

EL ESTÁNDAR *PASSIVHAUS*
EN CLIMAS EUROPEOS TEMPLADOS

Una revisión de viviendas confortables de baja energía



THE PASSIVHAUS STANDARD
IN EUROPEAN WARM CLIMATES

a review of comfortable low energy homes



Edited and compiled by: Brian Ford, Rosa Schiano-Phan and Duan Zhongcheng, School of the Built Environment, University of Nottingham

El trabajo descrito en este informe se ha llevado a cabo como parte del proyecto financiado por la EC : Passive-on ('Marketable Passive Homes for Winter and Summer Comfort' IEE-2003-091). Los puntos de vista recogidos en el informe representan la opinión de los autores y no reflejan necesariamente los de la Comisión

THE PASSIVHAUS STANDARD IN EUROPEAN WARM CLIMATES:
a review of comfortable low energy homes

July 2007

PARTNERS

Politecnico di Milano, Italy
Dipartimento di Energetica (e-ERG)
Piazza Leonardo da Vinci 32
20133 Milano
Andrew Pindar (Co-ordinator)
Lorenzo Pagliano

University of Nottingham, UK
School of the Built Environment
University Park
Nottingham NG7 2RD
Brian Ford
Rosa Schiano-Phan

AICIA, Spain
Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía
Escuela Superior de Ingenieros. Camino de los Descubrimientos s/n
E-41092, Sevilla
Servando Alvarez
Jose' Manuel Salmeron Lissen

Natural Works, Portugal
Projectos de Engenharia
Calcada Marques de Abrantes N48 2D
1200-719 Lisboa
Maria Malato Leller
Guilherme Carrilho da Graca

ICE, France
International Conseil Communication Efficacité Energie
46 rue de Provence
75009 Paris
Sophie Attali

AGRADECIMIENTOS

Este documento se deriva del trabajo realizado por todos los socios del proyecto Passive-on. Adicionalmente, se agradece a los socios industriales por su valiosa contribución al proyecto: Nicola Agnoli, Rockwool Italia; Daniela Origi, BASF; Massimo Gattolin, Provincia di Venezia.

Agradecimiento especial merecen los revisores que han ofrecido amablemente sus comentarios durante los borradores preliminares de este informe: Simos Yannas, Architectural Association; Mark Brinkley; Gavin Hodgson, BRE; Julian Marsh; Derek Taylor.

Juergen Schnieders del Passivhaus Institute ha colaborado como subcontratado para este proyecto y como asesor de la aplicabilidad técnica de las viviendas Passivhaus francesas.

INETI, Portugal
National Institute of Engineering Technology and Innovation
Estrada do Paço do Lumiar
1648-038 Lisboa
Helder Gonçalves
Luisa Brotas

TABLE OF CONTENTS

1	INTRODUCCIÓN	1
2	<i>PASSIVHAUS</i> EN CLIMAS TEMPLADOS	3
2.1	QUÉ ES UN DISEÑO PASIVO	3
2.2	EL ESTÁNDAR <i>PASSIVHAUS</i>	5
3	CONFORT INTERIOR	7
3.1	MODELOS DE CONFORT DE VERANO	7
3.2	CONFORT INTERIOR Y EL ESTÁNDAR <i>PASSIVHAUS</i>	8
4	<i>PROPUESTAS DE VIVIENDAS PASSIVHAUS</i>	10
4.1	INTRODUCCIÓN	10
4.2	<i>PASSIVHAUS</i> EN EL REINO UNIDO	11
4.3	<i>PASSIVHAUS</i> EN ESPAÑA	15
4.4	<i>PASSIVHAUS</i> PORTUGAL	18
4.5	<i>PASSIVHAUS</i> ITALIA	22
4.6	<i>PASSIVHAUS</i> FRANCE	26
5	APLICABILIDAD CLIMÁTICA	29
5.1	INTRODUCCIÓN	29
5.2	APLICABILIDAD CLIMÁTICA	29
5.3	ÍNDICE DE SEVERIDAD CLIMÁTICA	31
5.4	MAPAS PARA EVALUAR AHORROS DE ENERGÍA	33
6	COSTE DE LA <i>PASSIVHAUS</i>	35
6.1	INTRODUCCIÓN	35
6.2	COSTES INICIALES Y EXTRACOSTES	35
6.3	ANÁLISIS DEL COSTE DEL CICLO DE VIDA	36
7	BIBLIOGRAFIA	38

1 INTRODUCCIÓN

El éxito del “Passivehaus Institute” en el desarrollo e implementación de una aproximación al diseño energéticamente eficiente de viviendas que garantice niveles satisfactorios de bienestar en Alemania, conduce de forma natural a la cuestión de si este concepto es aplicable a otros países y climas.

Esta pregunta es común a dos proyectos recientes financiados bajo el programa IEE de la Comisión de las Comunidades Europeas (el ‘Passive-On’ y proyecto PEP). El proyecto ‘Passive-on’ (véase las direcciones de <http://www.passive-on.org/en/>) trata fundamentalmente sobre la cuestión de la aplicabilidad del diseño propuesto por el “Passivehaus Institute” en la Europa meridional (Portugal, España e Italia), pero también se relaciona con el Reino Unido y Francia como climas templados.

En los climas templados de Europa meridional, la demanda de calefacción es generalmente más baja que en la Europa del norte, esto no se debe sólo al menor valor de los grados días de invierno en dichos países sino también a la mayor cantidad de radiación solar. Este tema se ha tratado en el capítulo 4 donde se define un índice de la severidad del clima que se puede utilizar como la base para comparar las ventajas de incrementar los niveles de aislamiento o mejorar los acristalamientos en diversas partes de Europa.

El término pasivo dentro de la expresión ‘Passivhaus’ pueden inducir a confusión, para evitar esto, los socios del proyecto ‘Passive-On’ (Italia, Francia, Alemania, España, Portugal y el Reino Unido) han hecho una distinción entre el estándar ‘Passivhaus’ y las aproximaciones que existen a lo que se entiende por ‘diseño pasivo’ en cada país (capítulo 1). También, puesto que el bienestar térmico es tan importante en el concepto de Passivhaus, se ha realizado una revisión sucinta de la comodidad interior en el estándar de Passivhaus a lo largo del capítulo 2.

En el capítulo 3 cada equipo participante en el proyecto propone una vivienda diseñada para resolver el estándar de Passivhaus en términos de criterios de consumo de energía y de la bienestar térmico. Pese a que cada oferta se relaciona con el país de origen de los diversos socios, no se debe entender que dichos diseños son asimismo apropiados para otras localizaciones en ese país. Las variaciones climáticas dentro de un mismo país pueden ser significativas, y por lo tanto se debe utilizar lo expresado en

el capítulo 4 para determinar cuando una solución para una localización puede ser válida para otra.

La única diferencia entre los distintos países de Europa no es sólo el clima, por tanto, entre los distintos diseños propuestos también tienen influencia las particularidades debidas a la naturaleza del mercado o el coste de la construcción en cada país. Hemos creído interesante hacer comparaciones entre el coste de diversos acercamientos del diseño en los diversos países (capítulo 5). La conclusión general de dicho capítulo es que la inversión necesaria para alcanzar los estándares ‘Passivhaus’ resulta rentable en términos del coste del ciclo de vida. (Fig 1.0).



Fig. 1.0 – Países miembros del Proyecto ‘Passive-on’

2 PASSIVHAUS EN CLIMAS TEMPLADOS

2.1 QUÉ ES UN DISEÑO PASIVO

El fin de la era de los combustibles fósiles baratos, que ha durado aproximadamente 100 años esta próxima a su fin. Durante este tiempo, numerosos dispositivos mecánicos y eléctricos se han desarrollado para climatizar los edificios. En algunos países, surgió la profesión denominada especialista técnico en instalaciones de edificios, para diseñar y para especificar los sistemas que se pueden integrar en un edificio. Una de las consecuencias de darle toda la importancia a las instalaciones fue que epidermis edificatoria se dejaron en un segundo plano, de tal forma que los arquitectos dejaron toda la responsabilidad del control de la calidad de aire interior a los ingenieros. Sin embargo, tras la crisis del petróleo de 1973, muchos arquitectos e ingenieros vieron la conveniencia de reducir la dependencia de los combustibles fósiles, y desarrollaron un interés renovado en la arquitectura que tiene en cuenta los conceptos de ambiente interior y consumo energético. Esto ha conducido a un redescubrimiento de los principios del control del bienestar interior mediante el diseño de la forma del edificio, su orientación, la disposición de las ventanas y el comportamiento térmico de los materiales: esto es lo que ha dado en llamarse 'diseño pasivo'.

El objetivo del 'diseño pasivo' consiste en maximizar las ganancias de calor y minimizar las pérdidas de energía del edificio en invierno y minimizar las ganancias y maximizar las pérdidas del edificio en verano. El 'diseño pasivo' aplicado en su forma más rigurosa no incluiría ningún sistema mecánico (como ventiladores o bombas). Sin embargo, esto no se aplica de forma habitual ya que la incorporación de dispositivos mecánicos y eléctricos (particularmente en sistemas de control) es necesaria para permitir el correcto funcionamiento del resto de sistemas pasivos.

El término 'diseño pasivo' es, como puede verse, una expresión genérica, que se utiliza para definir una determinada forma de concebir los edificios, por tanto, el significado de dicho término está abierto a la interpretación de distintas personas, en diversas localizaciones y climas, manteniendo el objetivo común de reducir al mínimo el consumo de energía combustible fósil para calefacción, refrigeración, ventilación e iluminación. En Europa del norte la demanda de calefacción es la más significativa, mientras que en las zonas más meridionales la necesidades de calefacción son mínimas. Por otra parte, la demanda de refrigeración ha aumentado rápidamente. Por lo

tanto, de igual forma ha aumentado el interés en aquellas estrategias de refrigeración pasiva.

Las estrategias del diseño para la calefacción y la refrigeración pasivas se basan en las fuentes de calor ambiente (p.e. el sol) y en los sumideros de calor (p.e. la temperatura de cielo durante la noche). Una gran parte de la evolución inicial se desarrolló en los EE.UU. en los años 70 durante la administración Carter. Posteriormente, y partiendo de estos estudios, se desarrolla en Europa durante los años 80 con la financiación de los programas del I+D de la Comisión de las Comunidades Europeas. En este contexto se desarrolló el concepto Passivhaus.



Fig. 1. 1 – Un ejemplo de vivienda Passivhaus en Alemania



Fig. 1. 2 – Casas blancas en calles estrechas situadas en el barrio Santa Cruz de Sevilla. Estas son dos de las muchas estrategias que se usaban en la arquitectura tradicional para mantener niveles de confort adecuados en verano

2.2 EL ESTÁNDAR *PASSIVHAUS*

En 1991, Wolfgang Feist y Bo Adamson aplicaron su concepción de diseño pasivo a una casa en Darmstad, su objetivo fue el de demostrar que era posible crear un hogar con un consumo de energía relativamente bajo para el clima alemán a un precio razonable. El diseño resultó ser adecuado en términos de consumo de energía y confort, de tal forma que los mismos sistemas pasivos fueron aplicados de nuevo en una segunda construcción en 1995 en Groß-Umstadt.

En 1995, basandose en la experiencia de los primeros diseños de Darmstad y de Groß-Umstadt, Feist había creado el estándar de diseño pasivo 'Passivhaus'. Dicho estándar consiste fundamental en tres elementos:

- un límite de la energía (calefacción y refrigeración)
- un requisito de calidad (confort térmico)
- un catálogo de sistemas pasivos que permiten cumplir con los requisitos anteriores con criterios de rentabilidad económica

Ya en aquel momento se definieron todas las características que se conocen actualmente como el estándar alemán 'Passivhaus': Aislamiento muy bueno, incluyendo la reducción de puentes térmicos y las ventanas muy bien-aisladas, alta estanqueidad y un sistema de ventilación con recuperación de calor. Para los climas centroeuropeos, es posible simplificar el sistema de calefacción manteniendo los mismos requisitos de confort. DE forma que es posible mantener el edificio confortable simplemente precalentando el aire de ventilación necesario para garantizar buena calidad de aire interior. De esta forma, El sistema de distribución de calor se puede reducir a un precalentador pequeño (sistema de la recuperación del calor). Esto tiene como consecuencia que si analizamos el coste en términos del ciclo de vida de un edificio, aquel construido bajo el estándar 'Passivhaus' no resulte más costoso que una vivienda nueva convencional (véase el capítulo 5).

En total se llevan construidas de más de 8.000 casas en Alemania y otros países de centroeuropa como por ejemplo Austria, Bélgica, Suiza, Suecia. Para la mayoría de las personas de Alemania una vivienda pasiva es asimilable a lo que ellos entienden por una vivienda que cumpla el estándar de Passivhaus, pero su aplicabilidad en otras partes de Europa tiene que ser probada.



Fig. 1. 3 – Vivienda unifamiliar 'Passivhaus' en Ganderkesee, en el norte de Alemania.
(Arquitectura: Team 3, Oldenburg)

Definir un estándar para los hogares de baja energía ha ofrecido un número de ventajas para el sector de la construcción en su totalidad y el mercado alemán particularmente. De hecho ha sido una razón importante de la explosión de la construcción de hogares de baja energía en Alemania. A continuación se detallan los cinco puntos que definen el **estándar alemán actual de Passivhaus para los países centroeuropeos**:

Criterio de la calefacción: La demanda energética útil para calefacción no debe exceder 15 kWh por m² de superficie habitable y año.

Criterio de la energía primaria: El consumo de energía primaria para todos los servicios de energía, incluyendo calefacción, agua caliente sanitaria, electrodomésticos y alumbrado, no debe exceder de 120 kWh por m² de superficie habitable y año.

