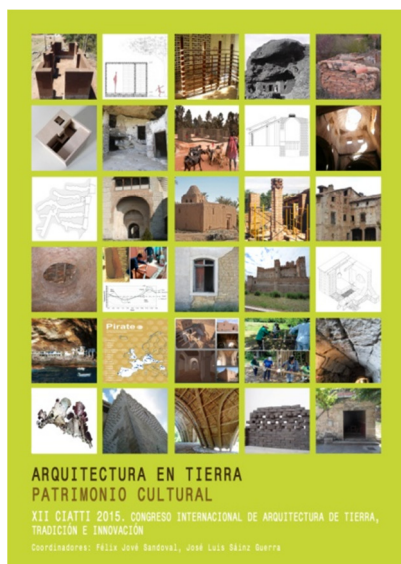




Arquitectura en Tierra

Patrimonio Cultural

XII CIATTI 2015

Congreso de Arquitectura de Tierra en Cuenca de Campos 2015.

Coordinadores: Félix Jové Sandoval, José Luis Sáinz Guerra.

ISBN: 978-84-617-4586-9

D.L.: VA 620-2016

Impreso en España

Agosto de 2016

Publicación online.

Para citar este artículo:

RODRÍGUEZ VIDAL, Íñigo; ORÍO PÉREZ, Paula. "Reducción del sobrecalentamiento en vivienda social mediante la utilización de tierra prensada". En: *Arquitectura en tierra. Patrimonio Cultural. XII CIATTI. Congreso de arquitectura en tierra en Cuenca de Campos 2015*. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2015. Pp. 163-174

URL de la publicación: <http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones.html>

Este artículo sólo puede ser utilizado para la investigación, la docencia y para fines privados de estudio. Cualquier reproducción parcial o total, redistribución, reventa, préstamo o concesión de licencias, la oferta sistemática o distribución en cualquier otra forma a cualquier persona está expresamente prohibida sin previa autorización por escrito del autor. El editor no se hace responsable de ninguna pérdida, acciones, demandas, procedimientos, costes o daños cualesquiera, causados o surgidos directa o indirectamente del uso de este material.

This article may be used for research, teaching and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, re-distribution, re-selling, loan or sub-licensing, systematic supply or distribution in any form to anyone is expressly forbidden. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of this material.

Copyright © Todos los derechos reservados

© de los textos: sus autores.

© de las imágenes: sus autores o sus referencias.

REDUCCIÓN DEL SOBRECALENTAMIENTO EN VIVIENDA SOCIAL MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE TIERRA PRENSADA

XII CIATTI 2015. Congreso Internacional de Arquitectura de Tierra
Cuenca de Campos, Valladolid.

*Íñigo Rodríguez Vidal. Arquitecto, Profesor Laboral Interino.
E.T.S.Arquitectura, Universidad del País Vasco-Euskal Herriko
Unibertsitatea. Donostia- San Sebastián, España.
Paula Orío Pérez. Alumna de Proyecto Fin de Carrera
E.T.S.Arquitectura, Universidad del País Vasco-Euskal Herriko
Unibertsitatea. Donostia- San Sebastián, España.*

PALABRAS CLAVE: sobrecalentamiento, inercia térmica, tierra prensada

1. Introducción

El estándar Passivhaus® es una solución tecnológica que se enmarcaría en lo que se conoce como arquitectura conservativa del calor, es decir, evitando las pérdidas de calor al máximo mediante un fuerte aislamiento en cerramientos, unas ventanas superaisladas, un control de las infiltraciones de aire máximo, y la utilización de sistemas de ventilación de doble flujo con recuperador de alto rendimiento, podemos mantener el confort interior con un aporte muy pequeño de energía. El ejemplo tradicional típico sería el iglú en clima frío, en el que una forma compacta,

bien aislada del exterior puede mantener un confort relativamente alto con el solo aporte del calor de sus ocupantes y quemando un mínimo de energía, grasa de animales tradicionalmente. En esta arquitectura es muy importante el aislamiento, la captación solar y perjudicial la inercia térmica. Se encontraría en el extremo opuesto a lo que se es una arquitectura conservativa del fresco, una arquitectura en un desierto con una fuerte radiación y temperatura durante el día y bajas temperaturas durante la noche. Esta arquitectura buscará protegerse al máximo del calor durante el día, tradicionalmente mediante la utilización de gruesos muros que

sirvan de acumuladores térmicos que regulen el desfase de de temperaturas exteriores durante el día y la noche. En este caso el aislamiento tradicionalmente no se utilizaba ya que lo único que hace es evitar que el calor se disipe durante la noche.

