	27,1	29,2	28,9
HORAS HR>70%		451	0	0	0	264
% HORAS>70%		12	0	0	0	36
HR MÁXIMA		87,6	55	66,6	68,0	87,6

Figura 5.70. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 1-Hondarribia para la vivienda Tipo [E]. Caso con calefacción en el aire de impulsión y utilización del sistema VMC para el control del sobrecalentamiento. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

En la Figura 5.71 se muestra el efecto de la ventilación sobre la HR en el interior de la vivienda. Al margen del aumento de la HR interior se observa en el periodo expuesto (mes de julio) la limitada capacidad de la ventilación nocturna debido a que las temperaturas exteriores no descienden en ningún momento de los 14°C.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

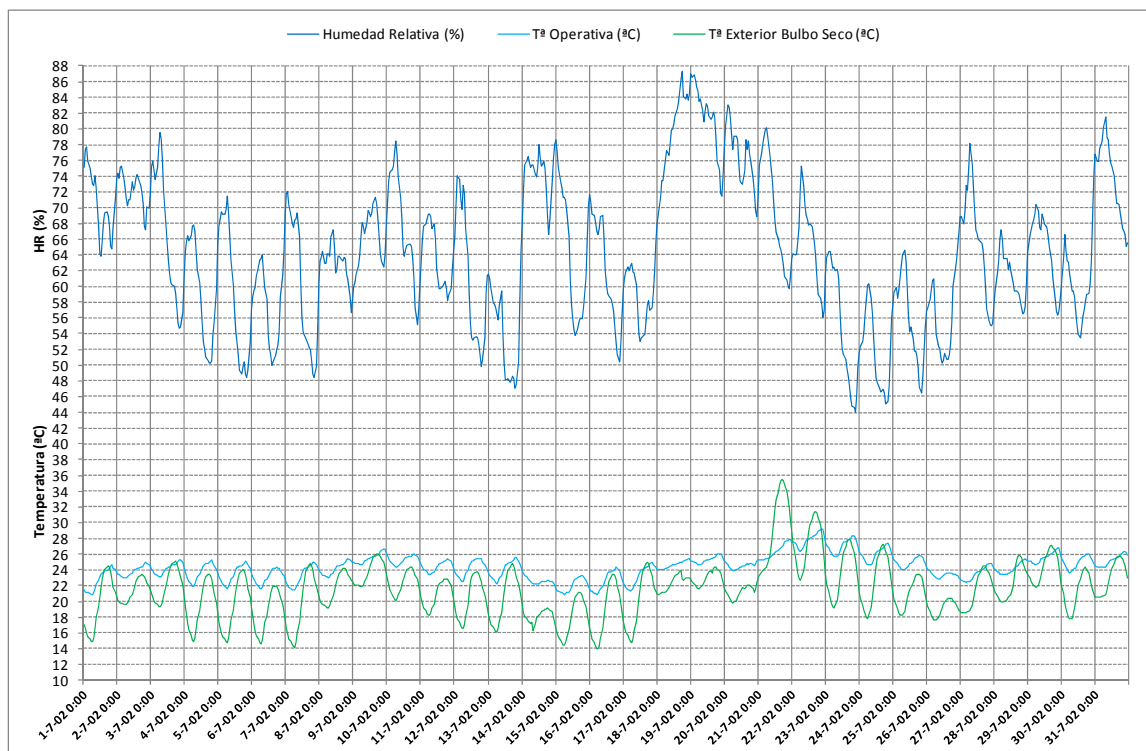


Figura 5.71. SISTEMA VMC. Zona 1-Hondarribia. Evolución de la temperatura exterior y la temperatura operativa interior y humedad relativa interior en el mes de julio para la vivienda Tipo [E]. Efecto de la ventilación natural nocturna [Elaboración propia].

El análisis de la evolución horaria de las temperaturas del sistema con ventilación natural nocturna y sin deshumidificación durante el verano se muestra en la Figura 5.72. Se observan periodos por encima de 25°C en las horas nocturnas alcanzando el 25% de las horas nocturnas >25°C en el mes de agosto, sin embargo no coinciden con las máximas interiores de 26,0°C que se producen en el mes de julio.

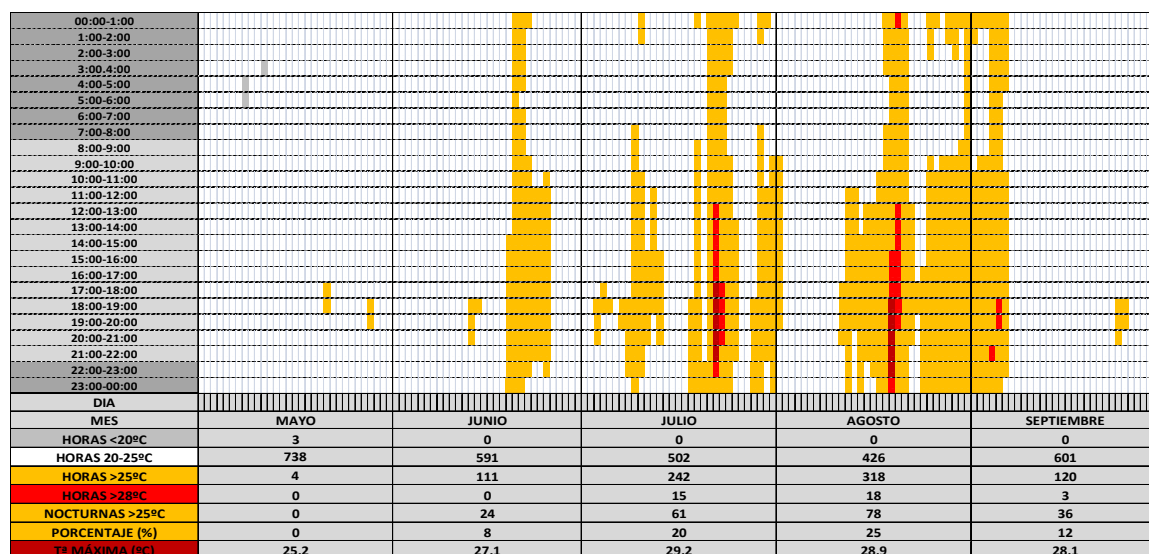
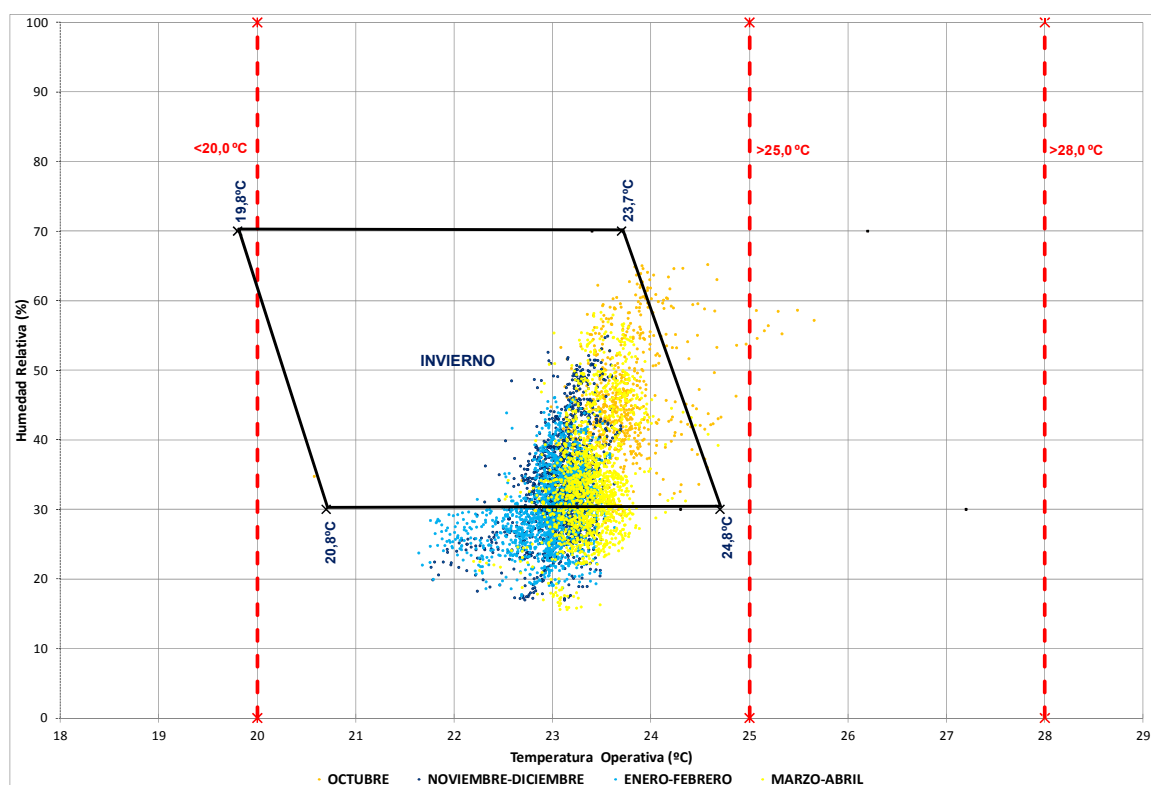


Figura 5.72. Evolución horaria de la temperatura operativa en verano en la Zona 1-Hondarribia para la vivienda Tipo [E]. Horas nocturnas por encima de 25°C [Elaboración propia].

ZONA Z2: CIUDAD DE REFERENCIA PAMPLONA-IRUÑA

En Pamplona-Iruña (Fig. 5.73) con la programación de invierno en la VMC las temperaturas se muestran en el rango de 22-24°C, con un ligero aumento en el mes de Octubre en el que algunas temperaturas suben hasta casi los 26°C (máxima de 25,7°C). En cuanto a las humedades relativas, permanecen en la zona de 20-70% durante todo el invierno, con un número importante de horas que presentan humedades <30%. La capacidad máxima necesaria de la VMC para mantenerse dentro de los límites de confort del PHI es de 4 r/h, funcionando para el caso de la tipología mostrada [E_] en una media de 0,65 r/h a lo largo del invierno.



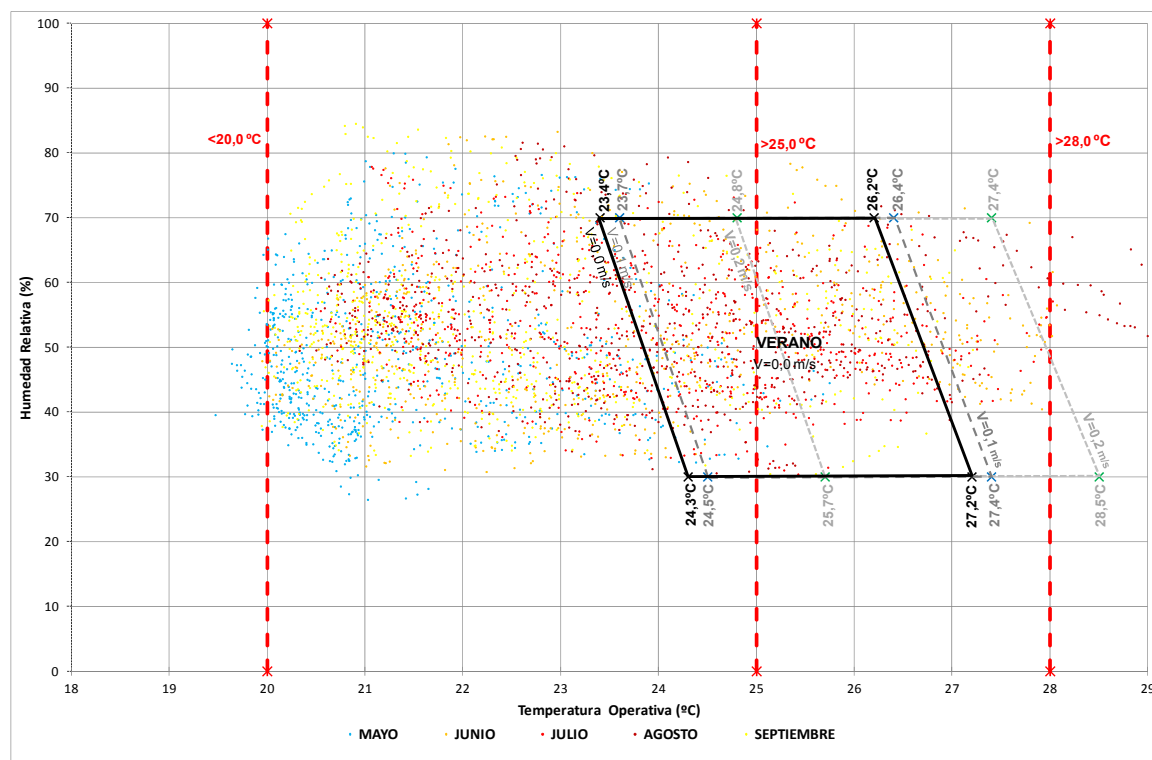
CLIMA 2000-2009 - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2					
	ANUALES (8760 Horas)	OCTUBRE	NOVIEMBRE-DICIEMBRE	ENERO-FEBRERO	MARZO-ABRIL
HORAS <20°C	47	0	0	0	0
HORAS >25°C	717	8	0	0	0
HORAS >28°C	29,0	0	0	0	0
Tª MAXIMA	29,4	25,7	23,7	23,6	24,7
HORAS HR>70%	283	0	0	0	0
% HORAS>70%	3	0	0	0	0
HR MÁXIMA	84,6	65,2	55,0	46,1	58,4

Figura 5.73. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 2 Pamplona-Iruña para la vivienda Tipo [E_]. Caso con calefacción en el aire de impulsión y utilización del sistema VMC para el control del sobrecalentamiento. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

En verano (Fig. 5.74), la utilización de la ventilación nocturna amplía el rango de temperaturas desde los mínimos de 19°C hasta un máximo de 29,4°C en el mes de agosto. Esta ventilación intensiva hace que en el mes de septiembre especialmente, aumenten las horas con alta humedad hasta el 85% de las horas con un máximo del 84,6%. La capacidad máxima necesaria de la VMC para mantenerse dentro de los límites de confort del PHI es de 6 r/h, funcionando para el caso de la tipología mostrada [E_] en una media de 2,47 r/h a lo largo del verano.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal



CLIMA 2000-2009 - TIPO [E] - AI-4,8 W/m ²	VERANO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
HORAS <math><20^{\circ}\text{C}</math>	47	43	1	0	0	3
HORAS $>25^{\circ}\text{C}$	709	7	175	226	214	86
HORAS $>28^{\circ}\text{C}$	29	0	3	1	25	0
T ^o MAXIMA	29,4	25,7	28,1	28,0	29,4	27,2
HORAS HR>70%	283,0	50	64	34	50	85
% HORAS>70%	8	7	9	5	7	12
HR MÁXIMA	84,6	80	83,3	77,9	81,6	84,6

Figura 5.74. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 2 Pamplona-Iruña para la vivienda Tipo [E]. Caso con calefacción en el aire de impulsión y utilización del sistema VMC para el control del sobrecalentamiento. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

El análisis de la evolución horaria de las temperaturas del sistema con ventilación natural nocturna y sin deshumidificación durante el verano se muestra en la Figura 5.75. Se observan periodos por encima de 25°C en las horas nocturnas alcanzando el 15% de las horas nocturnas >25°C en el mes de agosto, coincidiendo con las máximas interiores de 29,4°C.

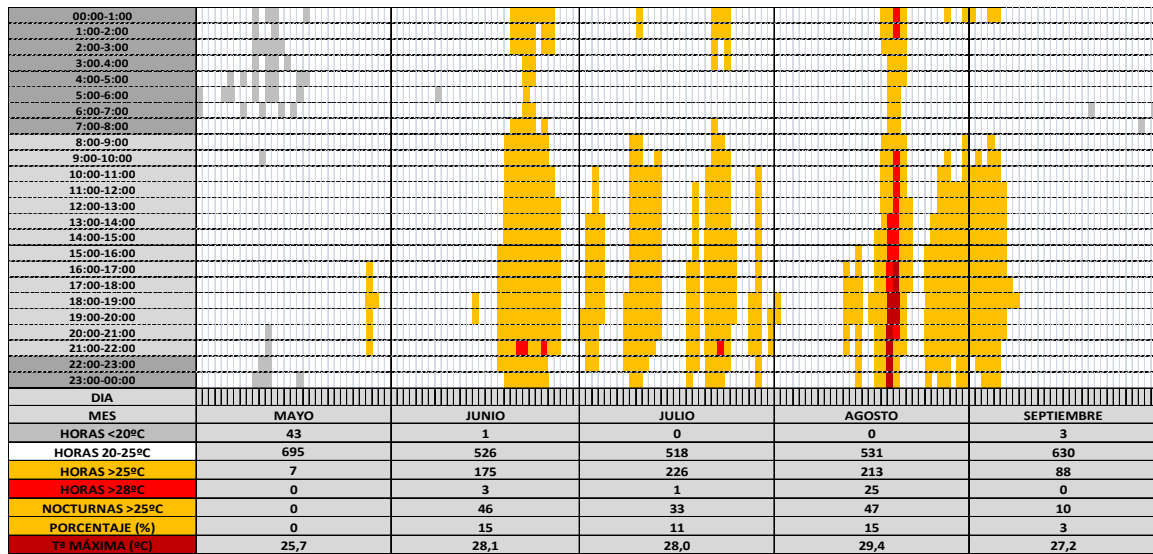


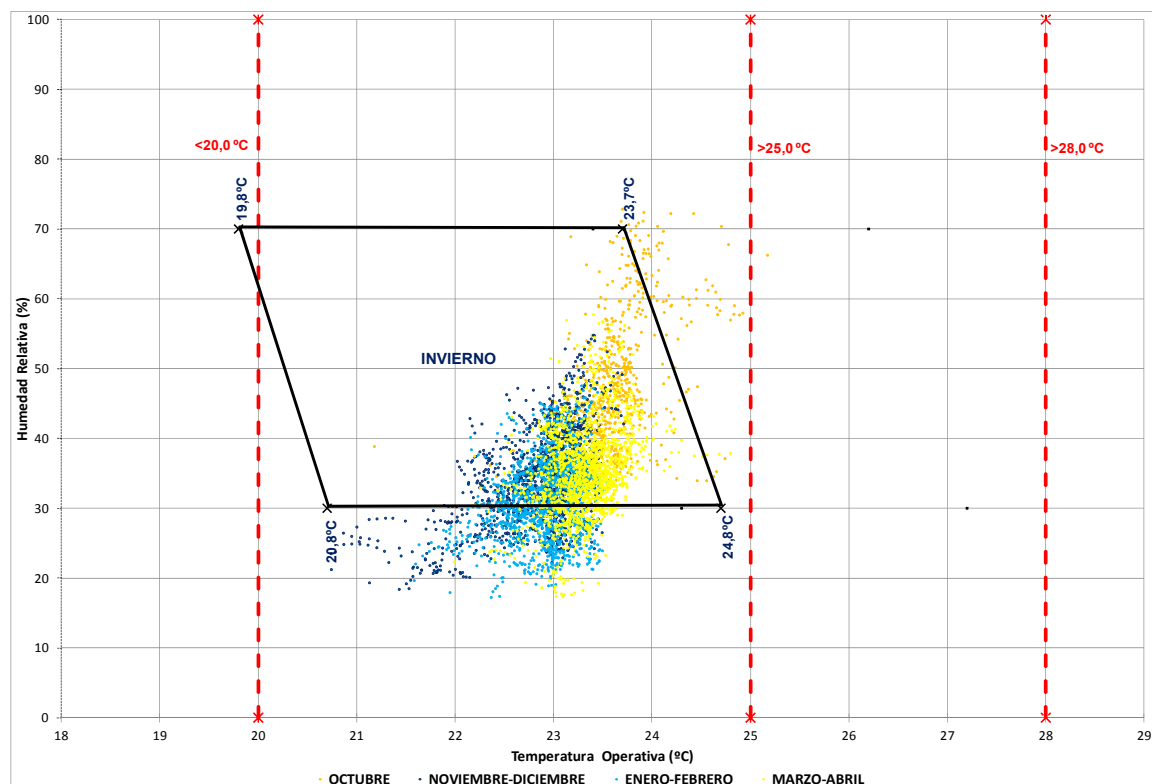
Figura 5.75. Evolución horaria de la temperatura operativa en verano en la Zona 2 Pamplona-Iruña para la vivienda Tipo [E]. Horas nocturnas por encima de 25°C [Elaboración propia].

ZONA Z3, Z4 Y Z5: CIUDAD DE REFERENCIA PERALTA/AZKOIEN

En Peralta-Azkoien (Fig. 5.76), con la programación de invierno en la VMC las temperaturas se acumulan en el rango de 21-24°C, con un aumento esporádico en el mes de Octubre en el que algunas temperaturas suben hasta los 25°C (máxima de 25,2°C). En cuanto a las humedades relativas, permanecen en la zona de 20-70% durante todo el invierno. La capacidad máxima necesaria de la VMC para mantenerse dentro de los límites de confort del PHI es de 8 r/h, funcionando para el caso de la tipología mostrada [E] en una media de 0,66 r/h a lo largo del invierno.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

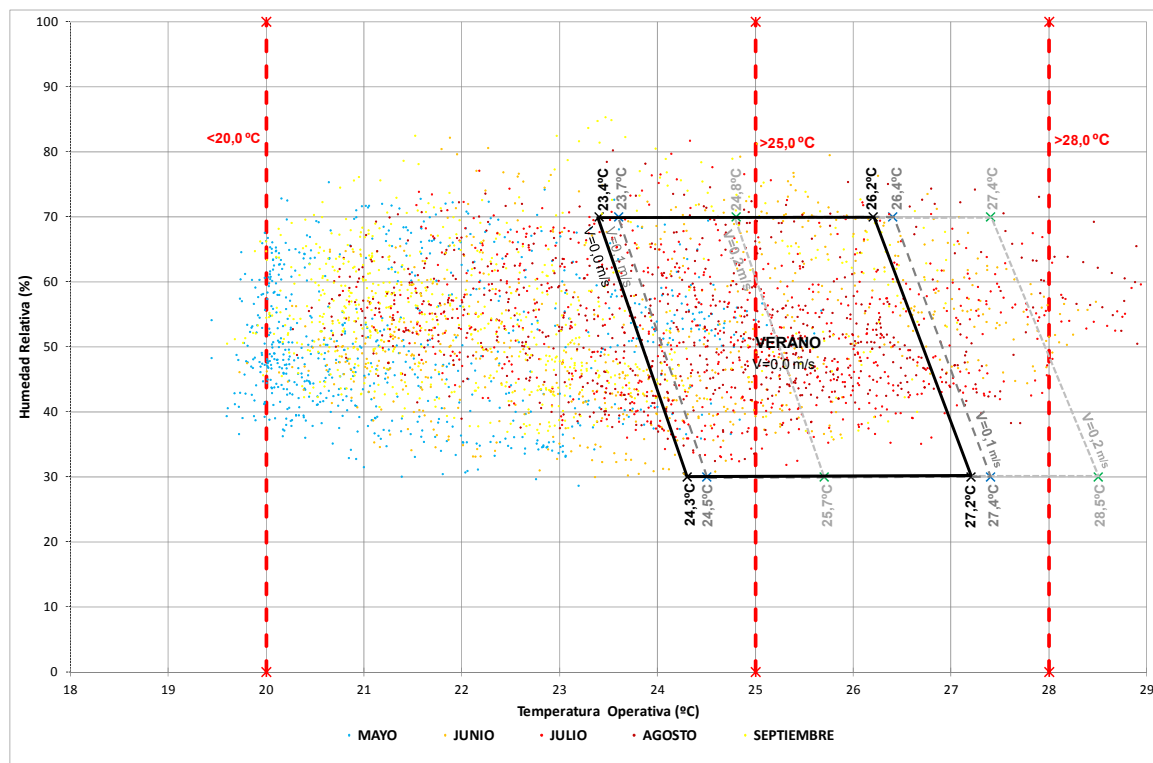
Iñigo Rodríguez Vidal



CLIMA 2000-2009 - TIPO [E_] - AI-4,8 W/m2					
	ANUALES (8760 Horas)	OCTUBRE	NOVIEMBRE-DICIEMBRE	ENERO-FEBRERO	MARZO-ABRIL
HORAS <20°C	82	0	0	0	0
HORAS >25°C	904	1	0	0	0
HORAS >28°C	51	0	0	0	0
Tª MAXIMA	29,7	25,2	23,7	23,6	24,8
HORAS HR>70%	220	11	0	0	0
% HORAS>70%	3	1	0	0	0
HR MÁXIMA	85,4	72,9	54,8	47,6	57,8

Figura 5.76. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 3,4,5 Peralta/Azkoien para la vivienda Tipo [E_]. Caso con calefacción en el aire de impulsión y utilización del sistema VMC para el control del sobrecalentamiento. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

En verano (Fig. 5.77), la utilización de la ventilación nocturna amplía el rango de temperaturas desde los mínimos de 19°C hasta un máximo de 29,7°C en el mes de agosto. Esta ventilación intensiva hace que en el mes de septiembre especialmente, aumenten las horas con alta humedad hasta el 66% de las horas con un máximo del 85,4%. La capacidad máxima necesaria de la VMC para mantenerse dentro de los límites de confort del PHI es de 8 r/h, funcionando para el caso de la tipología mostrada [E_] en una media de 2,69 r/h a lo largo del verano.



CLIMA 2000-2009 - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2						
	VERANO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
HORAS <20°C	82,0	67	2	0	0	13
HORAS >25°C	903,0	7	223	314	274	84
HORAS >28°C	51,0	0	10	15	26	0
T _{MAXIMA}	29,7	25,7	28,5	28,9	29,7	27,1
HORAS HR>70%	209,0	21	53	32	37	66
% HORAS>70%	5,7	3	7	4	5	9
HR MÁXIMA	85,4	75	82,2	81,8	80,3	85,4

Figura 5.77. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 3,4,5 Peralta/Azkoien para la vivienda Tipo [E]. Caso con calefacción en el aire de impulsión y utilización del sistema VMC para el control del sobrecalentamiento. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

El análisis de la evolución horaria de las temperaturas del sistema con ventilación natural nocturna y sin deshumidificación durante el verano se muestra en la Figura 5.78. Se observan periodos por encima de 25°C en las horas nocturnas alcanzando el 20% de las horas nocturnas >25°C en los meses de junio, julio y agosto, con la máxima temperatura interior en el mes de agosto de 29,7°C.

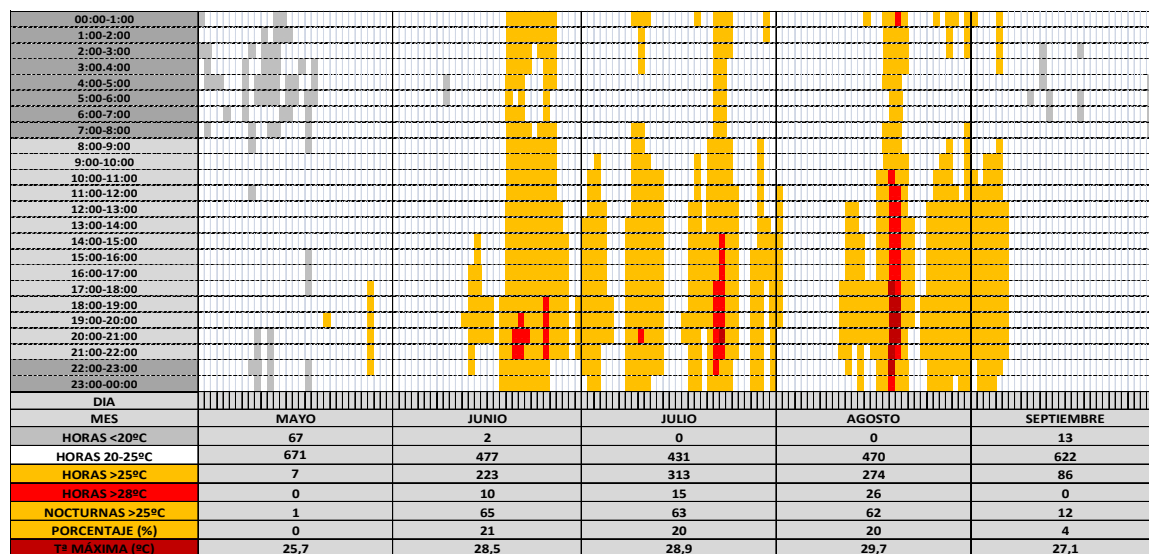
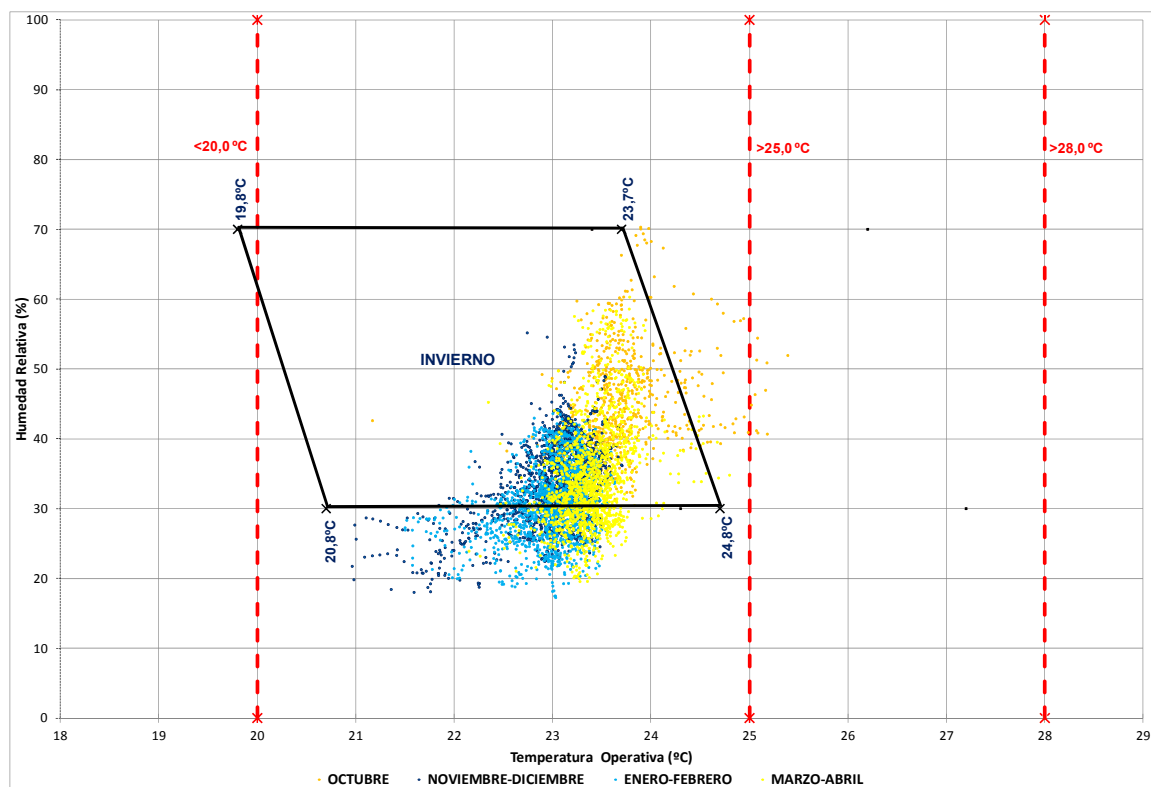


Figura 5.78. Evolución horaria de la temperatura operativa en verano en la Zona 3,4,5 Peralta/Azkoien para la vivienda Tipo [E]. Horas nocturnas por encima de 25°C [Elaboración propia].

ZONA Z6: CIUDAD DE REFERENCIA TUDELA

En Tudela (Fig. 5.79), con la programación de invierno en la VMC las temperaturas se muestran en el rango de 21-24°C, con un aumento igualmente en el mes de Octubre en el que algunas temperaturas suben hasta los 25°C (máxima de 25,4°C). En cuanto a las humedades relativas, permanecen en la zona de 20-60% durante todo el invierno, un ambiente relativamente seco. La capacidad máxima necesaria de la VMC para mantenerse dentro de los límites de confort del PHI es de 8 r/h, funcionando para el caso de la tipología mostrada [E] en una media de 0,70 r/h a lo largo del invierno.



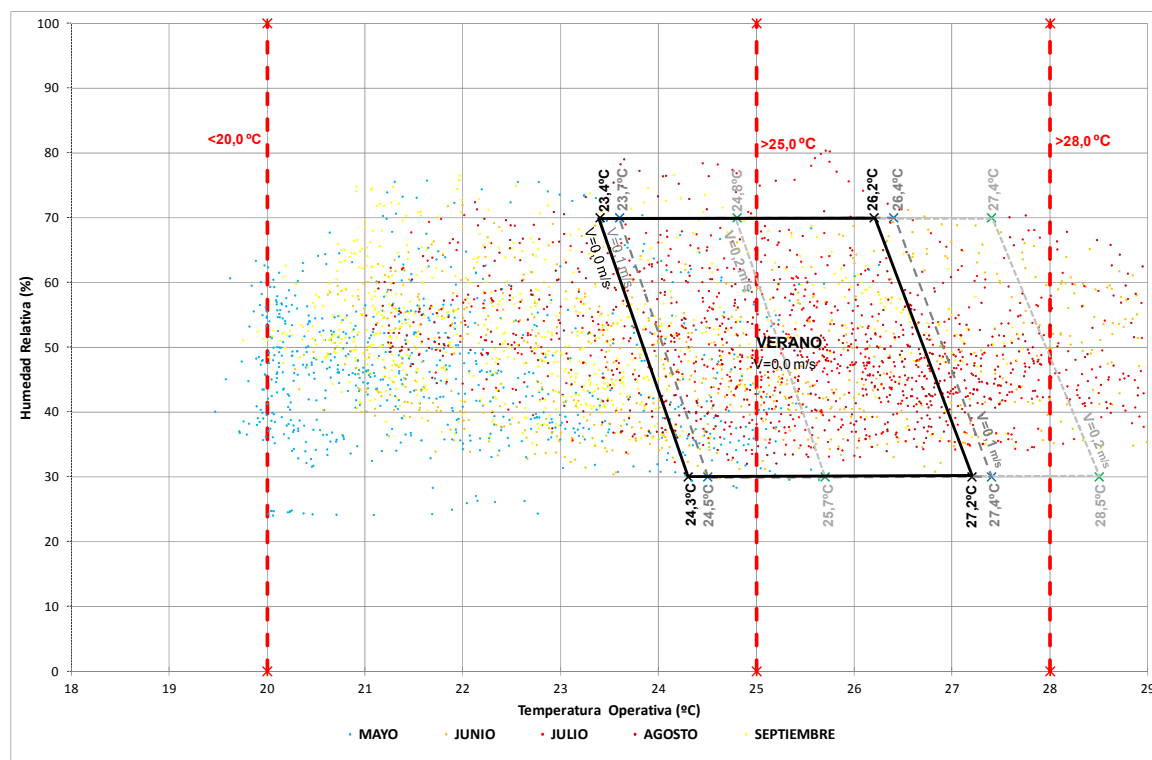
CLIMA 2000-2009 - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2					
	ANUALES (8760 Horas)	OCTUBRE	NOVIEMBRE-DICIEMBRE	ENERO-FEBRERO	MARZO-ABRIL
HORAS <20°C	47	0	0	0	0
HORAS >25°C	1348	10	0	0	0
HORAS >28°C	205	0	0	0	0
Tª MAXIMA	30,8	25,4	23,7	23,6	24,8
HORAS HR>70%	109	3	0	0	0
% HORAS>70%	1	0	0	0	0
HR MÁXIMA	80,4	70,4	55,2	44,1	60,3

Figura 5.79. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 6 Tudela para la vivienda Tipo [E]. Caso con calefacción en el aire de impulsión y utilización del sistema VMC para el control del sobrecalentamiento. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

En verano (Fig. 5.80) se alcanzan temperaturas máximas superiores a los 31°C, no pudiendo bajar del 10% de horas por debajo de 25°C ni en casi todos los caso del 1% de horas por debajo de 28°C. Se observa que la utilización de la ventilación nocturna amplía el rango de temperaturas desde los mínimos de 19°C hasta un máximo de 30,8°C en el mes de agosto (fuera de la gráfica). El ambiente permanece seco sin embargo durante todo el verano con un máximo del 5% de horas con HR >70% en el mes de septiembre. La capacidad máxima necesaria de la VMC es de 8 r/h, no siendo suficiente para mantenerse dentro de los límites de confort del PHI, funcionando para el caso de la tipología mostrada [E] en una media de 2,74 r/h a lo largo del verano.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal



CLIMA 2000-2009 - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2	VERANO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
HORAS <20°C	47,0	44	0	0	0	3
HORAS >25°C	1338,0	33	305	467	428	101
HORAS >28°C	205,0	0	73	63	69	0
Tª MAXIMA	30,8	26,3	29,5	29,9	30,8	27,7
HORAS HR>70%	106,0	19	4	22	24	37
% HORAS>70%	2,9	3	1	3	3	5
HR MÁXIMA	80,4	76	72,0	80,4	79,1	76,6

Figura 5.80. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 6 Tudela para la vivienda Tipo [E]. Caso con calefacción en el aire de impulsión y utilización del sistema VMC para el control del sobrecalentamiento. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

El análisis de la evolución horaria de las temperaturas del sistema con ventilación natural nocturna y sin deshumidificación durante el verano se muestra en la Figura 5.81. Se observan periodos por encima de 25°C en las horas nocturnas alcanzando el 40% de las horas nocturnas >25°C en los meses de julio y agosto, con la máxima temperatura interior en el mes de agosto de 30,8°C.

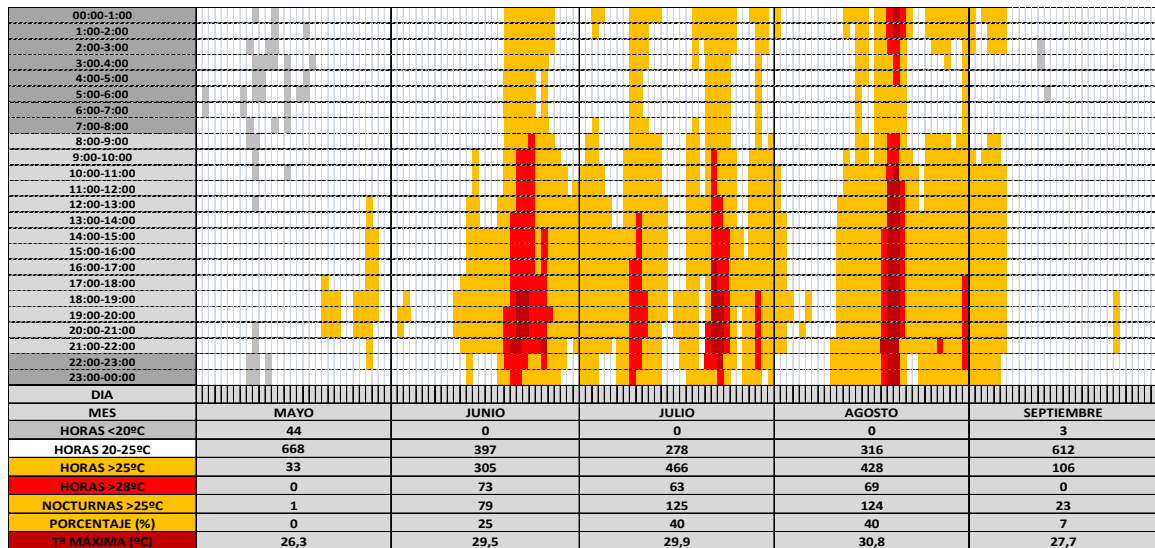


Figura 5.81. Evolución horaria de la temperatura operativa en verano en la Zona 6 Tudela para la vivienda Tipo [E_]. Horas nocturnas por encima de 25°C [Elaboración propia].

En la Figura 5.82, se muestra el gráfico de confort adaptativo según la norma EN:15.251. Las temperaturas caen dentro de la zona de confort salvo pequeños picos del mes de agosto.

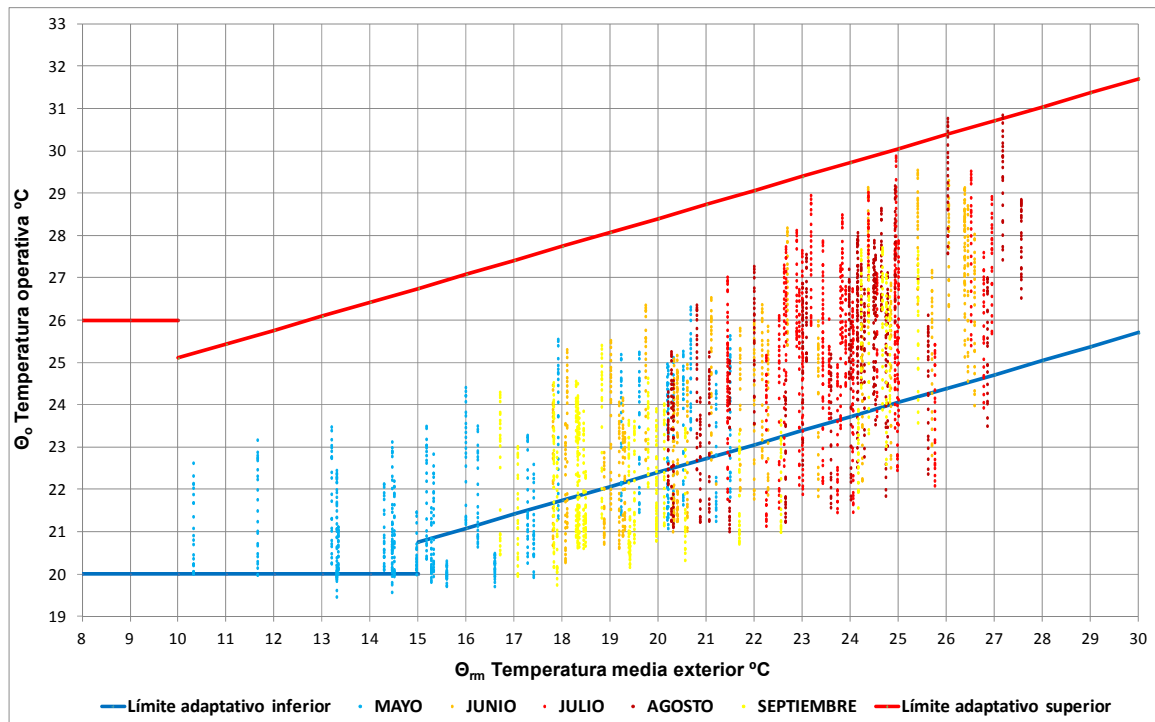


Figura 5.82. Temperaturas operativas para todo el verano en la Zona 6 Tudela para la vivienda Tipo [E_]. Playa de confort en edificios sin sistemas de enfriamiento activo según UNE-EN:15.251:2007, Categoría II (PPD<10%) en función de la temperatura exterior promedio θ_{m} [Elaboración propia].

La evolución de las temperaturas durante el mes de julio nos permite observar cómo la temperatura operativa se encuentra entre las temperaturas límites máximas y mínimas del modelo adaptativo (Fig. 5.83).

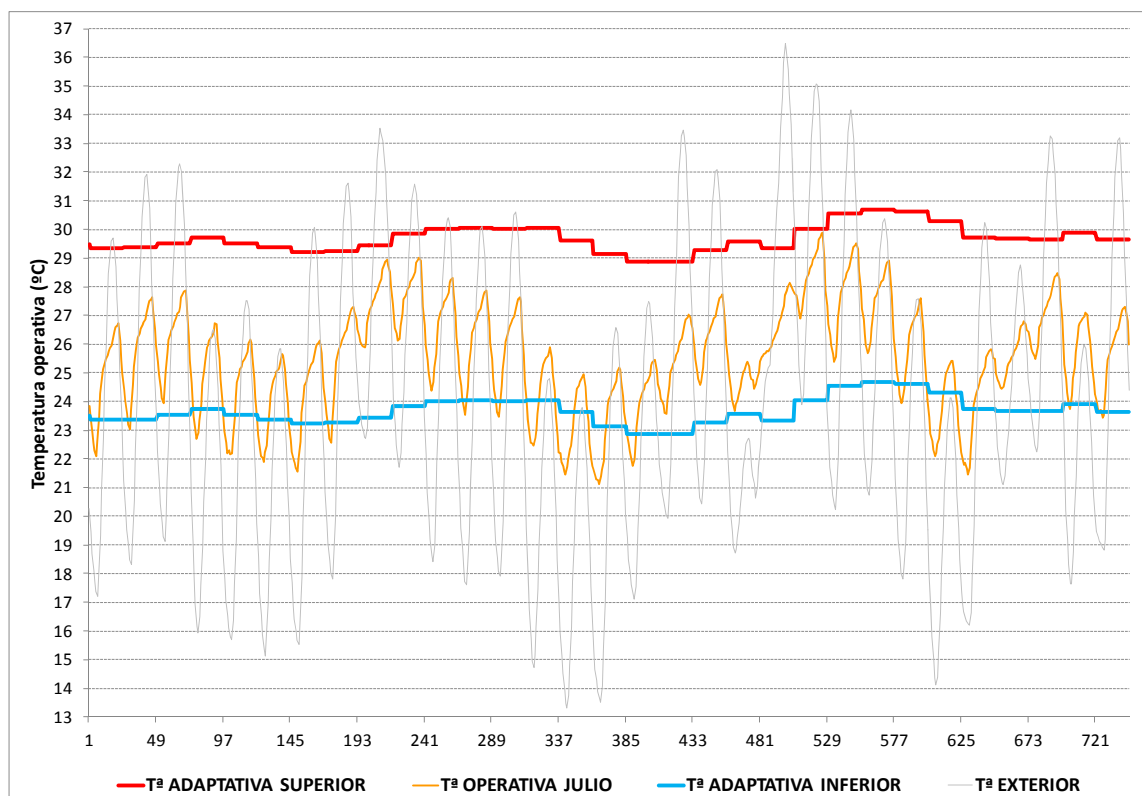


Figura 5.83. Evolución de la temperatura operativa en el mes de julio en la Zona 6 Tudela para la vivienda Tipo [E_]. Playa de confort en edificios sin sistemas de enfriamiento activo según UNE-EN:15.251:2007, Categoría II (PPD<10%) en función de la temperatura exterior promedio θ_{rm} [Elaboración propia].

ZONA Z7: CIUDAD DE REFERENCIA ISABA

En Isaba (Fig. 5.84), con la programación de invierno en la VMC las temperaturas se muestran en el rango de 20-24°C, con un aumento igualmente en el mes de Octubre en el que algunas temperaturas suben hasta casi los 25°C (máxima de 24,7°C). En cuanto a las humedades relativas, permanecen en la zona de 20-60% durante todo el invierno, un ambiente relativamente seco, sin que en ningún momento se supere la humedad relativa del 70%. La capacidad máxima necesaria de la VMC para mantenerse dentro de los límites de confort del PHI es de 1,5 r/h, funcionando para el caso de la tipología mostrada [E_] en una media de 0,56 r/h a lo largo del invierno.

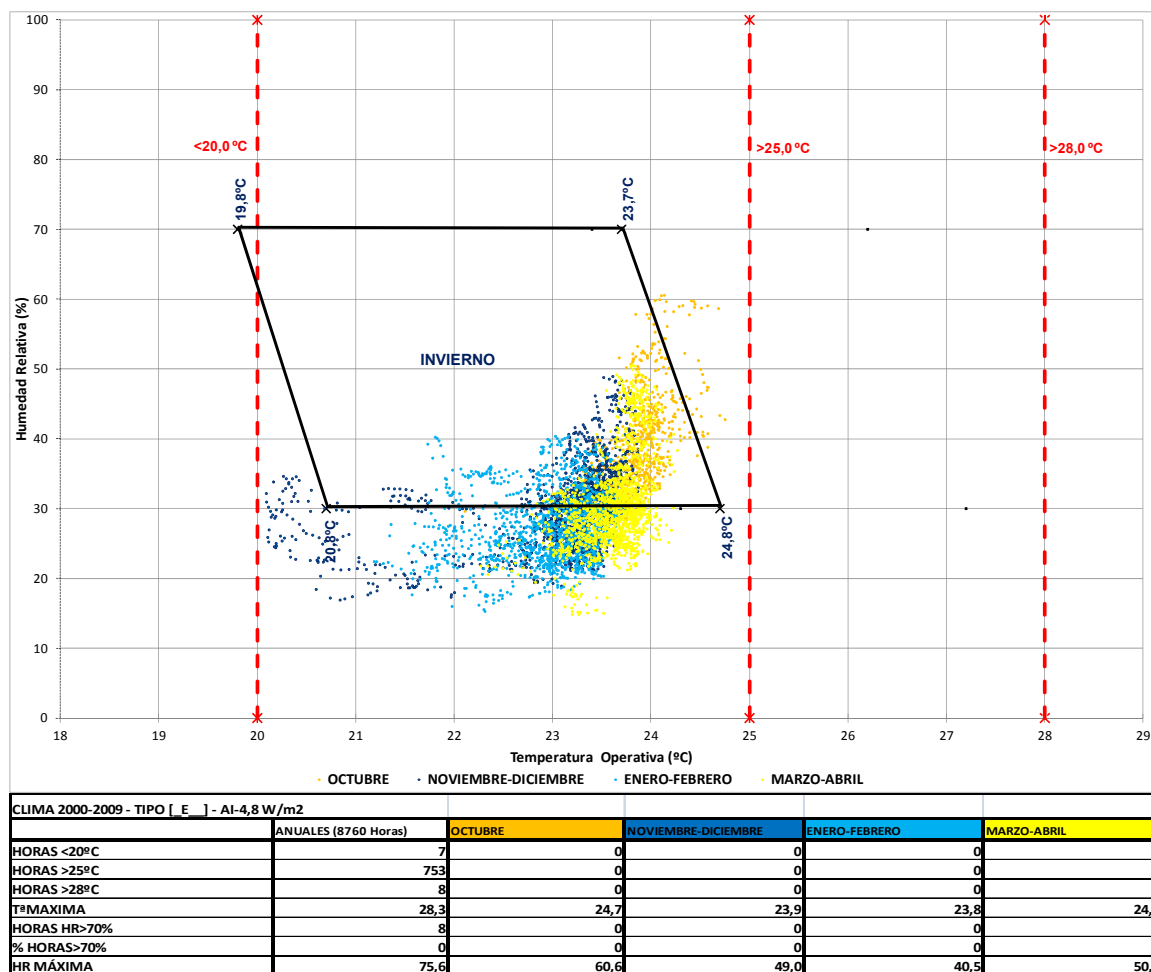


Figura 5.84. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 7 Isaba para la vivienda Tipo [E]. Caso con calefacción en el aire de impulsión y utilización del sistema VMC para el control del sobrecalentamiento. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

En la Figura 5.85 se observa que la utilización de la ventilación nocturna amplía el rango de temperaturas desde los mínimos de 19°C hasta un máximo de 28,3°C en el mes de agosto. El ambiente permanece seco durante todo el verano con un máximo del 1% de horas con HR >70% en el mes de septiembre. La capacidad máxima necesaria de la VMC para mantenerse dentro de los límites de confort del PHI es de 1,5 r/h, funcionando para el caso de la tipología mostrada [E] en una media de 1,30 r/h a lo largo del verano.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

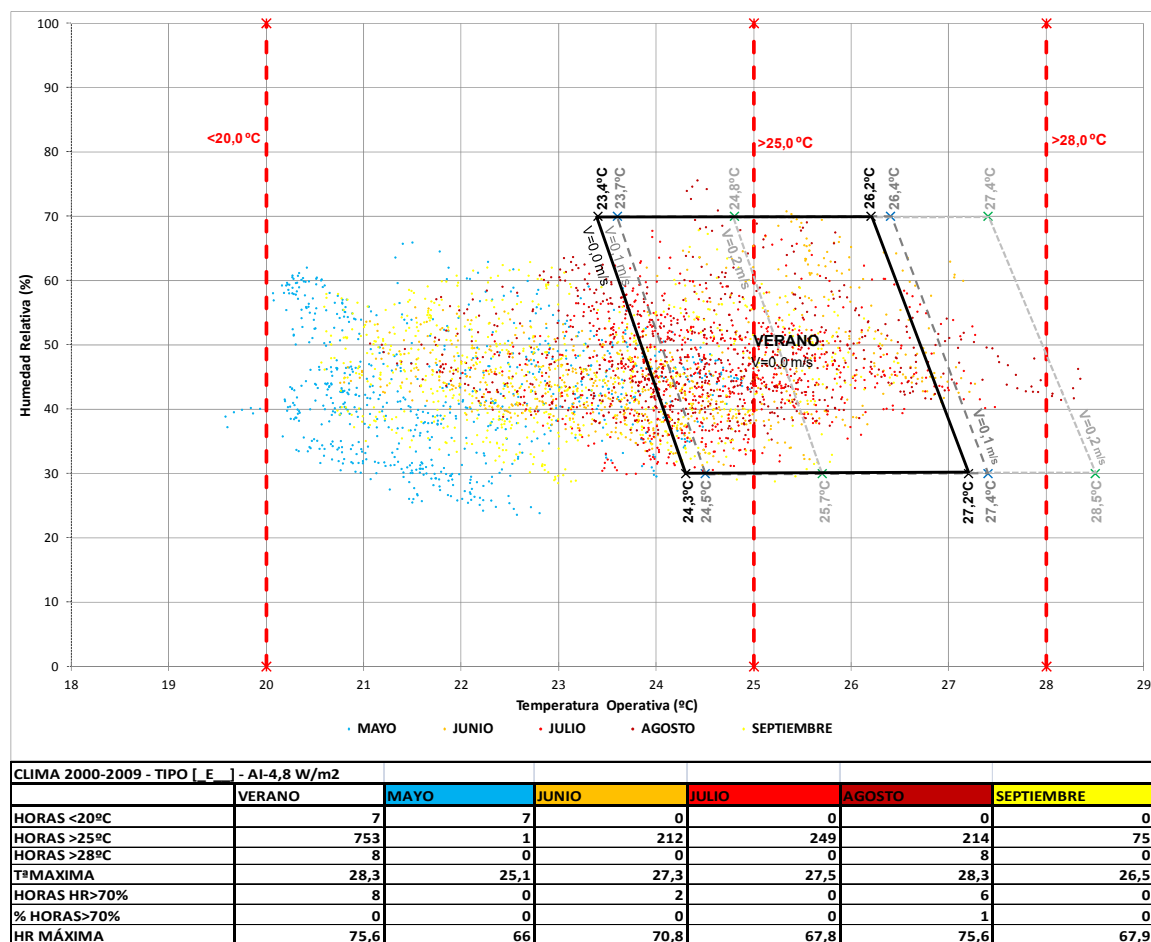


Figura 5.85. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 7 Isaba para la vivienda Tipo [E]. Caso con calefacción en el aire de impulsión y utilización del sistema VMC para el control del sobrecalentamiento. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

El análisis de la evolución horaria de las temperaturas del sistema con ventilación natural nocturna y sin deshumidificación durante el verano se muestra en la Figura 5.86. Se observan periodos por encima de 25°C en las horas nocturnas alcanzando el 21% de las horas nocturnas >25°C en el mes de junio, con la máxima temperatura interior en el mes de agosto de 28,3°C.

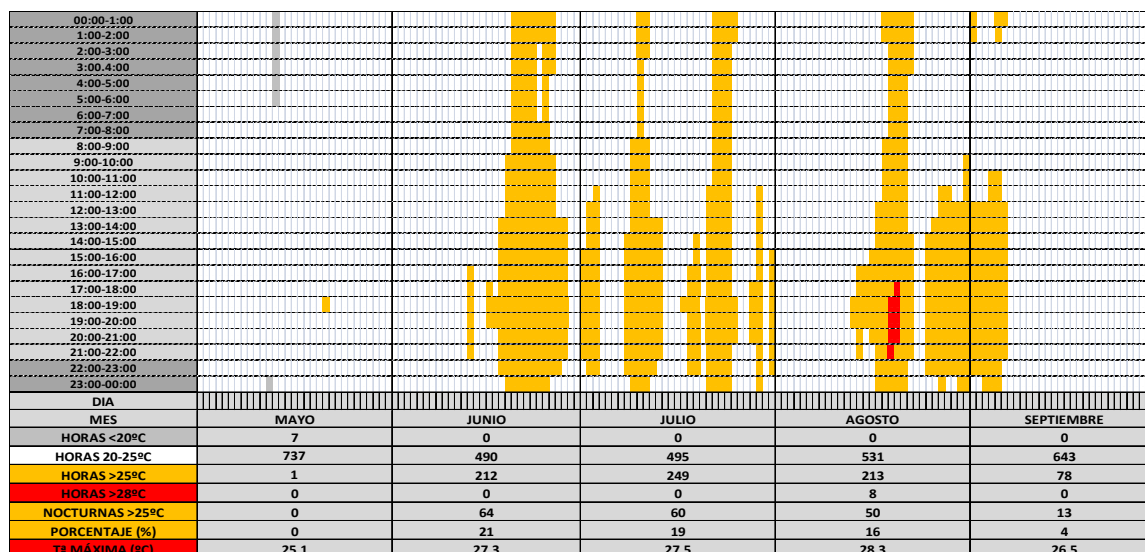


Figura 5.86. Evolución horaria de la temperatura operativa en verano en la Zona 7 Isaba para la vivienda Tipo [E]. Horas nocturnas por encima de 25°C [Elaboración propia].

5.4.4.2.1 ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE VENTILACIÓN SUAVE PASSIVHAUS DURANTE EL PERIODO INVERNAL

En este punto analizamos la capacidad de la ventilación mecánica inteligente utilizando exclusivamente los sistemas de ventilación mecánica necesarios para alcanzar la ventilación de higiene necesaria para cumplir con los parámetros de renovaciones por hora demandados por el Passivhaus y que se realizan con lo que se llama sistemas de ventilación mecánica suave, instalaciones con secciones de conductos pequeñas para transportar volúmenes bajos de aire por hora. Podemos valorar si con la propia ventilación higiénica podemos estar dentro de unos parámetros de confort en invierno, y se podrá optar por la posibilidad de combinar este sistema con otras soluciones para el verano, especialmente la ventilación natural nocturna.

Se programa la ventilación mecánica convencional de Passivhaus (suave) para que alcance el límite de funcionamiento cuando la temperatura interior supera los 24°C, fijando este valor en 1 r/h del 1 de octubre al 30 de abril. Esto implica que la ventilación actuará de forma automática, sin intervención de los usuarios, y será necesaria como con todas las ventilaciones mecánicas analizadas hasta ahora aislar los conductos. Por otro lado, no será necesario un sobredimensionamiento de los conductos ni de los ventiladores, pero sí de dotar de aislamiento a los conductos para evitar las condensaciones de agua.

En la Figura 5.87, se muestran las horas >25°C en las ciudades y tipos estudiados.

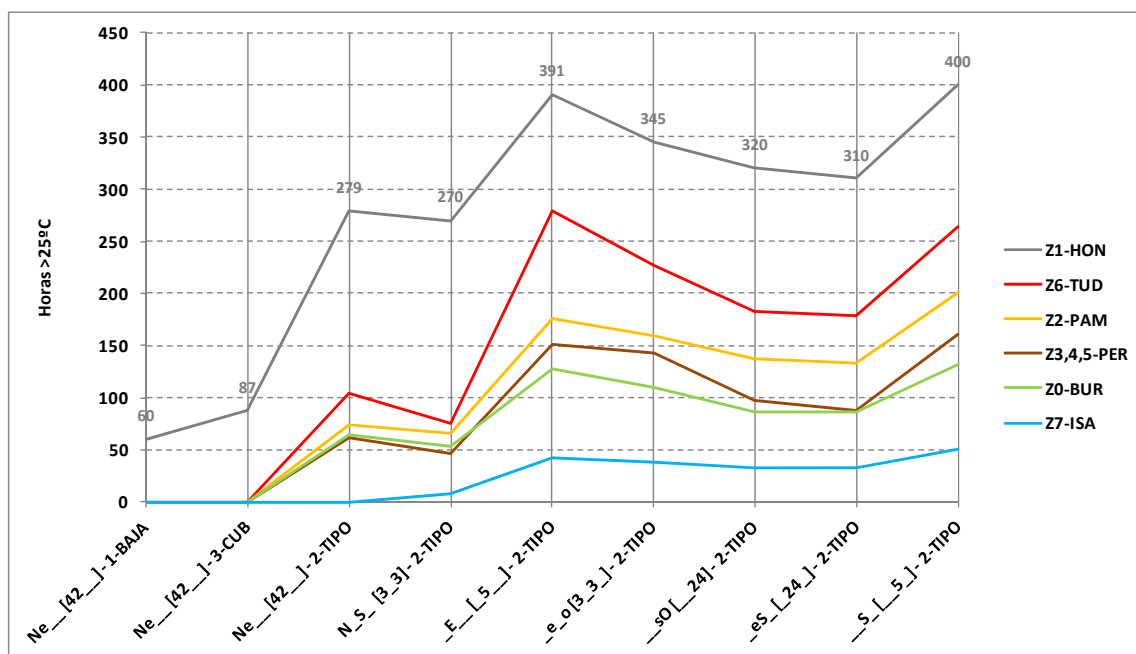


Figura 5.87. Eficiencia de la ventilación mecánica suave durante el invierno. Número de horas por encima de 25°C para los tipos analizados en las ciudades de referencia durante el invierno(1-10/30/04) [Elaboración propia].

En invierno, la ventilación suave Passivhaus tiene la capacidad de reducir a cero las horas por encima de 28°C, salvo en Hondarribia, en la que durante el mes de octubre se producen pequeños picos elevado de temperatura¹¹.

Como observamos en la Figura 5.87, se obtienen valores relativamente bajos respecto a las temperaturas >25°C, y nulas prácticamente en las temperaturas >28°C (Fig. 5.88) salvo en algunos tipos de Hondarribia. Esto nos permite concluir que la utilización del sistema de ventilación mecánica suave podrá combinarse con sistemas de ventilación natural durante el periodo estival para entrar dentro de unos parámetros de confort anuales.

¹¹ Estos picos de temperatura son habituales en la zona costera durante los meses de octubre en los que se produce el llamado "veranillo de San Miguel (29 de septiembre) o San Martín (11 de noviembre, habitual en el hemisferio norte en el que las temperaturas se recuperan brevemente para luego caer de nuevo a las normales de otoño. Esto se acentúa por la cercanía del mar y la combinación con viento Sur que tiene como consecuencia el efecto Foehn producido al secarse el aire a su paso por la cordillera cantábrica.

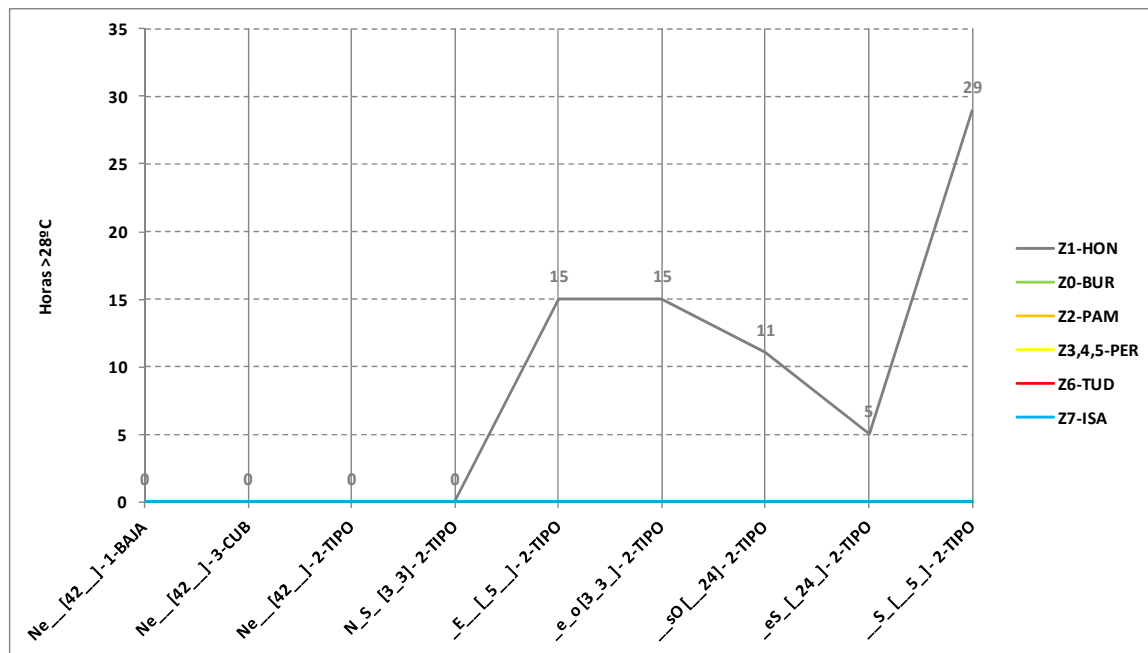


Figura 5.88. Eficiencia de la ventilación mecánica suave durante el invierno. Número de horas por encima de 28°C para los tipos analizados en las ciudades de referencia durante el invierno(1-10/30/04) [Elaboración propia].

5.4.5 FASE IV: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE LA VENTILACIÓN NATURAL COMO SISTEMA DE REGULACIÓN DEL CONFORT

5.4.5.1 CRITERIOS Y OBJETIVOS

En este punto se analiza la capacidad de conseguir estar dentro de los límites de confort según los modelos EN-ISO:7730 y EN:15.221 utilizando exclusivamente la ventilación manual a través de las ventanas. Se define un modelo de ventilación que aproveche al máximo las bajas temperaturas nocturnas pero con la mínima intervención de los usuarios. La programación de la ventilación en verano (1 mayo-30 septiembre), que denominaremos ventilación nocturna intensa (VNN INTENSA) mantiene las ventanas abiertas al 100% por la mañana, de 8:00-9:00 h y por las noches de 20:00-23:00. El resto de la noche, de 23:00-8:00 de están osciladas dejando una superficie abierta de un 10%. Permanecerán abiertas siempre que la temperatura interior sea superior a 22°C y que en el exterior la temperatura sea igual o menor que la interior. Esta programación exige que los usuarios cierren las ventanas las noches en las que la temperatura desciende demasiado, o en su caso, evitar la ventilación con las ventanas osciladas para que las temperaturas interiores no caigan por debajo del confort durante la noche. Por tanto, no se elige una temperatura inferior a los 22°C para no obligar a una manipulación excesiva de las ventanas y que no se produzca un descenso demasiado acusado de las temperaturas interiores.

En invierno (1 octubre-30 abril), se estudia el modelo más restrictivo, en el que los usuarios se encuentran fuera del hogar durante la jornada laboral, de 9:00-18:00 h, y se encuentran activos para regular la apertura de las ventanas hasta un 100% durante un corto periodo por la mañana, de 8:00-9:00 h y durante la tarde-noche, de 18:00-22:00 h. Los sábados y domingos se amplía el horario de 9:00-23:00 h. La temperatura a la cual se programa la apertura de las ventanas es de 24°C en el interior, y se abrirán siempre que en el exterior exista una temperatura menor. Como ocurre con el caso del verano, este supuesto implica una actitud activa de los usuarios, menos complicada, ya que en las horas diurnas es posible tener durante casi todo el periodo horas por debajo de la temperatura de consigna interior máxima de 24°C, pero que requiere igualmente de una actitud atenta a la situación de las temperaturas interiores y las exteriores durante el proceso. En la Tabla 5.15 se resumen las características de los sistemas HVAC así como de las programaciones de la ventilación natural y las protecciones solares.

Tabla 5.15. Sistemas HVAC con ventilación natural a través de las ventanas			
Componente	Programación	Consigna	Valor adoptado
Ocupación	Ocupación CTE		0,038 personas/ m ²
Ventilación Mecánica suave	Todo el año 24 h		8,33 l s/persona
Recuperador de calor sensible 85%	1 de octubre al 30 abril.	Economizador si Temperatura interior >24°C o si temperatura exterior >20°C	
Ventilación natural	VERANO: 24 h On INVIERNO: 24 h On	VERANO: Si la temperatura interior es superior a 22 °C y la exterior es menor que la interior INVIERNO: Si la temperatura interior es superior a 24 °C y la exterior es menor que la interior	Según cálculo en función del clima. No se considera la acción del viento
Economizador		Activado cuando se apaga recuperador	
Calefacción	1 de octubre al 30 abril 24 h	Activado Si temperatura <20°C	
Refrigeración	No		
Deshumidificación	No		
Protección solar externa	Todo el año activa	Persianas bajadas si temperatura interior >23°C	
<i>[Elaboración propia]</i>			

5.4.5.2 RESULTADOS DE LA VENTILACIÓN NATURAL

En la Figura 5.89 se muestra el funcionamiento de la ventilación un día de verano (16 de julio) en Hondarribia para todas las tipologías analizadas. De 20:00-23:00 h. se dan las máximas renovaciones de aire, alcanzando máximas de 10 r/h. Posteriormente, durante la noche, cuando las ventanas se mantienen osciladas, se reduce el intercambio de aire a valores entre 0,5-4 r/h. Por la mañana, el proceso de apertura de ventanas entre las 8:00-9:00 h logra aumentar el intercambio hasta las 4-8 r/h. Todas las tipologías tienen un funcionamiento similar.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

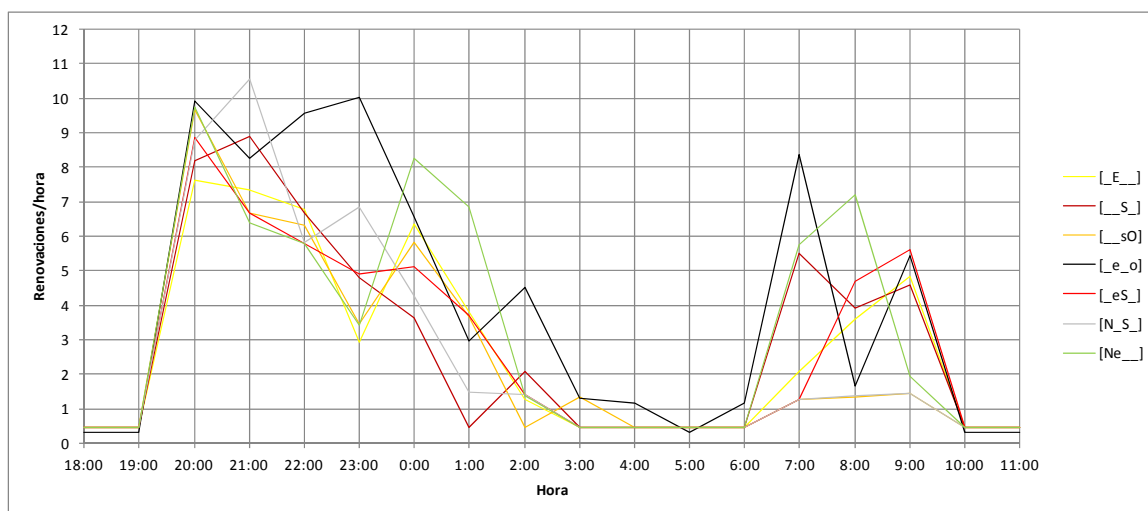


Figura 5.89. Funcionamiento de la ventilación natural nocturna. Renovaciones/hora en todas las tipologías analizadas en la Zona 1 para la ciudad de referencia Hondarrribia. Periodo del 15 de julio 18:00 h al 16 julio 11:00 h [Elaboración propia].

Con respecto a la capacidad que tiene cada clima de generar el intercambio de aire, en la Figura 5.90 se observa cómo en la ciudad de Tudela, con un descenso de temperaturas nocturnas mayor que en la ciudad costera de Hondarrribia, se obtienen valores más altos¹². Este efecto aumenta desde la costa hasta las ciudades más interiores de forma progresiva.

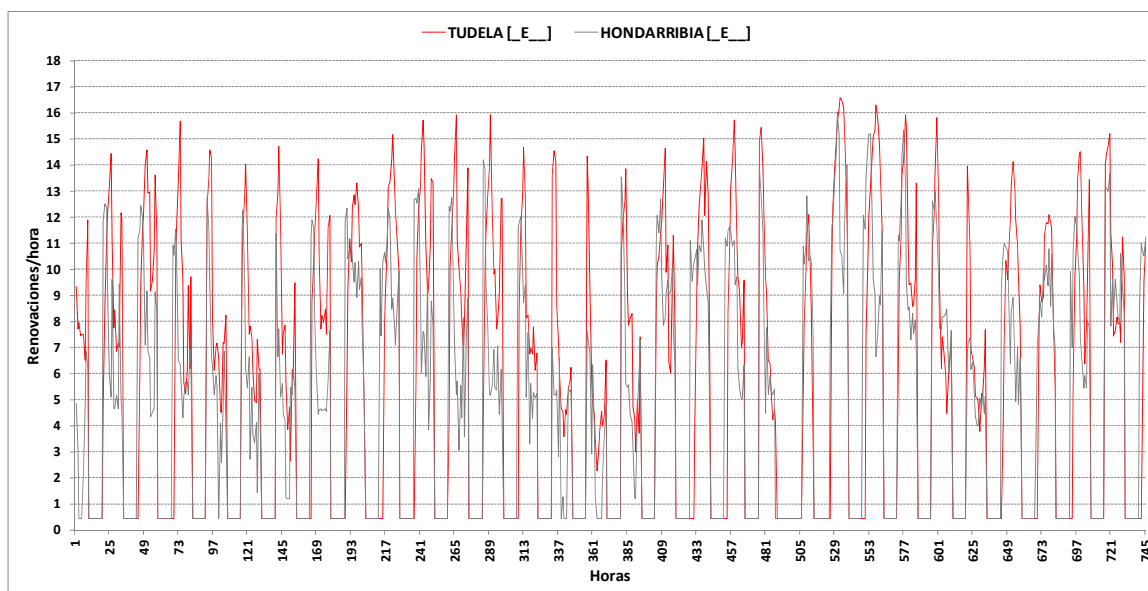


Figura 5.90. Funcionamiento de la ventilación natural nocturna. Comparativo de las renovaciones/ hora producidas en Hondarrribia y Tudela para la vivienda tipo [E_]. Periodo del 15 de julio 18:00 h al 16 julio 11:00 h [Elaboración propia].

En la Figura 5.91 apreciamos este efecto en una jornada de julio.

¹² Téngase en cuenta que solamente se considera la capacidad térmica en las renovaciones de aire, obviándose la influencia del viento.

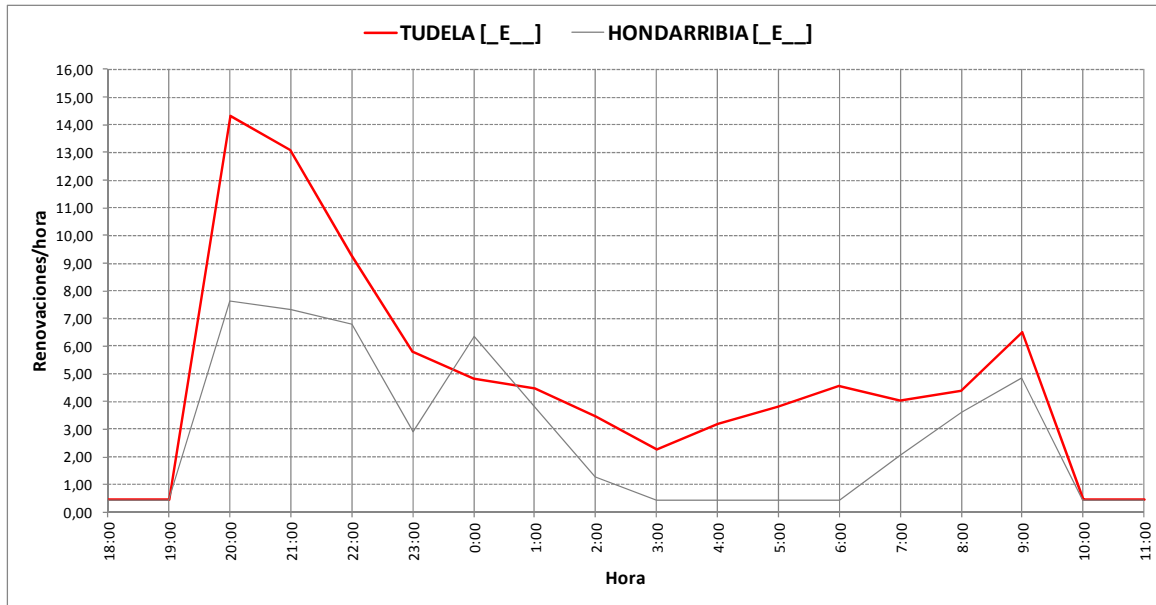


Figura 5.91. Funcionamiento de la ventilación natural nocturna. Renovaciones/hora comparativa Hondarrabia y Tudela. Periodo del 15 de julio 18:00 h al 16 julio 11:00 h [Elaboración propia].

La Figura 5.92 se nos muestra la capacidad de enfriamiento que la entrada de aire a menor temperatura que el ambiente interior tiene en los tipos estudiados, alcanzando valores de hasta -27 W/m^2 para la ciudad de Tudela, inferiores en el caso de Hondarrabia, aunque con picos también altos.

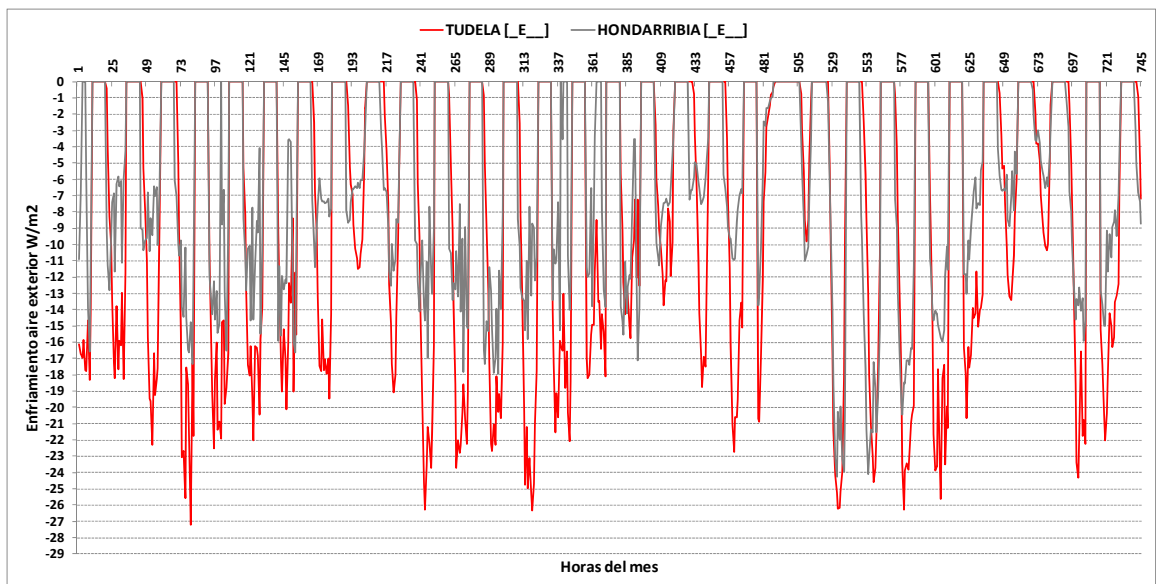


Figura 5.92. Funcionamiento de la ventilación natural nocturna. Capacidad de enfriamiento W/m^2 . Comparativa Hondarrabia y Tudela. Periodo mes de julio [Elaboración propia].

En la Figura 5.93 se aprecia el efecto descrito en una jornada de verano. Vemos como la capacidad de enfriamiento del aire exterior en Hondarrabia se encuentra siempre por debajo del de la ciudad de Tudela.

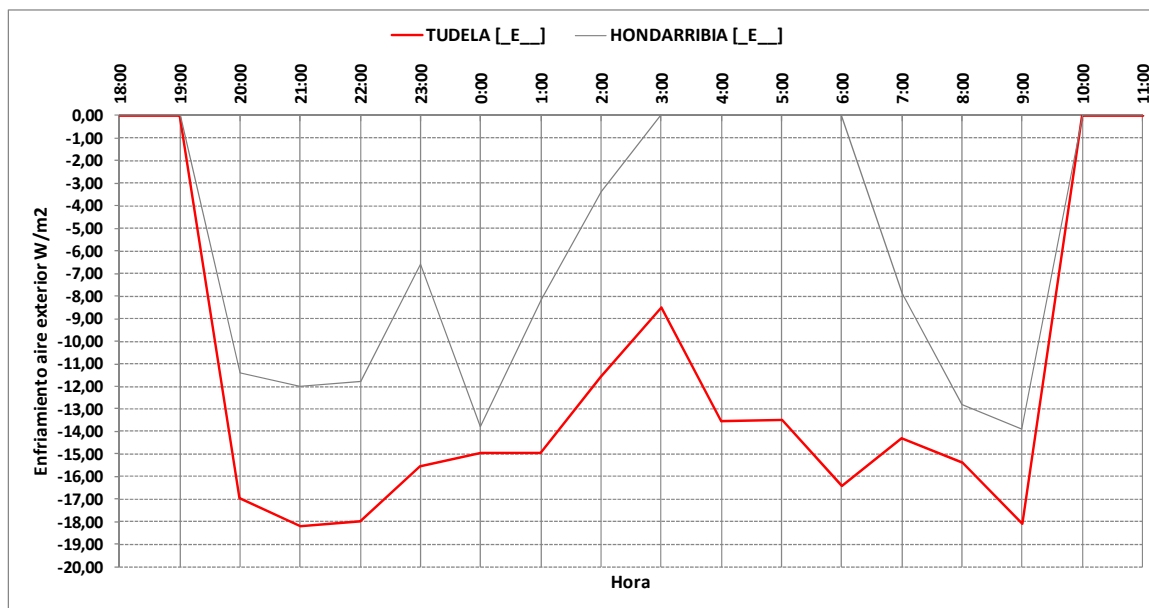


Figura 5.93. Funcionamiento de la ventilación natural nocturna. Capacidad de enfriamiento W/m^2 . Comparativa Hondarrribia y Tudela. Periodo mes de julio [Elaboración propia].

5.4.5.3 ANÁLISIS DEL CONFORT

5.4.5.3.1 VERANO

Durante el verano, este mecanismo de ventilación intensa permite mantener a todas las ciudades de referencia, salvo Tudela, dentro de los límites de confort del PHI (Fig. 5.94). En el caso de Tudela, algunas tipologías [S_], [N_S_], [eS_], [sO_] y [Ne_] se mantienen dentro del límite marcado por el PHI.