Estanqueidad: La envuelta exterior del edificio debe tener un resultado de la prueba de la presurización según EN 13829 de no más de 0.6 h-1.

Confort en invierno: La temperatura operativa del ambiente interior debe mantenerse por encima de 20°C en invierno, usando como límite la cantidad antedicha de energía.

Todos los valores de la demanda energética se calculan mediante el programa informático PHPP y se refieren a la superficie habitable neta, es decir la suma de las superficies netas de todas las zonas habitables.

Sin embargo, aunque en Europa central (e.g. Alemania, Austria, Italia del norte, etc.) el diseño pasivo está cada vez más asociado con el estándar de Passivhaus, éste no es necesariamente el caso en Europa meridional (e.g. España, Italia, Portugal y Grecia). Aquí para la mayoría de los arquitectos una casa pasiva significa cualquier casa construida conforme a los principios del diseño solar pasivo. Además muchos profesionales discrepan con asociar la palabra genérica "pasivo" a un estándar, que propone un sistema activo de ventilación.

El grupo del proyecto 'Passive-On' ha reformulado el estándar Passivhaus en climas europeos cálidos que tiene en cuenta tanto el clima como las cuestiones mencionadas anteriormente. Los seis puntos que definen el estándar propuesto de Passivhaus para los climas europeos cálidos se enumeran a continuación:

Criterio de calefacción: La demanda energética útil para la calefacción no debe exceder 15 kWh por m² de superficie habitable y año.

Criterio de refrigeración: La demanda energética útil para la refrigeración no debe exceder 15 kWh por m² de superficie habitable y año.

Criterio de la energía primaria: : El consumo de energía primaria para todos los servicios de energía, incluyendo calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria, electrodomésticos y alumbrado, no debe exceder de 120 kWh por m² de superficie habitable y año.

Estanqueidad: La envuelta exterior del edificio debe tener un resultado de la prueba de la presurización según EN 13829 de no más de 0.6 h-1.

Confort en invierno: La temperatura operativa del ambiente interior debe mantenerse por encima de 20°C en invierno, usando como límite la cantidad antedicha de energía. Para aquellos lugares con temperaturas ambiente de diseño en invierno por encima de 0 °C, un resultado de la prueba de la presurización de 1.0 h-1 es generalmente suficiente para alcanzar el criterio de la calefacción.

Confort en invierno La temperatura operativa del ambiente interior debe mantenerse en el rango especificado por la norma EN 15251.

Confort en verano: La temperatura operativa del ambiente interior debe mantenerse en el rango especificado por la norma EN 15251. Además, si se usa un sistema activo de refrigeración, dicha temperatura puede mantenerse por encima de 26°C.

3 CONFORT INTERIOR

Si no se presta la debida atención, las discusiones sobre edificios de baja energía pueden descuidar otros aspectos importantes del diseño del edificio. De hecho, debe recordarse que el uso de la energía es un medio y no un fin en si mismo. Uno de los requisitos más importantes es que los edificios proporcionan los ambientes cómodos en los cuales trabajar, relajarse y jugar.

Los hogares en Europa meridional necesitan ser calefactados en invierno y refrigerados en verano, de estas dos necesidades esta última es la predominante. Como se ha destacado en las secciones anteriores el estándar 'Passivehaus' se ha revisado en el marco de este proyecto para hacerlo pertinente y útil a las necesidades específicas de los climas cálidos de la Europa meridional. Como puede comprobarse, uno de los cambios principales con respecto a la definición anterior ha sido la introducción de requisitos explícitos en condiciones interiores de confort tanto en invierno como en verano.

Según la norma EN 15251, las temperaturas aceptables dependen del tipo de sistema utilizado para combatir la demanda y de las temperaturas exteriores. Si el sistema de refrigeración es un sistema activo, entonces deben respetarse los criterios fijados por el modelo de Fanger. Sin embargo, si el sistema de refrigeración es pasivo, entonces el límite superior de la temperatura es fijado por el modelo adaptativo.

La diferencia entre el método de Fanger y los modelos adaptativos se explica brevemente en la sección siguiente y más detalladamente en la segunda parte de las pautas. Sin embargo, dejando a un lado las temperaturas de confort definidas por los diversos modelos, el aspecto más importante es que las temperaturas interiores de confort en verano han sido introducidas ahora como un requisito explícito del estándar revisado Passivhaus. Por consiguiente el estándar Passivhaus proporciona una marca de calidad total para los hogares pasivos no ofrecidos por otros estándares.

3.1 MODELOS DE CONFORT DE VERANO

Los modelos de confort describen de forma cuantitativa (basandose en experimentos realizados) en qué gama de temperaturas las personas se

sienten en un estado que podríamos denominar de bienestar térmico en el interior de los edificios. El hecho de determinar de forma arbitraria que dicho rango de temperaturas es demasiado estrecho puede conducir a un consumo innecesario de energía.

Para evaluar los rangos de confort térmico en edificios se puede optar entre las siguientes opciones:

- El modelo de confort originariamente propuesto por Fanger basado en el modelo PMV (Voto Previsto Medio),
- O el modelo que tiene en cuenta la capacidad de los ocupantes de adaptarse al clima exterior (modelo de confort adaptativo)

Ambos modelos son aplicables en diversas condiciones; en línea general el modelo de Fanger es aplicable en edificios acondicionados por sistemas mecánicos (dentro de una gama especificada de las temperaturas, humedad, las velocidades del aire,...), y el modelo adaptativo en edificios sin sistemas mecánicos de acondicionamiento o ventilados por sistemas pasivos. Hay una discusión en curso en cuanto a los límites de los dos modelos con algunos estudios que prueban el modelo adaptativo en edificios mecánicamente condicionados. Es muy importante para ambos modelos el hecho de que debe hacerse una corrección cuando se trata de evaluar las condiciones de confort de verano en el caso de que se usen ventiladores de techo o un sistema de ventilación natural para incrementar la velocidad del aire.

En el modelo de Fanger la condición interior óptima de un edificio se correlaciona exclusivamente con los parámetros que se refieren a las condiciones internas al edificio (por ejemplo, velocidad y temperatura del aire, temperatura radiante, humedad del aire) y al nivel de vestimenta e índice metabólico de los inquilinos. El modelo de Fanger se basa en las correlaciones entre la impresión subjetiva de bienestar de las personas y las condiciones térmicas (e.g. radiante, aire y las temperaturas operativas, humedad relativa, tasa metabólica, y ropa) en el ambiente cerrado y controlado en el que se realiza la prueba. Aunque el modelo de Fanger tiene en cuenta el nivel de vestimenta de los individuos y la actividad que dichos individuos están realizando, cuando se aplica en la práctica los valores típicos del nivel de vestimenta y de la tasa metabólica se suponen, lo cuál

puede conducir a diseñadores a especificar un rango estático, de temperaturas ambiente en las que el individuo se encuentra confortable q que se aplicará uniformemente. Dichos rangos de temperaturas estáticas desfavorecen las tecnologías pasivas, que son eficaces cuando las fluctuaciones de la temperatura exterior son moderadas pero que no pueden desacoplar completamente el comportamiento interior del edificio del exterior.

Se debe ser cuidadoso para aplicar el modelo de Fanger solamente dentro de sus límites de la validez, según lo prescrito en la norma ISO 7730 (publicada en 1994 y revisada en 2005).

El modelo adaptativo de confort propone una correlación entre la temperatura de confort para los inquilinos de un edificio y temperatura del aire exterior. El concepto subyacente es el proceso por el cual el cuerpo humano se adapta al clima estacional y local. Por consiguiente, los inquilinos considerarán diversas temperaturas de interior como temperaturas satisfactorias de confort dependiendo de la estación y de la localización. El modelo adaptativo se basa en las correlaciones medidas entre la impresión subjetiva de los individuos sobre los rangos de confort en centenares de edificios reales.

Comparado con modelo de Fanger, el modelo adaptativo considera una gama más amplia de temperaturas como “temperaturas aceptables” y por lo tanto permite más fácilmente una integración de las tecnologías pasivas de refrigeración.

Sin embargo, el tener en cuenta una gama más amplia de temperaturas no debe ser malinterpretado con una carencia completa de control; las temperaturas máximas de confort predichas por el modelo adaptativo siguen siendo relativamente bajas. Por ejemplo, aplicando el algoritmo adaptativo definido en la norma EN 15251 se obtienen unas temperaturas de confort (en una secuencia de días cálidos) para Francfort, Milán, Lisboa y Sevilla de 26.1, 27.2, 26.7 y 28.7°C respectivamente.

Como comparación podemos decir que un edificio refrigerado por un sistema de aire acondicionado activo trabajará en un punto de consigna de entre 23°C y 26°C. Aunque el modelo de Fanger permite un a banda de temperaturas, es difícil en la práctica determinar el nivel de vestimenta y el

índice metabólico de la gente en situaciones reales. Por consiguiente, los diseñadores consideran a menudo valores tipo que conducen a temperaturas demasiado bajas.

El modelo adaptativo de confort se ha refinado progresivamente, y se ha probado en varios estudios de campo (Humphreys, 1975; 1978; 1979; Nicol, 1993; de Dear, 1998; Nicol y McCartney, 2001). Aunque la mayoría de las normas proponen el modelo adaptativo que se utilizará en edificios con ventilación natural, McCartney y Nicol (2002) han probado con éxito un algoritmo de control para los edificios con aire acondicionado que utiliza un modelo adaptativo de confort para controlar la temperatura interna.

Sin embargo en la mayoría de las normativas actuales de edificación, la definición del bienestar térmico sigue el estándar de la ISO 7730 que se basa en el modelo de Fanger. Al menos en los últimos años, algunos estándares internacionales (e.g. la norma ASHRAE 55 2004 de los E.E.U.U. y la EN europea 15251) han propuesto los modelos adaptativos. Estas normativas han sustituido el modelo Fanger por el modelo adaptativo en edificios con ventilación natural

3.2 CONFORT INTERIOR Y EL ESTÁNDAR *PASSIVHAUS*

La demanda de refrigeración es la energía requerida para mantener un nivel dado de la temperatura interior y de la humedad durante el período del verano. Las condiciones interiores requeridas influyen en la magnitud de la demanda de refrigeración, temperaturas interiores más bajas en verano darán lugar a cargas de refrigeración más altas (es decir se necesita una mayor cantidad de energía para mantener el edificio a la temperatura requerida).

Según lo visto, el modelo adaptativo define generalmente temperaturas más altas que las predichas por el modelo de Fanger. La temperatura de confort calculada por el modelo adaptativo, puede ser alcanzada a menudo usando estrategias pasivas de refrigeración, tales como instalar protecciones solares en las ventanas y ventilación nocturna. Cuando ocurre esto, la demanda de refrigeración se reduce a valores mínimos o incluso llega a ser nula sin necesidad de ningún sistema mecánico de refrigeración.

En algunas localidades, garantizar las temperaturas de confort definidas por el modelo adaptativo requerirá el uso de una cierta cantidad de energía. Por ejemplo, Palermo en Sicilia, tiene oscilaciones día-noche de la temperatura exterior demasiado bajas. En esta situación, la ventilación nocturna no es una técnica eficaz para enfriar el edificio y por consiguiente una vivienda Passivhaus en Palermo tendrá una demanda de refrigeración de alrededor 2 kWh/m²/año que hace que la vivienda necesite algún sistema de enfriamiento mecánico para reducir las temperaturas máximas. Sin embargo, aunque el Passivhaus en Palermo tiene una demanda de refrigeración, es tan baja, que mantiene su nivel por debajo del límite establecido por el estándar Passivhaus.

Puesto que el modelo de Fanger conduce generalmente a temperaturas interiores más bajas que el modelo adaptativo, las cargas térmicas y la demanda de refrigeración de los edificios calculados por este método son mayores. Este es una ventaja evidente para promover el uso de técnicas pasivas de refrigeración.

No obstante, en algunas localidades la aplicación de técnicas pasivas de refrigeración puede ser problemática. Particularmente en el núcleo de las ciudades puede ser difícil realizar estrategias de ventilación nocturna debido al ruido, la contaminación o a que la diferencia de temperatura exterior día-noche es pequeña por el efecto "isla de calor". En estos casos se puede pensar en la aplicación de otras técnicas (véase la parte 2) o instalar sistemas de enfriamiento activos.

El estándar revisado y propuesto para climas europeos cálidos es el siguiente:

Si la refrigeración se satisface mediante sistemas **pasivos**

Requisitos de confort interior: Según lo definido por el modelo adaptativo del anexo A.2 ("temperaturas interiores aceptables para el diseño de edificios sin sistemas de enfriamiento mecánicos") de la EN 15251

Demanda de calefacción y refrigeración: < 15 kWh/m²/año

Energía primaria total: < 120 kWh/m²/año

Si la refrigeración se satisface mediante sistemas activos

Requisitos de confort interior: Según lo definido por el modelo Fanger del EN 15251

Demanda de calefacción: < 15 kWh/m²/año

Demanda de refrigeración: < 15 kWh/m²/año

Energía primaria total: < 120 kWh/m²/año

El estándar propuesto, sin embargo, hace la recomendación de que los sistemas mecánicos deben ser utilizados solamente si hay límites técnicos al uso de soluciones pasivas.

4 PROPUESTAS DE VIVIENDAS PASSIVHAUS

4.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta ejemplos de cómo el estándar Passivhaus se puede aplicar en los cinco países (Francia, España, Portugal, Italia y el Reino Unido) socios en el proyecto “Passive-On” bajo condiciones climáticas y socioeconómicas que difieren del contexto original alemán. Este capítulo se llevó a cabo teniendo como punto de partida que se iba a aplicar el estándar Passivhaus, descrito en los capítulos 1 y 2, como un estándar permite crear edificios energéticamente eficientes manteniendo criterios de confort interior, en los ejemplos propuestos el diseño es muy importante y prevalece sobre la idea de una lista prescriptiva de elementos necesarios que debe tener una vivienda para ser Passivhaus.