Este estándar, ideado para climas fríos del centro y norte de Europa con un criterio de conservar y captar el calor, se está expandiendo a otros climas como modelo para el ahorro energético, iniciándose los últimos años la construcción de las primeras viviendas bajo este estándar en Italia, Francia y España. Sin embargo, ese estándar se encuentra con dos problemas fundamentales a la hora de su aplicación en los países del Sur de Europa. El primero, tiene relación con la mayor radiación solar, especialmente en los meses de verano. Esto significa que si bien en los climas que encontramos en España la demanda de calefacción durante el invierno es elevada, también lo es en numerosas zonas la demanda de energía para refrigeración durante los meses de verano, muchas veces combinadas. El segundo problema tiene relación con el cambio climático. La mayoría de las investigaciones generan modelos que predicen un aumento importante de la temperatura media, las olas de calor, y por tanto, la demanda de refrigeración en la edificación para satisfacer los niveles de confort actuales y la disminución de la demanda de calefacción.

En los climas templados, como el que encontramos en la región del País Vasco y Navarra, se presentan acusados cambios de condiciones a lo largo del año, y es donde paradójicamente la arquitectura se hace más compleja, al tener que ser adaptable, aunque sea por cortos periodos de tiempo, 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).

El riesgo de consecuencias nocivas en forma de sobrecalentamientos excesivos en las viviendas superaisladas se ha destacado en numerosos estudios con monitorizaciones reales en el norte de Europa, existiendo pocos en el sur de Europa, por ejemplo (Schmitt 2007). Otros estudios sobre la adaptación del estándar al sur de Europa (Schnieders 2005), (Passive-On 2007) y (Schnieders 2009), utilizan exclusivamente simulaciones dinámicas.

Además, habría que añadir un concepto fundamental de las definiciones de sostenibilidad en arquitectura, con una visión cada vez más global, por ejemplo al considerar la energía gris de los materiales en el consumo energético total del edificio a lo largo de su ciclo de vida. Esto significa que la utilización de materiales que sirven para reducir el consumo energético del edificio en calefacción o refrigeración tienen que considerarse en la vida útil del edificio considerando aspectos como la energía que hemos necesitado para producir los materiales que integran dicha construcción. En este sentido, la tierra prensada y los bloques de adobe tienen una energía contenida de 0,7 MJ/kg, frente a los ladrillos cerámicos 2,5 MJ/kg, y los bloques aligerados de hormigón 3,6 MJ/kg (Soebarto 2009)¹. La madera es igualmente un material con bajos valores de energía gris, siempre que el origen de la misma sea de explotaciones locales sin grandes costos de transporte.

Por último, un problema que se encuentra la adaptación del estándar Passivhaus® es la diferente realidad sociocultural de España respecto a los países del norte de Europa. Por un lado, la forma de habitar el territorio mediante bloques de vivienda colectiva, frente a viviendas unifamiliares y la menor superficie de estas, genera consideraciones físicas como los aportes internos de calor muy relevantes a la hora de considerar el comportamiento de las viviendas respecto al confort².

2. Metodología

2.1. 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

	1-Madera ligera	2-Madera pesada	3-Bloque hormigón	4-Tierra 40 cm	5-Tierra 60 cm
Capacidad térmica interna kJ/m ² K	49	68	132	173	173

Tabla 1. Capacidad térmica interna de los sistemas constructivos analizados. Elaboración de los autores.

los edificios con una estrategia diferente, más próxima a Centroeuropa en la franja norte y más próxima al Mediterráneo en la franja sur.

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.

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.

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. El cambio climático está bien descrito en los diferentes escenarios de cambio climático, siendo más difícil de evaluar las islas de calor urbanas de una forma concreta.

2.2 Modelo analizado

Mediante una simulación energética dinámica horaria utilizando el programa Energy Plus, se estudia la unidad habitacional más común en vivienda pública (75 m²) en sus diferentes combinaciones y orientaciones. Este formato de vivienda es reducido a un formato de paralelepípedo en el que los huecos pueden

abrirse en tres de sus cuatro laterales. Se configuran unos huecos que se corresponden al estándar de vivienda de promoción pública según la normativa vigente, proporcionados respecto a la superficie útil de las estancias (Visesa 2007). Se estudia un modelo que analiza una planta baja, una planta tipo y una planta bajo cubierta, pero los resultados mostrados en este estudio incorporan exclusivamente los valores de la planta tipo, al ser por efecto de las menores pérdidas a través de los cerramientos la que tiene mayores riesgos de sobrecalentamiento a la vez de ser el tipo más numeroso.

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 panel de madera contralaminada, con una mayor capacidad térmica (2-Madera pesada), una fachada formada por un bloque de hormigón pesado (3-Bloque de hormigón), y dos sistemas que incorporan la tierra prensada, uno de 40 cm (4-Tierra 40) y otro de 60 cm de espesor (5-Tierra 60). La tierra prensada tiene unos valores físicos de conductividad 1,1 W/m²K, Calor específico 1 MJ/KgK y una densidad de 1885 kg/m³. Los cinco sistemas constructivos tienen el mismo sistema estructural de forjados de hormigón armado, y el mismo valor de inercia térmica interior por tabiquerías ya que el fin es valorar los resultados de los diferentes sistemas de fachada. Se excluyen los puentes térmicos del estudio. Los valores adoptados son los reflejados en la Tabla 1.