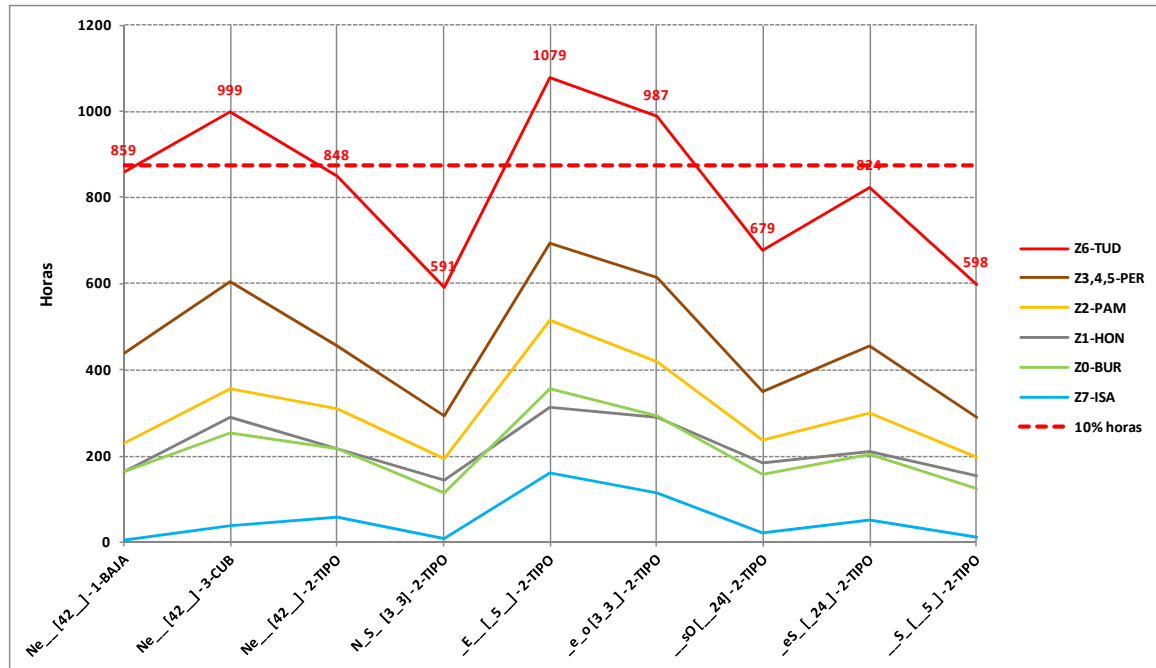


Figura 5.94. Eficiencia de la ventilación natural de verano. Ventanas abiertas al 100% por la mañana, de 8:00-9:00 h y por las noches de 20:00-23:00; el resto de la noche, de 23:00-8:00 osciladas dejando una superficie abierta de un 10%. Número de horas anuales por encima de 25°C para los tipos analizados en las ciudades de referencia [Elaboración propia].

En cuanto a las temperaturas >28°C (Fig. 5.95), todas las ciudades y todas las tipologías se mantienen dentro de los límites marcados por el PHI, desapareciendo incluso en varias de las ciudades de referencia.

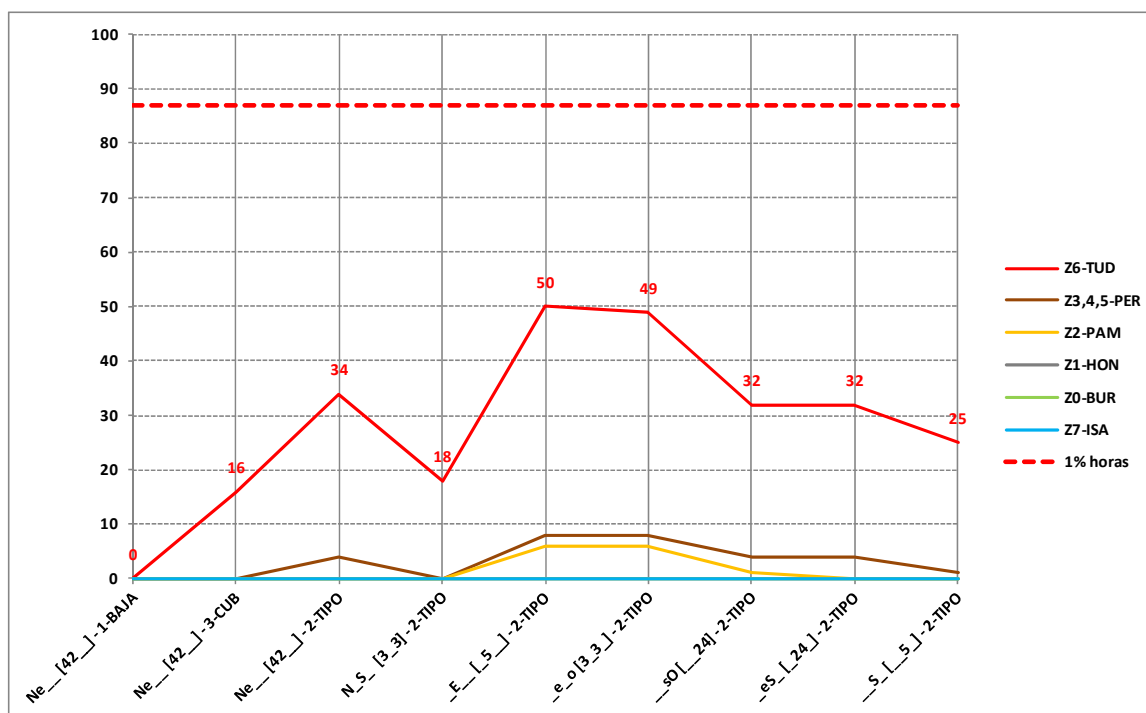


Figura 5.95. Eficiencia de la ventilación natural de verano. Ventanas abiertas al 100% por la mañana, de 8:00-9:00 h y por las noches de 20:00-23:00; el resto de la noche, de 23:00-8:00 osciladas dejando una superficie abierta de un 10%. Número de horas anuales por encima de 28°C para los tipos analizados en las ciudades de referencia [Elaboración propia].

5.4.5.3.2 INVIERNO

Durante el invierno (Fig. 5.96), se muestra como desaparecen las horas >25°C en casi todas las localizaciones salvo en la ciudad de Hondarribia. Esta situación se produce prácticamente en un periodo puntual en el mes de Octubre (10-17 octubre) debido al ya comentado efecto del aumento estadístico de temperaturas que se produce en este mes especialmente en las ciudades de la costa vasca.

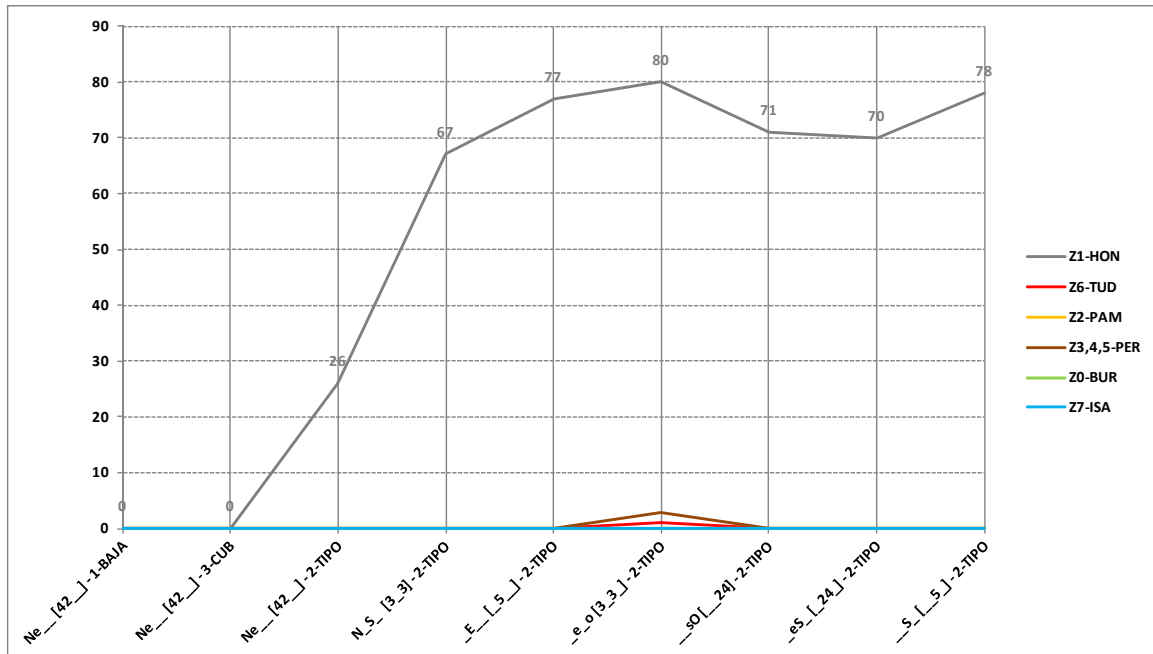


Figura 5.96. Eficiencia de la ventilación natural durante el invierno. VNN Intensa. Número de horas anuales por encima de 25°C para los tipos analizados en las ciudades de referencia [Elaboración propia].

En cuanto a las horas por encima de los 28°C son prácticamente inexistentes en todas las ciudades de referencia de las zonas climáticas (No se muestra gráfico).

5.4.5.3.3 ANUAL

La combinación de los periodos invernales y estivales nos da como resultado las gráficas de las Figuras 5.97 y 5.98. Como hemos visto, las ciudades con más riesgo de sobrecalentamiento en verano no coinciden con las que lo tienen en invierno, compensándose en el cómputo anual. Vemos que al igual que en el periodo estival, la única ciudad por encima de los límites sería Tudela pero solo en cuanto a las horas por encima de 25°C, y no así en las horas por encima de los 28°C.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

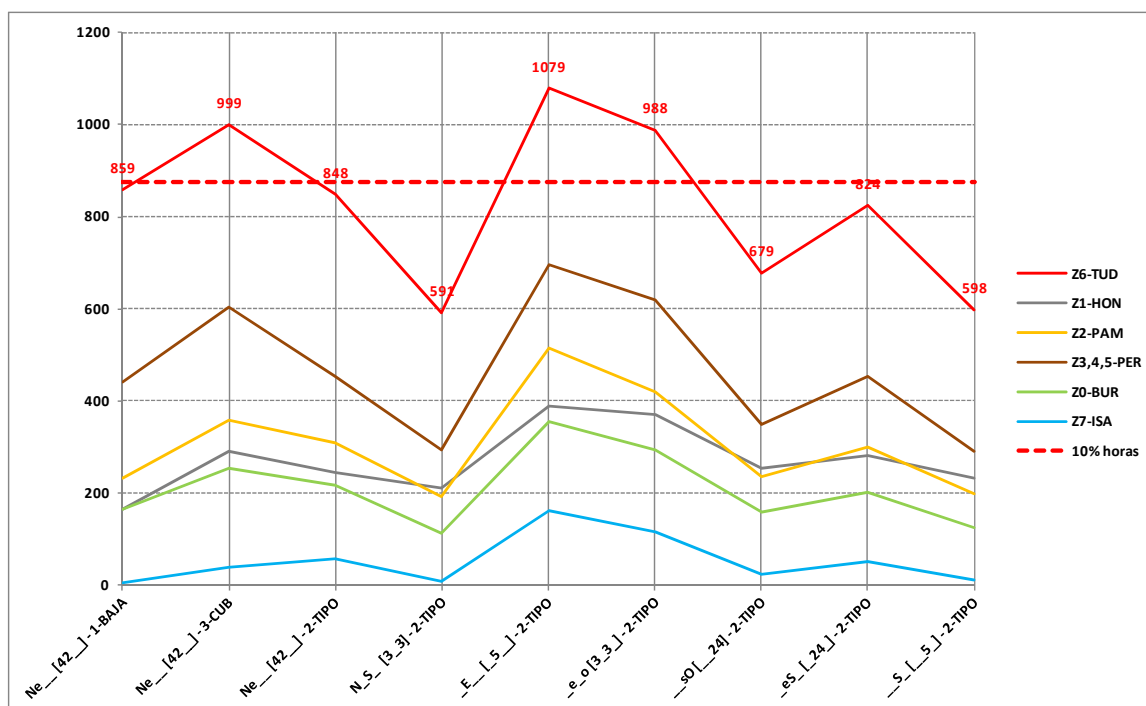


Figura 5.97. Eficiencia de la ventilación natural durante todo el año. Horas >25°C [Elaboración propia].

En cuanto a los periodos anuales por encima de 28°C (Fig. 5.98), solo los encontramos en Tudela, Hondarribia, Peralta y Pamplona, todos ellos por debajo del límite de 1% de horas anuales.

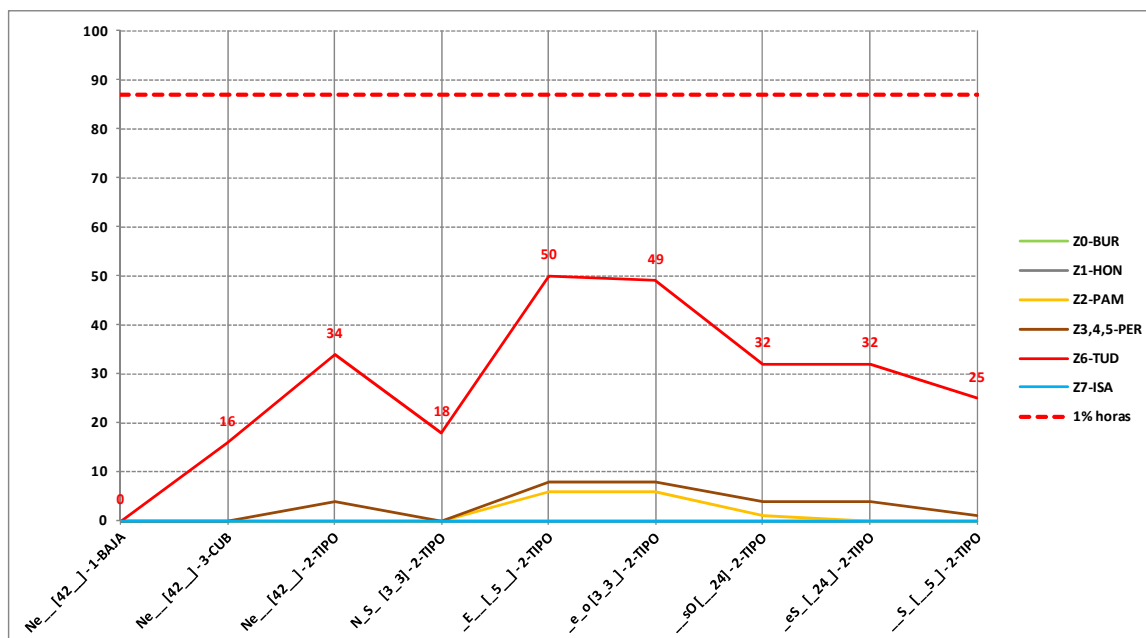
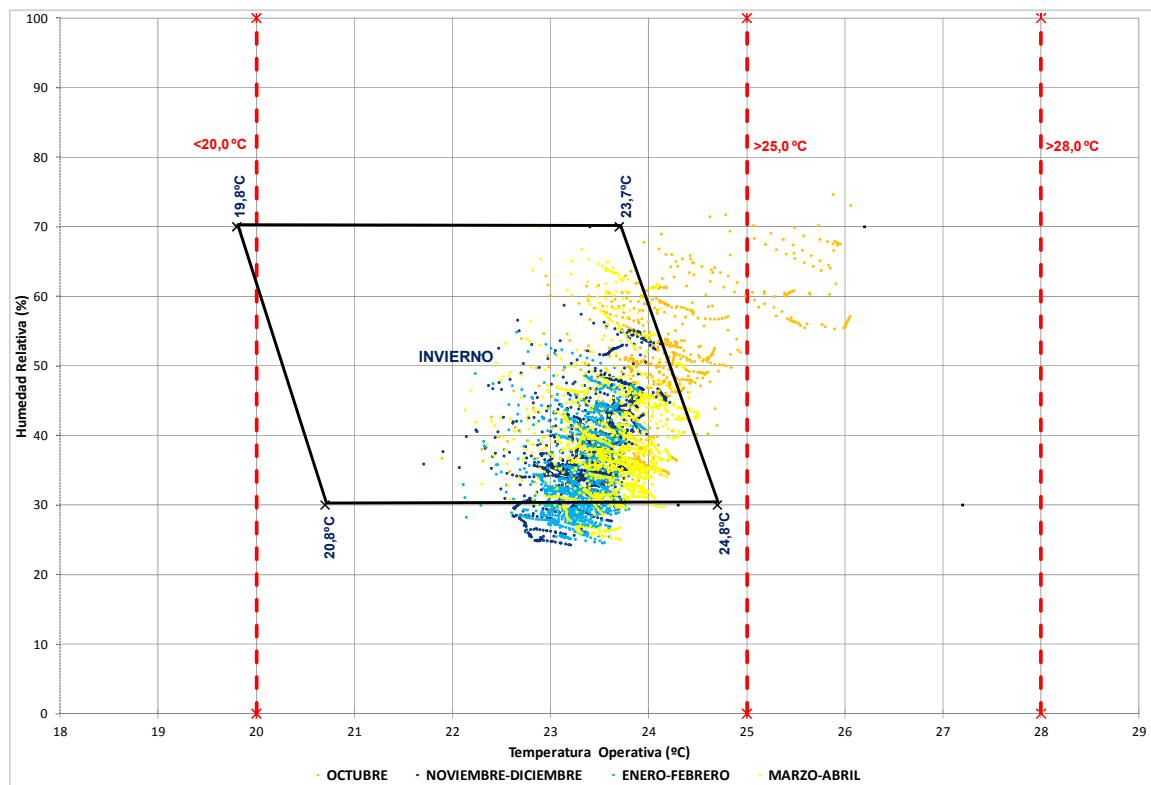


Figura 5.98. Eficiencia de la ventilación natural durante todo el año. Horas >28°C [Elaboración propia].

5.4.5.3.4 CIUDADES DE REFERENCIA

ZONA Z1: CIUDAD DE REFERENCIA HONDARRIBIA

En Hondarribia (Fig. 5.99), con la programación de invierno en la apertura de ventanas, las temperaturas se muestran en el rango de 22-24°C. Sin embargo, en el mes de octubre algunas temperaturas suben hasta casi los 26°C (máxima de 26,1°C), debido a las altas temperaturas que se producen estadísticamente en esas fechas (Verano de San Miguel). En cuanto a las humedades relativas, permanecen por debajo del 70% durante todo el invierno, salvo algunos picos en octubre. Durante el invierno, se produce un intercambio medio de aire con el exterior de 0,73 r/h.



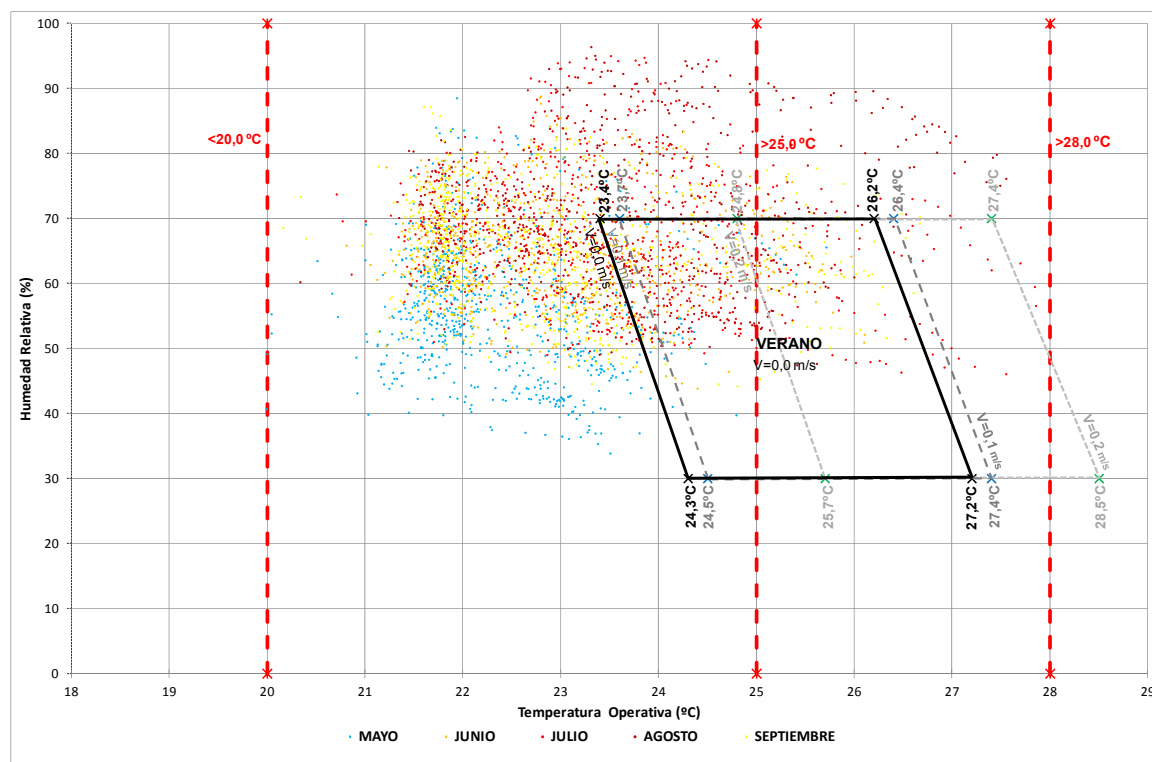
CLIMA 2000-2009 - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2					
	ANUALES (8760 Horas)	OCTUBRE	NOVIEMBRE-DICIEMBRE	ENERO-FEBRERO	MARZO-ABRIL
HORAS <20°C	2	0	0	0	0
HORAS >25°C	390	77	0	0	0
HORAS >28°C	0	0	0	0	0
TªMAXIMA	27,9	26,1	24,2	24,0	24,5
HORAS HR>70%	1063	7	0	0	1
% HORAS>70%	12	1	0	0	0
HR MÁXIMA	96,4	77,6	58,8	54,9	70,1

Figura 5.99. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 1-Hondarribia para la vivienda Tipo [E]. Caso con calefacción en el aire de impulsión y ventilación natural a través de las ventanas para el control del sobrecalentamiento. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

En verano (Fig. 5.100), la utilización de la ventilación nocturna amplía el rango de temperaturas desde los mínimos de 20°C hasta un máximo de 27,9°C en el mes de agosto. Esta ventilación intensiva hace que en el mes de agosto especialmente, aumenten las horas con alta humedad hasta el 45% de las horas con un máximo del 96,4%. Durante el verano, se produce un intercambio medio de aire con el exterior de 3,78 r/h.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal



CLIMA 2000-2009 - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2	VERANO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
HORAS <20°C	2	2	0	0	0	0
HORAS >25°C	313	7	46	76	115	69
HORAS >28°C	0	0	0	0	0	0
Tª MAXIMA	27,9	25,7	26,1	27,9	27,5	26,7
HORAS HR>70%	1056	51	177	298	333	197
% HORAS>70%	29	7	25	40	45	27
HR MÁXIMA	96,4	89	88,8	95,0	96,4	87,2

Figura 5.100. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 1-Hondarribia para la vivienda Tipo [E]. Caso con calefacción en el aire de impulsión y ventilación natural a través de las ventanas para el control del sobrecalentamiento. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

El análisis de la evolución horaria de las temperaturas del sistema con ventilación natural nocturna durante el verano se muestra en la Figura 5.101. Se observan cortos periodos por encima de 25°C en las horas nocturnas alcanzando el 15% >25°C en el mes de agosto, sin embargo no coinciden con las máximas interiores de 27,9°C que se producen en el mes de julio.

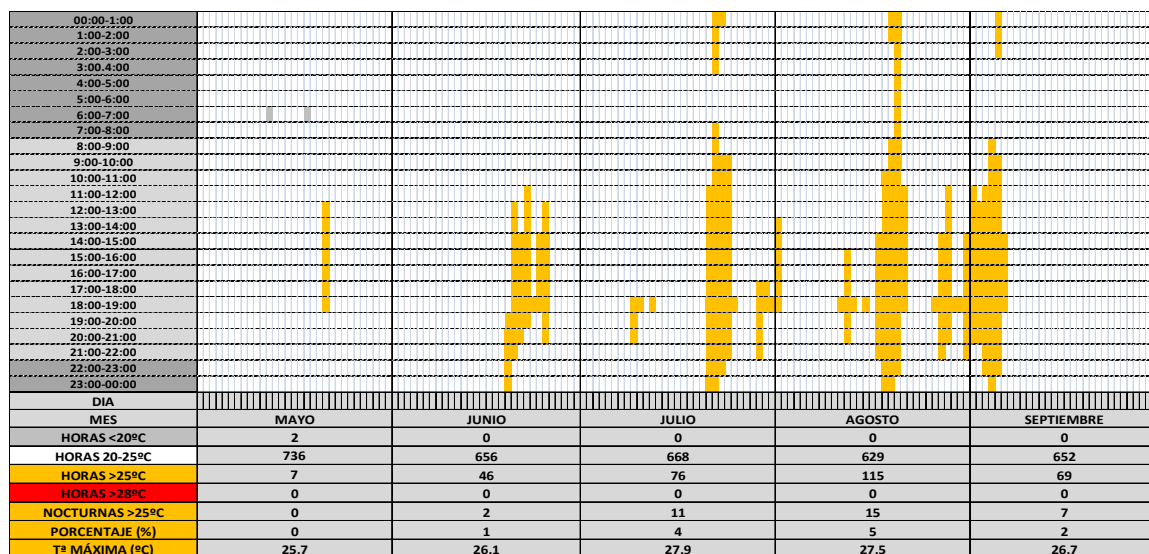


Figura 5.101. Evolución horaria de la temperatura operativa en verano en la Zona 1-Hondarribia para la vivienda Tipo [E]. Horas nocturnas por encima de 25°C [Elaboración propia].

ZONA Z2: CIUDAD DE REFERENCIA PAMPLONA-IRUÑA

En Pamplona-Iruña (Fig. 5.102), con la programación de invierno en la apertura de ventanas, las temperaturas se muestran en el rango de 22-24°C, alcanzando las máximas en el mes de octubre, en el que algunas temperaturas suben hasta casi los 25°C (máxima de 24,8°C). En cuanto a las humedades relativas, permanecen por debajo del 70% durante todo el invierno. Durante el invierno, se produce un intercambio medio de aire con el exterior de 0,62 r/h.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

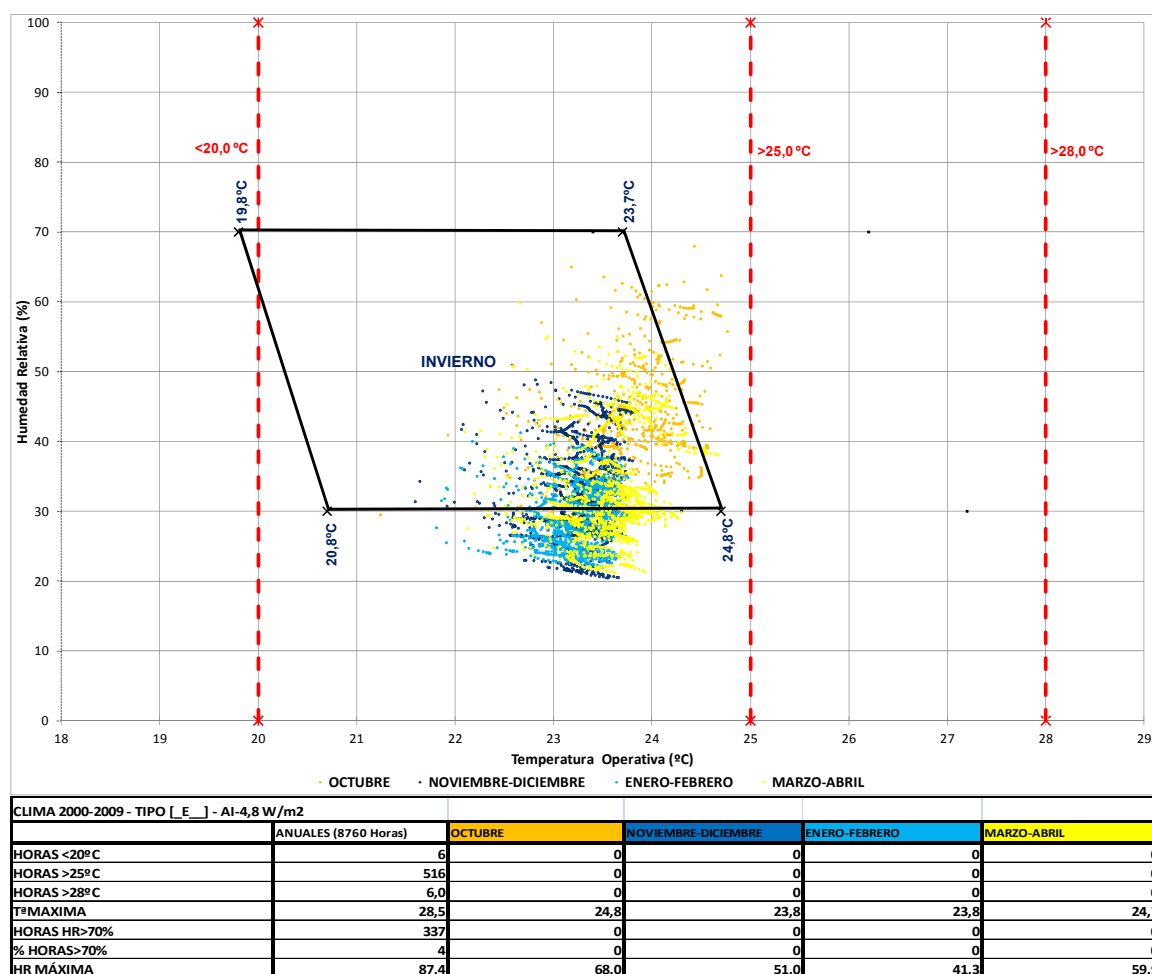


Figura 5.102. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 2 Pamplona-Iruña para la vivienda Tipo [_E_]. Caso con calefacción en el aire de impulsión y ventilación natural a través de las ventanas para el control del sobrecalentamiento. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

En verano (Fig. 5.103), la utilización de la ventilación nocturna amplía el rango de temperaturas desde los mínimos de 19°C hasta un máximo de 28,5°C en el mes de agosto. Esta ventilación intensiva hace que en el mes de junio y julio especialmente, aumenten las horas con alta humedad hasta un máximo del 13% de las horas con una HR máxima del 87,4%. Durante el verano, se produce un intercambio medio de aire con el exterior de 3,55 r/h.

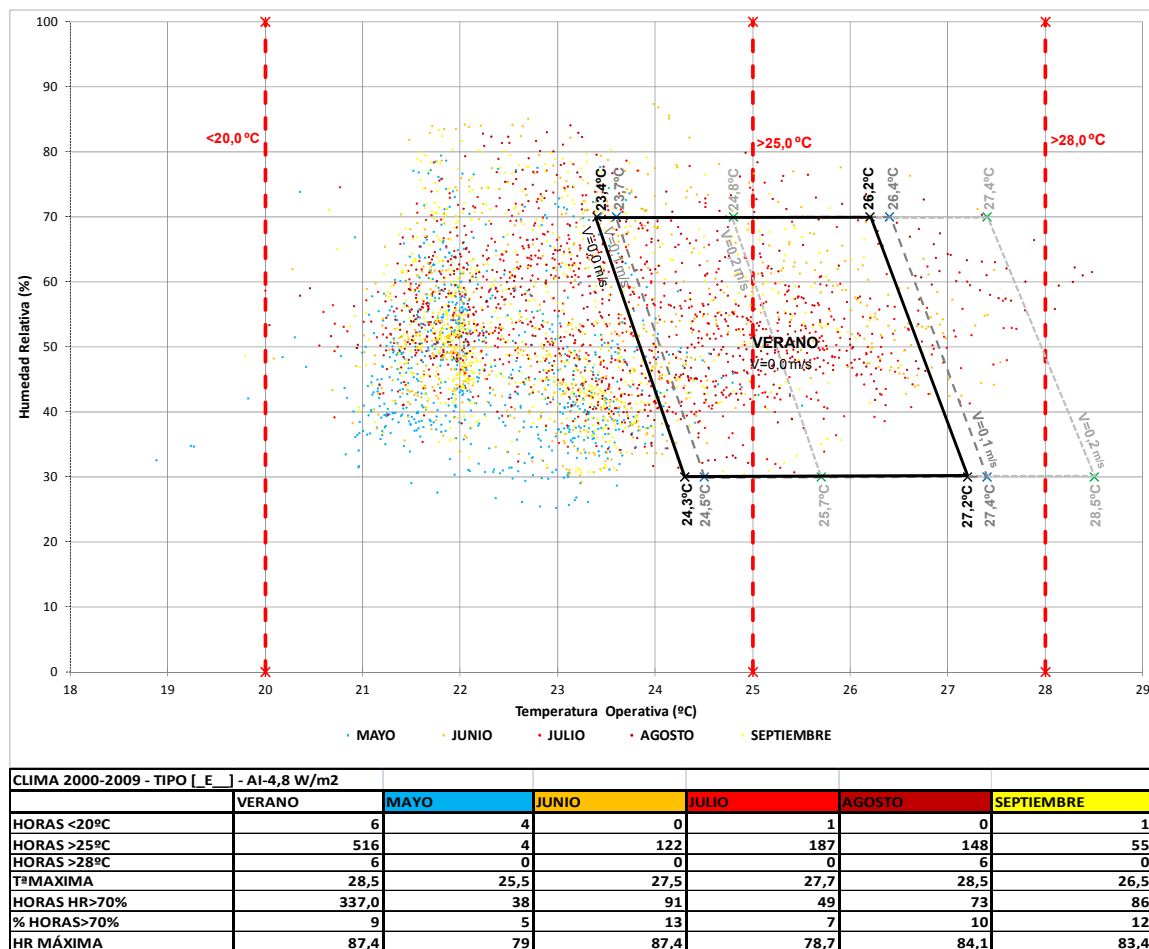


Figura 5.103. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 2 Pamplona-Iruña para la vivienda Tipo [E]. Caso con calefacción en el aire de impulsión y ventilación natural a través de las ventanas para el control del sobrecalentamiento. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

El análisis de la evolución horaria de las temperaturas del sistema con ventilación natural nocturna durante el verano se muestra en la Figura 5.103. Se observan cortos periodos por encima de 25°C en las horas nocturnas alcanzando el 7% de las horas nocturnas >25°C en el mes de agosto, coincidiendo con las máximas interiores de 28,5°C.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

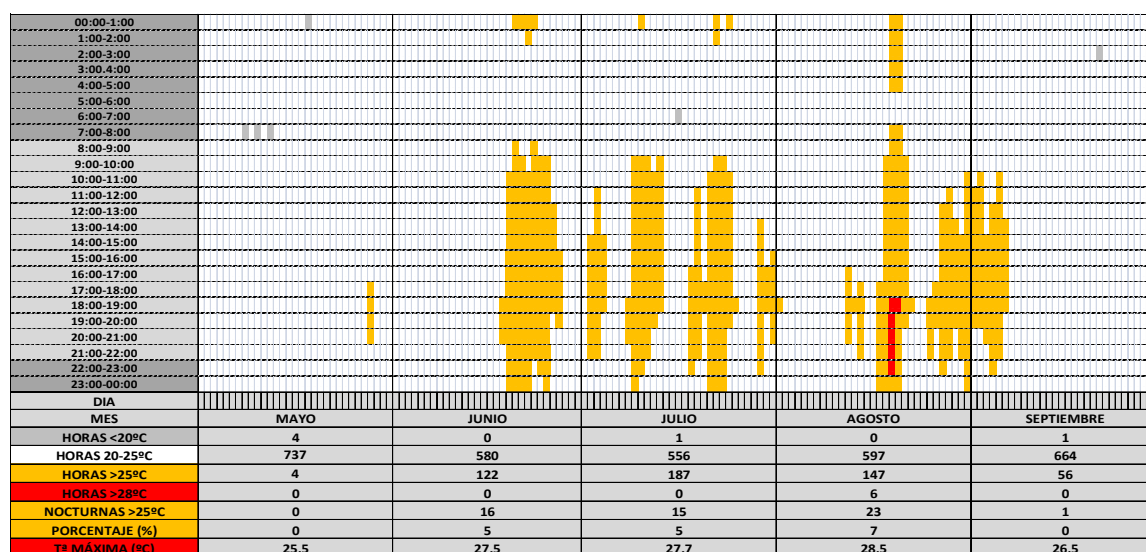


Figura 5.104. Evolución horaria de la temperatura operativa en verano en la Zona 2 Pamplona-Iruña para la vivienda Tipo [E]. Horas nocturnas por encima de 25°C [Elaboración propia].

ZONA Z3, Z4, Z5: CIUDAD DE REFERENCIA PERALTA-AZKOIEN

En Peralta-Azkoien (Fig. 5.105) con la programación de invierno en la apertura de ventanas, las temperaturas se muestran en el rango de 22-24°C, alcanzando las máximas en el mes de octubre y marzo-abril, en el que algunas temperaturas suben hasta casi los 25°C (máxima de 24,6°C). En cuanto a las humedades relativas, permanecen por debajo del 70% durante todo el invierno. Durante el invierno, se produce un intercambio medio de aire con el exterior de 0,62 r/h.

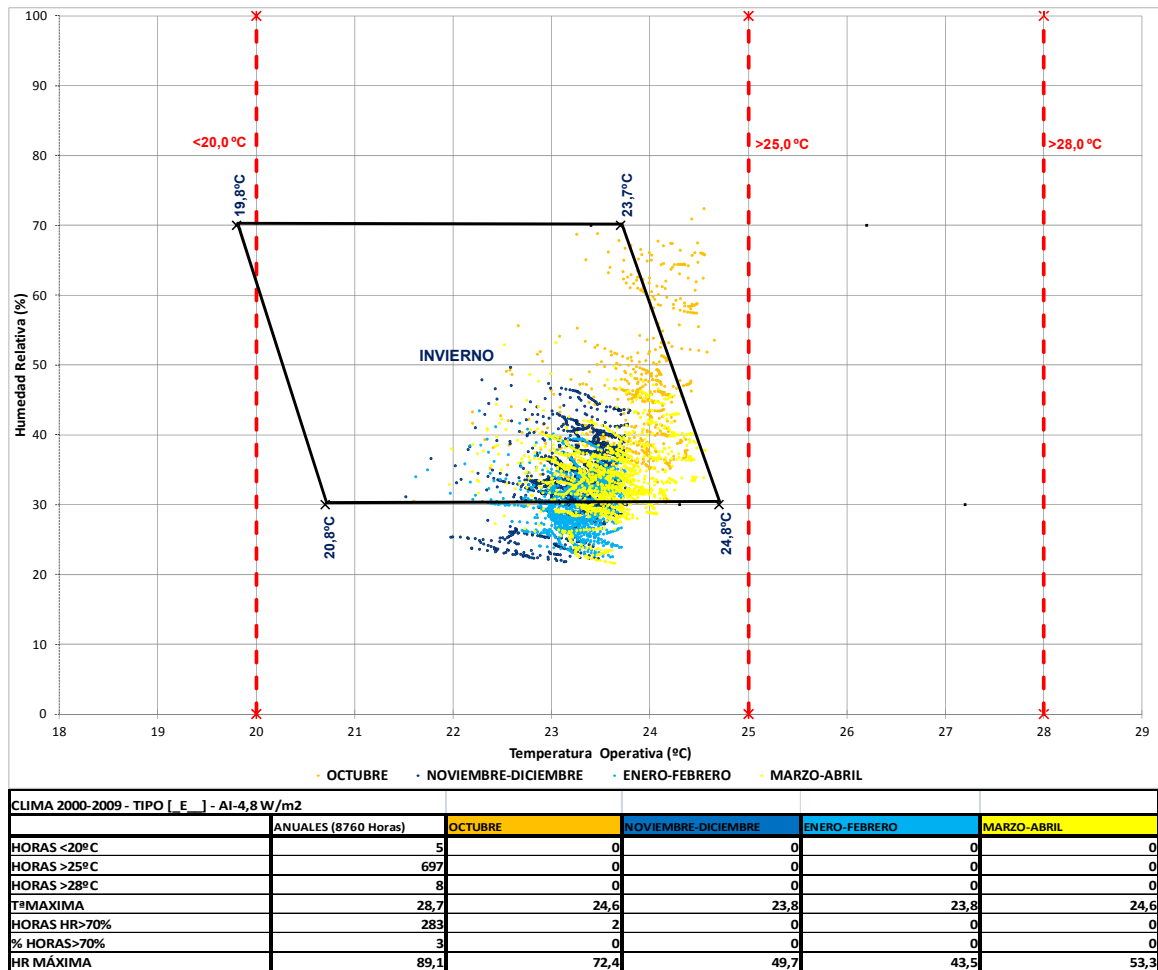
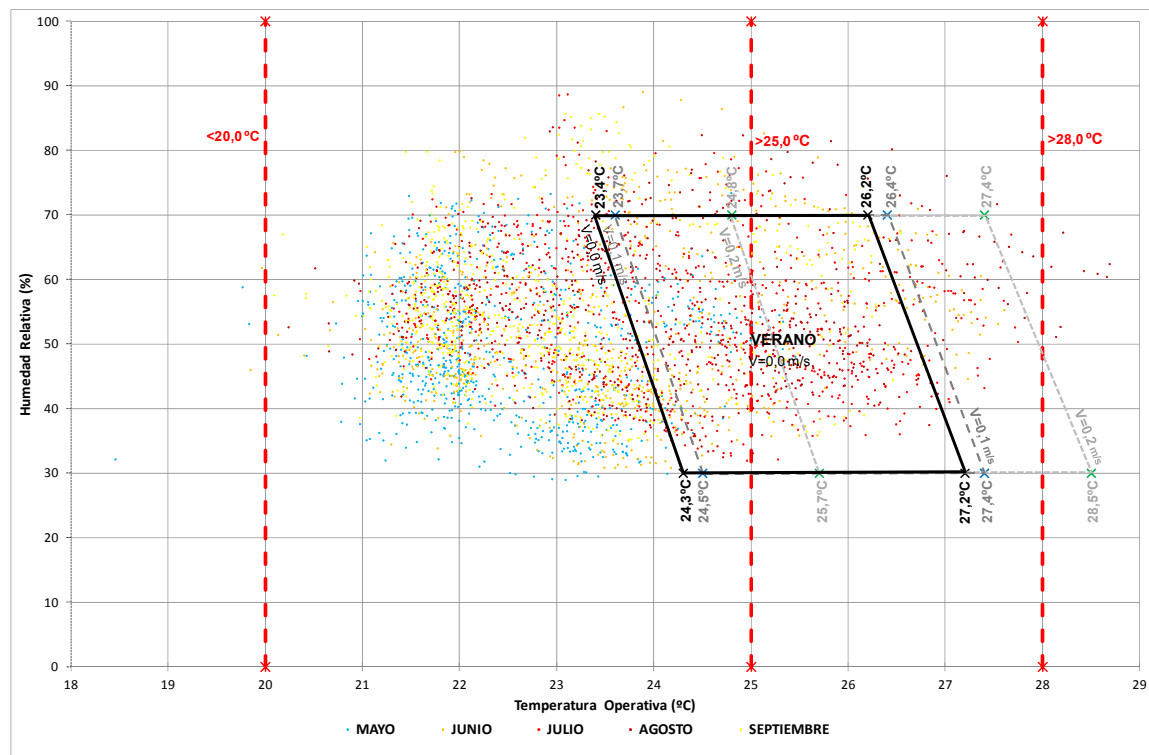


Figura 5.105. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 3,4,5 Peralta/Azkoien para la vivienda Tipo [E]. Caso con calefacción en el aire de impulsión y ventilación natural a través de las ventanas para el control del sobrecalentamiento. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

En verano (Fig. 5.106) la utilización de la ventilación nocturna amplía el rango de temperaturas desde los mínimos de 19°C hasta un máximo de 28,7°C en el mes de agosto. Esta ventilación intensiva hace que en el mes de junio y septiembre especialmente, aumenten las horas con alta humedad hasta un máximo del 13% de las horas con una HR máxima del 89,1%. Durante el verano, se produce un intercambio medio de aire con el exterior de 3,96 r/h.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal



CLIMA 2000-2009 - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2							
	VERANO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	
HORAS <20°C	5,0	3	2	0	0	0	0
HORAS >25°C	697,0	9	157	258	209	64	64
HORAS >28°C	8,0	0	0	0	8	0	0
TªMAXIMA	28,7	25,4	27,6	27,7	28,7	26,5	26,5
HORAS HR>70%	281,0	17	91	50	56	67	67
% HORAS>70%	7,7	2	13	7	8	9	9
HR MÁXIMA	89,1	73	89,1	88,7	83,6	85,8	85,8

Figura 5.106. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 3,4,5 Peralta/Azkoien para la vivienda Tipo [E]. Caso con calefacción en el aire de impulsión y ventilación natural a través de las ventanas para el control del sobrecalentamiento. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

El análisis de la evolución horaria de las temperaturas del sistema con ventilación natural nocturna durante el verano se muestra en la Figura 5.107. Se observan cortos periodos por encima de 25°C en las horas nocturnas alcanzando el 10% de las horas nocturnas >25°C en el mes de agosto, coincidiendo con las máximas interiores de 28,7°C.

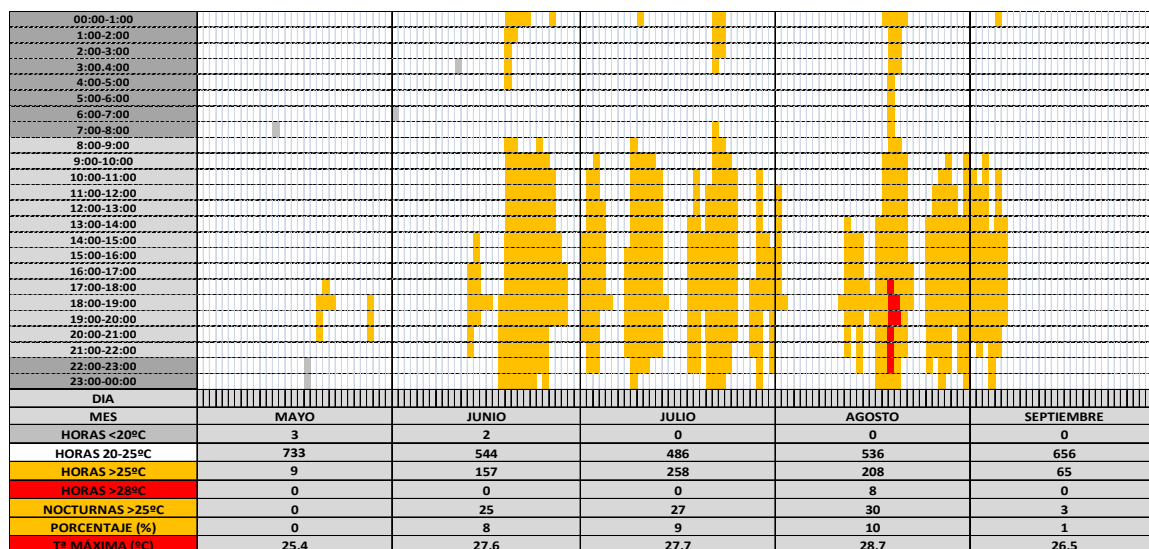


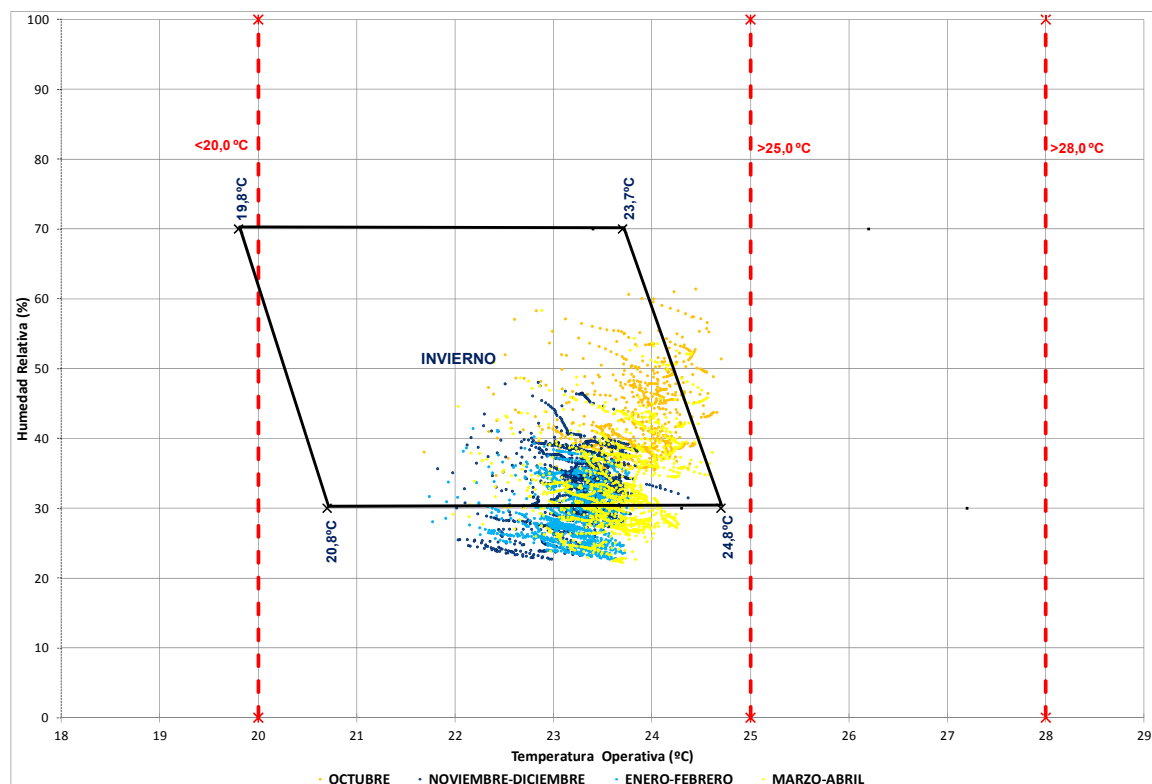
Figura 5.107. Evolución horaria de la temperatura operativa en verano en la Zona 3,4,5 Peralta/Azkoien para la vivienda Tipo [_E_]. Horas nocturnas por encima de 25°C [Elaboración propia].

ZONA Z6: CIUDAD DE REFERENCIA TUDELA

En Tudela (Fig. 5.108) con la programación de invierno en la apertura de ventanas, las temperaturas se muestran en el rango de 22-24°C, alcanzando las máximas en los meses de marzo-abril, en el que algunas temperaturas suben hasta un máximo de 24,4°C. En cuanto a las humedades relativas, permanecen por debajo del 70% durante todo el invierno. Durante el invierno, se produce un intercambio medio de aire con el exterior de 0,69 r/h.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal



CLIMA 2000-2009 - TIPO [E_] - AI-4,8 W/m2					
	ANUALES (8760 Horas)	OCTUBRE	NOVIEMBRE-DICIEMBRE	ENERO-FEBRERO	MARZO-ABRIL
HORAS <20°C	3	0	0	0	0
HORAS >25°C	1074	0	0	0	0
HORAS >28°C	48	0	0	0	0
Tª MAXIMA	29,5	24,7	24,4	23,8	24,6
HORAS HR>70%	182	0	0	0	0
% HORAS>70%	2	0	0	0	0
HR MÁXIMA	86,9	61,5	48,1	41,5	58,4

Figura 5.108. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 6 Tudela para la vivienda Tipo [E_]. Caso con calefacción en el aire de impulsión y ventilación natural a través de las ventanas para el control del sobrecalentamiento. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

En verano (Fig. 5.109), la utilización de la ventilación nocturna amplía el rango de temperaturas desde los mínimos de 19°C hasta un máximo de 29,5°C en el mes de agosto, pero en general se concentran en una franja de 21-28°C. Esta ventilación intensiva hace que en el mes de agosto especialmente, aumenten las horas con alta humedad hasta un máximo del 6% de las horas con una HR máxima del 86,9%. Durante el verano, se produce un intercambio medio de aire con el exterior de 4,43 r/h.

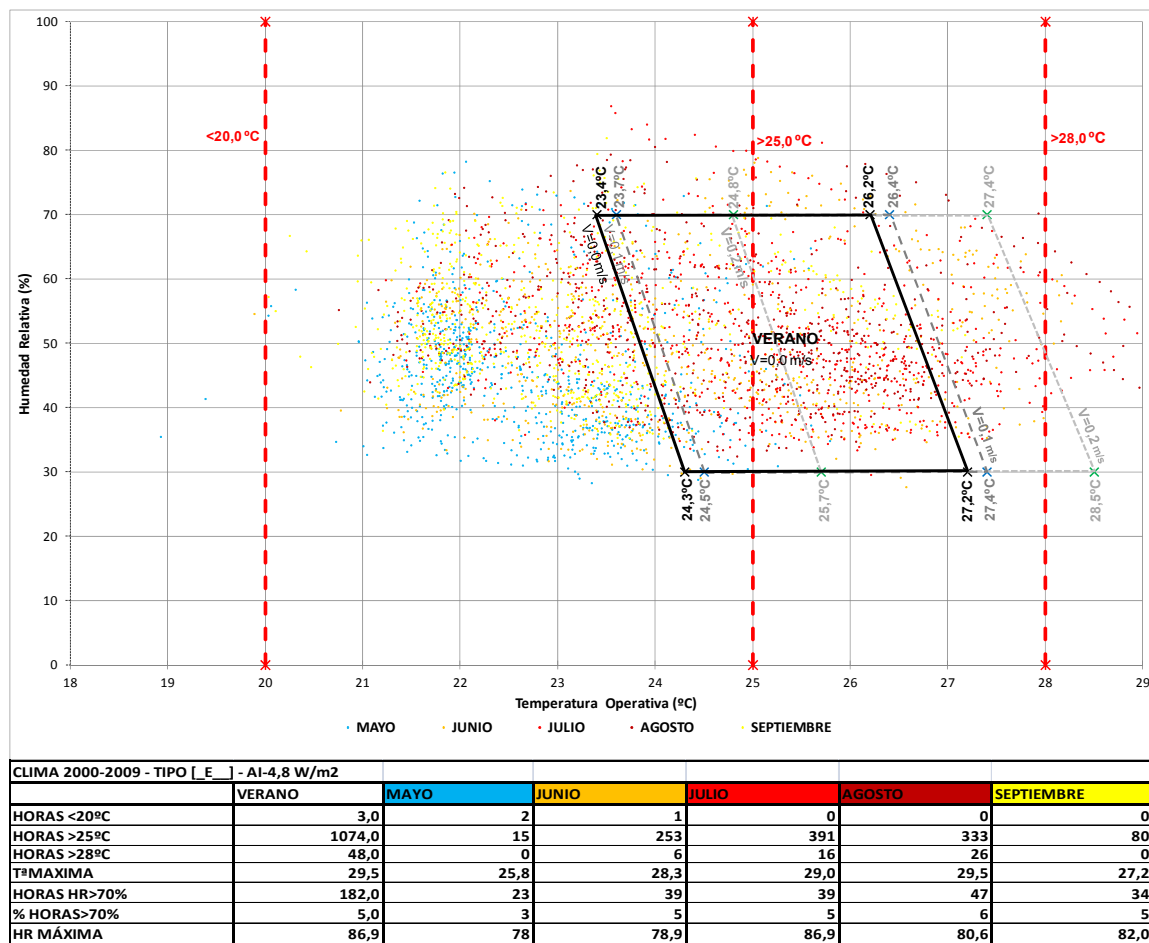


Figura 5.109. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 6 Tudela para la vivienda Tipo [_E_]. Caso con calefacción en el aire de impulsión y ventilación natural a través de las ventanas para el control del sobrecalentamiento. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

El análisis de la evolución horaria de las temperaturas del sistema con ventilación natural nocturna durante el verano se muestra en la Figura 5.110. Se observan periodos por encima de 25°C en las horas nocturnas alcanzando el 21% de las horas nocturnas >25°C en el mes de julio, y con las máximas interiores de 29,5°C en el mes de agosto.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

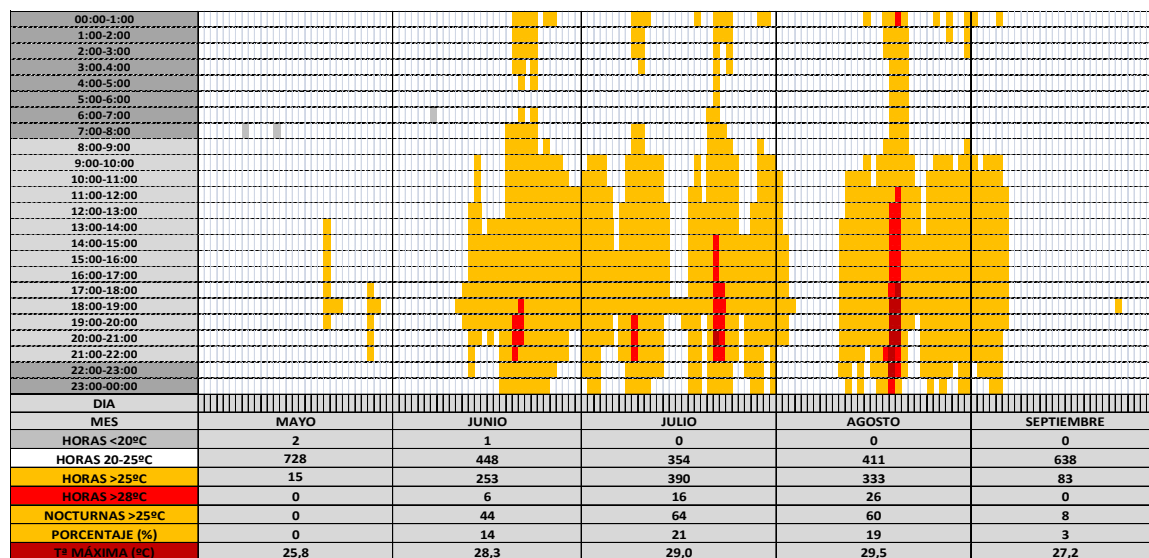


Figura 5.110. Evolución horaria de la temperatura operativa en verano en la Zona 6 Tudela para la vivienda Tipo [E]. Horas nocturnas por encima de 25°C [Elaboración propia].

En el caso de realizar un análisis a partir del modelo de confort adaptativo (Fig. 5.111), las temperaturas operativas interiores se encontrarían dentro de los límites de confort definidos en la norma EN:15.251.

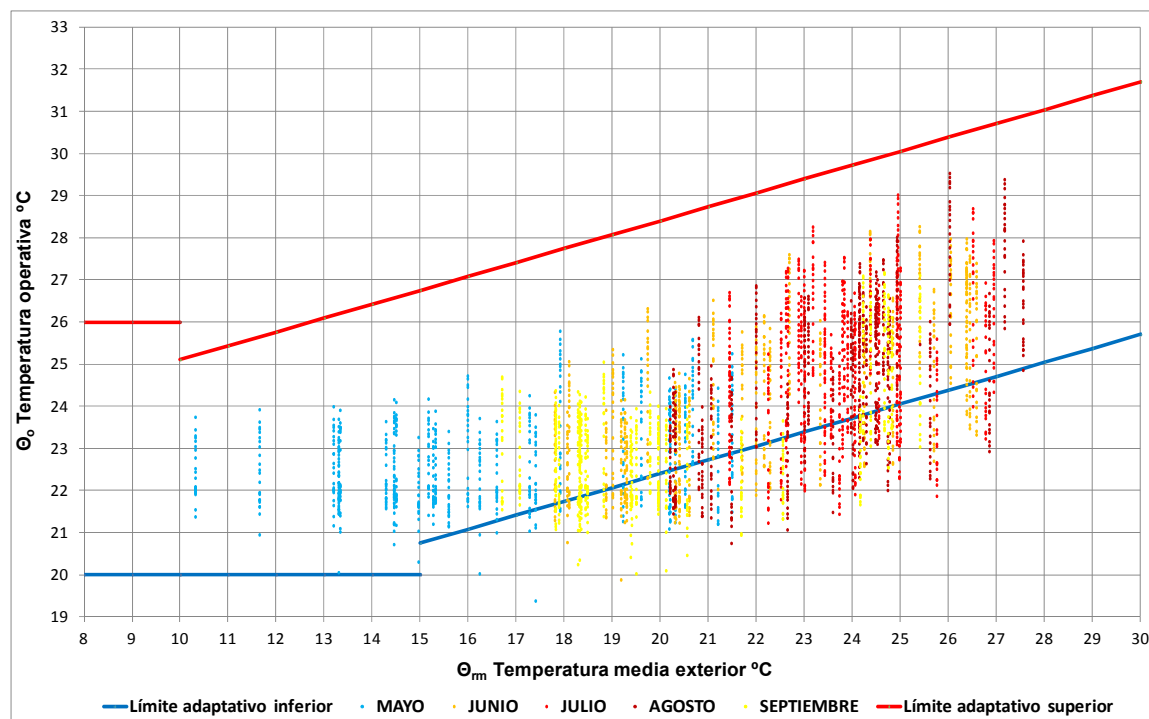


Figura 5.111. Temperaturas operativas para todo el verano en la Zona 6 Tudela para la vivienda Tipo [E]. Playa de confort en edificios sin sistemas de enfriamiento activo según UNE-EN:15.251:2007, Categoría II (PPD<10%) en función de la temperatura exterior promedio θ_m [Elaboración propia].

La evolución de las temperaturas durante el mes de julio nos permite observar cómo la temperatura operativa se encuentra entre las temperaturas límites máximas y mínimas

del modelo adaptativo, sobrepasando en algunos momentos el límite inferior (Fig. 5.112).

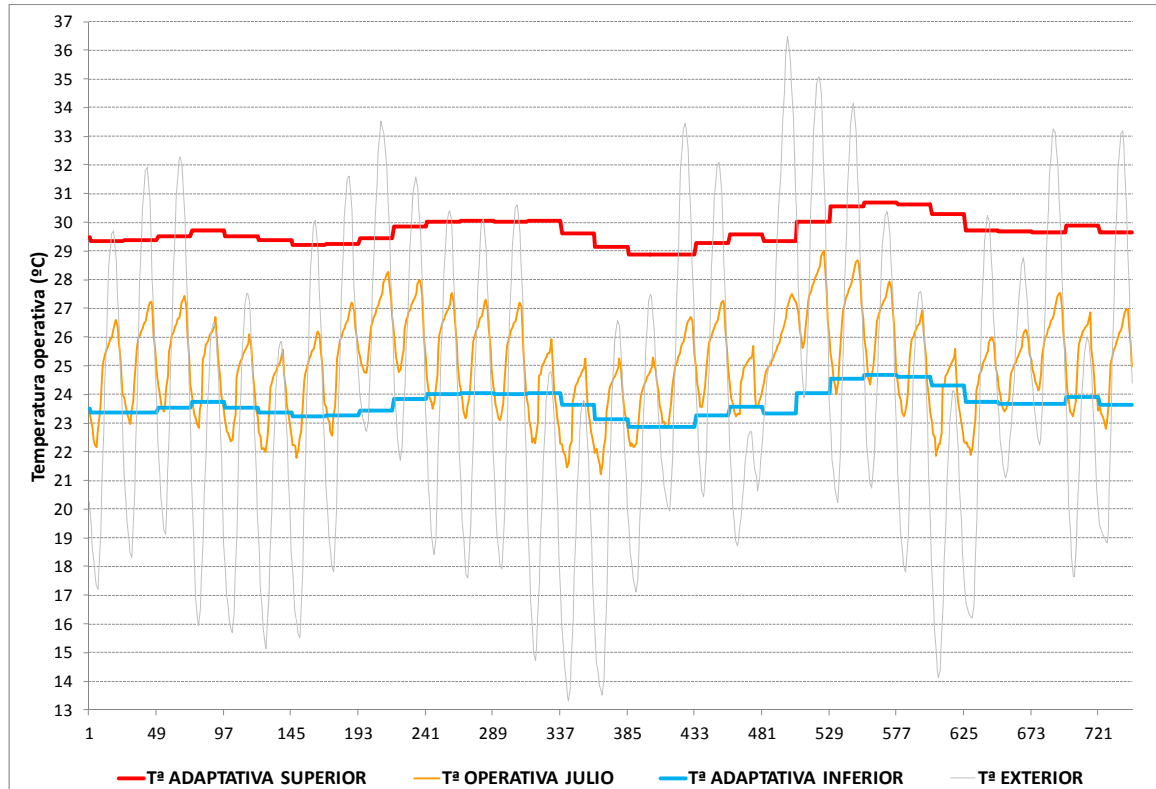


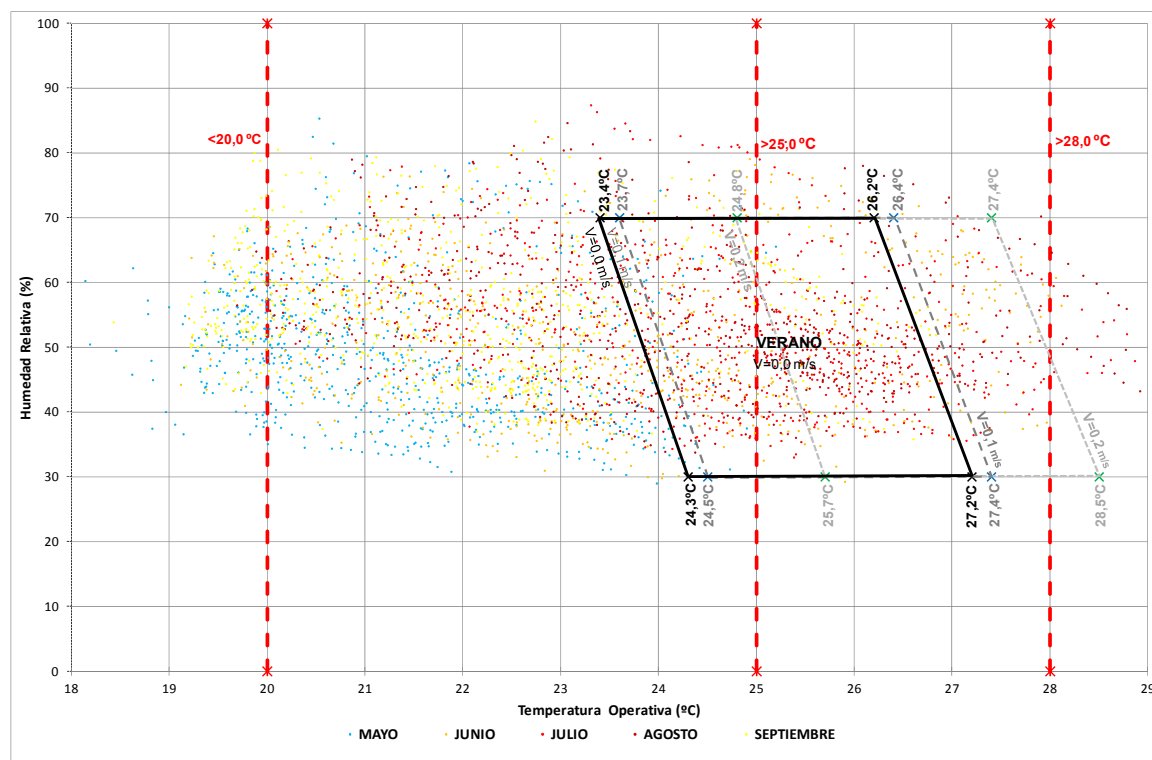
Figura 5.112. Evolución de la temperatura operativa en el mes de julio en la Zona 6 Tudela para la vivienda Tipo [E]. Playa de confort en edificios sin sistemas de enfriamiento activo según UNE-EN:15.251:2007, Categoría II (PPD<10%) en función de la temperatura exterior promedio θ_m [Elaboración propia].

Análisis con consigna de ventilación situada en 20°C

Como se ha comentado, reducir la consigna de la ventilación natural permite reducir las horas de sobrecalentamiento, pero provoca que se produzcan temperaturas interiores demasiado bajas. En el caso de Tudela, en el que no se cumple el máximo de 10% de horas >25°C en la tipología analizada [E], mostramos los resultados de bajar la consigna a 20°C. En la Figura 5.113 vemos como el número de horas >25°C se reduce a 856 horas, por debajo del límite del PHI (875 horas). También se observa el efecto del aumento de la HR descrito en anteriores ocasiones.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal



CLIMA 2000-2009 - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2	VERANO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
HORAS <20°C	298,0	153	34	1	3	107
HORAS >25°C	856,0	2	187	317	284	65
HORAS >28°C	39,0	0	2	12	25	0
Tª MAXIMA	29,5	25,2	28,1	28,9	29,5	26,8
HORAS HR>70%	272,0	34	44	54	67	73
% HORAS>70%	7,4	5	6	7	9	10
HR MÁXIMA	87,4	85	79,1	87,4	84,7	84,9

Figura 5.113. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 6 Tudela para la vivienda Tipo [E]. Caso con calefacción en el aire de impulsión y ventilación natural a través de las ventanas para el control del sobrecalentamiento. Análisis de temperatura de consigna de ventilación en 20°C. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

En el gráfico de evolución horaria de temperaturas (Fig. 5.114), se observa que no se reducen las temperaturas máximas, pero desciende ligeramente el porcentaje de horas nocturnas >25°C, con un máximo del 17% de horas en el mes de agosto (21% en el caso de una temperatura de consigna de 22°C). Se aprecian también horas por debajo de los 20°C en las horas nocturnas de los meses de mayo y septiembre, con lo cual cabe pensar que se debería adaptar la temperatura de consigna únicamente en los meses más cálidos de junio, julio y agosto.

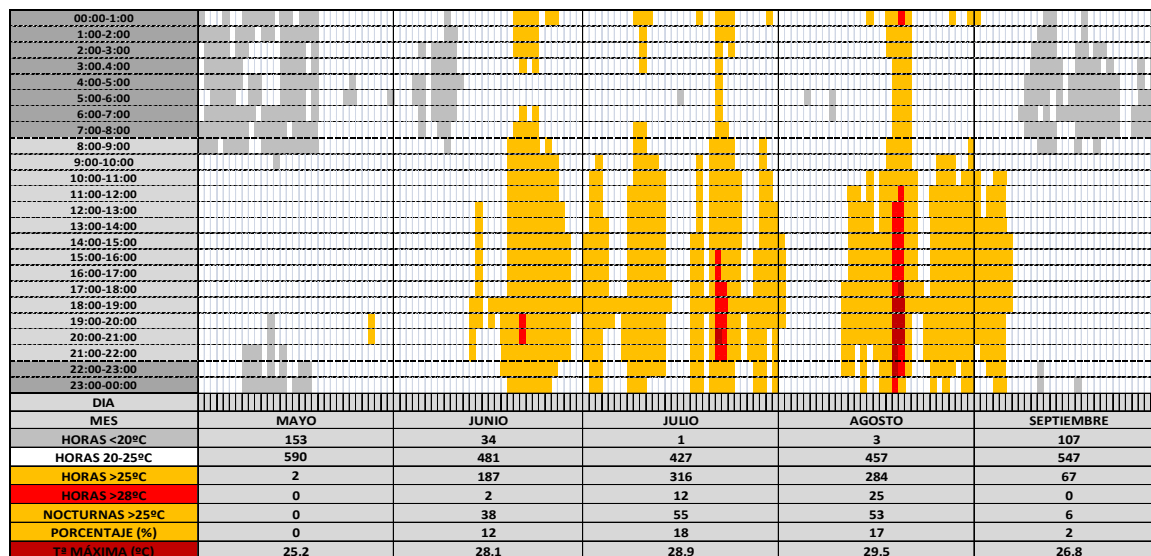


Figura 5.114. Evolución horaria de la temperatura operativa en verano en la Zona 6 Tudela para la vivienda Tipo [E]. Horas nocturnas por encima de 25°C [Elaboración propia].

ZONA Z7: CIUDAD DE REFERENCIA ISABA

En Isaba (Fig. 5.115) con la programación de invierno en la apertura de ventanas, las temperaturas se muestran en el rango de 21-24°C, alcanzando las máximas en los meses de marzo-abril, en el que algunas temperaturas suben hasta un máximo de 24,4°C. En cuanto a las humedades relativas, permanecen por debajo del 70% durante todo el invierno. Durante el invierno, se produce un intercambio de aire con el exterior medio de 0,55 r/h.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

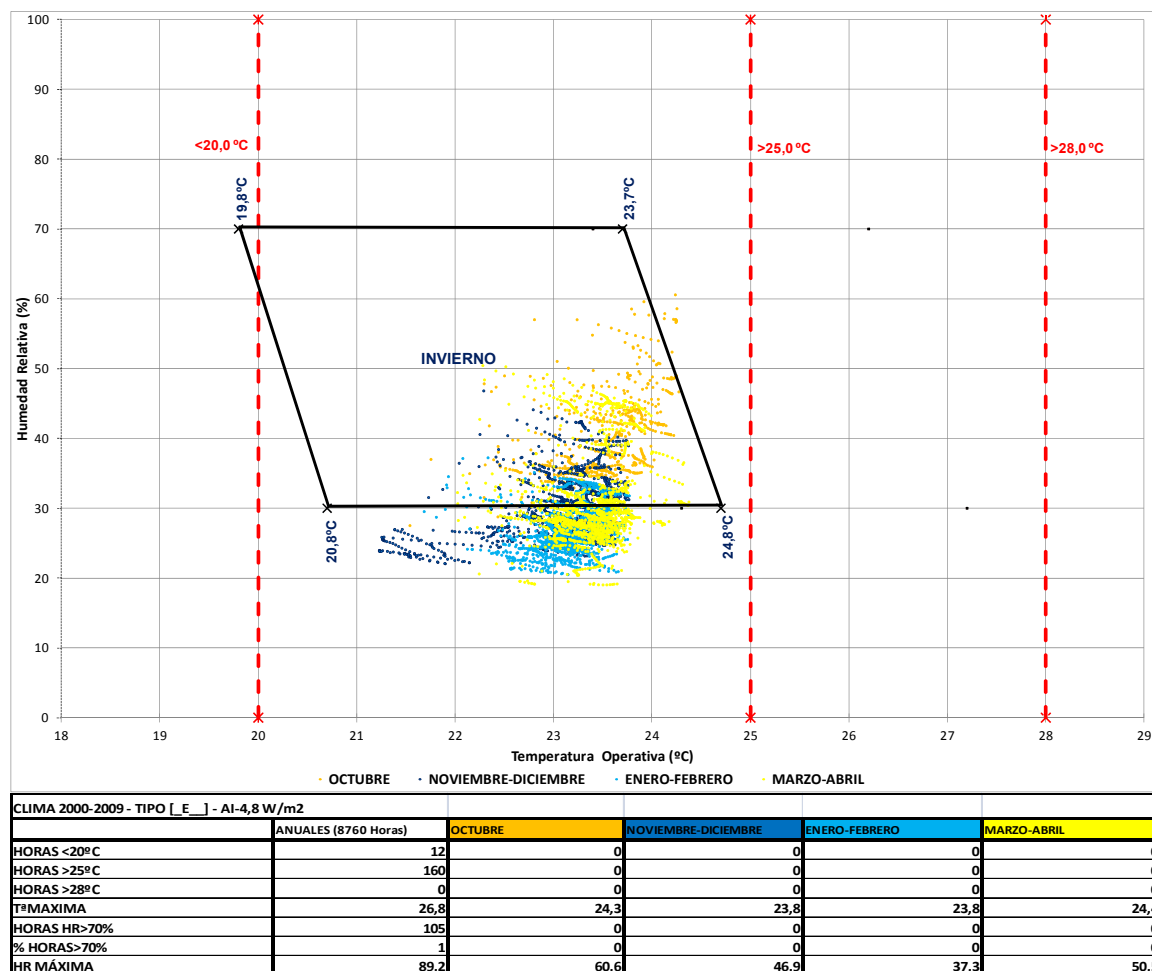
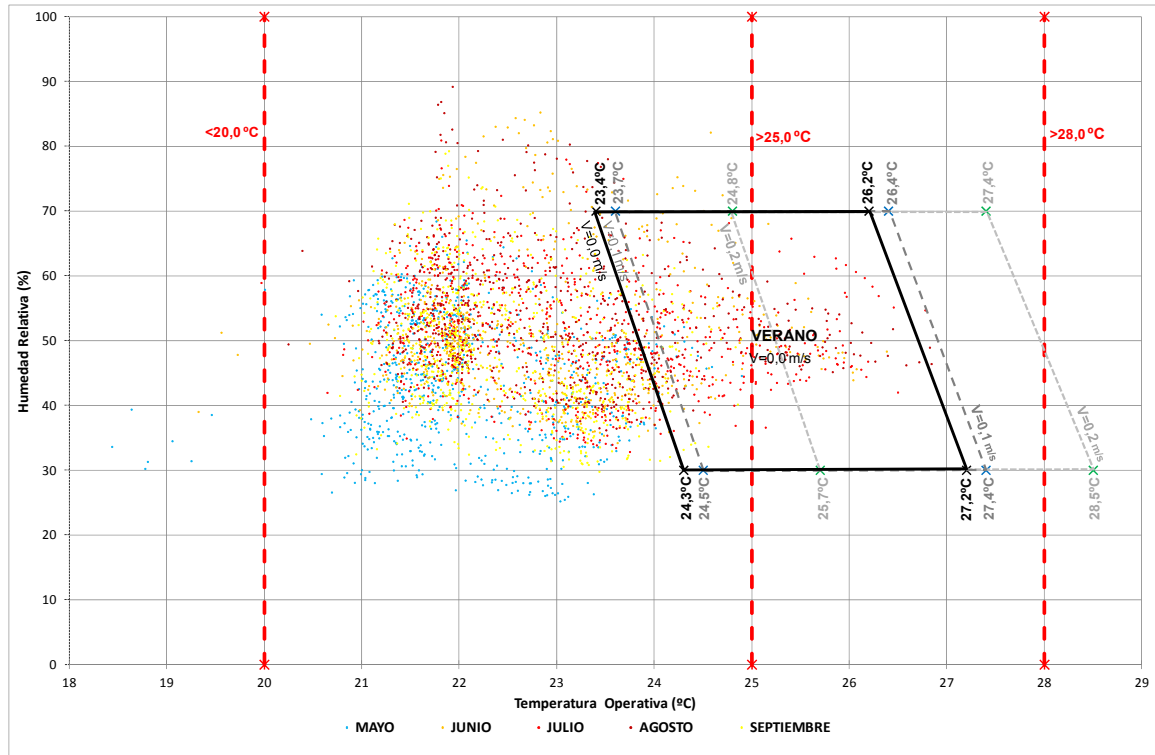


Figura 5.115. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 7 Isaba para la vivienda Tipo [E_]. Caso con calefacción en el aire de impulsión y ventilación natural a través de las ventanas para el control del sobrecalentamiento. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

En verano (Fig. 5.116) la utilización de la ventilación nocturna amplía el rango de temperaturas desde los mínimos de 19°C hasta un máximo de 26,8°C en los meses de julio y agosto, pero en general se concentran en una franja de 21-25°C. Esta ventilación intensiva hace que en el mes de junio especialmente, aumenten las horas con alta humedad hasta un máximo del 6% de las horas con una HR máxima del 89,2% en el mes de agosto. Durante el verano, se produce un intercambio medio de aire con el exterior de 2,89 r/h.



CLIMA 2000-2009 - TIPO [_E_] - AI-4,8 W/m2						
	VERANO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
HORAS <20°C		12	8	3	1	0
HORAS >25°C		160	0	38	71	51
HORAS >28°C		0	0	0	0	0
Tª MAXIMA		26,8	24,9	26,4	26,8	26,8
HORAS HR>70%		105	0	46	13	35
% HORAS>70%		3	0	6	2	5
HR MÁXIMA		89,2	68	85,3	81,0	89,2

Figura 5.116. Temperaturas operativas y humedad relativa en la Zona 7 Isaba para la vivienda Tipo [_E_]. Caso con calefacción en el aire de impulsión y ventilación natural a través de las ventanas para el control del sobrecalentamiento. Límites UNE-ISO 7730 - CATEGORIA II - 1,1 MET - INVIERNO 1,0 CLO VERANO 0,5 CLO - V= 0 m/s, HR 30% - 70% [Elaboración propia].

El análisis de la evolución horaria de las temperaturas del sistema con ventilación natural nocturna durante el verano se muestra en la Figura 5.117. Se observa que no existen periodos por encima de 25°C en las horas nocturnas alcanzando el 1% de las horas nocturnas >25°C en los meses de julio y agosto, y con las máximas interiores de 26,8°C en el mes de agosto.

EVALUACIÓN DEL ESTÁNDAR DE CONSTRUCCIÓN PASSIVHAUS Y SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO CLIMÁTICO DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA VASCA Y LA COMUNIDAD FORAL NAVARRA

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

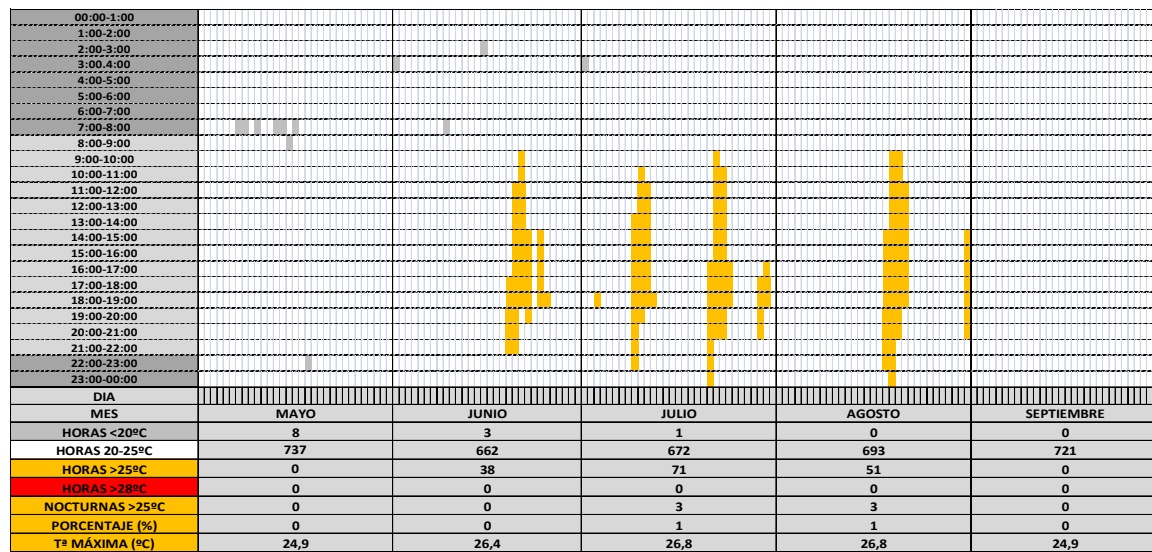


Figura 5.117. Evolución horaria de la temperatura operativa en verano en la Zona 7 Isaba para la vivienda Tipo [E]. Horas nocturnas por encima de 25°C [Elaboración propia].

5.5 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE VIVIENDAS PASSIVHAUS EN LA ZONA DE ESTUDIO

A continuación se desglosan los resultados del análisis del estándar Passivhaus en función de las zonas climáticas en la que se sitúe cada vivienda.

5.5.1 REFLEXIONES GENERALES

5.5.1.1 PROTECCIONES SOLARES

Las protecciones solares se vuelven indispensables a lo largo del año. En Figura 5.33 se muestra el comportamiento de las viviendas sin protecciones solares fijas y sin accionar las protecciones móviles. Los periodos de sobrecalentamiento se muestran por encima del límite del PHI incluso en la vivienda en planta baja sobre espacio libre exterior. Esta aproximación nos permite visualizar la dimensión del problema, ya que incluso en la ciudad más fría simulada, situada en la costa (Donostia-San Sebastián), y con un aporte de aire exterior nocturno de 4 r/h durante 6 horas, los periodos de sobrecalentamiento afectan a las tipologías menos expuestas al mismo [Ne__]. Este efecto se produce en un periodo largo del año, llegando a los meses de abril y octubre además de la franja más cálida del año entre mayo y septiembre.