Las ofertas nacionales fueron formuladas a partir de una vivienda típica adosada de tres habitaciones. Esta fue adaptada y optimizada desde el punto de vista del diseño para alcanzar el nivel requerido de confort y de eficiencia energética. El análisis de las opciones propuestas se realizó con la ayuda de programas de simulación térmica. A través de dicho análisis se calcularon las demandas de calefacción y refrigeración en las distintas localidades así como la viabilidad de la propuesta.

El resultado de los análisis realizados a las propuestas reveló que las cargas de calefacción son relativamente bajas en muchos países europeos meridionales y puede ser inferior a 15kWh/m². Comparativamente, la demanda de calefacción es mucho menor que la demanda de energía debida a otras necesidades energéticas tales como agua caliente sanitaria, iluminación y electrodomésticos. En muchas ocasiones existe una cierta demanda de refrigeración y es significativa pero puede satisfacerse mediante el uso de técnicas pasivas de refrigeración exclusivamente.

Este capítulo muestra una amplia gama de soluciones de diseño reflejadas en las ofertas nacionales descritas a continuación. Dichos ejemplos demuestran que es posible diseñar viviendas confortables de baja energía mediante soluciones apropiadas. En la parte 2 del presente trabajo se presenta un estudio más detallado de las propuestas nacionales, mientras que en la parte 3 se presenta una lista de estrategias pasivas que se pueden aplicar.

4.2 PASSIVHAUS EN EL REINO UNIDO

4.2.1 La casa

El punto de partida para la propuesta Passivhaus británica desarrollada por el departamento de construcción (SBE) de la universidad de Nottingham consiste en una casa adosada de tres habitaciones estándar que cumple con la normativa 2006 de la edificación. Los estándares en cuanto al uso de la energía y del confort del estándar alemán fueron adaptados al contexto británico, lo cual significa tener en cuenta las peculiaridades del clima, de los estándares de la construcción, así como la diferencia en la forma de vida y las expectativas de los compradores del Reino Unido. Por ejemplo, una de las características principales del Passivhaus alemán es el sistema de ventilación mecánica con recuperación del calor. Para que dicho sistema sea eficiente, la casa necesita ser muy hermética. Sin embargo, en el Reino Unido hay escepticismo entre los constructores de viviendas sobre la necesidad de construir casas extremadamente herméticas y la necesidad de la ventilación mecánica. Esto es debido en parte al hecho de que el clima en el Reino Unido es más suave en el invierno que en Alemania. Por lo tanto, en la propuesta del SBE, la ventilación se produce de forma natural mediante un sistema controlado manualmente (bajo nivel) o automáticamente (alto nivel). Esto tiene la ventaja de evitar los costes de inversión y de mantenimiento de un sistema mecánico y, al mismo tiempo, permite que los inquilinos tengan un grado de control sobre la abertura de ventanas.

El Passivhaus del Reino Unido sigue la disposición general de una vivienda tradicional. El plano de la planta incluye dos espacios de almacenamiento en los lados del norte y del sur. Aunque restan un cierto espacio habitable, éstos se pueden utilizar como lugares de almacenamiento temporal, como invernadero o lugar de secado de ropa. El espacio del norte también actúa como pasillo de entrada, mientras que el lado del sur es un invernadero incluido dentro del volumen del edificio. Las otras características de esta propuesta son el respiradero de la azotea encima de la caja de escaleras y las aberturas automatizadas para ventilación. El aislamiento de la cubierta es de 300mm y el de las paredes de 200mm. El invernadero adosado del sur incluye persianas venecianas en el acristalamiento para el control solar. El sobre coste de esta vivienda frente a una vivienda tradicional es de 49 £/m² con un período de reembolso de 19 años.



Fig. 3. 1 – Vivienda de consumo cero en UK, Bedzed



Fig. 3. 2 – Vista 3D de la *Passivhaus* propuesta por SBE

4.2.2 Las técnicas

Las técnicas propuestas combinan la ventilación natural con una inercia térmica interior elevada. En invierno, el aire se precaliente a su paso por el invernadero adosado en la fachada sur donde se pueden alcanzar temperaturas superiores a 20°C. Si hay terreno suficiente, se pueden instalar conductos enterrados en el jardín para preenfriar el aire de ventilación en verano. La carga de calefacción residual es tan baja que se podría resolver mediante una fuente neutral de emisiones de CO₂ tal como una caldera de astilla que podría proporcionar también el agua caliente sanitaria. En verano, durante los días de mayores temperaturas, el espacio almacenador intermedio se abrirá al exterior para evitar su sobrecalentamiento. En verano, durante la noche, el control automático de los ventiladores permitirá enfriar el edificio y su masa térmica.

La inercia interior elevada se puede conseguir mediante elementos constructivos muy masivos, expuestos al ambiente interior. En aquellos lugares donde se prefiera construir con sistemas ligeros se deben usar materiales con cambio de fase (PCM) encapsulados dentro del cartón yeso. La inercia interior contribuye a evitar los sobrecalentamientos y disminuye la demanda de refrigeración. Finalmente, en esta propuesta se elimina la necesidad de refrigeración activa mediante los sistemas de protección solar y mediante la ventilación natural junto a la inercia térmica.

Para reducir al mínimo las pérdidas se utilizan altos niveles del aislamiento con valores de la transmitancia térmica comprendidos entre 0.2W/m²K y 0.15W/m²K para las paredes y la cubierta respectivamente. El vidrio doble bajo emisivo se coloca en los acristalamientos interiores mientras que los vidrios exteriores son simples. Dichos vidrios podrían ser dobles para mejorar el comportamiento pero, dado que con vidrios simples se logró alcanzar el estándar de calefacción se optó por no cambiar estos vidrios y no aumentar el sobre coste. Los valores de la transmitancia de ventanas son de 1.8W/m²K, y su permeabilidad de 3 renovaciones/hora a 50Pa.

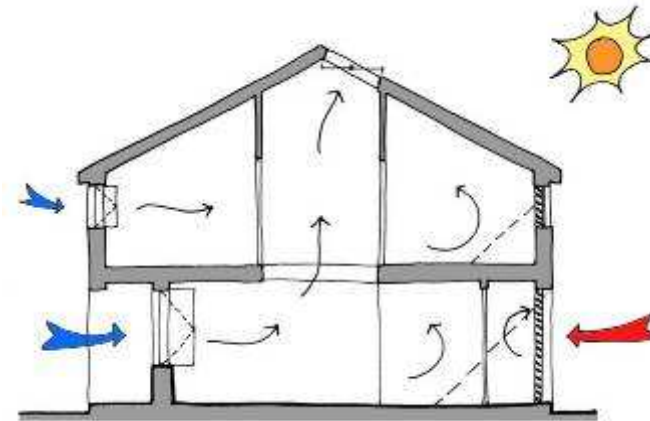


Fig. 3. 3 – Estrategia de ventilación en verano

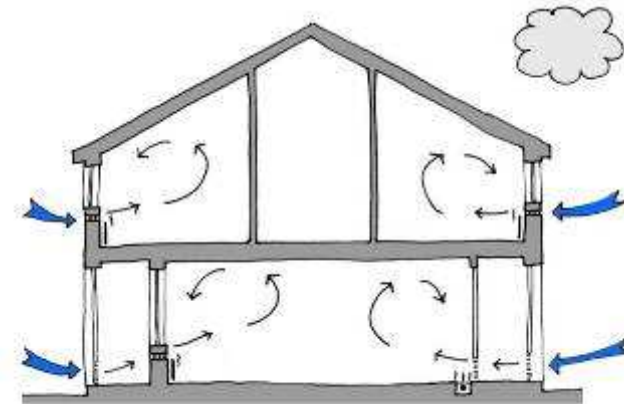


Fig. 3. 4 – Estrategia de ventilación en invierno

4.2.3 Rendimiento: energía y confort

La demanda anual de energía de calefacción se ha estimado en 13.8kWh/m². Dicho valor cumple con el estándar Passivhaus limitado a 15kWh/m², y es notablemente inferior a la demanda de una vivienda tradicional de las mismas características que suele estar en torno a 55kWh/m². No se necesitan sistemas activos de refrigeración ya que las estrategias pasivas satisfacen completamente la demanda de refrigeración. Debe ser recordado que esta casa incorpora una pared lateral expuesta y que por lo tanto una casa adosada con la misma disposición podría alcanzar este comportamiento retocando levemente las especificaciones.

Los criterios de confort adoptados durante el análisis del verano se basaron en el cálculo de los índices de la confort (véase la parte 2). Los índices suman la “distancia” entre la temperatura ambiente operativa predicha y las temperaturas neutras en cada hora sobre el año entero.

El índice de Confort Adaptativo (AI2), aplicado a los edificios en oscilación libre (es decir sin la calefacción ni refrigeración suplementaria), refiere a una temperatura neutra de confort definida en base a los modelos adaptativos en base mensual contenidos en ASHRAE 55.

Al determinar el confort mediante este índice, valor bajo del mismo indica un mejor comportamiento, siendo cero el valor de comportamiento óptimo. Para la propuesta Passivhaus británica el AI2 era cero. 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 (para una discusión más amplia sobre temas de confort ver el capítulo 2). En invierno, temperatura del aire de interior se mantiene a 20°C usando un sistema de calefacción convencional que satisface la demanda residual de la calefacción. Sin embargo, sin sistema de calefacción suplementario, el porcentaje del tiempo en el que la temperatura resultante interior está sobre 18°C es el 68%. En el área ocupada de la vivienda, las temperaturas resultantes oscilan típicamente entre 10 y 24°C, con un exceso sobre la temperatura ambiente exterior de entre 5 - 15°C.

Lo anterior demuestra que la estrategia adoptada para el diseño de la casa logra alcanzar el estándar de Passivhaus en términos de demanda de calefacción/refrigeración demanda y en términos de confort térmico. También ilustra que las medidas requeridas para satisfacer estos criterios de comportamiento no necesitan ser preceptivas. Esto dará a diseñadores y a constructores mayor flexibilidad cuando manejen las diversas prioridades de alcanzar la vivienda pasiva comprobante.

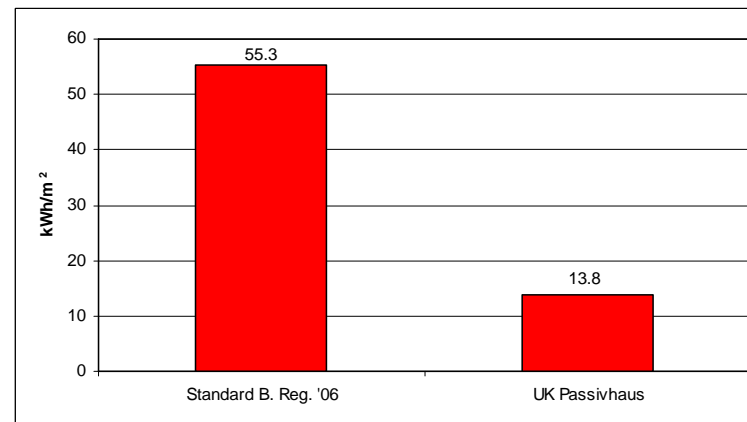


Fig. 3. 5 – Demanda anual de calefacción para la vivienda estandar y la *Passivhaus*

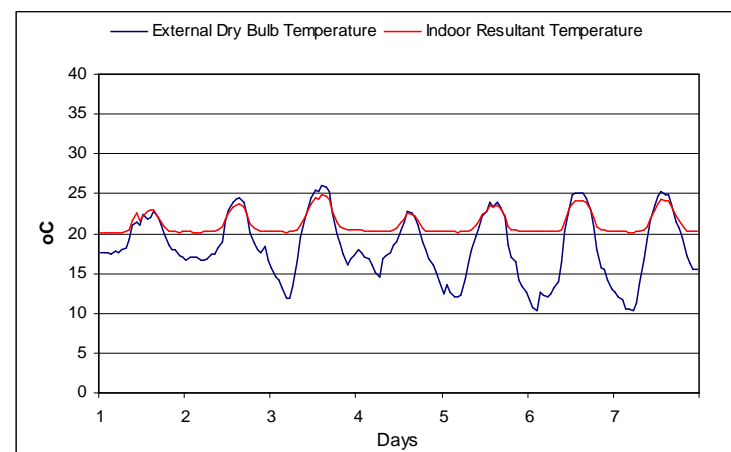


Fig. 3. 6 – Temperatura resultante típica en verano sin refrigeración adicional

4.3 PASSIVHAUS EN ESPAÑA

4.3.1 La casa

El punto de partida es una vivienda típica española. Situada en las cercanías (10 km) de alguna ciudad principal. Pareada o Adosada con jardín. Entre 3 y 4 dormitorios de media y alrededor de 100m² de superficie útil. Cumpliendo con la legislación actual impuesta por el CTE-DB HE de obligado cumplimiento.

El objetivo es convertir esta vivienda en el equivalente a una Passivehaus alemana con las particularidades del clima español. Nos centraremos en climas regionales de la comunidad autónoma andaluza: Sevilla y Granada.

Ambas localidades tienen influencias de clima mediterráneo pero con particularidades que las hacen más complejas que otras como Cádiz o Almería ya que aúnan situaciones más extremas, en el caso de Sevilla verano muy severo, y en Granada invierno muy severo.

Se pretende conseguir viviendas que, dentro del marco de calificación energética para viviendas de nueva edificación, según el RD 47/2007 de 19 de Enero 2007 y de obligado cumplimiento a partir de Septiembre de 2007, se obtenga la máxima calificación energética en un entorno de rentabilidad económica, utilizando técnicas de refrigeración y calefacción pasivas y manteniendo condiciones de confort según el proyecto de norma prEN 15251.