En cuanto a los valores de aislamiento utilizados, dependen de cada región climática. Para ello se estudian los modelos en el periodo invernal con unos valores bajos de aportes internos (1,6 W/m²), en las tipologías con menor radiación solar para estar dentro de los valores del estándar Passivhaus®, obteniendo los reflejados en la Tabla 2. Los valores de aislamiento de cubiertas, ventanas

	Zona 0 Burdeos	Zona 1 Hondarribia	Zona 2 Pamplona	Zona 3 Peralta	Zona 4 Tudela	Zona 5 Isaba
Transmitancia U (W/m2K)	0,20	0,28	0,15	0,28	0,28	0,15

Tabla 2. Transmitancia de las fachadas en las diferentes zonas climáticas analizadas. Elaboración de los autores.

y suelos sobre espacios abierto siguen un patrón similar aunque no se incorporan los datos en este trabajo.

2.3. Climas de la Comunidad Autónoma Vasca y Comunidad Foral Navarra

Numerosos factores hacen que se produzca una variabilidad enorme en los climas que podemos encontrar en la región de estudio. De norte a sur se produce un aumento importante de la radiación solar, debido fundamentalmente a la alta nubosidad presente en la cara norte de los montes vascos por influencia de las borrascas atlánticas. Así, los valores medios anuales se sitúan en 3,4 W/m² en la costa cantábrica frente a los máximos de 4,6W/m² en la Ribera del Ebro. Un segundo aspecto relevante es las temperaturas medias máximas y mínimas. La cercanía del mar genera un clima más templado sin grandes saltos entre las mínimas y máximas, frente al sur de la región con un clima continental con grandes saltos de temperatura entre las mínimas y las máximas. Otros aspectos relevantes son la fuerte humedad en la costa frente al ambiente seco del sur de Navarra, la orografía, que genera diferencias de clima debido a la altitud, con regiones pirenaicas con clima de montaña, y con difícil acceso a la radiación en algunas situaciones en valle. En resumen, podríamos establecer 5 zonas tipo; la zona 1, zona de costa, templada y con baja radiación con ciudades como Donostia-San Sebastián y Bilbao; la zona 2, zona intermedia, con radiación anual media y amplias variaciones de temperatura entre mínimas y máximas, con ciudades como Vitoria-Gasteiz, Alsasua y Pamplona; Zona 3,4 y 5, con clima mediterráneo continental, un territorio amplio de transición con ciudades como Logroño, Estella, Peralta, Lodosa y Yesa; En el extremo sur, la zona 6, con un clima mediterráneo árido con una ciudad representativa, Tudela. Un clima diferenciado sería el clima de montaña, denominado Zona 7 y que representa a las poblaciones situadas en altitud, representada por Isaba.

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. Para el clima estadístico se utilizan los datos de temperatura de los años 2000-2009 y los de radiación solar de 1986-2005, al que llamaremos "Clima 2000-2009".

2.4. Cambio climático

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 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. Este estudio utiliza para el análisis del comportamiento futuro el modelo A1B en los años 2040 y 2080. Este modelo

representa un término medio de los diferentes escenarios de cambio climático.

2.5. Aportes Internos de Calor

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 programa de certificación del Passivhaus Institut (Feist 2007) utiliza un valor general de 2,1 W/m² (viviendas), aumentándolo considerablemente para otras tipologías, hasta 4,1 W/m² (residencias de ancianos). En un periodo típico de calefacción en Centroeuropa de 225 días, puede suponer unas ganancias de calor de 11,3 kWh/m²a, (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 W/m² utilizado por (Feist 2007) 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.

La normativa española 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 (AICIA 2009). El CTE-DB he1 en el Apéndice A, establece las cargas internas. 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; y se considerará Alta carga interna a partir de dicho valor. La ocupación considerada en el programa LIDER³. El resultado de aplicar la normativa española genera unos aportes internos sensibles de 4,80 W/m².

2.6. Modelos de confort y sobrecalentamiento

Este estudio valora el confort interior a partir de los modelos definidos en las normas UNE-ISO 7730, UNE-EN:15.251, y las prescritas por el estándar Passivhaus®. La norma UNE-

ISO 7730 genera unos límites para los valores de humedad relativa y temperatura estándar en función de la actividad y la vestimenta. El modelo de confort utilizado por el Passivhaus Institut es derivado de la norma UNE-ISO 7730 y se delimita por una humedad relativa entre 30-70% y una temperatura inferior de 20°C y una superior función de la humedad que se corresponde con la definida por la norma UNE-ISO 7730 que varía entre los 26,2 °C para una humedad relativa del 70% y los 27,2 °C para una humedad relativa del 30%.

La norma UNE-EN:15.251 describe unas zonas de confort adaptativo en la que las temperaturas interiores máximas y mínimas se asocian a una temperatura exterior corregida⁴, que es una forma de cuantificar el rigor de las olas de calor. Los modelos adaptativos se derivan de estudios que 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 adaptación⁵.

En cuanto a la evaluación del sobrecalentamiento, se considera el criterio establecido por el Passivhaus Institut de número de horas por encima de 25 °C inferior al 10%, recomendándose no superar el 5%. Asimismo se incorpora el valor prescrito por la norma CIBSE TM-36 que limita a un 1% de las horas anuales la temperatura por encima de 28°C⁶.