Se añaden por tanto protecciones solares móviles como fijas, estas últimas en las orientaciones más adecuadas, generalmente las fachadas a sur. La inclusión de un sistema de protección solar móvil, junto con los fijos implícita la reflexión sobre la manipulación del mismo. Como se ha comentado, este aspecto se convierte en un factor fundamental a la hora de configurar la vivienda adaptada al estándar Passivhaus, y se reflexionará sobre este aspecto en el Capítulo noveno dedicado a las Conclusiones.

Aunque no se muestran en gráfica, añadir que los periodos en el que las protecciones solares están completamente cerradas son numerosos, más cuanto más hacia el sur se encuentre el modelo simulado. Esto se debe a que la programación a 23°C, que ha sido necesaria para reducir al máximo los periodos de sobrecalentamiento. Esto hace que en un sistema domótico, atendiendo a los datos de la simulación dinámica, se bajaran las persianas en los periodos con temperatura >23°C. Esta acción penalizaría gravemente las tipologías con ventanas en una orientación única o con orientaciones muy marcadas. Es decir, una tipología con una orientación suroeste por ejemplo puede estar recibiendo radiación solar durante gran parte del día en el periodo estival. Una tipología edilicia desnuda de protecciones solares fijas como la que actualmente nos ofrece la construcción pública, dejaría las viviendas sin luz natural durante largos periodos de tiempo debido al accionamiento de las protecciones solares móviles. Otras orientaciones como podría ser la este [__E__] repercutiría en mañanas sin luz natural o la Oeste [__O] con tardes de verano sin luz natural. Todo esto parece bastante alejado de lo que puede ser el funcionamiento normal de los usuarios en una vivienda colectiva.

En todo caso, en todas las tipologías, la utilización de la protección solar móvil por sí sola no garantiza la eliminación de los periodos de sobrecalentamiento, por lo que se hace necesario el acompañamiento de otras medidas como son la expulsión del aire cálido y la introducción de aire frío durante los periodos en que sea posible.

5.5.1.2 VENTILACIÓN NATURAL NOCTURNA

La ventilación natural nocturna se convierte en un sistema fundamental para reducir los periodos de sobrecalentamiento. En este estudio la utilización de dos sistemas de ventilación natural durante el verano, uno de perfil bajo, al que hemos denominado Ventilación Natural Nocturna Baja (VNN-Baja), y un segundo en el que hemos denominado Ventilación Natural Intensiva (VNN-Intensiva).

El primero se corresponde con lo que podría ser una acción básica sobre las ventanas dejándolas osciladas durante las 12 horas nocturnas, y en el segundo caso se ha buscado el perfil de máximo aprovechamiento de la ventilación nocturna pero reduciendo las acciones de manipulación sobre las ventanas, con acciones de apertura al máximo de superficie (100% de la superficie) durante dos periodos al día, por la mañana de 8:00-9:00 horas y por la noche de 21:00-23:00 horas. En ambos casos se ha buscado patrones de uso que necesiten de poca disponibilidad del usuario, ya que en todos los casos, al programar el cierre de las mismas a partir de un descenso de temperatura por debajo del confort, exigiría prácticamente una acción sobre las mismas en las horas más frías de la noche, entre las 3:00 y las 7:00 h de la mañana.

Señalar que en casi todos los casos, especialmente en la costa y en el sur del territorio, solamente una ventilación intensiva de este perfil ha permitido entrar en las playas de confort a las viviendas cuyo único control del sobrecalentamiento haya sido la ventilación natural, habiéndose simulado numerosos patrones de funcionamiento. Algunos de ellos, como dejar las ventanas abiertas al 50% durante la noche, generan situaciones de bajas temperaturas, debido a la falta de control domótico sobre la apertura. Este patrón de funcionamiento de cualquier forma está sujeto a todo tipo de críticas que nos son ajenas a este autor. En primer lugar la periodicidad y regularidad que exigiría, y no menos importante el alcance de la superficie abierta. Aunque se asumen estos argumentos, a los que se añadirían los ya expuestos sobre la contaminación acústica y los factores de seguridad y psicológicos de los usuarios, las simulaciones nos sirven para reflexionar sobre el aprovechamiento de la capacidad de enfriamiento del aire exterior nocturno en los meses cálidos de año coma ya se ha expuesto en los trabajos de [ARTMANN *et ál.* 2007]. Este sistema además, se convierte en prácticamente el único factible de los sistemas de refrigeración pasiva en vivienda colectiva, y podría plantearse que su utilización requiere de estrategias claras desde el principio del proyecto, por ejemplo el uso de patios como chimeneas de ventilación o de otro tipo de sistemas más sofisticados en experimentación.

Una vez dicho esto, concluir que la combinación de las protecciones solares con la ventilación nocturna de verano intensa (VNN-Intensa) logra mantener dentro del confort a todas las ciudades salvo a ciertas tipologías de la Zona-6 representada por Tudela. Este efecto no lo lograría una ventilación de perfil bajo como la propuesta VNN-Baja.

En los casos en los que esto no era posible, se ha variado la temperatura interior a la cual se cierran las ventanas (22°C), por una menor de 20°C. El efecto ha sido entrar en los límites de confort marcado por el PHI. Sin embargo, las temperaturas interiores llegan a caer por debajo de los límites de confort de la norma ISO 7730.

Durante el invierno, el patrón de funcionamiento utilizado requiere de mayor actividad por parte de los usuarios pero en breves periodos de tiempo. La apertura programada por la mañana de 8:00-9:00 h y por la tarde-noche de 18:00-22:00 h con una temperatura interior de consigna de 24°C permite entrar en las playas de confort sin ninguna dificultad si se exceptúa el mes de octubre, en la que se dan breves periodos de altas temperaturas, especialmente en la costa vasca.

Otro aspecto destacable es la afección sobre el confort interior que tiene la entrada de aire del exterior derivada de la humedad ambiental incorporada con el mismo. En la zona costera Z1 representada por la ciudad de Hondarribia, hemos visto como la introducción del aire exterior permite bajar las temperaturas, pero a su vez aumenta la humedad relativa ambiental, por lo que los pares de temperatura-humedad se salen de la gráfica de confort de la ISO 7730. Este aspecto, ya señalado por el PHI, hace que la

ventilación natural combinada con las altas temperaturas interiores produzca un efecto de inconfort que hace de la ventilación natural un remedio a medias en estas ciudades (recuérdese que en las simulaciones se dan valores del 45% del tiempo con una humedad relativa por encima del 70%).

Esta situación es menos contrastada cuanto más hacia el sur se dirige el estudio, pero en todo caso, no es de desdeñar aspectos de humedad ambiental locales que los modelos climáticos no recogen, como la cercanía a una montaña cargada de agua, un río, etc.

Este aspecto hace que valoremos como inadecuada la base de medición de confort tan simplificada que hace el PHI al considerar únicamente la temperatura interior como elemento cuantificador de los periodos de inconfort.

En el caso del análisis propuesto de la evolución nocturna de las temperaturas, hemos visto como se dan periodos elevados con temperaturas por encima de 25°C durante la noche (22:00-8:00 h), del 10% en Z1-Hondarribia hasta el 17% en Tudela, por lo que la capacidad del sistema se puede considerar en entredicho si atendemos las especificaciones más avanzadas sobre el tema del CIBSE.

5.5.1.3 VENTILACIÓN MECÁNICA CONTROLADA

La ventilación mecánica controlada puede servir para contrarrestar varios de los efectos negativos de la ventilación natural. Por un lado, permite utilizar la cantidad de aire precisa en cada periodo de tiempo. Basta establecer unas consignas de aire interior y exterior e interior y el sistema se adapta adaptará a las necesidades de los usuarios introduciendo mayor o menor caudal de aire. Además nos permite el aprovechamiento del aire exterior frío durante las noches, un uso “gratuito” de la energía. Entrecorramos gratuito por el hecho de que evidentemente esto genera una mayor inversión de la instalación, tanto en motores como en conductos, un mayor espacio disponible, especialmente en los conductos, y la reflexión que siempre existe al introducir instalaciones colectivas que consumen energía en los repartos de gasto. En principio, la programación se ha realizado siguiendo los criterios clásicos de amortización del sistema o cuando menos de ser competitivo con un sistema tradicional de enfriamiento, el que exista una diferencia de 3K entre el interior y exterior, al margen de que este aspecto por sí mismo es un tema de investigación (como todos los casos de amortización de inversiones por otra parte).

Aunque se ha tenido la precaución de obviar el efecto del viento en la ventilación natural, lógicamente el clima exterior es un factor muy variable. Además, ya se ha señalado la tendencia que hay a encontrar cada vez más noches tropicales en los registros (temperaturas externas >20°C durante toda la noche). Sin embargo, la ventilación mecánica permite el acoplamiento con otros sistemas de aprovechamiento de las energías gratuitas como son los sistemas de intercambio tierra-aire o las bombas de calor con geotermia de profundidad.

Asimismo, el sistema permite acoplar otros elementos correctores del aire, por ejemplo la deshumidificación, problema que hemos visto que es de crucial importancia en las ciudades de la costa si se quiere utilizar el aire frío exterior de las noches de verano.

Pero igualmente, la ventilación mecánica controlada utilizado en este estudio arroja unos valores en sus necesidades de funcionamiento que los hace susceptibles de algunas reflexiones.

Por un lado, los grandes caudales necesarios para mantener el confort estival, limitados a 8 r/h por problemas de corrientes de aire, tienen consecuencias importantes a la hora

de diseñar la red. El primero, es que como hemos visto, estos valores máximos son necesarios en las zonas de Z6-Tudela, Z3,4,5-Peralta-Azkoien (8 r/h), y algo menores en Z2-Pamplona-Iruña (6 r/h) y Z1-Hondarribia (4 r/h). Con estos valores ya no nos podemos valer de un sistema convencional Passivhaus de ventilación suave cuyas máquinas están programadas para trabajar con valores bajos de renovación alrededor de los 0,3 r/h, y con límites máximos sobre los 1,5 r/. Se deben instalar sistemas con ventiladores de regulación variable y alta eficiencia energética con un sobre coste mucho mayor.

Añadir sobre este aspecto que se ha realizado la comprobación de los caudales necesarios en invierno para mantener el confort interior, resultando que con una valor máximo de 1 r/h se puede mantener el confort interior durante todo el periodo de octubre a finales de abril, salvo breves periodos.

Por otro lado, como hemos visto en el Capítulo 2, el importante estudio realizado en Holanda sobre 441 viviendas de bajo consumo [MLECNİK *et ál* 2012], los sistemas de ventilación se convierten en el foco de las quejas de los usuarios de estas viviendas, tanto por problemas de ruido como por problemas derivados con la calidad del aire. En todo caso, frente a los problemas de entornos ruidosos donde se llevan a cabo las promociones públicas será un sistema que bien dimensionado puede solucionar el problema de mantener las ventanas abiertas durante la noche, aunque solo sea en superficies menores.

En cuanto a la capacidad que el sistema propuesto tiene para mantener el confort en el interior de las viviendas, podemos concluir los siguientes puntos. Por un lado, salvo en todos los tipos analizados en la Zona 6, representada por Tudela, en las demás zonas climáticas se logra mantener el porcentaje de horas por debajo de 25°C marcado por el PHI. Sin embargo, los periodos por encima de 28°C se disparan por encima del 1% tanto en la zona Z6 como en la representada por Peralta-Azkoien (Z3,4,5), es decir, toda la franja sur del territorio de estudio (Fig. 5.67, Fig. 5.68). En esta zona se debería valorar la incorporar sistemas de enfriamiento, intercambiador tierra aire o cualquier otro sistema.

Los aspectos derivados de la humedad relativa se mantienen para las ciudades de la costa (o lugares con microclimas húmedos), a lo que habría que añadir la energía necesaria para la deshumidificación a la hora de valorar la conveniencia de este sistema frente a la refrigeración activa.

En el caso del análisis propuesto de la evolución nocturna de las temperaturas, hemos visto como se dan periodos elevados con temperaturas por encima de 25°C durante la noche (22:00-8:00 h), del 20% en Z1-Hondarribia hasta el 40% en Tudela, por lo que la capacidad del sistema queda en entredicho si atendemos las especificaciones más avanzadas sobre el tema del CIBSE.

5.5.1.4 REFRIGERACIÓN ACTIVA

El cálculo de la demanda de energía para refrigeración arroja resultados dentro de los límites del Passivhaus en todas las zonas climáticas (Fig. 5.35). En un supuesto en el que no se incorpora la ventilación natural nocturna, estos límites muestran holgura en todas las ciudades de referencia salvo en la zona Z-6 representada por Tudela. En este caso, el tipo considerado con límite, la vivienda tipo [E_] se encuentra muestra una demanda de refrigeración de -14,95 kWh/m²a, siendo el límite calculado para esta ciudad de -16,09 kWh/m²a. La ciudad representativa de la costa requiere de una alta

demanda de energía para refrigeración latente, pero la demanda de conjunto se encuentra dentro de los límites del estándar (Fig. 5.36).

Las cargas medias diarias de refrigeración superan los -10 W/m^2 en días puntuales, pero este es un límite que se aplica a la carga media diaria sensible siempre que se considere el primer requisito. En el caso de la carga media diaria sensible para refrigeración, todas las viviendas se muestran por debajo de los -10 W/m^2 (Fig. 5.36).

La aplicación de una ventilación natural nocturna de perfil bajo (VNN-Baja) permite reducir los valores de energía para refrigeración a la mitad en todos los casos salvo en Hondarribia. En este caso, la introducción de aire desde el exterior provoca un aumento de la energía de refrigeración latente si se utiliza deshumidificación con el sistema de enfriamiento. La energía ahorrada por lo que el efecto de la ventilación, aún siendo importante no es tan acusado (Fig. 5.40).

En el caso analizado, los aportes internos altos considerados comparados con los que utiliza el PHI en algunos de sus estudios, genera que las temperaturas interiores se encuentren en los alrededores de la temperatura de consigna (26°C), por lo que se dan numerosas horas $>25^\circ\text{C}$ (Fig. 5.43). En todo caso, las gráficas de confort según la ISO 7730 muestran unos resultados óptimos, con la mayor parte de los pares de temperatura-humedad situados dentro de las playas de confort.

En cuanto al confort de cada ciudad, la incorporación de la ventilación exterior se muestra con el aumento de las humedades relativas especialmente en la ciudad costera, con meses en los que la HR interior supera un 23% del tiempo el límite del 70%. En el resto de climas, las gráficas se muestran dentro de unos límites razonables aún incorporando aire del exterior sin tratar.

El análisis de la evolución de las temperaturas interiores nos muestra en todas las ciudades unos periodos por encima de 25°C elevados, pero sin superar los 26°C por efecto de la entrada en funcionamiento de la refrigeración. Es decir, se dan muchas horas en la franja de $25\text{-}26^\circ\text{C}$.

5.5.2 CONCLUSIONES POR ZONAS CLIMÁTICAS

5.5.2.1 ZONA CLIMÁTICA 1

La franja costera contiene las ciudades más pobladas de todo el territorio analizado. Bilbao y el área metropolitana en el que se acumulan casi un millón de habitantes¹³ y además un buen número de los habitantes de Gipuzkoa en el eje Donostia-San Sebastián hasta la frontera francesa, en el que se acumulan más de 400.000 habitantes.

El análisis de los diferentes sistemas de control del sobrecalentamiento arroja las siguientes conclusiones:

Los sistemas de protección solar son necesarios durante todo el año, especialmente en el periodo que va del 15 de abril a finales de octubre. Estos medios de protección deben combinar las protecciones fijas con las móviles para tener un control preciso de la radiación incidente en las viviendas.

Las viviendas pueden estar dentro de los rangos de confort utilizando un patrón de ventilación natural intensivo durante las noches o momentos más frescos de la jornada, pero requiere de una atención importante por parte del usuario. El patrón de ventilación natural generado para el invierno es suficiente para mantener el confort durante la mayor parte del periodo (1 oct-30 abr), pero en algunos periodos como a mediados de

¹³ 910.578 según los datos del INE a 1 de enero de 2013

octubre es necesario realizar ventilaciones más intensivas. Los efectos de la ventilación nocturna no son tan beneficiosos como en otras regiones ya que la caída de temperaturas nocturno es menor que en el interior del territorio. Además, tiene como efecto paralelo la introducción de un alto grado de humedad, por lo que los pares de temperatura-humedad relativa tienden a salirse de las zonas de confort.

La utilización de la ventilación mecánica con un by-pass automático y con una capacidad de máxima 4 r/h es suficiente para mantenerse dentro de los límites de confort del PHI. En invierno valores de 1 r/h sirven para estar dentro de las playas de confort, con lo que se puede utilizar los sistemas de ventilación suave típicos del PHI para mantenerse en las zonas de confort. Edificios situados en zonas céntricas de la ciudad en las que se den posibilidades de islas de calor urbanas necesitarían de valores algo mayores para mantenerse en la zona confortable. Este efecto puede ser importante en Bilbao, la única gran urbe de este estudio. Los sistemas de ventilación mecánica deben de incorporar un sistema de deshumidificación para estar dentro de los límites del PHI.

La refrigeración activa permite funcionar dentro de los límites del PHI incluso sin aprovechar la ventilación natural nocturna. La utilización de la ventilación natural provoca un aumento de la humedad relativa y por tanto de consumo de energía si se deshumidifica al 70%.

5.5.2.2 ZONA CLIMÁTICA 2

En esta zona se concentra el segundo grueso del total de la población del área estudiada, pero principalmente en las dos capitales, Vitoria-Gasteiz y Pamplona-Iruña. En esta zona, la combinación de inviernos fríos (la zona con valores más fríos de las estudiadas) hace necesaria unos valores altos de aislamiento. Sin embargo, los veranos cortos pero cálidos y secos, harán necesario tomar medidas de control de sobrecalentamiento.

El análisis de los diferentes sistemas de control del sobrecalentamiento arroja las siguientes conclusiones:

Los sistemas de protección solar son necesarios durante todo el año, especialmente en el periodo que va del 15 de abril a finales de octubre. Estos medios de protección deben combinar las protecciones fijas con las móviles para tener un control preciso de la radiación incidente en las viviendas.

Las viviendas pueden estar dentro de los rangos de confort utilizando un patrón de ventilación natural intensivo durante las noches o momentos más frescos de la jornada, pero requiere de una atención importante por parte del usuario. El patrón de ventilación natural generado para el invierno es suficiente para mantener el confort durante la mayor parte del periodo (1 oct-30 abr). Los efectos de la ventilación nocturna son más beneficiosos que en la zona costera, al disminuir más las temperaturas nocturnas. La humedad relativa no se ve excesivamente afectada por la introducción del aire exterior, no superando valores del 13% del tiempo por encima del 70% en verano.

La utilización de la ventilación mecánica con un by-pass automático y con una capacidad de máxima 6 r/h es suficiente para mantenerse dentro de los límites de confort del PHI. En invierno valores de 1 r/h sirven para estar dentro de las playas de confort, con lo que se puede utilizar los sistemas de ventilación suave típicos del PHI para mantenerse en las zonas de confort. Edificios situados en zonas céntricas de la ciudad en las que se den posibilidades de islas de calor urbanas no necesitarían de valores mayores para mantenerse en la zona confortable ya que existe cierto margen

hasta alcanzar los máximos. En todo caso, las características urbanas de las ciudades afectadas no indican situaciones de islas urbanas demasiado importantes. Los sistemas de ventilación mecánica no necesitan de un sistema de deshumidificación.

La refrigeración activa permite funcionar dentro de los límites del PHI incluso sin aprovechar la ventilación natural nocturna. La utilización de la ventilación natural provoca un descenso importante en la demanda de energía a la mitad en el caso de la ciudad estudiada de Pamplona-Iruña.

5.5.2.3 ZONA CLIMÁTICA 3, 4 Y 5

En estas zonas climáticas, Z3, Z4 y Z5, encontramos un número alto de poblaciones pero con un número de habitantes limitado, siendo la mayor Estella-Lizarraga que no alcanza los 14.000 habitantes con una ramillete de ciudades que no llegan a los 4.000 habitantes en toda la zona media de Navarra (La ciudad de Logroño se ha utilizado en el estudio pero no pertenece al área política concernida por el mismo). En esta Zona climática se van notando los efectos de la transición climática hacia el clima Mediterráneo continentalizado o Mediterráneo árido-subárido.

El análisis de los diferentes sistemas de control del sobrecalentamiento arroja las siguientes conclusiones:

Los sistemas de protección solar son imprescindibles durante todo el año, especialmente en el periodo que va del 15 de abril a finales de octubre. Estos medios de protección deben combinar las protecciones fijas con las móviles para tener un control preciso de la radiación incidente en las viviendas.

Las viviendas están al límite de los rangos de confort utilizando un patrón de ventilación natural intensivo durante las noches o momentos más frescos de la jornada, por lo que cualquier otro sistema propuesto no permitiría mejores resultados salvo que se varían las consignas de ventilación. En este caso se produciría el efecto contrario al bajar excesivamente la temperatura en algunos periodos nocturnos. El patrón de ventilación natural generado para el invierno es suficiente para mantener el confort durante la mayor parte del periodo (1 oct-30 abr). La humedad relativa no se ve afectada por la introducción del aire exterior, no superando valores del 13% del tiempo por encima del 70% en verano.

La utilización de la ventilación mecánica con un by-pass automático y necesita alcanzar los valores máximos propuesto de 8 r/h alcanzo los límites del sistema para mantenerse dentro de los límites de confort del PHI. En invierno valores de 1 r/h sirven para estar dentro de las playas de confort, con lo que se puede utilizar los sistemas de ventilación suave típicos del PHI para mantenerse en las zonas de confort. No es esperable la presencia de islas de calor urbanas (aunque [GARCIA RUIZ *et ál.* 1989] revelan diferencias de 3°C en las primeras horas de la noche de la ciudad de Logroño). Los sistemas de ventilación mecánica no necesitan de un sistema de deshumidificación.

La refrigeración activa permite funcionar dentro de los límites del PHI incluso sin aprovechar la ventilación natural nocturna. La utilización de la ventilación natural provoca un descenso importante en la demanda de energía a la mitad en el caso de la ciudad estudiada de Peralta-Azkoien.

5.5.2.4 ZONA CLIMÁTICA 6

Esta zona climáticas, Z6, clima Mediterráneo continentalizado o árido-subárido, se dan los valores más altos de temperaturas máximas y radiación solar. La población afectada es pequeña respecto a la totalidad del territorio estudiado, siendo Tudela la ciudad

representativa con más de 36000 habitantes. En cualquier caso, el valor de este estudio radica en el avance de lo que puede ser aplicar el estándar en un amplio territorio que se caracteriza por un clima similar al de la ciudad de Tudela que se extiende hacia la desembocadura del río Ebro hasta su desembocadura en Tarragona.

El análisis de los diferentes sistemas de control del sobrecalentamiento arroja las siguientes conclusiones:

Los sistemas de protección solar son imprescindibles durante todo el año, especialmente en el periodo que va del 15 de abril a finales de octubre. Estos medios de protección deben combinar las protecciones fijas con las móviles para tener un control preciso de la radiación incidente en las viviendas.

La ventilación natural programada como VNN-Intensa no basta para mantenerse dentro de los límites de confort del PHI. El gran descenso de temperaturas nocturnas genera patrones muy complicados de ventilación natural, que si bien permitirían mantenerse dentro de los límites de confort del PHI, repercutirían en un descenso excesivo de las temperaturas interiores, saliendo de las playas de confort de la ISO 7730. En todo caso, el apoyo de la ventilación natural a otros sistemas puede ser fundamental para estar dentro de unos rangos sostenibles de consumo de energía. La humedad relativa no se ve afectada por la ventilación, produciéndose más bien periodos con ambientes excesivamente secos.

La utilización de la ventilación mecánica con un by-pass automático utilizando el valor máximo propuesto de 8 r/h no sirve para estar dentro de los límites de confort del PHI. En invierno valores de 1 r/h sirven para estar dentro de las playas de confort, con lo que se puede utilizar los sistemas de ventilación suave típicos del PHI para mantenerse en las zonas de confort. No es esperable la presencia de islas de calor urbanas aunque sí efectos de la humedad en zonas cercanas al Ebro.

La refrigeración activa comienza a alcanzar los límites del PHI sin aprovechar la ventilación natural nocturna. La utilización de la ventilación natural provoca un descenso importante en la demanda de energía a la mitad en el caso de la ciudad estudiada de Tudela.

En esta región, la refrigeración activa combinada con los medios de control del sobrecalentamiento anteriores se vuelve imprescindible para mantenerse en los límites de confort de la ISO 7730. Se ha estudiado en esta zona climática las playas de confort con el modelo adaptativo en el caso de las viviendas controladas con ventilación natural propuesto por la EN 15.251, permitiendo concluir que las viviendas estarían dentro de los rangos de confort propuestos por esta norma. Sin embargo, un análisis de la evolución de las temperaturas diarias en el periodo de mayo a septiembre arroja valores de temperaturas excesivamente altos, alcanzando el 21% de las horas nocturnas >25°C en el mes de julio, y temperaturas interiores máximas de 29,5°C.

5.5.2.5 ZONA CLIMÁTICA 7

Esta zona climática se corresponde con el clima de montaña. Puede afectar a un número amplio de poblaciones con un número menor de habitantes y que generalmente se agrupan en viviendas unifamiliares. Sin embargo el estudio permite valorar de forma comparativa el funcionamiento de las viviendas configuradas según el estándar Passivhaus en el clima de montaña característico de áreas importantes del territorio en todo España. La población utilizada como referencia, Isaba, es la que puede arrojar valores más parecidos a los de los climas centroeuropeos de origen del estándar.

El análisis de los diferentes sistemas de control del sobrecalentamiento arroja las siguientes conclusiones:

Los sistemas de protección solar son necesarios principalmente en verano. Con el fin de valorar el efecto comparativamente con las otras ciudades estudiadas, los medios de protección móviles se han mantenido durante todo el año activado, pero incluso la no utilización de estos medios en invierno nos tendría efectos excesivos en las viviendas. La protección solar se hace necesaria en verano, donde a pesar de tener unas temperaturas relativamente bajas durante la noche, también se produce una alta radiación diurna. En estas zonas climáticas es donde las viviendas se pueden ver afectadas en mayor medida por los efectos microclimáticos (laderas a norte, fondos de valle, altitudes elevadas, etc.), por lo que un estudio preciso será de vital importancia.

La correcta utilización de la ventilación natural permite estar en valores de sobrecalentamiento muy bajos, los más bajos de todas las ciudades estudiadas, con las menores necesidades de renovaciones nocturnas.

La utilización de la ventilación mecánica con un by-pass automático y con una capacidad de máxima 1,5 r/h es suficiente para mantenerse dentro de los límites de confort del PHI. En invierno valores de 1 r/h sirven para estar dentro de las playas de confort, con lo que se puede utilizar los sistemas de ventilación suave típicos del PHI para mantenerse en las zonas de confort. En este caso, la utilización de los sistemas típico de ventilación suave del Passivhaus son suficientes para alcanzar un grado de confort óptimo. No es necesario el tratamiento de la humedad, pero sí puede serlo el incorporar sistemas anticongelación en el recuperador e incluso un aporte razonable de humedad durante el verano.

La refrigeración activa no sería necesaria salvo ocasionalmente en entornos en los que no se pudiera realizar una mínima ventilación, caso que parece alejado de la realidad en el área urbana a la que corresponde este clima en el área de estudio.

Como hemos comentado, simular una población de clima de montaña nos ha permitido especialmente acercarnos al funcionamiento de las viviendas Passivhaus en Centroeuropa. Vemos como los aspectos de funcionamiento más publicados y difundidos por el estándar se comportan perfectamente en una vivienda situada en este entorno climático. El alto aislamiento, la ventilación con recuperador y la alta estanqueidad permiten bajar al límite las demandas de calefacción en invierno. La utilización de la ventilación natural o el sistema de ventilación mecánica posibilitan mantener un confort perfecto en los meses de verano sin mayores complicaciones.

**EVALUACIÓN DEL ESTÁNDAR DE CONSTRUCCIÓN PASSIVHAUS Y SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO CLIMÁTICO
DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA VASCA Y LA COMUNIDAD FORAL NAVARRA**

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

6 ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS APORTES INTERNOS

6.1 INTRODUCCIÓN

En el Capítulo 3 se han desarrollado los fundamentos de las diferentes metodologías de cálculo de las ganancias de calor. Como se ha visto, de la diferente consideración que se haga de las ganancias de calor debida a los aportes internos generados por las personas y los equipos eléctricos (iluminación incluida), resultarán valores muy diferentes y con gran repercusión en la consideración de esta energía en el resultado final de las simulaciones. Estos valores, como analizamos a continuación generan unas temperaturas operativas interiores muy dispares, y por lo tanto, se puede considerar que los aportes internos, junto con la radiación solar (y la temperatura exterior del lugar), serán los factores más importantes a la hora de entrar dentro de las playas de confort de los diferentes modelos analizados.

6.2 CRITERIOS Y OBJETIVOS

Mediante el análisis de diferentes escenarios de aportes internos se pretende cuantificar la diferente respuesta que dan los tipos edificatorios analizados frente al confort interno. Para ello se toman tres escenarios de aportes internos a añadir al ya analizado como típico del CTE. En primer lugar tendríamos el escenario utilizado por el Passivhaus [PHPP 2007-en] como baja carga interna de invierno, en el que se incorpora de forma constante unos aportes internos¹ de 1,6 W/m². Este valor se corresponde con una baja ocupación, y como ya se comentó, sirve para estar del lado de la seguridad en invierno².

El segundo escenario de aportes internos es el recomendado por el propio PHI para evaluar las situaciones de verano en Centroeuropa [FEIST 1999] y [PASSIPEDIA], 2,60 W/m², que permite trabajar el comportamiento estival del lado de la seguridad. Por último, se estudia un escenario de aportes internos que el CTE considera el más alto del escenario de Baja carga interna en el CTE-DB He1 en el Apéndice A [CTE DB HE1 2009], 6 W/m². El escenario mantenido a lo largo de todo el estudio, denominado CTE Estándar, se corresponde con lo propuesto por el IDAE en su manual de “*Condiciones de aceptación de Procedimientos alternativos a LIDER y CALENER*” [AICIA 2009-2]³.

Como vemos en el resumen de la Tabla 6.1, esta fuerte variación en los aportes internos genera valores anuales muy diversos, con los que conviene trabajar con precaución. Si bien, parece lógico pensar en unos aportes mínimos en invierno con el fin de no dimensionar el edificio a la baja, igualmente podemos concluir que para un correcto comportamiento del edificio durante el periodo estival será necesario incorporar los aportes internos con un valor que esté del lado de la seguridad. Este aspecto es más importante si cabe en vivienda colectiva de promoción pública, en la que se incluyen las viviendas sociales, destinadas por lo general a las capas más desfavorecidas de la sociedad y con altos niveles de ocupación. En todo caso, señalar que evidentemente la mayor ocupación de una vivienda a efectos de cálculo de confort se podría considerar la que se corresponde con la máxima ocupación posible en función del programa de la vivienda en uso convencional. Con esta valoración de diferentes niveles internos en

¹ Para acercarse más a la realidad, dichos aportes se incorporan de forma horaria en función de la ocupación.

² Recordamos que los estudios más relevantes del PHI en climas cálidos, [SCHNIEDERS 2009] y [SCHNIEDERS et ál. 2011], utilizan valores similares a estos en las condiciones de verano (Ver capítulo 3.3).

³ Estos valores medios por m² incorporan la corrección horaria correspondiente a la ocupación y los factores de uso de los aparatos eléctricos

realidad se está realizando un estudio de diferentes niveles de ocupación e intensidad en el uso de la misma.

Tabla 6.1. Aportes internos utilizados en este estudio. Desglose anual

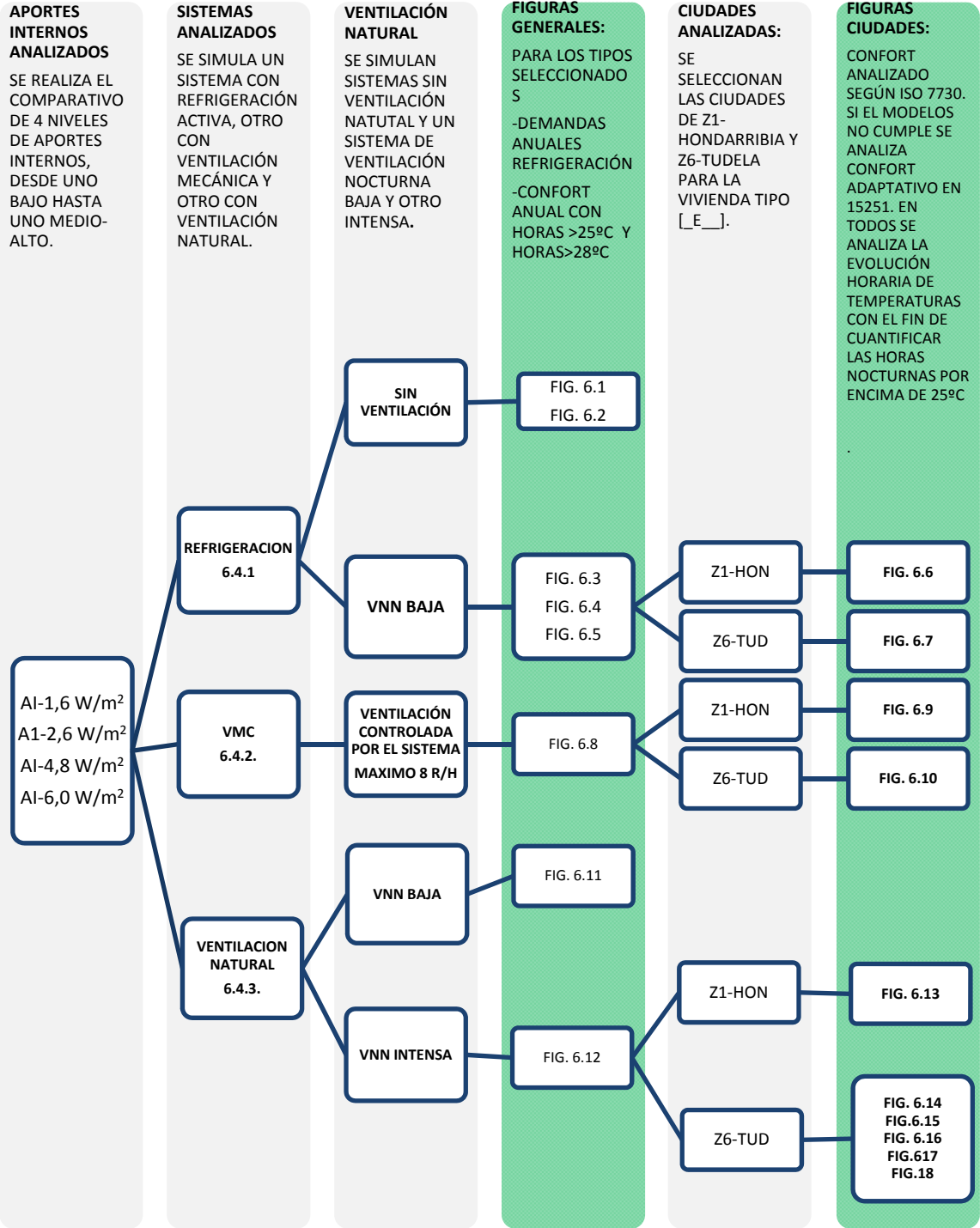
	PH INVIERNO		PH VERANO		CTE ESTÁNDAR		CTE MEDIO	
	AI 1,6 W/m ²		AI 2,6 W/m ²		AI 4,80 W/m ²		AI 6,00 W/m ²	
	Wh/m ²	Wm ²	Wh/m ²	Wm ²	Wh/m ²	Wm ²	Wh/m ²	Wm ²
Sensible	6776	0,77	13244	1,51	13244	1,51	16016	1,83
Equipos	3613,5	0,41	5913	0,67	14454	1,65	18724,5	2,14
Iluminación	3613,5	0,41	3613,5	0,41	14454	1,65	18067,5	2,14
SENSIBLE TOTAL	14002	1,60	22770	2,60	42152	4,80	53465	6,00
LATENTE	4928	0,562	8377,6	0,96	8377,6	0,96	10472	1,20

[Elaboración propia]

En este punto analizamos los tres sistemas propuestos en el trabajo, un sistema con refrigeración activa (con y sin ventilación nocturna), la ventilación mecánica inteligente (VMC) y el uso de la ventilación natural en exclusiva para mantener los criterios de confort. Se reducen la muestra de ciudades de referencia ya que el objetivo último es valorar la incidencia de los diferentes valores, por lo que las dos ciudades seleccionadas, Hondarribia y Tudela nos es suficiente.

6.2.1 ESTRUCTURA DE RESULTADOS DEL CAPÍTULO DE ANÁLISIS DE APORTES INTERNOS

En el siguiente esquema se resumen las Fases de estudio junto con las Figuras obtenidas con los resultados de las simulaciones.



6.3 RESULTADOS

6.3.1 SISTEMAS CON REFRIGERACIÓN ACTIVA

6.3.1.1 REFRIGERACIÓN SIN VENTILACIÓN NATURAL

En la Figura 6.1 vemos la demanda de refrigeración latente y total del sistema sin introducir ventilación nocturna. El aumento de los aportes internos genera un aumento proporcional en la demanda de energía para refrigeración. La demanda de energía para refrigeración latente mantiene el mismo pico en la ciudad de la zona costera (Hondarribia) visto con anterioridad. Por otro lado en todos los escenarios de aportes internos salvo el más alto analizado (AI-6W/m²) tienen una demanda inferior al límite establecido por el PHI. En este último escenario de aportes internos, solamente el clima de montaña representado por Isaba entraría dentro del estándar. Con el escenario PH Invierno (AI-1,6 W/m²), llegan prácticamente a desaparecer las demandas de refrigeración.

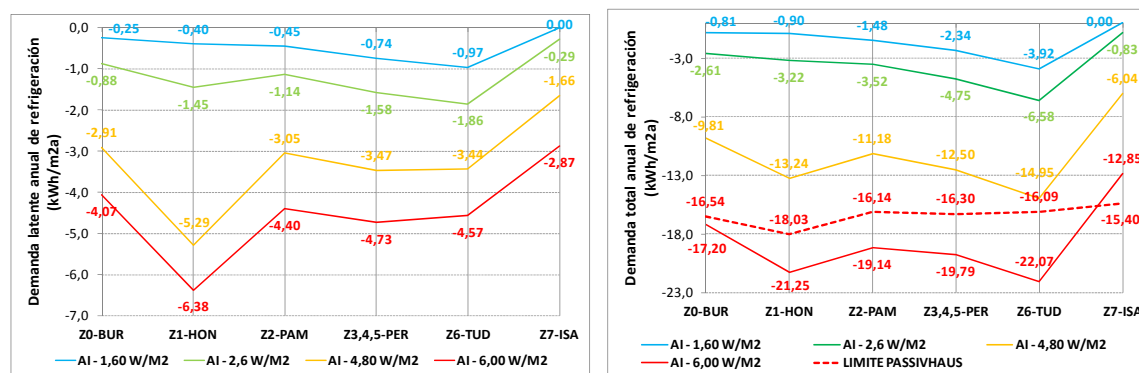


Figura 6.1. Análisis aportes internos. Sistema con refrigeración activa, sin ventilación natural y sin deshumidificación. Demanda de refrigeración latente y total anual (kWh/m²a) para la vivienda tipo [E] en las ciudades de referencia de cada zona climática [Elaboración propia].

En cuanto a la potencia para refrigeración (Fig. 6.2) se mantiene la misma proporcionalidad con los aportes internos, sin embargo, incluso en el escenario propuesto para el invierno (AI-1,6 W/m²) aparecen cargas medias diarias elevadas de forma puntual. Los picos máximos (14,4 W/m²) se dan en Tudela con aportes internos de 6W/m².

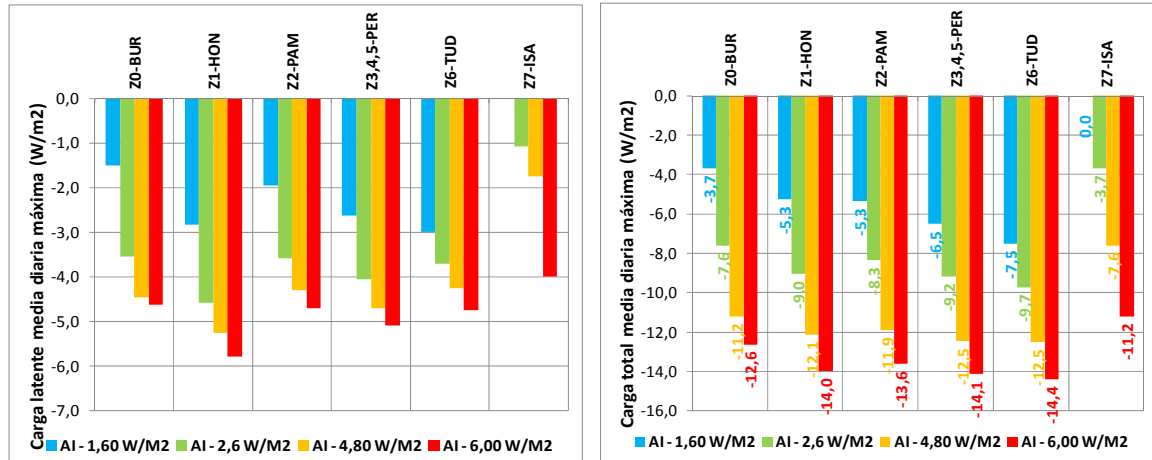


Figura 6.2. Análisis aportes internos. Sistema con refrigeración activa, sin ventilación natural y sin deshumidificación. Carga de refrigeración total media diaria (W/m²) para la vivienda tipo [E] en las ciudades de referencia de cada zona climática [Elaboración propia].

6.3.1.2 REFRIGERACIÓN CON VENTILACIÓN NATURAL NOCTURNA BAJA

La incorporación de ventilación nocturna de baja intensidad (12 horas con ventanas abiertas al 10% de su superficie) reduce considerablemente las demandas de energía para refrigeración (Fig. 6.3). El aumento de los aportes internos genera igualmente un aumento proporcional en la demanda de energía para refrigeración. Todas las ciudades de referencia en todos los escenarios de aportes internos cumplirían con los requisitos máximos de PHI.

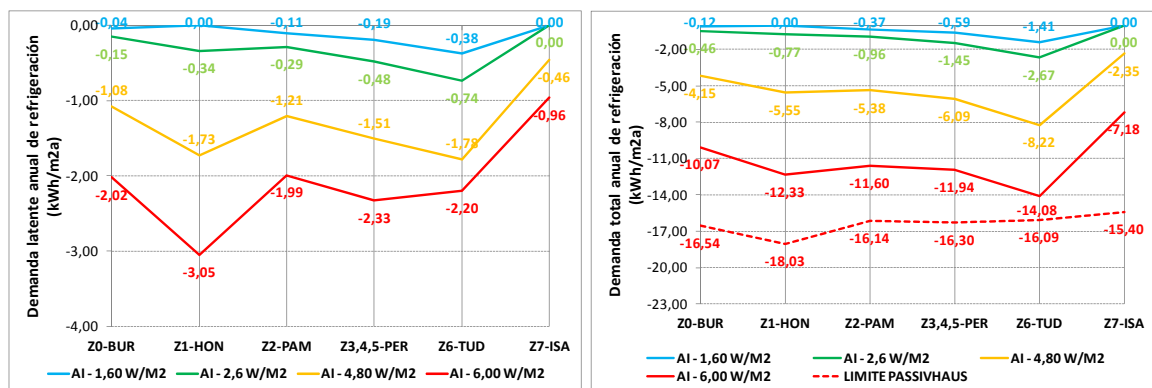


Figura 6.3. Análisis aportes internos. Sistema con refrigeración activa, con ventilación nocturna natural (baja intensidad) y sin deshumidificación. Demanda de refrigeración latente (izquierda) y total anual (Derecha) (kWh/m²a) para la vivienda tipo [E] en las ciudades de referencia de cada zona climática [Elaboración propia].

Las potencias necesarias para refrigeración sufren un descenso mucho menor (Fig. 6.4) manteniéndose picos de 12,8 W/m² en Tudela con aportes internos de 6W/m².

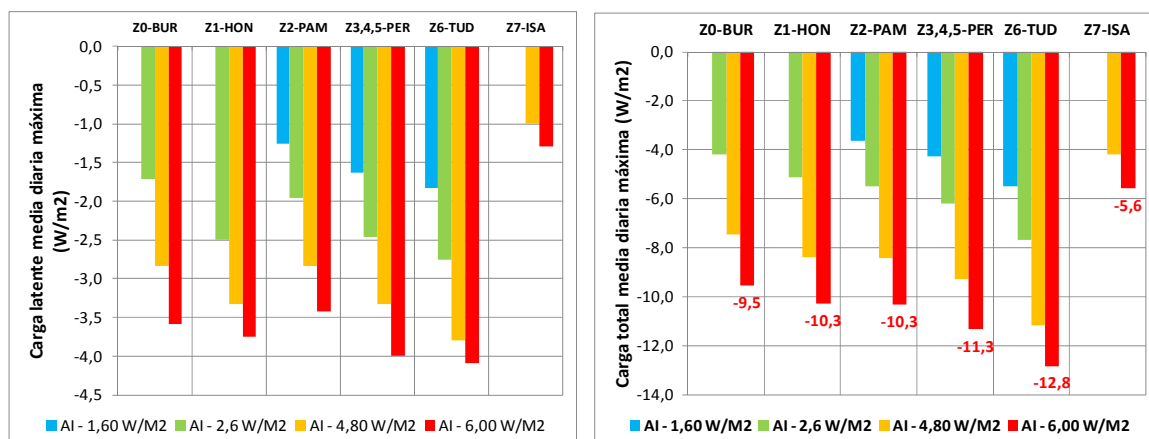


Figura 6.4. Análisis aportes internos. Sistema con refrigeración activa, con ventilación nocturna natural (baja intensidad) y sin deshumidificación. Carga de refrigeración total media diaria (W/m²) para la vivienda tipo [E_] en las ciudades de referencia de cada zona climática [Elaboración propia].

6.3.1.2.1 CONFORT

La Figura 6.5 nos muestra las gráficas de horas por encima de los rangos de 25°C en el sistema con ventilación natural nocturna. Los aportes internos inciden de una forma proporcional en el número de horas de sobrecalentamiento. En este caso, al tener un punto de funcionamiento de la refrigeración en 26°C, desaparecen las horas por encima de 28°C, pero las temperaturas se acercan al rango 25-26°C en los escenarios de 4,8 W/m² y 6,0 W/m². En la zona climática representada por Tudela se superan las 875 horas (10% de horas anuales) por encima de 25°C en todos los escenarios de aportes internos.

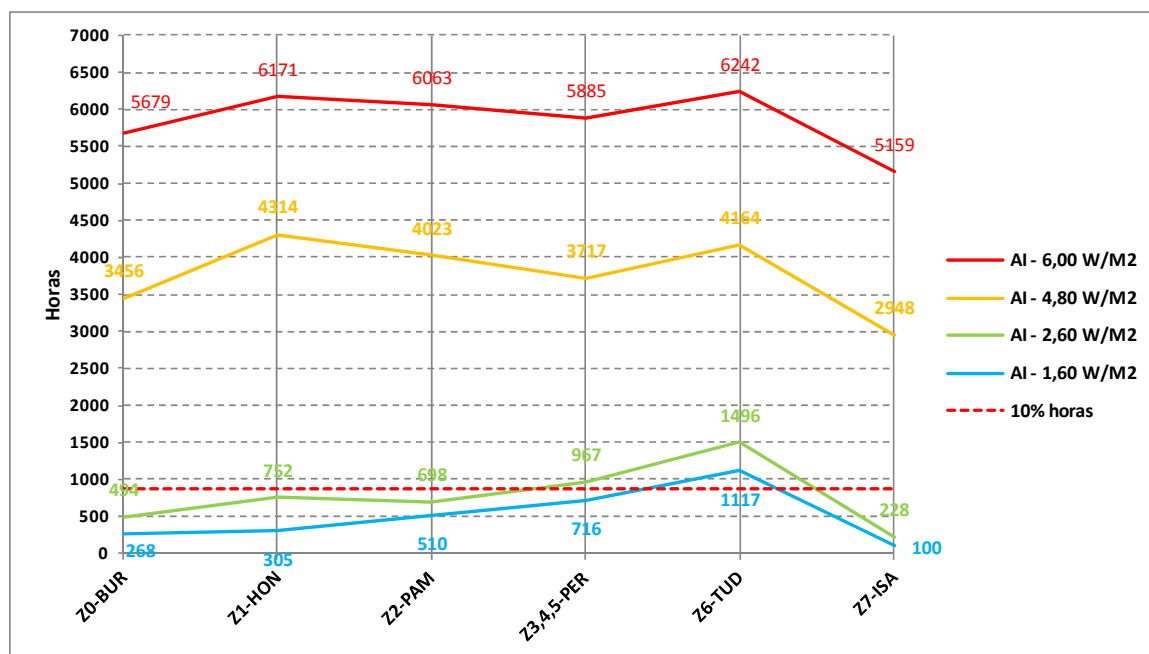


Figura 6.5. Análisis aportes internos. Sistema con refrigeración activa, con ventilación natural y sin deshumidificación. Horas por encima de 25°C [Elaboración propia].

ZONA CLIMÁTICA Z1. CIUDAD DE REFERENCIA HONDARRIBIA

El análisis de confort según la EN-ISO 7730 en Hondarribia (Fig. 6.6) nos muestra el aumento de las temperaturas en función de los aportes internos, de un máximo de 25,9°C para AI-1,6 W/m² a 26,6°C para AI-6,0 W/m², y una disminución de las humedades relativas, de un máximo del 94,9% para AI-1,6 W/m² a 86,2% para AI-6,0 W/m². Tanto las temperaturas máximas como las humedades relativas máximas se producen en el verano. Las horas con una humedad relativa por encima de un 70% son altas en todos los casos salvo en el escenario AI-1,6 W/m² en que se quedan en el 11% de las horas del verano (406 horas). En el escenario de bajos aportes internos AI-1,6 W/m² se produce además una mayor intervención de la calefacción en invierno, visualizada en la acumulación de horas entorno a los 20°C.

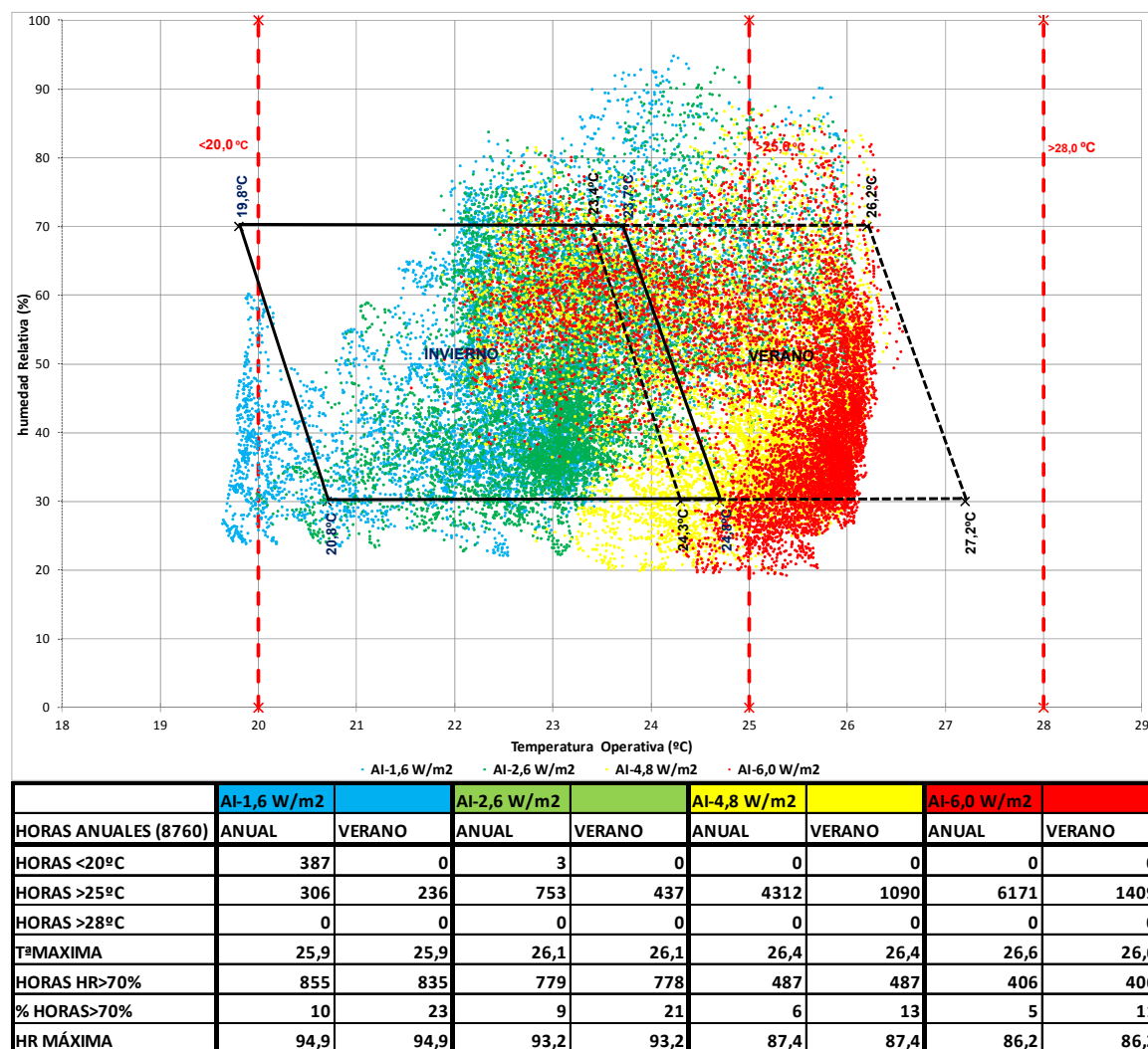
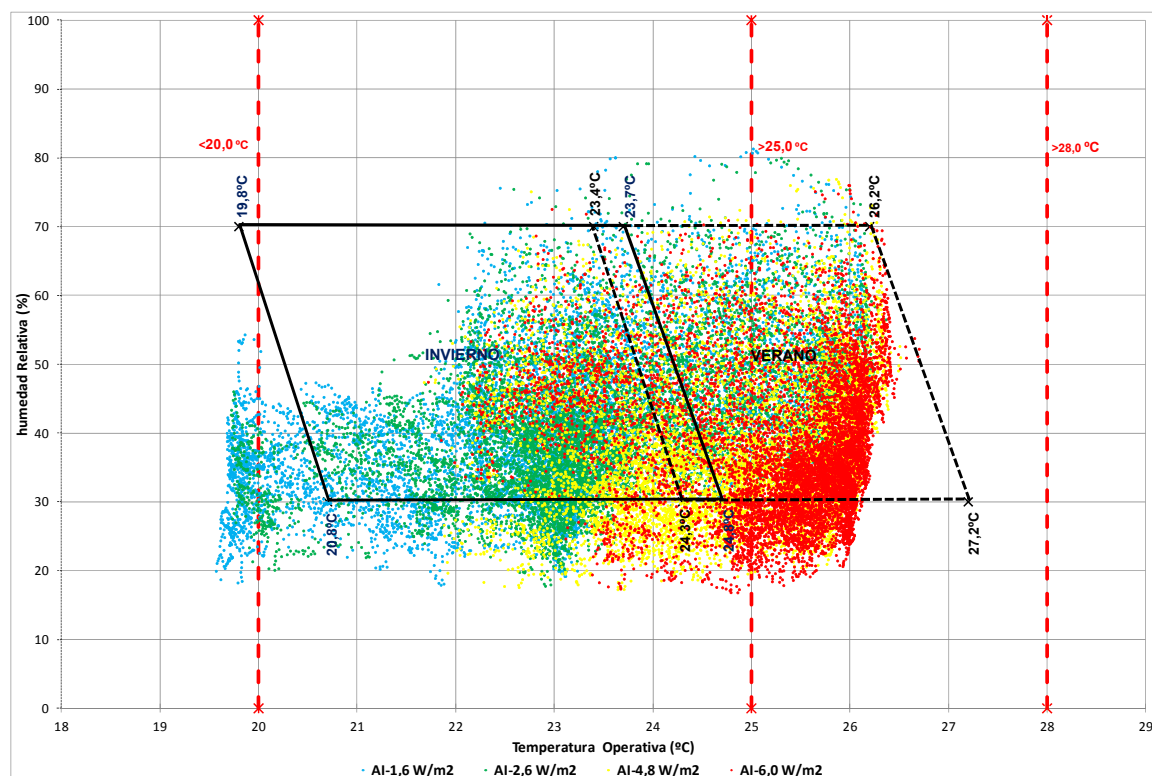


Figura 6.6. Análisis aportes internos. Sistema con refrigeración activa, VNN Baja (10%) y sin deshumidificación. Zona 1 Hondarribia planta tipo [E]. Confort ISO 7730 – ANUAL [Elaboración propia].

ZONA CLIMÁTICA Z6, CIUDAD DE REFERENCIA TUDELA

El análisis de confort según la EN-ISO 7730 en Tudela (Fig. 6.7) nos muestra igualmente el aumento de las temperaturas en función de los aportes internos, pero con temperaturas máximas más similares, de 26,2°C para AI-1,6 W/m² a 26,7°C para AI-6,0 W/m². Las humedades relativas se mantienen bajas en todos los escenarios, muy por debajo de la zona costera, con un máximo del 81,3% para AI-1,6 W/m² a 76,0% para AI-

6,0 W/m². Tanto las temperaturas máximas como las humedades relativas máximas se producen en el verano. Las horas con una humedad relativa por encima de un 70% son bajas en todos los no superando el 2% de las horas. En el escenario de bajos aportes internos AI-1,6 W/m² y en el de AI-2,6 W/m² se produce además una mayor intervención de la calefacción en invierno, visualizada en la acumulación de horas alrededor de los 20°C.



	AI-1,6 W/m ²	AI-2,6 W/m ²	AI-4,8 W/m ²	AI-6,0 W/m ²
	ANUAL	VERANO	ANUAL	VERANO
HORAS ANUALES (8760)	ANUAL	VERANO	ANUAL	VERANO
HORAS <20°C	681	0	156	0
HORAS >25°C	1114	1114	1474	1376
HORAS >28°C	0	0	0	0
T ^o MAXIMA	26,2	26,2	26,4	26,4
HORAS HR>70%	77	72	66	64
% HORAS>70%	1	2	1	2
HR MÁXIMA	81,3	81,3	80,0	80,0

Figura 6.7. Análisis aportes internos. Sistema con refrigeración activa, VNN Baja (10%) y sin deshumidificación. Zona 5 Tudela planta tipo [E]. Confort ISO 7730 – ANUAL [Elaboración propia].

6.3.2 SISTEMA VENTILACIÓN MECÁNICA CONTROLADA (VMC)

Se mantiene la misma programación que la señalada en el Capítulo 5. En este caso se analiza exclusivamente la situación estival.

6.3.2.1 CONFORT

La Figura 6.8 nos muestra las gráficas de horas por encima de los rangos de 25°C y 28°C. La zona climática representada por Tudela supera las horas >25°C marcadas por el PHI en todos los escenarios salvo el más bajo (AI-1,6 W/m²), siendo más moderada la

situación con las horas >28°C. Con los aportes internos AI-6,0 W/m² solamente Pamplona-Iruña e Isaba logran bajar del 10% >25°C, pero todas las ciudades salvo Tudela cumplen el requisito del 1% de horas por debajo de 28°C.

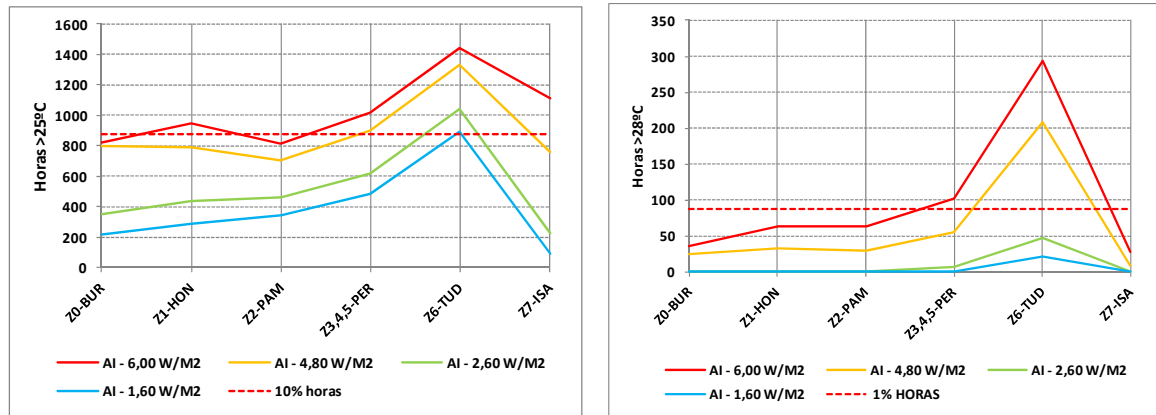
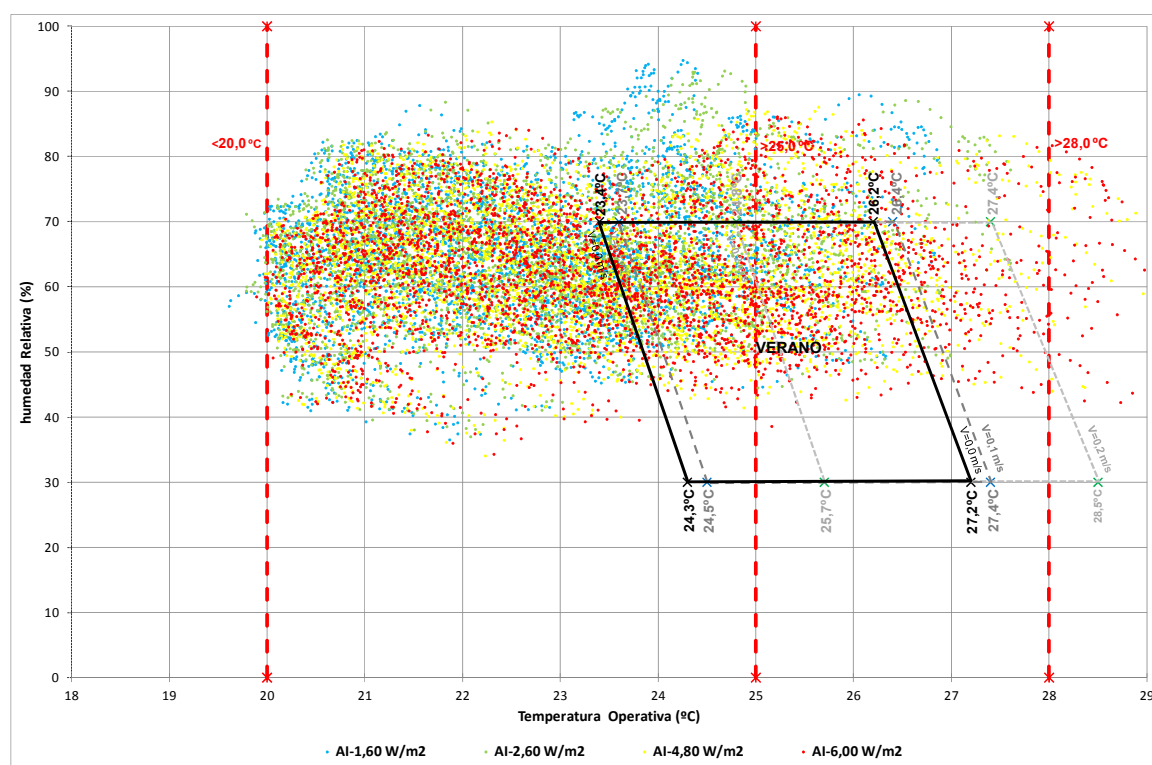


Figura 6.8. Análisis aportes internos. Sistema VMC. Horas por encima de 25°C y 28°C [Elaboración propia].

6.3.2.1.1 ZONA CLIMÁTICA Z1. CIUDAD DE REFERENCIA HONDARRIBIA

El análisis de confort según la EN-ISO 7730 en Hondarribia (Fig. 6.9) nos muestra el aumento de las temperaturas en función de los aportes internos, de un máximo de 26,9°C para AI-1,6 W/m² a 29,9°C para AI-6,0 W/m², y una disminución de las humedades relativas, de un máximo del 94,8% para AI-1,6 W/m² a 86,1% para AI-6,0 W/m². Las horas con una humedad relativa por encima de un 70% son altas en todos los casos, del 31% de horas en el escenario AI-1,6 W/m² al 22% en el escenario AI-6,0 W/m². Debido estas altas humedades que incorpora el aire exterior sería necesaria la incorporación de un sistema de deshumidificación en el sistema de VMC, aumentando los consumos eléctricos del sistema haciéndolo menos competitivo con un sistema de refrigeración convencional.

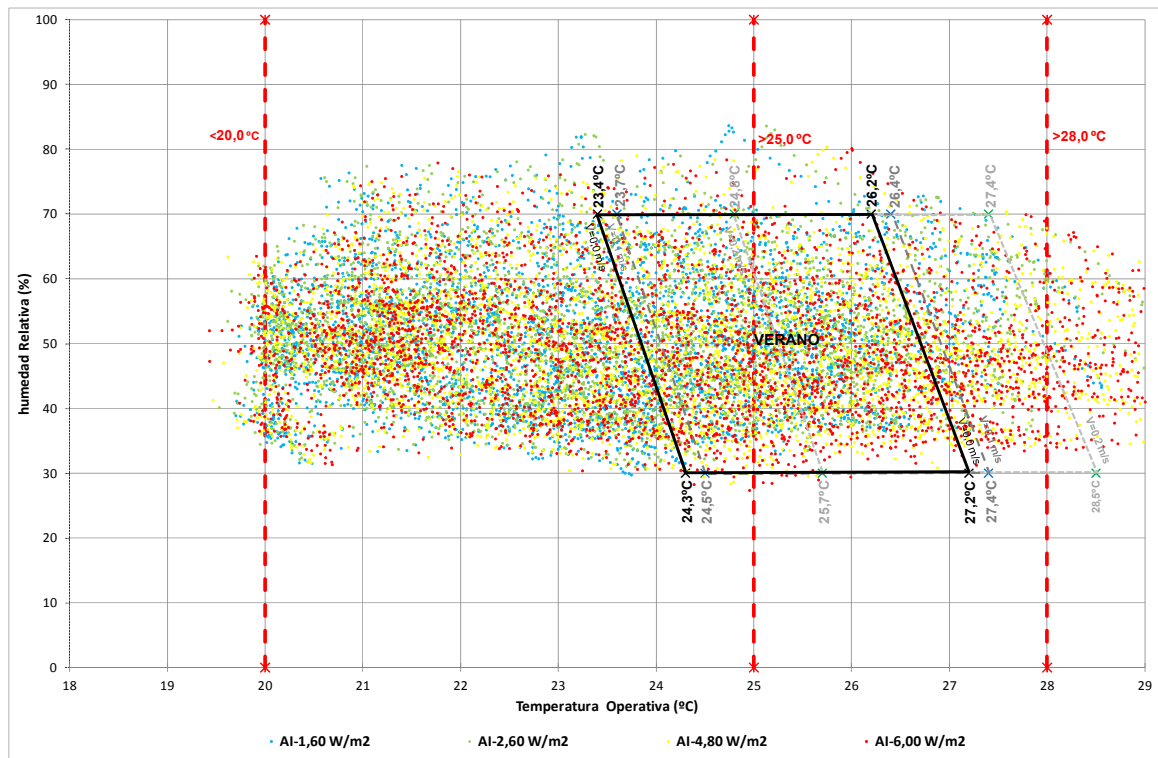


	AI-1,6 W/m ²	AI-2,6 W/m ²	AI-4,8 W/m ²	AI-6,0 W/m ²	
HORAS VERANO (3671)					
HORAS <20°C	26	20	3	2	
HORAS >25°C	286	438	795	944	
HORAS >28°C	0	0	36	63	
Tª MÁXIMA VERANO	26,9	27,6	29,2	29,9	
HORAS HR>70%		1127	1100	883	810
% HORAS>70%		31	30	24	22
HR MÁXIMA		94,8	93,2	87,6	86,1

Figura 6.9. Análisis aportes internos. Sistema VMC. Zona 1 Hondarribia planta tipo [_E_]. Confort ISO 7730 – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

6.3.2.1.2 ZONA CLIMÁTICA Z6, CIUDAD DE REFERENCIA TUDELA

El análisis de confort según la EN-ISO 7730 en Tudela (Fig. 6.10) nos muestra el aumento de las temperaturas en función de los aportes internos, de un máximo de 28,6°C para AI-1,6 W/m² a 31,5°C para AI-6,0 W/m² (no mostrado en el gráfico), y una disminución moderada de las humedades relativas, de un máximo del 83,7% para AI-1,6 W/m² a 80,2% para AI-6,0 W/m². Las horas con una humedad relativa por encima de un 70% son bajas en todos los casos, del 3-4% de horas. No sería necesaria la incorporación de un sistema de deshumidificación en el sistema de VMC.



	AI-1,6 W/m²	AI-2,6 W/m²	AI-4,8 W/m²	AI-6,0 W/m²	
HORAS VERANO (3671)					
HORAS <20°C	37	60	47	51	
HORAS >25°C	885	1040	1338	1446	
HORAS >28°C	22	47	205	294	
Tª MÁXIMA VERANO	28,6	29,3	30,8	31,5	
HORAS HR>70%		140	141	106	100
% HORAS>70%		4	4	3	3
HR MÁXIMA		83,7	83,6	80,4	80,2

Figura 6.10. Análisis aportes internos. Sistema VMC. Zona 6 Tudela planta tipo [E]. Confort ISO 7730 – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

6.3.3 VENTILACIÓN NATURAL

6.3.3.1 CONFORT

Se analizan nuevamente dos sistemas de ventilación natural interna, un sistema de baja intensidad, 12 horas con las ventanas abiertas en un 10% de su superficie, y un sistema de ventilación nocturna intenso, con tres horas antes de las horas nocturnas y una hora por la mañana con las ventanas abiertas al 100% y el resto de la noche abiertas en un 10%.

6.3.3.1.1 VENTILACIÓN NOCTURNA BAJA (10% VENTANAS 12 HORAS)

La Figura 6.11 nos muestra las gráficas de horas por encima de los rangos de 25°C y 28°C. La zona climática representada por Tudela supera las horas >25°C marcadas por el PHI en todos los escenarios incluido el más bajo, y en todos salvo el más bajo en las horas >28°C. Con los aportes internos AI-1,6 W/m² y AI-2,6 W/m² todas las ciudades estarían en la zona de confort de PHI >25°C y >28°C, salvo las horas >25°C en Peralta-Azkoien.

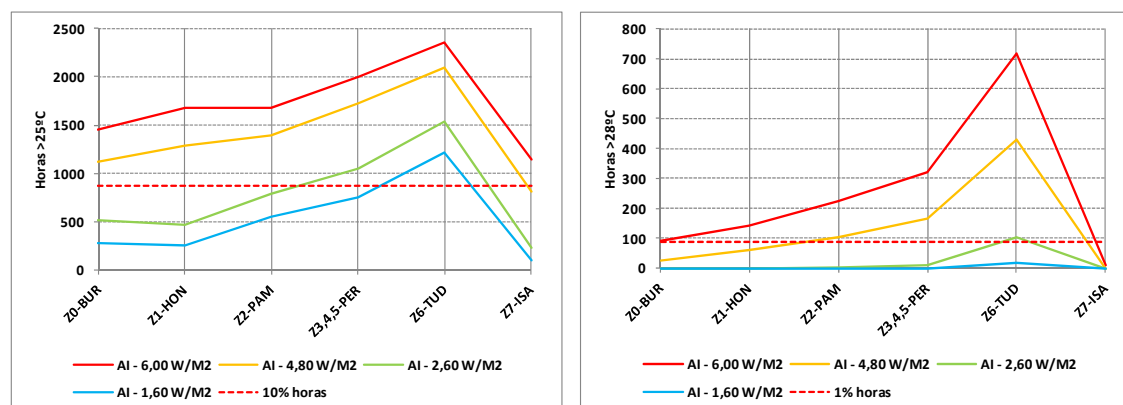


Figura 6.11. Análisis aportes internos. VNN BAJA 12 H 10%. Horas por encima de 25°C y 28°C [Elaboración propia].

6.3.3.1.2 VENTILACIÓN NOCTURNA INTENSIVA (12 H 10%-100%)

La introducción de una ventilación intensiva varía sustancialmente el comportamiento de las viviendas (Fig. 6.12). La zona climática representada por Tudela supera las horas >25°C marcadas por el PHI en los escenarios AI-1,6 W/m² y AI-2,6 W/m², pero no en las horas >28°C. Con los aportes internos AI-1,6 W/m² y AI-2,6 W/m² todas las ciudades estarían en la zona de confort del PHI >25°C y >28°C, salvo las horas >25°C en Peralta-Azkoien y Tudela y las horas >28°C en Tudela.

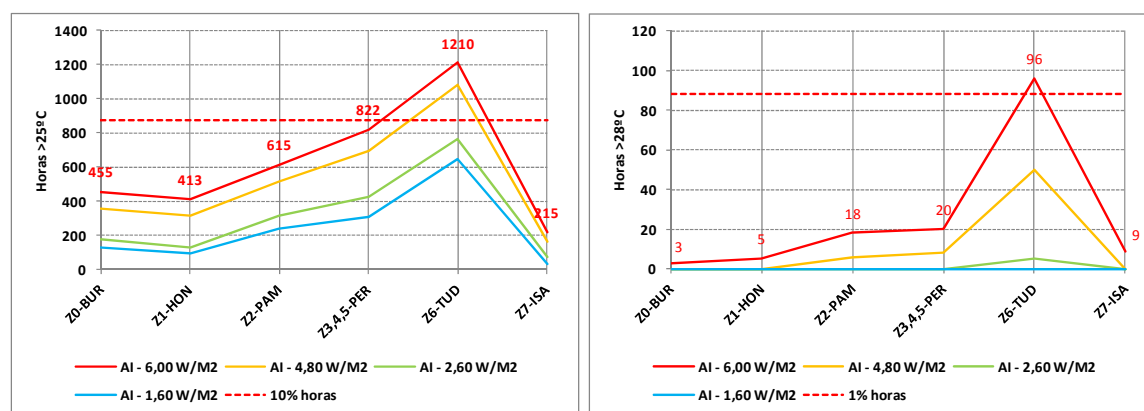


Figura 6.12. Análisis aportes internos. VNN INTENSA 12 H 10%-100%. Horas por encima de 25°C y 28°C [Elaboración propia].

Analizamos a continuación los modelos de confort para la ventilación nocturna intensiva de las ciudades de Hondarribia y Tudela.

ZONA CLIMÁTICA Z1. CIUDAD DE REFERENCIA HONDARRIBIA

El análisis de confort según la EN-ISO 7730 en Hondarribia (Fig. 6.13) nos muestra el aumento de las temperaturas en función de los aportes internos, de un máximo de 26,0°C para AI-1,6 W/m² a 28,5°C para AI-6,0 W/m², y una disminución de las humedades relativas, de un máximo del 98,4% para AI-1,6 W/m² a 96,0% para AI-6,0 W/m². Las horas con una humedad relativa por encima de un 70% son relativamente altas en todos los casos, del 32% de horas en el escenario AI-1,6 W/m² al 29% en el escenario AI-6,0 W/m². Se observa una acumulación de temperaturas en el rango 20-

22°C debido a que es donde se sitúa el criterio de apertura de ventanas ($T_{interior} > 22^{\circ}\text{C}$ y $T_{exterior} > T_{interior}$).

Se producen por tanto unas temperaturas máximas menores que con el sistema VMC, pero un mayor número de horas con humedad relativa por encima del 79%. En este caso, sería necesario eliminar el exceso de humedad a través del sistema de ventilación de doble flujo convencional de la vivienda, por lo que habría que incorporar al sistema el dimensionamiento del mismo.

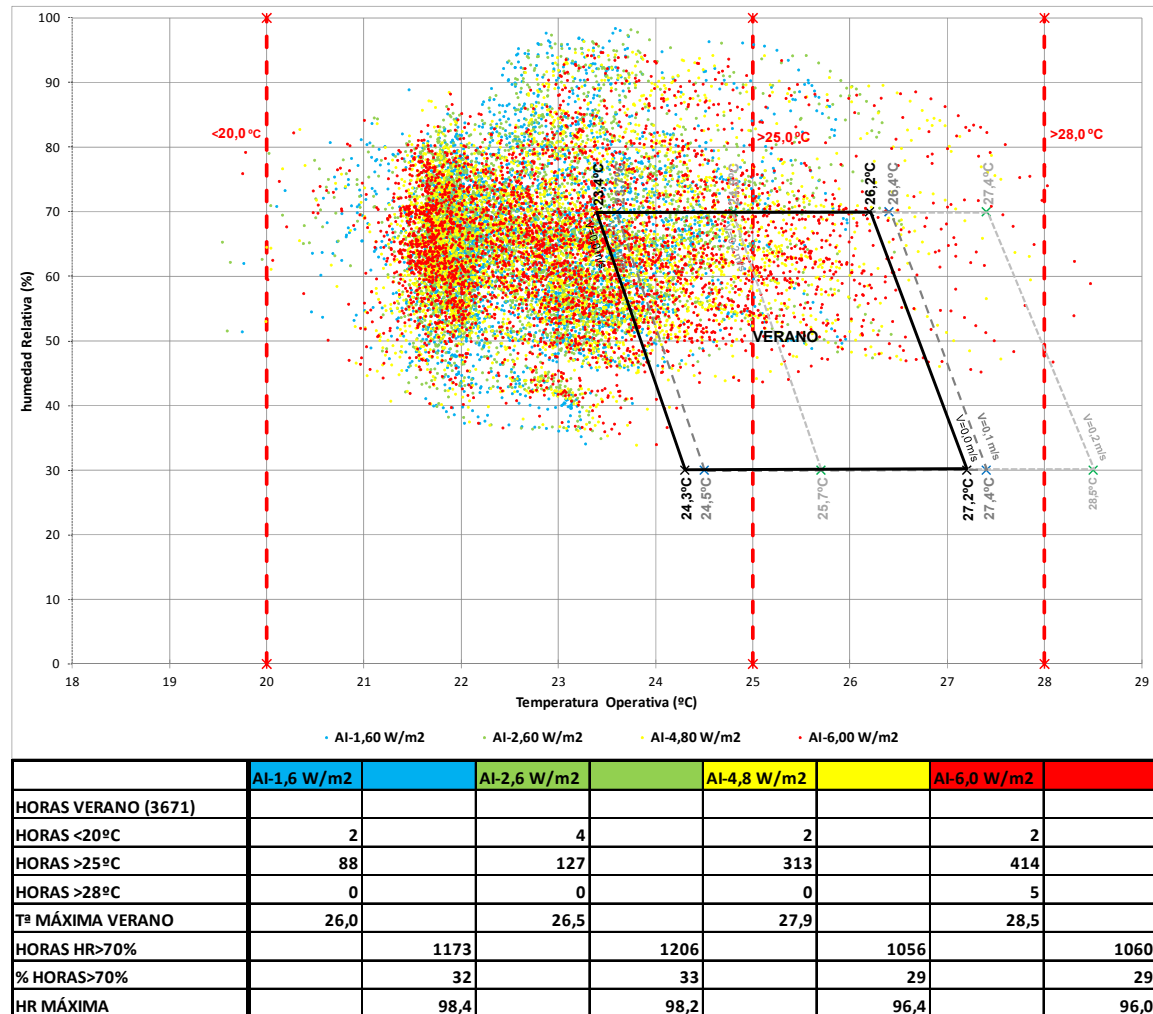


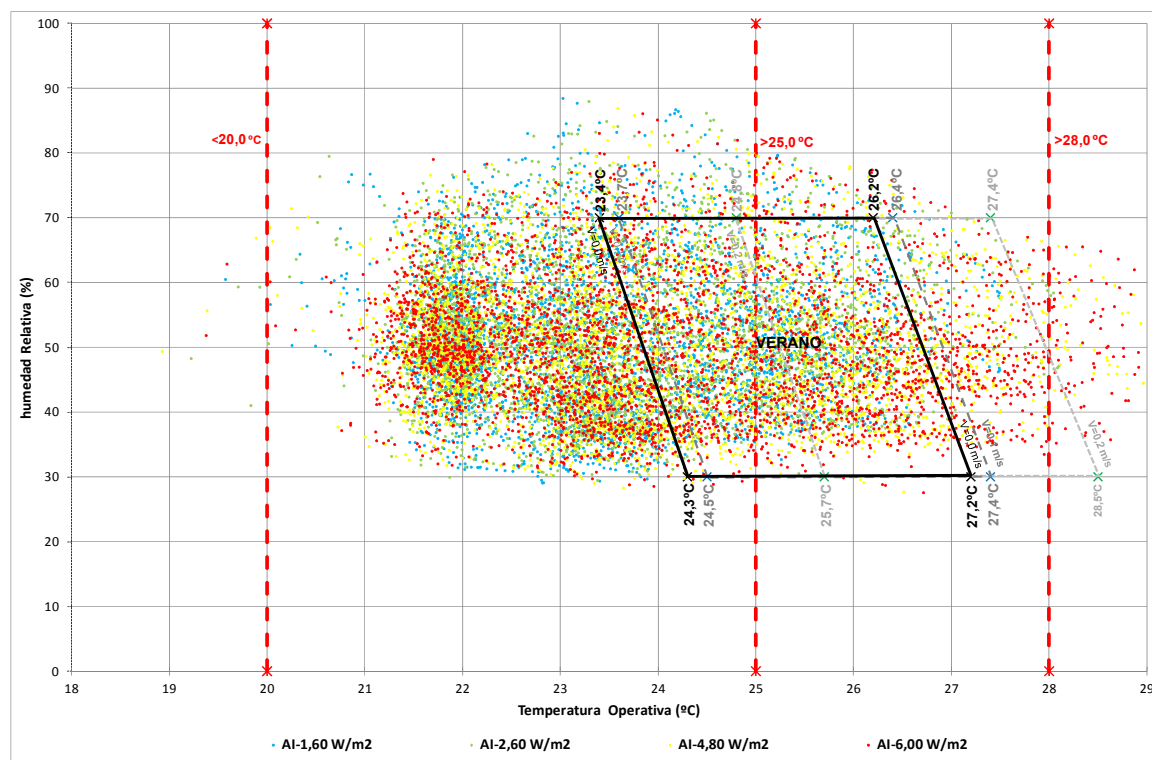
Figura 6.13. Análisis aportes internos. VNN INTENSA. Zona 1 Hondarribia planta tipo [E]. Confort ISO 7730 – VERANO – Período 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

ZONA CLIMÁTICA Z6, CIUDAD DE REFERENCIA TUDELA

El análisis de confort según la EN-ISO 7730 en Tudela (Fig. 6.14) nos muestra el aumento de las temperaturas en función de los aportes internos, de un máximo de 27,5°C para AI-1,6 W/m² a 30,1°C para AI-6,0 W/m² (fuera del gráfico), y una disminución moderada de las humedades relativas, de un máximo del 88,5% para AI-1,6 W/m² a 86,1% para AI-6,0 W/m². Las horas con una humedad relativa por encima de un 70% son bajas en todos los casos, del 5-6% de horas. No sería necesaria la incorporación de un sistema de deshumidificación.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal



	AI-1,6 W/m2	AI-2,6 W/m2	AI-4,8 W/m2	AI-6,0 W/m2	
HORAS VERANO (3671)					
HORAS <20°C	1	4	3	2	
HORAS >25°C	641	761	1074	1209	
HORAS >28°C	0	5	48	97	
Tª MÁXIMA VERANO	27,5	28,1	29,5	30,1	
HORAS HR>70%		213	208	182	173
% HORAS>70%		6	6	5	5
HR MÁXIMA		88,5	88,0	86,9	86,1

Figura 6.14. Análisis aportes internos. VNN INTENSA. Zona 1 Tudela planta tipo [E]. Confort ISO 7730 – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

En el caso de los edificios ventilados de forma natural podemos evaluar el confort de acuerdo al modelo adaptativo [UNE- EN 15.251:2008]. En este modelo observamos en la Figura 6.15 como el gráfico contiene dentro de los límites de confort todas las horas del periodo estival, más altas conforme los aportes internos son mayores.