La distribución en planta de la vivienda propuesta no se corresponde con la clásica en España. Actualmente, las viviendas adosadas o pareadas presentan las fachadas de menor superficie al exterior, siendo las medianeras las fachadas de mayor superficie, esta opción es la adecuada en climas donde el invierno es muy severo y donde la radiación solar no es muy alta. No obstante en los climas con los que estamos trabajando sacrificar la compacidad para aumentar el área al sur puede ser muy positivo. Por tanto, las fachadas con mayor superficie dan al exterior en la vivienda propuesta siendo sus orientaciones principales Norte –con una pequeña superficie acristalada (10%)- y Sur –con una gran superficie acristalada (50%)-. Esta disposición puede presentar dificultades urbanísticas por la peor optimización del espacio urbanizable y las dificultades para crear las urbanizaciones, pero sería conveniente desde un punto de vista energético.

El sobre coste de la vivienda pasiva española está alrededor de 25 €/m² (un 5% de incremento respecto al coste de construcción estándar) con un

periodo de recuperación estimado de 5 años. Este número es menor que en otros países pues nuestra solución pasiva está mucho más argumentada.



Fig. 3. 7 – Vivienda de baja energía en Sevilla, España.

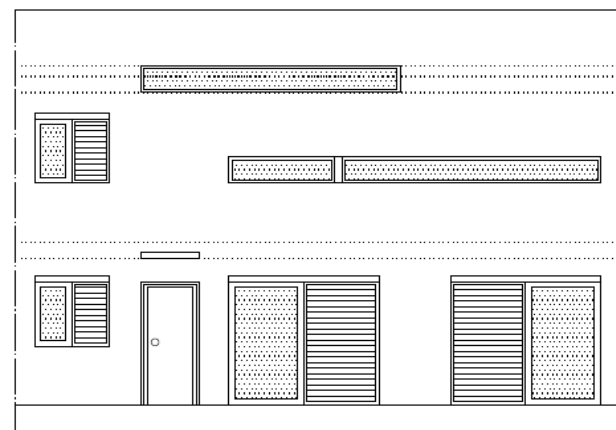


Fig. 3. 8 – Fachada norte de la Passivhaus propuesta

4.3.2 The strategy

Pre calentamiento del aire de entrada: No existe sistema de ventilación mecánica pues no son convenientes con las características constructivas estándar españolas. Para considerar estas técnicas se deberían garantizar niveles muy altos de estanqueidad (0.25 ACH a 4 Pa) por defectos de fachada y ventanas de clase 3 ($<9 \text{ m}^3/\text{hm}^2$), en cuyo caso sería necesario impulsar 1.4 veces la cantidad de aire extraída.

Superficie acristalada: El alto nivel de superficie acristalada en la orientación Sur, maximiza las ganancias solares en invierno. La ventaja de la orientación Sur es que no presenta los máximos de verano de las orientaciones este y oeste y además es mucho más fácil de controlar. El control solar es clave en el uso de esta solución, se ha adoptado el uso de toldos móviles. Ver ficha "Glazing and Solar Energy" del capítulo 4. Al Norte se utiliza el porcentaje acristalado mínimo estético y funcional. En localidades con clima más severo se mejora la transmitancia térmica (U-value) del vidrio Norte.

Inercia: se proponen dos soluciones: la tradicional, de baja inercia, que únicamente presenta al interior un tabique y una de alta inercia que presenta al interior un bloque de termoarcilla. La de alta inercia no es viable en granada por motivos estructurales. En cualquier caso una estrategia de alta inercia debe utilizarse simultáneamente a:

una ventilación dirigida, en la cual el aire tocase las paredes de alta inercia, en el resto no tendría sentido poner mucha masa.

Radiación estudiada de forma que ésta incidiese sobre las paredes de alta inercia (casi nunca los cerramientos exteriores sino los tabiques y el suelo).

Ventilación nocturna: El espacio norte que forma el hueco de las escaleras permite crear una chimenea que permita la extracción del aire durante la noche para conseguir las renovaciones hora deseadas durante las noches frescas de verano.

Iluminación natural: El hueco de las escaleras esta coronado por una luminaria longitudinal en el que se instala una cristalera orientada al sur. Esta solución permite crear una linterna útil para iluminación natural de esta zona.

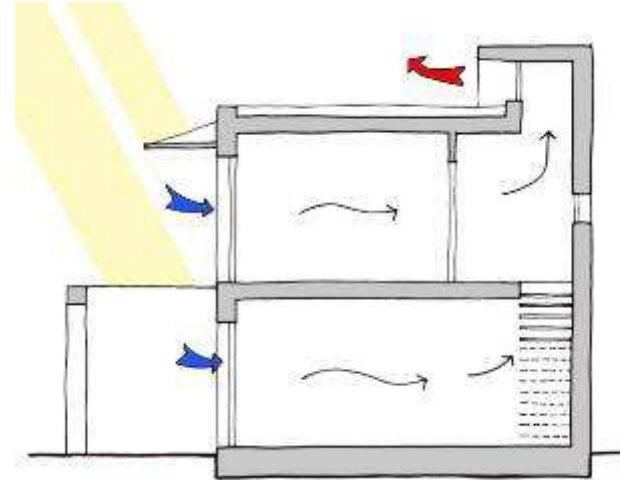


Fig. 3. 9 – Estrategia de control solar y ventilación en verano

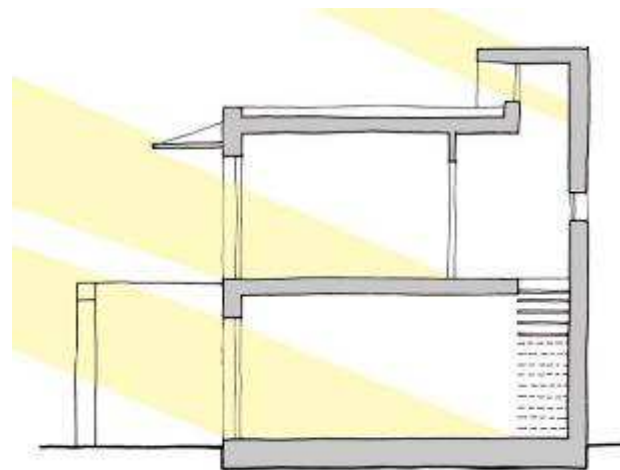


Fig. 3. 10 – Estrategia de acceso solar en invierno

4.3.3 Performance: energy and comfort

Demanda de la vivienda:

La demanda total de la vivienda propuesta para Sevilla es de 24.5 kWh/m² (2.8 kWh/m² demanda de calefacción y 21.7 kWh/m² demanda de refrigeración) no cumple con los criterios de passivehaus en verano. El valor medio de las demanda total para viviendas unifamiliares de nueva construcción es de 57.3 kWh/m² significando nuestra propuesta una reducción del 57% de dicho valor.

La demanda total de la vivienda propuesta para Granada es de 16.6 kWh/m² (8.7 kWh/m² demanda de calefacción y 7.9 kWh/m² demanda de refrigeración) cumple con los criterios de Passivehaus. El valor medio de las demanda total para viviendas unifamiliares de nueva construcción es de 69.0 kWh/m² significando nuestra propuesta una reducción del 76% de dicho valor.

No hay necesidad de sistemas activos de calefacción ni de refrigeración, simultáneamente, los resultados de las simulaciones demuestran que la estrategia global adoptada para el diseño de las passivehaus españolas cumplen los requisitos previstos en términos de calefacción/refrigeración y en términos de confort térmico.

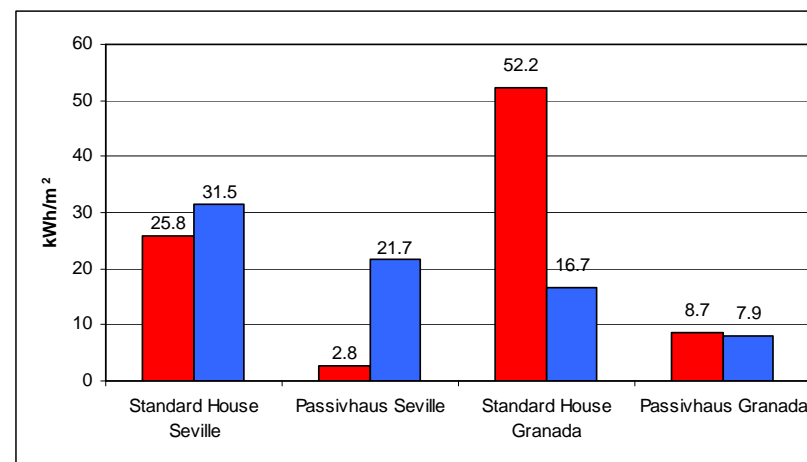


Fig. 3. 11 – Demandas anuales de calefacción y refrigeración para la vivienda estándar y la *Passivhaus* en Sevilla y en Granada

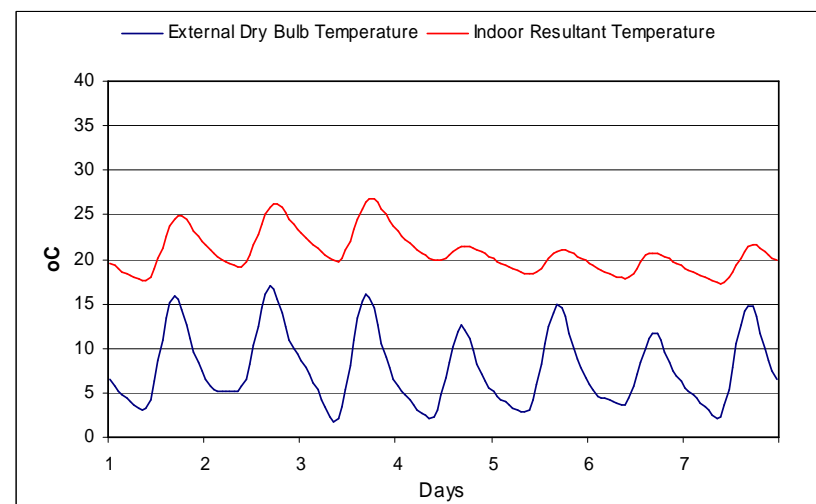


Fig. 3. 12 – Temperaturas predichas durante una semana de invierno en la propuesta *Passivhaus* para Granada.

4.4 PASSIVHAUS PORTUGAL

4.4.1 The house

El punto de partida de la propuesta Passivhaus portuguesa es una vivienda de una sola planta con dos dormitorios, conforme con la nueva reglamentación nacional térmica de edificios (RCCTE, DL 80/2006). Las estrategias referidas a los estándares Passivhaus energéticos y de confort fueron adaptadas al contexto portugués, particularmente en relación con la larga estación de refrigeración. La oferta actual considera el clima local (case study para Lisboa), los estándares de construcción, y el marco técnico y económico portugués.

Se propone un prototipo simple para permitir a los arquitectos libertad de diseño de la vivienda. Tiene un plan rectangular con dos dormitorios y una azotea plana, con un área útil total de 110 m². La disposición simple sugerida se puede agrandar fácilmente para ofrecer más habitaciones y/o superficie en planta.

El nivel del aislamiento en paredes y azoteas excede los estándares nacionales y la infiltración del aire es controlada (del orden de 0.8 ach a 50 Pa). Sin embargo, el aislamiento y la hermeticidad no son los aspectos principales para la oferta actual. Los tres aspectos principales explorados en la casa propuesta son: relación con el sol, ventilación para refrigeración y alta masa térmica para controlar las oscilaciones de la temperatura interior. La disponibilidad solar es muy alta en Portugal, incluso durante la estación de calefacción. Por lo tanto, un factor dominante en esta casa es la relación con la radiación solar, capturada directamente (ventanas) e indirectamente (colectores solares térmicos). Las grandes ventanas están principalmente orientadas al sur. Incrementando las ganancias solares útiles durante el invierno. Ventanas más pequeñas están áreas orientadas al este y al oeste y solo una mínima parte de las ventanas está orientada al norte. La protección solar se elige en función de la orientación: voladizos para las ventanas al sur, reduciendo la incidencia solar durante verano, y persianas venecianas exteriores en todas las ventanas.

Una característica muy importante de la propuesta es el uso de un sistema de captadores solares para producción de agua caliente sanitaria. Este sistema es obligatorio con la nueva regulación térmica de edificios (salvo que no exista exposición solar disponible). La presente propuesta extiende la instalación solar también para cubrir una porción significativa de la demanda de calefacción, aumentando el área solar de los paneles y usando una distribución hidráulica del calor a baja temperatura (por ejemplo, suelo piso

18

radiante). Según lo propuesto para el estándar de Passivhaus, la capacidad punta de calefacción y refrigeración se limita a 10 W/m². El sobrecoste de la casa Passivhouse propuesta para Portugal es de 57 €/m² con un periodo de retorno de 12 años.