3. Resultados

3.1. Análisis del comportamiento sin ventilación natural nocturna

Se realiza análisis previo de los 22 modelos en las 7 ciudades de referencia con un solo sistema constructivo (3-Bloque de hormigón), sin protecciones solares fijas ni móviles ni ventilación nocturna. De este análisis se desprenden varias conclusiones previas; las tipologías con menor necesidad de potencia 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); los tipos con menores demandas de energía en invierno y mayores problemas de sobrecalentamiento se corresponden con los tipos [_S_], [_eS_], [_sO_], [_E_], [N_S_], [_e_o_] y equivalentes⁷; asimismo,

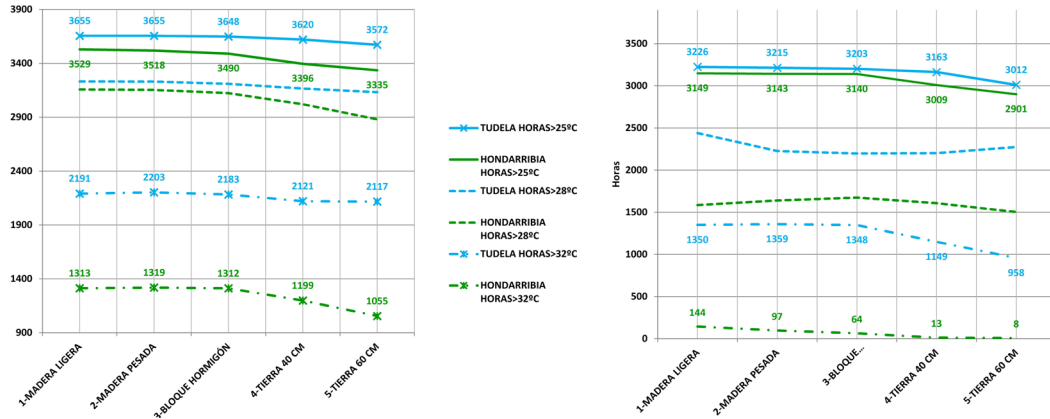


Figura 1. Número de horas por encima de los límites de 25°C, 28°C, 31°C y 32°C de los diferentes sistemas constructivos en las ciudades de referencia de Hondarribia y Tudela para los edificios sin ventilación nocturna. A la izquierda sin protecciones solares exteriores automatizadas, a la derecha automatizadas para cerrarse a partir de 23°C de temperatura interior. El periodo representado se corresponde con el periodo del 1 de mayo al 30 de septiembre (3670 horas) a partir del fichero climático 2000-2009. Elaboración de los autores.

de las ciudades analizadas en cada zona climática, se obtiene una ciudad de referencia, correspondiente a la ciudad con mayor demanda de refrigeración anual, siendo estas Hondarribia para la Zona 1, Pamplona para la Zona 2, Peralta para las zonas 3,4 y 5, Tudela para la Zona 6 e Isaba para la Zona 7.

Para el análisis de la influencia de la inercia térmica se utiliza el tipo [N_S], es decir, apartamento con huecos en las fachadas largas orientadas a norte y a sur. Este tipo, no es el que más riesgos de temperaturas excesivas puede tener en verano, pero permite ejemplarizar la influencia de la masa térmica en el comportamiento global del espacio. En las siguientes simulaciones se incorporan protecciones solares fijas a lo largo de la fachada sur con una dimensión de 1,5 m⁸.

Un primer dato de la influencia de la capacidad térmica en edificios superaislados la observamos en la figura 1 (izquierda), la cual nos muestra los resultados de este primer análisis comparativo en la vivienda tipo [N_S] de los modelos situados en Hondarribia y Tudela, esta vez con los cinco sistemas constructivos, constatando que la inercia no provoca un aumento de las horas de sobrecalentamiento, incluso permite reducir ligeramente los picos de temperatura máxima

y mínima. Un análisis posterior en la figura 1 (derecha) incorporando protecciones solares automatizadas logra reducir notablemente las horas de sobrecalentamiento, pero estando todavía muy por encima del límite prescrito por el estándar Passivhaus® del 10% de horas por encima de 25°C y permite observar una reducción apreciable de los picos de temperatura máxima con las construcciones pesadas.

Las gráficas de la figura 1 muestran claramente la eficiencia energética de las viviendas superaisladas. Prácticamente toda la energía que entra en el edificio por los aportes internos y la radiación solar contribuye a mantener unas elevadas temperaturas interiores al no haber grandes pérdidas a través de cerramientos, ventilación o infiltraciones. Por otro lado, esto se convierte en un factor negativo en el periodo estival y nos muestra la necesidad de actuar mediante todas las técnicas tradicionales para reducir los periodos de sobrecalentamiento, disipar el aire caliente interior por extracción mecánica o ventilación natural en los periodos con temperaturas exteriores bajas, evitar el exceso de radiación solar mediante protecciones solares fijas o móviles, y reducir los aportes internos mediante la utilización de electrodomésticos con buena calificación energética.