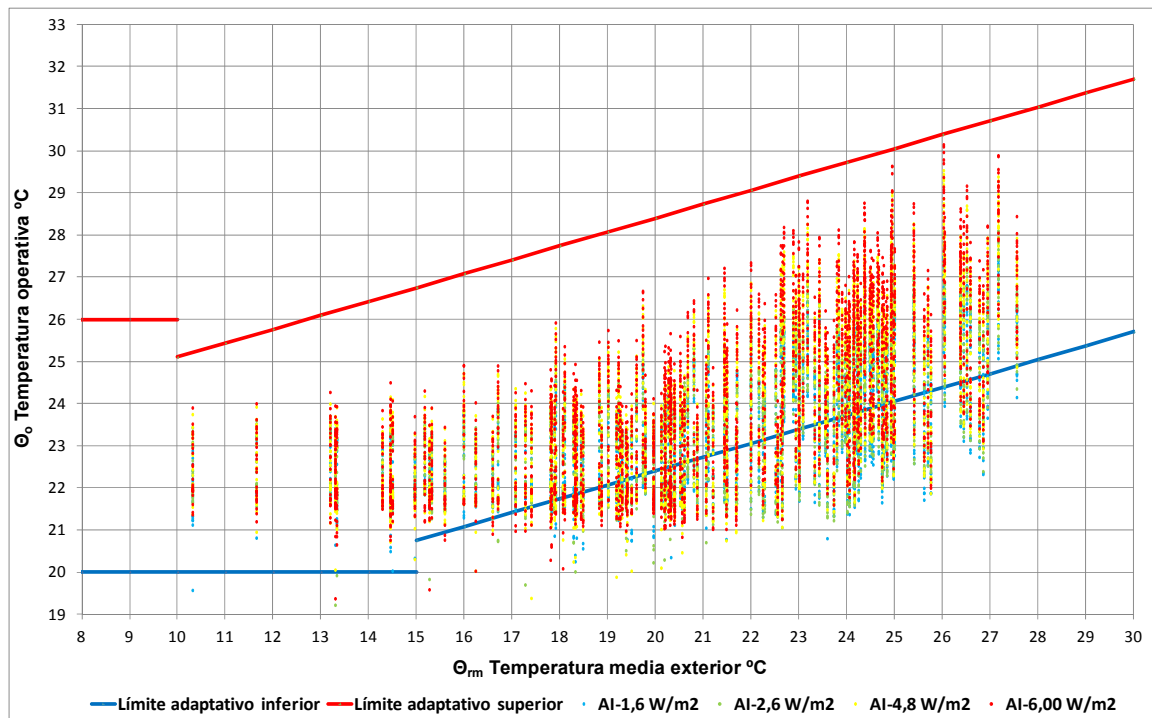


Figura 6.15. Análisis aportes internos. VNN INTENSA. Zona 1 Tudela planta tipo [_E_]. Confort adaptativo EN 15.251 – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

En la Figura 6.16 se representa el gráfico de evolución de temperaturas operativas interiores con los diferentes escenarios de aportes internos. Se observa que todos los escenarios están dentro de los límites adaptativo inferior y superior, sin embargo las diferencias entre los máximos varían en casi 3°C en algunos puntos. Las temperaturas operativas en sus mínimos se aproximan más en las horas en las que se produce la ventilación nocturna.

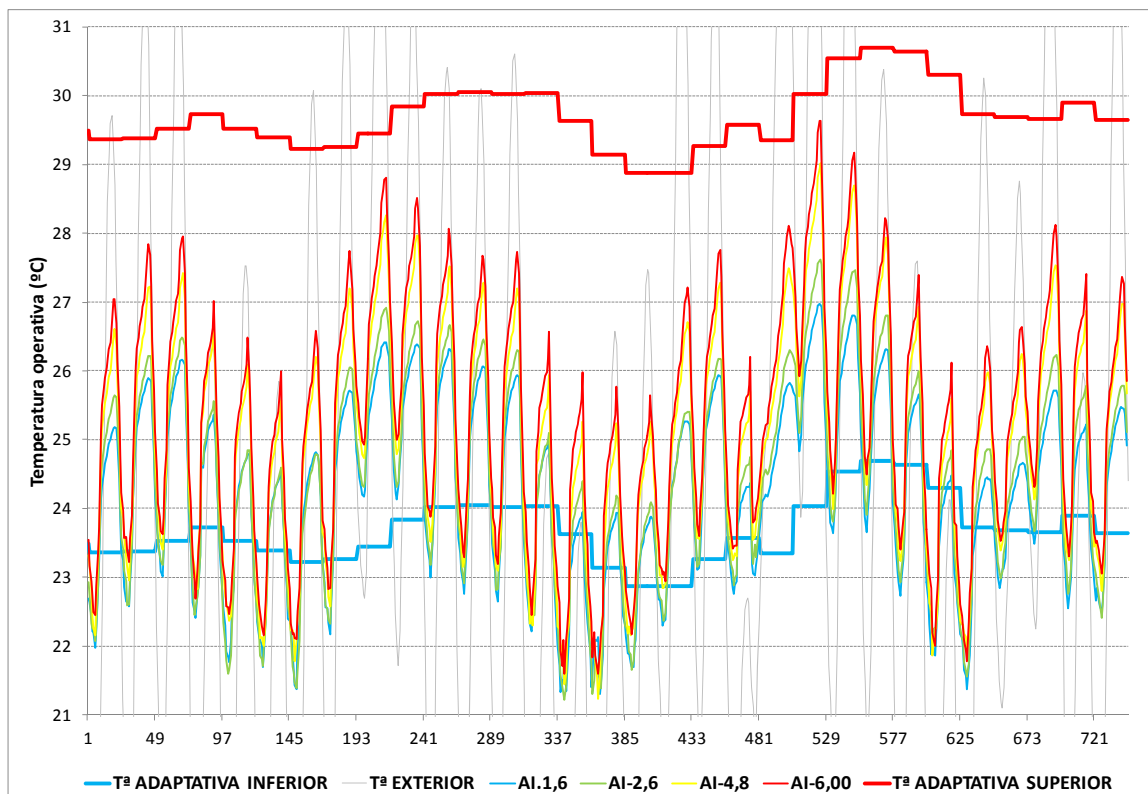


Figura 6.16. Análisis aportes internos. VNN INTENSA. Evolución de las temperaturas operativas interiores. Zona 1 Tudela planta tipo [E]. Confort adaptativo EN 15.251 – VERANO – Mes de julio [Elaboración propia].

Por último, se muestra en las Figuras 6.17 y 6.18 el gráfico de distribución horaria de temperaturas en la ciudad de Tudela para los escenarios AI-2,6 W/m² y AI-6,00 W/m². Vemos que especialmente las horas nocturnas >25°C sufren un aumento considerable. Si en el escenario AI-2,6 W/m² tenemos en agosto un 15% de horas nocturnas >25°C (45 horas) y 5 horas >28°C, en el escenario AI-6,00 W/m² serían un 24% (73 horas) y 38 horas >28°C. Las temperaturas máximas mensuales muestran un incremento notable.

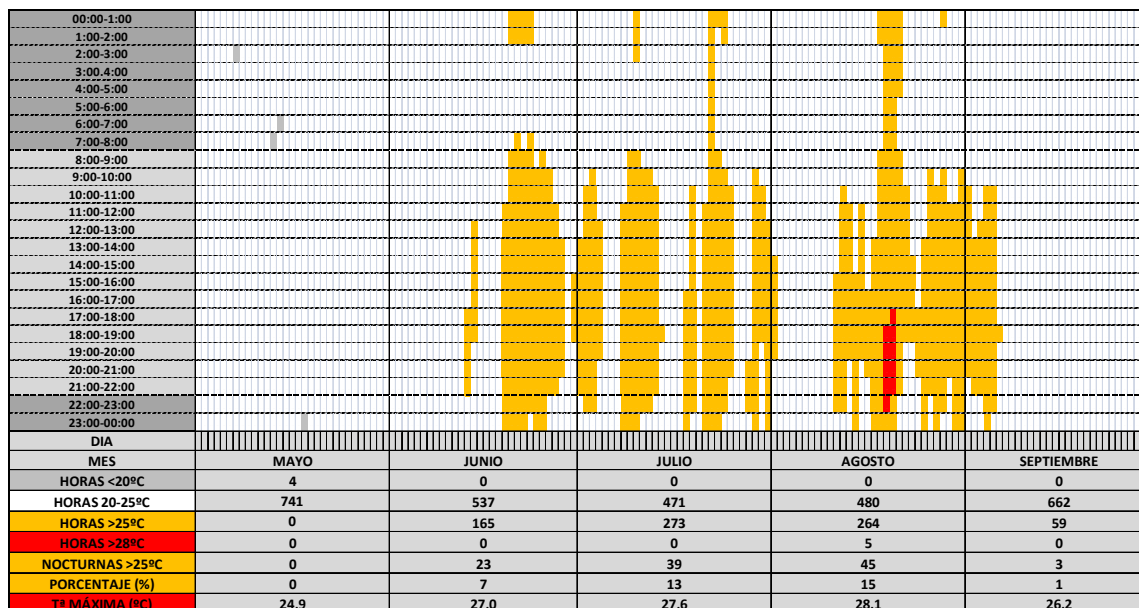


Figura 6.17. Análisis aportes internos. VNN INTENSA. Zona 6 Tudela planta tipo [E]. Distribución horaria de temperaturas. Aportes internos 2,6 W/m² [Elaboración propia].

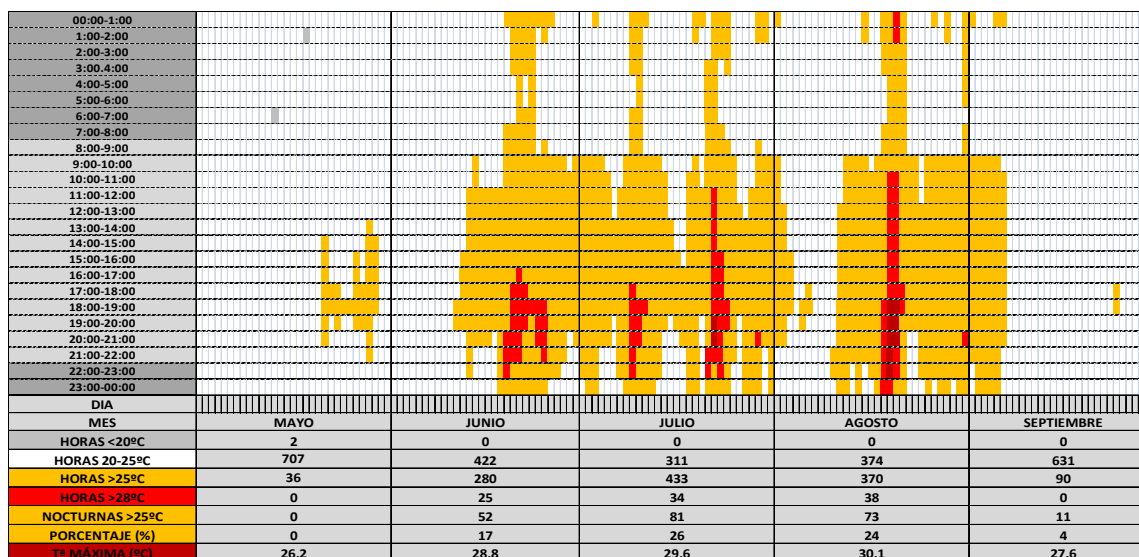


Figura 6.18. Análisis aportes internos. VNN INTENSA. Zona 6 Tudela planta tipo [E]. Distribución horaria de temperaturas. Aportes internos 6,00 W/m² [Elaboración propia].

6.4 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS APORTES INTERNOS

El análisis de diferentes valores de aportes internos provoca numerosas reflexiones a partir de los resultados de este estudio. En primer lugar, como se ha descrito en el Capítulo 3.3 (Ganancias de calor internas), los valores que maneja el PHI están en desacuerdo con los que utilizan la mayor parte de las normativas mencionadas, las europeas [UNE-EN ISO 13790:2004], [UNE-CR 1752 IN:2008] y nacionales por ejemplo en Suiza [SIA 380/1:2009], Reino Unido [CIBSE 2015] y en España [CTE DB HE1 2013] e incluso datos de la propia Alemania. Si bien es cierto que desde la perspectiva del

cálculo invernal una sobrevaloración de los aportes internos podría llevar a un mal dimensionamiento del sistema Passivhaus, las consecuencias en verano del estándar en climas más suaves como el estudiado puede ser el obviar los efectos perniciosos de los periodos estivales en los periodos de confort.

Por poner un ejemplo que se observa en la Figura 6.1, utilizar un valor de aportes interno de $1,60 \text{ W/m}^2$ (el utilizado en el Mediterráneo por [SCHNIEDERS 2009] y por [SCHNIEDERS *et ál.* 2011], en otras partes del mundo, estudios de referencia del PHI), genera unas demandas de refrigeración ínfimas, siendo incluso en la ciudad de Tudela menores de $-4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

Ya comentamos que llama la atención que después de advertir de la necesidad de utilizar valores por encima de los invernales para estar por el lado de la seguridad en algunos textos del PHI [FEIST 1999], recomendado al menos un valor de $2,60 \text{ W/m}^2$, estos estudios utilicen valores tan bajos en sus cálculos.

Además de la precaución de estar del lado de la seguridad, se une el efecto de la densidad de habitantes que puede contener una vivienda social en España respecto de la vivienda en Alemania. Parecen más aproximados las reflexiones que hacen [GRANT, CLARK 2014] sobre la realidad de la ocupación de la vivienda social en el Reino Unido, con viviendas que pueden alcanzar los menores ratios de área útil por persona, muy alejados desde luego de los utilizados por el PHI de $35\text{m}^2/\text{persona}$.

De cualquier forma, el estudio de 4 niveles de aportes internos nos permite llegar a unas conclusiones inmediatas:

A mayores aportes internos, se produce una mayor demanda de refrigeración (Fig.6.1). El aumento que provocan los aportes internos no es proporcional, ya que se debe a superar el valor de consigna de 26°C más que al calor que genera un mayor aumento.

A partir del valor alto estudiado de 6 W/m^2 las viviendas no cumplen con el límite marcado por el estándar en ninguna zona climática salvo en la de montaña Z7-Isaba. Si se conjuga con la ventilación nocturna se está dentro de los límites en todos los escenarios de aportes internos estudiados, pero cerca de los límites máximos especialmente en Z1-Hondarribia y Z6-Tudela (Fig.6.3).

En la gráfica de confort PHI de horas $>25^\circ\text{C}$ (Fig.6.5) vemos como el aumento de aportes internos genera un aumento desproporcionado de horas $>25^\circ\text{C}$, es decir, las temperaturas se acumulan en la zona próxima al punto de funcionamiento de la refrigeración (26°C). Los valores máximos de las temperaturas no sufren grandes diferencias, ya que en cualquier caso, en todos los escenarios se producen temperaturas que rondan los 26°C .

En el caso de la ventilación mecánica controlada, vemos como una suposición de aportes internos bajos ($1,6$ o $2,6 \text{ W/m}^2$) permite mantenerse en el confort en todas las ciudades de referencia estudiadas, sin embargo los aportes internos altos (6 W/m^2), excluyen la utilización de este sistema de todas las zonas climáticas salvo Isaba (Fig. 6.8).

Con el sistema de ventilación mecánica observamos además como se producen unas diferencias notables en las temperaturas máximas, de 3°C en la costa y de 4°C en Tudela.

El análisis de la ventilación natural como sistema de regulación de confort provoca también resultados muy contrastados entre la consideración de unos aportes internos u otros. En primer lugar significar que con un sistema de ventilación natural nocturna bajo

(VNN-Bajo) en el que se dejan las ventanas ligeramente osciladas (10% del área de la ventana) durante toda la noche, se puede conseguir el confort interior con escenarios de aportes internos bajos (1,6 y 2,6 W/m²) salvo en Tudela (Fig. 6.11). Sin embargo, escenarios de aportes internos altos (4,8 y 6,0 W/m²) no cumplen con el estándar en ninguna ciudad de referencia, tampoco en Isaba.

Si se utiliza un régimen de ventilación intensivo (VNN-Intenso), los valores se muestran de forma coherente a lo estudiado en el Capítulo 5, viendo que el sistema es capaz de satisfacer las necesidades de confort hasta la zona representada por Peralta-Azkoien incluso con los aportes internos superiores estudiados (6,0 W/m²) (Fig. 6.12).

Sin embargo, el estudio en detalle de las gráficas de confort revela que los altos aportes internos llevan a temperaturas interiores excesivas. En Hondarribia hemos visto como se producen diferencias entre las temperaturas máximas de 2,5°C entre los aportes más bajos y los más altos, parecidas a Tudela (2,6°C).

Señalar que los modelos adaptativos siguen mostrando a las ciudad de Tudela dentro de los límites de confort, sin embargo en el análisis propuesto de la evolución nocturna de las temperaturas, hemos visto como se dan periodos elevados con temperaturas por encima de 25°C durante la noche (22:00-8:00 h), por lo que la capacidad del sistema se puede considerar en entredicho si atendemos las especificaciones más avanzadas sobre el tema del CIBSE.

Por último indicar que la consideración que hace el PHI de la utilización de electrodomésticos altamente eficientes puede reducir en efecto los aportes internos. Sin embargo, parece difícil que se produzca a corto plazo un aumento en las superficies de las viviendas, y además, es previsible que una alta ocupación en vivienda social sea esperable en el corto y medio plazo. Otra cosa será que como hemos visto en el Capítulo 4, la crisis en la venta de pisos de obra nueva genere un aumento de las superficies de vivienda con el fin de resultar más atractivos en un mercado precario (véase caso Soto Lezkairu).

**EVALUACIÓN DEL ESTÁNDAR DE CONSTRUCCIÓN PASSIVHAUS Y SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO CLIMÁTICO
DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA VASCA Y LA COMUNIDAD FORAL NAVARRA**

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

7 ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO

7.1 INTRODUCCIÓN

En el Capítulo 3 se realizaba un estudio pormenorizado de la diversidad de climas presentes en el área de estudio. Asimismo, se avanzaba la importancia del estudio de la evolución climática en el comportamiento futuro de los edificios construidos en la actualidad. Como hemos señalado, la utilización del programa Meteonorm [REMUND *et ál.* 2012], permite la generación de archivos climáticos según los escenarios de cambio climático A1B, B1 y A2. En un primer momento, se realiza el análisis de los escenarios climáticos para los años 2040 y 2080. La elección de estos años implica generar datos para visualizar el comportamiento de los edificios a corto y medio plazo. Se entiende que la vida útil de un edificio debe ir más allá de los 50 años, máxime si queremos considerarlo como un edificio sostenible. Es por esto que un análisis del comportamiento que tendrán las diferentes tipologías en el año 2080 puede estar dentro de un periodo más que razonable dentro de la vida útil de los edificios (dentro de 65 años si se construyen en el año 2015).

7.2 CRITERIOS Y OBJETIVOS

Un primer análisis consistirá en analizar en una tipología no demasiado expuesta al sobrecalentamiento, vivienda [N_S_] el funcionamiento con los diferentes climas propuestos. Los modelos utilizados se mantienen ocupados con el perfil del Código Técnico [AICIA 2009-2], y los aportes internos AI-4,80 W/m².

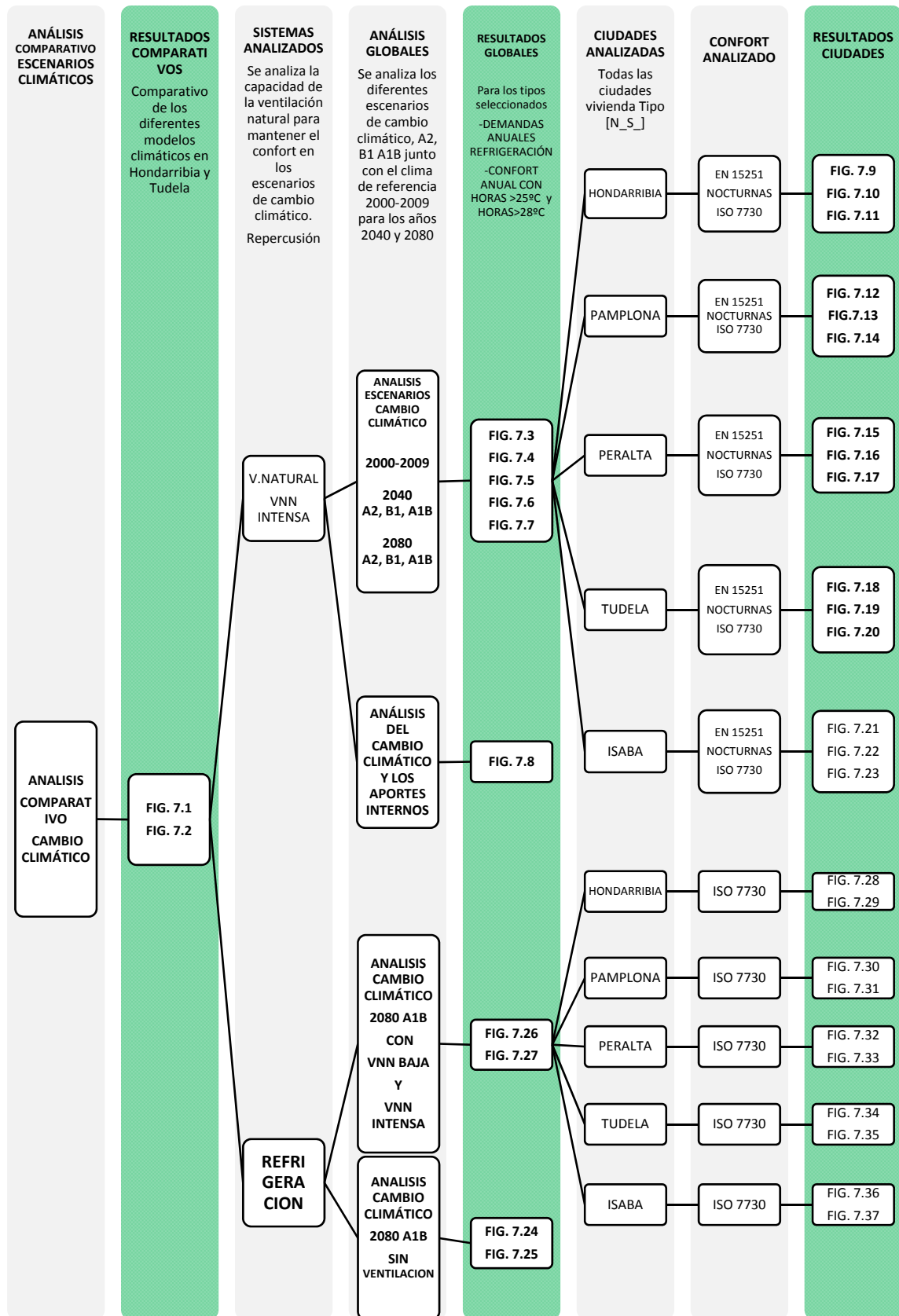
7.2.1 ESTRUCTURA DE RESULTADOS DEL CAPÍTULO DE ANÁLISIS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

En el siguiente esquema se resumen las Fases de estudio junto con las Figuras obtenidas con los resultados de las simulaciones.

EVALUACIÓN DEL ESTÁNDAR DE CONSTRUCCIÓN PASSIVHAUS Y SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO CLIMÁTICO DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA VASCA Y LA COMUNIDAD FORAL NAVARRA

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal



7.3 COMPARATIVO ESCENARIOS CLIMÁTICOS

La primera constatación que podemos realizar a partir del comparativo de los diferentes escenarios utilizados en este estudio la observamos en la gráfica de la Figura 7.1. Tanto en la zona costera, representada por la ciudad de Hondarribia como en el interior más cálido representado por la ciudad de Tudela, se constata un progresivo aumento de la temperatura exterior seca. Sin embargo, es más clara y progresiva en la ciudad de Tudela, en la que los diferentes escenarios se van solapando con un aumento constante de las temperaturas máximas, encontrando en el periodo representado por la gráfica una diferencia de hasta 6°C con el clima estadístico 2000-2009. En Hondarribia, este orden se ve alterado en varios puntos, cuestión que se constata en el clima a lo largo del año.

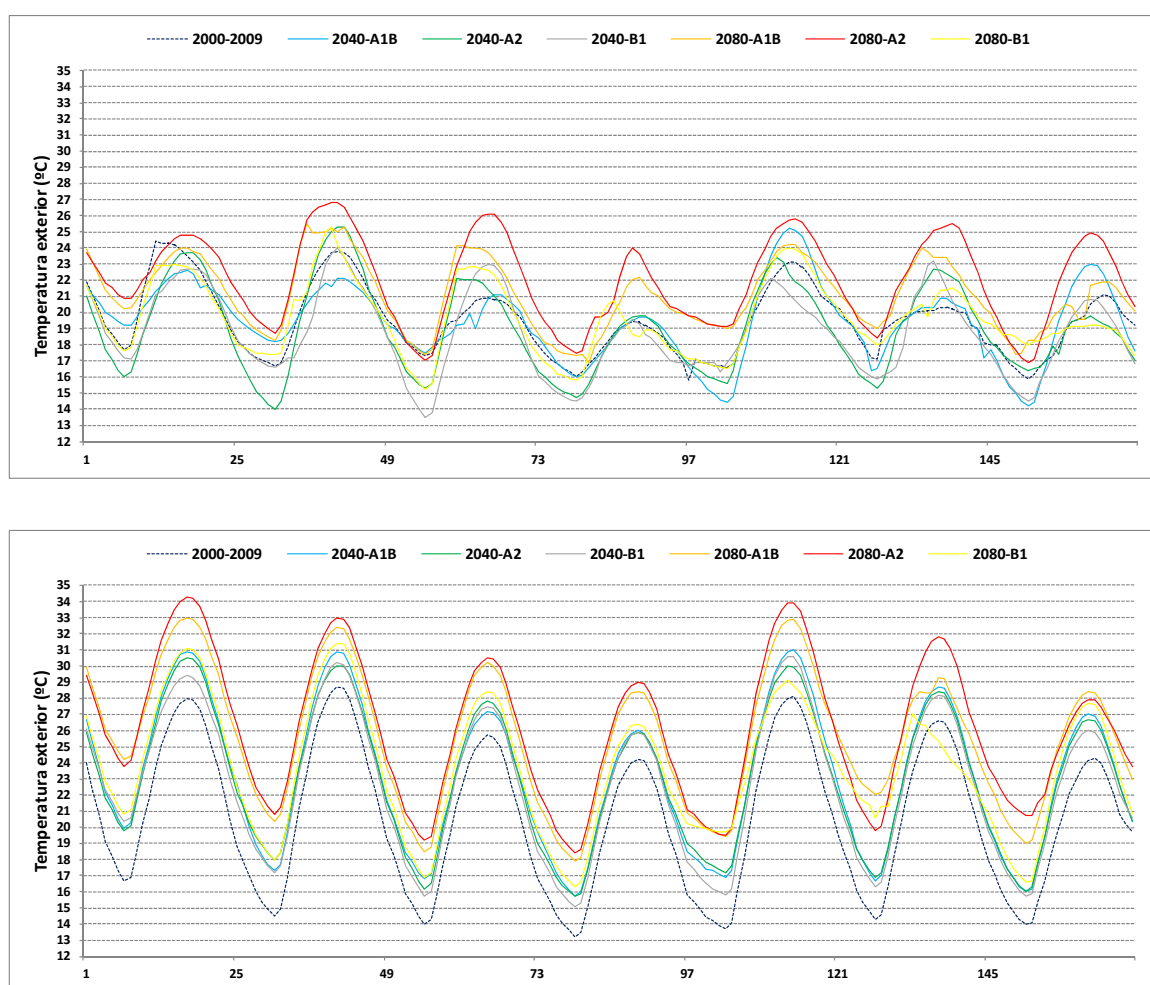


Figura 7.1. Evolución de la temperatura exterior del bulbo seco en Z1-Hondarribia y Z6-Tudela. Primera semana del mes de agosto. Comparativo clima estadístico 2000-2009, y los escenarios climáticos A1B, A2 y B1 para los años 2040 y 2080 [Elaboración propia].

Asimismo, en un comparativo entre ambas ciudades de la evolución de la temperatura de rocío, se observa en la gráfica de la Figura 7.2 un aumento de la humedad ambiental considerable para ambas ciudades, lo cual tendrá unas consecuencias claras en la consecución de un confort aceptable durante los meses de verano.

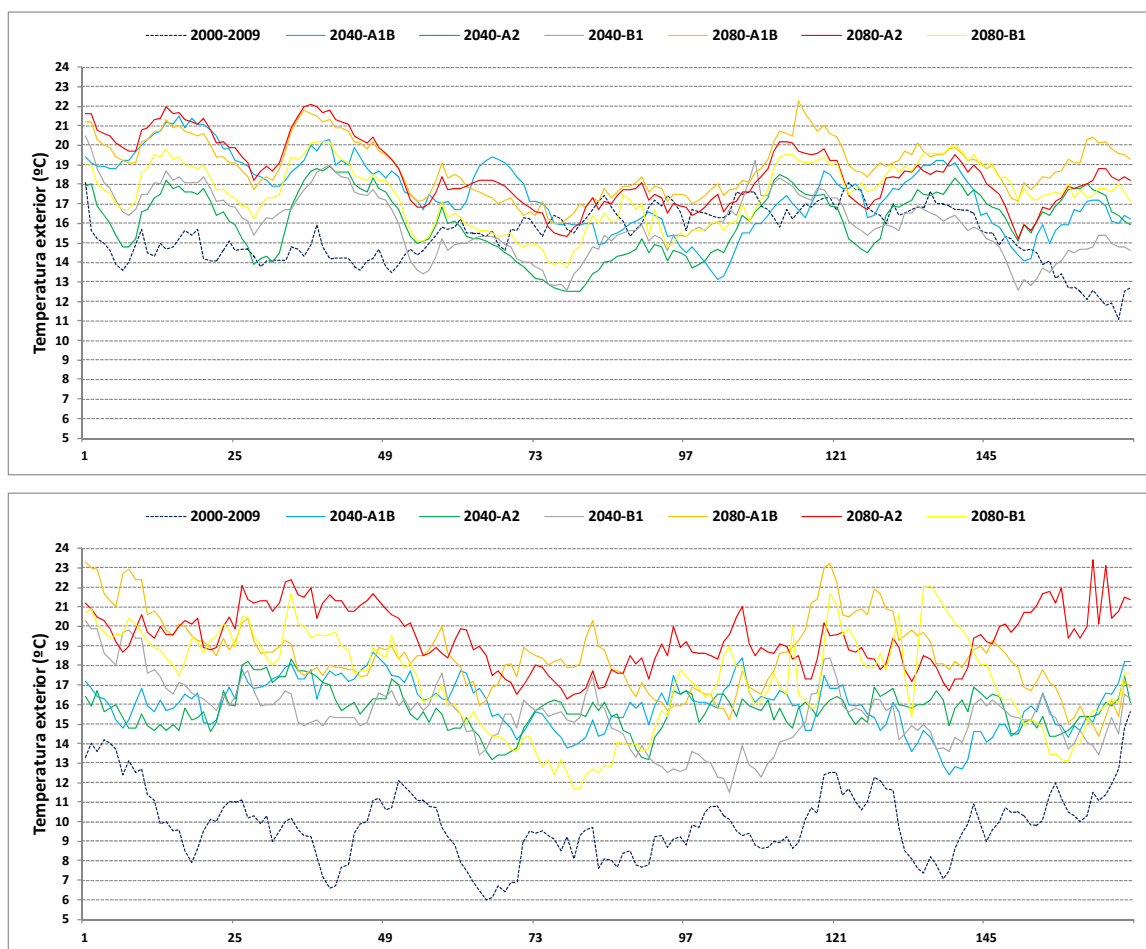


Figura 7.2. Evolución de la temperatura de rocío en Z1-Hondarribia y Z6-Tudela. Primera semana del mes de agosto. Comparativo clima estadístico 2000-2009, y los escenarios climáticos para los años 2040 y 2080 [Elaboración propia].

Por otro lado, el aumento de la humedad ambiental provocará un aumento del consumo en energía para refrigeración latente y aunque también en los límites de consumo permitidos por el PHI, al estar relacionado con la humedad ambiental por el cálculo de los grados de temperatura seca en base 13 (DDH).

7.4 ANÁLISIS DEL CONTROL DEL SOBRECALENTAMIENTO CON LA VENTILACIÓN NATURAL INTENSIVA Y SIN REFRIGERACIÓN ACTIVA

A la vista de lo anterior, se analiza la capacidad que tendrán las viviendas construidas bajo el estándar de soportar el aumento de la temperatura exterior únicamente mediante la utilización de la ventilación natural nocturna intensiva como paso previo a la instalación de sistemas de refrigeración activa. Se analiza la tipología menos sometida a los periodos de sobrecalentamiento [N_S_] con el fin de evaluar la posibilidad de soportar las olas de calor con tipologías más adecuadas. Este análisis nos permitirá evaluar la capacidad de adaptación de edificios construidos en el estándar sin refrigeración al clima futuro.

En la Figura 7.3 se muestran las horas por encima de 25°C en el periodo analizado (1-05/30-09). Se puede observar el aumento progresivo de las horas de sobrecalentamiento en función de los escenarios analizados y del año estudiado. En el

año 2040 es más riguroso el escenario A1B, siguiéndole el A2 y por último el B1. En la ciudad de Hondarribia, el escenario 2040 B1 presenta valores más bajos que los estadísticos 2000-2009, pero en general se mantiene proporcionalmente un aumento de las horas >25°C en relación al aumento de la temperatura exterior.

Vemos también que para la ciudad de Tudela, a partir de 2040 el sistema de ventilación nocturna intensiva ya no es válido, sin embargo, en las ciudades costeras (Hondarribia y Burdeos) el sistema todavía parece ser válido. Las zonas representadas por Pamplona-Iruña y Peralta-Azkoien superan las horas de sobrecalentamiento en el año 2080 para los escenarios A1B y A2, estando al límite en el escenario B1, el menos riguroso.

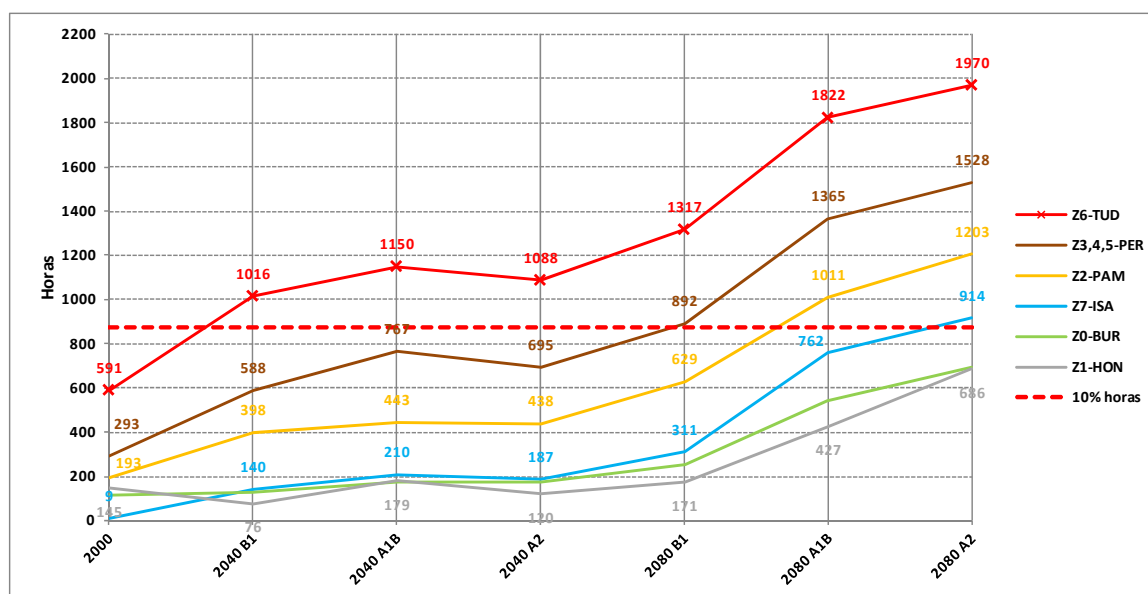


Figura 7.3. Análisis de los escenarios de cambio climático. Horas >25°C. VNN Intensiva en la vivienda tipo [N_S_] para las ciudades de referencia y los climas 2000-2009, 2040 (A1B, A2 Y B1) y 2080 A1B, A2 Y B1 [Elaboración propia].

En la gráfica de la Figura 7.4, ordenando las horas >25°C según los escenarios climáticos, podemos apreciar mejor el descenso de temperaturas que se observa en la ciudad de Hondarribia en los climas 2040 A2 y 2040 B1 respecto al clima estadístico, cuestión que no sucede en el resto de localidades.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

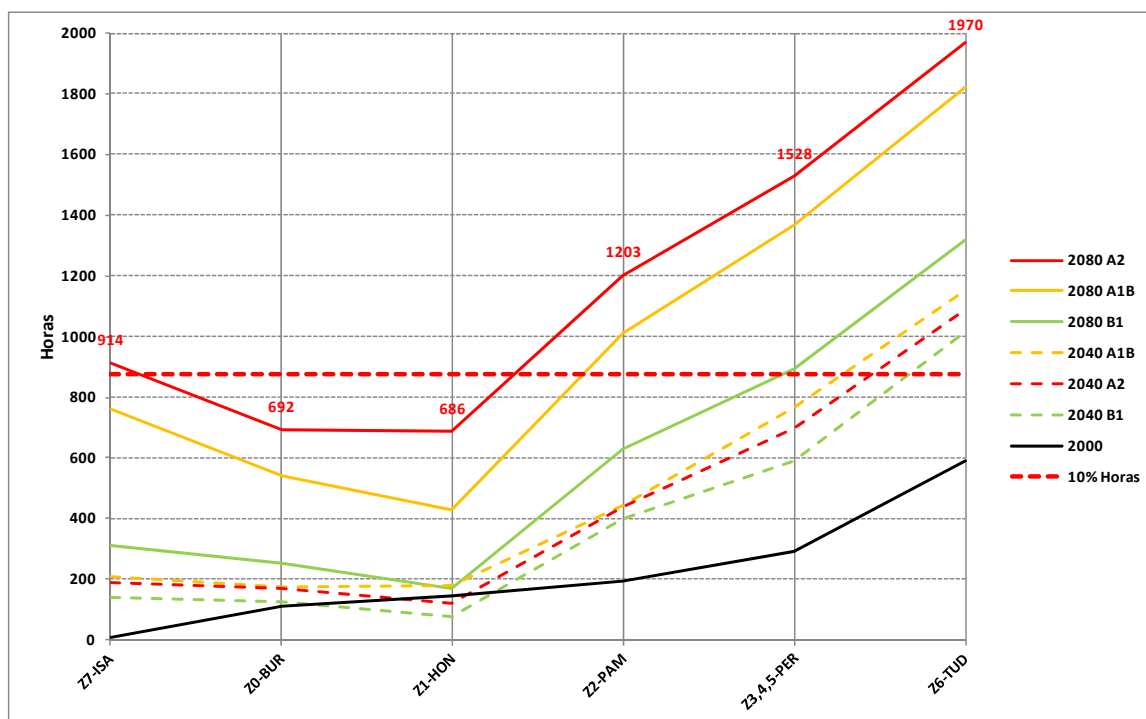


Figura 7.4. Análisis de los escenarios de cambio climático. Horas>25°C. VNN Intensiva en la vivienda tipo [N_S_] para las ciudades de referencia y los climas 2000-2009, 2040 (A1B, A2 Y B1) y 2080 A1B, A2 Y B1 [Elaboración propia].

Similares conclusiones se obtienen de la gráfica de la Figura 7.5 con las horas >28°C, observando especialmente como en la zona climática representada por Tudela se disparan las horas por encima de 28°C.

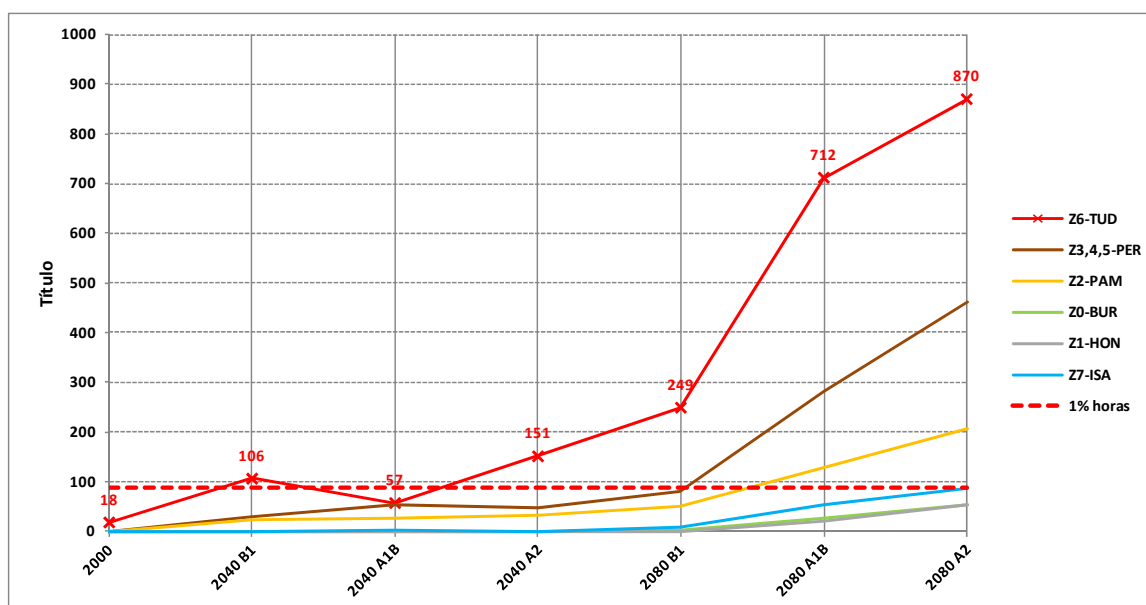


Figura 7.5. Análisis de los escenarios de cambio climático. Horas>28°C. VNN INTENSIVA en la vivienda tipo [N_S_] para las ciudades de referencia y los climas 2000-2009, 2040 (A1B, A2 Y B1) y 2080 A1B, A2 Y B1 [Elaboración propia].

Un análisis pormenorizado de todas las tipologías en el clima 2080 A1B, nos constata que el sistema de ventilación nocturna intensiva analizado sólo es factible en las zonas representadas por las ciudades de Hondarribia y Burdeos, y que incluso la ciudad de Isaba, representativa del clima de media montaña, tiene dificultades para estar dentro de los valores solicitados por el estándar del PHI. En la Figura 7.6 se observan las horas >25°C, en tanto que en la Figura 7.8 las horas >28°C.

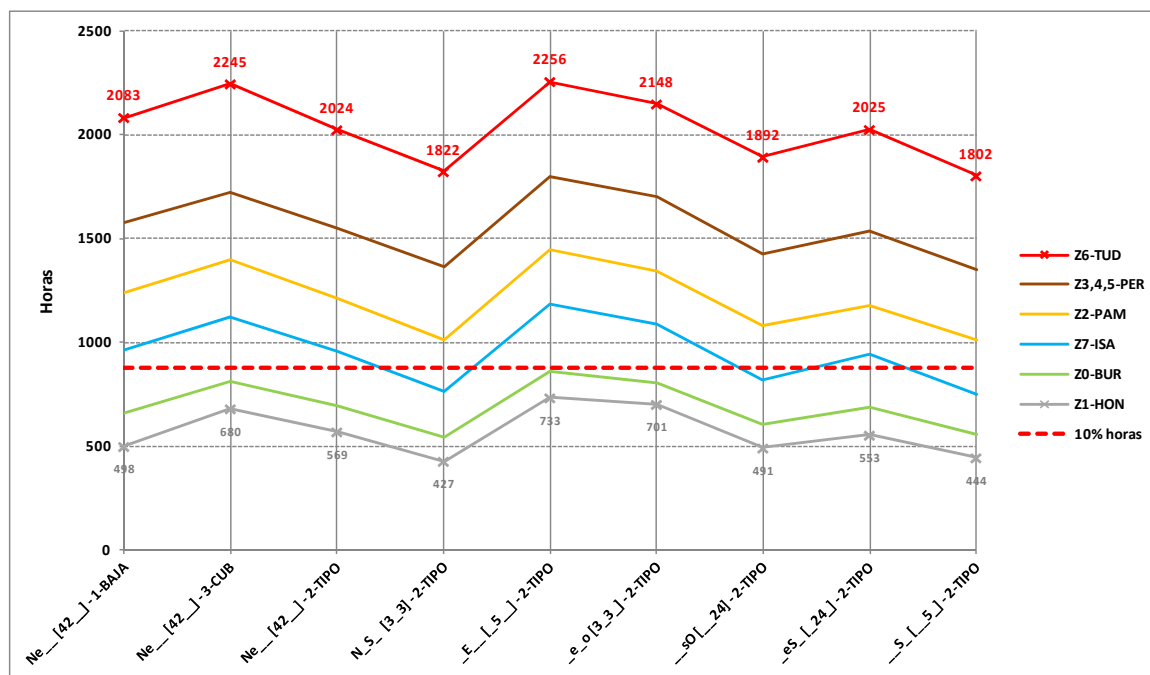


Figura 7.6. Análisis de los escenarios de cambio climático. Horas >25°C. VNN INTENSIVA en las tipologías analizadas, para las ciudades de referencia en el clima 2080 A1B.

En ambos casos se aprecia cómo la tipología [N_S_] es la que mejor comportamiento tiene frente al sobrecalentamiento.

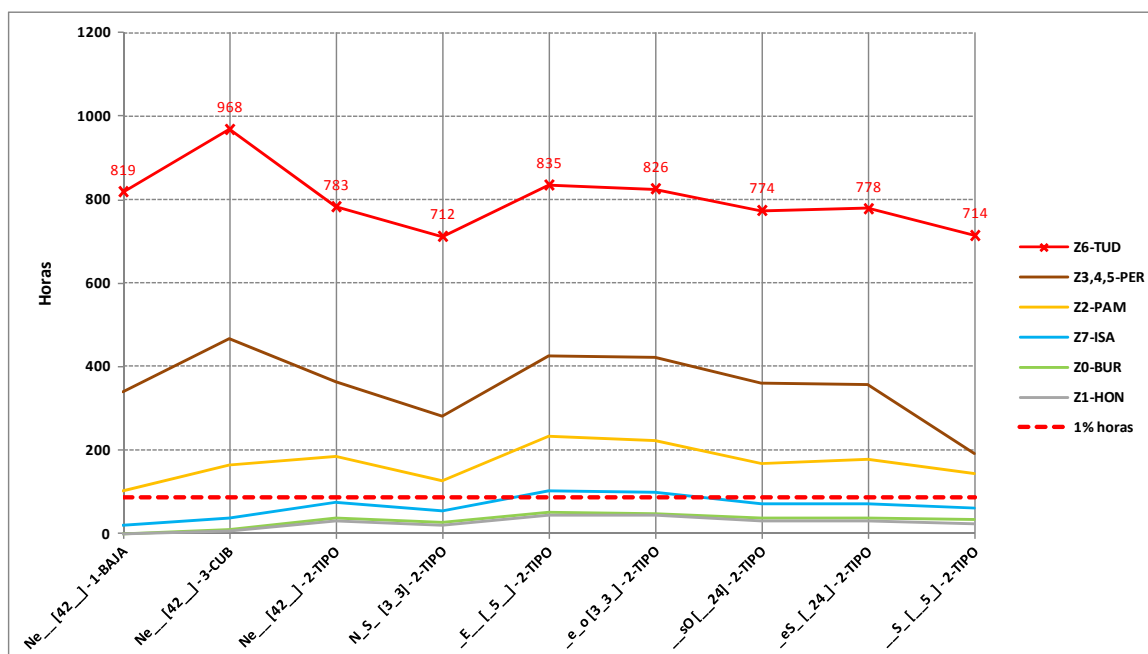


Figura 7.7. Análisis de los escenarios de cambio climático. Horas > 28°C. VNN INTENSIVA en las tipologías analizadas, para las ciudades de referencia en el clima 2080 A1B [Elaboración propia].

7.4.1 CAMBIO CLIMÁTICO Y APORTES INTERNOS

Un análisis con la tipología [N_S_] reduciendo los aportes internos al supuesto de 2,60 W/m², permite reducir las horas de sobrecalentamiento a la Zona climática representada por Pamplona-Iruña (Zona 2) en el escenario 2080 B1, pero no en los escenarios A1B, A2, y tampoco a las ciudades de Peralta-Azkoien ni Tudela en todos los escenarios del año 2080 (Fig. 7.8).

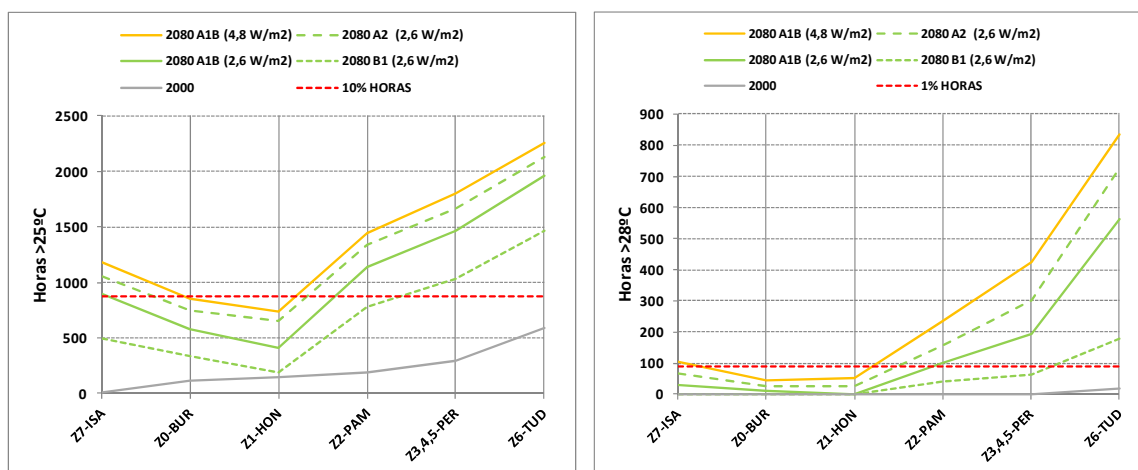


Figura 7.8. Análisis de los escenarios de cambio climático. Horas > 25°C (izqda.) y horas > 28°C (drcha.). VNN Intensiva en la vivienda tipo [N_S_] para las ciudades de referencia y los climas 2000-2009, 2040 (A1B, A2 Y B1) y 2080 A1B, A2 Y B1) [Elaboración propia].

Si bien considerar unos aportes internos menores permite reducir considerablemente las horas por encima de 25°C, el aumento de temperaturas exteriores propuesto por los diferentes escenarios climáticos hace del sistema de ventilación natural intensiva inviable en toda la zona media y sur de este estudio.

7.4.2 ANÁLISIS DEL CONFORT POR CIUDADES

Se analiza la vivienda tipo [N_S_] en las diferentes ciudades de referencia según el modelo adaptativo EN 15.251 [UNE- EN 15.251:2008] y el desglose de temperaturas operativas interiores para el periodo (1-05/30-09) en un el escenario de cambio climático intermedio A1B en el año 2080. Asimismo, se incorpora el análisis según la playa de confort EN-ISO 7730, ya que nos permite observar el efecto de la humedad relativa en el confort interior, dato que como veremos, será de vital importancia en el escenario climático futuro analizado.

7.4.2.1 ZONA CLIMÁTICA Z1. CIUDAD DE REFERENCIA HONDARRIBIA

Las temperaturas operativas caen dentro de la zona de confort del modelo adaptativo como se observa en la Figura 7.9, incluso con valores por debajo del límite inferior adaptativo.

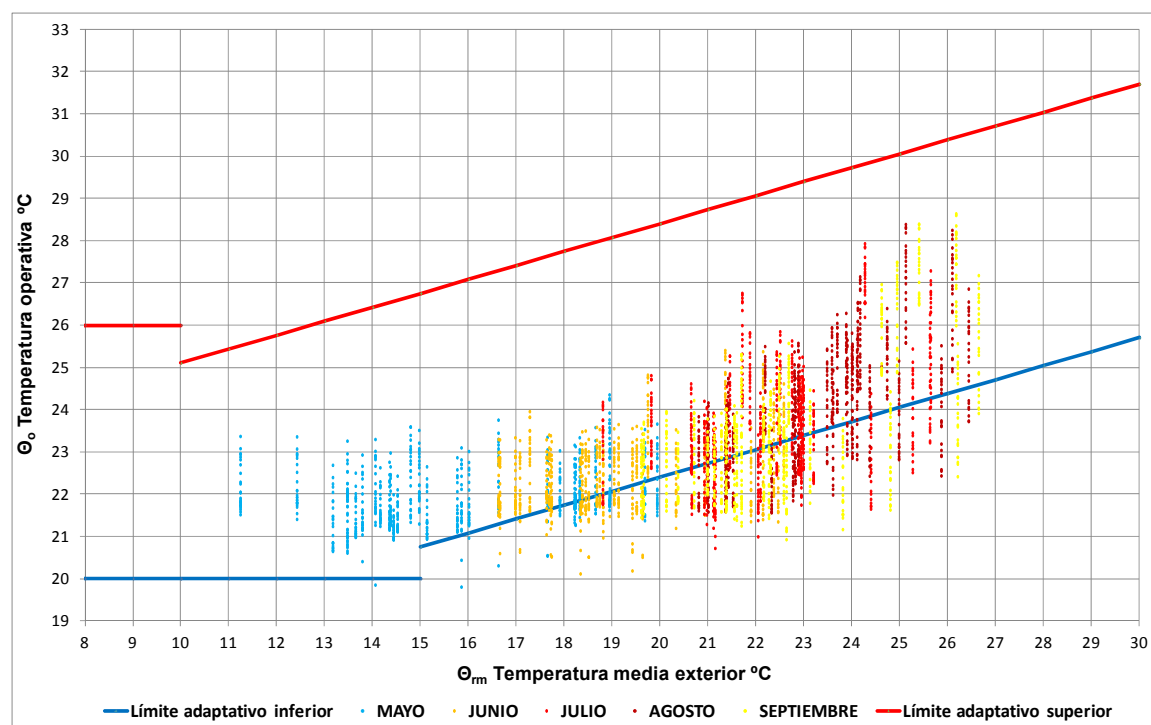


Figura 7.9. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. VNN INTENSA. Zona 1 Hondarribia planta tipo [N_S_]. Confort adaptativo EN 15.251 (Categoría II) – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

El desglose de temperaturas operativas (Fig. 7.10) nos muestra unos valores aceptables a lo largo del verano, con algunos picos sobre los 28°C en el mes de agosto (28,4°C) y algo superiores en la primera semana de septiembre (28,6°C). El mes de julio alcanza un máximo de 27,9°C mientras que el mes de junio se queda en los 25,4°C. Las noches más cálidas las encontramos en agosto con un 13% de horas nocturnas (22:00-8:00h) >25°C.

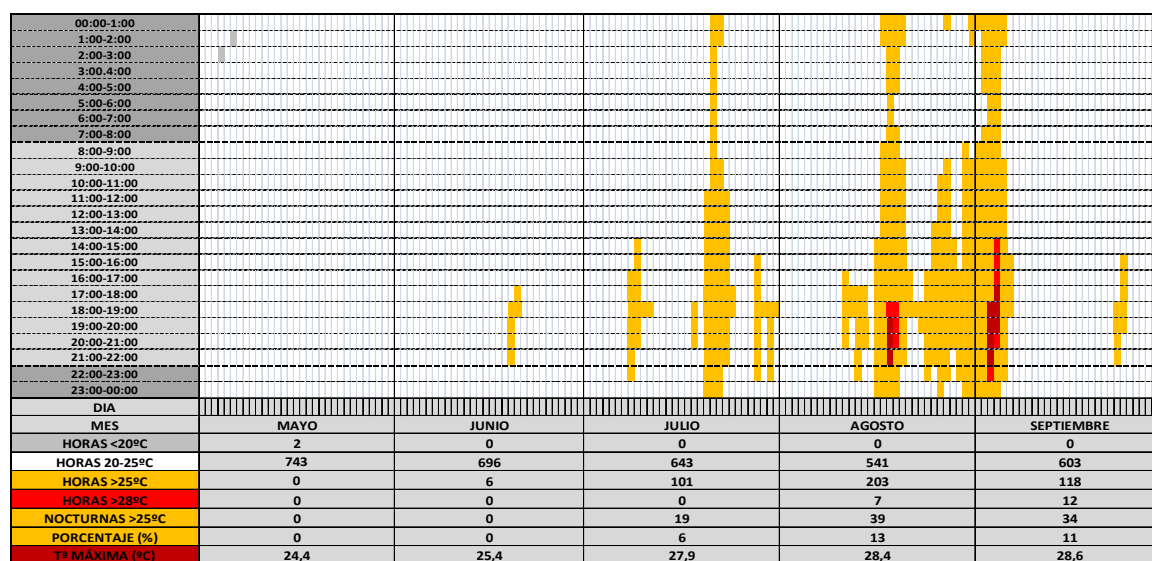
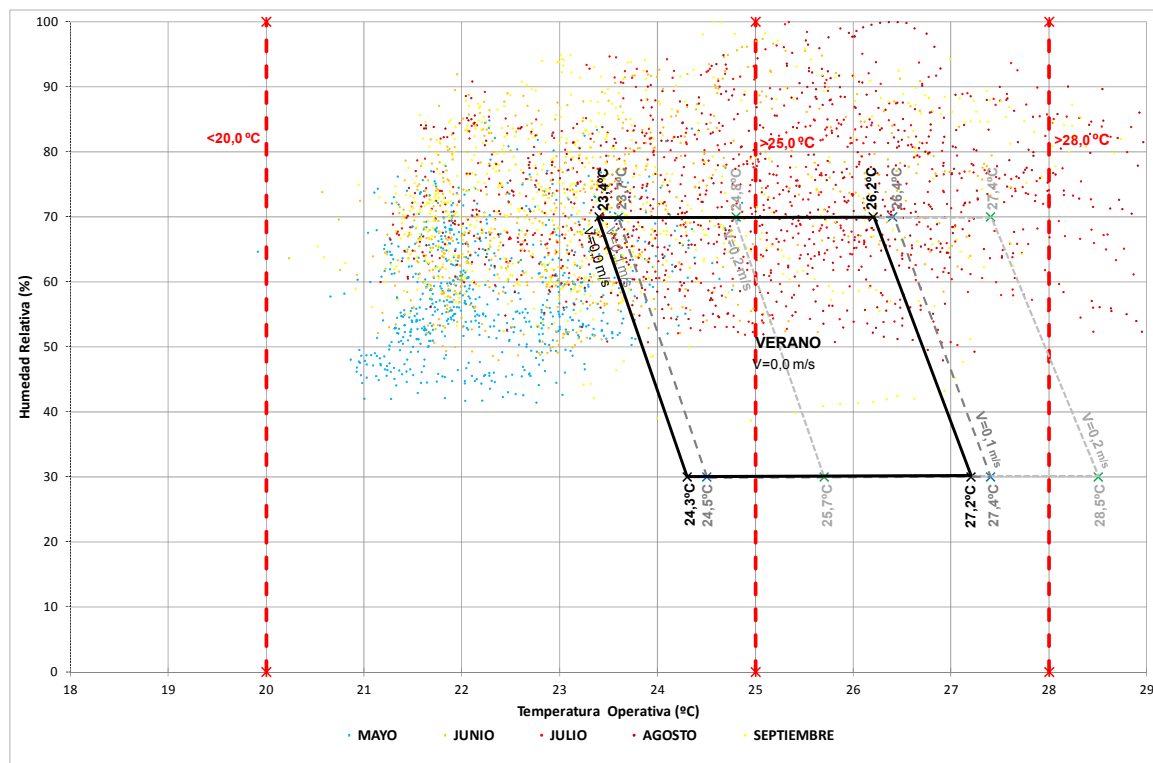


Figura 7.10. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. VNN INTENSA. Zona 1 Hondarribia planta tipo [N_S_]. Evolución de las temperaturas operativas – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

Sin embargo, el gráfico de confort propuesto por la EN-ISO 7730 nos permite observar que la ventilación natural provoca un aumento excesivo de la humedad relativa interior, efecto acusado descrito anteriormente en el análisis de los escenarios climáticos futuros. En este caso, clima 2080 A1B, aunque la temperatura interior se mantiene controlada gracias a los aportes de aire fresco que durante la noche se introducen del exterior mediante la apertura de las ventanas, también se provoca un aumento de la humedad relativa interior que provoca que los pares de temperatura-humedad relativa se salgan de las áreas de confort del modelo (Fig. 7.11). Se contabilizan 2884 horas HR>70%, un 77% del periodo de horas total (3671 horas). La humedad relativa máxima alcanzada es del 100%.



CLIMA 2080 A1B - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2						
VERANO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	
HORAS <20°C	2	2	0	0	0	0
HORAS >25°C	428	0	6	101	204	117
HORAS >28°C	19	0	0	0	7	12
TªMAXIMA	28,6	24,4	25,4	27,9	28,4	28,6
HORAS HR>70%	2824	225	604	696	737	562
% HORAS>70%	77	30	84	94	99	78
HR MÁXIMA	100,0	91,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Figura 7.11. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. VNN INTENSA. Zona 1 Hondarribia planta tipo [N_S]. Confort ISO 7730 – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

7.4.2.2 ZONA CLIMÁTICA Z2. CIUDAD DE REFERENCIA PAMPLONA-IRUÑA

Aunque con un aumento importante de las temperaturas exteriores, las temperaturas operativas caen dentro de la zona de confort del modelo adaptativo como se observa en la Figura 7.12. Ciertas horas del mes de agosto están cercanas al límite superior adaptativo.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

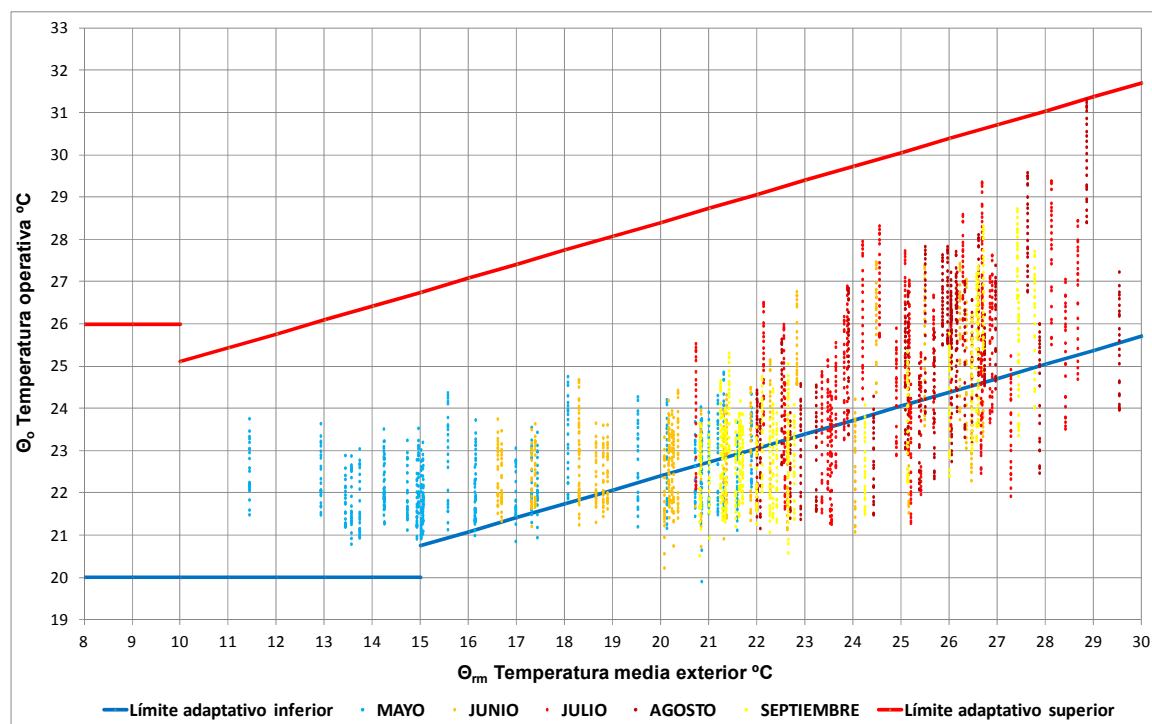


Figura 7.12. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. VNN INTENSA. Zona 2 Pamplona-Iruña, planta tipo [N_S_]. Confort adaptativo EN 15.251 (Categoría II) – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

El desglose de temperaturas operativas (Fig. 7.13) nos muestra unas temperaturas considerablemente superiores a los 25°C a lo largo del verano, con temperaturas muy altas en agosto (31,4°C), julio (29,4°C) septiembre (28,7°C) y algo inferiores en junio (27,5°C). En el mes de agosto encontramos un 38% de las horas nocturnas (22:00-8:00h) por encima de 25°C, con 2-3 días en la que la vivienda no baja de los 28°C (77 horas).

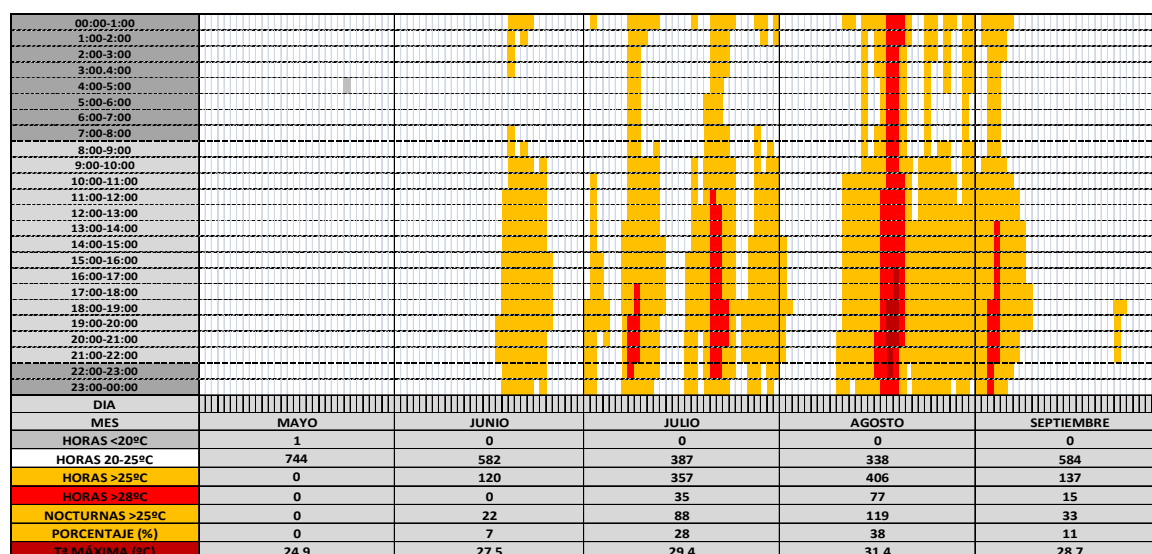
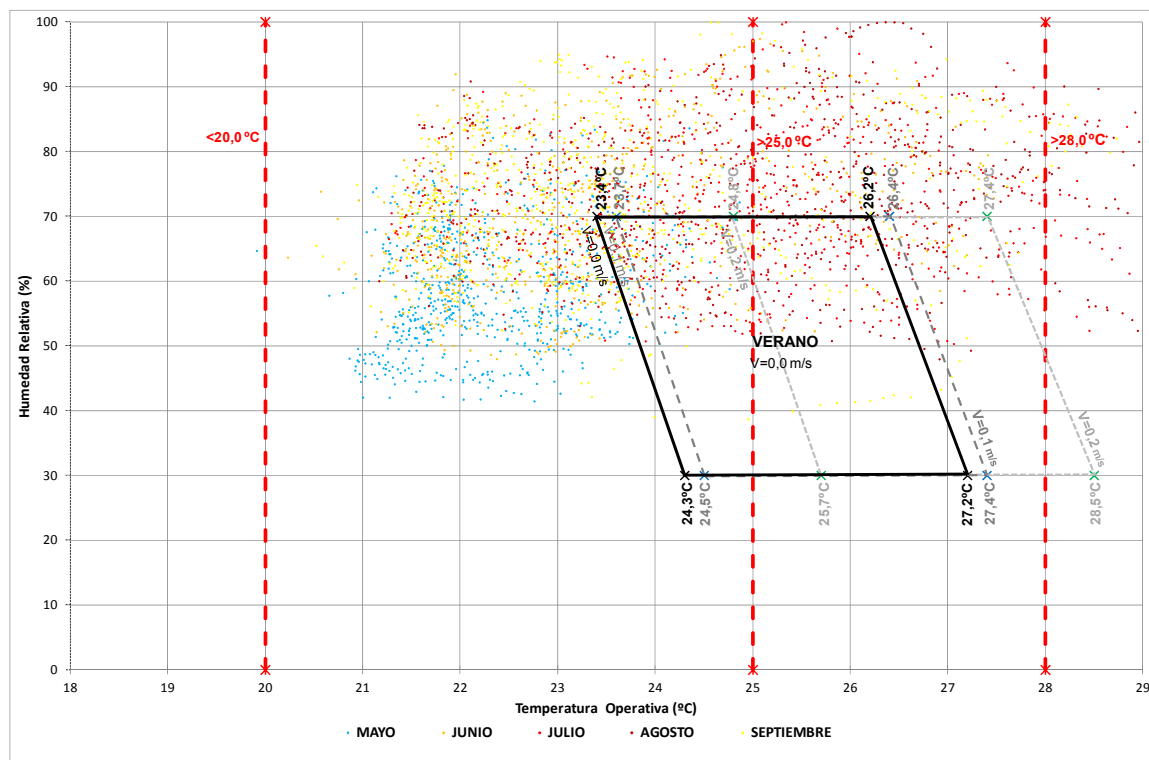


Figura 7.13. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. VNN INTENSA. Zona 2 Pamplona-Iruña, planta tipo [N_S_]. Evolución de las temperaturas operativas – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

El gráfico de confort propuesto por la EN-ISO 7730 nos señala al igual que en la ciudad costera (Hondarribia) que la ventilación natural provoca un aumento excesivo de la humedad relativa interior, que provoca que los pares de temperatura-humedad relativa se salgan de las áreas de confort del modelo, pero con unos valores medios considerablemente menores (Fig. 7.14). Se contabilizan 1702 horas HR>70%, un 46% del periodo de horas total (3671 horas). La humedad relativa máxima alcanzada es del 100%.



CLIMA 2080 A1B - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2						
	VERANO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
HORAS <20°C	1	1	0	0	0	0
HORAS >25°C	1020	0	120	357	406	137
HORAS >28°C	127	0	0	35	77	15
Tª MAXIMA	31,4	24,9	27,5	29,4	31,4	28,7
HORAS HR>70%	1702	94	353	418	437	400
% HORAS>70%	46	13	49	56	59	56
HR MÁXIMA	100,0	84,9	97,4	100,0	100,0	100,0

Figura 7.14. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. VNN INTENSA. Zona 2 Pamplona-Iruña planta tipo [N_S]. Confort ISO 7730 – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

7.4.2.3 ZONA CLIMÁTICA Z3, Z4, Z5. CIUDAD DE REFERENCIA PERALTA-AZKOIEN

En la ciudad de Peralta-Azkoien (Fig. 7.15) ciertas horas del mes de agosto están por encima del límite superior adaptativo, correspondiéndose con temperaturas operativas interiores de 32°C.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

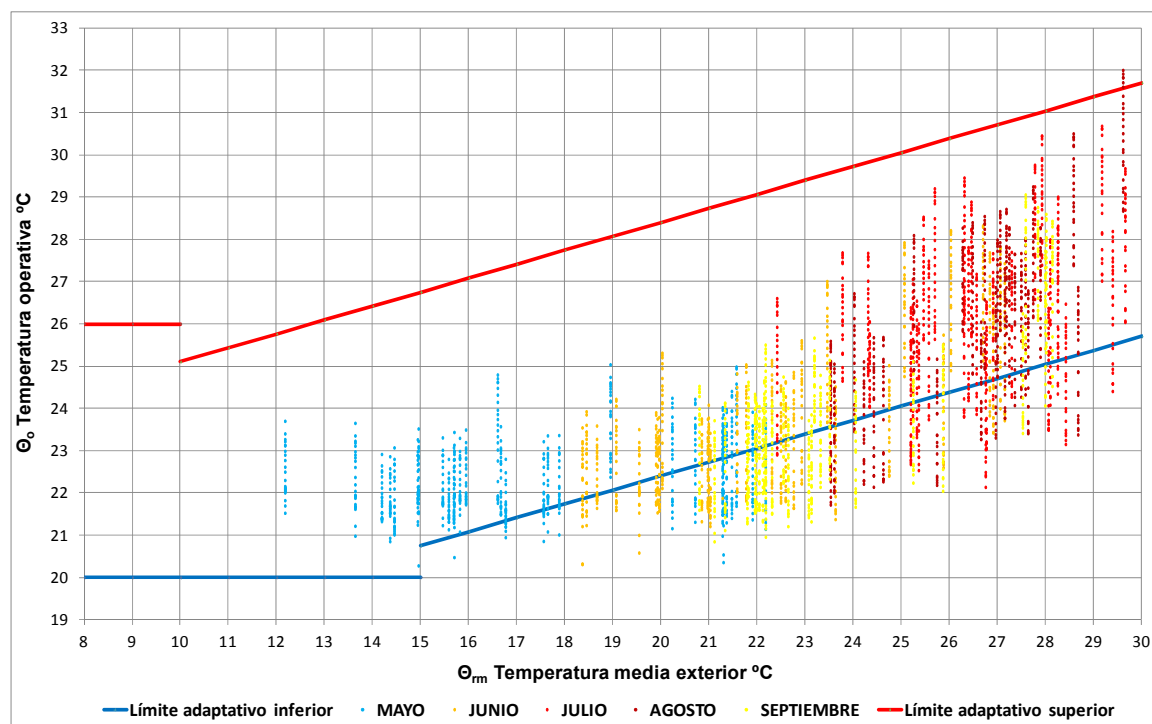


Figura 7.15. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. VNN INTENSA. Zona 3,4,5 Peralta-Azkoien, planta tipo [N_S]. Confort adaptativo EN 15.251 (Categoría II) – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

El desglose de temperaturas operativas (Fig. 7.16) nos muestra unas temperaturas considerablemente superiores a los 25°C a los largo del verano, con temperaturas muy altas en agosto (32,4°C), julio (30,7 °C) septiembre (29,1°C) y algo inferiores en junio (28,3 °C). En el mes de agosto encontramos un 57% de las horas nocturnas (22:00-8:00h) por encima de 25°C, con 4 días en la que la vivienda no baja de los 28°C (132 horas).

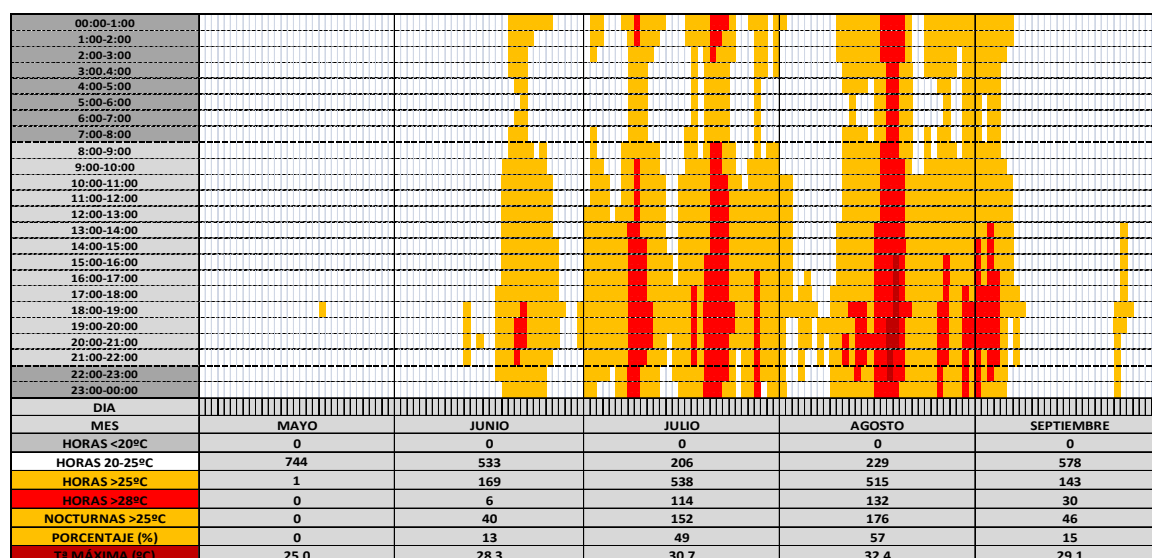
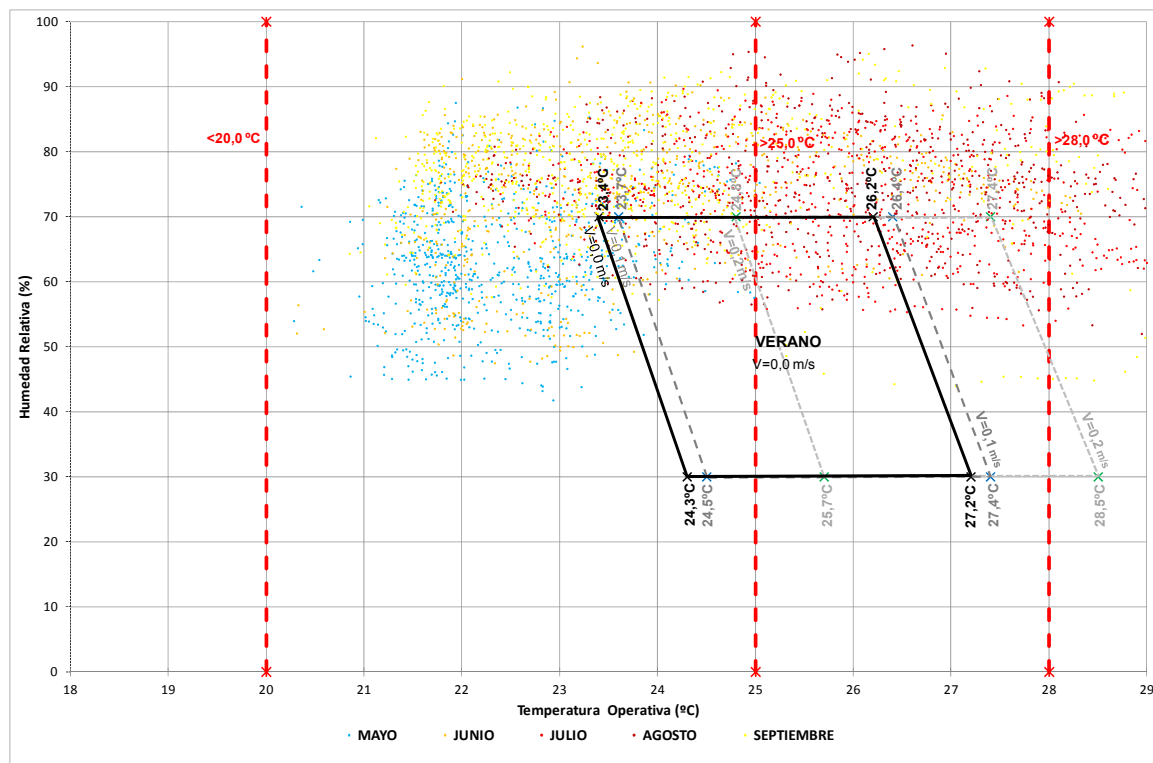


Figura 7.16. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. VNN INTENSA. Zona 3,4,5 Peralta-Azkoien, planta tipo [N_S]. Evolución de las temperaturas operativas – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

El gráfico de confort propuesto por la EN-ISO 7730 (Fig. 7.17) nos muestra valores algo más bajos de humedad relativa (2191 horas HR>70%) que suponen un 60% de horas del periodo (3671 horas), siendo pues también significativos. La humedad relativa máxima alcanzada es del 96,4%.



CLIMA 2080 A1B - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2							
	VERANO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	
HORAS <20°C	0	0	0	0	0	0	0
HORAS >25°C	1366	1	169	539	515	142	
HORAS >28°C	282	0	6	114	132	30	
Tª MAXIMA	32,4	25,0	28,3	30,7	32,4	29,1	
HORAS HR>70%	2191	170	487	453	502	579	
% HORAS>70%	60	23	68	61	68	81	
HR MÁXIMA	96,4	87,6	96,2	89,7	96,4	95,1	

Figura 7.17. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. VNN INTENSA. Zona 3,4,5 Peralta-Azkoien, planta tipo [N_S]. Confort ISO 7730 – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

7.4.2.4 ZONA CLIMÁTICA Z6, CIUDAD DE REFERENCIA TUDELA

Según el modelo adaptativo, las temperaturas interiores operativas se encontrarían dentro de la playa de confort salvo algunas horas puntuales en el mes de agosto (Fig. 7.18).