Fig. 3. 13 – Imagen de casa de baja energía existente en Portugal (Janas House)

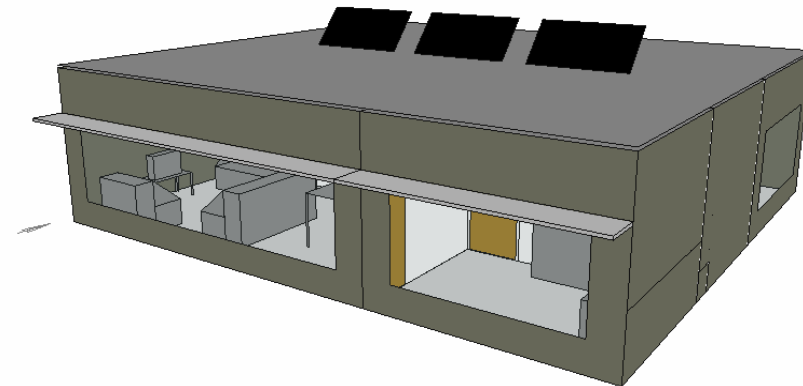


Fig. 3. 14 – 3D de la *Passivhaus* propuesta para Portugal

4.4.2 La estrategia

La casa combina la capacidad de recoger el calor solar (ventanas del sur grandes) y la capacidad de regular temperatura interior con su alta inercia térmica. Para reducir las pérdidas y ganancias de calor, se proponen 150mm y 100mm de aislamiento para la azotea y las paredes exteriores, con valores de U de 0.23 W/m².K y de 0.32 W/m².K, respectivamente. El aislamiento del suelo (80 milímetros) es beneficioso en climas más fríos. Sin embargo, donde la refrigeración es más relevante que la calefacción, sólo se debe aislar una banda de 1m en el perímetro para permitir que el núcleo de la casa disipe calor al terreno durante verano.

Las ventanas orientadas al sur corresponden a alrededor del 60% del área acristalada; del orden del 20% está orientada al este y otro 20% del oeste. La casa tiene aproximadamente 1.2 m² de ventana al sur por cada 10 m² del área neta (de 2.1 m² de área total de ventana por cada 10 m² de área neta de fachada). El uso de vidrio doble bajo emisivo puede ser muy eficaz en los climas más fríos de Portugal, pero en la mayoría de las situaciones el vidrio doble estándar es más rentable (se consideran valores de U de 2.9 W/m².K para el vidrio doble estándar y de 1.9 W/m².K para vidrio doble bajo emisivo).

El sistema de captadores solares proporciona la mayor parte de la demanda de la calefacción de la vivienda. Los paneles solares están orientados al sur con una inclinación de 50° con el plano horizontal para aumentar su eficiencia durante invierno.

Para evitar recalentamientos durante la estación de refrigeración, particularmente en las habitaciones orientadas al sur y al oeste de los revestimientos, es importante utilizar dispositivos de control solar (voladizos y persianas), y combinar alta inercia térmica con la ventilación, principalmente en la noche (temperatura del aire exterior cae considerablemente durante la noche). La alta inercia térmica puede ser alcanzada mediante la pesada losa de hormigón, usando particiones internas de ladrillo y aplicando el aislamiento por el exterior en la azotea y en las paredes. Sin embargo, todavía hay un cierto escepticismo entre constructores de casa portugueses al comportamiento mecánico del aislamiento exterior. Por lo tanto, se propone para utilizar la pared doble tradicional del ladrillo con una capa del aislamiento en la cavidad. Una estrategia eficaz de ventilación cruzada puede disipar el calor almacenado en paredes y losas. En los dormitorios la ventilación debe ocurrir por las tardes para evitar , evitar corrientes durante el período de sueño; en el resto de los espacios, todo la noche puede ser utilizada. Un

control solar eficaz así como una estrategia de ventilación nocturna, que disipa las ganancias internas y solares, puede reducir la potencia del sistema de refrigeración o hacer innecesaria su instalación

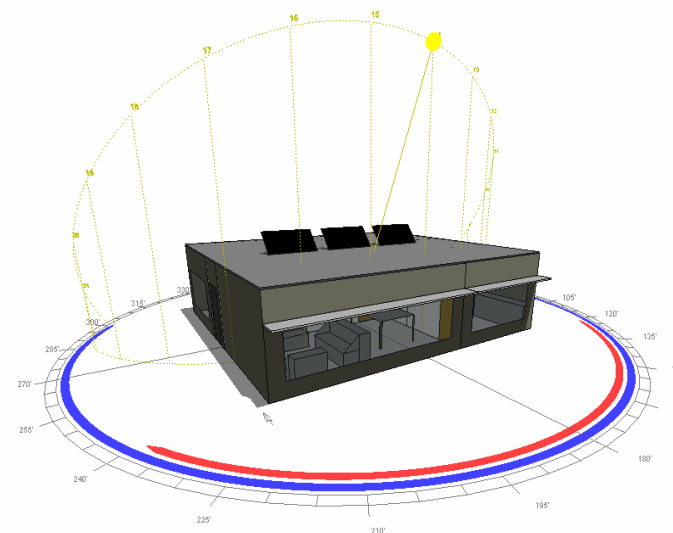


Fig. 3. 15 – Incidencia solar en verano, vista del SW

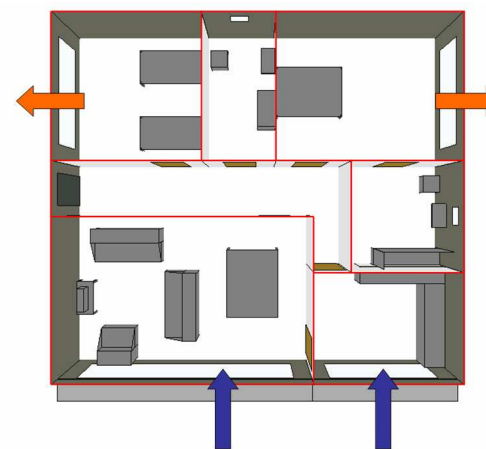


Fig. 3. 16 – Estrategia de ventilación en verano

4.4.3 Comportamiento: energía y confort

La demanda energética anual de calefacción de la casa *Passivhaus* propuesta para Portugal se ha estimado en 16.9 kWh/m² de los cuales 11 kWh/m² son proporcionados por el sistema solar (en el análisis, la prioridad se le da a la calefacción, siendo la fracción solar destinada a producción de agua caliente sanitaria del 48%). La demanda anual de refrigeración es 3.7 kWh/m². La suma anual es de 9.6 kWh/m². Según la nueva reglamentación térmica portuguesa, las demandas anuales límite de calefacción y refrigeración en Lisboa son de 73.5 y 32 kWh/m² respectivamente.

El análisis del confort térmico se basa en la temperatura operativa, resultado de promediar la temperatura del aire y la temperatura radiante. El criterio de confort adoptado durante el verano se basa en el cálculo de índices de confort (ver Parte 2). Los índices suman durante el periodo la "distancia" entre la temperatura operativa predicha y la temperatura neutra en dicha hora. Por lo tanto, un bajo índice indica un mejor comportamiento.

La casa habitual, con sistema activo de refrigeración, tiene un índice de confort según Fanger de 811 (la casa está penalizada por la influencia de la temperatura radiante de la gran área acristalada). Si no existe sistema activo de refrigeración se aplica el índice de confort adaptativo (AI2, ASHRAE 55). En la casa *Passivhaus* propuesta para Portugal el AI2 fue de 16. Para esta casa, 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 debería reducirse (aunque esto incrementara la demanda de calefacción),

En invierno, se utiliza la baja potencia de calefacción instalada (10 W/m²), resultando que únicamente un 8% del tiempo se alcanza una temperatura resultante inferior a 19.5°C y un a mínima temperatura alcanzada de 18°C.

El análisis descrito prueba cómo las estrategias adoptadas para el diseño de la casa *Passivhaus* portuguesa para el clima de Lisboa pueden tener éxito, tanto en términos de limitación de la demanda energética como en términos de niveles de confort. Aunque el diseño específico puede ser muy diferente

del diseño simple presentado, las estrategias aplicadas han puesto de manifiesto su efectividad en relación con el clima.

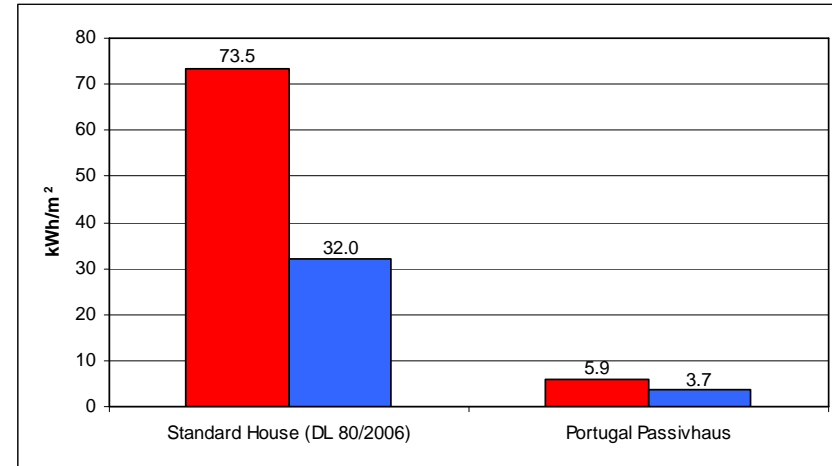


Fig. 3. 17 – Demandas de calefacción (rojo) y de refrigeración (azul) para la vivienda estándar y la *Passivhaus*

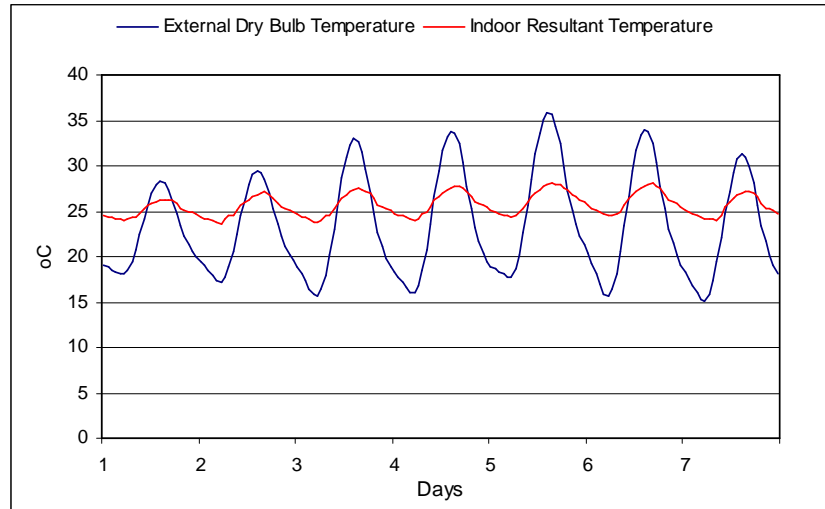


Fig. 3. 18 – Temperaturas resultantes durante una semana muy cálida, sin refrigeración activa

4.5 PASSIVHAUS ITALIA

4.5.1 La casa

La casa *Passivhaus* italiana se desarrolla sobre la premisa de que las soluciones comúnmente empleadas en la *Passivhaus* centroeuropea, es decir, alto nivel de aislamiento, ausencia de puentes térmicos, ventilación activa con recuperador de calor, son pertinentes en muchas zonas de Italia con veranos severos aunque relativamente cortos (Milán y el norte en general) y también en zonas de montaña más al sur. La otra hipótesis es que estas soluciones pueden, cuando se integran con medidas adicionales, proporcionar una estrategia efectiva pasiva para refrigeración en verano. Por ello, la casa *Passivhaus* italiana adopta estrategias adicionales de control solar con salientes de techo o persianas venecianas, reduciendo la ganancia solar a través de las ventanas. También, se incorpora una estrategia de ventilación natural nocturna complementada con refrigeración activa basada en una bomba de calor reversible de baja potencia durante los días particularmente cálidos.

La ventaja de basar la casa *Passivhaus* italiana en los conceptos pasivos aplicados en la *Passivhaus* centroeuropea es que los conceptos pueden ser integrados en edificios con estética y distribución comúnmente aceptada. Una *Passivhaus* que se ha terminado recientemente (2006) en Cherasco, cerca de Cuneo en el norte de Italia, confirma gráficamente esto (ver foto a la derecha), Por ejemplo, no hay una necesidad particular de grandes ventanas o invernaderos al sur para proporcionar ganancias de calor en invierno.

Asimismo, la *Passivhaus* que se está discutiendo sigue el estilo de “villa rustica” que representa un a parte significativa de la nueva construcción en Italia durante los últimos años, al menos en el norte de Roma. La vivienda está en el límite que mira al sur de un conjunto de adosadas con 120 m² de superficie útil y una relación superficie/volumen de 0.8 m⁻¹. La hilera de viviendas está desplazada, de forma que un 50% del área de la pared oeste está protegida por la pared este de la vivienda adjunta. Las simulaciones dinámicas han mostrado que con los debidos ajustes de las distintas estrategias de diseño (tales como cambio en el nivel de aislamiento), este diseño proporciona viviendas confortables todo el año en Milán, Roma y Palermo. Las características técnicas de la *Passivhaus* mencionada confirman en gran medida las especificaciones detalladas en la presente guía de diseño.

Para Milán, el extracoste de la *Passivhaus*. se calcula en 84.00 Euro/m² que es del orden del 7% más que una vivienda construida según los mínimos reglamentarios. Considerando un ahorro energético de 924 Euro/año se origina un periodo de retorno de aproximadamente 12 años.



Fig. 3. 19 – The *Passivhaus* constructed in Cherasco, Cuneo, North Italy

4.5.2 La estrategia

Aunque la casa *Passivhaus* italiana adopta muchos de los conceptos pasivos de la *Passivhaus* centroeuropea hay detalles específicos que cambian. En general, el clima más suave de Italia permite alcanzar las condiciones fijadas de demanda de energía y de confort usando criterios menos estrictos en relación con:

Nivel de aislamiento: La típica casa *Passivhaus* en Alemania requiere 25cm de aislamiento en los cerramientos exteriores y 40cm en el techo. Para Roma, con 10cm de aislamiento en paredes y 15cm en techo sería suficiente.

Estanqueidad de la envuelta: La típica casa *Passivhaus* centroeuropea requiere la envuelta tenga un máximo de 0.6 renovaciones hora a 50 Pa de diferencia de presión. No obstante, en Milán y Roma, 1 renovación hora sería aceptable y en Palermo aún más.