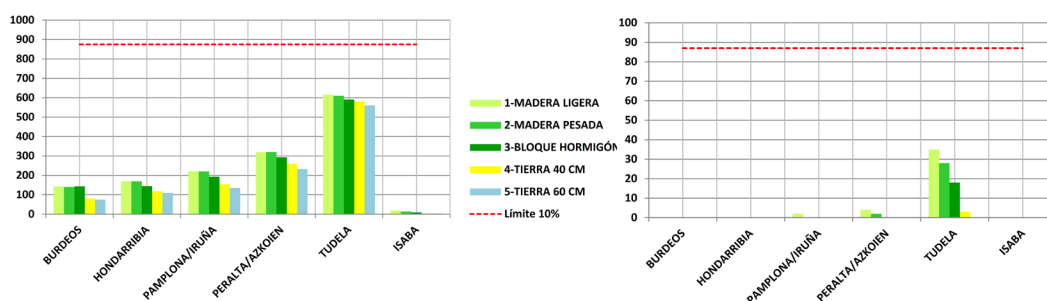


Figura 2. Número de horas por encima de los 25°C (izquierda) y de 28°C (derecha) para los diferentes sistemas constructivos en las ciudades de referencia de cada zona climática. El periodo representado se corresponde con el periodo del 1 de mayo al 30 de septiembre (3670 horas) a partir del fichero climático 2000-2009. Elaboración de los autores.

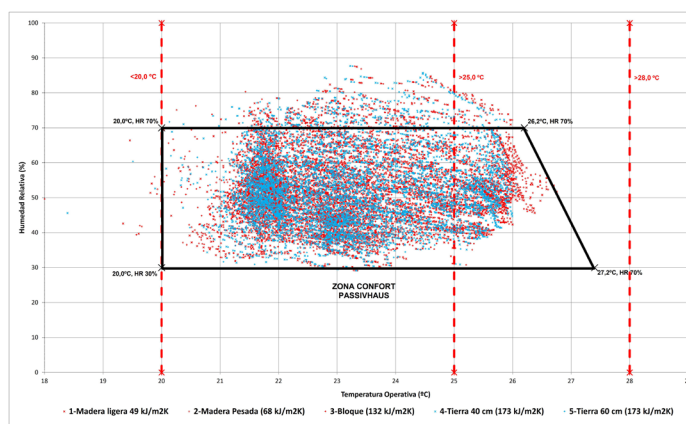


Figura 3. Gráfica de confort según límites de confort definidos por el Passivhaus Institut (basado en UNE-ISO 7730) para la vivienda tipo sin refrigeración activa y el fichero climático 2000-2009. El periodo representado se corresponde con el periodo del 1 de mayo al 30 de septiembre (3670 horas) a partir del fichero climático 2000-2009. Elaboración de los autores.

3.2. Análisis de Edificios con ventilación natural nocturna intensiva sin refrigeración

En este punto, se analizan los efectos combinados de una ventilación nocturna intensiva con la inercia térmica. Para ello, se programa una apertura de las ventanas en varios periodos; el primer periodo, de 20:00 h-23:00 h y de 8:00-9:00 h se abren las ventanas al 100%. El segundo periodo, de 23:00-8:00 h se mantienen osciladas dejando un 10% de espacio abierto. Esto ocurre si se sobrepasan los 22°C en el interior de las viviendas y la temperatura exterior es inferior a la interior. A este respecto señalar que evidentemente se trata de un escenario en el que los usuarios toman parte activa al obligarles a llevar un control de la apertura de ventanas en función de la temperatura interior, seguramente algo alejado de la realidad. Asimismo, este escenario exige de entonos no ruidosos, factor difícil de encontrar en el urbanismo actual. En estos casos, se debe valorar la utilización de la ventilación mecánica inteligente⁹.

3.2.1. Clima 2000-2009

La figura 2 nos muestra que la aplicación de una ventilación nocturna intensiva reduce notablemente los periodos de sobrecalentamiento, desapareciendo incluso los periodos por encima de 28°C salvo en la zona representada por la ciudad de Tudela. La efectividad de la refrigeración natural nocturna es notable en las zonas del interior debido a la gran amplitud térmica que se produce entre el día y la noche en el verano.

En la figura 3 se muestran los pares de temperatura operativa y humedad relativa interiores en el modelo de confort utilizado por el Passivhaus Institut. En este gráfico se observa como la ventilación nocturna tiene como efecto un ligero aumento de la humedad relativa interior, al introducir aire exterior en grandes cantidades. Este efecto es más acusado en las ciudades costeras, pudiendo suponer un problema, ya que aunque se consigue el efecto de bajar la temperatura, el aumento de la humedad relativa supone un