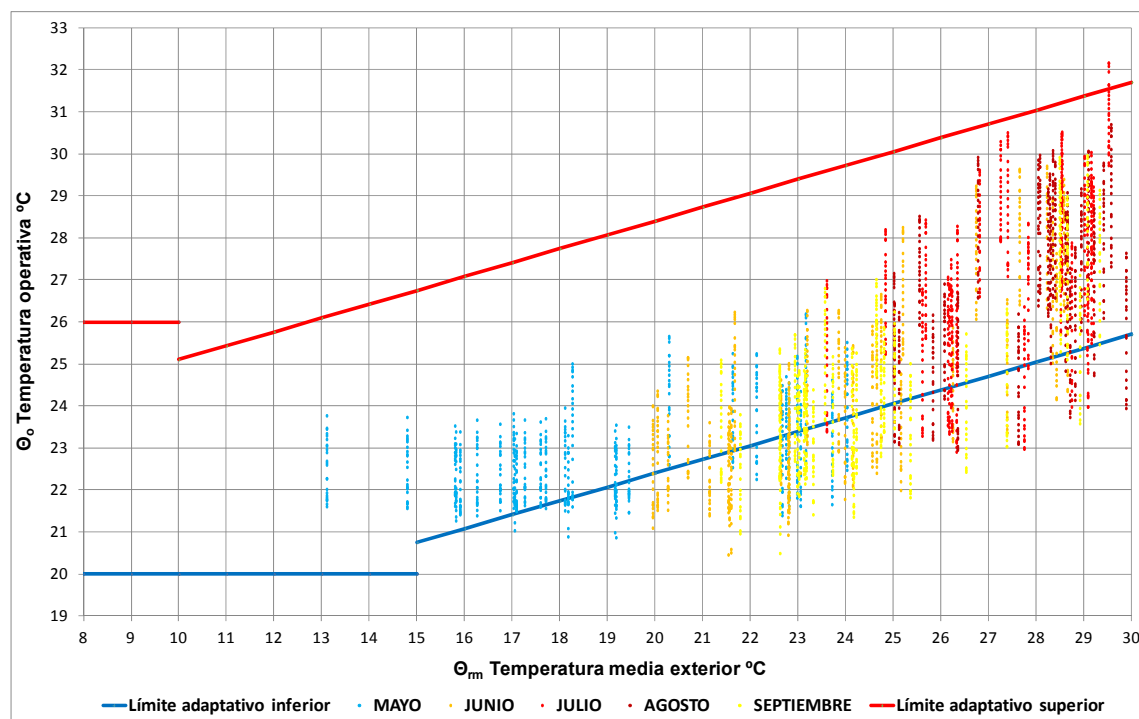


Figura 7.18. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. VNN INTENSA. Zona 6, Tudela, planta tipo [N_S]. Confort adaptativo EN 15.251 (Categoría II) – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

Sin embargo, del desglose de temperaturas diarias (Fig. 7.19), observamos que los meses de julio y agosto las temperaturas operativas no descienden de 25°C, superando los 28°C en largos periodos, incluidos los nocturnos. Se alcanzan temperaturas interiores máximas de 33,5°C en el mes de agosto, y algo menores en julio (32,2°C), septiembre (30,0°C) y junio (29,7°C). Estas temperaturas hacen incompatible el confort sin sistemas de refrigeración activa. Los periodos nocturnos (22:00-8:00 h) con temperaturas superiores a >25°C alcanzan el 74% en el mes de agosto (229 horas).

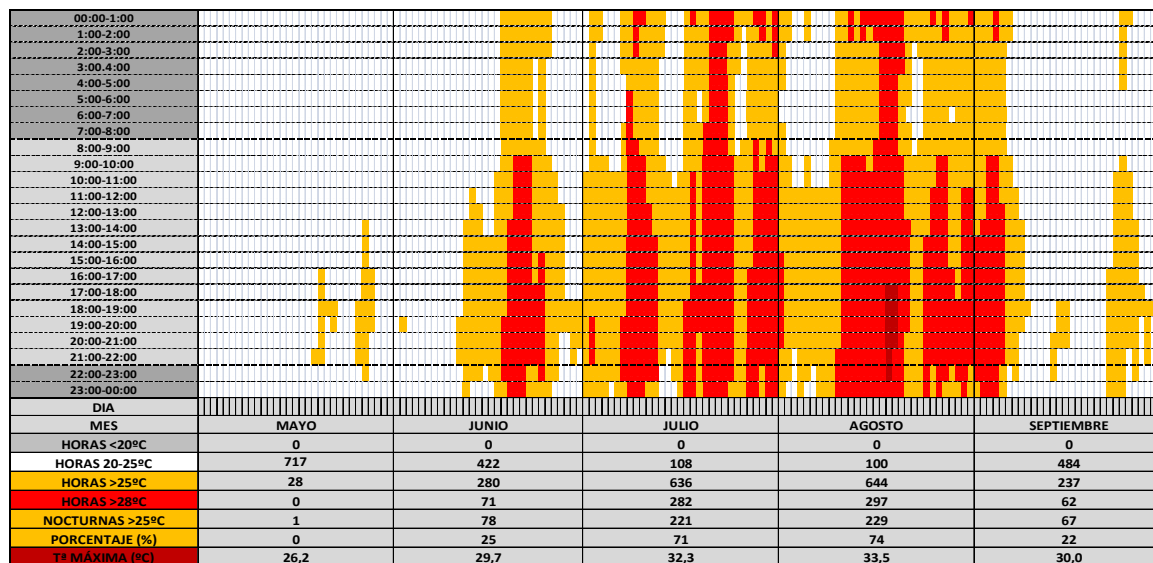
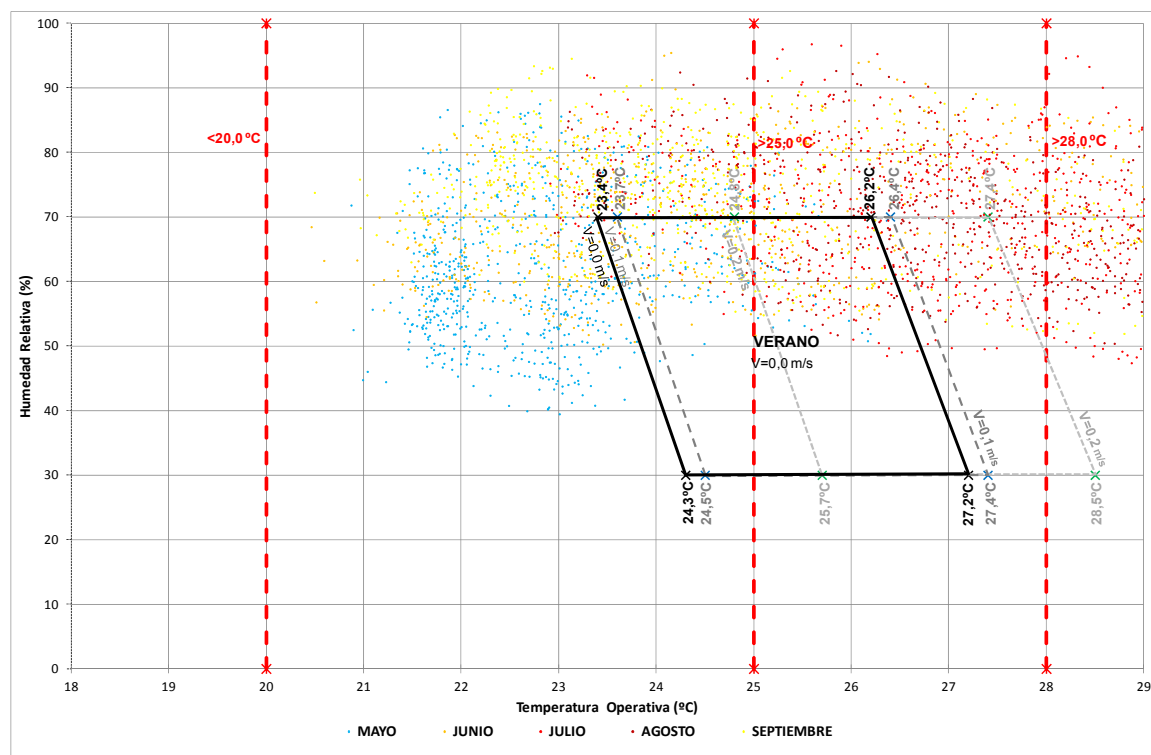


Figura 7.19. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. VNN INTENSA. Zona 6, Tudela, planta tipo [N_S_]. Evolución de las temperaturas operativas – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

El gráfico de confort propuesto por la EN-ISO 7730 (Fig. 7.20) nos muestra valores algo más bajos de humedad relativa (1758 horas>70%) que suponen un 48% de horas del periodo (3671 horas), siendo pues menos significativos. La humedad relativa máxima alcanzada es del 96,8%. En todo caso, las temperaturas se extienden hasta los 33,5°C, más allá de lo admisible en el interior de una vivienda.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal



CLIMA 2080 A1B - TIPO [E_] - AI-4,8 W/m2							
	VERANO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	
HORAS <20°C	0	0	0	0	0	0	
HORAS >25°C		1825	28	280	637	644	236
HORAS >28°C		712	0	71	283	296	62
Tª MAXIMA		33,5	26,2	29,7	32,3	33,5	30,0
HORAS HR>70%		1758	187	364	370	351	486
% HORAS>70%		48	25	51	50	47	68
HR MÁXIMA		96,8	87,5	95,5	96,8	92,7	94,6

Figura 7.20. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. VNN INTENSA. Zona 6 Tudela, planta tipo [N_S]. Confort ISO 7730 – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

7.4.2.5 ZONA CLIMÁTICA Z7, CIUDAD DE REFERENCIA ISABA

Según el modelo adaptativo, las temperaturas interiores operativas se encontrarían dentro de la playa de confort en todo el verano (Fig. 7.21).

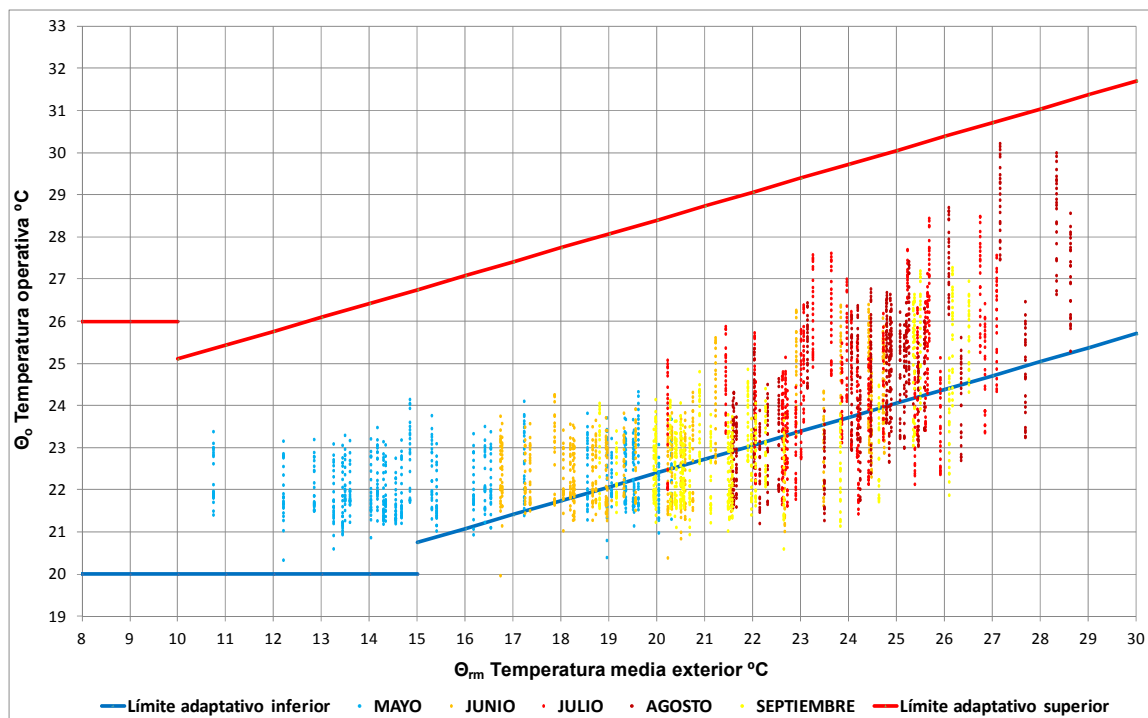


Figura 7.21. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. VNN INTENSA. Zona 7, Isaba, planta tipo [N_S_]. Confort adaptativo EN 15.251 (Categoría II) – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

En el desglose de temperaturas diarias (Fig. 7.22) observamos que los meses de julio y agosto las temperaturas operativas presentan valores relativamente altos, incluidos los nocturnos. Se alcanzan temperaturas interiores máximas de 30,2°C en el mes de agosto, y algo menores en julio (28,5°C), septiembre (27,3°C) y junio (26,4°C). Los periodos nocturnos (22:00-8:00 h) con temperaturas superiores a >25°C alcanzan el 23% en el mes de agosto (71 horas).

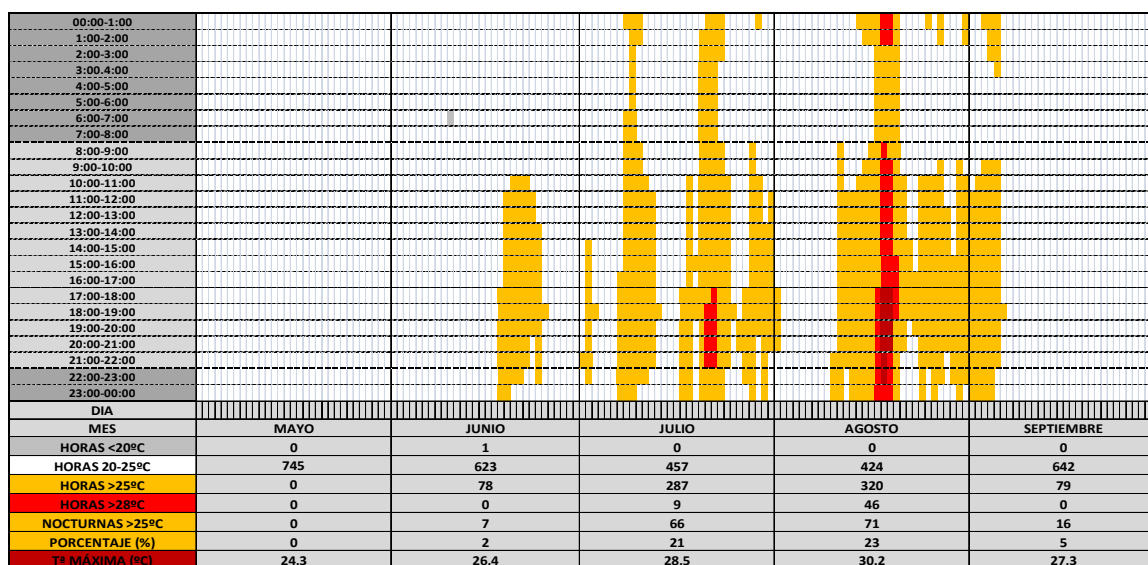
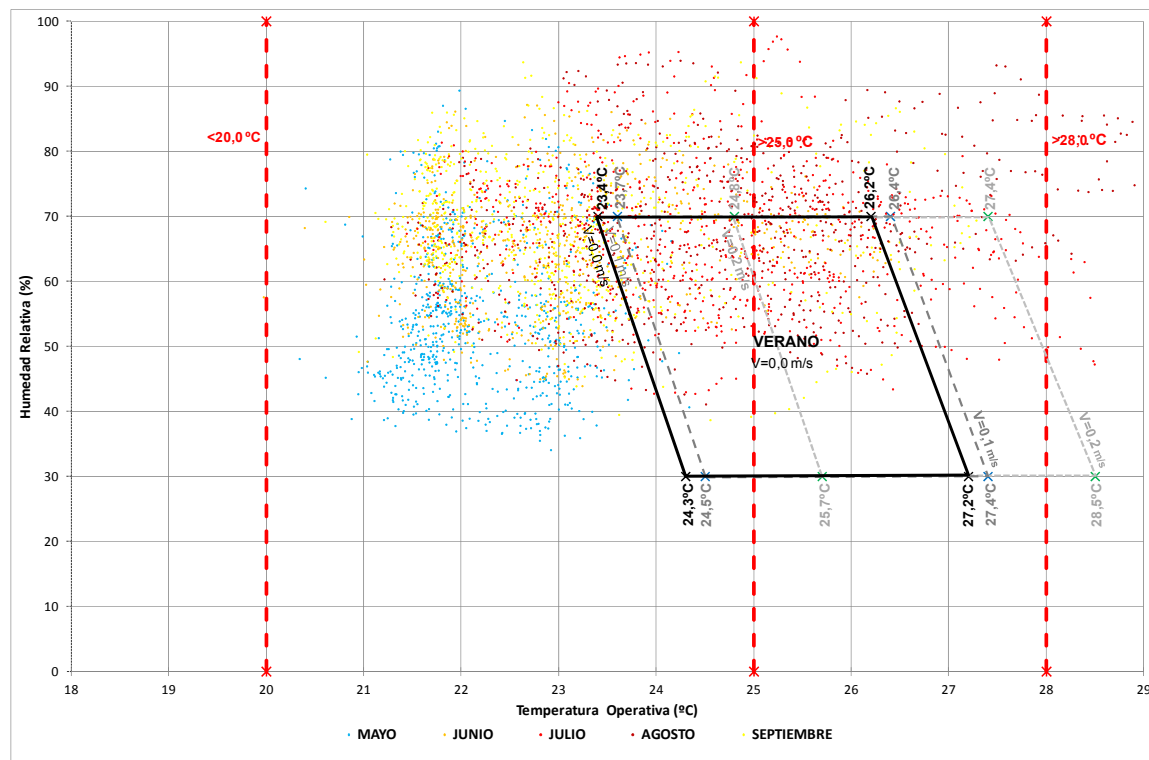


Figura 7.22. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. VNN INTENSA. Zona 7, Isaba, planta tipo [N_S_]. Evolución de las temperaturas operativas – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

El gráfico de confort propuesto por la EN-ISO 7730 (Fig. 7.23) nos muestra valores algo más bajos de humedad relativa (1181 horas >70%) que suponen un 32% de horas del periodo (3671 horas), siendo pues menos significativos. La humedad relativa máxima alcanzada es del 97,6%. Las temperaturas se extienden hasta los 30,2°C.



CLIMA 2080 A1B - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2						
	VERANO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
HORAS <20°C	1	0	0	1	0	0
HORAS >25°C	0	764	0	78	287	320
HORAS >28°C	0	55	0	0	9	46
Tª MAXIMA	30,2	24,3	24,3	26,4	28,5	30,2
HORAS HR>70%	1181	77	77	190	311	319
% HORAS>70%	32	10	10	26	42	43
HR MÁXIMA	97,7	89,4	89,4	87,2	97,7	94,0

Figura 7.23. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. VNN INTENSA. Zona 7, Isaba, planta tipo [N_S_]. Confort ISO 7730 – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

7.5 ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS CON REFRIGERACIÓN ACTIVA

A la vista de los resultados anteriores, se evalúa la vivienda tipo en todas las zonas climáticas con refrigeración activa en el año 2080 con el escenario A1B. Se toma el escenario A1B al ser el intermedio en el año 2080. Se trata de resolver si las viviendas podrían estar dentro del estándar actual Passivhaus. Previamente se recalca que los valores máximos se han adaptado al clima analizado, 2080 A1B mediante el cálculo propuesto por el PHI y descrito en [SCHNIEDERS *et ál.* 2011] e introducido en las condiciones para la certificación¹. Ese método de cálculo de los límites de energía para refrigeración aumenta el límite de la demanda de refrigeración latente en los lugares con una alta humedad en el aire, y por consiguiente la demanda de refrigeración total.

¹ Ver capítulo 2 o [FEIST 2012].

En un primer momento se analizan las demandas para sistemas en los que no se produzca una ventilación natural nocturna manual (a través de las ventanas). Del gráfico de la Figura 7.24 se puede concluir que salvo en las zonas representadas por Hondarribia y Burdeos, ninguna de las tipologías respeta los valores máximos de energía para refrigeración total.

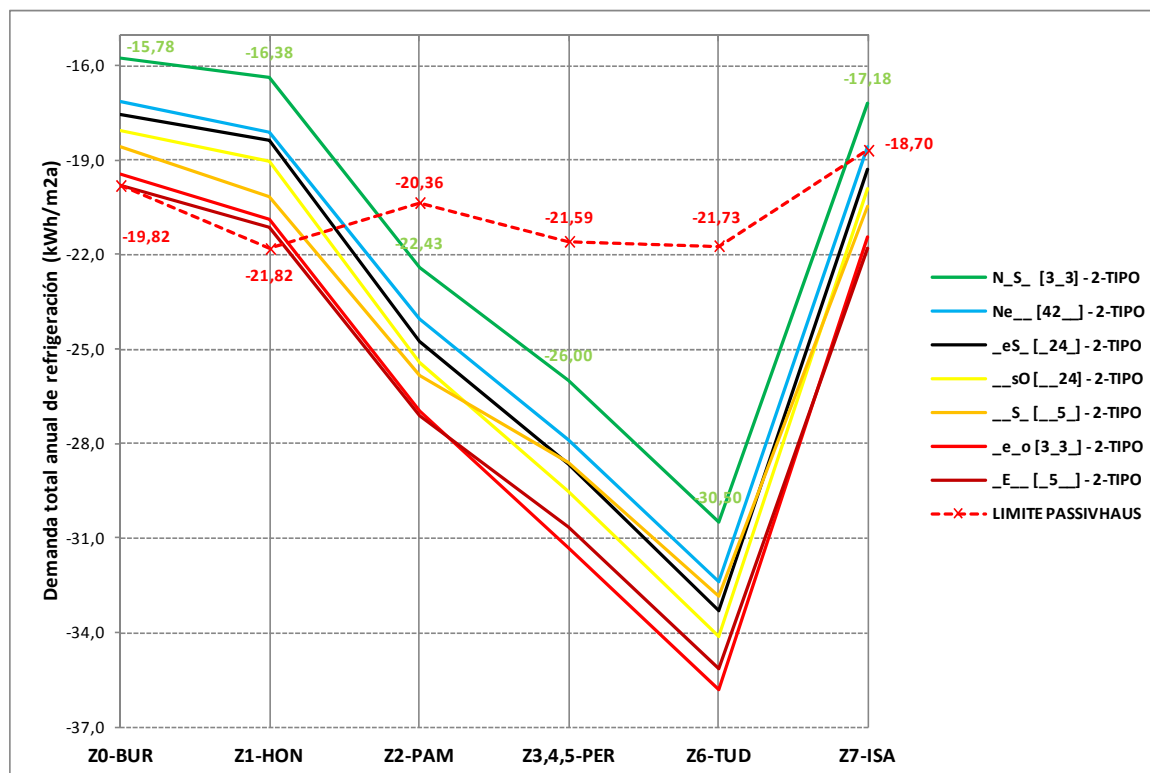


Figura 7.24. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. Sistema con refrigeración activa, sin ventilación natural y sin deshumidificación. Demanda de refrigeración total anual (kWh/m²a) para la vivienda tipo de todas las tipologías analizadas en las ciudades de referencia de cada zona climática. Clima 2080-A1B [Elaboración propia].

En el gráfico de la Figura 7.25 se observa los elevados valores de refrigeración latente respecto de los correspondientes al periodo con el clima de referencia 2000-2009 que podemos encontrar en el gráfico de la Figura 5.36 (Capítulo 5). Esto se debe al notable aumento de la humedad ambiental para todas las zonas, que en el clima actual solamente encontramos en las ciudades costeras de la Zona 1. Como vemos, no es posible llegar a los valores (actuales) tan exigentes de consumo de refrigeración anual.

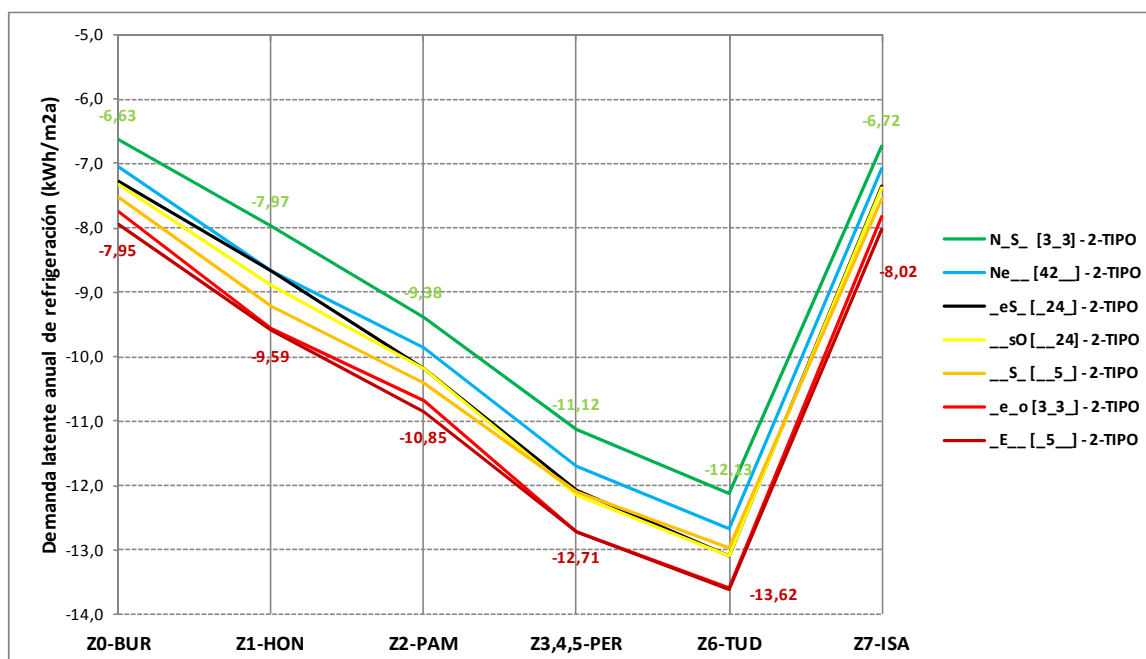


Figura 7.25. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. Sistema con refrigeración activa, sin ventilación natural y sin deshumidificación. Demanda de refrigeración latente anual (kWh/m²a) para la vivienda tipo de todas las tipologías analizadas en las ciudades de referencia de cada zona climática. Clima 2080-A1B [Elaboración propia].

Un análisis más detallado de la combinación de la refrigeración activa con la ventilación natural nocturna podemos observarla en el gráfico de la Figura 7.26. Por un lado se analizan las posibilidades de la combinación de la refrigeración activa con ventilación nocturna baja (12 horas 10% de la superficie de las ventanas abiertas) y con la ventilación nocturna intensiva (100% antes y después de las horas de sueño, 10% en las horas de sueño). Únicamente la ventilación nocturna intensiva permite rebajar la demanda anual de refrigeración, pero como hemos visto en el caso estudiado anteriormente, esto provoca un aumento excesivo de la humedad relativa en todas las ciudades. Si esta se activa la deshumidificación al 70%, los beneficios de la ventilación nocturna se desvanecen por el aumento de la carga de refrigeración latente.

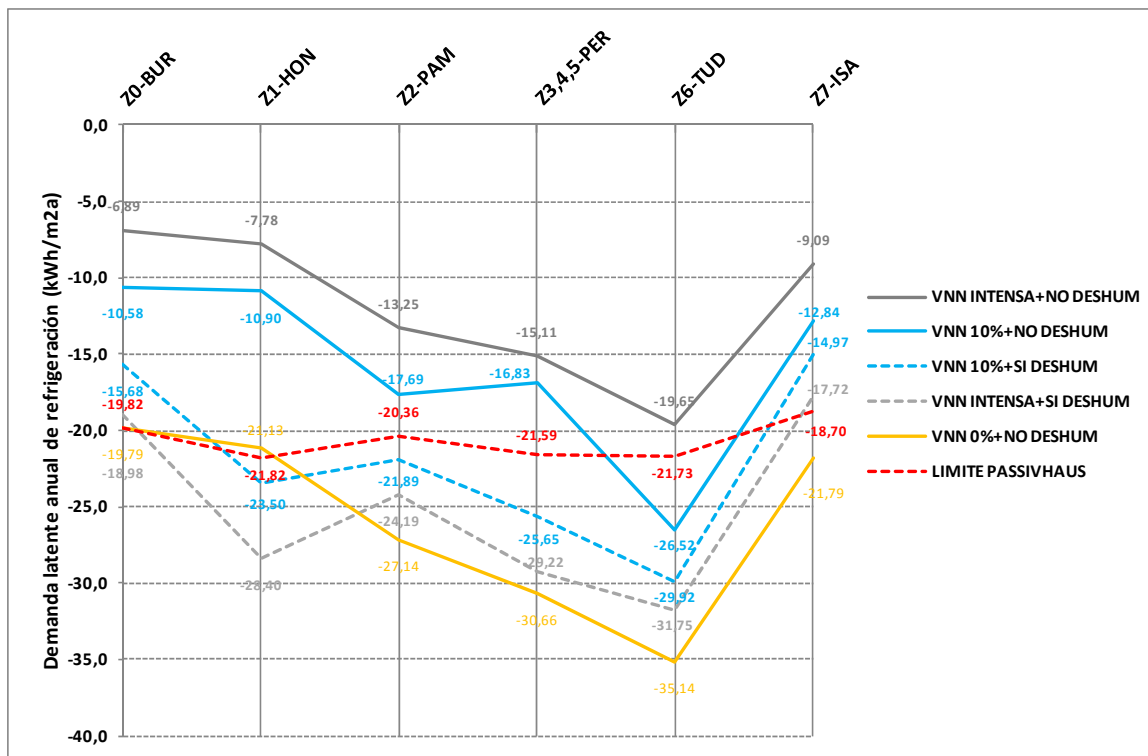


Figura 7.26. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. Sistema con refrigeración activa combinados con ventilación natural nocturna. Demanda de refrigeración total anual (kWh/m²a) para la vivienda tipo [N_S_]. en las ciudades de referencia de cada zona climática [Elaboración propia].

En el gráfico de la Figura 7.27, en el que se muestra la demanda anual de refrigeración latente, se observa como los valores máximos se corresponden con la ciudad de Hondarribia en la Zona 1. A mayor humedad, mayor demanda de energía para refrigeración latente.

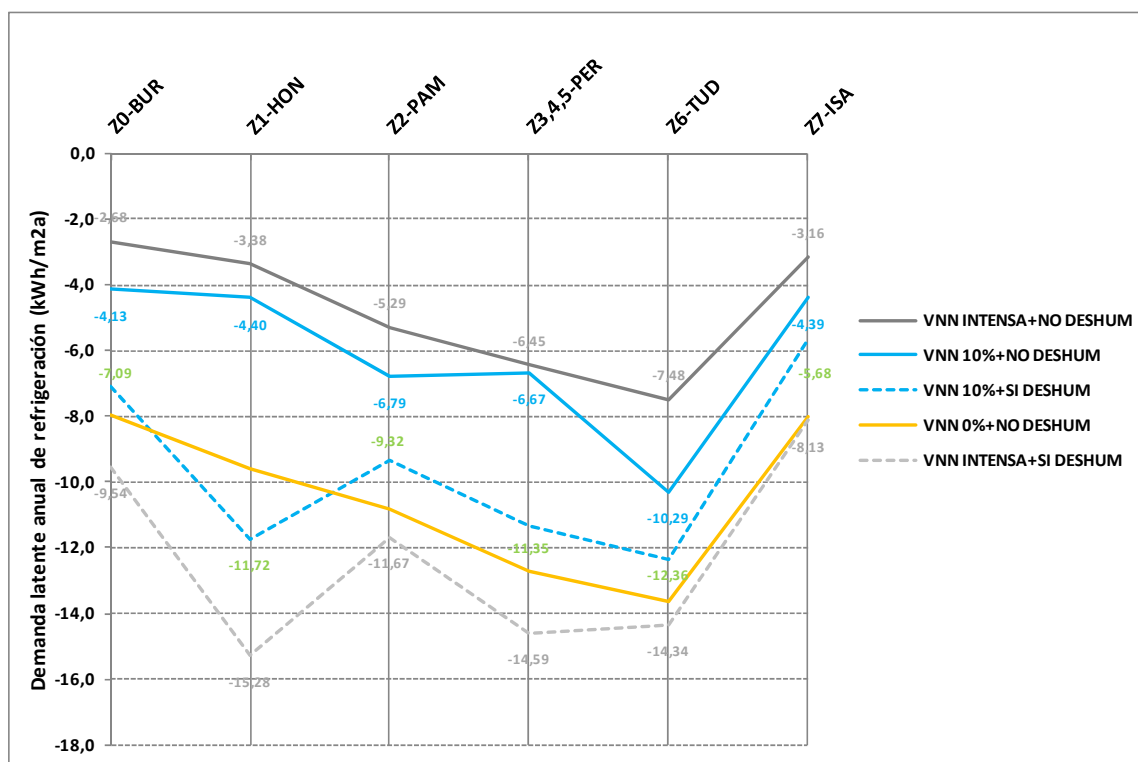


Figura 7.27. Análisis del cambio climático. Sistema con refrigeración activa, sin ventilación natural y sin deshumidificación. Demanda de refrigeración latente anual (kWh/m²a) para la vivienda tipo [N_S_] en las ciudades de referencia de cada zona climática. Clima 2080-A1B [Elaboración propia].

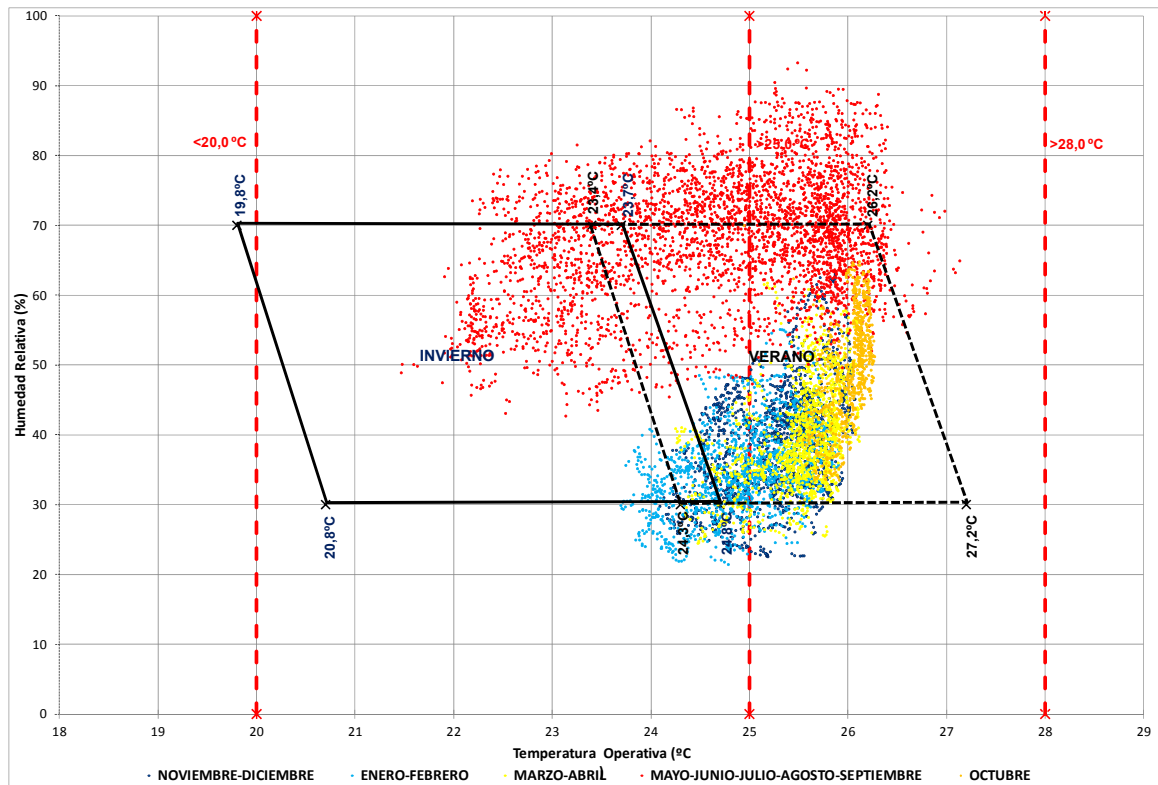
Señalar que el estudio de la refrigeración activa se extiende a todo el año, observando cómo los periodos de refrigeración aparecen a lo largo de todo el año. No se ha incorporado por tanto una ventilación natural combinada con la refrigeración en el periodo del 1 de octubre al 30 de abril, cuestión que a la vista del intenso cambio climático parece razonable evaluar, por lo menos en los meses de primavera y otoño.

7.5.1 ANÁLISIS DEL CONFORT POR CIUDADES

Se selecciona la opción con ventilación nocturna baja (10%). En cuanto a la deshumidificación, se establece para la ciudad de Hondarribia, pero no en el resto de ciudades.

7.5.1.1 ZONA CLIMÁTICA Z1. CIUDAD DE REFERENCIA HONDARRIBIA

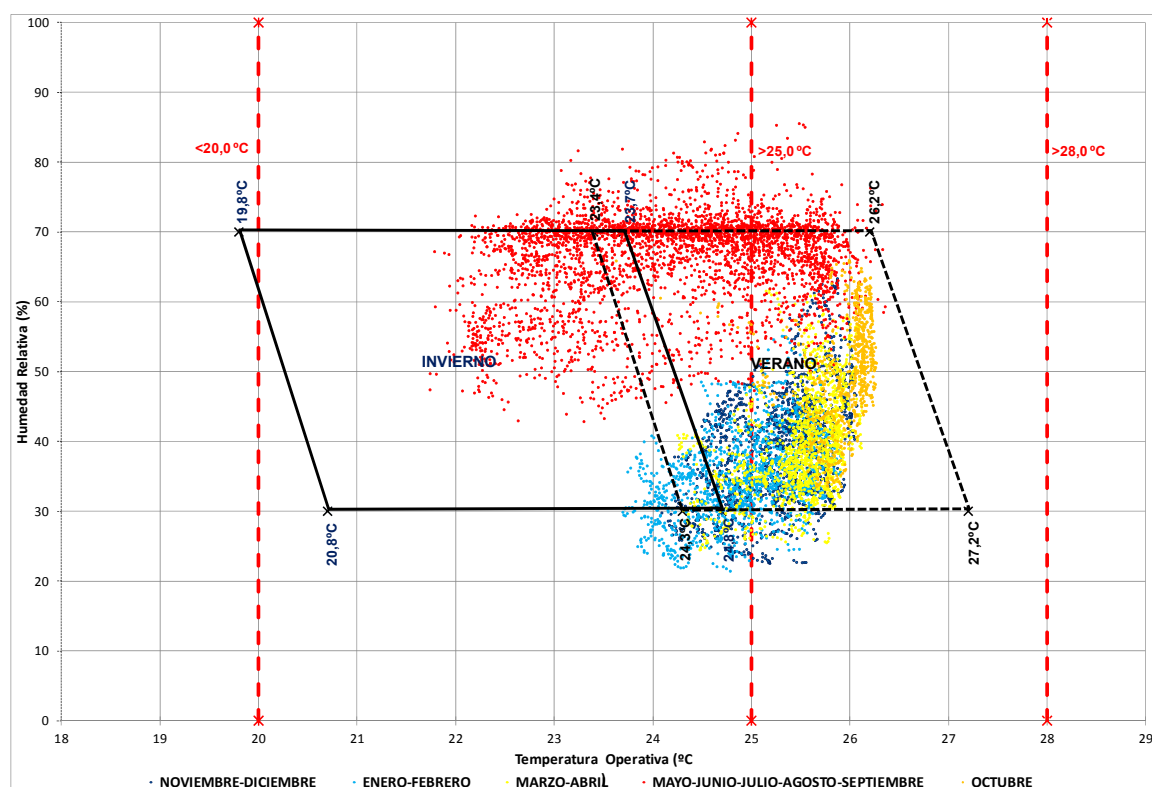
Se observan los periodos veraniegos con humedades relativas por encima del 70% (1608 horas) 44% horas del verano con un máximo de 93,3%. Igualmente, los periodos de marzo-abril y octubre presentan elevadas temperaturas pero con índices más bajos de humedad relativa, por lo que se consideran que están dentro de la playa de confort de la norma ISO 7730. La temperatura máxima en este modelo sería 27,1°C (Fig. 7.28).



CLIMA 2080 A1B - TIPO [_ E _] - AI-4,8 W/m ²				
	ANUALES (8760 Horas)	VERANO (3671 Horas)	MARZO-ABRIL (1463 Horas)	OCTUBRE (743 Horas)
HORAS <20°C	0	0	0	0
HORAS >25°C	5431	1707	1277	743
HORAS >28°C	0	0	0	0
T ^o MAXIMA	27,1	27,1	26,1	26,3
HORAS HR>70%	1609	1608	0	2
% HORAS>70%	18	44	0	0
HR MÁXIMA	93,3	93,3	61,8	78,4

Figura 7.28. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. Sistema con refrigeración activa sin deshumidificación y VNN baja (10%). Zona 1 Hondarribia planta tipo [N_S].. Confort ISO 7730 – VERANO – ANUAL [Elaboración propia].

La inclusión de un sistema de deshumidificación aumenta el periodo de confort, pero a costa de superar la energía para refrigeración (-23,50 kWh/m²a), el límite para la ciudad (-21,82 kWh/m²a). Se reducen los periodos veraniegos con humedades relativas por encima del 70% (1210 horas) 33% horas del verano con un máximo de 85,6%. La temperatura máxima en este modelo sería 26,4°C. Al añadir más frío en el proceso de deshumidificación, se reducen las temperaturas máximas (Fig. 7.29).



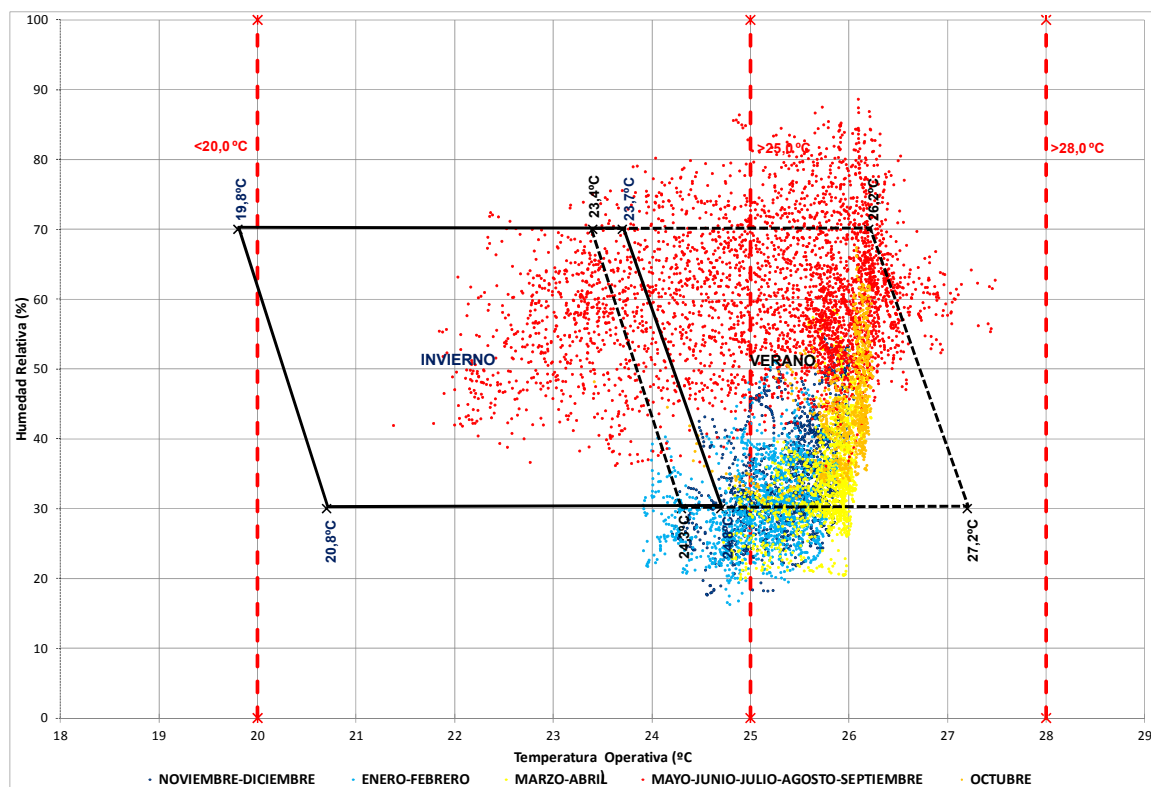
CLIMA 2080 A1B - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2	ANUALES (8760 Horas)	VERANO (3671 Horas)	MARZO-ABRIL (1463 Horas)	OCTUBRE (743 Horas)
HORAS <20°C	0	0	0	0
HORAS >25°C	4699	986	1277	732
HORAS >28°C	0	0	0	0
Tª MAXIMA	26,4	26,4	26,1	26,3
HORAS HR>70%	1210	1210	0	1
% HORAS>70%	14	33	0	0
HR MÁXIMA	85,6	85,6	61,8	75,4

Figura 7.29. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. Sistema con refrigeración activa con deshumidificación y VNN baja (10%). Zona 1 Hondarribia planta tipo [N_S]. Confort ISO 7730 – VERANO – ANUAL [Elaboración propia].

No se valora el introducir ventilación nocturna intensiva. Por un lado, aumentaría la humedad relativa a valores excesivos, mientras que si se dota de un sistema de deshumidificación, los consumos de energía para refrigeración se disparan hasta los -28,40 kWh/m²a, muy por encima del límite la ciudad (-21,82 kWh/m²a).

7.5.1.2 ZONA CLIMÁTICA Z2. CIUDAD DE REFERENCIA PAMPLONA-IRUÑA

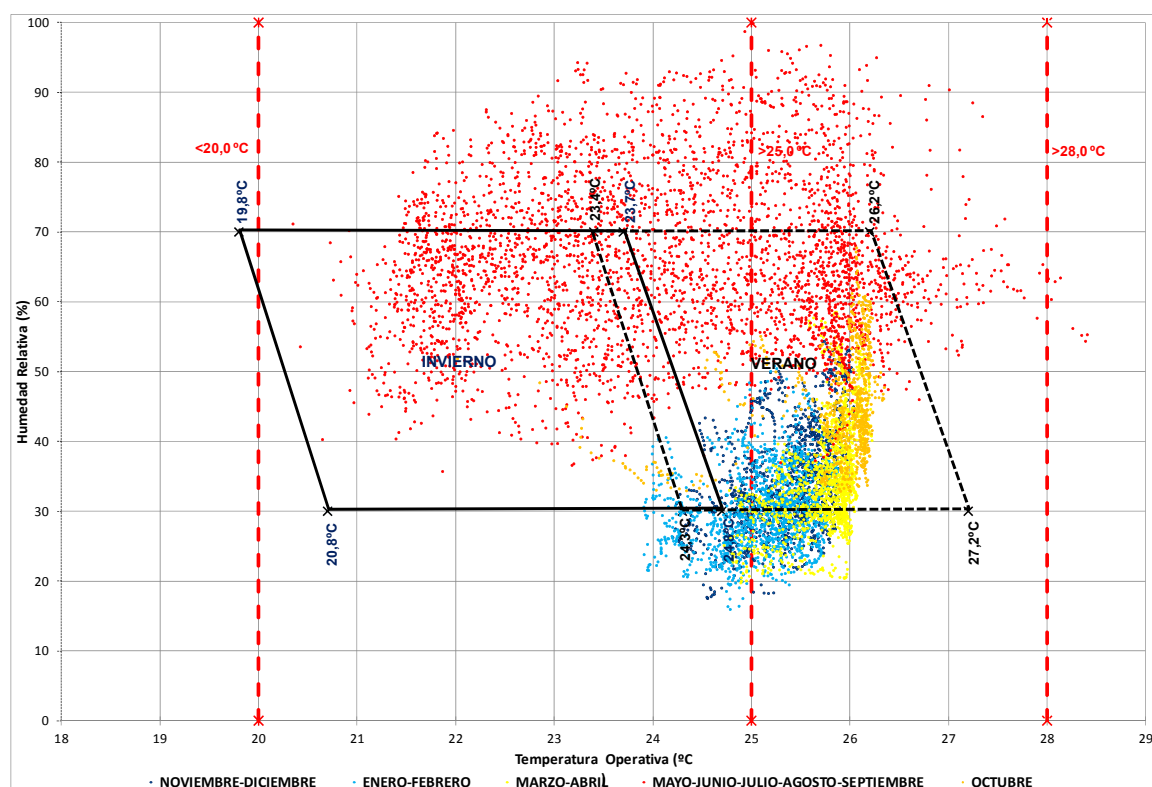
Se observan los periodos veraniegos con humedades relativas por encima del 70% bastante menores (602 horas) 16% horas del verano con una HR máxima de 88,7%. Igualmente, los periodos de marzo-abril y octubre presentan elevadas temperaturas pero con índices más bajos de humedad relativa, por lo que se consideran que están dentro de la playa de confort de la norma EN-ISO 7730. Estos valores permitirían un sistema de refrigeración activa sin necesidad de un sistema de deshumidificación, siendo la energía para refrigeración (-17,69 kWh/m²a), por debajo del límite para la ciudad (-20,36 kWh/m²a). La temperatura máxima en este modelo sería 27,5°C (Fig. 7.30).



CLIMA 2080 A1B - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2				
	ANUALES (8760 Horas)	VERANO (3671 Horas)	MARZO-ABRIL (1463 Horas)	OCTUBRE (743 Horas)
HORAS <20°C	0	0	0	0
HORAS >25°C	6417	2204	1416	721
HORAS >28°C	0	0	0	0
T ^o MÁXIMA	27,5	27,5	26,2	26,2
HORAS HR>70%	602	602	0	0
% HORAS>70%	7	16	0	0
HR MÁXIMA	88,7	88,7	58,5	67,4

Figura 7.30. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. Sistema con refrigeración activa sin deshumidificación y VNN baja (10%). Zona 2 Pamplona-Iruña, planta tipo [N_S_J]. Confort ISO 7730 – VERANO – ANUAL [Elaboración propia].

En el caso de dotar al sistema de una ventilación intensiva vemos que se producen humedades relativas por encima del 70% bastante mayores (1231 horas) 34% horas del verano con una HR máxima de 99,9%. Sin embargo permitirían reducir la energía para la refrigeración (-13,25 kWh/m²a), por debajo del límite para la ciudad (-20,36 kWh/m²a). La temperatura máxima en este modelo sería 28,4°C (Fig. 7.31).

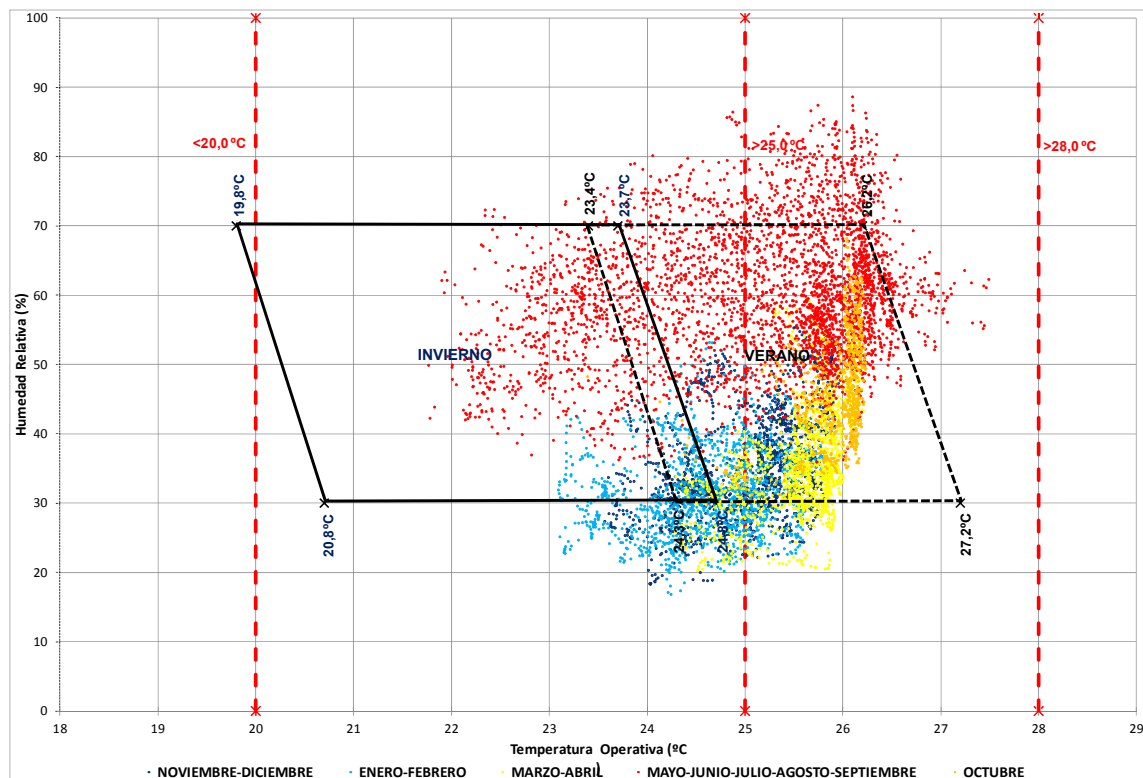


CLIMA 2080 A1B - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2				
	ANUALES (8760 Horas)	VERANO (3671 Horas)	MARZO-ABRIL (1463 Horas)	OCTUBRE (743 Horas)
HORAS <20°C	0	0	0	0
HORAS >25°C	5482	1314	1416	680
HORAS >28°C	8	8	0	0
TªMAXIMA	28,4	28,4	26,2	26,3
HORAS HR>70%	1231	1231	0	0
% HORAS>70%	14	34	0	0
HR MÁXIMA	99,9	99,9	58,6	67,8

Figura 7.31. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. Sistema con refrigeración activa sin deshumidificación y VNN intensiva (10-100%). Zona 2 Pamplona-Iruña, planta tipo [N_S]. Confort ISO 7730 – VERANO – ANUAL [Elaboración propia].

7.5.1.3 ZONA CLIMÁTICA Z3, Z4, Z5. CIUDAD DE REFERENCIA PERALTA-AZKOIEN

Se observan los periodos veraniegos con humedades relativas por encima del 70% del 16% del verano (595 horas), con una HR máxima de 88,7%. Igualmente, los periodos de marzo-abril y octubre presentan elevadas temperaturas para el periodo invernal, saliéndose de la playa de confort invernal de la norma ISO 7730. Estos valores permitirían un sistema de refrigeración activa sin necesidad de un sistema de deshumidificación, siendo la energía para refrigeración (-16,83 kWh/m²a), por debajo del límite para la ciudad (-21,59 kWh/m²a). La temperatura máxima en este modelo sería 27,5°C (Fig. 7.32).



CLIMA 2080 A1B - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2				
	ANUALES (8760 Horas)	VERANO (3671 Horas)	MARZO-ABRIL (1463 Horas)	OCTUBRE (743 Horas)
HORAS <20°C	0	0	0	0
HORAS >25°C	5435	2220	1271	716
HORAS >28°C	0	0	0	0
Tª MAXIMA	27,5	27,5	26,2	26,2
HORAS HR>70%	595	595	0	0
% HORAS>70%	7	16	0	0
HR MÁXIMA	88,7	88,7	59,5	68,2

Figura 7.32. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. Sistema con refrigeración activa sin deshumidificación y VNN baja (10%). Zona 3,4,5 Peralta-Azkoien, planta tipo [N_S_]. Confort ISO 7730 – VERANO – ANUAL [Elaboración propia].

En el caso de dotar al sistema de una ventilación intensiva vemos que se producen humedades relativas por encima del 70% mayores (1596 horas) 43% horas del verano con una HR máxima de 97,5%. Sin embargo permitirían reducir la energía para la refrigeración (-15,11 kWh/m²a), por debajo del límite para la ciudad (-21,59 kWh/m²a). La temperatura máxima en este modelo sería 28,9°C (Fig. 7.33).

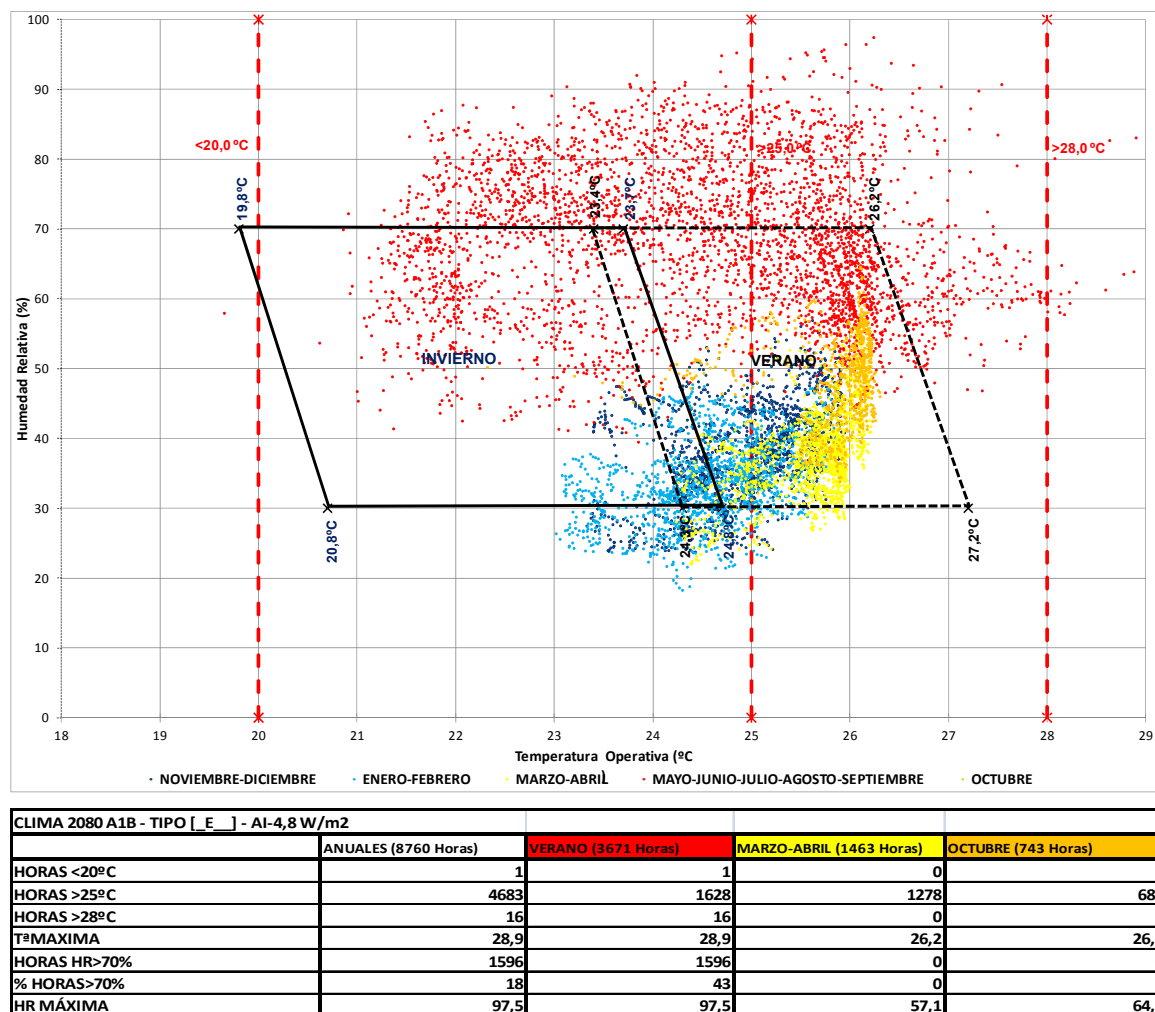
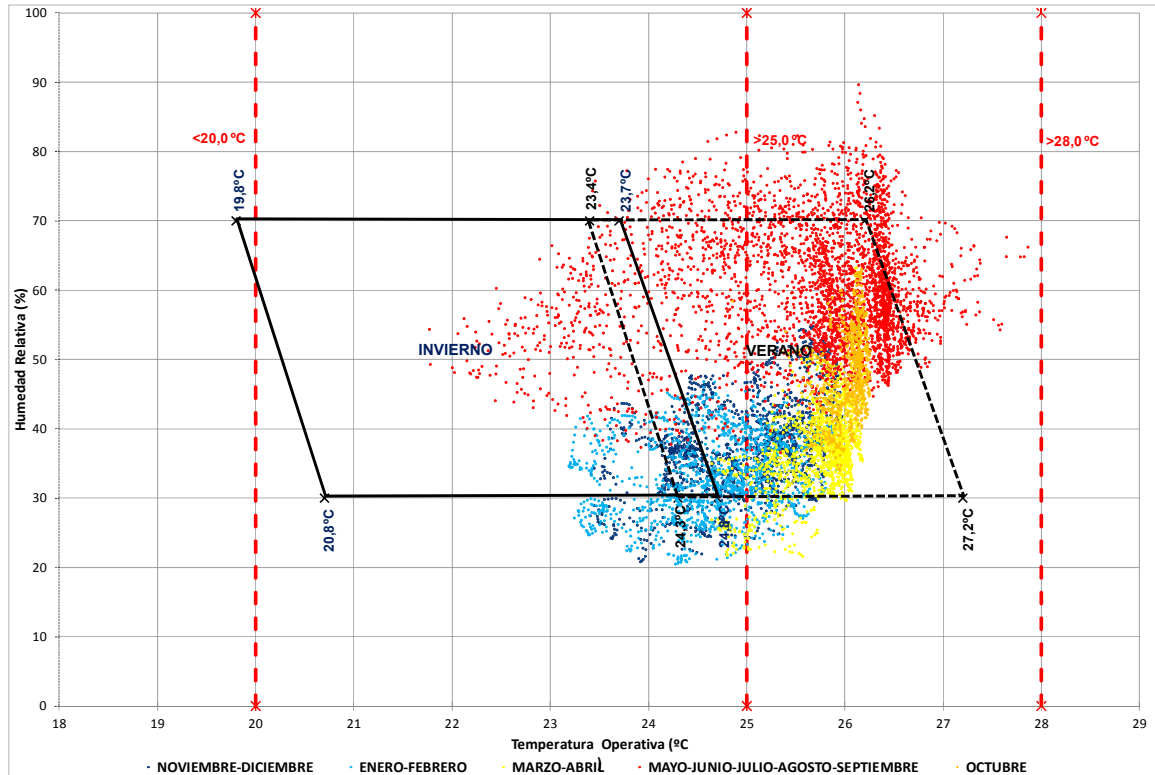


Figura 7.33. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. Sistema con refrigeración activa sin deshumidificación y VNN intensiva (10-100%). Zona 3,4,5 Peralta-Azkoien, planta tipo [N_S_]. Confort ISO 7730 – VERANO – ANUAL [Elaboración propia].

7.5.1.4 ZONA CLIMÁTICA Z6, CIUDAD DE REFERENCIA TUDELA

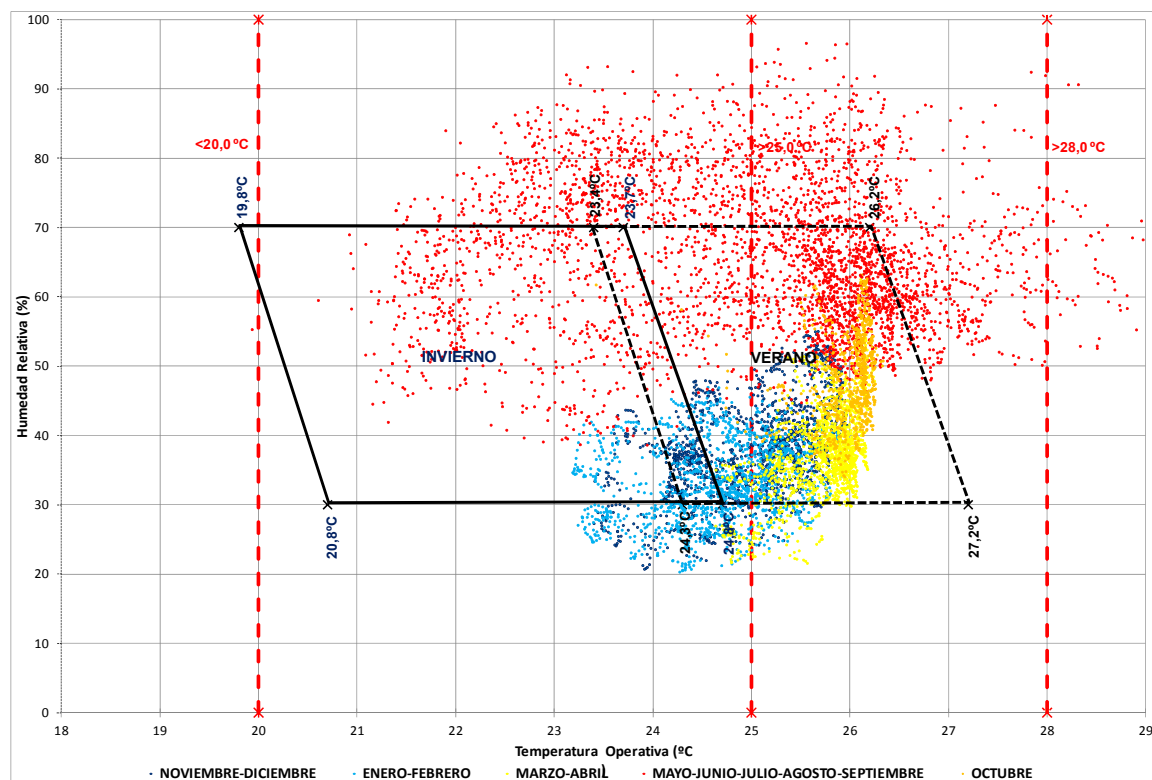
Los periodos veraniegos con humedades relativas por encima del 70% del 15% del verano (558 horas), con una HR máxima de 89,7%. Los periodos de todo el invierno presentan elevadas temperaturas, saliéndose de la playa de confort invernal de la norma ISO 7730. Estos valores permitirían un sistema de refrigeración activa sin necesidad de un sistema de deshumidificación, siendo la energía para refrigeración (-26,50 kWh/m²a), por encima del límite para la ciudad (-21,73 kWh/m²a). La temperatura máxima en este modelo sería 27,7°C (Fig. 7.34).



CLIMA 2080 A1B - TIPO [_E_] - AI-4,8 W/m2				
	ANUALES (8760 Horas)	VERANO (3671 Horas)	MARZO-ABRIL (1463 Horas)	OCTUBRE (743 Horas)
HORAS <20°C	0	0	0	0
HORAS >25°C	6224	2828	1399	743
HORAS >28°C	0	0	0	0
Tª MAXIMA	27,9	27,9	26,2	26,3
HORAS HR>70%	558	558	0	0
% HORAS>70%	6	15	0	0
HR MÁXIMA	89,7	89,7	63,3	64,1

Figura 7.34. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. Sistema con refrigeración activa sin deshumidificación y VNN baja (10%). Zona 6 Tudela, planta tipo [N_S_]. Confort ISO 7730 – VERANO – ANUAL [Elaboración propia].

En este caso se valoraría introducir la ventilación nocturna intensiva sin deshumidificar para entrar dentro de los valores máximos de la ciudad (-21,73 kWh/m²a). Con esta acción se reduce la demanda de refrigeración total a -19,65 kWh/m²a. Aumentan por otro lado los periodos veraniegos con humedades relativas por encima del 70% al 35% del verano (1275 horas), con una HR máxima de 96,6%. La temperatura máxima en este modelo sería 28,9°C (Fig. 7.35).

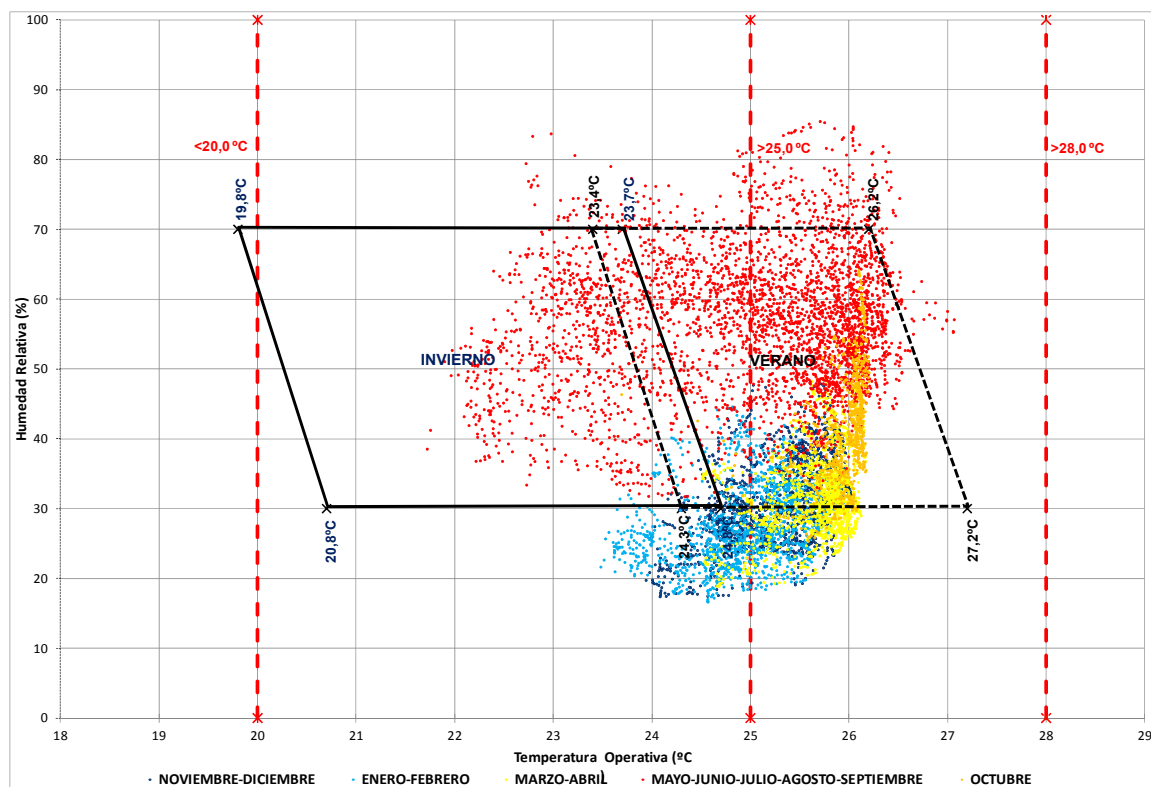


CLIMA 2080 A1B - TIPO [_E_] - AI-4,8 W/m ²				
	ANUALES (8760 Horas)	VERANO (3671 Horas)	MARZO-ABRIL (1463 Horas)	OCTUBRE (743 Horas)
HORAS <20°C	1	1	0	0
HORAS >25°C	5482	2098	1398	735
HORAS >28°C	57	57	0	0
T ^o MAXIMA	29,3	29,3	26,2	26,3
HORAS HR>70%	1275	1275	0	1
% HORAS>70%	15	35	0	0
HR MÁXIMA	96,6	96,6	63,2	70,3

Figura 7.35. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. Sistema con refrigeración activa sin deshumidificación y VNN intensa (100%-10%). Zona 6 Tudela, planta tipo [N_S]. Confort ISO 7730 – VERANO – ANUAL [Elaboración propia].

7.5.1.5 ZONA CLIMÁTICA Z7, CIUDAD DE REFERENCIA ISABA

Los periodos veraniegos con humedades relativas por encima del 70% del 9% del verano (339 horas), con una HR máxima de 85,5%. Los periodos de todo el invierno presentan elevadas temperaturas, saliéndose de la playa de confort invernal de la norma ISO 7730. Estos valores permitirían un sistema de refrigeración activa sin necesidad de un sistema de deshumidificación, siendo la energía para refrigeración (-12,84 kWh/m²a), por debajo del límite para la ciudad (-18,70 kWh/m²a). La temperatura máxima en este modelo sería 27,1°C (Fig. 7.36).



CLIMA 2080 A1B - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2				
	ANUALES (8760 Horas)	VERANO (3671 Horas)	MARZO-ABRIL (1463 Horas)	OCTUBRE (743 Horas)
HORAS <20°C	0	0	0	0
HORAS >25°C	5895	2094	1369	736
HORAS >28°C	0	0	0	0
TªMAXIMA	27,1	27,1	26,2	26,2
HORAS HR>70%	339	339	0	0
% HORAS>70%	4	9	0	0
HR MÁXIMA	85,5	85,5	54,1	64,1

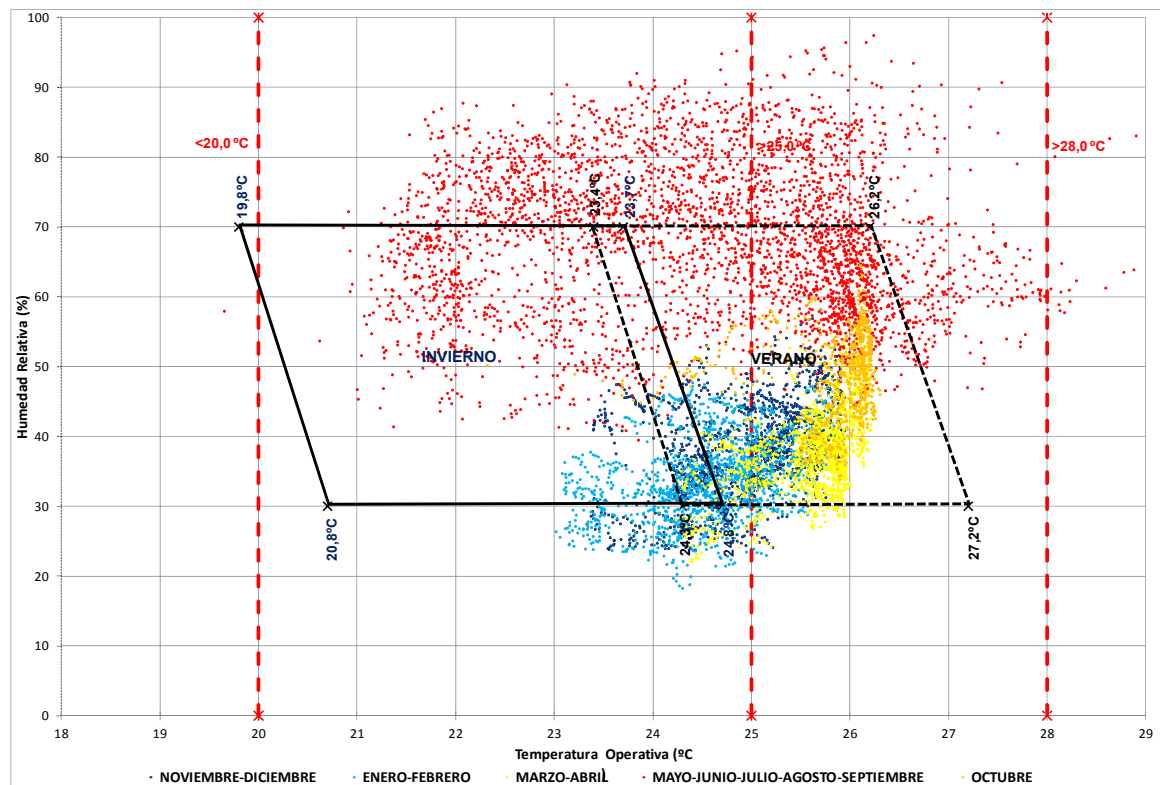
Figura 7.36. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. Sistema con refrigeración activa sin deshumidificación y VNN baja (10%). Zona 7 Isaba, planta tipo [N_S_]. Confort ISO 7730 – VERANO – ANUAL [Elaboración propia].

En el caso de dotar al sistema de una ventilación intensiva vemos que se producen humedades relativas por encima del 70% mayores (919 horas) 25% horas del verano con una HR máxima de 95,1%. Sin embargo permitirían reducir la energía para la refrigeración (-9,09 kWh/m²a), por debajo del límite para la ciudad (-18,70 kWh/m²a). La temperatura máxima en este modelo sería 27,6°C (Fig. 7.37).

EVALUACIÓN DEL ESTÁNDAR DE CONSTRUCCIÓN PASSIVHAUS Y SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO CLIMÁTICO DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA VASCA Y LA COMUNIDAD FORAL NAVARRA

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal



CLIMA 2080 A1B - TIPO [E] - AI-4,8 W/m2				
	ANUALES (8760 Horas)	VERANO (3671 Horas)	MARZO-ABRIL (1463 Horas)	OCTUBRE (743 Horas)
HORAS <20°C	4	4	0	0
HORAS >25°C	4835	1089	1369	687
HORAS >28°C	0	0	0	0
TªMAXIMA	27,6	27,6	26,2	26,2
HORAS HR>70%	919	919	0	0
% HORAS>70%	10	25	0	0
HR MÁXIMA	95,1	95,1	54,1	63,9

Figura 7.37. Análisis del cambio climático. Periodo 2080 A1B. Sistema con refrigeración activa sin deshumidificación y VNN intensiva (10-100%). Zona 3,4,5 Peralta-Azkoien, planta tipo [N_S_]. Confort ISO 7730 – VERANO – ANUAL [Elaboración propia].

7.6 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El análisis del cambio climático se ha introducido los últimos años en la metodología de comprobación de muchos sistemas edificatorios con el fin de valorar las decisiones presentes en las perspectivas futuras de cambio climático.

Como ya se ha comentado, la sostenibilidad introduce un sentido temporal a la edificación ya que es la única forma de valorar de una manera objetiva todos los aspectos relacionados con la construcción (véase por ejemplo el caso del reciclaje).

Evidentemente, los escenarios analizados afectarían igualmente a otro tipo de construcciones, pero lo que necesitamos saber es si este tipo de edificaciones construidas en un estándar de energía conservativo van a estar preparadas en el caso de que se confirmen los escenarios de cambio climático predichos por la comunidad científica.

Lógicamente las decisiones que se pudieran tomar requieren de visiones a largo plazo, muy alejadas de los modos actuales de actuar en todos los ámbitos de la sociedad. En todo caso, la reflexión se hace con el fin de generar un debate en este propio estudio sobre la pertinencia de apostar por estos estándares sin valorar las consecuencias a medio y largo plazo.

La primera constatación que hace este estudio es que los modelos de cambio climático predicen un aumento considerable de temperaturas, y además llevan aparejado un aumento también considerable de la humedad ambiental. En la zona interior este aspecto es más claro, con un aumento progresivo de la temperatura y de la humedad según los años analizados, 2040 y 2080 y los escenarios de cambio climático, B1, A1B, A2. Sin embargo, en la costa los datos muestran una variabilidad mayor del cambio climático, seguramente por la afección del mar y la mayor cantidad de agua en el aire debido a la mayor temperatura (Fig. 7.2, 7.3)².

Se ha analizado en primer lugar la ventilación natural con el fin de valorar si en los próximos años servirá como método de control del sobrecalentamiento, o por el contrario hay que recurrir a otras estrategias en los sistemas HVAC del edificio. La primera constatación es que según pasan los años y se utilizan modelos que consideran mayores emisiones de CO₂, el sistema se ve incapaz de responder a las expectativas de confort del PHI (Fig. 6.4). En 2080 la ventilación natural no puede regular el sobrecalentamiento en ningún modelo en Tudela ni Peralta-Azkoien. Sí se mantienen dentro del confort PHI Hondarribia e Isaba, quedando Pamplona-Iruña a medias según los modelos analizados³. Este efecto es más radical en lo que se refiere a las horas >28°C, debido a la ampliación de los picos máximos de las temperaturas (Fig. 7.5).

En todas las tipologías se ha analizado el cambio climático en el modelo A1B para el año 2080, observando que la afección es para todos los tipos por igual (Fig. 7.6).

Los aportes internos siguen teniendo una repercusión importante en los escenarios de cambio climático aunque no permiten hacer desaparecer los periodos de sobrecalentamiento (Fig. 7.8).

En cuanto al confort interior vemos que se reproducen los efectos ya constatados en capítulos anteriores. El modelo adaptativo responde bien en Hondarribia (Fig. 7.9), y en

² Véase los resultados del Grupo de investigación Bentos Marino de la Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea. <http://www.ehu.eus/es/web/bentos/argitalpenak>

³ Recordar aquí que se ha analizado la tipología [N_S_] con el fin de valorar una vivienda más protegida a los efectos del sobrecalentamiento.

Tudela (Fig. 7.12), aunque este último empieza a desbordarse para el año 2080 con el escenario A1B. Sin embargo el fuerte aumento de la humedad relativa en ambos casos hace el sistema inviable para este modelo de cambio climático. El aumento del porcentaje de horas nocturnas $>25^{\circ}\text{C}$ también es considerable, alcanzando en Tudela un 74% del mes de agosto con temperaturas máximas interiores pico de $33,5^{\circ}\text{C}$. Incluso la población de Isaba tiene dificultades para evacuar el calor interior mostrando periodos del 23% con horas nocturnas $>25^{\circ}\text{C}$ en el mes de agosto, y con humedades relativas superiores al 70% que superan el 43% del tiempo del mes de septiembre.

El análisis de los sistemas de refrigeración activa constata que los valores máximos del PHI, adaptándolos al cambio climático, se superan en todas las tipologías en el año 2080 A1B salvo en Hondarribia si no se aplica la ventilación natural (Fig. 7.24). Con la ventilación natural no se mejoran los resultados, debido al aumento considerable de la humedad relativa lo que obliga a aumentar el consumo de refrigeración latente para mantener los niveles de confort (Fig. 7.26 y 7.27). Incluso la Ventilación natural intensa (VNN-Intensa) puede llegar a generar peores valores globales, descartando para Hondarribia este sistema por la alta humedad que genera. Las Figuras 7.28-7.37 muestran el efecto de la ventilación en el aumento de la humedad relativa.

Por tanto, los efectos que pronostican los escenarios climáticos hacen pasar el límite de efectividad en los sistemas de ventilación natural en casi todos los modelos y generando un aumento del consumo de energía para refrigeración.

8 ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA INERCIA TÉRMICA

8.1 INTRODUCCIÓN

En el Capítulo 4 se exponían los diferentes sistemas constructivos propios de la construcción en vivienda colectiva de promoción pública y los sistemas más habituales en Passivhaus. En este punto analiza la influencia de la capacidad térmica de cinco sistemas constructivos de fachada en la reducción del sobrecalentamiento. Se estudian tanto para el clima de referencia estadístico como para los escenarios de cambio climático.

8.2 CRITERIOS Y OBJETIVOS

Para el análisis de la inercia térmica se desarrollan cinco sistemas constructivos con diferente capacidad térmica, desde una fachada construida con un sistema ligero de capas de madera (1-Madera ligera), un sistema construido con un paneles de madera contralaminada (CLT) con una mayor capacidad térmica (2-Madera pesada), una fachada formada por un bloque de hormigón pesado (3-Bloque de hormigón), y un sistemas que incorpora bloques de tierra prensada, con 40 cm (4-Tierra 40)¹. La tierra prensada tiene unos valores físicos de conductividad $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}^2$, calor específico 1 MJ/KgK y una densidad de 1885 kg/m^3 . Los cuatro sistemas constructivos tienen el mismo sistema estructural de forjados de hormigón armado, y el mismo valor de inercia térmica interior debido a las tabiquerías ya que el fin es valorar los resultados de los diferentes sistemas de fachada. Los valores adoptados son los reflejados en la Tabla 8.1. En cuanto a la capacidad térmica interior se dota al modelo de un valor de $88 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ (25 Wh/KgK). El PHI recomienda un mínimo de 60 Wh/KgK para toda la masa térmica interior [PHPP 2007-es].

Tabla 8.1. Capacidad térmica interna de los sistemas constructivos analizados.				
	1-Madera ligera	2-Madera pesada	3-Bloque hormigón	4-Tierra 40 cm
Capacidad térmica interna (kJ/m ² K)	49	68	132	173
DESINGBUILDER adopta los valores de CIBSE Guide A, Environmental Design [CIBSE 2006].				

En este caso se selecciona la tipología [N_S_] puesto que lo único que se busca es valorar si la capacidad térmica produce mejoras en el comportamiento del sistema.