En particular, para régimen de invierno, la casa *Passivhaus* italiana:
Minimiza la pérdida de calor mediante una envuelta altamente aislada y la eliminación de los puentes térmicos.

Proporciona ventilación mecánica con recuperación de calor del aire de extracción

Proporciona calefacción usando una bomba de calor (tierra-aire) de baja potencia (la máxima potencia en verano y en invierno es de 1.5kW)

Permite ganancias solares usando un 30% de superficie acristala en la fachada sur y reduce las pérdidas minimizando el área vidriada en la cara norte.

Mientras que para régimen de verano:

Minimiza las ganancias solares a través de la envuelta y de las ventanas.

Extrae las ganancias solares e internas de la envuelta del edificio usando un sistema híbrido de ventilación nocturna

En relación con este último punto, el uso de una estructura masiva bien aislada proporciona una base efectiva para utilizar el aire frío nocturno en verano para enfriar la masa térmica. Este aire frío se pasa a través del edificio bien debido al viento o fuerzas naturales de flotación, o bien usando los ventiladores del sistema mecánico de ventilación. La estrategia trabaja

en Milán aunque es más efectiva en Roma.

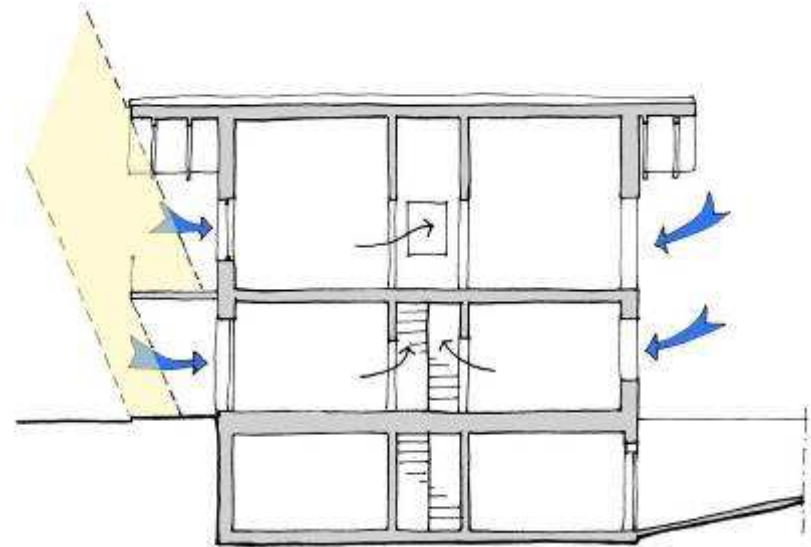


Fig. 3.20 Estrategia de verano

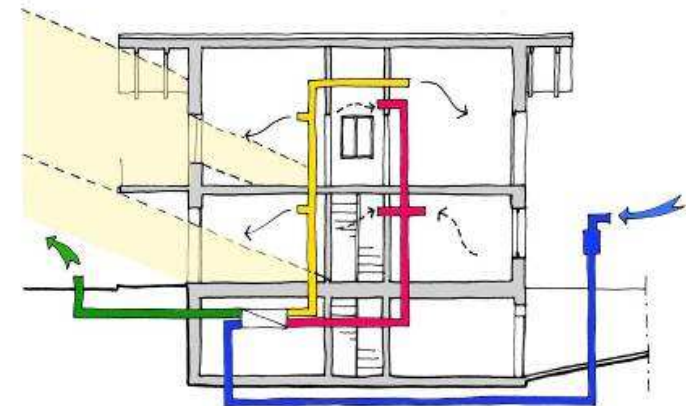


Fig. 3. 21 – Estrategia de invierno

4.5.3 Performance: energy and comfort

En Milan y Rome, se pueden alcanzar completamente condiciones de confort en verano utilizando medios pasivos. En concreto:

- En Milan el límite superior de temperatura de Confort Adaptativo (de acuerdo con EN 15251) no se alcanzó nunca, aunque la temperatura neutral se excedió ocasionalmente en agosto..
- En Rome el límite superior de temperatura de Confort Adaptativo (de acuerdo con EN 15251) no se alcanzó nunca, aunque la temperatura neutral se excedió la mayoría del mes de agosto.

En cualquier caso, la refrigeración pasiva proporciona valores máximos de temperatura interior de aproximadamente 30°C en ambos casos.

Aunque la estrategia de ventilación nocturna funciona, la temperatura interior puede reducirse utilizando la bomba de calor reversible de poca potencia. El modesto consumo de energía trae a las temperaturas interiores bastante por debajo de la temperatura neutra definida por el modelo de Confort Adaptativo (temperatura máxima alrededor de 27.5°C)

En Palermo, la estrategia de ventilación natural es menos efectiva y alguna forma de refrigeración activa es necesaria para alcanzar condiciones aceptables de confort durante el verano.

El empleo de medios puramente pasivos conduce a temperaturas interiores que alcanzan los 32.5°C, estando muy por encima del límite de Confort Adaptativo durante la mayoría de agosto. 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 una refrigeración activa significativa (9 kWh/m²/year) en Palermo la temperatura neutral de confort se excedió durante un cierto número de días aunque las temperaturas interiores permanecen siempre inferiores a los máximos aceptables.

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 con tinuaron proporcionando condiciones confortables. No obstante, en Palermo, las temperaturas interiores estuvieron suficientemente por encima de la temperatura neutral incluso con la utilización de refrigeración activa.

25

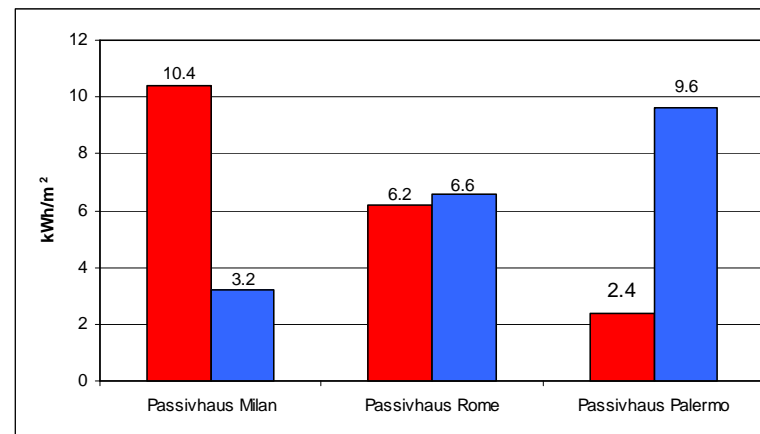


Fig. 3. 22 – Demandas de calefacción y refrigeración en la casa *Passivhaus* italiana en las tres localidades.

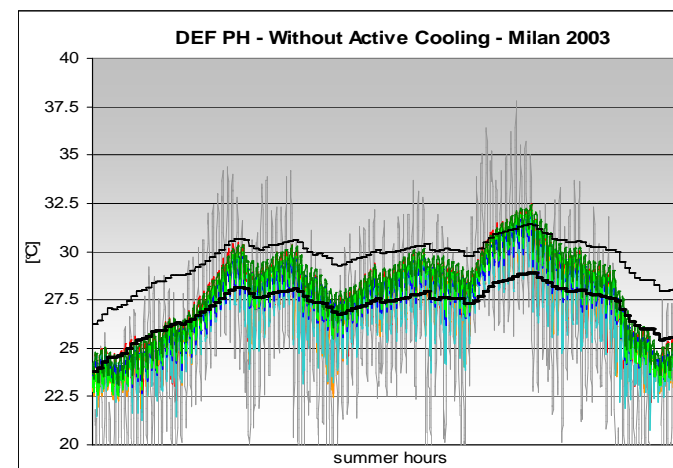


Fig. 3. 23 – Temperatura en la sala de estar durante el verano en Milán utilizando las estrategias de refrigeración pasiva. Se muestran también la temperatura neutra y el límite superior de confort según EN 15251.

4.6 PASSIVHAUS FRANCE

4.6.1 The house

El clima del norte de Francia es muy similar al clima Alemán, aunque algo más suave debido a la influencia del océano Atlántico.

Por ello, la casa *Passivhaus* en el norte de Francia podría ser similar a la casa *Passivhaus* en Alemania: muy buen aislamiento de la envuelta completa (típicamente de 25 a 40 cm. of aislamiento) sin puentes térmicos significativos, pérdidas por infiltraciones reducidas al mínimo, suministro y extracción de aire con sistemas de recuperación eficientes, marcos de ventana aislantes con vidrios triples y dobles bajo-emisivos con relleno de gas. Esto permite simplificar los sistemas mecánicos: la distribución de aire se sustituye por un calentador central de aire para la vivienda completa. Para las dos localidades mediterráneas del sur de Francia, es decir, Niza y Carpentras, la casa *Passivhaus* propuesta se desarrolla adaptando los conceptos anteriores a los climas más cálidos del sur.

La distribución en planta corresponde a una típica vivienda adosada de dos plantas que se están construyendo en grandes cantidades por toda Europa, con un sótano no calefactado un espacio diáfano en la planta baja y tres dormitorios en la planta alta. Las viviendas se suponen orientadas al sur con la siguiente hilera de casas situadas a una distancia de 23 m.

Para Carpentras, el nivel de aislamiento se puede reducir hasta los 15 cm en paredes y techo y 8 cm en el suelo del sótano. Para el clima suave de Niza, es suficiente con los niveles de aislamiento requeridos por la legislación.

La eliminación de puentes térmicos se aplica en su totalidad, excepto para los muros de carga entre el sótano y la primera planta. En particular, se recurre a aislamiento exterior, de tal forma que no existan puentes térmicos relevantes cuando se consideran dimensiones tomadas por el exterior.

Vidrio doble bajo-emisivo con marcos convencionales resultan apropiados para ambos climas. Se aplica asimismo recuperación del calor de extracción junto con reducción de las infiltraciones. En los climas mediterráneos más templados se pueden alcanzar bajas demandas de calefacción usando sistemas de extracción sin recuperación pero, por ejemplo en Carpentras, esto requeriría espesores de aislamiento de 30 cm. y marcos aislantes



Fig. 3. 24 – Hileras de viviendas *Passivhaus* en Hannover-Kronsberg rows (en primer plano). La geometría de los edificios es similar a la propuesta *Passivhaus* francesa. Nótese que la apariencia visual de los edificios puede adaptarse fácilmente a las preferencias locales.

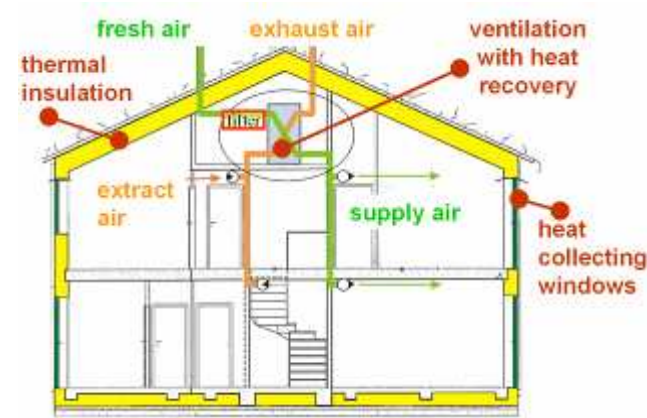


Fig. 3. 25 – Sección de la casa *Passivhaus* para Francia.

4.6.2 La estrategia

La carga máxima diaria de calefacción es suficientemente pequeña para ser cubierta con un simple precalentamiento del aire de impulsión para ventilación. Los radiadores y una distribución de calor independiente ya no son necesarios. La fuente de la generación del calor no es de gran importancia, pero el uso de resistencias eléctricas está desaconsejado.

Debido

Debido a la pequeña carga punta, la instalación se simplifica grandemente, lo cual reduce el coste de inversión por este concepto y justifica el mayor coste de la envuelta.

Una reducción significativa del coste puede a menudo obtenerse cuando se utilizan sistemas compactos de bomba de calor. Estas unidades usan el aire de extracción después del intercambiador como foco frío. La bomba de calor calienta también el almacenamiento de agua caliente sanitaria. Todas las instalaciones térmicas previstas se encuentran concentradas en una sola unidad con su propio control integrado, por lo que puede ser conectada fácilmente. No es necesario además aportar, almacenar o transportar ningún otro energético al edificio aparte de la electricidad.

Durante el verano el aislamiento de paredes y techo ayuda a limitar la carga solar que penetra en el edificio. Se requieren dispositivos exteriores de control solar en las ventanas. Como la temperatura ambiente exterior es inferior a 25 °C durante la mayor parte del tiempo, la recuperación de calor de la ventilación se by-pasa durante la estación de refrigeración.

El resto de las estrategias de refrigeración difieren en función de la localidad. En Carpentras, debido a las bajas temperaturas exteriores durante la noche y los aceptables niveles de humedad, el uso de ventilación nocturna es suficiente para garantizar una situación de confort térmico.

Para Niza, con mayores niveles de humedad relativa y una oscilación de temperatura menos pronunciada, es necesario enfriar activamente el aire de impulsión, con lo cual se produce también su deshumidificación. Es posible técnicamente construir equipos compactos reversibles para enfriar el aire de impulsión, aunque no están disponibles en la actualidad en el mercado.

Las renovaciones de aire están determinadas por los requisitos de calidad de aire interior. Únicamente se ha supuesto una moderada ventilación natural que tiene en cuenta la apertura de ventanas por parte del usuario en condiciones exteriores agradables. pleasant ambient conditions.