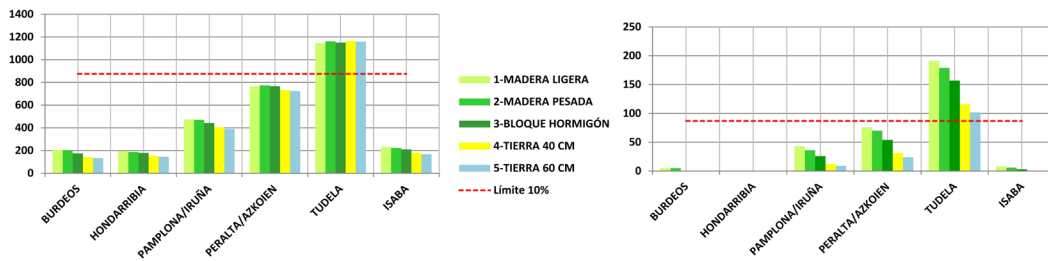


Figura 4. Número de horas por encima de los 25°C (izquierda) y de 28°C (derecha) para los diferentes sistemas constructivos en las ciudades de referencia de cada zona climática. El periodo representado se corresponde con el periodo del 1 de mayo al 30 de septiembre (3670 horas) a partir del fichero climático 2040 según el escenario A1B. Elaboración de los autores.

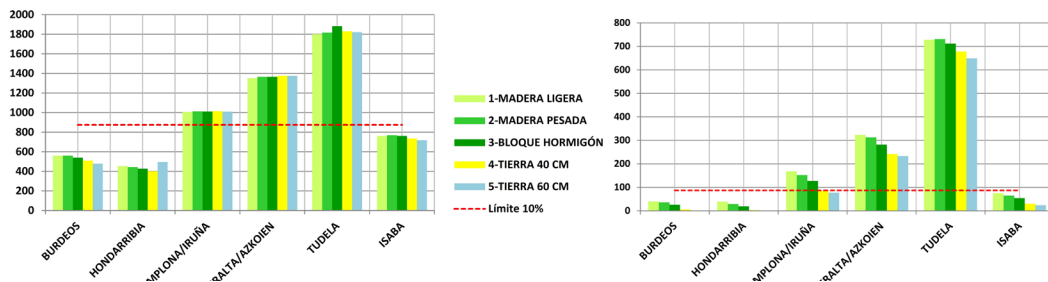


Figura 5. Número de horas por encima de los 25°C (izquierda) y de 28°C (derecha) para los diferentes sistemas constructivos en las ciudades de referencia de cada zona climática. El periodo representado se corresponde con el periodo del 1 de mayo al 30 de septiembre (3670 horas) a partir del fichero climático 2080 según el escenario A1B. Elaboración de los autores.

descenso en los niveles de confort. Vemos que los sistemas con menos capacidad térmica, madera ligera (en rojo) tienen amplitudes térmicas más elevadas que los sistemas con más capacidad térmica, muros de tierra prensada (en azul), aunque con diferencias en las máximas de 1°C.

3.2.1. Clima 2040 modelo A1B

El análisis del comportamiento de las mismas tipologías en los escenarios de cambio climático A1B en 2040, nos señala un aumento considerable de los periodos de sobrecalentamiento, aún manteniéndose dentro de los límites todas las ciudades de referencia salvo la correspondiente a la ciudad de Tudela. En ese caso se observa en la Figura 4 cómo la elevada capacidad térmica de la tierra prensada permite reducir especialmente las horas por encima de 28°C, quedando justo al límite de 1% (87 horas anuales) en todas las ciudades de referencia.

3.2.2. Clima 2080 modelo A1B

El escenario para el año 2080 nos muestra

como todas las ciudades, salvo las situadas en la costa (Hondarribia) y en la montaña (Isaba), sufren fuertes periodos de sobrecalentamiento. En este caso, la eficiencia del sistema de alta capacidad térmica combinado con la ventilación nocturna intensiva sigue siendo remarcable, si bien no permiten por sí solos entrar dentro de las zonas de confort. En la figura 5 se observa que el límite lo podemos encontrar en la zona representada por Pamplona-Iruña. Hacia el sur de esta zona de estudio, el territorio que se corresponde con la zona media de Navarra y la Ribera nos indica una necesidad de recurrir a los sistemas activos de refrigeración, bien con medios convencionales (bombas de calor eléctricas) o la utilización de sistemas renovables (Intercambiadores tierra aire p.e.).

La figura 6 nos muestra que incluso utilizando las playas de confort del modelo adaptativo, que permiten un margen de temperaturas interiores más amplio al tener en cuenta la temperatura exterior, se producen desbordamientos en los periodos más cálidos del año. Sin embargo, se observa como los sistemas ligeros (en rojo) tienen una mayor

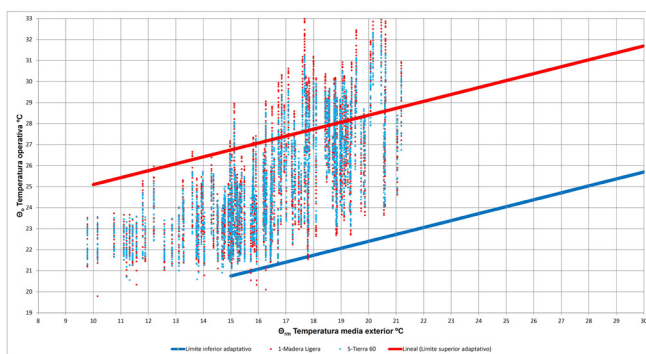


Figura 6. Gráfico de confort según modelo adaptativo de la UNE-EN 15:251-2008. Comparativo de la tipología constructiva más ligera, 1-madera (en rojo) y más pesada, 5-Tierra 60 (en azul). El periodo representado se corresponde con el periodo del 1 de mayo al 30 de septiembre (3670 horas) a partir del fichero climático 2080 según el escenario A1B. Elaboración de los autores.