Se analiza exclusivamente el sistema de ventilación nocturna intenso utilizado en las simulaciones del Capítulo 5, con tres horas antes de las horas nocturnas (21:00-23:00 h) y una hora por la mañana (8:00-9:00 h) con las ventanas abiertas al 100% y el resto de la noche (23:00-8:00 h) abiertas en un 10%.

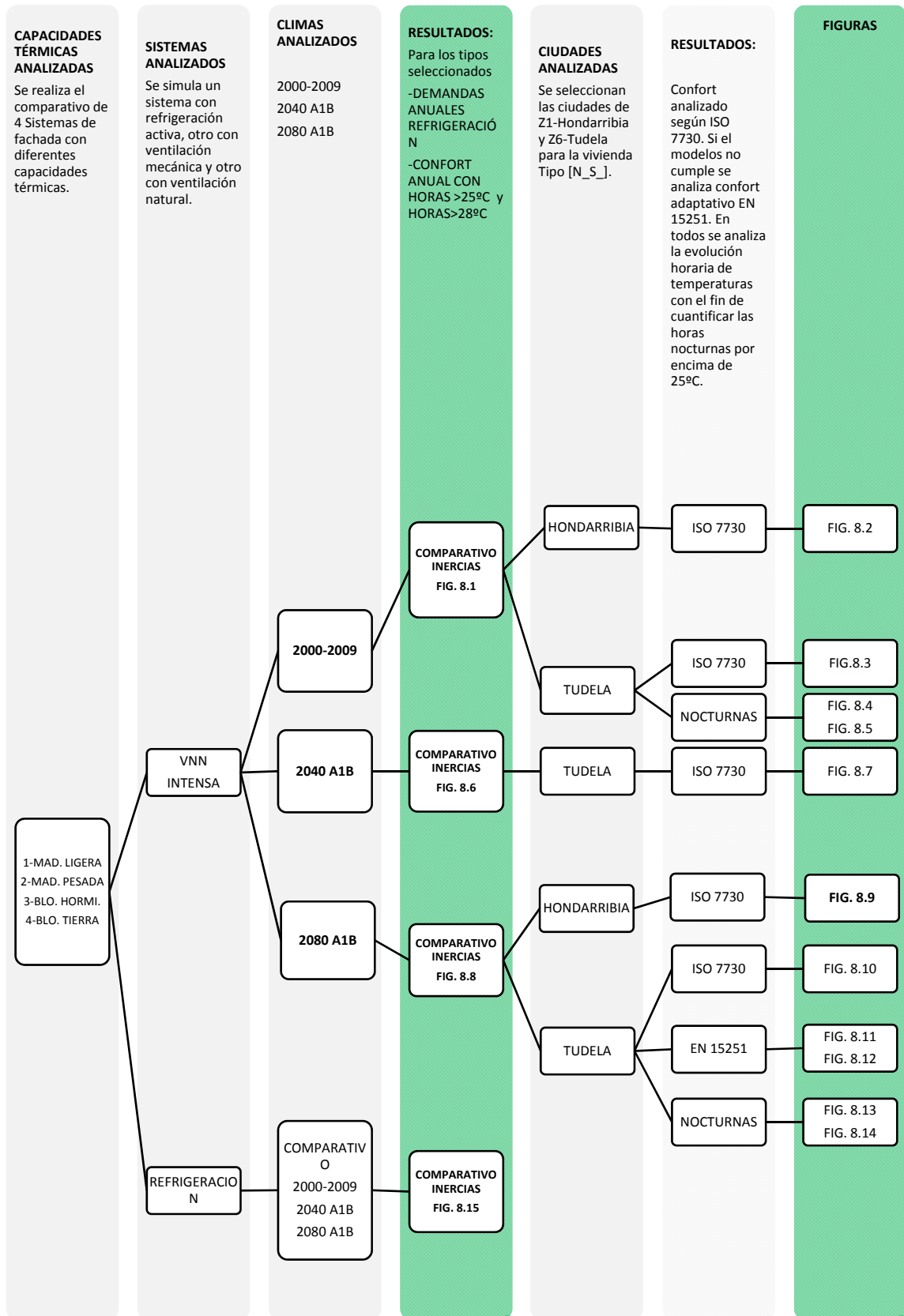
El confort se analiza en las ciudades de Hondarribia y Tudela para ver el alcanza de los resultados de una forma global.

¹ Los bloques de tierra prensada utilizados se pueden consultar en [www.solbloc.es].

² Se pueden conseguir valores más bajos en función de las tierras utilizadas. Solbloc anuncia bloques de hasta $0,87 \text{ W/m}^2\text{K}$.

8.2.1 ESTRUCTURA DEL CAPÍTULO DE ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA INERCIA TÉRMICA

En el siguiente esquema se resumen las Fases de estudio junto con las Figuras obtenidas con los resultados de las simulaciones.



8.3 RESULTADOS

8.3.1 ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE LA VENTILACION NATURAL

8.3.1.1 CONFORT CLIMA ESTADÍSTICO 200-2009

La Figura 8.1 nos muestra que la aplicación de una ventilación nocturna intensiva combinada con una alta capacidad térmica reduce ligeramente los periodos >25°C, siendo más significativa su influencia en los periodos por encima de 28°C.

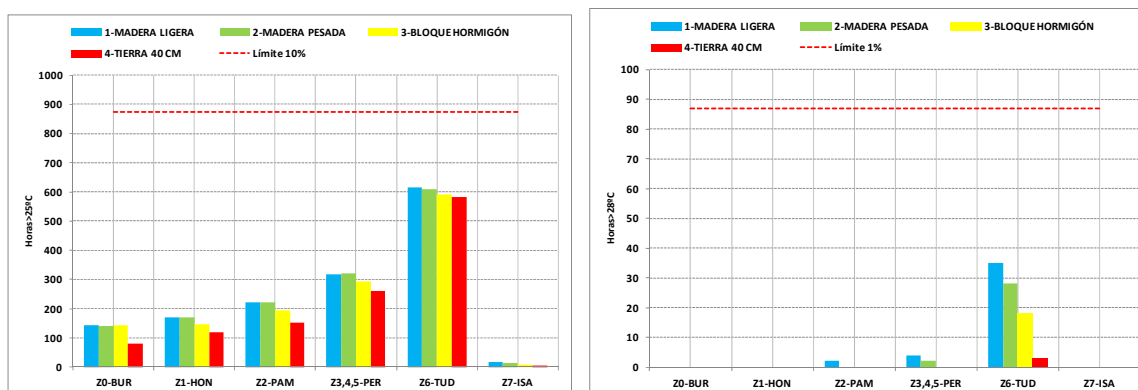
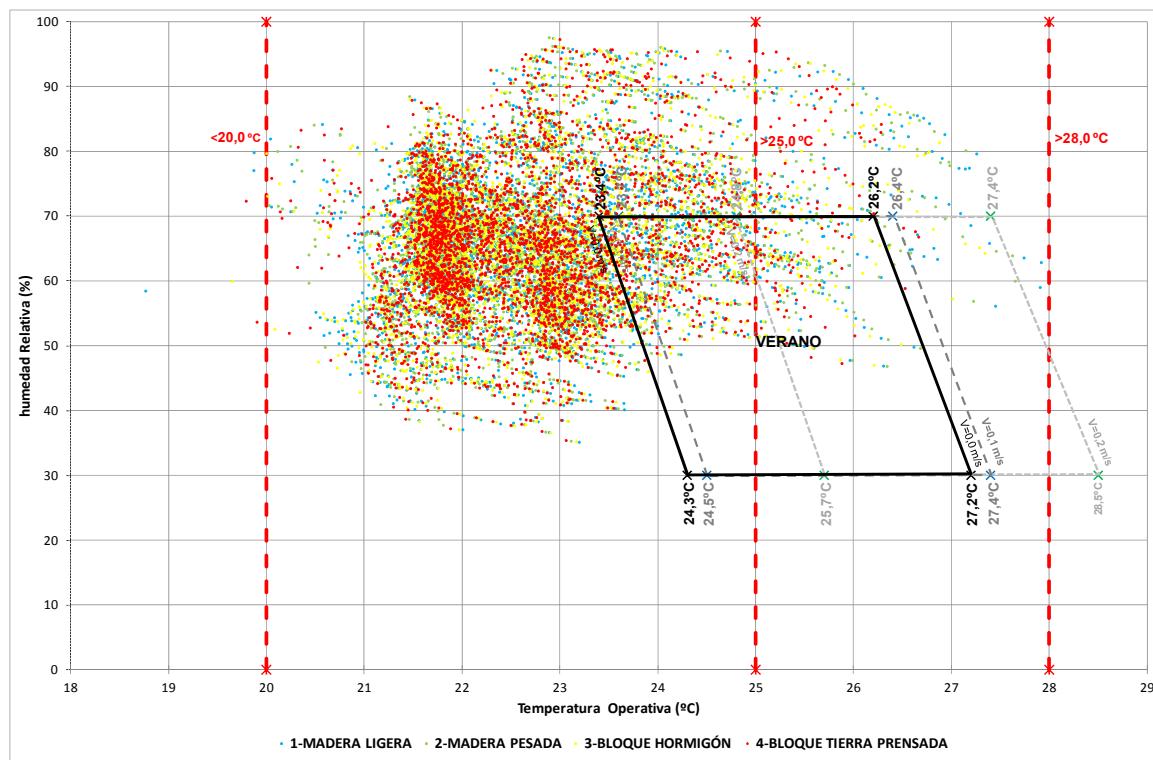


Figura 8.1. Análisis capacidad térmica. Horas por encima de 25°C y 28°C. Planta tipo [N_S_] [Elaboración propia].

8.3.1.1.1 ZONA CLIMÁTICA Z1. CIUDAD DE REFERENCIA HONDARRIBIA

El análisis de confort según la EN-ISO 7730 en Hondarribia (Fig. 8.2) nos muestra el aumento de las temperaturas en función de la capacidad térmica, de un máximo de 27,9°C para el sistema (1-Madera ligera) y un mínimo de 26,7°C para el sistema constructivo (4-Bloque tierra prensada). Por tanto hay una diferencia en las máximas de 1,2°C. Las horas >25°C van de 171 (1-Madera ligera) a 119 en el sistema más pesado (4-Bloque tierra prensada). No se dan temperaturas por encima de 28°C. Las humedades relativas no sufren variaciones. Las horas con una humedad relativa por encima de un 70% son relativamente altas en todos los casos, de aproximadamente un 31%, con máximas del 98%.



	1-MADERA LIGERA	2-MADERA PESADA	3-BLOQUE HORMIGÓN	4-BLOQUE TIERRA
HORAS VERANO (3671)				
HORAS <20°C	3	0	2	2
HORAS >25°C	171	164	145	119
HORAS >28°C	0	0	0	0
Tª MÁXIMA VERANO	27,9	27,6	27,3	26,7
HORAS HR>70%	1149	1148	1156	1169
% HORAS>70%	31	31	31	32
HR MÁXIMA	97	98	97	97

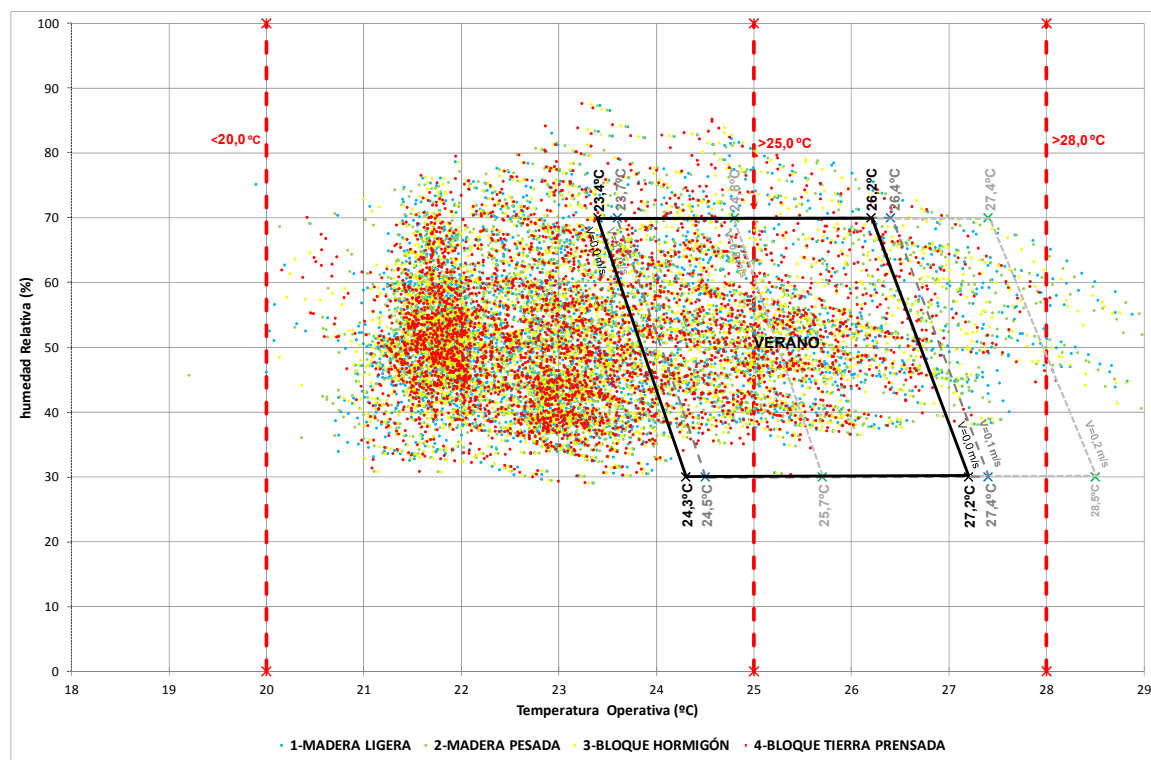
Figura 8.2. Análisis aportes internos. VNN INTENSA. Zona 1 Hondarribia planta tipo [N_S_]. Confort ISO 7730 – VERANO – Período 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

8.3.1.1.2 ZONA CLIMÁTICA Z6, CIUDAD DE REFERENCIA TUDELA

El análisis de confort según la EN-ISO 7730 en Tudela (Fig. 8.3) nos muestra el aumento de las temperaturas en función de la capacidad térmica, de un máximo de 29,5°C para el sistema (1-Madera ligera) y un mínimo de 28,1°C para el sistema constructivo (4-Bloque tierra prensada). Por tanto hay una diferencia en las máximas de 1,4°C. Las humedades relativas no sufren variaciones en función de la capacidad térmica, rondando todas el 6% horas >70 % HR. Las horas por encima de 28°C también se reducen desde las 37 horas con el sistema (1-Madera ligera) a las 3 horas con el sistema (4-Bloque tierra).

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal



	1-MADERA LIGERA	2-MADERA PESADA	3-BLOQUE HORMIGÓN	4-BLOQUE TIERRA	
HORAS VERANO (3671)					
HORAS <math><20^{\circ}\text{C}</math>	2	1	0	0	
HORAS $>25^{\circ}\text{C}$	621	617	597	579	
HORAS $>28^{\circ}\text{C}$	37	29	19	3	
Tª MÁXIMA VERANO	29,5	29,1	28,8	28,1	
HORAS HR>70%		208	204	212	216
% HORAS>70%		6	6	6	6
HR MÁXIMA		87	87	88	88

Figura 8.3. Análisis aportes internos. VNN INTENSA. Zona 1 Tudela planta tipo [N_S]. Confort ISO 7730 - VERANO - Periodo 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

Un análisis más detallado de la evolución de las temperaturas diarias a lo largo del verano (Fig. 8.4 y Fig. 8.5), nos permite observar que las temperaturas máximas, son más bajas en el sistema pesado (4-Bloque tierra prensada) ($29,5^{\circ}\text{C}$ en el mes de agosto) que en el más ligero (1-Madera ligera) ($28,1^{\circ}\text{C}$ en el mes de agosto), y el porcentaje de horas nocturnas $>25^{\circ}\text{C}$ también es menor en el sistema pesado, 16% en el ligero, 13% en el pesado para el mes de agosto.

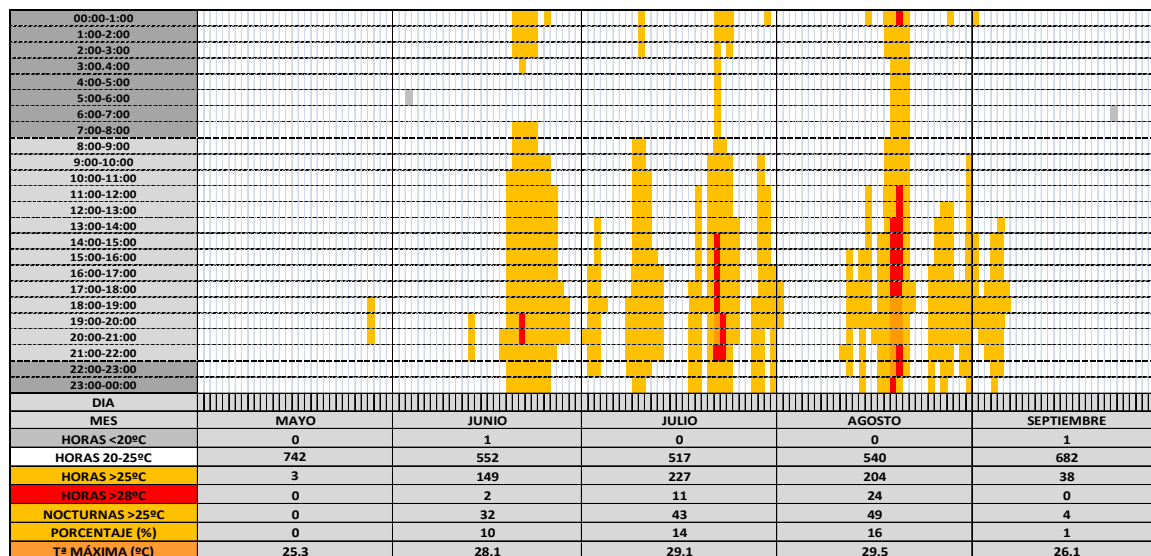


Figura 8.4. Análisis capacidad térmica. VNN INTENSA. Zona 1 Tudela planta tipo [N_S_]. Sistema constructivo (1-Madera ligera). Evolución de las temperaturas operativas – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre. Clima estadístico 2000-2009 [Elaboración propia].

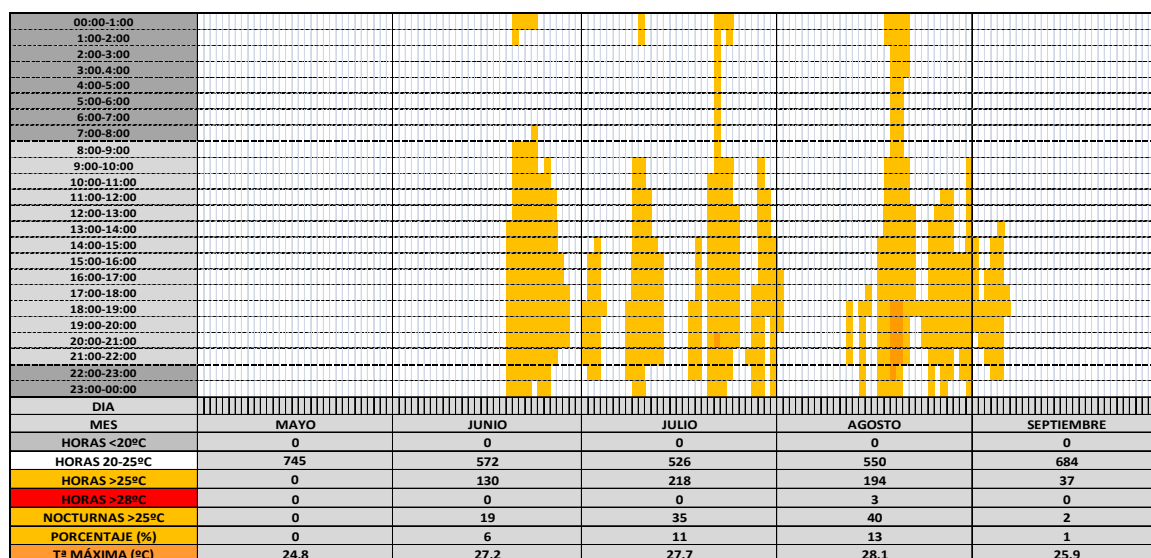


Figura 8.5. Análisis capacidad térmica. VNN INTENSA. Zona 1 Tudela planta tipo [N_S_]. Sistema constructivo (4-Bloque tierra prensada). Evolución de las temperaturas operativas – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre. Clima estadístico 2000-2009 [Elaboración propia].

8.3.1.2 CONFORT CLIMA ESCENARIO A1B AÑO 2040

En el escenario climático A1B para el 2040, vemos como el comportamiento de la capacidad térmica es similar al clima estadístico, acentuándose la disminución de las horas máximas especialmente en la zona climática representada por Tudela (Fig. 8.6) a pesar de que ya aparecen por encima del límite marcado por el PHI.

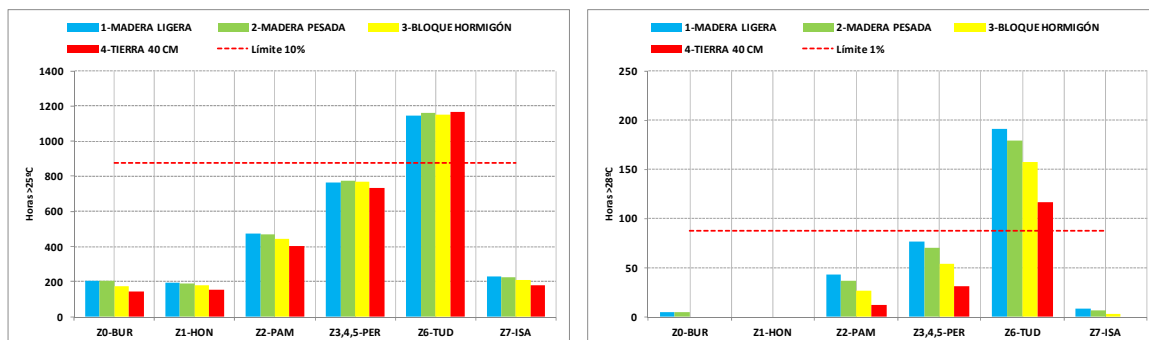
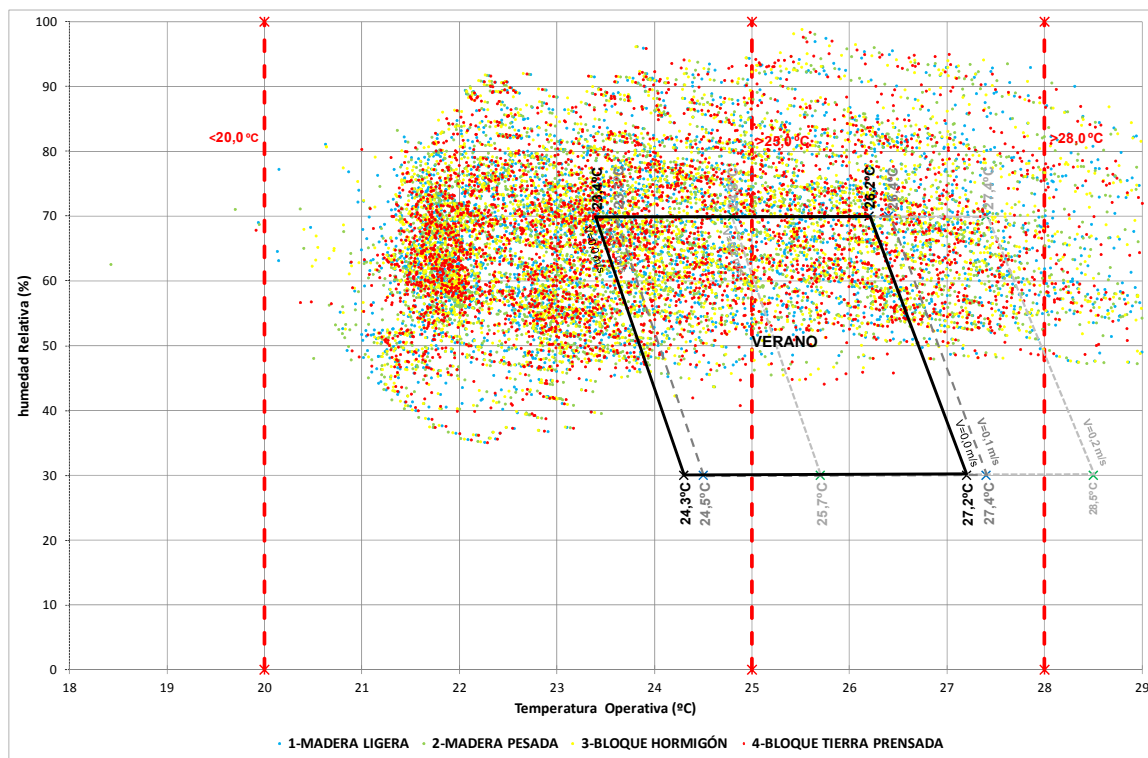


Figura 8.6. Análisis capacidad térmica. Horas por encima de 25°C y 28°C. Planta tipo [N_S_] [Elaboración propia].

8.3.1.2.1 ZONA CLIMÁTICA Z6, CIUDAD DE REFERENCIA TUDELA

El análisis de confort según la EN-ISO 7730 en Tudela (Fig. 8.7) nos muestra el aumento de las temperaturas en función de la capacidad térmica, de un máximo de 31,8°C para el sistema (1-Madera ligera) y un mínimo de 30,4°C para el sistema constructivo (4-Bloque tierra prensada). Por tanto se mantienen la diferencia respecto del clima estadístico de 1,4°C en las máximas. La reducción en las horas >28°C también es representativa, de 194 horas en (1-Madera ligera) y un mínimo de 118 horas para el sistema constructivo (4-Bloque tierra prensada). En todo caso ninguno de los modelos estaría dentro del confort PHI.



	1-MADERA LIGERA	2-MADERA PESADA	3-BLOQUE HORMIGÓN	4-BLOQUE TIERRA
HORAS VERANO (3671)				
HORAS <20°C	1	3	0	1
HORAS >25°C	1138	1163	1143	1162
HORAS >28°C	194	177	157	118
Tª MÁXIMA VERANO	31,8	31,6	31,3	30,4
HORAS HR>70%		1329	1324	1334
% HORAS>70%		36	36	37
HR MÁXIMA		98	98	99

Figura 8.7. Análisis aportes internos. VNN INTENSA. Zona 1 Tudela planta tipo [N_S_]. Confort ISO 7730 – VERANO – Período 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

8.3.1.3 CONFORT CLIMA ESCENARIO A1B AÑO 2080

En el año 2080 con el escenario A1B el efecto de la inercia térmica es menos contrastado (Fig. 8.8). La disminución de horas >28°C sigue produciéndose en las viviendas con fachada pesada pero de forma menos relevante.

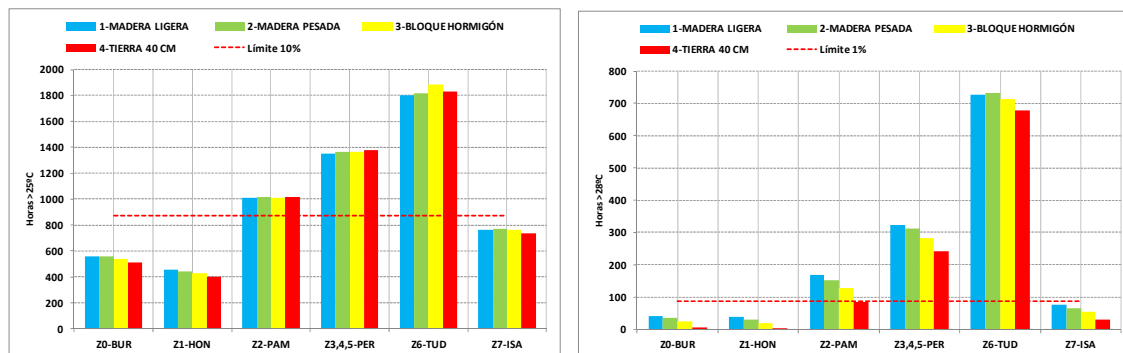
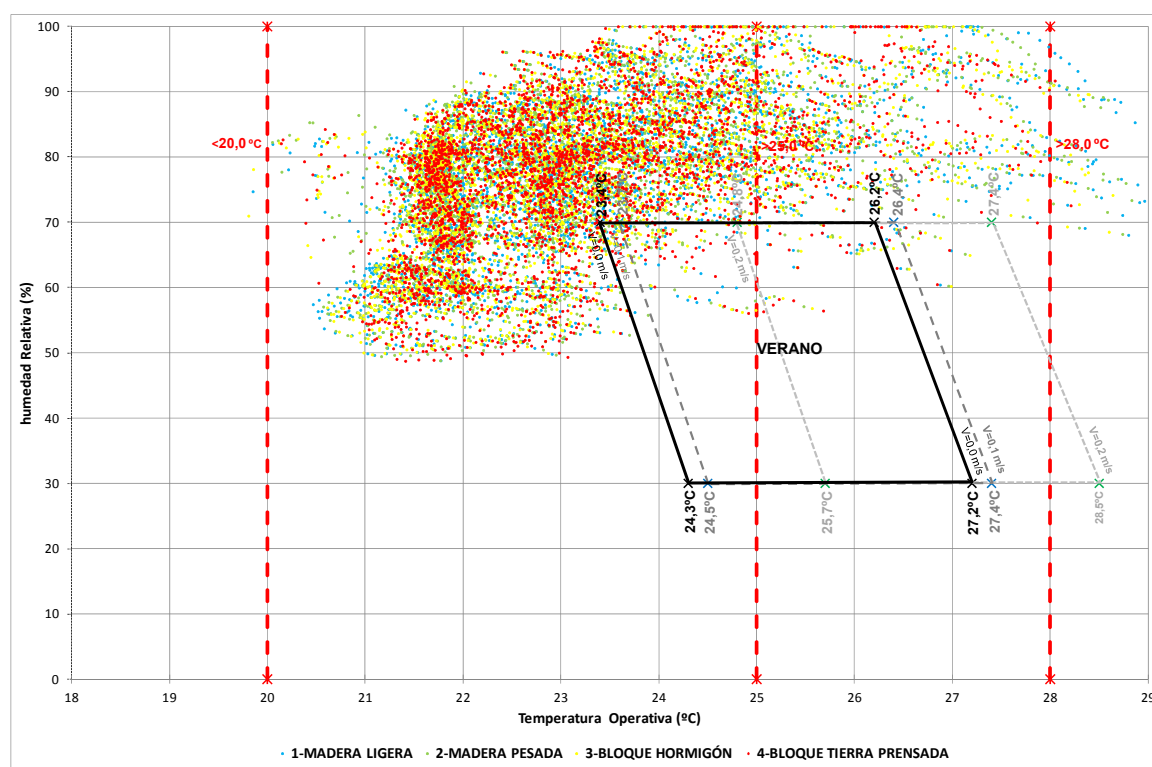


Figura 8.8. Análisis capacidad térmica. Horas por encima de 25°C y 28°C. Planta tipo [N_S_] [Elaboración propia].

8.3.1.3.1 ZONA CLIMÁTICA Z1. CIUDAD DE REFERENCIA HONDARRIBIA

El análisis de confort según la EN-ISO 7730 en Hondarribia (Fig. 8.9) nos muestra el aumento de las temperaturas en función de la capacidad térmica, de un máximo de 29,0°C para el sistema (1-Madera ligera) y un mínimo de 28,2°C para el sistema constructivo (4-Bloque tierra prensada). Por tanto se reduce la diferencia respecto del clima estadístico a 0,8°C en las máximas respecto los 1,2°C. Las horas >28°C se reducen ligeramente de 37 horas en (1-Madera ligera) y un mínimo de 3 horas para el sistema constructivo (4-Bloque tierra prensada). La alta humedad ya señalada en el capítulo dedicado al cambio climático hace inviable los sistemas con ventilación natural que no incluyan deshumidificación, ya que como vemos el espacio se encuentra el 77% del tiempo con HR>70%, llegando en numerosas horas al 100%.



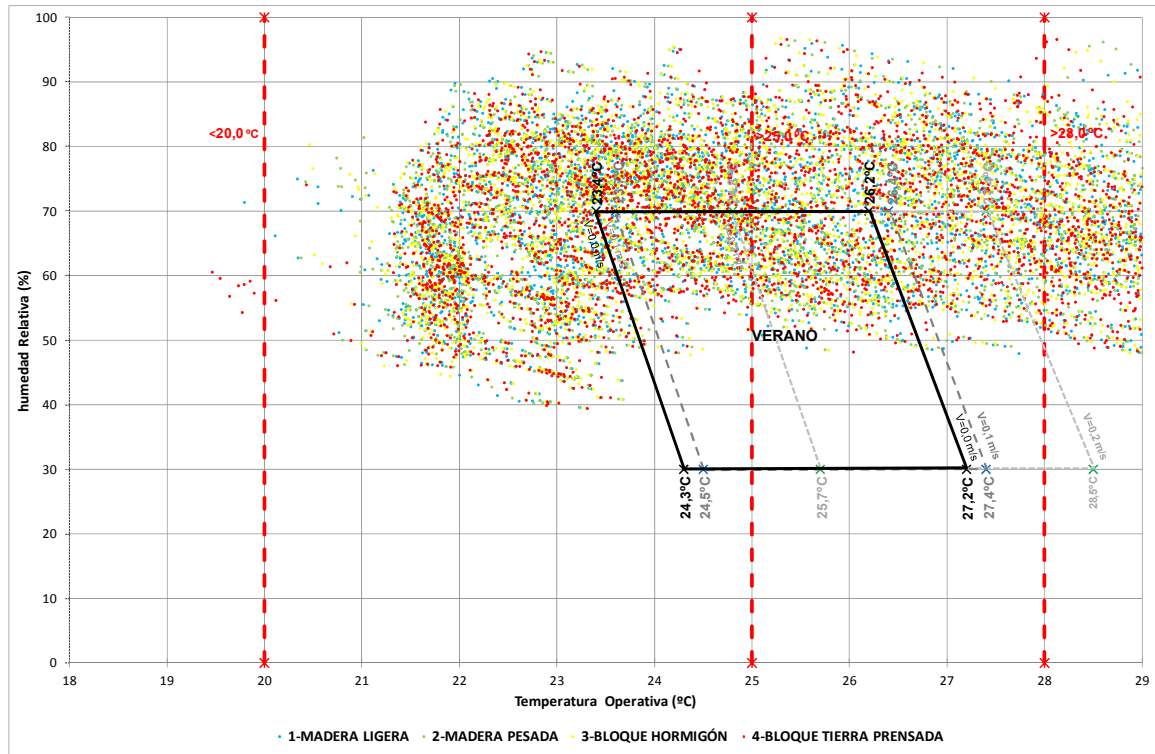
	1-MADERA LIGERA	2-MADERA PESADA	3-BLOQUE HORMIGÓN	4-BLOQUE TIERRA
HORAS VERANO (3671)				
HORAS <20°C	1	0	2	0
HORAS >25°C	460	448	428	405
HORAS >28°C	37	30	19	3
Tª MÁXIMA VERANO	29,0	28,8	28,6	28,2
HORAS HR>70%	2823	2822	2824	2814
% HORAS>70%	77	77	77	77
HR MÁXIMA	100	100	100	100

Figura 8.9. Análisis capacidad térmica. VNN INTENSA. Zona 1 Hondarribia planta tipo [N_S_]. Confort ISO 7730 – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

8.3.1.3.2 ZONA CLIMÁTICA Z6, CIUDAD DE REFERENCIA TUDELA

El análisis de confort según la EN-ISO 7730 en Tudela (Fig. 8.10) nos muestra el aumento de las temperaturas en función de la capacidad térmica, de un máximo de 34,2°C para el sistema (1-Madera ligera) y un mínimo de 32,6°C para el sistema constructivo (4-Bloque tierra prensada). Por tanto aumenta la diferencia respecto del

clima estadístico a 1,6°C en las máximas. Las horas >28°C se reducen ligeramente de 732 horas en 1-Madera ligera) y un mínimo de 684 horas para el sistema constructivo (4-Bloque tierra prensada). En todo caso, las altas temperaturas junto con el aumento de la humedad relativa que este escenario climático predice, hace inviable este modelo para estar dentro de la playa de confort.



	1-MADERA LIGERA	2-MADERA PESADA	3-BLOQUE HORMIGÓN	4-BLOQUE TIERRA	
HORAS VERANO (3671)					
HORAS <20°C	1	0	0	8	
HORAS >25°C	1805	1819	1825	1827	
HORAS >28°C	732	730	712	684	
Tª MÁXIMA VERANO	34,2	33,9	33,5	32,6	
HORAS HR>70%		1730	1732	1758	1746
% HORAS>70%		47	47	48	48
HR MÁXIMA		96	96	97	97

Figura 8.10. Análisis capacidad térmica. VNN INTENSA. Zona 1 Tudela planta tipo tipo [N_S]. Confort ISO 7730 – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

En el caso de los edificios ventilados de forma natural podemos evaluar el confort de acuerdo al modelo adaptativo [UNE- EN 15.251:2008]. En este modelo observamos en la Figura 8.11 como el gráfico contiene dentro de los límites de confort todas las horas del periodo estival, de forma más clara en los sistemas constructivos pesados, y desbordando por la parte superior los sistemas constructivos pesados en algunas horas del verano.

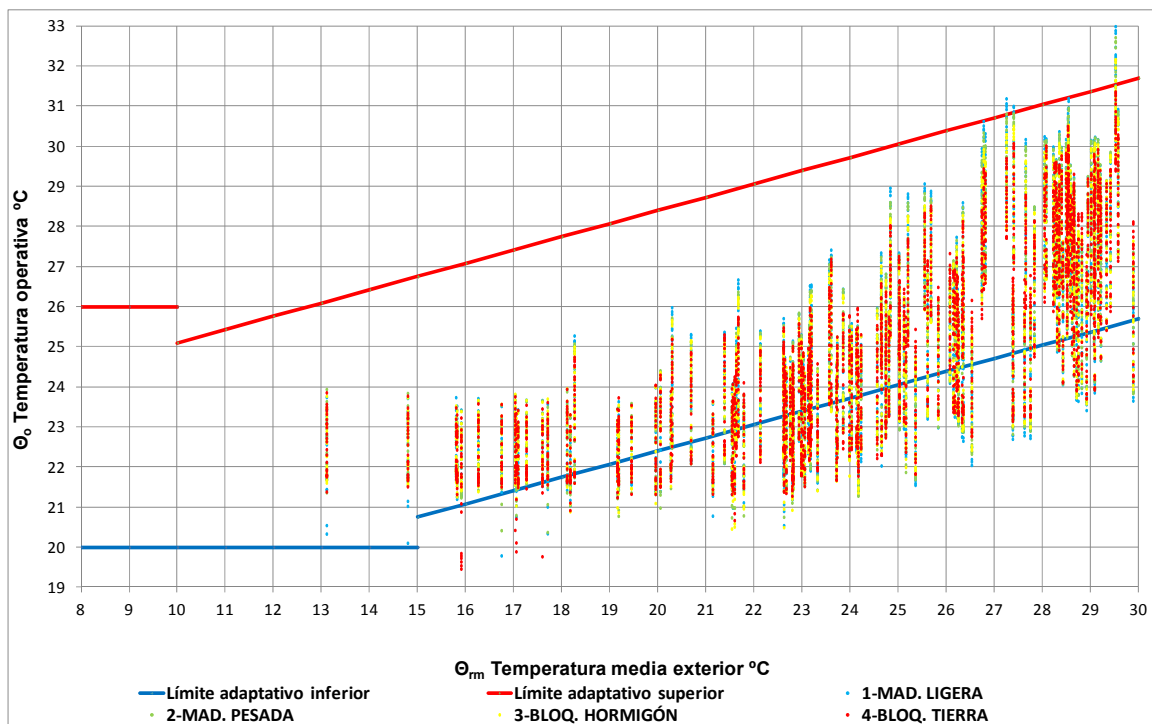


Figura 8.11. Análisis capacidad térmica. VNN INTENSA. Zona 1 Tudela planta tipo [N_S_]. Confort adaptativo EN 15.251 – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre [Elaboración propia].

En la Figura 8.12 se representa el gráfico de evolución de temperaturas operativas interiores con los sistemas constructivos. Se observa que los sistemas pesados tienen temperaturas máximas más bajas y temperaturas mínimas más altas.

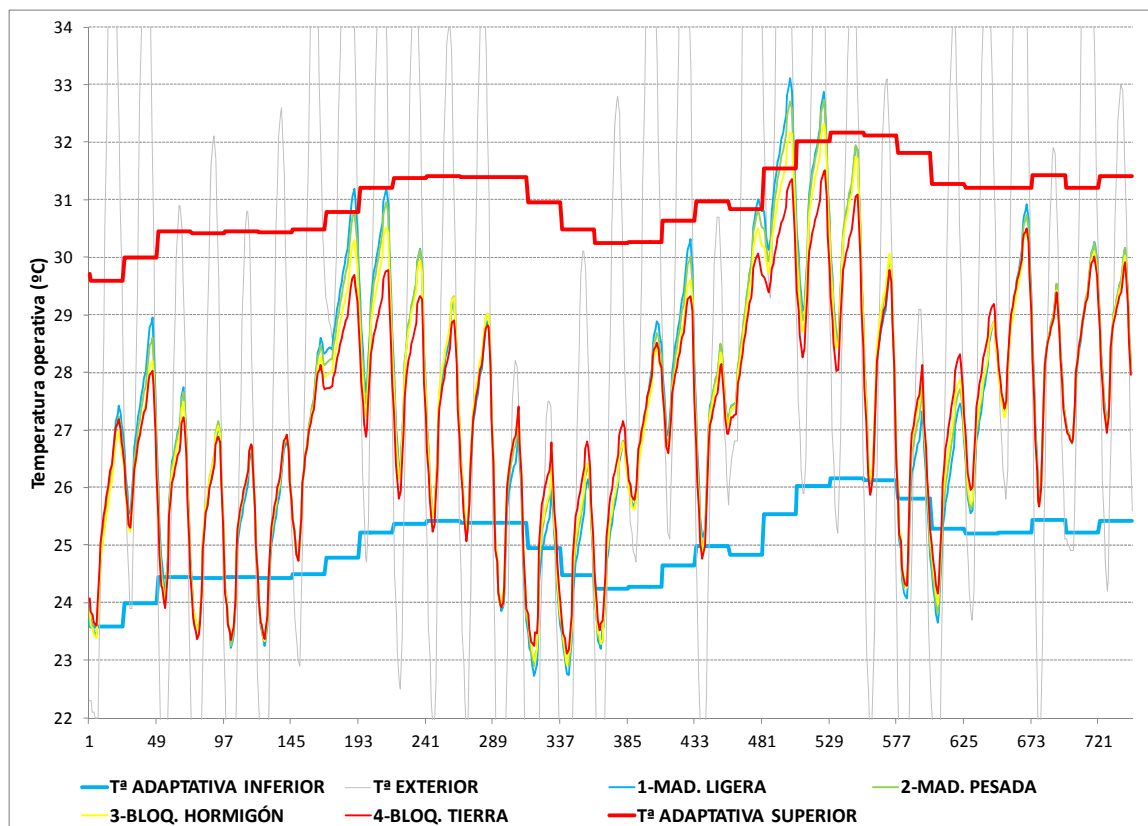


Figura 8.12. Análisis capacidad térmica. VNN INTENSA. Evolución de las temperaturas operativas interiores. Zona 1 Tudela planta tipo [N_S_]. Confort adaptativo EN 15.251 – VERANO – Mes de julio [Elaboración propia].

Por último, se muestra en la Figura 8.13 el gráfico de distribución horaria de temperaturas en la ciudad de Tudela para los sistemas constructivos (1-Madera ligera) y mientras que en la Figura 8.14 se muestra para el sistema constructivo (4-Bloque tierra). Vemos que especialmente las horas nocturnas $>25^{\circ}\text{C}$ no sufren grandes variaciones, siendo más numerosas las horas $>25^{\circ}\text{C}$ en el sistema pesado. Sin embargo las temperaturas máximas son más altas en el sistema ligero que en el sistema pesado; si en el escenario (1-Madera ligera) tenemos en agosto un 73% de horas nocturnas $>25^{\circ}\text{C}$ (225 horas), en el escenario (4-Bloque tierra) serían un 75% (234 horas), ligeramente superior. Las temperaturas máximas mensuales son más altas en el sistema ligero, con una máxima en el mes de agosto de $34,2^{\circ}\text{C}$, mientras que en el pesado es de $32,6^{\circ}\text{C}$, una diferencia de $1,6^{\circ}\text{C}$. Por lo tanto, con el aumento de temperaturas externas, el sistema pesado se mantiene más tiempo en altas temperaturas, pero las máximas son algo menores.

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

Iñigo Rodríguez Vidal

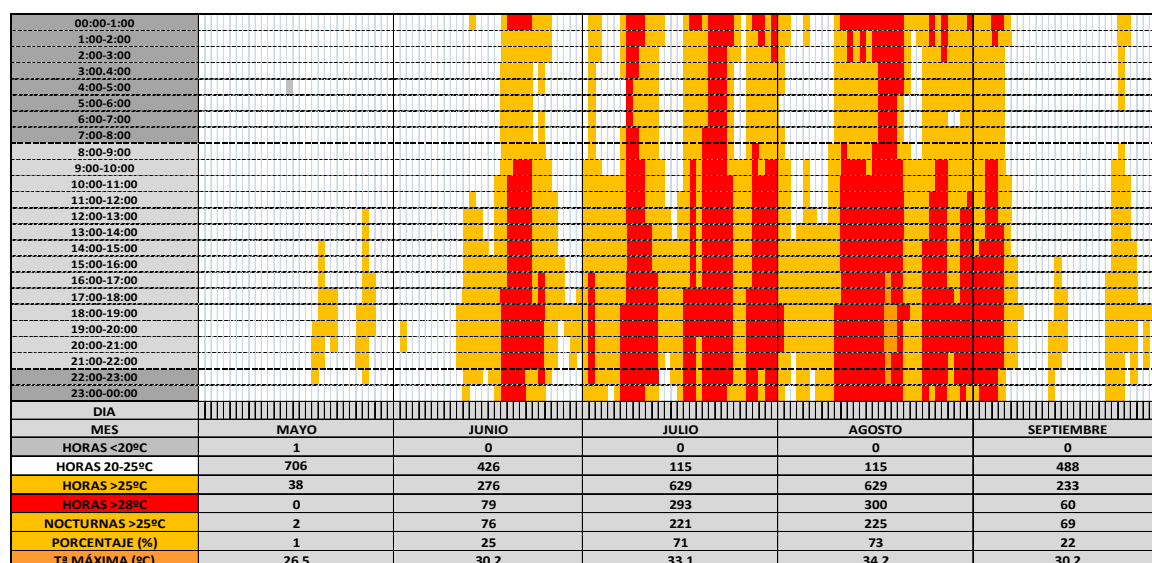


Figura 8.13. Análisis capacidad térmica. VNN INTENSA. Zona 1 Tudela planta tipo [N_S]. Sistema constructivo [1-Madera ligera]. Evolución de las temperaturas operativas – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre. Escenario climático A1B 2080 [Elaboración propia].

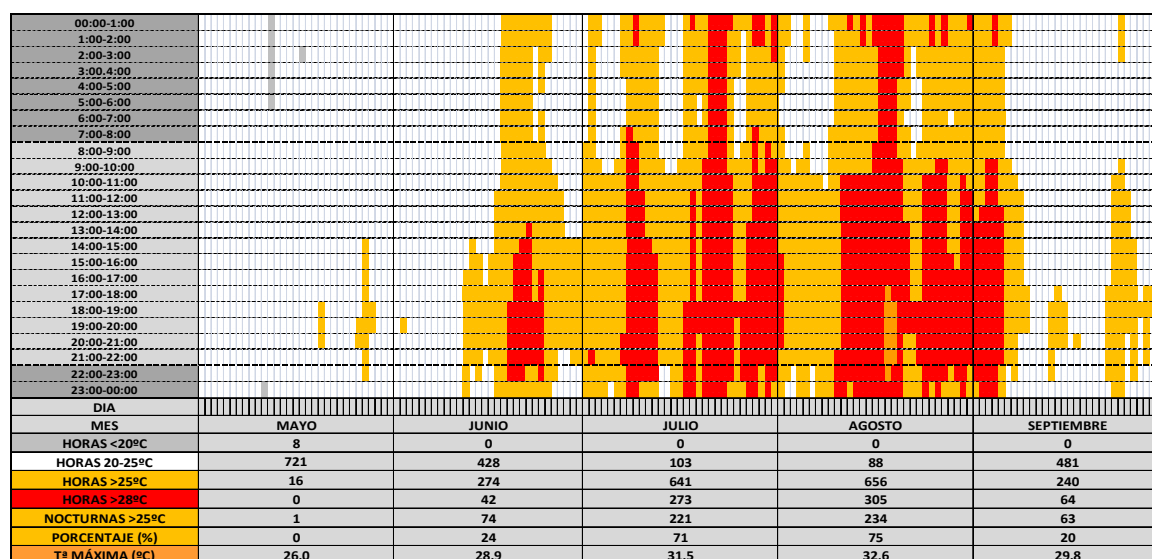


Figura 8.14. Análisis capacidad térmica. VNN INTENSA. Zona 1 Tudela planta tipo [N_S]. Sistema constructivo [4-Bloque tierra prensada]. Evolución de las temperaturas operativas – VERANO – Periodo 1 mayo-30 septiembre. Escenario climático A1B 2080 [Elaboración propia].

8.3.2 SISTEMAS CON REFRIGERACIÓN ACTIVA Y VENTILACIÓN NOCTURNA BAJA

El efecto descrito en el escenario climático 2080 A1B lo podemos observar si dotamos al sistema de refrigeración activa y se mantiene una ventilación nocturna baja (10% de la superficie de las ventanas abierta durante 12 horas). Se observa que hasta el escenario climático 2040 A1B, la alta capacidad térmica genera menores demandas de energía para refrigeración y menor carga de refrigeración. A partir del escenario 2080 A1B, el sistema pesado (4-Bloque tierra prensado) requiere de mayor energía para refrigeración

así como valores más altos de carga de refrigeración. El sistema no está dotado de deshumidificación (Fig. 8.15).

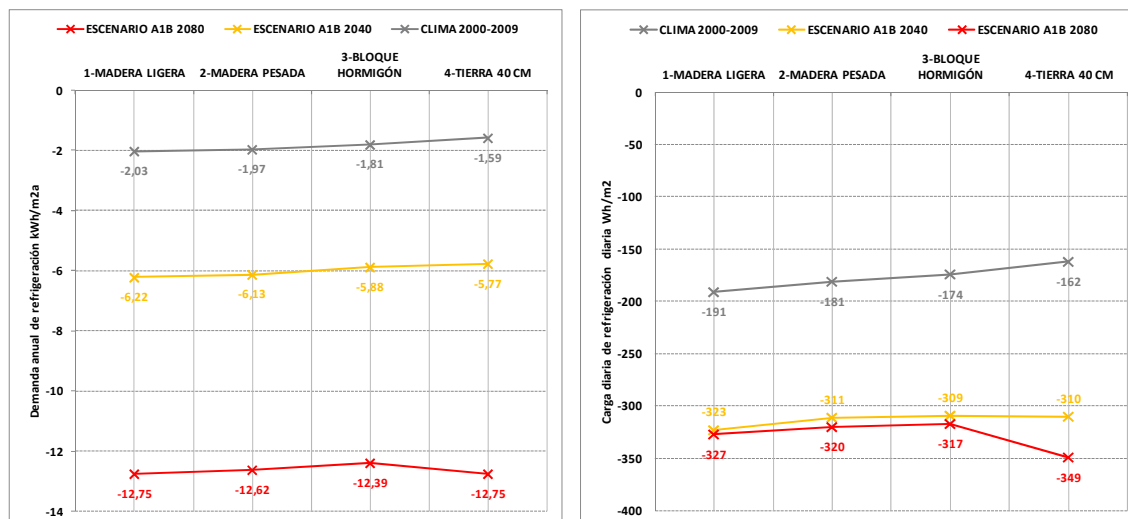


Figura 8.15. Análisis capacidad térmica. Sistema con refrigeración activa, sin ventilación natural y sin deshumidificación. Demanda de refrigeración total anual (kWh/m²) y carga de refrigeración media diaria (W/m²) para la vivienda tipo [N_S_] en la Zona-6 Tudela. Comparativo del clima estadístico 2000-2009, y los escenarios de cambio climático 2040 A1B y 2080 A1B [Elaboración propia].

8.4 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE LA INERCIA TÉRMICA EN FACHADAS

Este apartado valora la conveniencia de utilizar materiales pesados o ligeros para valorar su comportamiento frente a los periodos de sobrecalentamiento.

Con los sistemas de ventilación natural, el análisis de la capacidad térmica de las fachadas en el clima estadístico muestra que la alta inercia térmica reduce la amplitud de las temperaturas máximas y mínimas. Una fachada pesada hace desaparecer prácticamente las horas $>28^{\circ}\text{C}$ en todas las ciudades de referencia (Fig. 8.1). La diferencia entre temperaturas máximas se amplía a $1,2^{\circ}\text{C}$ en la ciudad de Hondarribia mientras que es de $1,4^{\circ}\text{C}$ en Tudela. En Tudela observamos que el porcentaje de horas nocturnas $>25^{\circ}\text{C}$ se reduce igualmente en 3 puntos en el mes de agosto (del 16% al 13%).

Igualmente, el efecto contrario se produce al bajar más rápidamente las temperaturas en las estructuras ligeras respecto a las pesadas. La modelización expresa valores de temperatura operativa como media de la temperatura del aire respecto de la temperatura radiante de los cerramientos. Es de suponer que la alta capacidad térmica hace que las fachadas estén a mayor temperatura y tarde más en bajar los valores con el enfriamiento nocturno por el desfase del material.

Un análisis de la repercusión del cambio climático eligiendo un escenario intermedio (A1B) muestra que para el año 2040 se siguen produciendo el mismo efecto de disminución en las amplitudes térmicas con los sistemas pesados (Fig. 8.6). Sin embargo, para el año 2080 (A1B), aunque el efecto se mantiene, el sistema no es capaz por sí solo de mejorar las condiciones de confort de la vivienda analizada, aumentando incluso las horas $>25^{\circ}\text{C}$ en los sistemas pesado respecto de los ligeros (Fig. 8.8). Este efecto es mostrado en la Figura 8.12.

Al activar la refrigeración con una ventilación nocturna baja (VNN-Baja) observamos como en el escenario 2080 A1B se produce una mayor demanda de energía para

refrigeración en los sistemas pesados que en los ligeros, invirtiéndose la tendencia del clima estadístico.

En los modelos estudiados para los climas de referencia que abarcan este trabajo se concluye que la utilización de cerramientos pesados permite amortiguar la diferencia entre temperaturas máximas y mínimas, efecto conocido de la inercia térmica, y reducir sobre todo los periodos de temperaturas $>28^{\circ}\text{C}$. Sin embargo, este efecto no es determinante en su globalidad para mejorar las prestaciones de las viviendas Passivhaus en los climas futuros.

9 CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación ha quedado patente la dificultad de trasladar un estándar bien adaptado al clima Centroeuropeo a climas más suaves sin antes realizar una profunda reflexión de las consecuencias sobre la capacidad de mantener el confort especialmente en el periodo estival. Recordando las hipótesis de partida de esta Tesis, la tendencia que existe en Europa de utilizar estos modelos de construcción para alcanzar los objetivos de la Directiva 2010/31 puede repercutir muy negativamente en el confort interior de las viviendas tanto con la utilización de climas de referencia como con los escenarios climáticos de futuro en el área estudiada.

El análisis de la aplicación de un estándar conservativo de la energía en climas de temperaturas medias moderadas como las que abarca este estudio ha demostrado la gran repercusión sobre el confort que puede tener sobre las viviendas al volverlas altamente sensibles al sobrecalentamiento si no se adoptan las medidas adecuadas. Aunque como se avanzó el análisis se corresponde a un estándar de carácter privado y de aplicación voluntaria, hemos visto como la tendencia en la regulación Europea para el ahorro energético tienden a preocuparse por el ahorro de consumo de energía en el periodo frío, lo que lleva a una mayor estanqueidad y aislamiento generando un aumento en la demanda de energía para refrigeración, importante en los climas del sur de Europa.

La gran influencia que tienen los países de Centroeuropa sobre las regulaciones europeas y la falta de una visión global del problema hacen que, ante la urgencia generada por las Directivas europeas haya una tendencia a aplicar procedimientos contrastados en otras latitudes sin una adaptación del sistema a las condiciones climáticas tan diferentes de las originales.

En nuestra región, las administraciones siguiendo la tendencia marcada desde Europa, están comenzado a promover viviendas aplicando el estándar Centroeuropeo para alcanzar los objetivos de ahorro energético marcados por la Directiva Europea 2010/31/UE. En este sentido, la Sociedad Pública de Promoción de Vivienda (VISESA) tiene a fecha de 2015 dos promociones de viviendas en fase de construcción, una bajo el estándar Passivhaus y la segunda construida íntegramente en mediante paneles de madera contralaminada (CLT) y con un concepto de consumo energético cero.

Las viviendas de consumo energético cero, en fase de desarrollo en Hondarribia, siguen las premisas tipológicas habituales en vivienda pública en el País Vasco, una alta compacidad, huecos si protecciones fijas y dotados de protecciones móviles manuales estándar de persianas de aluminio. Consultado el Estudio de Arquitectura responsable del proyecto sobre las características técnicas del mismo, y a partir der la memoria de calidades del proyecto, se señalan algunos aspectos relevantes del mismo. En fachada se realiza un aislamiento sobre los paneles de madera de fibra mineral de 14 cm; en cubierta se dispone el mismo aislamiento con un espesor de 24 cm; las carpinterías tienen marcos con rotura de puente térmico y valor $U= 1.3 \text{ w/m}^2\text{K}$, con vidrios triples 4/12/4/12/3+3 y 5+5/12/4/12/3+3. Asimismo se dota de un sistema de ventilación de doble flujo, y una estanqueidad al aire no especificada, pero que según la tendencia de las promociones llevadas a cabo por VISESA y los requerimientos de la construcción en

madera, es esperable que sean elevados¹. No se incorpora ningún sistema de refrigeración al sistema de ventilación.

Sin embargo, como observamos en la planta (Fig. 9.1) no se incorporan protecciones fijas salvo en los balcones de los salones (independientemente de la orientación) y las protecciones solares móviles se concretan en persianas de aluminio enrollables de accionamiento manual. Se puede observar que, encuadrándolas a partir de la terminología del análisis realizado, las tipologías mostradas en la Figura 9.1, nueve viviendas en cada planta se corresponde con los tipos [N_o], [N_], [n_s_], [N_] y [Ne_] y [_So], [_S_], [_S_] y [eS_], todas de dimensiones muy ajustadas. Como vemos casi todas salvo las mono orientadas a norte se corresponderían con las más expuestas al sobrecalentamiento analizadas en este estudio. Las superficies de estas viviendas van de 36,69 m² a un máximo de 67,38 m².



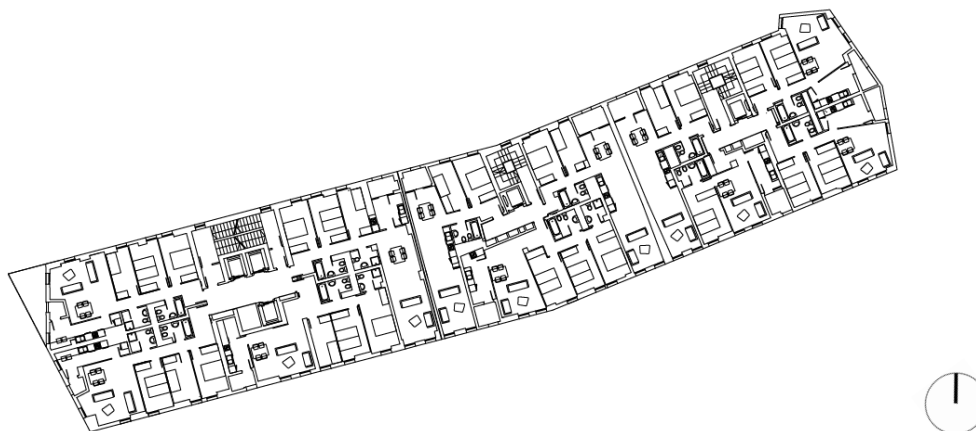
Figuras 9.1. Proyecto de 33 viviendas VPO Parcela a.300/2, área nº36, Muliarte. Hondarribia. Euskal TYM S.L. promovido por VISESA. Planta tipo con 9 viviendas, en la fila norte tipo [N_o], [N_], [n_s_], [N_] y [Ne_] y en la fila del sur [_So], [_S_], [n_s_], [_S_] y [eS_]²

Similares características tienen las 170 viviendas (103 VPO + 63 viviendas sociales) en Bolueta, Bilbao, en fase de construcción³. En este caso se anuncian como las primeras viviendas con estándar Passivhaus del País Vasco.

¹ Véase por ejemplo los estudios sobre estanqueidad realizados en vivienda pública por [MEISS, FEIJÓ 2013].

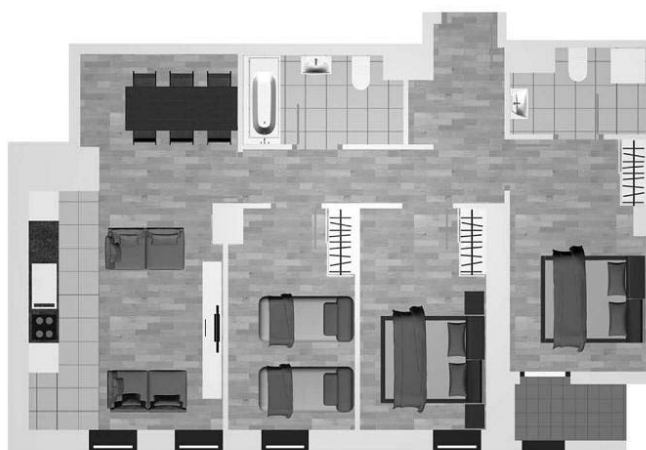
² El estudio EUSKAL TYM, integrado en TYM Asociados realizan el Proyecto de Ejecución a partir de un Proyecto Básico facilitado por VISESA.

³ Véase el Diario de Noticias de Bizkaia Deia 21 de julio de 2015, o el Correo de Vizcaya de la misma fecha.



Figuras 9.2. Proyecto de 170 viviendas (103 VPO + 63 viviendas sociales) en Bolueta, Bilbao. V arquitectos, promovidas por la Sociedad Pública de Vivienda del País Vasco (VISESA). Imagen exterior [varquitectos.com] y planta de concurso de ordenación de IDOM.

Una imagen de una planta promocional permite observar que se mantienen los criterios tipológicos de la promoción pública pero con aumento considerable en el espesor de fachadas (Fig. 9.3).



Figuras 9.3. Proyecto de 170 viviendas (103 VPO + 63 viviendas sociales) en Bolueta, Bilbao. V arquitectos, promovidas por la Sociedad Pública de Vivienda del País Vasco (VISESA). Plano promocional de vivienda de 3 dormitorios y 80 m² [VISESA].

Están en marcha otras promociones en marcha en Navarra que utilizan el reclamo del ahorro energético tanto por parte de las promotoras como de los arquitectos⁴.

Por tanto, en este momento se están desarrollando promociones que mantienen una alta compacidad propia de la vivienda colectiva de promoción pública aplicando el estándar Passivhaus o adaptadas a los requisitos de edificios de consumo energético casi cero sin realizar las adaptaciones al clima que este estudio propone y que resumimos a continuación.

⁴ Véase promoción www.edificiozero2020.com de Construcciones Domeño o <http://www.varquitectos.com/noticias/233-varquitectos-soto.html>

9.1 PROTECCIONES SOLARES

Como hemos visto, las protecciones solares son necesarias para controlar de una forma eficaz el exceso de radiación solar, no solo en los meses de verano, sino también en cualquier época del año en la que concurren altas temperaturas, que estadísticamente vemos que ocurre en los meses de transición, octubre y abril y dependiendo de los aportes internos que tenga la vivienda durante todo el año si no se realiza una activación correcta de las protecciones móviles.

Durante los meses más cálidos se ha observado que el funcionamiento de las protecciones solares móviles puede activarse prácticamente durante la totalidad del día o por lo menos durante las horas en las que la radiación incida sobre las fachadas de cada tipología con aberturas. La primera reflexión práctica que esto genera es que se deben establecer sistemas de protección solar que no aislen a los usuarios del exterior, aplicando esta premisa como concepto arquitectónico fundamental. En este caso, el sistema más eficaz es una terraza bien dimensionada con orientación sur. Este espacio permite mantener en sombra la fachada (huecos incluidos) sin perder visión del exterior. Con las protecciones solares adecuadas, la orientación puede ser además de la sur, la este y la oeste (Fig. 9.4).

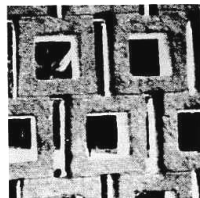


Figuras 9.4. Viviendas en Hegianwandweg, Zúrich, EM2N Arkitekten.

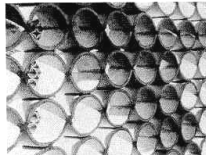
Sabemos sin embargo que esta tipología, aún siendo la más beneficiosa desde el punto de vista bioclimático, no va a ser la predominante en las promociones de vivienda. Otros factores seguirán condicionando durante muchos años las tipologías de vivienda, empezando por la topografía del medio físico en el que se sitúen las parcelas, condicionantes urbanísticos así como la necesidad de realizar promociones con alto ratio de superficie destinado a vivienda respecto a la superficie de elementos comunes. Asumimos pues que la solución tipológica al problema no es posible, y que por tanto, habrá que dotar de soluciones específicas a cada tipo edificatorio resultante.

En el caso de las protecciones solares fijas sabemos, por la numerosa bibliografía que las propias de orientaciones Este y Oeste tienen una geometría compleja, pero que proporcionan unas posibilidades estéticas a los diseñadores muy amplias. No ha sido el objetivo de este trabajo desarrollar este tipo de protecciones que por otra parte han sido utilizadas ampliamente durante todo el siglo XX en numerosos proyectos de alta calidad arquitectónica y cuya funcionalidad está perfectamente descrita en libros como el

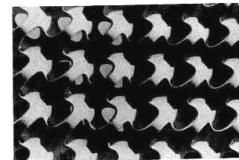
tratado de protección solar de los hermanos Olgay (Fig. 9.5) cuyos trabajos se originan en la Universidad de Princeton en los años 50 del siglo XX [OLGYAY, OLGAY 1976].



28. J.L. Couter, Bizerte, Tunisia.



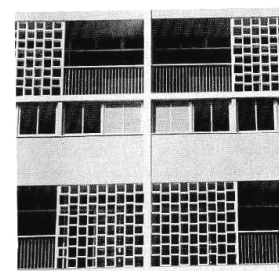
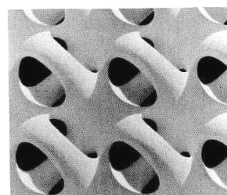
30. Anshen & Allen, Taxco, Mexico.



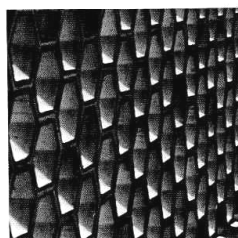
33-34. E. Hauer, sculptor, Vienna, Austria.



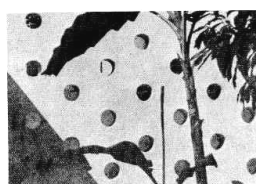
31. M. Breuer, Bronxville, N.Y.



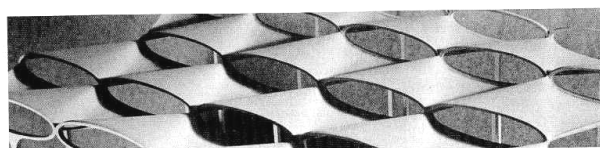
36. A. Reidy, Rio de Janeiro.



32. Open tile wall.



29. A.E. Reidy, Rio de Janeiro.



35. H. Caminos, Tucuman, Argentina.

Figuras 9.5. Compendio de fachadas recopiladas en el tratado de protección solar "Solar Control & Shading Devices" [OLGYAY, OLGAY 1976].

En cualquier caso, la terraza continua, dotada de elementos verticales móviles puede ser una solución de compromiso sin grandes inversiones técnicas. Este elemento bien dimensionado permite dejar en sombra el espacio terraza manteniendo el usuario una relación abierta interior-exterior (Fig. 9.6).



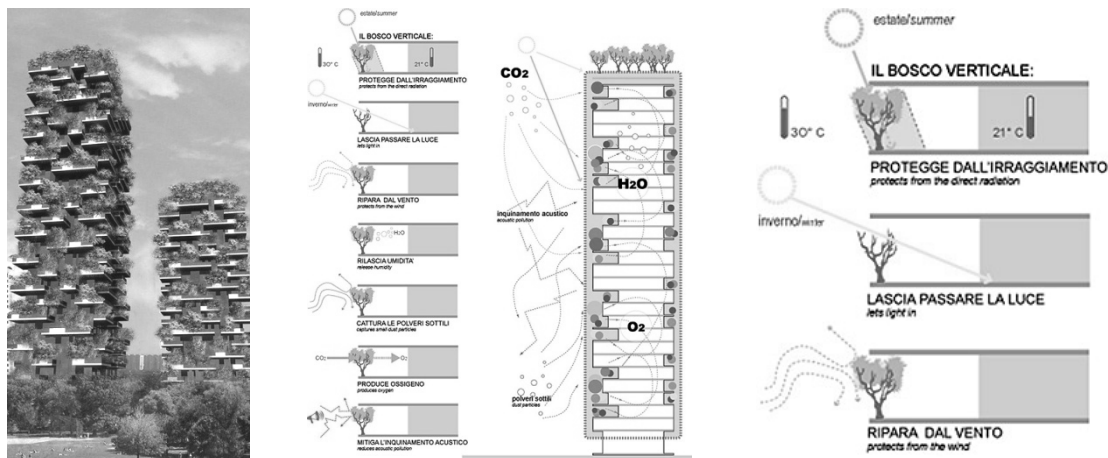
Figuras 9.6. Sistema de filtro solar en el exterior de las terrazas. Viviendas en Hofwiesenstrasse 140 Zürich. Gigon / Guyer Architekten [www.minergie.com]

Soluciones más programáticas se están realizando en el mundo, significando una idea de edificio sostenible en contacto con el entorno pero que, a pesar de aparentar ser soluciones más propagandísticas que eficaces, pueden resultar a la larga muy beneficiosas para obtener un confort adecuado en las viviendas (Fig. 9.7).



Figuras 9.7. Utilización de macetas de bambú como argumentación estética y protección solar. Tower Flower. Paris 17. Edouard François arquitecto [<http://www.edouardfrancois.com>]

En algunos proyectos, la propia vegetación se ha convertido en el leitmotiv de la promoción, como es el caso de la Torre denominada “Bosco Verticale” en Milán, del estudio Boeri Arquitectos, con un indudable éxito mediático (Fig. 9.8).



Figuras 9.8. Edificio de viviendas “Bosco Verticale”. Imagen exterior y croquis del funcionamiento bioclimático de las terrazas y el sistema de riego de la vegetación. Stefano Boeri arquitectos [www.stefanoboeriarchitetti.net].

Por tanto, las protecciones solares no sólo son un sistema imprescindible para aminorar los efectos del sobrecalentamiento en las viviendas, sino también un medio de expresar una nueva arquitectura más acorde con el siglo en que vivimos, con enormes posibilidades estéticas frente al manido movimiento de huecos y composición de colores que se ha producido en la arquitectura de vivienda social como recurso de expresión posibilista por parte de los arquitectos.

La utilización de terrazas genera una riqueza de espacios en el que las relaciones de interior-exterior en vivienda repercuten en un mayor disfrute de la vivienda contemporánea⁵, y permiten un mayor contacto con la naturaleza.

En el caso de las protecciones móviles, será necesario establecer unos criterios básicos para su incorporación en las viviendas construidas bajo el estándar. Como ejemplo mencionamos algunos puntos que el estándar Minergie tiene determinados en varios documentos⁶ de carácter obligatorio que regulan la disposición de las protecciones solares.

-En primer lugar es necesario utilizar sistemas certificados por el estándar. En un amplio documento se regulan las características técnicas de todos los sistemas posibles en el mercado, estableciendo el protocolo de certificación de los productos. Esto permite utilizar sistemas con valores de sombreado exactos certificados.

-Situación de las protecciones al exterior. Esto garantiza al menos el triple de eficacia frente a los sistemas situados al interior.

-Se recomienda utilizar sistemas de regulación automatizados.

-Recomienda utilizar obligatoriamente estos sistemas a partir de un 40% de superficie vidriada (para el clima de Suiza). A partir de estos valores propone diferentes soluciones de protección solar.

-Recomienda un máximo de superficie vidriada por estancia en función de si se disponen de vuelos o no.

En el caso que se ha analizado, las superficies vidriadas no parece que vayan a sufrir grandes variaciones, pero por lo visto en los resultados, la gran incidencia solar unida a los demás factores mencionados durante el trabajo, obligan a instalar sistemas de protección solar automatizados en cualquiera de los casos. Toda actuación que incluya protecciones solares fijas bien dimensionadas permitirá prescindir en mayor o menor medida de estos sistemas automatizados.

9.2 VENTILACIÓN NOCTURNA

La ventilación natural nocturna se ha demostrado como un sistema que conjugado con la protección solar, puede llegar a servir para mantener el confort en todas las zonas climáticas salvo con ciertas tipologías en la zona Z6 representada por Tudela. Aunque como se resumió en el Capítulo 5 la ventilación utilizada requiere de un alto grado de atención por parte de los usuarios, tanto para abrir las ventanas cuando se puede aprovechar la temperatura exterior como para mantenerlas cerradas cuando el calor exterior es excesivo, nos ha servido para constatar que la inclusión de sistemas pasivos que aprovechen la ventilación nocturna pueden ayudar a mantener un alto grado de confort en las viviendas.

Esto implica analizar adecuadamente el emplazamiento en el que se vaya a situar la promoción puesto que un factor fundamental será el ambiente acústico que pueda existir en el exterior. En ambientes urbanos ruidosos no se podrá utilizar la apertura de las

⁵ Sobre este tema es muy recomendable el libro “Vivienda y densidad: conceptos, diseño, construcción”, en el que se profundiza en la relación del ser humano con el medio ambiente a través del deseo de vivir en contacto con la naturaleza, sustentándose en la historia de la vivienda unifamiliar y los intentos de dotar a la vivienda colectiva las ventajas de la vivienda unifamiliar a través de las terrazas [Schittich. C. “Vivienda y densidad : conceptos, diseño, construcción. Institut für Internationale Architektur-Dokumentation. Birkhäuser 2005. ISBN 3764375302.

⁶ “Règlement du module MINERGIE® Protection solaire” y “Protection thermique estivale pour les logements” ambos disponibles gratuitamente en [www-minergie.ch]

ventanas. Igualmente ciertas tipologías como por ejemplo las viviendas en planta baja, tendrán el mismo problema por cuestiones de seguridad.

En estos casos se puede diseñar tipologías que incorporen patios a los que den los dormitorios para al menos garantizar durante la noche una ventilación en ausencia de ruido. Lamentablemente, la dinámica del planeamiento urbano no suele considerar estos condicionantes desde el principio del proyecto⁷, y muchas veces este tipo de soluciones no son posibles.

Por esta razón se ha programado en las simulaciones una ventilación que mantiene durante las horas nocturnas una superficie abierta de ventanas y la máxima apertura se realiza al comienzo de la noche y por la mañana. En todo caso, como se concluyó, dicha ventilación requeriría también de un cierto control con el excesivo descenso de las temperaturas, por lo que sería valorable la utilización de sistemas automatizados de cierre de ventanas. El PHI ha realizado algunas pruebas en este sentido [KAH *et ál.* 2010].

En el caso de Suiza, Minergie recomienda al menos un 2-3% se la superficie de la vivienda en aberturas practicables en el caso de viviendas sin ventilación cruzada (De fachada a fachada opuesta, por lo que no se admiten fachadas consecutivas) y de 1-2% de superficie para viviendas con ventilación cruzada.

Para los lugares en los que no se pueda utilizar la ventilación natural como sistema de enfriamiento pasivo se ha estudiado la utilización de sistemas de ventilación mecánica. Estos sistemas tienen la ventaja de no necesitar la apertura de las ventanas y permiten un control automático en función de las temperaturas interiores y exteriores, aprovechando al máximo las horas más favorables.

Sin embargo se ha concluye que mediante la utilización de los sistemas de ventilación suave típicos de las promociones Passivhaus sólo se puede garantizar el confort en invierno y en verano solamente en las promociones situadas en el clima de montaña. Para el verano y en las otras zonas estudiadas, sería necesario un sistema convencional de ventilación mecánica para llegar a las capacidades máximas utilizadas de 8 r/h, sirviendo valores mínimos de 4 r/h en la zona costera. Estos sistemas tienen algunas desventajas como el de consumir mucha energía en su funcionamiento, generar ruidos, razón de quejas habituales (ya comentadas en el análisis del Capítulo 2), y necesita un espacio mayor para trasportar grandes caudales a velocidades adecuadas dentro de las viviendas y en los espacios comunes.

Otras medidas fundamentales serán la utilización del by-pass automático programado en función de la temperatura y la toma del aire desde zonas sombrías del edificio (a norte a ser posible).

En todo caso, el sistema de ventilación mecánica sería válido en todas las zonas climáticas salvo en la Z6 cuya ciudad de referencia es Tudela.

9.3 REFRIGERACIÓN ACTIVA

En aquellos casos en los que la ventilación nocturna no sea suficiente para regular el confort interior (o sea imposible por problemas acústicos o de seguridad) sería razonable prever la instalación de sistemas que introduzcan aire frío en el interior de las viviendas. La primera opción a valorar sería la utilización de sistemas de intercambio con el terreno en el sistema de ventilación, intercambiadores tierra-aire (ITA).

⁷ Algunas promociones desarrolladas desde una visión bioclimática desde el inicio del proyecto si toman en consideración este tipo de cuestiones urbanas por ejemplo la ecociudad de Sarriguren en las afueras de Pamplona y la ecociudad de Valdespartera en Zaragoza.

En las zonas costeras con un alto grado de humedad se puede utilizar un sistema especial de ITA en el que el aire no discurre por una red de tuberías, sino por un pozo con una mezcla de grava y arena en cuyo fondo se encuentra la aspiración del sistema de ventilación. Este sistema permite prescindir del filtro de aire y además se regula la humedad de forma natural⁸.

También es posible utilizar un sistema de suelo radiante o forjado termoactivo que incorpore una bomba de calor conectada a una sonda geotérmica que permita su utilización tanto en invierno como en verano. En este caso la solución se descartaría en las zonas costeras puesto que la superficie enfriada (el suelo) provocaría humedades por condensación.

En todo caso, si se valoran los datos analizados con los escenarios de cambio climático, parece que la refrigeración activa (preferiblemente a partir de energías renovables) puede llegar a ser necesaria en todas las zonas climáticas salvo en la costa. En este caso el problema fundamental parece sustanciarse en una predicción de niveles muy altos de humedad ambiental.

9.4 APORTES INTERNOS

El análisis de los aportes internos ha demostrado ser un aspecto fundamental en los resultados obtenidos. Hemos visto como la consideración que realiza el PHI sobre los aportes internos se refiere a viviendas con mayor ratio superficie útil por persona que la que se puede dar en vivienda social en nuestro entorno. Véase por ejemplo la promoción señalada en la Figura 9.1, en la que viviendas de 2 habitaciones apenas llegan a los 55 m².

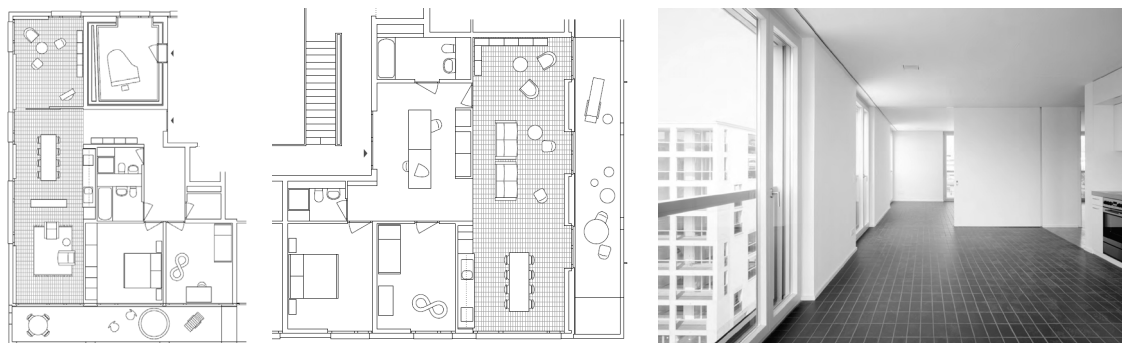
Igualmente, a la hora de considerar el confort en verano, un cierto margen de seguridad debe ser considerado. Si para el invierno se toman valores bajos para considerar la posibilidad de viviendas poco ocupadas, en verano se deben considerar valores más altos para estudiar la inclusión de medidas que eviten el sobrecalentamiento en las viviendas.

Esta cuestión tiene un amplio campo de estudio y como hemos visto es el posible origen de las grandes diferencias entre la previsión que hace el PHI y algunas de las encuestas finales de los usuarios descritas en el Capítulo 2.2 que se muestran en desacuerdo con el confort interior de verano.

Recomendar la inclusión de aparatos electrodomésticos de alta eficiencia energética como hace el PHI puede ser sólo un primer paso. En el caso que nos ocupa, otras reflexiones de mayor calado deberían tenerse en cuenta. Por ejemplo, ampliar las superficies útiles de las viviendas a estándares que se aproximen más a los utilizados en la construcción de viviendas sociales en otros países. Por ejemplo en Suiza, país en el que los ratios de superficie útil por persona en vivienda social es de los más altos de Europa, se fomenta la inclusión de un “área residual” que puede suponer el 16% del área mínima total y que se añade a espacios sin uso, como puede ser un hall, para dotarlos de una función extra, por ejemplo para servir de despacho o sala de juegos (Fig. 9.9) [RUIZ CABRERO *et ál* 2012]. A esto contribuye también la inclusión de espacios colectivos comunes que desahogan a las viviendas, como salas de reuniones, lavanderías e incluso salas de música⁹.

⁸ Ver <http://www.bosy-online.de/Luftbrunnen.htm>

⁹ En Estados Unidos sin embargo, las tendencias ecológicas indican la necesidad de reducir el tamaño de las viviendas, que han aumentado un 60% desde 1973 hasta situarse en 246m². Esto redundaría en un



Figuras 9.9. Viviendas sociales en Zúrich. Adrien Streich. Dos tipos de vivienda con dos habitaciones y espacios sin uso con la superficie residual añadida. La sala grafiada con un piano es una sala para ensayo de música de toda la comunidad [www.adrianstreich.ch].

Una acción inmediata que podría realizarse es aumentar el volumen total de la vivienda aumentando la altura libre de techos.