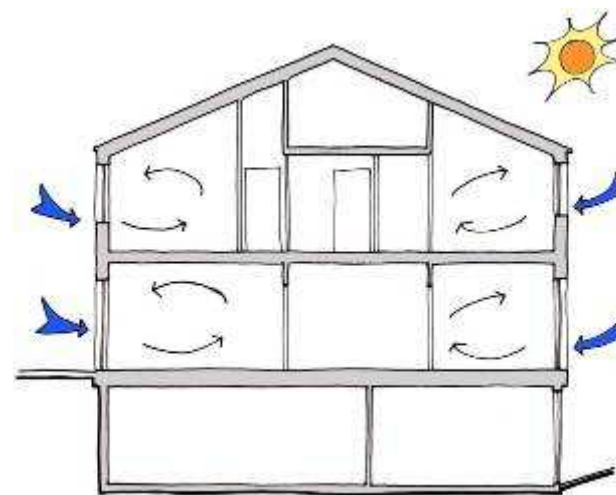


Fig. 3. 26 – Estrategia de verano

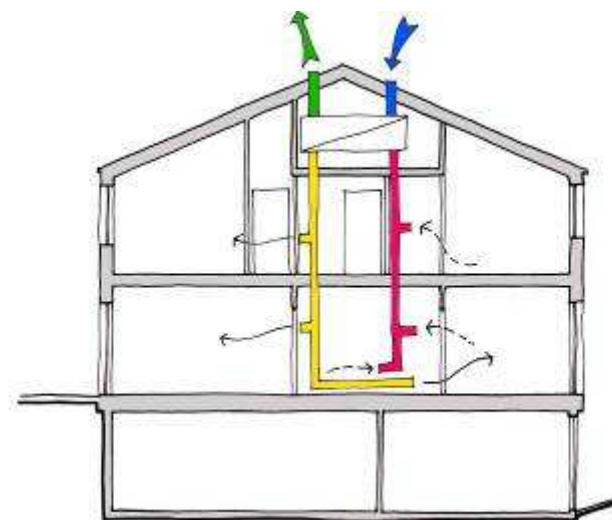


Fig. 3. 27 – Estrategia de invierno

4.6.3 Comportamiento: energía y confort

En ambos casos, Carpentras y Niza, la demanda anual de calefacción es ligeramente inferior a los 15 kWh/m² año. Ocasionalmente, en días de invierno soleados la temperatura interior sube espontáneamente 1 o 2 K por encima de la consigna de 20 °C.

Como se ha descrito anteriormente, 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.

Un aspecto que requiere especial consideración es la humedad. Por encima de una humedad absoluta de 12 g/kg, las personas experimentan disconfort independientemente de la temperatura interior. Además, la humedad relativa debe estar en el rango del 30 al 70 %.

En el caso de Carpentras, se encontró que estos requerimientos se alcanzaban con las estrategias pasivas de refrigeración durante la mayor parte del tiempo. El límite superior de humedad relativa se excedió únicamente durante menos del 4 % del año en todas las habitaciones; la fracción de tiempo durante la cual se excedió el límite de humedad absoluta fue incluso inferior.

En Niza, por el contrario, los niveles de humedad son significativamente mayores que los de tierra adentro. Si únicamente estuviéramos considerando temperaturas, los sistemas pasivos podrían ser utilizados, al igual que sucedía en Carpentras. Sin deshumidificación, no obstante, los límites de humedad relativa y de humedad absoluta son superados durante el 13 al 15 % del año en todas las zonas. El enfriamiento del aire de ventilación con la consiguiente deshumidificación proporciona por el contrario condiciones de confort.

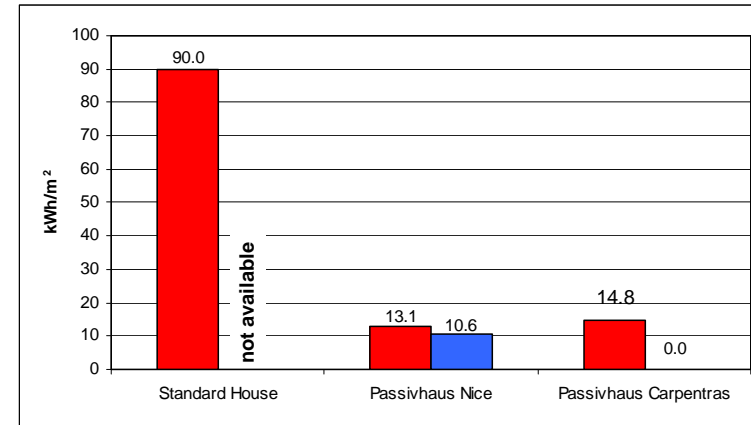


Fig. 3. 28 – Demandas anuales de calefacción para la vivienda estándar y para la *Passivhaus*

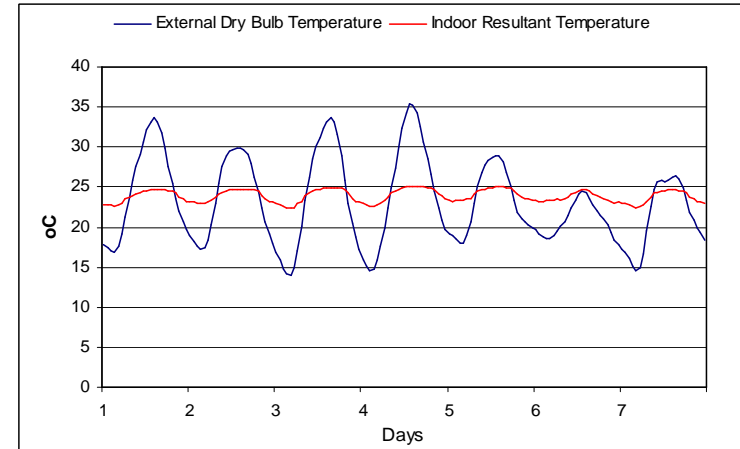


Fig. 3. 29 – Temperatura seca resultante en verano en ausencia de refrigeración activa (Carpentras, valores máximos de todos los espacios habitables)

5 APLICABILIDAD CLIMÁTICA

5.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este capítulo es investigar la aplicabilidad climática de las diversas estrategias y escenarios introducidos en las propuestas nacionales de casas *Passivhaus*. Aunque cada propuesta nacional incluye una o dos localidades por país, esto no implica en absoluto que los ejemplos presentados puedan ser generalizados a la totalidad de dicho país. La existencia de climas diferentes pueden implicar que una solución específica deje de ser válida al cambiar la localidad donde se realizó el estudio.

5.2 APLICABILIDAD CLIMÁTICA

La demanda de energía de un edificio depende del clima y de las características de su envuelta. Las variables climáticas que influyen de manera determinante en la demanda del edificio son la temperatura exterior y la radiación solar.

Tradicionalmente, la demanda de calefacción y refrigeración de un edificio se ha relacionado con los grados-día de la localidad pero esta variable no considera la influencia de la radiación solar.

Con el fin de comparar el efecto de dos climas diferentes sobre un determinado edificio, la caracterización climática debe considerar como variables simultáneas la temperatura exterior y la radiación solar.

Cuando dos localidades tienen valores muy similares de las dos variables citadas es posible extrapolar una determinada estrategia o técnica pasiva de una localidad a otra. La cuestión es el criterio para comparar las temperaturas exteriores y los niveles de radiación solar de manera simultánea.

Como se ha dicho anteriormente, los grados-día de calefacción y refrigeración se han utilizado para comparar el rigor de las temperaturas exteriores en diversas localidades e incluso años diferentes de una misma localidad. Cuanto mayor son los grados-día correspondientes a un régimen determinado, mayor será la demanda del edificio para dicho régimen. Además, si en dos localidades existe coincidencia de grados-día y de radiación solar, y además esto sucede tanto para invierno como para verano, es fácil inferir que las soluciones que valgan para una localidad serán igualmente válidas para la otra.

Con los mapas que siguen en las figuras 4.1 a 4.4, se pueden comparar los 4 parámetros climáticos citados en diferentes localidades. Las técnicas usadas para la casa *Passivhaus* en una cierta localidad serán en principio válidas para todas aquellas localidades que tienen similares parámetros climáticos que la localidad inicial.

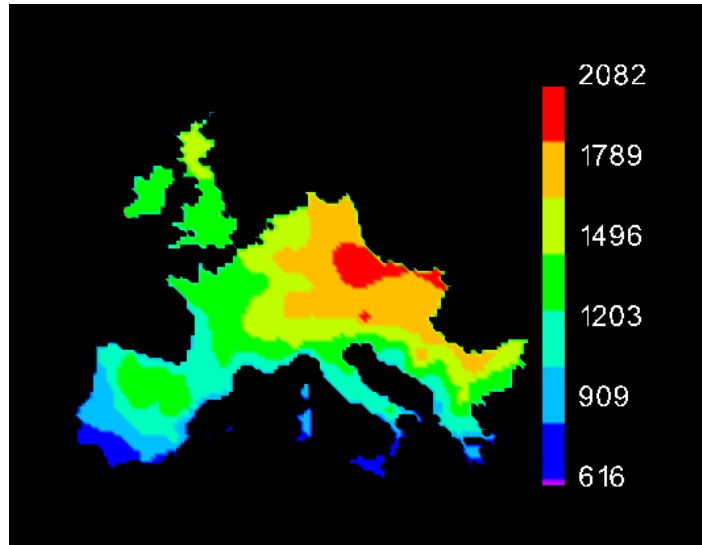


Fig. 4. 1 – Winter Degree-Days

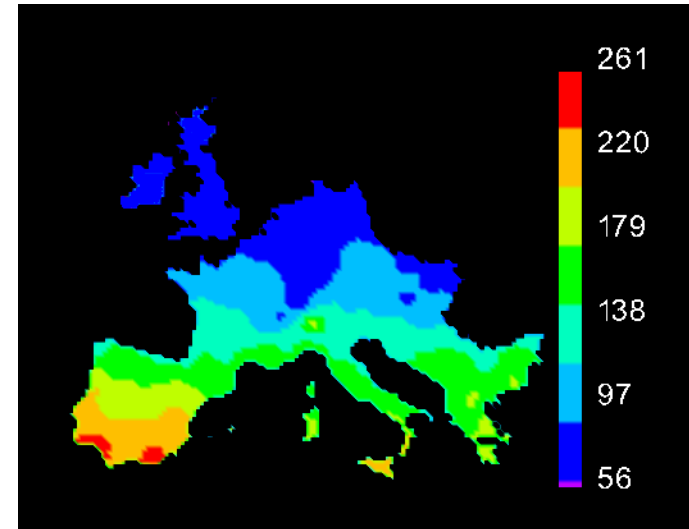


Fig. 4. 3 – Radiation over horizontal surface in winter (kW/m²)

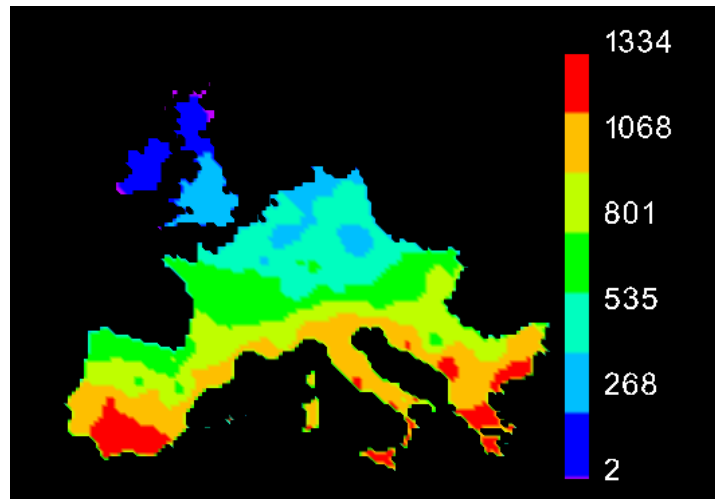


Fig. 4. 2 – Summer Degree-Days

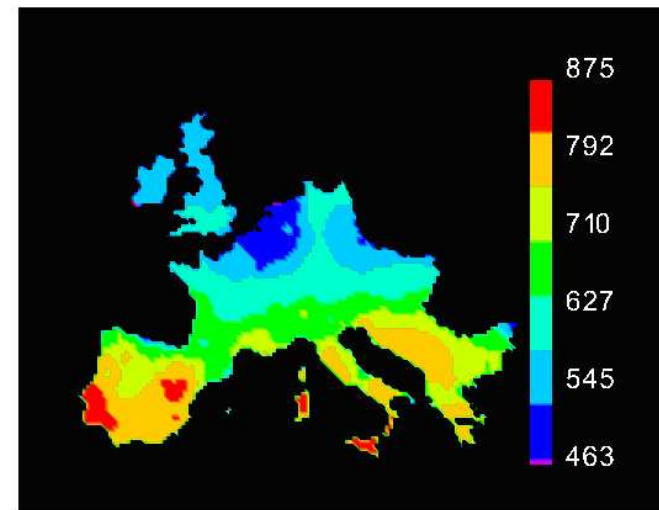


Fig. 4. 4 – Radiation over horizontal surface in summer (kW/m²)

5.3 ÍNDICE DE SEVERIDAD CLIMÁTICA

El impacto del clima sobre las demandas de calefacción y refrigeración expresado a través de los grados-día, como se ha visto en 4.2 no tiene en cuenta ni la influencia de la radiación solar ni las características térmicas del edificio en cuestión.

El índice de severidad climática (CSI) se desarrolló inicialmente para permitir una caracterización climática en relación con un edificio cuyas características térmicas son conocidas. (Markus et al 1984). El CSI (un único número en una escala adimensional) es específico de cada edificio en cada localidad y considera los efectos simultáneos de la temperatura y la radiación solar. El CSI se calcula separadamente para representar condiciones de invierno y condiciones de verano.