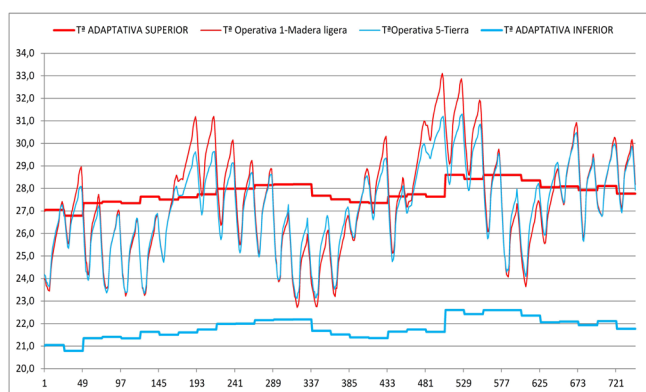


Figura 7. Evolución de las temperaturas comparativo de la tipología constructiva más ligera, 1-madera (en rojo) y más pesada, 5-Tierra 60 (en azul), señalando los límites de confort según modelo adaptativo de la UNE-EN 15:251-2008 para edificios con ventilación natural. El periodo representado corresponde con el mes de julio (744 horas) a partir del fichero climático 2080 según el escenario A1B. Elaboración de los autores.

amplitud de temperaturas que los sistemas pesados (en azul).

La figura 7 muestra la evolución de temperaturas operativas en el mes de julio, observándose las desviaciones de temperatura señaladas anteriormente de hasta 2°C en las máximas y 0,5°C en las mínimas.

3.3. Análisis de Edificios con refrigeración activa y ventilación natural nocturna intensiva

En este punto se realiza el análisis de la incorporación de los sistemas de refrigeración activa y la evolución de las demandas anuales de energía y la potencia diaria para refrigeración. El análisis se realiza para la ciudad con mayor demanda de energía para refrigeración de las áreas estudiadas, Tudela, en su vivienda tipo. Vemos como la evolución de las temperaturas en los escenarios de cambio climático genera un aumento progresivo en la demanda de energía y potencia de refrigeración. La inercia térmica sigue provocando menores valores,

aunque más acusados en la potencia diaria que en la demanda de energía anual. En el periodo analizado de 2080 se observa que la alta inercia térmica en algunos caso puede ser perjudicial, al necesitar el sistema más energía para disipar la temperatura de los cerramientos debido a las altas temperaturas exteriores. En concreto observamos que la tipología constructiva 5-Tierra 40 exige la misma demanda de refrigeración en 2080 12,75 kWh/m²a que la 1-Madera ligera y con potencias diarias mayores.

En la figura 8, vemos como se produce un desbordamiento del sistema de refrigeración, que aunque establecido en 26°C, no puede mantenerla en algunos periodos del verano debido a las altas temperaturas exteriores diarias y nocturnas.

4. Conclusiones

A partir de lo expuesto se pueden realizar algunas consideraciones relevantes. En primer lugar, la alta capacidad térmica de los muros de tierra prensada permite reducir los periodos de sobrecalentamiento respecto de

	Demanda de refrigeración (kWh/m2a)			Potencia de refrigeración diaria (Wh/m2)		
Sistemas constructivos	2000-2009	2040	2080	2000-2009	2040	2080
1-Madera ligera	2,03	6,22	12,75	191	323	327
2-Madera pesada	1,97	6,13	12,62	181	311	320
3-Bloque hormigón	1,81	5,88	12,39	174	309	317
4-Tierra 40	1,59	5,77	12,75	162	310	349
5-Tierra 60	1,49	5,66	12,56	151	295	342

Tabla 3. Evolución de la demanda de energía anual para refrigeración(izquierda) y potencia de refrigeración (derecha) para la vivienda tipo en Tudela y los diferentes tipos constructivos en los climas 2000-2009 (estadísticos), 2040 y 2080 (Escenarios de cambio climático A1B). El periodo calculado se corresponde con el periodo del 1 de mayo al 30 de septiembre (3670 horas). Elaboración de los autores.