9.5 MODELOS DE CONFORT

Los modelos de confort son los que más discusiones generan ya que los estudios en los que se basan en datos estadísticos subjetivos y especialmente los modelos adaptativos consideran temperaturas interiores dentro de las playas de confort que difícilmente tolerarían muchas personas en nuestro entorno sociocultural. Un artículo interesante sobre el confort en la revista belga del estándar Passivhaus “*Be passiv*” [DEPREZ 2013], muestra que la temperatura de confort a principio del siglo XX era de 14 a 16°C y además se recopilan testimonios de personas ancianas describiendo las condiciones de confort en las escuelas en que estudiaron en su niñez, relatando la sensación de frío en estos espacios. Se concluye que finalmente “demasiado confort puede acabar con el confort”, al considerar que las condiciones de poca adaptabilidad a los diferentes ambientes térmicos son cada vez menores, y por tanto, puede llegar a ser difícil sentirse cómodo en un espacio que se desvíe un mínimo de las expectativas de las personas¹⁰.

En cualquier caso, tendríamos que reincidir en lo comentado en el Capítulo 2 sobre el confort térmico y salud, en el que avanzábamos que la población de personas mayores de 64 años es ya del 16,9%, con previsiones de aumentar al 22,5% para el año 2030, esperando que casi un 35% de estos sean dependientes. Como se comentó, las temperaturas afectan especialmente a las personas mayores, siendo a partir de 25°C donde se detecta que comienza el aumento de mortalidad y habida cuenta del elevado porcentaje de la población que va a suponer, es necesario considerar unas condiciones de confort con altas expectativas para este sector de la población. Añadir que este perfil de usuarios de la vivienda pasa numerosas horas en la vivienda y que esto incide en un valor alto de aportes internos.

menor consumo en el hogar y fomentaría la vida en el entorno urbano. *Revista National Geographic* noviembre 2015.

¹⁰ Existen relatos sobre cómo las culturas indígenas eran capaces de adaptarse al frío. Por ejemplo, sobre los indios fueguinos en 1832, Darwin hizo referencia a la desnudez de los yámanas: “un fueguino desnudo, sus largos cabellos le cubrían casi por completo, su rostro estaba pintado con diversos colores... en las... islas Wollaston, una canoa ocupada por seis fueguinos... Los hombres llevaban... una piel de nutria o unos trozos pequeños de cuero, aproximadamente del tamaño de un pañuelo grande que apenas... alcanzaba a cubrirles las espaldas hasta las caderas... Llovía mucho, y el agua resbalaba sobre su cuerpo... una mujer llevando... un niño recién nacido... caían sobre ella los copos de nieve... así como sobre la piel del niño.” (Gusinde pp. 41- 42 citando a Darwin).

Por otra parte, el modelo utilizado por el PHI en el que se miden de forma total las horas por encima de 25°C puede ser limitado. En la zona de costa, la combinación de la temperatura y la humedad hace necesario un estudio preciso de las condiciones de confort durante el verano, ya que un aporte extra de aire puede provocar un enfriamiento del ambiente pero también un aumento de la humedad, con lo que la sensación de confort puede ser peor que con altas temperaturas.

Por último, la inclusión en este estudio de la contabilización de las horas nocturnas >25°C permite visualizar el confort durante el periodo de sueño, el más afectado por las altas temperaturas.

9.6 CAPACIDAD TÉRMICA

Aunque como se ha visto, la capacidad térmica de los materiales no es un factor determinante para evitar el sobrecalentamiento, sí genera una disminución de los picos máximos de temperatura (aunque también de los mínimos). Atendiendo a las recomendaciones de Minergie, si las viviendas se construyen con losas de hormigón visto, estas sirven para cubrir el 80% de la capacidad térmica que necesita un edificio.

Para su óptimo funcionamiento se debe combinar con la ventilación nocturna. Es necesario que esta se distribuya de manera eficaz en la construcción puesto que el aprovechamiento es máximo en los primeros centímetros de la misma. Es por esto que será al menos necesario 10 cm de materiales pesados con el máximo de superficie aparente sin estar revestidos por materiales excesivamente aislantes (se recomienda un máximo del 50% revestido). Espesores de más de 20 cm no tienen mayor incidencia [ROULET 2008-b].

9.7 CAMBIO CLIMÁTICO

Seguramente el cambio climático previsto en los escenarios estudiados va a favorecer la disminución del consumo en calefacción y el aumento de las temperaturas en verano con el consiguiente aumento de la carga de refrigeración o en el número de horas de desconfort. La cuestión que se suscita es si debemos seguir realizando edificios para el clima actual o prepararlos para el cambio climático que predicen numerosos informes científicos.

En este trabajo, analizando especialmente el escenario de cambio climático medio A1B, predice para 2080 que los sistemas de ventilación natural no pueden satisfacer las necesidades de confort de las viviendas. Los sistemas con refrigeración activa tampoco cumplirían con el estándar Passivhaus actual en todas las zonas, menos en la montaña y en la costa, aunque en esta última zona con graves problemas de confort debido a la alta humedad.

La cuestión que se plantea ante estos datos es si no deberíamos estar preparando los edificios para ser más resilientes a las olas de calor que construyendo con una mentalidad de ahorro en el gasto energético invernal.

Sea cuales sean las decisiones en cuanto a los niveles de aislamiento que deben alcanzar finalmente los edificios, parece claro que prepararse para un aumento de temperaturas en los edificios es una decisión que parece razonable a partir de la cantidad de las alarmas sobre el cambio climático que se están produciendo. Cualquier acción destinada a diseñar edificios capaces de soportar estas altas temperaturas utilizando los sistemas clásicos de la arquitectura bioclimática redundará en un mayor confort a futuro de los edificios construidos en la actualidad. En definitiva, las dos alternativas, construir para el clima futuro o para el clima estadístico pueden ser

compatibles.

9.8 TIPOLOGÍAS Y CONFIGURACIÓN URBANA

El aspecto tipológico es de crucial interés, ya que como hemos visto, la repercusión del sobrecalentamiento puede ser muy diferente en función de la orientación de cada apartamento. Como se comentó en el Capítulo 4º, este estudio asume que la realización de tipologías dentro de las promociones con prácticamente todas las orientaciones posibles va a continuar en el futuro. La complicada orografía en la zona norte hace inevitable que esto ocurra. Sin embargo, en la zona media y sur del área de estudio sí se debería considerar la disposición tipológica como factor determinante en los resultados finales de confort.

En este sentido, se recomienda que las promociones tengan una homogeneidad tipológica a fin de dotar de soluciones similares a todo el edificio y que por ello no se produzca un rango de resultados demasiado elevado. Si en una promoción juntamos viviendas situadas en fachadas norte con viviendas situadas a sur, las viviendas a norte menos soleadas obligarán a soluciones constructivas con un alto nivel de aislamiento que repercutirán en el confort de verano en las viviendas situadas al sur de la promoción salvo que se realicen soluciones constructivas ad hoc para cada parte del edificio, a veces factible como el tipo de vidrio en las ventanas, y otras con complicaciones geométricas que dificultarán su realización, como por ejemplo en los espesores de aislamiento.

En este sentido, aunque no se ha analizado con excesiva profundidad en este trabajo, indicar que esta alta disparidad la encontramos entre las viviendas tipo y las viviendas situadas sobre espacios abiertos y bajo cubierta. Las viviendas bajo cubierta pueden llegar a ser las que mayores demandas de calefacción tengan en invierno y las que mayores problemas de sobrecalentamiento tengan en verano. Eliminar este tipo de viviendas utilizando los espacios de bajo cubierta como trasteros u otros elementos comunes constituye una solución típica bioclimática que permite optimizar las soluciones de fachada y ventanas en las viviendas tipo. Otras soluciones pueden pasar por la creación de cubiertas vegetales que amortigüen el impacto de la radiación solar en verano o las cubiertas altamente reflectantes.

Por tanto, unas viviendas situadas en una ladera norte de la zona costera sin afecciones acústicas del entorno podrán funcionar perfectamente con el estándar Passivhaus sin demasiados inconvenientes, incluso limitando los elementos destinados a la protección solar. Por otro lado, unas viviendas orientadas a sur, este y oeste, deberán cuidar el tipo de protecciones y la posibilidad de realizar una ventilación adecuada al llegar la noche.

9.9 ANÁLISIS POR ZONAS CLIMÁTICAS

Si atendemos a la zonificación climática efectuada, llegaríamos a las siguientes conclusiones:

-Las viviendas situadas en la zona costera Z1 pueden alcanzar el estándar Passivhaus con espesores relativamente reducidos de aislamiento. Sin embargo la protección solar adecuada en cada orientación se impone como premisa fundamental. Con la ventilación nocturna se puede alcanzar el confort necesario siempre que no haya un exceso de humedad, lo que podría impedir la utilización de este sistema y tener que recurrir a sistemas de ventilación mecánica con deshumidificación.

-En la zona media Z2, el estándar necesita de espesores altos de aislamiento. En esta zona se dan altas temperaturas en verano pero con noches relativamente frescas. La solución Passivhaus se debe adaptar al periodo estival con unas protecciones solares

fijas y móviles adecuadas para no tener problemas de sobrecalentamiento en verano. Tanto la solución con ventilación mecánica como la solución con ventilación nocturna natural son factibles.

-En las zonas Z3, Z4 y Z5, se produce una transición hacia el clima Mediterráneo continentalizado. En estas zonas se reducen los espesores de aislamiento respecto a la zona Z2, pero se mantienen algo más altos que en la zona costera en forjados sobre espacios abiertos y cubiertas. Según avanzamos hacia el Sur las viviendas encuentran más problemas para garantizar el confort en verano.

-En la zona Z6, la más al sur del territorio de estudio, las viviendas con el estándar Passivhaus y adaptadas al clima estival con protecciones solares y ventilación nocturna superan los periodos de sobrecalentamiento establecidos en los modelos ISO 7730 y los del PHI. Sin embargo todavía son factibles si se consideran los modelos adaptativos de la norma EN 15251. En todo caso, estas viviendas se encuentran en una situación al límite del confort. Sería factible mejorar el confort aumentando la apertura de las ventanas durante la noche pero a costa de tener periodos nocturnos con temperaturas algo frescas.

-En la zona Z7, correspondiente con el clima de montaña, el estándar funciona con espesores altos de aislamiento, próximos a los del estándar en los países Centroeuropeos. En verano, una adecuada protección solar combinada con la ventilación nocturna mantendrá las viviendas dentro de las playas de confort. Es factible incluso la utilización de la ventilación mecánica suave para alcanzar el confort durante todo el año debido a los bajos valores de caudal necesarios.

9.10 CONCLUSIONES FINALES

En el área climática analizada, la realización de viviendas colectivas buscando la reducción del consumo de energía mediante la utilización de conceptos conservativos de la energía como el estándar Passivhaus debe ser acompañada de una adaptación de las viviendas a todas las soluciones factibles propuestas por la arquitectura bioclimática para combatir los efectos del sobrecalentamiento sobre el confort interior de los periodos de estivales. Estas medidas incluyen de forma obligatoria los sistemas más efectivos, en primer lugar la inclusión de sistemas de protección solar fijos y la utilización de sistemas de protección solar externos regulados de forma automática, y en segundo lugar la utilización de la ventilación natural nocturna en los sitios en los que sea factible, y mecánica donde no sea posible.

La adopción de estos sistemas de protección solar debe incluir una valoración de la afección que éstas pueden tener en la configuración de la vivienda al generar periodos largos sin luz natural. Una simple automatización de las persianas puede no ser suficiente y será necesario buscar soluciones arquitectónicas que minimicen el impacto de la protección sobre la iluminación natural y las visuales desde el interior de la vivienda.

En cuanto a la ventilación natural, deberá ser valorada en toda su dimensión teniendo en cuenta que sea factible, que el entorno urbano lo posibilite tanto por el ruido exterior como por cuestiones de seguridad. Además se deberá estudiar la situación de posibles islas urbanas que impidan un correcto funcionamiento del sistema.

La instalación de sistemas de refrigeración activa se debe valorar cuanto más al sur de la región se vaya, especialmente en las zonas climáticas Z3, Z4, Z5 y Z6, máxime teniendo en cuenta los datos arrojados por los escenarios de cambio climático.

La complejidad climática del área estudiada hace necesario estudios previos que

incorporen el análisis de simulaciones dinámicas del funcionamiento horario de los edificios. En este sentido recuperamos una de las conclusiones del estudio de viviendas Passivhaus en el Mediterráneo **“...es importante señalar que las diferencias de los climas y los efectos en los parámetros individuales de los edificios son tan amplios que un balance energético adecuado debe ser realizado para cada vivienda Passivhaus. El uso de los valores estándares para diferentes edificios no es apropiado.”** [SCHNIEDERS 2009]. Esto último es uno de los errores más habituales en los que se está cayendo, al tomar las recomendaciones que hace el PHI para Centroeuropa (utilizados a modo de simplificación promocional) y aplicarlos directamente en nuestro clima.

Por último, señalar que la adopción del sistema Passivhaus necesita incorporar una visión global del problema que genera en el confort de la vivienda. En cierto sentido, necesita reorganizar todos los aspectos del diseño arquitectónico en función de unas premisas de funcionamiento muy diferentes a las establecidas en el ideario clásico de la arquitectura. Entender correctamente el cambio en el funcionamiento de la edificación en los aspectos constructivos energéticos dotará a los arquitectos de nuevas herramientas para desarrollar proyectos mejor adaptados al clima considerado.

10 FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACION

El primer paso para acotar en un futuro esta investigación sería la realización de un estudio en profundidad de la ocupación en vivienda colectiva de promoción pública. Esta tarea se encuentra con la dificultad de necesitar un acceso a las viviendas y a los datos del censo. Especialmente interesante sería el análisis de la ocupación en vivienda social, parque controlado por las administraciones y como consecuencia de las pequeñas dimensiones de dichas viviendas necesitaría una especial atención al impacto de los aportes internos de las personas.

En este mismo sentido sería necesario un análisis de los consumos eléctricos de los electrodomésticos y las eficiencias energéticas de los mismos en este tipo de viviendas. La reciente instalación de contadores eléctricos de lectura remota puede facilitar el acceso a estos datos.

En paralelo debería discurrir una investigación de los patrones de uso y ocupación de las viviendas en la especificidad climática del norte de España. Es evidente que los valores que introduce el CTE durante el verano pueden sufrir matizaciones en función del clima exterior, de la época del año y del perfil de los usuarios de las viviendas.

A partir de los datos de ocupación sería posible generar un modelo de confort limitando los márgenes que deben cumplir las condiciones de temperatura y humedad separando horarios diurnos, nocturnos, laborables y festivos. En este sentido, el próximo trabajo podría dirigirse a analizar el confort térmico a largo plazo como los que se recogen en las normas belgas y francesa, en la que se analiza la duración del sobrecalentamiento en periodos largos para valorar la repercusión de las olas de calor sobre los edificios.

Un estudio imprescindible sería la valoración de la inclusión de terrazas en la percepción psicológica del confort de verano. Mediante la utilización de encuestas se podría investigar sobre las dimensiones necesarias para llevar actividades reales dentro del hogar, desde comer al aire libre hasta cultivar huertos urbanos por ejemplo.

Como paso inmediato sería necesario recabar datos reales de las nuevas viviendas construidas desde las administraciones bajo el estándar de consumo energético casi nulo utilizando monitorizaciones y encuestas, diferenciando perfiles de habitantes para elaborar patrones de uso adecuados a la realidad de nuestro ámbito geográfico.

Respecto a la refrigeración activa, se debe avanzar en el estudio de la capacidad de los sistemas de intercambio tierra-aire (ITA) en las diferentes zonas climáticas como medio para mantener el confort durante el verano.

Se tendría que considerar un comparativo de los edificios adaptados al estándar Passivhaus con un edificio construido desde un concepto de “captador de la energía”. Denominamos concepto “captador de energía” a aquellos sistemas en los que predomina la captación solar de la energía frente al concepto conservador de la energía, en el que el edificio funciona al modo de un termo mantenimiento la energía captada reduciendo al máximo las pérdidas. Especialmente en la zona sur un concepto Passivhaus combinado con las medidas de enfriamiento pasivo puede llegar a no funcionar correctamente debido a la alta exigencia en los patrones de la ventilación natural y de sombreado necesarios. En estas zonas, un edificio bien orientado y que utilice todos los conceptos desarrollados por la arquitectura bioclimática unidos a un correcto aislamiento y estanqueidad podría tener un balance energético más ventajoso que el analizado en este estudio que debería ser valorado adecuadamente.

Por último, y especialmente en las zonas más cálidas de este estudio, se debe estudiar comparativo de las inversiones necesarias en la construcción de un edificio activo que utilice las energías renovables frente a la inversión en medidas pasivas conservativas del estándar Passivhaus. La gran radiación solar que se encuentra en toda la zona media y sur de este estudio puede hacer más rentables las inversiones en instalaciones que aprovechen la radiación solar que la sobreinversión que requiere el estándar Passivhaus. Utilizar sistemas de refrigeración a partir de la radiación solar por ejemplo, tiene un amplio campo de desarrollo.

11 BIBLIOGRAFÍA

11.1 BIBLIOGRAFIA MENCIONADA EN EL ESTUDIO

- [ADAMSON 1992] Adamson, B. *Passive Climatisation of Residential Buildings in China*. Lund University, Report TABK-92/3006 (1992)
- [AICIA 2009-1] AICIA. Grupo de Termotecnia de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad de Sevilla. **Condiciones de aceptación de Procedimientos alternativos a LIDER y CALENER**. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Madrid 2009.
- [AICIA 2009-2] AICIA. Grupo de Termotecnia de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad de Sevilla. **Condiciones de aceptación de Procedimientos alternativos a LIDER y CALENER. Anexos**. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Madrid 2009.
- [AEMET et ál. 2011] Agencia Estatal de meteorología y otros. **Atlas climático Ibérico**. Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Instituto de Meteorología de Portugal. Madrid 2011. ISBN: 978-84-7837-079-5
- [ALCOFORADO, ANDRADE 2006] Alcoforado M.J., Andrade H. **Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal), main features and modelling attempts**. Theoretical and Applied Climatology 84, 151–159 (2006)
- [ALLEY 2015] Alley R. **Será difícil vivir sin aire acondicionado**. Diario El País 14 de junio de 2015.
- [ALONSO et ál. 2004] Alonso M.S., Fidalgo R., Labajo J.L. **El Clima de las Ciudades. Isla De Calor De Salamanca**. Revista de Salud Ambiental. 2004;4(1-2): 25-29
- [ALVAREZ et ál. 2008] Álvarez S., González R., Molina J.L., Sánchez F.J. **Climatic zoning and its application to Spanish building energy performance regulations**. Energy and Buildings 40 (2008) 1984–1990. 2008 Elsevier
- [ALVAREZ et ál. 2010] Álvarez S., Sánchez de la Flor F.J., Salmerón J.M., Ruiz A. **Alternative cooling calculation methods: Comparative simulations**. EU project ASIEPI (Assessment and Improvement of the EPBD Impact, (for new buildings and building renovation)), 2010. Intelligent Energy Europe programme contract EIE/07/169/SI2.466278).
- [ALVAREZ, MOLINA 2009] Álvarez S., Molina J.L. **Stimulation of better summer comfort and reduced energy consumption for cooling by EPBD implementation. Additional requirements related to summer comfort and air conditioning**. EU project ASIEPI (Assessment and Improvement of the EPBD Impact, (for new buildings and building renovation)), 2010. Intelligent Energy Europe programme contract EIE/07/169/SI2.466278).
- [ÁLVAREZ, MOSÁCULA 2013] Álvarez Pelegrý, E. Mosácula Atienza, C. **Implicaciones de la Normativa Energética y Potencial de Ahorro en Rehabilitación**. Cuadernos Orkestra 2013/2. Instituto Vasco de la Competitividad. Universidad de Deusto. Cátedra de Energía. Deusto 2013. ISSN 2340-7638
- [ARTMANN et ál. 2007] Artmann N., H. Manz H., Heiselberg P. **Climatic potential for passive cooling of buildings by night-time ventilation in Europe**. Applied Energy 84 (2007) 187–201
- [ASHRAE 2005] ASHRAE. **Infiltration and ventilation requirements, Capítulo 27 del ASHRAE handbook of fundamentals**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers; 2005.
- [ASHRAE 55:2004] ASHRAE 55-2004. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers; 2004.
- [AULICEMS 1969] Auliciems A. **Effects of weather on indoor thermal comfort**. International Journal of Biometeorology, 13, 1969, 147-162.
- [AVANTAGGIATO 2013] Avantaggiato M. **Ventilative Cooling to Avoid Overheating in Low Energy Buildings**. Master Tesis. Università Degli Studi Di Padova. Facolta' Di Ingegneria. 2013.
- [ATLAS IGN 1992] Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, **Atlas Nacional de España**. Centro NAciona de Información Geográfica. Madrid, 1992. ISBN 8478190317

- [ATLAS IGN 2005] Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, **Atlas Nacional de España**. Centro Nacional de Información Geográfica. Madrid, 2005. ISBN 8478190309
- [BAJA, JAMES 2007] Bahaj AS, James P. **Urban energy generation: the added value of photovoltaics in social housing**. Renew Sustain Energy Rev iew 2007;11:2121e36.
- [BALLESTER 1996] Ballester F. Meteorología y Salud. **La relación entre la temperatura ambiental y la mortalidad**. Revista Española de Salud Pública 1996, Vol. 70, Nº3.
- [BANHAM 1965] Banham R. **A Home is not a House**. Art in America Volumen 2. Nueva York 1965.
- [BANHAM 1969] Reyner B. **L'architecture de l'environnement bien tempéré**. Ediciones HYX, Orléans 2011. ISBN 978 2 910385 67 5. Traducción de la 2ª edición completa University of Chicago Press, Chicago 1984. 1ª edición, Architectural Press, Londres 1969.
- [BEHLING 2002] Behling S. **Sol Power. La evolución de la arquitectura sostenible**. Gustavo Gili. Méjico 2002. ISBN: 9688873969
- [BELLO 1995] Bello V. **La isla de calor nocturna y los usos del suelo en Alcalá de Henares**. Anales de Geografía de la Universidad Complutense, nº15, 119-130. Servicio de publicaciones de la Universidad Complutense, Madrid 1995.
- [BERCHTOLD 2012] Berchtold M. **ENERBUILD Tool: Transnational Pilot Testing on 46 Buildings and Experiences on Advisory Services**. Alpine Space Programme. www.alpine-space.eu. Alberschwende, Austria. Febreo 2012.
- [BERE 2012] Bere Architects. **Larch house e soft landings stage 4 initial aftercare workshopIn Video interview with the occupants of the Larch Passivhaus, Ebbw Vale Wales**. Disponible en: <http://bere.co.uk/films/larch-house-soft-landingsworkshop>; 2012.
- [BERNDGEN-KAISER, FREY 2006] Berndgen-Kaiser A, Frey T. **Evaluation of 150 passive houses in NRW**. Conference Proceedigs de la 10ª Conferencia Internacional de Casas Pasivas. 19-20 mayo de 2006. Página 361-366.
- [BOSTRÖM et ál. 2003] Boström T., Glad W., Isaksson C., Karlsson F., Persson M., Werner A. **Tvärvetenskaplig analys av lågenergihusen i Lindås Park, Göteborg” (Multidisciplinary Analysis of Low Energy Houses in Lindås Park, Gothenburg)**. Working brief No 25. ISSN 1403-8307 (http://www.liu.se/energi/publikationer/tvarprojekt/1.26587/arbetsnotat_25_lage_nergihus_lindas_park.pdf)
- [BRITISH PETROLEUM 2014] British petroleum. 2014. **BP Statistical Review of World Energy June 2014**. bp.com/statisticalreview
- [BRUNET, CORONAS 1992] Brunet M., Coronas A. **La aplicación del análisis de Fourier al establecimiento de contrastes termicos urbano-rurales**. Revista de Geografía, vol. XXVI, pag. 17-33. Barcelona, 1992.
- [BRUNSGAARD 2010] Brunsgaard C. **Understanding of Danish Passive Houses based on Pilot Project Comfort Houses**. Tesis doctoral. Aalborg University. 2010. ISSN 1901-7294
- [BUNYESC 2012] Bunyesc J. **Passive hosue in Mediterranean climate**. Conference Proceedigs de la 16ª Conferencia Internacional de Casas Pasivas. 4-5 mayo de 2012. Página 365-370
- [CACCAVELLI 2014] Caccavelli D. **Conception d'un bâtiment adapté à son climat. Le confort d'été dans la RT 2012**. Forum du bâtiment durable 2014. Santé et climat: bien vivre le bâtiment. Marsella, 6-7 febrero 2014.
- [CALENER GT 2009] CALENER-GT: **Grandes Edificios Terciarios. Manual de Referencia**. IDAE, Instituto para la diversificación y ahorro de la energía. Madrid 2009
- [CALENER VIP 2009] CALENER-VYP: **Viviendas y edificios terciarios pequeños y medianos. Manual de Usuario**. IDAE, Instituto para la diversificación y ahorro de la energía. Madrid 2009
- [CARLUCCI 2013] Carlucci S. **Thermal Comfort Assessment of Buildings**. Springer Milan 2013. ISSN: 2282-2585 (Electrónico)
- [CARRERAS et ál 1990] Carreras C., Marín M., Martín Vide J., Moreno M.C., Sabí J. **Modificaciones térmicas en las ciudades. Avance sobre la isla de calor en Barcelona**. Documents D'anàlisi Geografica 17,1990, pp. 51-77. Barcelona
- [CARRILHO DA GRAÇA et ál 2012] Carrilho da Graça G, Augusto A, Lerer M. **Solar powered net zero energy houses for southern Europe. Feasibility study**. Sol Energy 2012;86:634-646. Elsevier

- [CATAGNA et ál 2008] Castagna M., Schmitt Y., Troi A. **Analysis and optimization of a monitored passive house in Italy with dynamic simulation**. Conference Proceedigs de la 12ª Conferencia Internacional de Casas Pasivas. Nurenberg 11-12 abril de 2008. Página 441-446.
- [CIBSE 2015] CIBSE. **Guide A: Environmental Design**. London: The Chartered Institution of Building Services Engineers; Londres 2015. ISBN 9781906846541
- [CIBSE 2005] CIBSE TM36: **climate change and the indoor environment: impacts and adaptation**. London: The Chartered Institution of Building Services Engineers; 2005. ISBN 1 903287 50 2.
- [CIBSE 2013] CIBSE TM52. **Limits of Thermal Comfort. Avoiding Overheating in European Buildings**. London: The Chartered Institution of Building Services Engineers. ISBN 978 1 906846 34 3
- [CLAUSEN et ál.2003] Clausen G., De Oliveira Fernandes E., De Gids W. Delmotte C., Hanssen S., Kephelopoulous S., Lemaire M., Lindvall T., Nicol F., Santamouris M. Seppänen O., Van Den Bogaard C., Wilson M., Wouters P. **European collaborative action. Urban air, indoor environment and human exposure. Environment and Quality of Life. Report No 23. Ventilation, Good Indoor Air Quality and Rational Use of Energy**. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg 2003. ISBN 92-894-5664-7
- [COEUDEVEZ, DÉOUX 2011] Coeudevez C., Déoux S. **Bâtiments, Santé, le tour des labels. Ajouter l'humain aux performances environnementales et énergétiques. 50 labels du monde entier passés au crible de la santé**. Medieco editions, Andorra 2011. ISBN: 978 9 992018002
- [COLLINS et ál. 1981] Collins K.J., Exton-Smith A.N., Doré C. **Urban hypothermia: Preferred temperature and thermal perception in old age**. British Medical Journal Volumen 282, 17 Enero 1981.
- [COMBE 2010] Combe C. **Entre Deux. La stratégie de l'épaisseur**. ENSA Lyon Formation longue QEB session 2009 - 2010
- [COMISIÓN EUROPEA 2007] Comisión Europea, Dirección General de Energía y transporte (2007). **Perspectiva 2020: ahorrar nuestra energía**. Disponible en: http://ec.europa.eu/energy/action_plan_energy_efficiency/doc/2007_eap_es.pdf
- [CTE DB HE1 2009] Código Técnico de la Edificación. **Documento Básico Ahorro de Energía HE1: Limitación de la demanda energética**. Madrid. Abril 2009
- [CTE DB HE1 2013] Código Técnico de la Edificación. **Documento Básico Ahorro de Energía HE1: Limitación de la demanda energética**. Madrid. Abril 2013
- [CTE DB HE2 2009] Código Técnico de la Edificación. **Documento Básico Ahorro de Energía HE2: Rendimiento de las instalaciones térmicas**. Madrid. Abril 2009
- [CTE DB HS 3 2009] Código Técnico de la Edificación. **Documento Básico Salubridad HS 3: Calidad del aire interior**. Madrid. Abril 2009
- [CTE DB SI 2006] Código Técnico de la Edificación. **Documento Básico SI Seguridad en caso de incendio**. Madrid. Marzo 2006.
- [CTE DB SUA 2010] Código Técnico de la Edificación. **Documento Básico Seguridad de utilización y accesibilidad**. Madrid. Marzo 2010.
- [CUADRAT et ál. 1993 a] Cuadrat J.M., De La Riva J., López F., Martí A. **El medio ambiente urbano en Zaragoza. Observaciones sobre la isla de calor**. Anales de Geografía de la Universidad Complutense, nº13, 127-138. Complutense de Madrid. Madrid, 1993.
- [CUADRAT et ál. 1993 b] Cuadrat J.M., De La Riva J., López F., Martí A. **El medio ambiente, la isla de calor de Teruel**. Geographica 30, pag.113-123. 1993
- [DANNER, VITTAR 2001] Danner M.A., Vittar C. **Wohnen in der Passivhausiedlung Lummerlund im Neubaugebiet Hannover-Kronsberg, final report**, 2001. Disponible en: <http://www.enercity.de/myenercity/passivhaus/urkonzept.pdf>.
- [DE DEAR et ál. 1997] De Dear R., Brager G., Cooper D. **Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. Final Report ASHRAE RP- 884**. Sydney/Berkeley, Marzo 1997
- [DE HERDE, MASSART 2010] De Herde A., Massart C. **Conception de maisons neuves durables, élaboration d'un outil d'aide à la conception de maisons à très basse consommation d'énergie**. Architecture Et Climat, Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie Architecturale – Université Catholique de Louvain. Louvain-La-Neuve 2010. www-climat.arch.ucl.ac.be

- [DEBROSSE 2009] Debrosse N. *Du THPE au passif : l'influence de la performance énergétique sur les formes architecturales*. ENSA Lyon Formation longue QEB session 2008 – 2009
- [DECEUNINCK, COBBAERT 2008] Deceuninck D., Cobbaert B. *ISOVER Multicomfort house. Vivre confortablement et économiser de l'énergie. La Maison Multi-Confort : construite pour l'avenir*. Catálogo promocional para ISOVER Bélgica. Gante. Bélgica 2008. www.isover.be.
- [DECKER et ál. 2011] Decker S., Bruneau D., Lagière P., L'poez J. *New passive solutions for summer comfort and timber housing in Atlantic climate*. Conference Proceedigs de la 15ª Conferencia Internacional de Casas Pasivas. 27-28 mayo de 2011. Página 171-176.
- [DEGRIGNY 2008] Degrigny U. *La Construction d'une Maison Passive*. Textos de formación de SCOP-FIABITAT. Dossier disponible en <http://www.fiabitat.com/construction-maison-passive.php>
- [DENGEL, SWAINSON 2012] Dengel A., Swainson M. *Overheating in new homes: a review of the evidence*. NHBC Foundation. NF 46, ISBN 978-1-84806-306-8; November 2012.
- [DEPREZ 2013] Deprez B. *Be.Passive 10 years. Be Passive número 13 página 90*. Publicación gratuita de la Plate-forme Maison Passive Belgique (Plataforma Casa Pasiva Bélgica) www.bepassive.be.
- [DESIGNBUILDER] DesignBuilder Software Limited. *DesignBuilder Software. Version 3.1.0. 103. beta*. 2000-2009.
- [DIAMOND 2010] Diamond, J. *Colapso: por qué unas sociedades perduran y otras desaparecen*. Debate, Barcelona 2010. 6ª edición. ISBN: 9788483066485
- [DIMITROULOPOULOU 2012] Dimitroulopoulou c. *Ventilation in European dwellings: A review. Building and Environment* 47 (2012) 109-125
- [DOL, HAFFNER 2010] Dol K., Haffner M. *Housing Statistics in the European Union*. OTB Research Institute for the Built Environment, Delft University of Technology. 2010
- [DRUET et ál. 2011] Druet L., Bocanegra M., Ordóñez N., Villar, J. *Guía de edificios residenciales de alta calificación energética e integración de energías renovables*. Fundación HABITEC. Málaga 2011.
- [EBEL et ál.2003] Witta Ebel, Marc Großklos, Jens Knissel, Tobias Loga, Kornelia Müller. *Wohnen in Passiv- und Niedrigenergiehäusern. Eine vergleichende Analyse der Nutzerfaktoren am Beispiel der ‚Gartenhofsiedlung Lummerlund‘ in Wiesbaden-Dotzheim. Teilbericht Bauprojekt, messtechnische Auswertung, Energiebilanzen und Analyse des Nutzereinflusses*. Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt 2003. ISBN 3-932074-63-7.
- [ECONOMIDOU et ál. 2010] Economidou M. Atanasiu B. Despret Ch. Maio J. Nolte I. Rapf O.. *Europe's buildings under the microscope. Buildings Performance Institute Europe (BPIE)*. Bruselas 2011 ISBN: 9789491143014
- [EEA 2012] European Environment Agency . *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator-based report. EEA Report n°12/2012*. European Environment Agency. Copenhagen 2012. ISBN 978-92-9213-346-7
- [ENERGY AND BUILDINGS 2002] *Energy and Buildings Volumen 34, número .Número especial Estándares de Confort Térmico*. Elsevier, Julio 2002.
- [ESCOURROU 1991] Escourrou, G. *Le climat et la ville*. Paris, Nathan. 1991.
- [EURAC 2012] EURAC (European Academy of Bolzano Institute for Regional Development and Location Management). *ENERBUILD Result 5.4. User habits, impact on energy consumption in passive houses Results of a comprehensive long-term measurement*. EURAC research European Academy of Bozen/Bolzano, Junio 2012. www.eurac.edu.
- [EURIMA 2007] EURIMA (European Insulation Manufacturers Association) Dirigido por Boermans T., Petersdorff C. *U-values For Better Energy Performance Of Buildings*. Informe realizado por ECOFYS, Colonia, 2007, para EURIMA.
- [EUSKALMET] *Euskalmet. Agencia Vasca de Meteorología. Euskal Meteorología Agentzia*. www.euskalmet.euskadi.net
- [EVE 1993] Ente Vasco de la Energía (EVE). *Atlas eólico del País Vasco*. Ente Vasco de la Energía. Bilbao 1993. ISBN: 84-8129-000-9
- [EVE 1998] Ente Vasco de la Energía (EVE). *Atlas de radiación solar del País Vasco*. Ente Vasco de la Energía. Bilbao 1993. ISBN: 84-88302-75-4

- [FARKH 2005] Farkh S. *Determination et calcul des ponts thermiques lineiques et integrés des constructions en bois*. CTSB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. Marne-la-Vallée 2005.
- [FEIST 1992] Feist W. *Passivhäuser in Mitteleuropa. Theoretische Untersuchungen von Simulationsmodellen für das thermische Verhalten von Gebäuden und Anwendung auf die Auslegung von Passivhäusern*. Dissertation, Gesamthochschule Kassel, 1992.
- [FEIST 1997] Feist W. *The Passive House in Darmstadt-Kranichstein planning, construction, results. Technical information PHI-1997/4(E)*. Passivhaus Institut, Darmstadt 1997.
- [FEIST 1998] Feist W. *Passive Solarenergienutzung im Passivhaus. En Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser. Protocol Volume nr 13. Energiebilanzen mit dem Passivhaus Projektierungs Paket*. Passive House Institute, Darmstadt 1998.
- [FEIST 1999] Feist W. *Passivhaus Sommerfall, Protokollband Nr. 15 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser*. Passivhaus Institut, Darmstadt 1999. Passive House Summer Case. Protocol Volume No. 15 of the Working Group for Cost-Efficient Passive Houses; Passive House Institute, Darmstadt 1999.
- [FEIST 2006] Feist W. *Curso de la vivienda pasiva para la Asociación La Maison Passive de Francia*. Passivhaus Institut, Darmstadt 2006.
- [FEIST 2011] Feist W. *EnerPHit. Certification as "Quality Approved Energy Retrofit with Passive House Components". Criteria for Residential-Use Refurbished Buildings*. Passivhaus Institut, Darmstadt 2011
- [FEIST 2012] Feist W. *Certified Passive House. Certification criteria for residential Passive House buildings*. Passivhaus Institut, Darmstadt 2012
- [FEIST 2012-b] Feist W. *First Steps: What Can be a Passive House in Your Region with Your Climate?* Passivhaus Institut, Darmstadt 2012. www.passiv.de.
- [FEIST et ál. 2001 a] Feist W., Peper S., Görg M. *CEPHEUS Project information n° 36. Final Technical Report. Parte del Proyecto de Investigación Europeo CEPHEUS: Cost Efficient Passive Houses as European Standards*. Passivhaus Institut, Darmstadt 2001.
- [FEIST et ál. 2001 b] Feist W., Peper S., Kah O., Oesen M. *CEPHEUS Project information n° 1: Climate Neutral Passive House Estate in Hannover-Kronsberg: Construction and Measurement Results*. Passivhaus Institut, Darmstadt 2001.
- [FEIST et ál 2005] Feist W., Schnieders J., Dorer V., Haas A. *Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept*. Energy and Buildings 37 (2005) 1186–1203.
- [FEIST et ál. 2012] Feist W., Pflüger R., Ludwig S., Otte J. *Das kostengünstige mehrgeschossige Passivhaus in verdichteter Bauweise. Teil 4 des Abschlußberichtes: Nutzerhandbuch für den Geschößwohnungsbau in Passivhaus-Standard. Teil A: Nutzerhandbuch. Teil B: Handbuch für die Gebäudeverwaltung*. Passivhaus Institut, Darmstadt 2012. www.passiv.de
- [FEIST et ál. 2012-b] Feist W., Hasper W., Horner M., Kah O., Kaufman B., Krick B., et al. *Sommerverhalten von Nichtwohngebäuden im Passivhaus-Standard; Projekterfahrungen und neue Erkenntnisse. Protokollband 41*. Passivhaus Institut 2012.
- [FEIST, SCHNIEDERS 2009] Feist W., Schnieders J. *Energy efficiency. A key to sustainable housing*. The European Physical Journal Special Topics 176, página 141–153. Springer-Verlag 2009.
- [FERNÁNDEZ 2002] Fernández García F. *El clima urbano de Madrid y su influencia sobre el confort térmico*. Boletín de la Real Sociedad Geográfica, pp. 169-185. Madrid 2002.
- [FERNANDEZ, LAVIGNE 2009] Fernández P., Lavigne P. *Concevoir des bâtiments bioclimatiques. Fondements et méthodes*. Éditions du Moniteur. Paris 2009. ISBN 978 2 281 11454 6
- [FLADE, LOHMANN 2004] Flade A., Lohmann G. *Wohnen in Passivhäusern—Ein umweltpsychologischer Forschungsansatz*. Umweltpsychologie 8 (1) (2004) 66–83.
- [FONT TULLOT 1983] Font Tullot, I. *Climatología de España y Portugal*. Instituto Nacional de Meteorología. Madrid 1983. ISBN: 84 5009 46 74

- [FORD *et ál.* 2007] Ford, B., Schiano-Phan R., Zhongcheng D. *The Passivhaus Standard in European warm climates: Design guidelines for comfortable low energy homes*. Passive-On Project 2007. Disponible en: <http://www.passive-on.org>
- [FRANK 2005] Frank Th. *Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland*. Energy and Buildings 37 (2005) 1175–1185.
- [GARCIA RUIZ *et ál.* 1989] García Ruiz J.M., Ortigosa L.M., Arnáez J., Gómez A. *Organización espacial de las temperaturas en la ciudad de Logroño*. Cuadernos de Investigación Geográfica, 15, 1-2, pag.87-98. Logroño 1989
- [GAUZIN-MULLER 2009] Gauzin-Muller D. *L'Architecture écologique du Voralberg. Un modèle sociale, économique et culturel*. Editions du Moniteur. Paris 2009. EAN: 978-2-281-19392-3
- [GIOVANARDI *et ál.* 2008] Giovanardi A., Troi A., Sparber W., Baggio P. *Dynamic simulation of a passive house in different locations in Italy*. PLEA 2008 - 25th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22- 24 Octubre de 2008
- [GOBIERNO FORAL NAVARRA 1989] Gobierno Foral de Navarra. *Decreto Foral 154/1989, de 29 de junio, por el que se aprueba el reglamento para el desarrollo y aplicación de la Ley Foral 4/1988, de 11 de julio, sobre barreras físicas y sensoriales*. Boletín Oficial de Navarra N.º 49 de 17 de julio de 1989.
- [GOBIERNO FORAL NAVARRA 2004] Gobierno Foral de Navarra. *Decreto Foral 142/2004, de 22 de Marzo, por el que se regulan las Condiciones Mínimas de Habitabilidad de las Viviendas En La Comunidad Foral De Navarra*. Boletín Oficial de Navarra N.º 49 de 23 de abril de 2004
- [GOBIERNO VASCO 2000] Gobierno Vasco. Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente. *Decreto 68/2000, normas técnicas sobre condiciones de accesibilidad de los entornos urbanos, espacios públicos, edificaciones y sistemas de información y comunicación*. Boletín Oficial del Gobierno Vasco, lunes 12 de junio de 2000.
- [GOBIERNO VASCO 2009] Gobierno Vasco. Departamento de Vivienda y Asuntos Sociales. *Ordenanzas de Diseño de Viviendas de Protección Oficial*. Boletín Oficial del Gobierno Vasco, martes 3 de marzo de 2009
- [GOIKOETXEA 1991] Goikoetxea, I. *El medio ambiente urbano en Donostia. Observaciones sobre la isla de calor generada en el medio urbano*. Lurralde Investigación y Espacio, 14, pp. 143-162. 1991. ISSN: 0211 5891
- [GONZALO, VALLENTIN 2013] Gonzalo R., Vallentin R. *Passivhäuser entwerfen. Planung und Gestaltung hocheffizienter Gebäude*. Detail Green Books. Detail Institut für international Architektur-Dokumentenration. Munich 2013. ISSN: 978 3 920034 97 3, versión alemán
- [GONZALO R., VALLENTIN R.] *Passive House Design. Planning and design of energy-efficient building*. Detail Green Books. Detail Institut für international Architektur-Dokumentenration. Munich 2014. ISSN: 978 3 95553 220 8, versión en inglés:
- [GRANT, CLARK 2014] Grant N., Clark A. *Internal heat gain assumptions in PHPP*. 18th International Passive House Conference, Aachen, Passive House Institute; Darmstadt 2014.
- [GUAL *et ál.* 2002] Gual M., Perelló J. Ramis C. *La Isla de Calor Urbana de Palma de Mallorca*. Revista española de Física 16 (1), 2002.
- [GUERRIAT 2008] Guerriat A. *Maison passives. Principe et réalisations*. L'Inédite. Paris 2008. ISBN: 978-2-35032-128-8
- [GUILLEMEAU *et ál.* 2010] Guillemeau J.M., Wagelmans P., Wagelmans J., Pirenne M.C. *Performance énergétique des bâtiments. Guide bâtiment résidentiel*. Éditions de l'Université de Liège. Lieja 2009. ISBN : 9782874560996
- [GUPTA, GREGG 2012] Gupta R., Gregg M. *Using UK climate change projections to adapt existing English homes for a warming climate*. Building and Environment 55 (2012) 20-42. www.elsevier.com
- [HASSELAAR 2008] Hasselaar E. *Health risk associated with passive houses: an exploration*. Conferencia Indoor air conference 17-22 Agosto 2008. Copenage, Dinamarca, 2008. Paper ID: 689.
- [HASTINGS, WALL 2007-1] Hastings R., Wall, M. *Sustainable solar Housing. Volume 1: Strategies and solutions*. Earthscan. London 2007. ISBN-9781844077991
- [HASTINGS, WALL 2007-2] Hastings R., Wall, M. *Sustainable solar Housing. Volume 2: Exemplary buildings and technologies*. Earthscan. London 2007. ISBN-9781844078004

- [HEIDUK 2006] Heiduk E. *The Passive House Standard in Architectural Training. Attempts and experiences using the Example of Architectural Classics of Modern Age*. Conference Proceedigs de la 10ª Conferencia Internacional de Casas Pasivas. 19-20 de mayo de 2006, Hannover. Página 167-172
- [HEMERLINK 2004] Hermelink A. *Werden Wünsche wahr? Temperaturen in Passivhäusern für Mieter. In: Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 25, Temperaturdifferenzierung in der Wohnung*. Darmstadt: Passivhaus Institut; 2004.
- [HEMERLINK, HÜBNER 2006] Hermelink A, Hübner H. *Is one litre enough? Tenants' satisfaction in passive houses*. Proceedings del ECEEE 2003 summer study. Estocolmo ECEEE; 2003.
- [HENSEN, VAN HOOF 2006] Hensen J.L.M., van Hoof J. *Thermal Comfort And Older Adults*. Gerontechnology, 4(4), 223-228. 2006
- [HERNÁNDEZ et ál. 2012] Hernández Minguillón R., Irulegi O., Aranjuelo M. *Arquitectura ecoeficiente. Tomo I*. Universidad del País Vasco. Leioa 2013. ISBN: 978-84-9860-688-1. Disponible en www.masterconstruccionsostenible.org.
- [HIDALGO et ál. 2015] Hidalgo J:M., Psomas T., García-Gáfaró C., Heiselberg P., Millán J.A. *Overheating Assessment of a Passive House Case Study in Spain*. Proceedings of the 36th AIVC Conference, 5TH TightVent Conference and 3rd venticool Conference Effective ventilation in tigth performance buildings. Paginas 645-655. Madrid 2015. ISBN 2-930471-45-X.
- [HONORATO 2014] Honorato V. *Más ventanas aislantes y menos placas solares*. Diario El País, Madrid 25 junio de 2014.
- [HOVARTH, ROCHELLE 1997] Hovarth S., Rochelle D. *Hypothermia in the Aged*. Environmental Health Perspectives. Vol. 20, pp. 127-130, 1977.
- [HOYT et ál. 2013] Hoyt T., Schiavon S., Piccioli A., Moon D., Steinfeld K. *CBE Thermal Comfort Tool*. Center for the Built Environment, University of California Berkeley, 2013, <http://cbe.berkeley.edu/comforttool/>
- [HUBER 2010]
[HÜBNER 2001] Huber H. *Ventilation de Confort*. Ediciones Minergie. Berna, 2012
- [IASBE 2008-2] Hübner, H. *Pressemitteilung anlässlich der Vorstellung der Passivhäuser in Kassel-Marbachshöhe am 16.5.2001, Forschungsprojekt „Nutzungsorientierte Gestaltung von Passivhäusern“*, Kassel 2001.
- [IDAE 2008] International Association for Bridge and Structural Engineering. *Structural Engineering International 2/2008*. Zürich 2008. ISSN 1016-8644
- [IDAE 2011] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). *Guía técnica de procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios*. Madrid 2008.
- [IDAE 2011] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). *Guía práctica de la energía. Consumo eficiente y responsable. 3ª edición, revisada y actualizada: julio de 2011*. Madrid 2011.
- [IDAE 2011 b] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). *Análisis del consumo energético del sector residencial en España. Proyecto SECH-SPAHOUSEC*. IDAE Secretaría General Departamento de Planificación y Estudios 16 de julio de 2011
- [INKAROJIT 2005] Inkarojrit, Vorapat. *Balancing comfort: Occupants' control of windows blind in private offices. Ph.D thesis*. Universidad de California, Berkley, 2005.
- [INHOBÉ 2003] INHOBÉ. Sociedad Pública Vasca de Gestión Ambiental. *Cambio climático. Serie programa Marco Ambiental nº13*. Enero 2003.
- [IPCC 2002] IPCC, Climate Change 2001: Synthesis Report, Third Assessment Report Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, 2002.
- [ISAKSSON, KARLSON 2006] Isaksson C, Karlson F. *Indoor climate in low energy houses: an interdisciplinary investigation*. Building and Environment 41 (2006) 1678–1690.
- [JANSON 2010] Janson U. *Passive houses in Sweden. From design to evaluation of four demonstration projects*. Division of Energy and Building Design Department of Architecture and Built Environment. Lund University. Lund 2008. ISBN 978-91-85147-46-5
- [JENTSCH et ál. 2008] Jentsch M.F., Bahaj A.S., James P.A.B. *Climate change future proofing of buildings. Generation and assessment of building simulation weather files*. Energy and Buildings 40 (2008) 2148–2168

- [JOWETT 2011] Jowett O. **The Thermal Behaviour of Cross-Laminated Timber Construction and its Resilience to Summertime Overheating**. PLEA 2011 - 27th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Louvain-la-Neuve, Bélgica, 13-15 Julio 2011.
- [KAH ,FEIST 2005] Kah O., Feist W. **Wirtschaftlichkeit von Wärmedämm-Maßnahmen im Gebäudebestand 2005**. Passivhaus Institut, Darmstadt 2005.
- [KAH et ál. 2010] Kah O. Peper S. Ebel W. Kaufmann B. Feist W. Bastian Z. **Untersuchung zum Außenluftwechsel und zur Luftqualität in sanierten Wohnungen mit konventioneller Fensterlüftung und mit kontrollierter Lüftung**. Informe Final IEA SHC TAREA 37 subtarea C. Passivhaus Institut, Darmstadt 2010.
- [KAUFMANN et ál. 2002] Kaufmann B., Feist W. John M., Nagel M. **Das Passivhaus – Energie-Effizientes-Bauen. holzbau handbuch Reihe 1 Teil 3 Folge 10**. DGfH Innovations- und Service GmbH. Munich 2002. www.dgfh.de.
- [KRAPMEIER, DRÖSSLER 2001] Krapmeier H., Drössler E. **CEPHEUS. Wohnkomfort ohne heizung. Living comfort without heating**. Springer-Verlag Viena 2001. ISBN 3-211-83720-5
- [KOLB 2008] Kolb J. **Systems in Timber Engineering. Loadbearing Structures and Component Layers**. Lignunn - Holzwirtschaft Schweiz, Zurich. DGfH - German Society of Wood Research, Munich. Birkhauser. Basilea 2008. ISBN: 978-3-7643-8689-4.
- [KOLOKOTRONI et ál. 2007] Kolokotron M., Zhang Y., Watkins R. **The London Heat Island and building cooling design**. Solar Energy 81, pag.102–110. 2007
- [KOVATS et ál. 2006] Kovats R.S., Johnson H., Griffiths C. **Mortality in southern England during the 2003 heat wave by place of death**. Health Statistics Quarterly 29. 2006
- [LANDSBERG 1981] Landsberg, H.E. **The Urban Climate**. Academic Press. Nueva York 1981
- [LARSEN, JENSEN 2011] Larsen TS, Jensen RL. **Comparison of measured and calculated values for the indoor environment in one of the first Danish Passive houses**. Proceedings of building simulation 2011: 12th conference of international building performance simulation association, Sydney, Australia, 14-16.November 2011. Available at: www.ibpsa.org; 2011.
- [LECHNER 2009] Lechner N. **Heating, Cooling, Ligthning. Sustainable design methods for architects**. John Wiley and Songs. New Jersey 2009. ISBN 978 0 470 04809 2
- [LEÓN et ál. 2010] León A.L., Muñoz S., Bustamante P. **Monitorización de variables medioambientales y energéticas en la construcción de viviendas protegidas: Edificio Cros-Pirotecnia en Sevilla**. Informes de la Construcción Vol. 62, 519, 67-82, julio-septiembre 2010 ISSN: 0020-0883, eISSN: 1988-3234
- [LIDER 2007] **LIDER v1.0. Limitación de la demanda de Energía. Manual del usuario**. Código Técnico de la Edificación (CTE). 2007
- [LINARES, DÍAZ 2008] Linares C. Díaz J. **Temperaturas extremadamente elevadas y su impacto sobre la mortalidad diaria según diferentes grupos de edad**. Gaceta Sanitaria. 2008;22(2):115-119.
- [LOPEZ et ál. 1991] López Gómez, A.; López Gómez, J.; Fernández García, F., Arroyo, F. **El clima urbano de Madrid: la isla de calor**. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 1991, 166 Pp.
- [MAAß et ál.2008] Maaß J.B., Walther C., Peters I. **Erfahrungen mit Passivhaussiedlungen in Deutschland (Schwerpunkt Norddeutschland)**. HafenCity Universität Hamburg 2008.
- [MALDONADO 2005] Madonado E. **The impacts of the EPBD upon the summer performance of buildings**. International Conference "Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment", Mayo 2005, Santorini, Greece.
- [MAVROGIANNI et ál.2014] Mavrogianni A., Davies M., Taylor J., Chalabi Z., Biddulph p., Oikonomou E., Das P., Jones B. **The impact of occupancy patterns, occupant-controlled ventilation and shading on indoor overheating risk in domestic environments**. Building and Environment 78 (2014) 183e198.
- [MARTIN, OLCINA 2001] Martin-Vide J., Olcina J., **Climas y tiempos de España**. Alianza Editorial. Madrid 2001. ISBN: 8420657778.
- [MARTINEZ et ál 2004] Martínez F., Simón-Soria F., López-Abende G. **Valoración del impacto de la ola de calor del verano de 2003 sobre la mortalidad**. Gaceta Sanitaria 2004;18(Supl 1):250-258
- [MAZRIA 1979] Mazria E. **The Passive Solar Energy Book**. Rodale Press, Emmaus, 1979. ISBN: 0878572384

- [McLEOD et ál 2013] McLeod R. S., Hopfe C. J., Kwan A. **An investigation into future performance and overheating risks in Passivhaus dwellings**. Building and Environment 70 (2013) 189-209. Elsevier
<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.024>
- [MEAZA 1996] Meaza, G. **Eusko Lurra**. Editorial. Etor-Ostoa. Donostia-San Sebastián 1996. ISBN: 8488960026.
- [MEISS, FEIJÓ 2013] Meiss A. Feijó J. **La necesidad de estudiar las infiltraciones: estudio de caso En viviendas sociales de la urbanización Zabalgana (Vitoria)**. Boletín Académico. Revista de investigación y arquitectura contemporánea Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidade da Coruña eISSN 2173-6723. Número 3 (2013) Páginas 57-64
www.minerge.com
- [MINERGIE]
[MINISTERIO FOMENTO]
[MCCARTNEY,2002] McCartney, K.J. and J.F. Ficol. **Developing and adaptative control algorithm for Europe**. Energy and Buildings 34 (2002) 623-633. disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science>.
- [METEO NAVARRA] **Meteo Navarra. Meteorología y climatología de Navarra. Gobierno de Navarra**. www.meteo.navarra.es
- [MLECNIK et ál 2012] Mlecnik E., Schütze T., Jansen S.J.T., de Vries G., Visscher H.J., van Hal A. **End-user experiences in nearly zero-energy houses**. Energy and Buildings 49 (2012) 471–478. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science>.
- [MMA 2001] **Guía resumida del clima en España. 1971-2000,1961-1990**. Archivo de ordenador. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid 2001.
- [MOESEKE 2011] Van Moeseke G. **Sustainable architecture and the Passive House concept: achievements and failures on energy matters**. PLEA 2011 - 27th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Louvain-la-Neuve, Belgium, 13-15 July 2011.
- [MONTEYNE 2013] Monteyne H. **Sustainable building in hot and humid West-Africa. From affordable houses to passive houses Project Pind in Warri**. CEO Passive Office Department for Building and Environment Danube University Krems. Forum Building Science 2013. http://www.donau-uni.ac.at/imperia/md/content/departament/bauenumwelt/forumbs/2013/42_monteyne.pdf
- [MORATA 2014] Morata A. **Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR4**. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Agencia Estatal de Meteorología (Aemet). Madrid 2014.
- [MORENO 1990] Moreno M.C. **La intensidad de la isla de calor de Barcelona. Comparación con otras ciudades españolas**. Alisios, 1, Pp. 47-53. 1990
- [MORENO 1992] Moreno M.C. **Bibliografía sobre Climatología Urbana. La Isla de Calor**. Revista de Geografía, volumen XXV. Universidad de Barcelona. 1992.
- [MYTTENAERE 2006] de Myttenaere K. **Vers une architecture Soutenable**, Tesis doctoral Universidad Católica de Lovaina 2006.
- [NAÍM 2014] Naím M. **4 grados más**. Diario El País, Madrid 31 de mayo de 2014.
- [NANSEN 1897] Nansen F. **Farthest North: Being the Record of a Voyage of Exploration of the Ship "Fram" 1893–96 and of a Fifteen Months' Sleigh Journey by Dr. Nansen and Lieut. Johansen**. Harper & Brothers Publishers, New York and London 1897. E-book del Proyecto Gutenberg.
- [NANSEN 2004] Nansen F. **En la Noche y Entre Los Hielos la Expedición Polar Noruega de 1893 a 1896**. Planeta Booket, Barcelona 2004.
- [NANSEN 2010] Nansen F. **Hacia el Polo: relato de la expedición 1893 a 1896: según el diario de la exploración**. Interfolio, Manzanares el Real, Madrid 2010.
- [NATSUME et ál 1992] Natsume K., Ogawa T., Sugenoja J., Ohnishi N., Imai K. **Preferred ambient temperature for old and young men in summer and winter**. International Journal of Biometeorology (1992) 36:1-4.
- [NIACHOU et ál 2005] Niachou K.M., Santamouris M., Hassid S. **Performance of natural, hybrid and mechanical ventilation systems in urban canyons**. Palenc 2005. 1er Conferencia Internancional "Passive and Low energy Cooling for the Built Environment". Mayo 2005. Santorini, Grecia.
- [NICOL, HUMPHREYS 2005] Nicol J.F., Humphreys M.A. **Maximun temperatures in buildings to avoid discomfort**. Primera conferencia internacional de refrigeración en edificios pasivos y de bajo consumo energético. Palenc 2005, Santorini, Grecia.

- [NICOL *et ál* 1999] Nicol F., Fergus A., Raja I., Allaudin A., Najam G. **Climatic variations in comfortable temperatures. The Pakistan projects.** Energy and buildings 30, 1999, 261-279
- [OKE 1982] Oke T.R. **The Energetic Basis of Urban Heat Island.** Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, 108 (455), pp. 1-24.
- [OKE 1987] Oke T.R. **Boundary Layer Climates.** Routledge. Londres 1987.
- [OLGYAY 1963] Olgyay V. **Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas.** Princeton University Press 1963. Edición española, Gustavo Gili Barcelona 2010. ISBN 978 84 252 1488 2
- [OLGYAY, OLGAY 1976] Olgyay V. **Solar control and shading devices.** Princeton University 1976. ISBN 0691081867
- [OLESEN 2006] Olesen B. **Thermal comfort standards for EU.** ASIEPI Web event 5 Summer comfort and air conditioning in Europe: Current trends and future perspectives. 17 Junio 2009. EU project ASIEPI (Assessment and Improvement of the EPBD Impact, (for new buildings and building renovation)), 2010. Intelligent Energy Europe programme contract EIE/07/169/SI2.466278).
- [OPDM 2006] ODPM, Office of the Deputy Prime Minister. **Housing health and safety rating system (HHSRS). Operating guidance.** Office of the Deputy Prime Minister. Londres 2006. ISBN-13: 978 185 112 8563.
- [ORMANDY, EZRATTY 2006] Ormandy D., Ezratty V. **Health and thermal comfort: From WHO guidance to housing strategies.** Energy Policy 49(2012)116–121.
- [PAGLIANO *et ál.* 2008] Pagliano L., Carlucci S., Toppi T., Zangheri P. **Passivhaus per il sud dell'Europa. Linee guida per la progettazione.** Efficiency Research Grupo. Politecnico di Milano. Dentro del Proyecto Passive-On
- [PAJARES *et ál.* 1997] Pajares M^a. S., Díaz J., Montero J.C., Alberdi J.C., Mirón I.J. **Mortalidad diaria en La Comunidad de Madrid durante el periodo 1986-1991 para el grupo de edad de 45 a 64 años: su relación con la temperatura del aire.** Revista Esp. Salud Pública 1997, Vol. 71, N^o2.
- [PASSIPEDIA] **www.passipedia.com**
- [PASSIVE-ON 2007] **Proyecto europeo Passive-On. The passivhaus standard in european warm climates.** www.passive-on.org.
- [PASSIVHAUSTAGUNG.DE] **15th Anniversary of the Darmstadt - Kranichstein Passive House.** http://www.passivhaustagung.de/Kran/First_Passive_House_Kranichstein_en.html
- [PERSSON, WESTERMARK 2012] Persson J, Westermarck M. **Phase change material storage for Swedish passive house.** Energy and Buildings 54 (2012) 490–495.
- [PFLUGER 2005] Pfluger R. **Importance of dynamic simulation and structural analysis.** Congreso de Cambio Climático, ahorro de energía y eficiencia energética. Visegrád 2005.
- [PHI 2009] Passivhaus Institut. **Requirements and testing procedures for energetic and acoustical assesments of Passive House ventilation systems for certifiacios as "Passive House suitable component.** Passivhaus Institut, Darmstadt 2009
- [PHI 2012] Passivhaus Institut. **Certification criteria for Certified Passive House Glazings and Transparent Components.** Version 2.0 E. Passivhaus Institut, Darmstadt 2012.
- [PHI 2015] Passivhaus Institut. **Internal heat gains in relation to living area.** Passivhaus Institut, Darmstadt junio 2015.
- [PHPP 2007-en] Feist W., Pfluger R., Kaufmann, B., Schinieders, J. Kah, O. **PHPP 2007. Passive House Planning Package.** Passivhaus Institut, Darmstadt 2007.
- [PHPP 2007-es] Feist, W., Pfluger, R., Kaufmann, B., Schinieders, J. Kah, O. **PHPP 2007. Programa de Planificación Passivhaus.** Passivhaus Institut, Darmstadt 2007.
- [PINAZO,2010] Pinazo J.M^a. **Guía Técnica. Condiciones climáticas exteriores de proyecto.** Ministerio de Industria, Transporte y Comercio. Madrid, 2010. ISBN: 9788496680562.
- [PINDAR *et ál.* 2006] Pindar A., Pagliano L., Zangheri P. **Marketable Passive Homes for de Mediterranean.** Conference Proceedigs de la 10^o Conferencia Internacional de Casas Pasivas. 19-20 mayo de 2006. Página 113-118.
- [PINHO, MANSO 2000] Pinho O.S., Manso M.D. **The urban heat island in a small city in coastal Portugal.** International Journal of Biometeoroly 44,4, pag. 198–203. 2000.

- [PUCHE 2011] Puche O. **Análisis de las infiltraciones en el proceso de certificación energética de CADEM**. Ponencia Jornada Ventilación Eraikal, Vitoria- Gasteiz 21 de noviembre de 2011.
- [RAHM 2009] Rahm P. **Architecture météorologique**. Archibooks, Paris 2009. ISBN: 9782357330498
- [RAJA et ál. 2001] Raja I, Nicol F, McCartney K, Humphries M. **Thermal comfort: use of controls in naturally ventilated buildings**. Energy and Buildings 33 (2001) 235-244
- [RAPOPORT 2003] Rapoport A. **Cultura, Arquitectura y Diseño**. Ediciones UPC, Barcelona 2003. ISBN: 84-8301-680-X
- [REISS,ERTHON 2003]. REISS J., ERHORN H. **Messtechnische Validierung des Energiekonzeptes einer großtechnisch umgesetzten Passivhaus-entwicklung in Stuttgart-Feuerbach**. IBP-Bericht WB 117/2003, Fraunhofer Institut für Bauphysik. Stuttgart 2003.
- [REMUND, GANTOLIER 2011] Remund J., Gantolier G. **Passive houses and climate change**. Conference Proceedigs de la 15º Conferencia Internacional de Casas Pasivas. 27-28 mayo de 2011. Página 223-228
- [REMUND et ál. 2012] Remund J., Müller S., Kunz S., Schilter C. **Meteonorm. Global Meteorological Database. Versión 7**. METEOTEST. Berna 2012.
- [RENARD et ál. 2008] Renard F., Di Pietrantonio M., Feldheim V. **Cost benefits analysis of a passive house**. Conference Proceedigs de la 12º Conferencia Internacional de Casas Pasivas. 11-12 abril de 2008. Página 479-480
- [RODRIGUES, GILLOTT 2011] Rodrigues L., Gillott M. **The summer performance of BASF house**. 27th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Louvain-la-Neuve, Bélgica, 13-15 Julio 2011. ISBN (pdf) : 978-2-87463-278-5.
- [ROGER, CARRÉ 2009] Roger S., Carré M. **Améliorer le confort d'été dans les établissements pour personnes âgées et handicapées**. Direction Générale de l'Action Sociale (DGAS) y l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), 2009. www.ademe.fr
- [ROLDAN 1985-a] Roldán A. **Notas para una climatología de Logroño-Publicación Serie K8**. Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones. Madrid 1985. ISBN: 8450529379.
- [ROLDAN 1985-b] Roldán A. **Notas para una climatología de San Sebastián-Publicación Serie K14**. Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones. Madrid 1985. ISBN 8450529492.
- [ROLDAN 1985-c] Roldán A. **Notas para una climatología de Bilbao-Publicación Serie K24**. Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones. Madrid 1985. ISBN 8450568773.
- [ROULET 1987-a] Roulet, C.A. **Energétique du bâtiment. Volume I. Interactions entre le climat et le bâtiment**. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne : 1987. ISBN: 2-88074-113-7
- [ROULET 2008-b] Roulet, C.A. **Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments. 2e édition revue et augmentée**. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne : 2008. ISBN-13: 978-2880747930
- [RT 2012 – TH U 3/5] Réglementation Thermique 2012. **Règles Th-U. Fascicule 4/5. Parois vitrés**. CTSB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. Paris 2012
- [RT 2012 – TH U 4/5] Réglementation Thermique 2012. **Règles Th-U. Fascicule 4/5. Parois opaques**. CTSB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. Paris 2012
- [RT 2012 – TH U 5/5] Réglementation Thermique 2012. **Règles Th-U. Fascicule 5/5. Ponts Thermiques. Calcul des ponts thermiques**. CTSB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. Paris 2012.
- [RUIZ 1982] Ruiz Urrestazu E. **La transición climática del Cantábrico Oriental al Valle medio del Ebro**. Diputación Foral de Álava. Vitoria 1982. ISBN: 8450081068
- [RUIZ CABRERO et ál 2012]. Ruiz Cabrero G. y otros. **Casas en Suiza**. Ediciones Mairea. Madrid 2012. ISBN 978-8494064500.
- [RUIZ, GALDOS 2008] Ruiz E., Galdos R. **Geografía del País Vasco**. Editorial Nerea. Donostia-San Sebastián 2008. ISBN 9788496731429.
- [RUUD, LUNDIN 2004] Ruud S., Lundin L. **Bostadshus utan traditionellt uppvärmningssystem – resultat från två års mätningar, SP Report 2004:31**. SP Technical Research Institute of Sweden, 2004.
- [SALOMON, AUBERT 2007] Salomon T., Aubert C. **Fraicheur sans clim´. Le guide des alternatives écologiques**. Terre Vivante, Mens 2007. ISBN: 2 914717 09 1

- [SAMENI *et ál.* 2015] Sameni S., Gaterell M., Montazami A., Ahmed A. **Overheating investigation in UK social housing flats built to the Passivhaus standard**. Building and Environment 2015. Manuscrito aceptado.
- [SAMUELSON, LÜDDECKENS, 2009] Samuelson M, Lüdeckens T. **Passivhus ur en brukares perspektiv**. Tesis de la Faculty of Mathematics, Science and Technology. Sweden: School of Technology and Design, Växjö University; 2009
- [SANCHEZ *et ál.* 2012] Sancho A., Riesco J., Jiménez C., Sánchez de Cos M.C., Montero J., López M. **Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT**. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Agencia Estatal de meteorología. Madrid 2012. ISBN
- [SANTAMOURIS, ASIMAKOPOULOS 1996] Santamouris M., Asimakopoulos D. **Passive Cooling of Buildings**. James&James, Londres 1996. ISBN 1 873936 47 8
- [SANTAMOURIS 2007] Santamouris, M. **Heat island research in Europe, the state of the art**. J. Adv. Build. Energy Res., ABER. 2007
- [SCHILD, BLOM 2002] Schild P. Blom P. **Functional characteristics of a fan-assisted natural ventilation system in a new Norwegian school, Jaer school**. International Energy Agency Energy Conservation in Buildings and Community Systems. Annex 35 publication.
- [SCHMITT *et ál.* 2007] Schmitt Y., dal Savio S., Sparber W. **Monitoring of a multi family passive house in South Tyro, Italy**. Conference Proceedigs de la 11º Conferencia Internacional de Casas Pasivas. 13-14 abril de 2007. Página 365-370
- [SCHNIEDERS 2003] Schnieders J. **CEPHEUS – measurement results from more than 100 dwelling units in passive houses. ECEEE 2003 summer study – time to turn down energy demand**. Passivhaus Institut, Darmstadt 2003.
- [SCHNIEDERS 2005] Schnieders J. **A first guess passive home in southern France. Passive-On Project report ('Marketable Passive Homes for Winter and Summer Comfort' IEE-2003-091)**. Disponible en: www.maison-passive-nice.fr/documents/FirstGuess_Marseille.pdf; 2005.
- [SCHNIEDERS, HERMELINK 2006] Schnieders J., Hermelink A. **CEPHEUS results: measurements and occupants' satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building**. Energy Policy 2006. 151-171.
- [SCHNIEDERS 2009] Schnieders J. **Passive Houses in South West Europe. A quantitative investigation of some passive and active space conditioning techniques for highly energy efficient dwellings in the South West European region. 2nd, corrected edition**. Passivhaus Institut, Darmstadt. 2009.
- [SCHNIEDERS *et ál.* 2011] Schnieders J., Feist W., Schulz T., Krick B., Rongen L., Wirt R. **Passive Houses for different climate zones**. Passivhaus Institut, Darmstadt. 2011.
- [SENDRA *et ál.* 2011] Sendra J.J. y otros. **Proyecto Eficacia. Optimización energética en la vivienda colectiva**. EMVISESA, SODINUR, Universidad de Sevilla. Sevilla 2011. ISBN: 978-84-472-1376-4
- [SERRA 1999] Serra R. **Arquitectura y Climas**. Editorial Gustavo Gili, Barcelona 1999. ISBN-13: 978-84-252-1767-8
- [SERRA, COCH 1995] Serra R., Coch H. **Arquitectura y Energía Natural**. Ediciones UPC, Barcelona 1995. ISBN: 8476535058
- [SHERMAN *et ál.*, 1980] Sherman M., Grimsrud D., Condon P., Smith B. **Air infiltration measurement techniques**. To be presented at the First International Energy Agency Symposium of the Air Infiltration Centre, entitled 11 Instrumentation and Measuring Techniques, 11 Windsor, England, October 6-8, 1980. LBL-10705.
- [SIA 380/1:2009] SIA 380/1. **Les besoins en énergie des installations de chauffage**. Société suisse des ingénieurs et des architectes. Apartado de Correos, CH-8027 Zurich
- [SIA 2040] SIA 2040. 2011. **La voie SIA vers l'efficacité énergétique**. Swiss Society of Engineers and Architects. Apartado de Correos, CH-8027 Zurich
- [SUÁREZ, CÁMARA 2014] Suárez L.E., Cámara A. **El "fracking" o la sordera hacia la ciencia**. Diario El País, Madrid 24 de julio de 2014.
- [SZALAY 2004] Szalay Z. **Are timber buildings really lightweight?**. Budapest: Department of Building Energetics and Building Services . 2004
- [TIGGES 2013] Tigges D. **La selección de criterios sostenibles y el estándar Minergie en España**. Ecohabitar nº37/X año Primavera 2013. Edita Ecohabitar visiones sostenibles S.L. Teruel 2013. ISSN: 1697-9583
- [UCAR *et ál.*,1990] Ucar J., Caucino G., Llona M.A. **Manual de diseño Bioclimático (referido a la comunidad autónoma del País Vasco)**. Ente Vasco de la Energía (E.V.E). Bilbao, 1990-1997.

- [UE DIRECTIVA 2002/91/EU] Unión Europea. **Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 16 Diciembre 2002 de la eficiencia energética de los edificios**. Official Journal of the European Union 4 Enero 2003;53. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:001:0065:0065:ES:PDF>
- [UE DIRECTIVA 2009/28/EU] Unión Europea. **Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE**. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:es:PDF>
- [UE DIRECTIVA 2010/31/EU] Unión Europea. **Directiva 2010/31/EU del Parlamento Europeo y del Consejo del 19 Mayo 2010 de la eficiencia energética de los edificios (refundido)**. Official Journal of the European Union 18 June 2010;53. ISSN 1725-2555. Disponible en: http://ec.europa.eu/energy/efficiency/doc/buildings/info_note.pdf.
- [UE DIRECTIVA 2012/27/EU] Unión Europea. **Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo del 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE**. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32012L0027>
- [UNE-CR 1752 IN:2008] UNE-CR 1752 IN. **Ventilación de edificios. Criterios de diseño para el ambiente interior**. AENOR, Madrid 2008.
- [UNE-EN 13.829:2000 Erratum] UNE-EN 13829:2000. **Aislamiento térmico. Determinación de la estanqueidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador. (ISO 9972:1996, modificada)**. AENOR, Madrid 2002.
- [UNE-EN 13829:2000] UNE-EN 13829:2000. **Aislamiento térmico. Determinación de la estanqueidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador. (ISO 9972:1996, modificada)**. AENOR, Madrid 2002.
- [UNE- EN 15.251:2008] UNE- EN 15.251:2008. **Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas, iluminación y ruido**. AENOR, Madrid 2008.
- [UNE-EN ISO 7730:2006] UNE-EN ISO 7730:2006. **Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local (ISO 7730:2005)**. AENOR, Madrid 2006.
- [UNE-EN ISO 13790:2004] UNE-EN ISO 13790:2004. **Eficiencia energética en los edificios. Cálculo del consumo de energía para calefacción de espacios**. AENOR, Madrid 2008.
- [URIARTE 1986] Uriarte A. **Insolación potencial en el área de San Sebastián**. Lurralde Investigación y Ciencia 9, 1986, p. 63-37. ISSN: 0211 5891.
- [VICENS Y HUALDE 2013] Vicens y Hualde I. **Javier Carvajal, un gigante de la arquitectura**. Artículo glosando la figura de Javier Carvajal con motivo de su fallecimiento. Diario El País, Madrid 15 de junio de 2013.
- [VISESA 2007] VISESA. Comité de Producto. **Criterios de diseño y Construcción**. www.visesa.es. Julio 2007.
- [WAGNER W, MAUTHNER 2008-a] Wagner W, Mauthner F. **Energietechnische und baubiologische Begleituntersuchung der Bauprojekte e Berichsteil Passivwohnanlage Utendeorfasse**. Gleisdorf, Austria: AEE Institut für Nachhaltige Technologien; 2008a.
- [WAGNER W, MAUTHNER 2008-b] Wagner W, Mauthner F. **Energietechnische und baubiologische Begleituntersuchung der Bauprojekte e Berichsteil Passivwohnanlage Roschegasse**. Gleisdorf, Austria: AEE Institut für Nachhaltige Technologien; 2008b.
- [WHO 1990] World Health Organization. **Indoor environment: health aspects of air quality, thermal environment, light and noise**. World Health Organization; 1990. Diponible en: http://whqlibdoc.who.int/hq/1990/WHO_EHE_RUD_90.2.pdf.
- [WHO 2009] World Health Organization. **Children Living In Homes With Problems Of Damp**. Fact sheet 3.5, Diciembre 2009.

- [WHO 2012] World Health Organization. **Environmental health inequalities in Europe Assessment report 2012**. WHO Regional Office for Europe. ISBN 978 92 890 0260 8
- [YAÑEZ 2008] Yañez G. **Arquitectura solar e iluminación natural. Conceptos, métodos y ejemplos**. Munilla-Lería. Madrid 2008. ISBN 978 84 89150 81 2
- [ZABALZA, ARANDA 2011] Zabalza I., Aranda A. **Ecodiseño en la edificación**. Pressas universitarias de Zaragoza. Zaragoza 2011. ISBN: 978-84-15274-16-2.
- [ZELÉ 2008] Zelé S. **Réhabilitation avec les principes du label Habitat Passif**. Apuntes para el Master de Formación de Haute Qualité Environnementale. Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Lyon 2008. <http://www.ponts-thermiques.be/fr/gallery/>
- [ZINZI, CITTERIO 2010] Zinzi M., Citterio M. **Stimulation of better summer comfort and reduced energy consumption for cooling by EPBD implementation. Experience on Passive Cooling Techniques for Buildings**. EU project ASIEPI (Assessment and Improvement of the EPBD Impact, (for new buildings and building renovation)), 2010. Intelligent Energy Europe programme contract EIE/07/169/SI2.466278).
- [ZUB 2013] ZUB Systems GmbH. **ZUB Helena Sommer Simulación de protección contra el calor del verano según la norma DIN 4108-2 : 2013**. ZUB Systems GmbH. Bettenhäuserstr. 4, 34123 Kassel. www.zub-systems.de

11.2 BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

- [ADEME 2009] Ademe. **Diagnostic de Performance Energétique. Guide recommandations**. Ademe. Ministère du logement. Paris. Marzo de 2009
- [ABELÉ et ál. 2009] Abelé Ch. Abraham B. Fontán J. Quenard D. Gilliot S. Pompéo C. **Transferts d'humidité à travers les parois. Évaluer les risques de condensation**. CTSB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. Marne-la-Vallée 2009. ISBN 978-2-86891-416-3
- [AkkP 16] **Wärmebrückenfreies Konstruieren ; Protokollband Nr. 16 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser, 1. Auflage**. Passivhaus Institut, Darmstadt 1999
- Thermal bridge free design; Protocol Volume N°. 16 of the Working Group for Cost-effective Passive Houses, 1st Edition**. Passive House Institute, Darmstadt 1999
- [AFNOR GA P50-784] AFNOR. **Performance thermique des bâtiments, Guide d'application de la norme NF EN 13829:2001**. AFNOR, La Plaine Saint Denis, 2004.
- [AFNOR NF-EN 12831:2003] AFNOR. **NF-EN 12831:2003. Systèmes de chauffage dans les bâtiments - Méthode de calcul des déperditions calorifiques de base**. AFNOR, Paris 2004.
- [ALVAREZ, SALMERON 2008] Álvarez S. Salmerón J.M. **Catálogo de Elementos Constructivos de CTE. Puentes térmicos**. Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción (IETCC). 2008
- [AMBROSIO et ál. 2012] D' Ambrosio Alfano F.R., Dell'Isola M., Ficco G., Tassini F. **Experimental analysis of air tightness in Mediterranean buildings using the fan pressurization method**. Building and Environment 53; 2012. p. 16-25
- [AMBROZY, LANGE 2007] Ambrozy H.G. Lange K. **Qualitätssicherung von Passivhäusern in Holzbauweise. Kriterienkatalog zur Qualitätssicherung in der Ausführung von Passivhäusern in Holzbauweise**. Ministerio de Transportes, Innovación y Tecnología. Viena 2007. <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>
- [ASEFAVE 2009] Asociación Española de Fabricantes de Fachadas ligeras y Ventanas. **Manual de producto ventanas 2ª edición**. AENOR. Madrid, 2009. ISBN 978-84-8143-630-3
- [BAILLY et ál. 2011] Bailly A., Leprince V., Jobert R. **Permeabilité a l'air. Choix des typologies constructive**. CETE de Lyon, 2011.
- [BECKER, FELDMANN 2008] Becker T. Feldmann R. **Wärmebrücken in der Bestandssanierung. Leitfaden für Fachplaner und Architekten**. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). Berlin 2008.