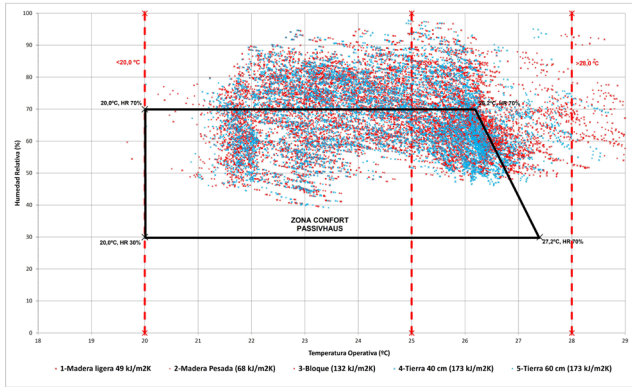


Figura 8. Gráfica de confort según límites de confort definidos por el Passivhaus® Institut (basado en UNE-ISO 7730) para la vivienda tipo [N_S_] en Tudela, con sistema de refrigeración activa y ventilación nocturna intensiva, para el clima de 2080 según el escenario A1B. El periodo representado se corresponde con el periodo del 1 de mayo al 30 de septiembre. Elaboración de los autores.

soluciones con sistemas constructivos más ligeros. La combinación con una ventilación nocturna intensa reduce especialmente las temperaturas máximas, siendo notable la desaparición de los periodos de temperaturas por encima de 28°C que se produce con el clima estadístico. Incluso en los modelos en los que no se ha incorporado una ventilación nocturna intensiva, la masa incorpora una ligera disminución de las temperaturas máximas. Aunque la masa térmica por sí misma no es un factor determinante en la reducción del sobrecalentamiento, la tendencia señalada por los escenarios de cambio climático que no consideran una reducción drástica de las emisiones de CO2, como el analizado en este trabajo, señalan un fuerte aumento de las temperaturas con evidentes consecuencias en las formas de consumo de energía de los edificios proyectados en la actualidad en el futuro próximo.

Todos las soluciones clásicas utilizadas por la arquitectura tradicional para reducir el impacto del calor sobre las viviendas, protección solar fija y móvil, ventilación nocturna intensiva combinada con la utilización de sistemas de refrigeración a partir de fuentes renovables, serán necesarios para combatir el exceso de calor dentro de las viviendas sin tener que recurrir a sistemas de refrigeración activa, grandes consumidores de energía fósil.

Aunque el estudio parte de la utilización de unos aportes internos típicos de la sociedad española, parece claro que un factor decisivo será reducir dichos valores al máximo posible para poder actuar de forma más efectiva contra el sobrecalentamiento. En todo caso, la situación del parque de vivienda pública, con superficies útiles por persona relativamente bajas respecto a estándares europeos, hace previsible que dichos valores permanezcan

altos en situaciones de alta densidad familiar o modelos familiares con mucha presencia activa en el hogar, personas mayores p.e., muy sensibles además a las altas temperaturas.

Por último, el bajo contenido de energía gris de este material hace muy recomendable su utilización en un futuro en la construcción de

vivienda con aspiraciones ecológicas globales que consideren tanto el consumo de energía como las consecuencias de la fabricación y el uso de los materiales de construcción, tanto en fachadas, como incorporado a otros elementos constructivos del edificio, como las tabiquerías.

Bibliografía

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.

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.

FEIST, W., PFLUGER, R., KAUFMANN, B., SCHINIEDERS, J. KAH, O.; PHPP 2007. *Programa de Planificación Passivhaus*. Passivhaus Institut, Darmstadt 2007.

PASSIVE-ON; *Proyecto europeo Passive-On. The passivhaus standard in european warm climates*. www.passive-on.org.

SERRA, R.; *Arquitectura y Climas*. Editorial Gustavo Gili, Barcelona 1999. ISBN-13: 978-84-252-1767-8

REMUND J., MÜLLER S., KUNZ S., SCHILTER C.; *Meteonorm. Global Meteorological Database*. Versión 7. METEOTEST. Berna 2012.

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 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 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.

SOEBARTO, V.; *Analysis of indoor performance of houses using rammed earth walls*. Eleventh International IBPSA Conference Glasgow, Scotland. Building Simulation Julio 27-30, 2009

VISESA; Comité de Producto. *Criterios de diseño y Construcción*. www.visesa.es. Julio 2007.

Citas y notas

1. Actualmente se están desarrollando productos prefabricados de tierra prensada.
2. 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.
3. 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.
4. Θ_{rm} , media ponderada de las temperaturas exteriores de los seis días anteriores al día analizados.
5. A este respecto, las últimas tendencias van a modelos de confort que incorporan la duración de las olas de calor, denominados modelos de confort a largo plazo.
6. La norma CIBSE TM-36 diferencia el valor máximo de 28°C en salas de estar pero lo reduce a 25°C en las habitaciones.
7. La terminología indica la posición en la que existen ventanas y si es un lado corto del paralelepípedo o largo. Así [e_o] indica que es un paralelepípedo con ventanas en los lados cortos orientados a este y oeste, y [N___] implica un apartamento con los huecos solo a norte en su fachada larga.
8. Lógicamente, cuanto mayor sea la proporción de fachada, mayor influencia tendrá la masa en los resultados.
9. La desventaja de este sistema es que necesitamos un sobredimensionamiento del sistema (motores, conductos) para poder transportar hasta 8 r/h, aislar las conducciones para evitar condensaciones, y tener en cuenta que este sistema sólo será competitivo respecto de un sistema de refrigeración activo si se dan diferencias de temperatura interior y exterior de al menos 3 K.