- [BERG et ál. 2013] van den Berg S., Hart R., Jelle B.P., Gustavsen A. **Window Spacers and Edge Seals in Insulating Glass Units: A State-of-the-Art Review and Future Perspectives**. Energy and Buildings 58. Pagina 263-280. 2013.
- [BERGGREN, WALL 2013] Berggren B., Wall M. **Calculation of thermal bridges in (Nordic) building envelopes – Risk of performance failure due to inconsistent use of methodology**. Energy and Buildings 65 (2013) 331–339
- [BERNARD 2011] Bernard A.M. **Ventilation double flux dans le résidentiel. Conception, mise en œuvre et entretien**. CTSB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. Marne-la-Vallée 2011. ISBN 978-2-86891-482-8
- [BERTUCCI, OGIER 2011] Bertuci A.E., Ogier M. **Vers la maison sans chauffage. 20 maisons BBC ou passives**. Editions Ouest-France Edilarge SA, Rennes 2011. ISBN : 978-2-7373-5465-6.
- [BLOM, SCHILD 2010] Blom P. Schild P. **Good practice guidance on thermal bridges & construction details, Part I: Principles**. EU project ASIEPI (Assessment and Improvement of the EPBD Impact, (for new buildings and building renovation)), 2010. Intelligent Energy Europe programme contract EIE/07/169/SI2.466278).
- [BRANDT 2005] Brandt, D. **The passive house know-how for sustainable housing**. Proceedings of the INTERREG IIIC 3-CIP Conference on Innovation In Building Engineering Zielona Góra, Poland. February 25, 2005. University of Zielona Góra Press Zielona Góra, Poland, 2005. ISBN 83-7481-006-8.
- [CACCAVELLI 2014] Caccavelli D. **Conception d'un bâtiment adapté à son climat. Le confort d'été dans la RT 2012**. Forum du bâtiment durable 2014. Santé et climat: bien vivre le bâtiment. Marsella, 6-7 febrero 2014.
- [CARPENTIER 2011] Carpentier C. **L'humidité dans les bâtiments. Informations techniques T 22**. Mutuelle des Architectes Français assurances. Paris 2011. www.maf.fr
- [CARRIE et ál. 2006] Carrié R., Jobert R., Fournier M., Berthault S. **Perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments: Généralités et sensibilisation**. CETE de Lyon 2006.
- [CARRIE 2009] Carrié R. **Réussir l'étanchéité à l'air de l'enveloppe et des réseaux, Elaboration et application d'une démarche qualité**. CETE de Lyon 2009.
- [CASTRO et ál. 2005] De Castro M., Martín-Vide J., Alonso S. **Impactos del cambio climático en España. El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI**.
- [CASTRO 2008] Castro C. **Aislamiento térmico en la edificación. Fundación Escuela de la Edificación**. Primera edición. Madrid 2008. ISBN 978-84-96555-07-5
- [CHENAF 2013] Chenaf M. **Plachers et rupteurs de ponts thermiques. Conception et mise en oeuvre**. CTSB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. Paris 2013. ISBN 978 2 86891 563 4.
- [DECKER 2011] Decker S. **Les ponts thermiques dans la construction bois. Enjeux, impacts, solutions et perspectives**. Congrès et Salon National du Bâtiment Passif. Passibat. Paris 2011.
- [DIAZ DE GARAYO 2011] Díaz de Garayo S. **Qué son los puentes térmicos y cómo se evitan. Guía del estándar Passivhaus. Edificios de consumo energético casi nulo**. Fundación de la energía de Madrid (Fenercon). Madrid 2011.
- [DIAZ REGODÓN, TENORIO 2005] Díaz Regodón M.I. Tenorio J.A. **Pérdidas de calor y formación de condensaciones en los puentes térmicos de los edificios**. I Jornadas de Investigación en Construcción (Instituto de Ciencias de la Construcción "Eduardo Torroja", Madrid, 2-4 junio 2005): Actas de las Jornadas. T. II, pp. 1131-1153.. ISBN : 84-931709-4-1
- [EN 13187:1998] **Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method. ISO 6781:1983 modified**. Comité europeo de normalización (CEN). Bruselas 1998.
- [ENERGIE+ 2012] **Energie+, versión 7**. Architecture et Climat, Université catholique de Louvain (Belgique) 2012, realizado con el apoyo de la Wallonie - DGO4 - Département de l'Energie et du Bâtiment Durable. Disponible en www.energieplus-lesite.be "
- [ERHORN et ál. 2010] Erhorn H. Erhorn-Kluttig H. Citterio M. Cocco M. van Orshoven D. Tilmans A. Schild P., Bloem P. Thomsen K. E. Rose J. **An effective Handling of Thermal Bridges in the EPBD Context Final Report of the IEE ASIEPI Work on Thermal Bridges**. EU project ASIEPI (Assessment and Improvement of the EPBD Impact, (for new buildings and building renovation)), 2010. Intelligent Energy Europe programme contract EIE/07/169/SI2.466278). www.asiepi.eu

- [ERHORN-KLUTTIG *et ál.* 2011] Erhorn-Kluttig H., Erhorn H., Lahmidi H., Anderson R. **Airtightness requirements for high performance building envelopes**. EU project ASIEPI (Assessment and Improvement of the EPBD Impact, (for new buildings and building renovation)), 2010. Intelligent Energy Europe programme contract EIE/07/169/SI2.466278). www.asiepi.eu
- [ERHORN-KLUTTIG, ERHORN 2009] Erhorn-Kluttig H., Erhorn H., Lahmidi H., Anderson R. **Impact of thermal bridges on the energy performance of buildings**. EU project ASIEPI (Assessment and Improvement of the EPBD Impact, (for new buildings and building renovation)), 2010. Intelligent Energy Europe programme contract EIE/07/169/SI2.466278). www.asiepi.eu
- [EVRARD *et ál.* 2011] Evrard A. Branders A. De Herdé A. Glineur M. Grégoire M. **Isolation thermique par l'intérieur des murs existants en briques pleines. Guide d'aide a la conception**. Architecture Et Climat, Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie Architecturale – Université Catholique de Louvain. Louvain-La-Neuve 2010
- [FARKH 2009] Farkh S. **Les ponts thermiques dans le bâtiment, mieux les connaître pour mieux les traiter**. CTSSB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. Paris 2009. ISBN 978 2 86891 427 9.
- [FEIST *et ál.* 2003] Feist W., Kaufmann B., Pfluger R., Schnieders J. **HIWIN. Hochwärmedämmende Fenstersysteme: Untersuchung und Optimierung im eingebauten Zustand. Anhang zum Teilbericht A (Bauphysikalische Untersuchungen und Optimierung des Baukörperanschlusses)**. Teilbericht Passivhaus Institut. Passivhaus Institut, Darmstadt 2003.
- [FEIST *et ál.* 2004] Feist W., Peper S., Pfluger R. **Ein nordorientiertes Passivhaus. Messtechnische Untersuchung und Auswertung von 19 Wohnungen im Passivhaus-Standard in Frankfurt-Bockenheim, Gremppstraße Passivhaus "Wohnen bei St. Jakob"**. Passivhaus Institut, Darmstadt 2004.
- [FENERCOM 2011] Fundación de la energía de la Comunidad de Madrid (FENERCOM). **Guía del estándar Passivhaus. Edificios de consumo energético casi cero**. Madrid 2011
- [FOAMGLAS] Foamglas[®], Perinsul S (standard), Perinsul HL (high load). **La solution durable aux ponts thermiques. Catálogo de materiales con certificado Passivhaus de Foamglas[®]**. Foamglas Bélgica y Luxemburgo. www.foamglas.be
- [FRAEFEL *et ál.* 2000] Fraefel R., Huber H., Trawnika M. **L'aération dans les bâtiments MINERGIE**. Guide de conception. MINERGIE agence bâtiment. Berna 2000.
- [FREUNDORFER 2011] Freundorfer F. **Pourquoi des fenêtres passives de 3^e génération?**. Conferencia en el Congreso y Salón Nacional de Viviendas Pasivas (PASSIBAT). Paris 21 de diciembre de 2011.
- [GALLAUZIAU, FEDULLO 2009] Gallauziau T. Fedullo D. **Le grand livre de l'isolation**. Eyrolles. Paris 2009. ISBN: 978-2-212-12404-0
- [GDI 2004] GDI (Gemeinschaft Dämmstoff Industrie). **Details für Anwender**. Viena 2004. www.gdi.at
- [GROBE 2008] Grobe C. **Construire une maison passive. Conception. Physique de la construction. Détails de construction. Rentabilité**. L'Inedite. Paris, 2008. ISBN 978 2 35032 120 42
- [GUERRIAT, LESCURE 2011] Guerriat A., Lescure M. **Quelles fenêtres pour ma maison passive?** Plateforme Maison Passive asbl. Narmur, Bélgica. 2011.
- [GUYOT G., CARRIÉ R. 2008] Guyot G., Carrié R. **Synthese du questionnaire ASIEPI. État des pratiques européennes concernant l'étanchéité à l'air de l'enveloppe et des réseaux**. CETE de Lyon, 2008. ASIEPI, Assessment and Improvement of the EPBD Impact (for new buildings and building renovation). Intelligent Energy Europe programme contract EIE/07/169/SI2.466278). www.asiepi.eu
- [GUYOT G., CARRIÉ R. 2010] Guyot G., Carrié R. **Stimulation of good building and ductwork airtightness through EPBD, Version 2**. ASIEPI, Assessment and Improvement of the EPBD Impact (for new buildings and building renovation). Intelligent Energy Europe programme contract EIE/07/169/SI2.466278).
- [HAAS, DORER 2004] Haas A., Dorer V. **Optimized air heating for Minergie-P and Passive Houses**. Final report for Swiss Office of Energy (EMPA). Dübendorf 2004.
- [HAUSER *et ál.* 1997] Hauser G., Horschler S., Pohl W.H., Pohl R., Stiegel H. **Niedrigenergiehäuser unter Verwendung des Dämmstoffes Styropor. Bauforschung für die praxis, band 31**. Fraunhofer IRB. Stuttgart, 1997. ISBN 3-8167-4230-0

- [HAUSER *et ál.* 2013] Hauser G., Haupt W., Stiegel H. **Wärmebrückenatolog v.1.2.5. Versión Demo**. Kassel 2013. www.zub-kassel.de/downloads
- [HESTERMANN, RONGEN 2010] Hestermann U., Rongen L.. **Frick/Knöll Baukonstruktions**. Vieweg+Teubner y GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2010. ISBN 978-3-8348-0837-0.
- [HOCHBERG *et ál.* 2010] Hochberg A, Hafke J.H., Raab J. **Scale. Open. Close. Windows, doors, gates, loggias, filters**. Birkhauser. Basilea 2010. Isbn 978-3-7643-9961-0
- [IBGE 2010] **Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments. Recommandation pratique énergie 10. Assurer une bonne étanchéité a l'air**. Institut Bruxellois Pour la Gestion de L' Environnement (IGBE). Bruselas 2010.
- [IBGE 2012] **Info Fiches Bâtiment durable. Guide pratique pour la construction et la renovation durables de petits batiments**. Institut Bruxellois por la gestion de l'environnement (IBGE) Bruselas 2012.
- [ILLBRUCK 2012] **Illbruck. Guide technique Étanchéité des Menuiseries Extérieures RT 2012 - Maisons Passives – Bâtiments à Énergie Positive (BEPOS)**.
- [INFOMIND SÀRL 2003] Infomind Sàrl. **Catalogue des ponts thermiques**. Office fédéral de l'énergie (OFEN). Berna 2003. [www.bbl.admin.ch/publications fédérales](http://www.bbl.admin.ch/publications_fédérales)
- [IPCC 2007] IPCC. Cambio climático 2007 Informe de síntesis. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, 2008. ISBN 92-9169-322-7
- [ISAKSSON 2009] Isaksson C. **Sustainable learning about indoor heating? Domesticating energy technology in passive houses**. The Tema Institute – Department of Technology and Social Change, Linköping University, Linköping, Suecia. 2009
- [ISOVER] Isover. Guide la thermique du bâtiment.
- [JANSON 2008] Janson U. **Passive houses in Sweden. Experiences from design and construction phase**. Division of Energy and Building Design Department of Architecture and Built Environment. Lund University.Lund 2008. ISBN 978-91-85147-24-3
- [JOBERT 2009] Jobert R. **PREBAT Project MININFIL, Minimiser les infiltrations, Buildings details, airtight materials and coordination of craftsmen**. CETE de Lyon, 2009.
- [JOBERT 2012 a] Jobert R. **Mémento de conception et de mise en oeuvre à l'attention des concepteurs, artisans et entreprises du bâtiment**. CETE LYON 2012. <http://www.cete-lyon.developpement-durable.gouv.fr>.
- [JOBERT 2012 b] Jobert R. **Guide pratique développement durable. Perméabilité de l'enveloppe. Réglementation, risques, mesure et amélioration**. CTSB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. Paris 2009. ISBN 978-2-86891-520-7
- [JOHNSTON *et ál.* 2004] Johnston D, Miles Shenton D, Wingfield J, Bell M. **Airtightness of United Kingdom dwellings: some recent measurements**. Centre for the Built Environment, Leeds Metropolitan University, UK. Paper given at the RICS COBRA conference at Leeds Metropolitan University, 7-8 September 2004. Proceedings published by the RICS Foundation.
- [JOHNSTON *et ál.* 2011] Johnston D., Miles-Shenton D., Bell M., Wingfield J. **Airtightness of buildings, towards higher performance**. Department for Communities and Local Government. Londres 2011. ISBN: 978 1 4098 2863 1
- [JOKISALO 2008] Jokisalo J. **On design principles and calculation methods related to energy performance of buildings in Finland**. Tesis doctoral. Espoo 2008. ISBN 978-951-22-9636-1 (PDF)
- [JOKISALO *et ál.* 2008] Jokisalo J.,Kurnitski J., Korpi m., Kalamees T., Vinha J. **Building leakage infiltration and energy performance analyses for Finnish detached houses**. Building and Environment 44 (2009) 377–387.
- [KALAMEES 2007] Kalamees T. **Air tightness and air leakages of new lightweight single-family detached houses in Estonia**. Build Environ 2007;42(6):2369-77.
- [KRAPMEIER, MÜLLER 2001] Krapmeier H., Müller Eva. **CEPHEUS Project information n° 23,24,25,26,27,28,29,30. Parte del Proyecto de Investigación Europeo CEPHEUS: Cost Efficient Passive Houses as European Standards**. Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn 2001.
- [KOBRA 2008] **KOBRA. Programa de análisis de puentes térmicos. Versión v 3.0 w**. Physibel. CSTB. Bruselas 2008. <http://www.cstc.be>

- [LACLAU et ál. 2011] Laclau B., Coromina S., Bertochi F. **Considération de l'étanchéité à l'air dans l'évaluation de la qualité finale des bâtiments et influence des défauts d'étanchéité dans l'efficacité énergétique des bâtiments.** Documento Final Proyecto ESTEFIE. NOBATEK 2011.
- [LEQUENNE, RIGASSI 2011] Lequenne P., Rigassi V. **Habitat passif et basse consommation. Principes fondamentaux. Études de cas.** Terre Vivante. Mens 2011. ISBN: 978-2-36098-048-2
- [LITVAK et ál. 2005] Litvak et al. 2005. **Campagne de mesure de l'étanchéité à l'air de 123 logements.** CETE Sud Ouest. Rapport n°DAI.GVCH.05.10. ADEME-DGUHC.
- [LOYAU 2009] Loyau F. **Puits canadien et ventilation basse énergie. Principes et réalisations.** L'Inédite Paris 2009. ISBN : 978-2-35032-145-5
- [LOYAU 2010] Loyau F. **La VMC double flux a la loupe. SCOP Fiabitat Concept.** <http://www.fiabitat.com/vmc-double-flux.php>. Marzo 2013.
- [MARTI 2002 a] Marti K. **Catalogue d'éléments de construction avec calcul de la valeur U, Assainissement.** OFEN, Office fédéral de l'énergie. Zurich 2002.
- [MARTI 2002 b] Marti K. **Catalogue d'éléments de construction avec calcul de la valeur U, Construction neuve.** OFEN, Office fédéral de l'énergie. Zurich 2002.
- [MOLL 2012] Moll L. **Calcul du potentiel de prévention des dégâts au bâtiment d'isolations thermiques dans les constructions en bois et en acier, toits, murs, plafonds. Frein-vapeurs hygrovariables pro clima DB+ et INTELLO avec hygrorégulation intelligente.** MOLL bauökologische Produkte GmbH Rheintalstr. 35 – 43 D-68723 Schwetzingen.
- [MONTROYA et al. 2010] Montoya M.I., Pastor E., Carrié F., Guyot G., Planas E. **Air leakage in Catalan dwellings: Developing an airtightness model and leakage airflow predictions.** Building and Environment 45 (2010) páginas 1458–1469.
- [MONTROYA et al. 2011] Montoya M.I., Pastor E., Planas E. **Air infiltration in Catalan dwellings and sealed rooms: an experimental study.** Building and Environment 46 (2011) 2003-2011
- [NEILA 2004] Neila González F.J. **Arquitectura bioclimática en un entorno sostenibles.** Munilla-Leria, Madrid 2004. ISBN: 978-84-89150-64-5
- [NICOL, HUMPHREYS 2000] Nicol J.F., Humphreys M.A. **Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings.** Energy and Buildings 34, 2002.563-572
- [NICOL 2001] Nicol F. **Characterising occupant behaviour in buildings: towards a stochastic model of occupant use of windows, lights, blinds, heaters and fans.** En: Proceedings of seventh international IBPSA conference, Rio 2001. páginas 1073-1078.
- [ÖKO ZENTRUM 2011] Öko Zentrum. **Effizienzhausplaner24-Fachplaner/in für Effizienz- und Passivhäuser.** Hamm 2011. Alemania. <http://www.oekozentrum-nrw.de>
- [ORME et ál. 2003] Orme M., Palmer J., Irving S. **Control of Overheating in well-insulated Housing. Design guidance for low energy strategies.** St. Albans. DTI Partners in Innovation Programme. 2003.
- [ORSHOVEN, TILMANS 2010] Van Orshoven D. Tilmans A. **Software and atlases for evaluating thermal bridges.** EU project ASIEPI (Assessment and Improvement of the EPBD Impact, (for new buildings and building renovation)), 2010. Intelligent Energy Europe programme contract EIE/07/169/SI2.466278). www.asiepi.eu
- [OSSIO et ál. 2011] Ossio F., De Herde A., Veas L. **Exigencias europeas para infiltraciones de aire: Lecciones para Chile.** Revista de la Construcción Volumen 11 No 1 – 2012.
- [PAJANI 2012] Pajani D. **La thermographie du bâtiment, principes et applications du diagnostique thermographique.** Eyrolles Paris 2012. ISBN 978 2 212 13391 2.
- [PAPAGLASTRA et ál. 2008] Papaglastra M., Leivada I., Sfakianaki K., Carrié F., Santamouris M. **National and International comparison of envelope airtightness measurements.** 3. Europäisches BlowerDoor-Symposium Mai 2008.
- [PEJENAUTE 1990] Pejenaute J.M. **Tipos de tiempo y clima de las comarcas navarras. Gobierno de Navarra.** Departamento de Educación, Cultura y Deporte. Pamplona 1990. ISBN 84 235 0980 X

- [PEPER *et ál.* 2005] Peper S., Kah O., Feist W. **Zur Dauerhaftigkeit von Luftdichtheitskonzepten bei Passivhäusern. Feldmessungen. Endbericht IEA SHC TASK 28 / ECBCS ANNEX 38.** Passivhaus Institut, Darmstadt 2005. Peper S., Kah O., Feist W. **La durabilidad de los conceptos de estanqueidad de las casas pasivas. Las mediciones de campo. Informe Final. IEA SHC TAREA 28/38 ANEXO ECBCS.** Passivhaus Institut, Darmstadt 2005.
- [PFLUGER 1999] Pfluger R. **PHluft. Ein Programm zur Unterstützung von Planern von Passivhaus- Lüftungsanlagen, Version 1.0.** Passivhaus Institut, Darmstadt 1999.
- [REY, VELASCO 2006] Rey F.J., Velasco E. **Eficiencia energética en edificios. Certificación y auditorías energéticas.** Thomson Editores. Madrid 2006. ISBN 84-9732-419-2006
- [RIESER 2012] Rieser T. **Les ponts thermiques dans les bâtiments performants. Informations techniques T 17.** Mutuelle des Architectes Français assurances. Paris 2012. www.maf.fr
- [ROLDAN 1987] Roldán A. **Notas para una climatología de Bilbao-Publicación Serie K24.** Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones. Madrid 1987. ISBN 8450568773.
- [ROULET 1987-b] Roulet, C.A. **Energétique du bâtiment. Volume II. Prestations du bâtiment, bilan énergétique global.** Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne : 1987. ISBN: 2-88074-115-3
- [ROULET 2008-a] Roulet, Claude-Alain. **Ventilation and airflow in buildings : methods for diagnosis and evaluation.** Earthscan, London [etc.] 2008. ISBN 9781844074518
- [ROULET 2012] Roulet, C.A. **Eco-confort. Pour une maison saine et à basse consommation d'énergie.** Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne : 2012. ISBN 978-2-88074-903-3
- [RT 2008 – TH U EX] Regles Th-U Pour Les Bâtiments Existants. **Règles Th-U Ex . Fascicule 5/5. Ponts Thermiques. Calcul des ponts thermiques.** CTSB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. Paris 2012.
- [SANTAMOURIS *et ál.* 2001] Santamouris M., Asimakopoulos D.N., Asimakopoulos V.D., Chrisomallidou N., Klitsikas N., Mangold D., Michel P., Tsangrassoulis A. **Energy and Climate in the Urban Built Environment.** James&James, Londres 2001. ISBN 1 873936 90 7.
- [SCHIETECAT *et ál.* 2008] Schietecat J. Standaert P. Wouters P. **Eurokobra. Practical guide for the hygrothermal evaluation of thermal bridges.** Physibel. Bruselas 2008
- [SCHILD 2010] Schild P., Blom P. **Good practice guidance on thermal bridges & construction details, Part II: Good examples.** EU project ASIEPI (Assessment and Improvement of the EPBD Impact, (for new buildings and building renovation)), 2010. Intelligent Energy Europe programme contract EIE/07/169/SI2.466278).
- [SFAKIANAKI *et ál.* 2008] Sfakianaki A., Pavlou K., Santamouris M., Livada I., Assimakopoulos M.N., Mantas P., Christakopoulos A. **Airtightness measurements of residential houses in Athens, Greece.** Building and Environment 43 (2008), pp. 398–405.
- [SHERMAN, 1987] Sherman M. **Estimation of Infiltration for Leakage and Climate Indicators.** Energy in Buildings, pp.81
- [SHERMAN 1995] Sherman, Max. **The use of blower-door data. Indoor Air.** Volume 5, Issue 3, pages 215–224, September 1995. Wiley online Library.
- [SHERMAN, CHAN 2004] Sherman M., Chan R. **Building Airtightness: Research and Practice.** Lawrence Berkeley National Laboratory Report N°. LBNL-53356. (Berkeley, EEUU: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2003), 24.
- [SHERMAN, DICKERHOFF 1998] Sherman M., Dickerhoff D. **Air-tightness of U.S. dwellings.** The Energy Performance of Buildings group (EPB) LBL-35700.
- [SHERMAN, GRIMSRUD, 1980] Sherman M., Grimsrud D. **Infiltration-Pressurization Correlation: Simplified Physical Modeling.** To be presented at the Conference of the American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Denver, CO, June 22-26, 1980.
- [SIDLER 2012] Sidler O.. **L'étanchéité à l'air des bâtiments. Informations techniques T 16.** Mutuelle des Architectes Français assurances. Paris 2012. www.maf.fr
- [SINNOT, DYER 2001] Sinnot D., Dyer M. **Air-tightness field data for dwellings in Ireland.** Building and Environment 51, 2012 pag 269-275.

- [SOTO 2011] Soto J. **La ventilación mecánica con recuperación de calor. La garantía de calidad del aire interior. Guía del estándar Passivhaus. Edificios de consumo energético casi nulo.** Fundación de la Energía de Madrid (Fenercon). Madrid 2011.
- [SOUSA 1985] Sousa R. **Notas para una climatología de Pamplona-Publicación Serie K10.** Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones. Madrid 1985. ISBN 8450529417.
- [STEPHEN 1998] Stephen R.K.. **Airtightness in UK Dwellings: BRE's Test Results and Their Significance. Report 359.** Building Research Establishment. United Kingdom, 1998.
- [THEODOSIOU, PAPAPOPOULOUS 2008] Theodosiou, T.G.; Papadopoulous, A.M. **The impact of thermal bridges on the energy demand of buildings with double brick wall constructions.** Energy and Buildings 40 (2008), p. 2083-2089.
- [THIERS 2008] Thiers S. **Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive.** Tesis de École Nationale Supérieure Des Mines De Paris. Paris 2008.
- [THULLNER 2010] Thullner K. **Low-energy buildings in Europe - Standards, criteria and consequences. A study of nine European countries.** Lund University. Lund 2010. ISBN 978-91-85147-42-7
- [TROUILLET 2008] Trouillet P. L'étanchéité à l'air dans le bâtiment. **Apuntes para el Master de Formación de Haute Qualité Environnementale.** Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Lyon 2008.
- [TULLOT,2000] Font Tullot I. **Climatología de España y Portugal.** Universidad de Salamanca. Salamanca 2000. ISBN: 9788478009442
- [UNE-EN 308:1997] UNE-EN 308:1997. **Intercambiadores de calor. Procedimientos para determinar las prestaciones de los recuperadores aire/aire y aire/gases de combustión.** AENOR, Madrid 1997.
- [UNE-EN 410:1998] UNE-EN 410:1998. **Vidrio para la edificación. Determinación de las características luminosas y solares de los acristalamientos.** AENOR, Madrid 1998.
- [UNE-EN 673:1998] UNE-EN 673:1998. **Vidrio en la construcción. Determinación del coeficiente de transmisión térmica, U. Método de cálculo.** AENOR, Madrid 1998.
- [UNE-EN 12.207:2000] UNE-EN 12.207:2000. **Ventanas y puertas. Permeabilidad al aire. Clasificación.** AENOR, Madrid 2000.
- [UNE-EN 12.237:2003] UNE-EN 12.237:2003. **Ventilación de edificios. Conductos. Resistencia y fugas de conductos circulares de chapa metálica.** AENOR, Madrid 2003.
- [UNE-EN 12.831:2003] UNE-EN 12831:2003. **Sistemas de calefacción en edificios. Método para el cálculo de la carga térmica de diseño.** AENOR, Madrid octubre 2003.
- [UNE-EN 13141-7:2011] UNE-EN 13141-7. **Ventilación de edificios. Ensayos de las prestaciones de componentes/equipos para la ventilación en viviendas. Parte 7. Ensayos de prestaciones de unidades de impulsión y extracción mecánicas (incluyendo recuperador de calor) para sistemas de ventilación mecánica destinados a viviendas individuales.** AENOR, Madrid 2011.
- [UNE-EN 13.465:2004] UNE-EN 13465. **Ventilación de edificios. Métodos de cálculo para la obtención del caudal de aire en viviendas.** AENOR, Madrid 2004.
- [UNE-EN ISO 10.211-1:1995] UNE-EN ISO 10.211-1:1995. **Puentes térmicos en la edificación. Flujos de calor y temperaturas superficiales. Parte 1: Métodos generales de cálculo.** AENOR, Madrid 1995.
- [UNE-EN ISO 10.211-1/AC:2002] UNE-EN ISO 10.211-2:2002. **Puentes térmicos en la edificación. Flujos de calor y temperaturas superficiales. Parte 1: Métodos generales.** AENOR, Madrid 2002.
- [UNE-EN ISO 10.211-2:2002] UNE-EN ISO 10.211-2:2002. **Puentes térmicos en la edificación. Flujos de calor y temperaturas superficiales. Parte 2: Puentes térmicos lineales.** AENOR, Madrid 2002.
- [UNE-EN ISO 10077-1:2001] UNE-EN ISO 10077-1:2001. **Características térmicas de ventanas, puertas y contraventanas. Cálculo del coeficiente de transmisión térmica. Parte 1. Método simplificado.** AENOR, Madrid 2001.
- [UNE-EN ISO 12569:2002] UNE-EN ISO 12569:2002. **Aislamiento térmico. Determinación de la estanqueidad al aire en edificios. Método de dilución de gas trazador. (ISO 12569:2000).** AENOR, Madrid 2002.

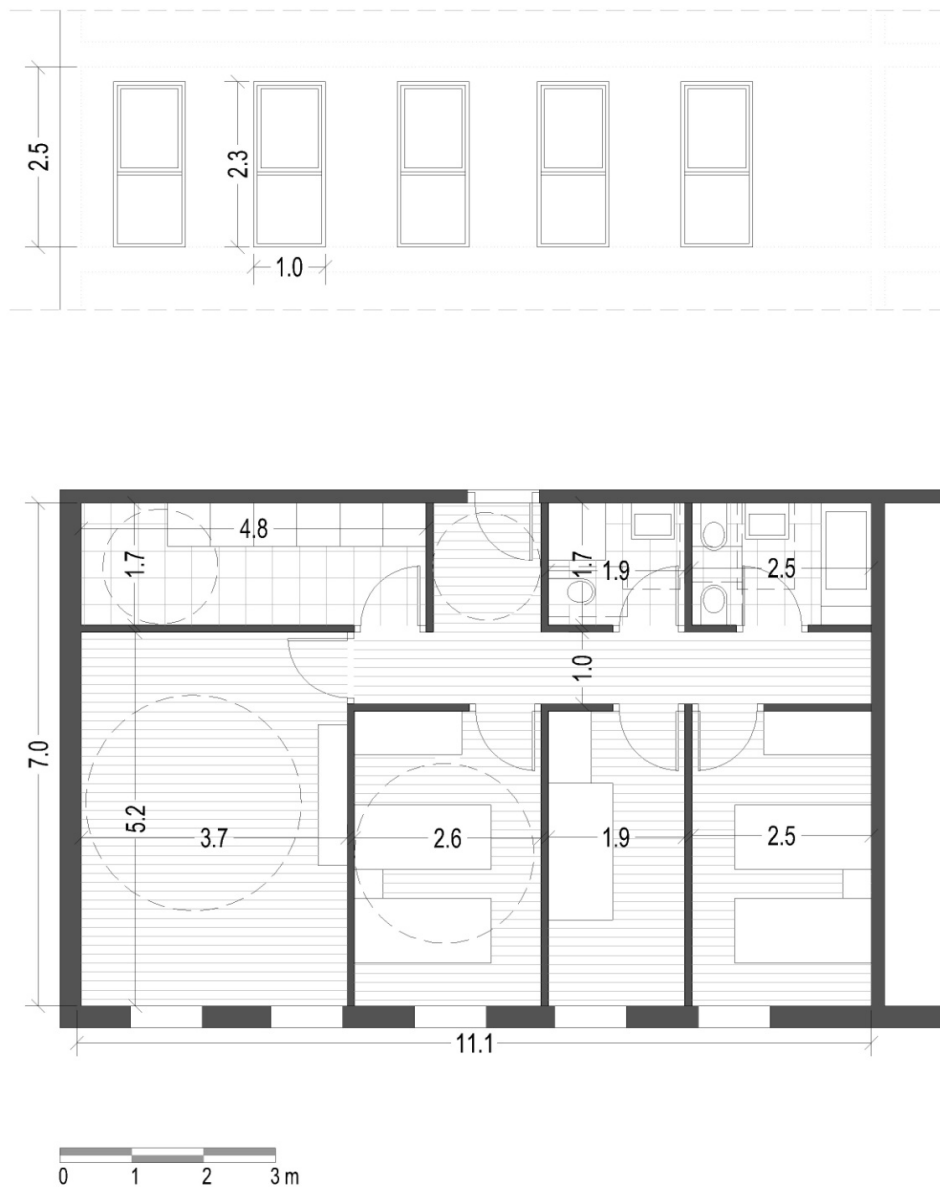
- [UNE-EN ISO 13788:2002] UNE-EN ISO 13788:2002. **Características higrotérmicas de los elementos y componentes de la edificación. Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial. Métodos de cálculo.** AENOR, Madrid 2002.
- [UNE-EN ISO 13789:2001] UNE-EN ISO 13789:2001. **Prestaciones térmicas de los edificios. Coeficiente de pérdida por transmisión de calor. Método de cálculo.** AENOR, Madrid 2001.
- [UNE-EN ISO 14683:2011] UNE-EN ISO 14683:2011. **Puentes térmicos en la edificación. Transmitancia térmica lineal. Métodos simplificados y valores por defecto.** AENOR, Madrid 2011.
- [URIARTE 1983] Uriarte, A. **Régimen de precipitaciones en la costa NW y N de la Península Ibérica.** Caja de Ahorros Provincial de Guipúzcoa, 1983. ISBN: 84-7231-929-6
- [VLADYKOVA 2011] Vladykova, P. **An energy efficient building for the Arctic climate: Is a passive house sensible solution for Greenland?** Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Civil Universidad Técnica de Dinamarca,
- [WALL 2006] Wall M. **Energy-efficient terrace houses in Sweden Simulations and measurements.** Energy and Buildings 38 (2006) 627–634.
- [WALTHER, ROSENTHAL 2009] Walther W., Rosenthal B. **Airtightness Testing of Large and Multi-family Buildings in an Energy Performance Regulation Context.** ASIEPI, Assessment and Improvement of the EPBD Impact (for new buildings and building renovation).
- [WALTJEN et ál. 2009] Waltjen T. **Passivhaus-Bauteilkatalog: Ökologisch bewertete Konstruktionen - Details for passive houses: a catalogue of ecologically rated constructions 3rd edition.** IBO Austrian Institute for Healthy and ecological Building. Springer –Verlag. Viena 2009. ISBN 978-3-211-99496 2
- [WIENERBERGER, RECTICEL 2010] Wienerberger, Recticel Insulation. **Construction massive passive. Maison passive construite selon la méthode traditionnelle.** www.massivepassive.be, www.wienerberger.be. www.recticelinsulation.be. Bélgica 2010
- [WIGWAM 2011] Wigwam Conseil. **Étanchéité à l'air des bâtiments, DVD + guide à l'usage des professionnels.** Conseil régional Bourgogne 2011.
- [WHO 1985] World Health Organization. **Health impacts of low temperatures:** report on a WHO meeting. 11-14 November 1985. Copenhagen: World Health Organization for Europe; 1987. Disponible en:http://whqlibdoc.who.int/euro/ehs/EURO_EHS_16.pdf.
- [ZHAI 2010] Zhai Z. **Ancient vernacular architecture: characteristics categorization and energy performance evaluation.** Energy and Buildings 42 (2010) 357–365.

**EVALUACIÓN DEL ESTÁNDAR DE CONSTRUCCIÓN PASSIVHAUS Y SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO CLIMÁTICO
DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA VASCA Y LA COMUNIDAD FORAL NAVARRA
EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL**

12 ANEXOS

12.1 ANEXO A. MÓDULO ANALIZADO

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL MÓDULO DE VIVIENDA ANALIZADO



Planta y alzado con las características geométricas del módulo de vivienda

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DEL MÓDULO DE VIVIENDA ANALIZADO

CERRAMIENTOS OPACOS

Fachada

		Espesor (cm)	Densidad (Kg/m ³)	Calor específico (J/KgK)	Conductividad térmica λ (W/mK)
Raseo exterior		1	1300	1000	0,5
Aislante	Z0-Man	30	35	1400	0,034
	Z0-Bur	15			
	Z1	10			
	Z2	20			
	Z3-Z4-Z5	10			
	Z6	10			
	Z7	20			
	Z0-Zar	10			
Bloque hormigón		18	1400	1000	0,51
Enlucido		1,5	1600	1000	0,80

Forjado sobre espacio libre

		Espesor (cm)	Densidad (Kg/m ³)	Calor específico (J/KgK)	Conductividad térmica λ (W/mK)
Raseo exterior		1	1300	1000	0,5
Aislante	Z0-Man	40	37,50	1000	0,042
	Z0-Bur	20			
	Z1	15			
	Z2	20			
	Z3-Z4-Z5	20			
	Z6	15			
	Z7	25			
	Z0-Zar	15			
Losa Hormigón Armado		30	2600	1000	2,5
Recrecido		5	1700	1000	1,15
Suelo madera		0,5	650	1200	0,14

Cubierta

		Espesor (cm)	Densidad (Kg/m ³)	Calor específico (J/KgK)	Conductividad térmica λ (W/mK)
Pendiente		10	1700	1000	1,15
Aislante	Z0-Man	40	37,50	1000	0,042
	Z0-Bur	20			
	Z1	15			
	Z2	20			
	Z3-Z4-Z5	20			
	Z6	15			
	Z7	25			
	Z0-Zar	15			
Losa Hormigón Armado		30	2600	1000	2,5
Enlucido		1,5	1600	1000	0,80

Ventanas

Ventana País Vasco y Navarra

	Valor
Vidrio	Doble baja emisividad. Cámara argón 6/13/6
Trasmisión U (W/m ² K)	1,34
Transmisión solar total SHGC	0,419
Transmisión solar directa	0,345
Trasmisión de luz	0,682
Marco	4 capas aluminio
Trasmisión U (W/m ² K)	1,00

Ventana Mannheim

	Valor
Vidrio	Triple. Cámara kriptón 3/8/3/8/3
Trasmisión U (W/m ² K)	0,78
Transmisión solar total SHGC	0,466
Transmisión solar directa	0,338
Trasmisión de luz	0,624
Marco	4 capas aluminio
Trasmisión U (W/m ² K)	0,72

Sombreamiento

	Valor
Lama exterior	
Conductividad (W/mK)	0,10
Transmitancia solar	0,05
Reflectividad solar	0,50
Transmitancia visible	0,05
Reflectividad visible	0,50
Transmitancia de onda larga	0,00

Cerramientos para el análisis de la influencia de la inercia térmica

	1-Madera ligera	2-Madera pesada	3-Bloque hormigón	4-Tierra 40 cm
Capacidad térmica interna (kJ/m ² K)	49	68	132	173
<i>DESINGBUILDER adopta los valores de CIBSE Guide A, Environmental Design [CIBSE 2006].</i>				

EVALUACIÓN DEL ESTÁNDAR DE CONSTRUCCIÓN PASSIVHAUS Y SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO CLIMÁTICO DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA VASCA Y LA COMUNIDAD FORAL NAVARRA

EL CASO DE LA VIVIENDA COLECTIVA DE PROTECCIÓN OFICIAL

CARACTERÍSTICAS DE LOS MÓDULOS DE VIVIENDA POR ZONAS CLIMÁTICAS

Ciudad	FACHADA		CUBIERTA		FORJADO SOBRE ESPACIO ABIERTO		VENTANAS			EFICIENCIA RECUPERADOR	PUENTES TÉRMICOS	CALEFACCIÓN AIRE	REFRIGERACIÓN	CONTROL DE HUMEDAD EN
	U	e	U	e	U	e	U _{marco}	U _{vidrio}	SHGC	%				
MANNHEIM	0,11	30	0,10	40	0,10	40	0,72	0,78	0,46	85%	N	S	N	N
BURDEOS	0,20	15	0,19	20	0,19	20	1,0	1,34	0,41	85%	N	S	N	N
HONDARRIBIA	0,28	10	0,25	15	0,25	15	1,0	1,34	0,41	85%	N	N	N	S
BILBAO	0,28	10	0,25	15	0,25	15	1,0	1,34	0,41	85%	N	S	N	S
ELIZONDO	0,28	10	0,25	15	0,25	15	1,0	1,34	0,41	85%	N	S	N	S
DONOSTIA SAN SEBASTIAN	0,28	10	0,25	15	0,25	15	1,0	1,34	0,41	85%	N	S	N	S
PAMPLONA IRUÑA	0,16	20	0,19	20	0,19	20	1,0	1,34	0,41	85%	N	S	N	N
ALTSASU ALSASUA	0,16	20	0,19	20	0,19	20	1,0	1,34	0,41	85%	N	S	N	N
VITORIA GASTEIZ	0,16	20	0,19	20	0,19	20	1,0	1,34	0,41	85%	N	S	N	N
ESTELLA LIZARRA	0,28	10	0,19	20	0,19	20	1,0	1,34	0,41	85%	N	S	N	N
LOGROÑO	0,28	10	0,19	20	0,19	20	1,0	1,34	0,41	85%	N	S	N	N
YESA	0,28	10	0,19	20	0,19	20	1,0	1,34	0,41	85%	N	S	N	N
PERALTA AZKOIEN	0,28	10	0,19	20	0,19	20	1,0	1,34	0,41	85%	N	S	N	N
TUDELA	0,28	10	0,25	15	0,25	15	1,0	1,34	0,41	85%	N	S	S	N
ISABA	0,16	20	0,16	25	0,16	25	1,0	1,34	0,41	85%	N	S	N	N

Unidades aislante: U, (W/m²K), e (cm)
S= Sí
N= No

PROGRAMACIÓN APORTES INTERNOS:

Condiciones operacionales según [AICIA 2009-2]

Ocupación sensible (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	2.15
Sábado	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
Festivo	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
Ocupación latente (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	1.36
Sábado	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
Festivo	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
Iluminación (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral, sábado y festivo	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	2.20	4.40	4.40	4.40	2.20
Equipos (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral, sábado y festivo	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	2.20	4.40	4.40	4.40	2.20

12.2 ANEXO B: RESUMEN DE LA NORMATIVA DE VIVIENDA DE PROTECCIÓN OFICIAL EN EL PAÍS VASCO

ORDENANZAS DE DISEÑO DE LAS V.P.O. DEL PAIS VASCO – BOPV, 31 de diciembre de 2002 – NÚMERO 23573

1.1 PROGRAMA MÍNIMO DE VIVIENDA

VIVIENDA 1 y 2 DORMITORIOS	
1	ESTAR – COMEDOR - COCINA
1 ó 2	DORMITORIOS
1	ASEO COMPLETO
1	TENDEDERO (5 metros de cuerda mínimo)
VIVIENDA 2 Ó MÁS DORMITORIOS	
1	ESTAR – COMEDOR - COCINA
2 ó MÁS	DORMITORIOS
1	ASEO COMPLETO
1	ASEO SECUNDARIO
1	TENDEDERO (5 metros de cuerda mínimo)

ASEO COMPLETO: LAVABO+INODORO+BAÑERA DE 1,40 m
ASEO SECUNDARIO: LAVABO+INODORO+DUCHA

1.2 SUPERFICIES ÚTILES MÁXIMAS DE VIVIENDA

1 DORMITORIO	60 m ²
1 DORMITORIO ADAPTADO A MINUSVÁLIDOS	75 m ²
2 DORMITORIOS	70 m ²
3,4 DORMITORIOS	90 m ²
FAMILIAS NUMEROSAS (5 ó más miembros), ÁREAS EN REHABILITACIÓN	120 m ²

1.3 SUPERFICIES MÍNIMAS DE LAS ESTANCIAS EN M²

TIPO DE VIVIENDA	ECK	EC	K
DE 1 DORMITORIO	18	14	7
DE 2 DORMITORIOS	20	16	8
DE 3 DORMITORIOS	22	18	9
DE 4 DORMITORIOS	24	20	10
DE 5 ó más DORMITORIOS	26	22	12

1.4 SUPERFICIE MÍNIMA DE DORMITORIOS

INDIVIDUAL	6 m ² + armario (1x0,60 m)
DOBLE	8 m ² + armario (1,50x0,60 m)

Toda vivienda deberá tener al menos un dormitorio de 10 m².

1.5 OTRAS SUPERFICIES

ESTANCIA	SUPERFICIE
ASEO COMPLETO	3 m ² (mínima)
ASEO SECUNDARIO	2 m ² (mínima)
APARCAMIENTO	30 m ² (máxima)
TRASTEROS	13,50 m ² (máxima)

1.6 CÍRCULOS MÍNIMOS EN ESTANCIAS

ESTANCIA	DIÁMETRO EN METROS
ESTAR-COCINA-COMEDOR	3 m
COCINAS CON EQUIPAMIENTO EN PARAMENTOS OPUESTOS	2,20 m
COCINAS CON EQUIPAMIENTO EN UN PARAMENTO	1,60 m
DORMITORIOS (Uno podrá ser de 2,00 m salvo en vivienda de un dormitorio)	2,50 m Se puede reducir a 1,20 m en fachada y en acceso.
ASEOS CON EQUIPAMIENTO EN PARAMENTOS OPUESTOS	1,60 m
ASEOS CON EQUIPAMIENTO EN UN PARAMENTO	1,20 m

1.7 ÁREAS DE USO DE SANITARIOS

ESTANCIA	ÁREA DE USO
LAVABO	0,80X1,20 m
INODORO Y BIDÉ	0,70X1,10 m
DUCHA Y BAÑERA	libre en paralelo al aparato 70 cm y 60 cm en perpendicular

La superposición de áreas de uso es válida.

1.8 RELACIÓN ENTRE ESTANCIAS

- Dormitorios, cocinas y aseos no pueden servir de zona de paso.
- En viviendas de un solo dormitorio, el acceso al baño podrá efectuarse a través de pasillo, vestíbulo o del mismo dormitorio.
- En viviendas de 2 ó más dormitorios se deberá disponer al menos un baño completo con acceso desde vestíbulo ó distribuidor de la vivienda.

1.9 ALTURA MÍNIMAS

ESTANCIA	ALTURA MÍNIMA
EN GENERAL	2,50 m (10% de la superficie útil podrá tener 2,20 m)
VESTÍBULOS, PASILLOS Y ASEOS	2,20 m

1.10 PATIOS

TIPOLOGIA Y TIPO DE ESTANCIAS QUE VENTILAN A TRAVÉS DEL PATIO	DIÁMETRO EN METROS (H= ALTURA DEL PATIO)
VIVIENDA UNIFAMILIAR	2 m
VIVIENDA EN ALTURA	
SALAS	H (mínimo 3 m)
DORMITORIOS Ó/Y COCINAS	0,3H (mínimo 3 m)
ASEOS Y TENDEDEROS	0,15H (mínimo 2 m)
ESCALERAS	0,15H (mínimo 2 m)

1.11 ZONAS COMUNES

En general, los recorridos comunes están regulados por el Decreto 68/2000 que regula la accesibilidad en entornos urbanos y edificios, siendo éstos más exigentes que los señalados por la Normativa de VPO.

ESTANCIA	DIÁMETRO EN METROS
PASILLOS	1 m
PORTAL	2 m
RELLANOS VIVIENDA	1,50 m
ESCALERA COLECTIVA	Lo define la norma de incendios CPI 96
ESCALERAS INDIVIDUALES	0,90 m

- Un rectángulo de 0,70x2,00 metros, deberá pasar por todas las circulaciones.
- Altura mínima 2,40 metros.
- Un tramo de escalera tendrá 18 peldaños como máximo.
- Iluminación y ventilación a fachada o patio, mínimo 1 m² de superficie.
- Si la iluminación es cenital, la escalera tendrá un ojo de ancho 0,80 H, siendo H la altura de la escalera y una superficie

1.12 GARAJES COLECTIVOS

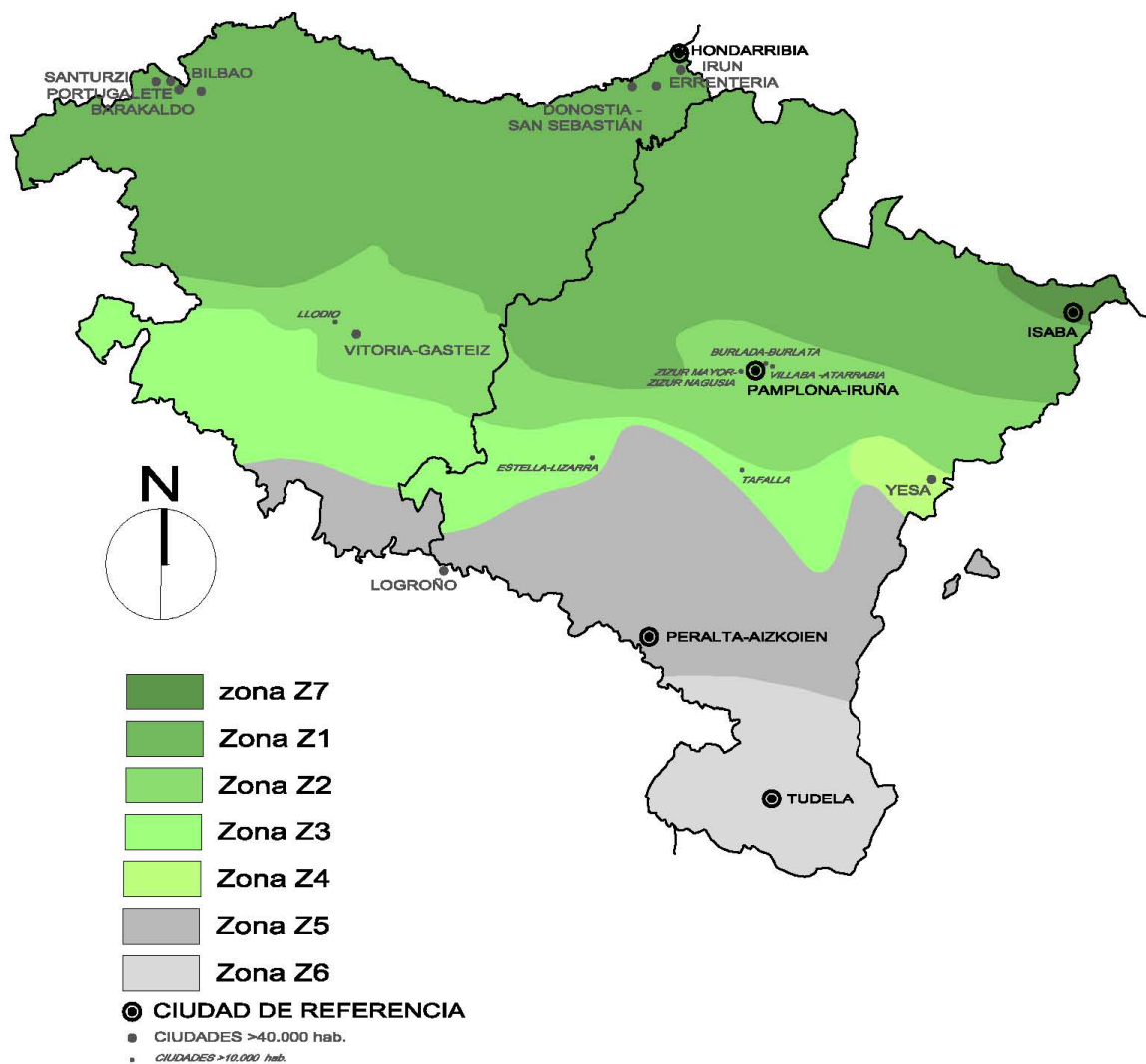
ESTANCIA	CONDICIONES
VIAL DE ACCESO < 80 PLAZAS	4 m
VIAL DE ACCESO > 80 PLAZAS	5 m ó entrada y salida independientes
MESETA DE ACCESO DELANTE DE RAMPA O PUERTA	5 m y 5% de pendiente máxima
RAMPAS INTERIORES	3,50 m de ancho
PENDIENTES DE RAMPAS	16% en tramos rectos 12% en tramos curvos
RADIO DE CURVATURA	6 m
PASILLOS DE RODADURA	3,50 m en aparcamiento en hilera ó batería a 45° 5 m en batería a 90°
RADIO DE GIRO HASTA PLAZA	4,50 m y anchura 3 m
ALTURA LIBRE	2,20 m
DIMENSIONES DE PLAZA NORMALES	En batería = 2,30x4,80 m + 20 cm si existe paramentos. En hilera = 2,30x5,60 m Minusválidos = 3,60 x 5,00
DIMENSIONES DE PLAZA MINUSVÁLIDOS	Batería = 3,60x5,00 m Hilera = 3,60x6,00 m

1.13 OTRAS NORMAS FUNDAMENTALES

DECRETO DE ACCESIBILIDAD 68/2000 de 11 de Abril de 2000
<http://www.euskadi.net> – Boletín Oficial del País Vasco

CONDICIONES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS CPI-96

12.3 ANEXO C. DATOS CLIMÁTICOS DE LAS CIUDADES ESTUDIADAS
SITUACIÓN DE LAS ZONAS CLIMÁTICAS Y DE LAS CIUDADES DE REFERENCIA

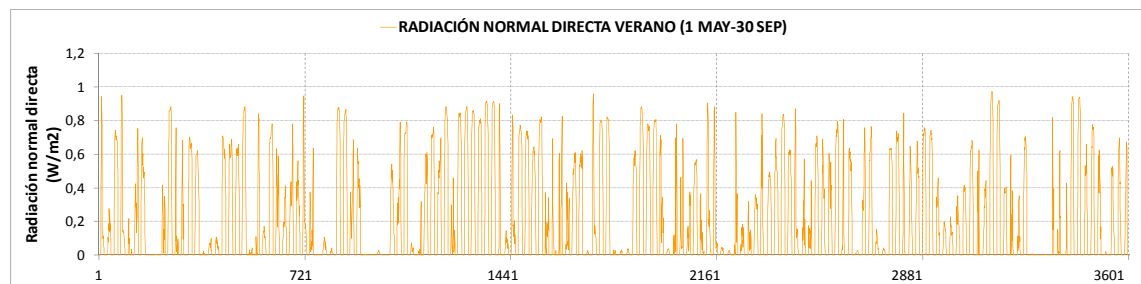
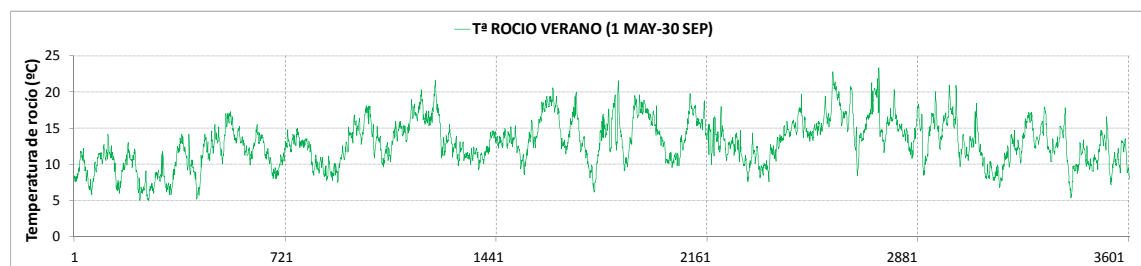
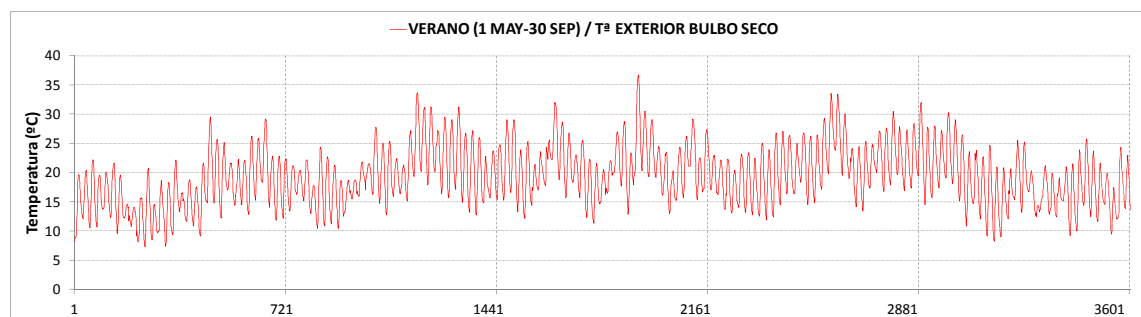
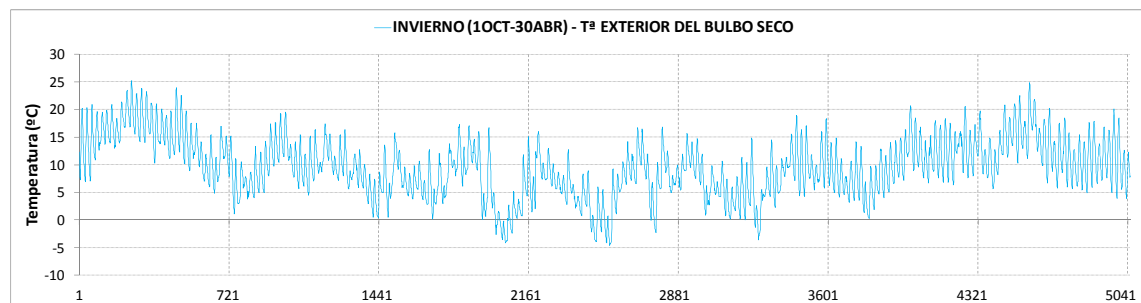


ZONA 0: MANNHEIM

Localización	
Latitud	49,5°N
Longitud	8,6°E
Altitud	106 m

	Invierno (1 oct - 30 abr)	Verano (1 may – 30 sep)
Tª mínima (°C)	-4,6	6,9
Tª máxima (°C)	25,2	36,7
Radiación Normal directa media diaria (W/m ²)	0,09	0,19

	Nº Horas	%
Horas anuales >25°C	499	6
Horas anuales >28°C	174	2

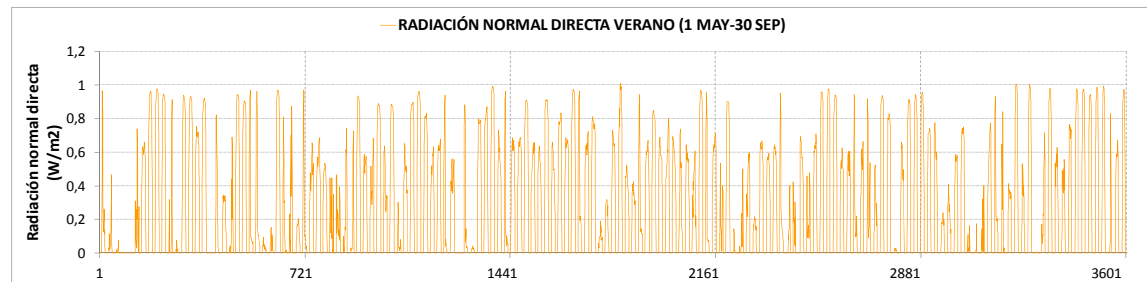
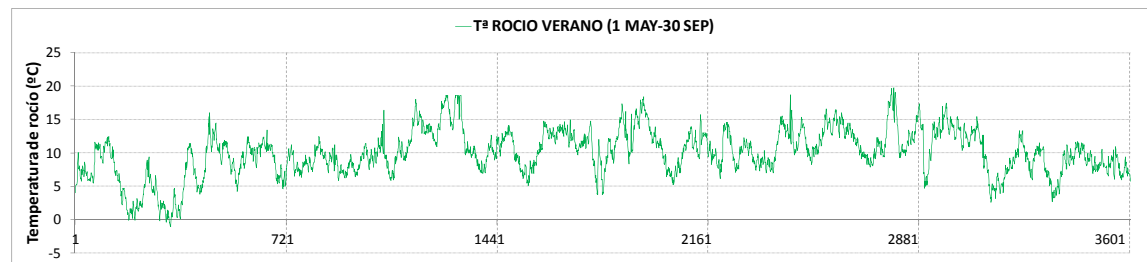
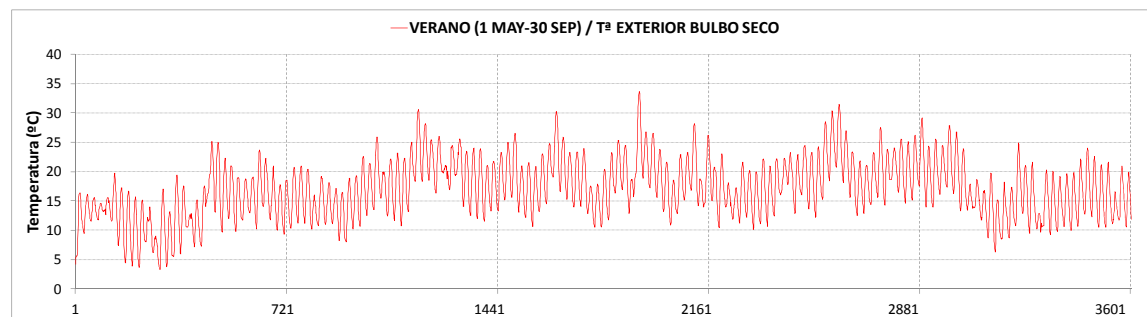
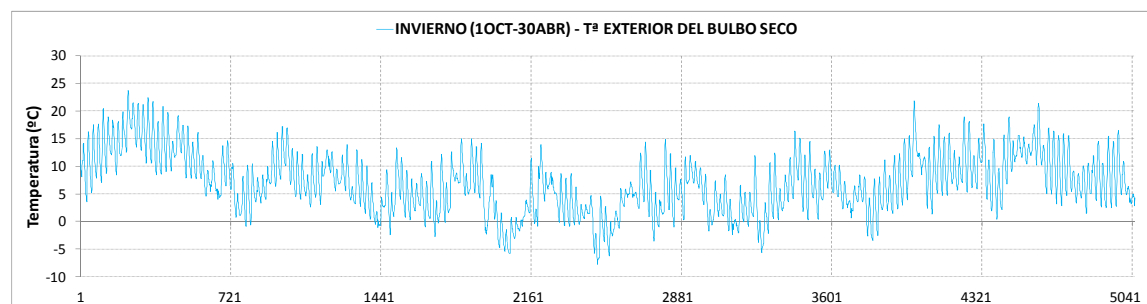


ZONA 0: BURDEOS

Localización	
Latitud	44,8°N
Longitud	-0,7°E
Altitud	46 m

	Invierno (1 oct - 30 abr)	Verano (1 may – 30 sep)
Tª mínima (°C)	-4,6	6,9
Tª máxima (°C)	25,2	36,7
Radiación Normal directa media diaria (W/m ²)	0,09	0,19

	Nº Horas	%
Horas anuales >25°C	499	6
Horas anuales >28°C	174	2

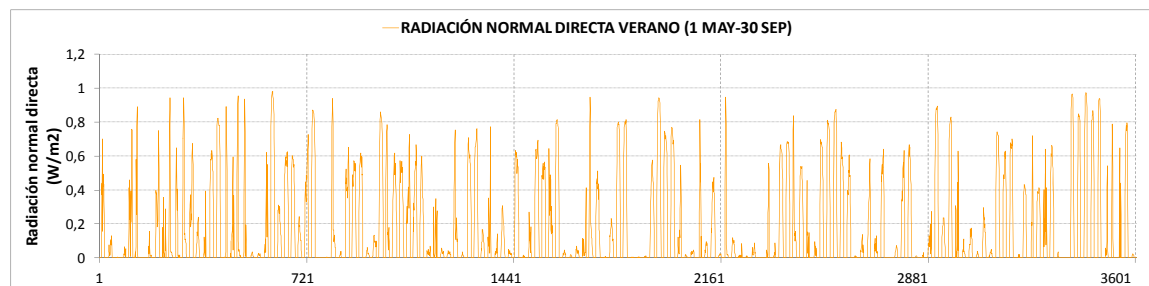
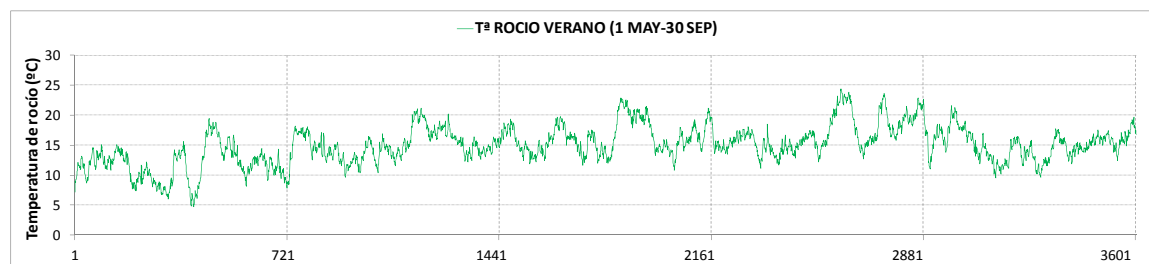
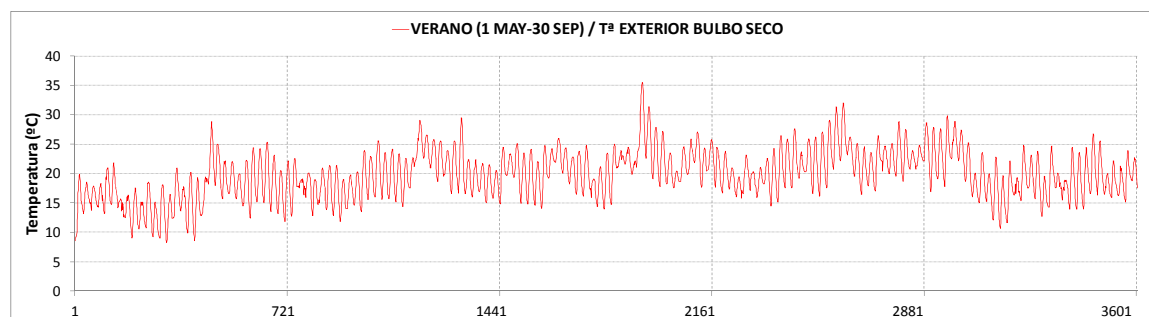
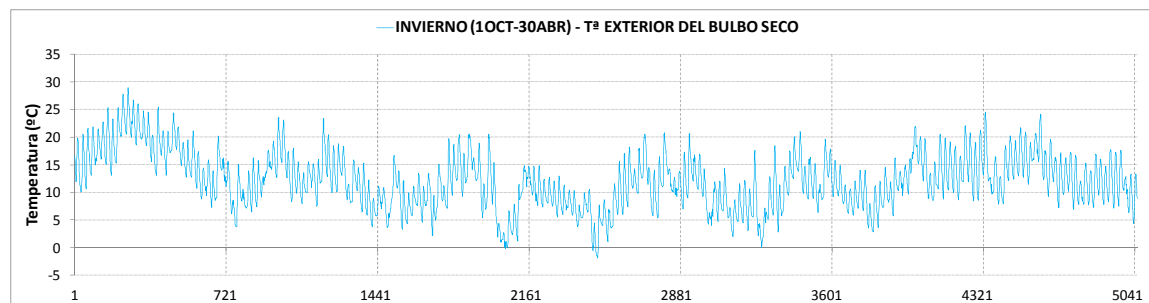


ZONA 1: HONDARRIBIA

Localización	
Latitud	43,3°N
Longitud	-1,8°E
Altitud	8 m

	Invierno (1 oct - 30 abr)	Verano (1 may - 30 sep)
Tª mínima (°C)	-1,8	8,3
Tª máxima (°C)	28,9	35,5
Radiación Normal directa media diaria (W/m ²)	0,10	0,15

	Nº Horas	%
Horas anuales >25°C	367	4
Horas anuales >28°C	82	0,9

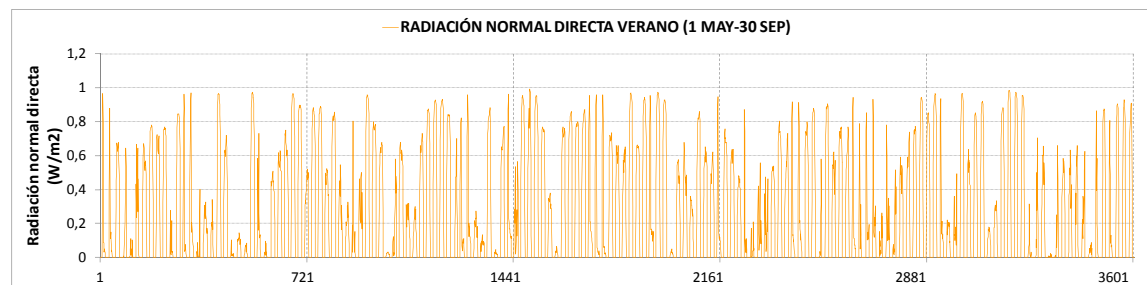
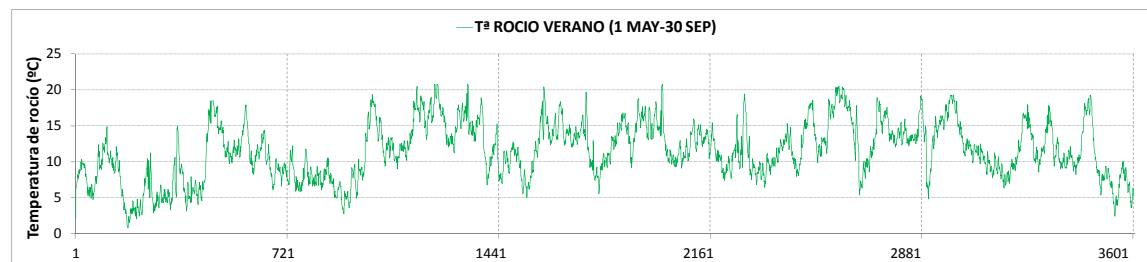
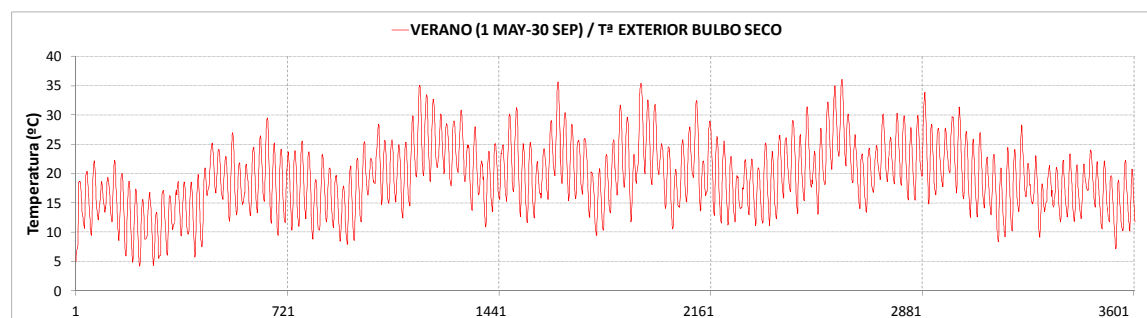
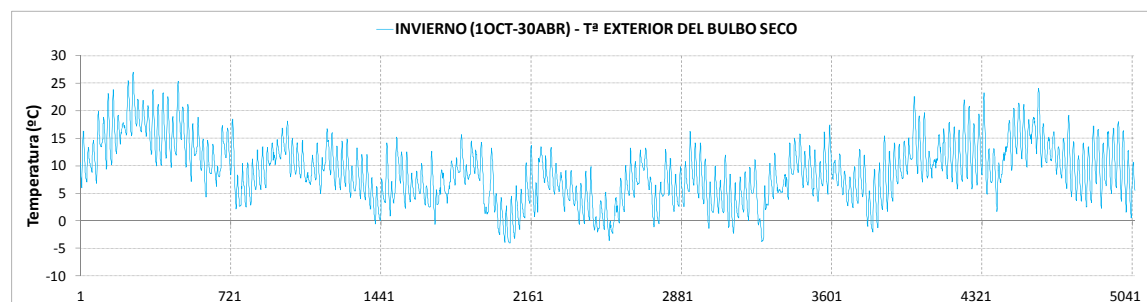


ZONA 2: PAMPLONA.IRUÑA

Localización	
Latitud	42,8°N
Longitud	-1,6°E
Altitud	459 m

	Invierno (1 oct - 30 abr)	Verano (1 may – 30 sep)
Tª mínima (°C)	-4,0	4,2
Tª máxima (°C)	27,0	36,1
Radiación Normal directa media diaria (W/m ²)	0,13	0,25

	Nº Horas	%
Horas anuales >25°C	597	7
Horas anuales >28°C	281	3,2

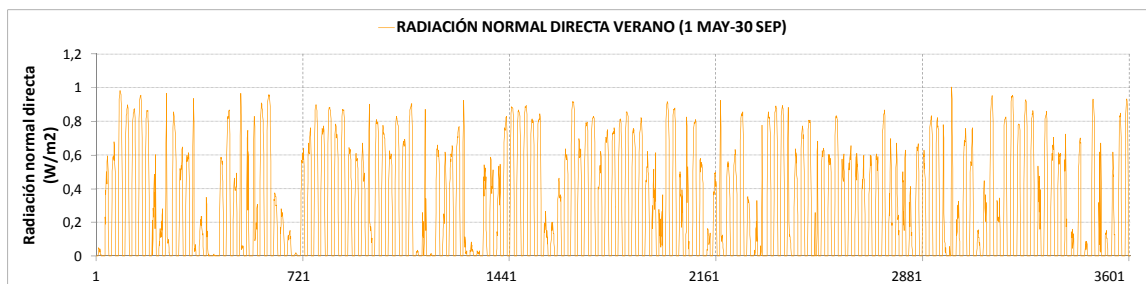
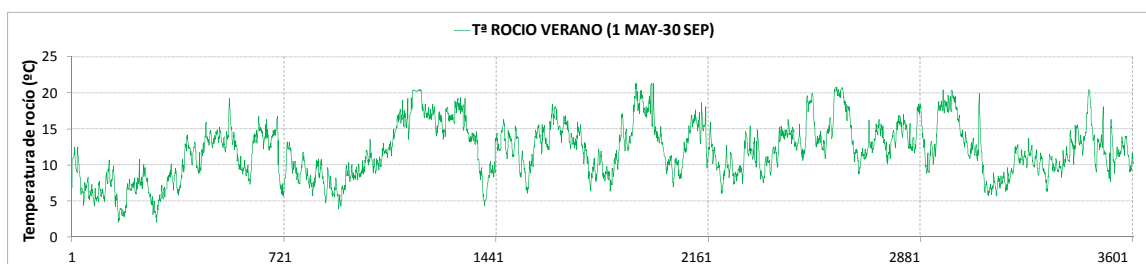
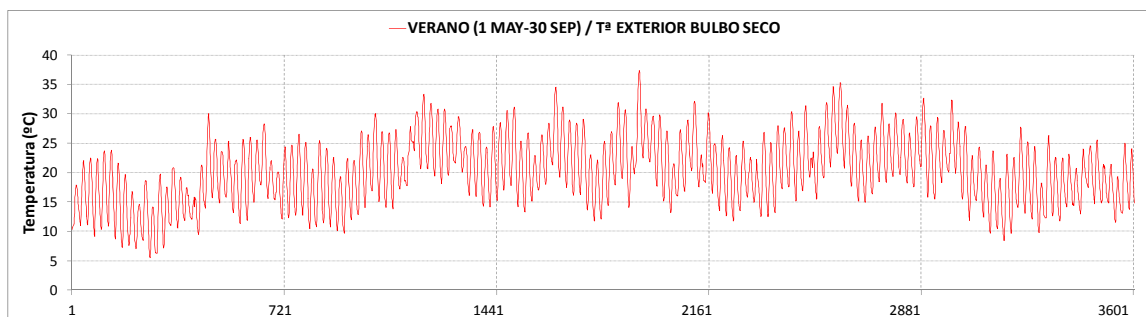
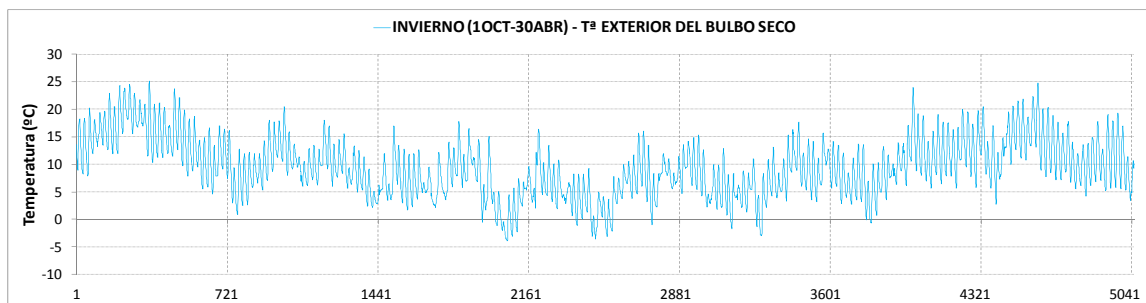


ZONA 4: PERALTA-AZKOIEN

Localización	
Latitud	42,3°N
Longitud	-1,8°E
Altitud	286 m

	Invierno (1 oct - 30 abr)	Verano (1 may – 30 sep)
Tª mínima (°C)	-3,9	5,5
Tª máxima (°C)	25,1	37,4
Radiación Normal directa media diaria (W/m ²)	0,15	0,26

	Nº Horas	%
Horas anuales >25°C	750	9
Horas anuales >28°C	307	3,5

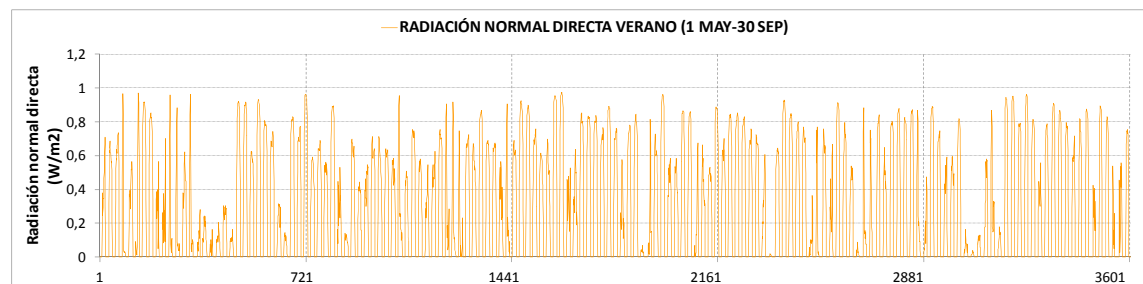
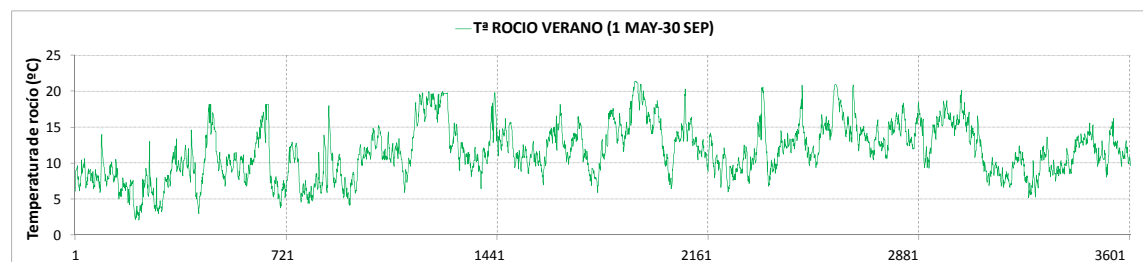
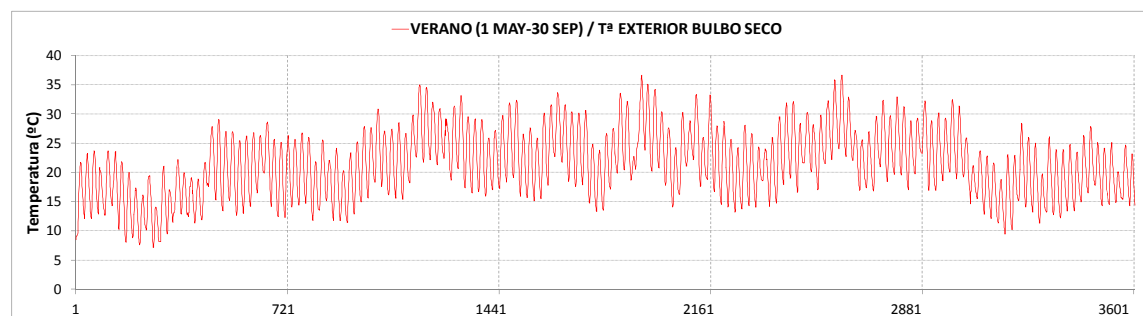
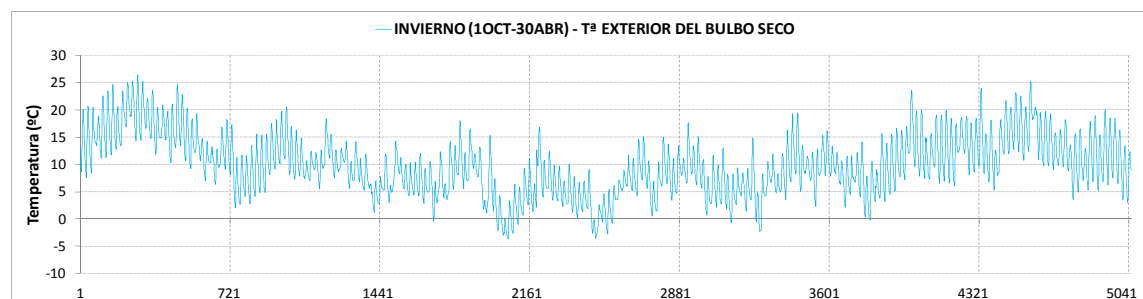


ZONA 6: TUDELA

Localización	
Latitud	42,0°N
Longitud	-1,6°E
Altitud	277 m

	Invierno (1 oct - 30 abr)	Verano (1 may – 30 sep)
Tª mínima (°C)	-3,7	7,1
Tª máxima (°C)	26,4	36,6
Radiación Normal directa media diaria (W/m ²)	0,16	0,27

	Nº Horas	%
Horas anuales >25°C	1014	12
Horas anuales >28°C	477	5,4

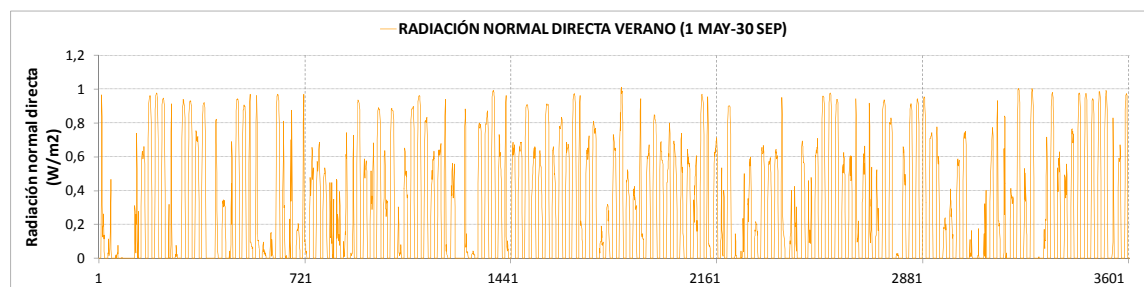
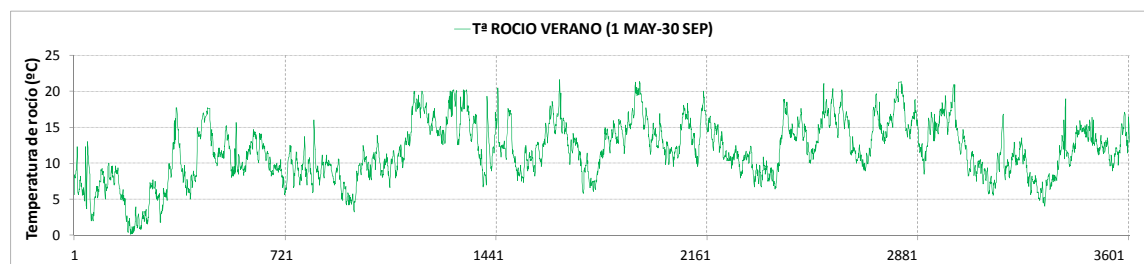
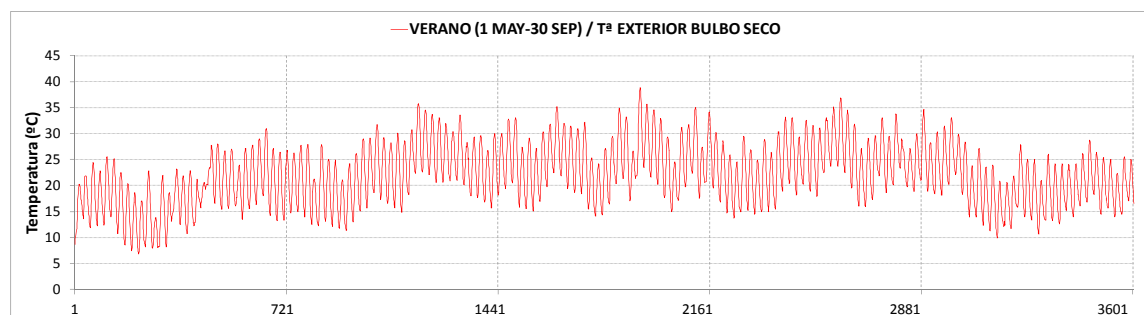
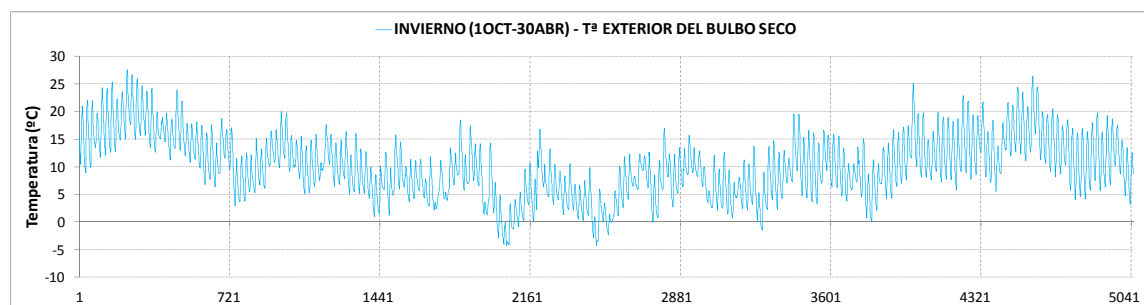


ZONA 7: ISABA

Localización	
Latitud	42,9°N
Longitud	-0,9°E
Altitud	806 m

	Invierno (1 oct - 30 abr)	Verano (1 may - 30 sep)
Tª mínima (°C)	-7,8	3,3
Tª máxima (°C)	23,7	33,6
Radiación Normal directa media diaria (W/m ²)	0,15	0,26

	Nº Horas	%
Horas anuales >25°C	192	2
Horas anuales >28°C	55	0,6



ZONA 0: ZARAGOZA

Localización	
Latitud	41,7°N
Longitud	-0,9°E
Altitud	243 m

	Invierno (1 oct - 30 abr)	Verano (1 may – 30 sep)
Tª mínima (°C)	-4,3	6,8
Tª máxima (°C)	27,5	38,8
Radiación Normal directa media diaria (W/m ²)	0,15	0,26

	Nº Horas	%
Horas anuales >25°C	1162	13
Horas anuales >28°C	608	6,9