Dos condiciones climáticas de invierno serán iguales si la demanda de calefacción de un determinado edificio en las dos condiciones citadas resulta ser la misma. Se verifica para este caso que ambas condiciones climáticas tienen la misma severidad climática de invierno (WCS). La misma definición es válida para verano y, en este caso se utiliza el término severidad climática de verano (SCS). Es obviamente posible que localidades con diferentes valores de temperaturas exteriores y radiaciones tengan la misma o parecida severidad climática. También es posible que haya localidades con la misma severidad climática de invierno y diferente severidad climática de verano.

Esto puede verse por ejemplo si comparamos Brighton, UK y Milan, Italia sobre la Tabla 1.

Para ilustrar la variación a lo largo de Europa de las demandas de calefacción y refrigeración se han realizado cálculos de severidades climáticas utilizando 18 localidades representativas y 8 edificios que responden tipológicamente a los criterios de *Passivehaus*

A partir de los valores medios de las demandas de calefacción y refrigeración de los 8 edificios en cada localidad se han normalizado dichos valores medios por los correspondientes a una determinada localidad (Madrid, España). Los valores resultantes se muestran en la Tabla 4. La extrapolación geográfica de las figuras 4.4 y 4.5 permite ilustrar los conceptos anteriores sobre severidades climáticas de invierno y verano.

Estos mapas son útiles para comparar climas y para identificar zonas climáticas en un determinado país, pero no son apropiados para verificar la extrapolabilidad de una cierta técnica pasiva. Para esto, se deben usar los mapas y metodología descritos en 4.2

Table 4.1 – Indices de severidad climática en localidades europeas.

Localidad	Severidad climática de invierno (WCS)	Severidad climática de verano (SCS)
Germany (Dresden)	3.31	0.00
Germany (Braunschweig)	2.56	0.05
Germany (Freiburg)	2.14	0.10
United Kingdom (Brighton)	1.83	0.01
United Kingdom (Glasgow)	2.59	0.00
United Kingdom (London)	2.22	0.01
United Kingdom (Newcastle)	2.59	0.00
United Kingdom (Nottingham)	2.36	0.00
France (Agen)	1.44	0.19
France (Carcassonne)	1.24	0.37
Italy (Milan)	1.81	0.46
Italy (Rome)	0.83	1.19
Italy (Trapani)	0.32	1.87
Portugal (Lisbon)	0.37	1.05
Spain (Seville)	0.32	2.56
Spain (Madrid)	1.00	1.00
Spain (Granada)	0.81	1.11
Spain (Burgos)	1.96	0.05

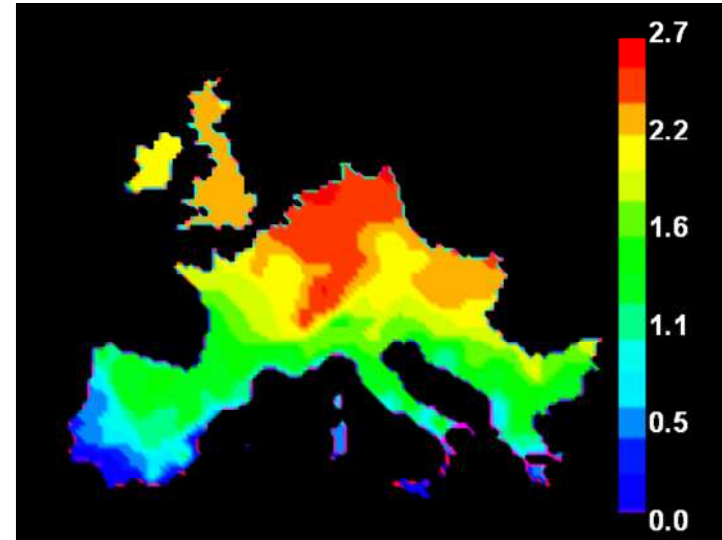


Fig. 4.5 – Índice de severidad climática para invierno (WCS)

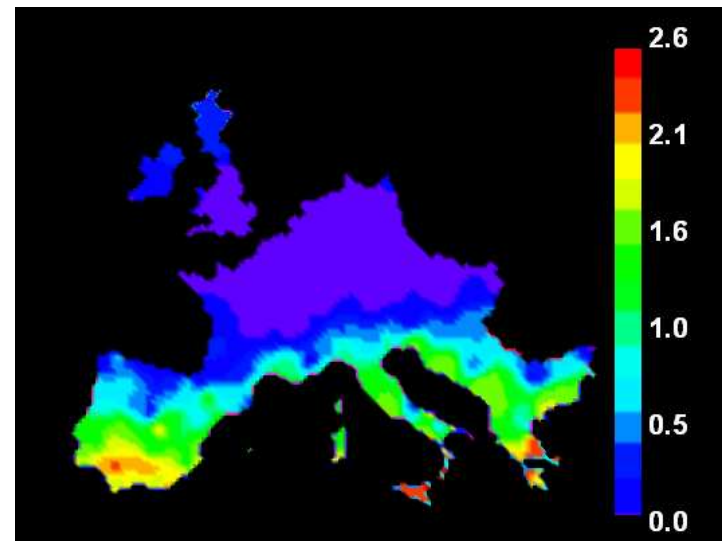


Fig. 4.6 - Índice de severidad climática para verano (SCS)

5.4 MAPAS PARA EVALUAR AHORROS DE ENERGÍA

Los mapas incluidos en las figuras 4.6 a 4.9 muestran los ahorros esperados cuando se mejora un determinado componente de la envuelta.

Para las paredes y el techo, los ahorros se han expresado en kWh por metro cuadrado de componente cuando se produce una mejora (reducción) de $0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$ en el valor de su transmitancia (U). Para las ventanas el ahorro se ha expresado en kWh por metro cuadrado cuando un vidrio doble estándar se sustituye por un vidrio doble bajo-emisivo.

Para clarificar los conceptos anteriores se propone el siguiente ejemplo: supóngase que se tiene un techo con un valor U de $0.45 \text{ W/m}^2\text{K}$. Una reducción de $0.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ se puede obtener añadiendo a la solución inicial 200mm de aislamiento con una conductividad térmica de 0.031 W/mK . Los ahorros derivados de esta actuación varían en función del clima con valores que van desde 7 kWhm^2 para gran parte de Alemania a valores tan bajos como 3 kWhm^2 para Lisboa, pasando por valores del orden de 6 kWhm^2 para localidades como París o Londres.

Como el ahorro de energía es proporcional a la reducción del valor de la transmitancia U, si esta reducción es diferente de $0.1 \text{ W/m}^2\text{K}$, el ahorro medio puede ser estimado dividiendo la reducción del valor de U entre 0.1 y multiplicando el número resultante por la cifra que aparece en el mapa. Por ejemplo, si la reducción de la transmitancia fuera de 0.15, el ahorro medio esperado en una localidad como París o Londres sería de 9 kWh/m^2 , que es el valor de la figura 4.6 multiplicado por 1.5 ($0.15/0.10$).

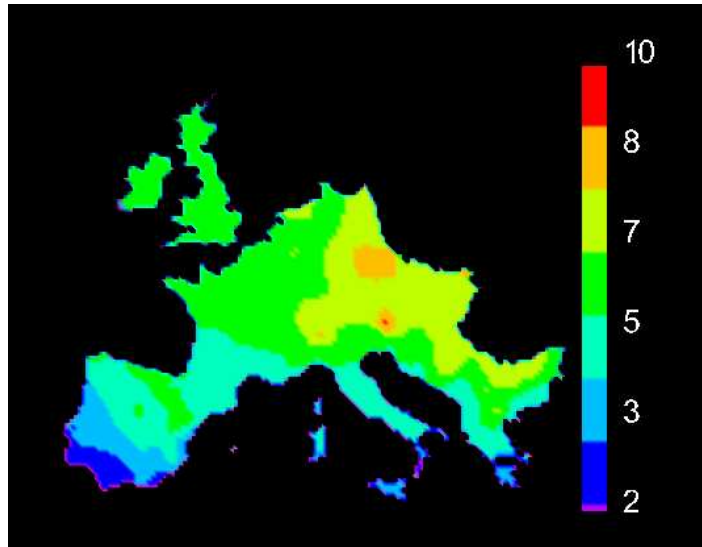


Fig. 4. 7 – Average Saving in kWh/m2 of component: improving roof

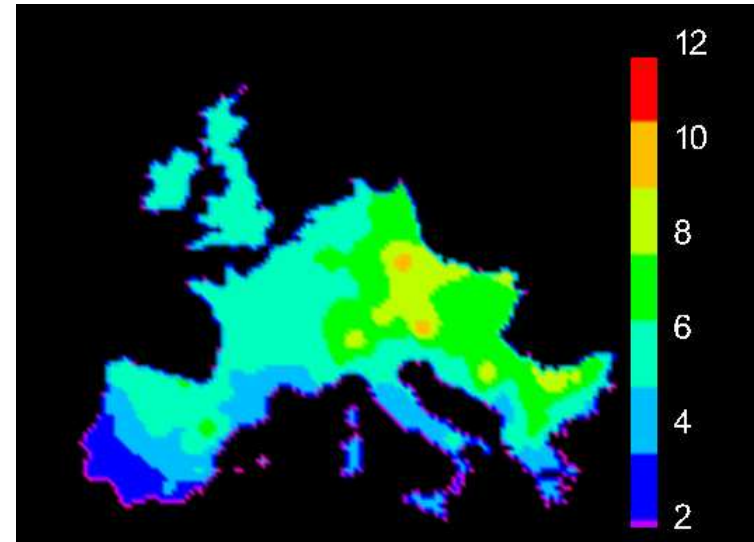


Fig. 4. 9– Average Saving in kWh/m2 of component: improving N oriented façades

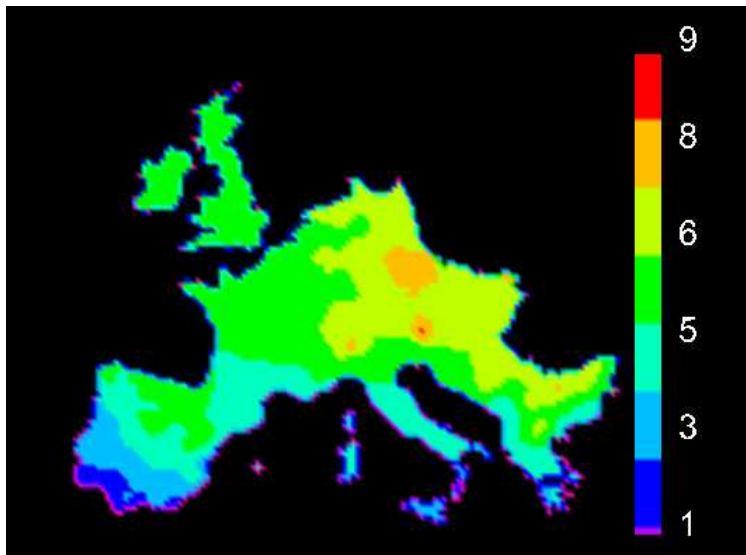


Fig. 4. 8 – Average Saving in kWh/m2 of component: improving S oriented façades

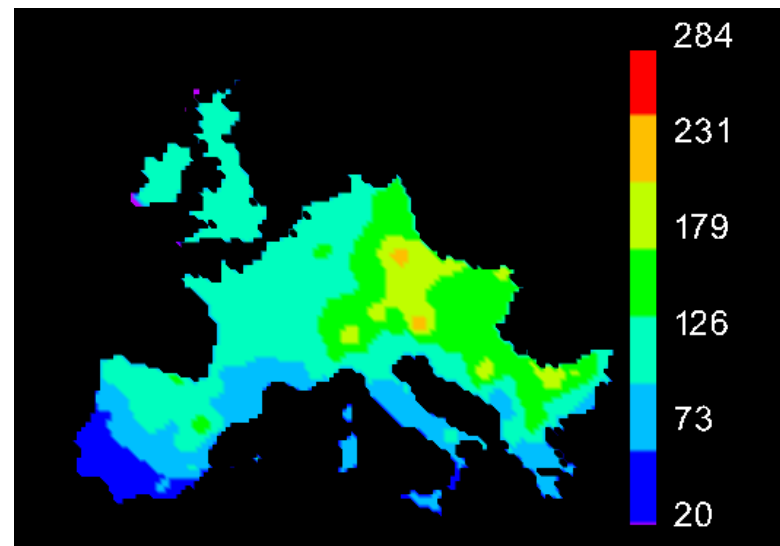


Fig. 4. 10 – Average Saving in kWh/m2 of component: Improving N oriented glazing from double to low emissive

6 COSTE DE LA PASSIVHAUS

6.1 INTRODUCCIÓN

El coste de las casas *Passivhaus* propuestas se investigó en el contexto del ciclo de vida de los edificios. El análisis económico de cada alternativa nacional se acometió como resultado de la colaboración de todos los participantes en el proyecto, ya que su experiencia, conocimiento de las peculiaridades locales y contactos con los industriales de la construcción fueron una parte vital del proceso. .

El trabajo pretende estimar los ahorros derivados del coste energético y del coste de mantenimiento de las *Passivhaus* utilizando diferentes escenarios de ciclo de vida. El coste inicial de construcción para la vivienda estándar y la , vivienda *Passivhaus* así como el extracoste derivado de las opciones *Passivhaus* se estimó con el fin apreciar la diferencia relativa entre las dos y llevar a cabo el análisis del coste del ciclo de vida.

La estimación de los costes iniciales se basó en información disponible al gran público, principalmente informes estadísticos de fuentes gubernamentales o de industriales del sector sobre desarrollo de edificios residenciales comunes. El coste inicial relativo a las viviendas pasivas se estimó sobre la base de las diferentes estrategias propuestas por cada miembro, del coste de los componentes asociados y del coste de ejecución material.

El extracoste detallado requerido para las soluciones pasivas optimizadas se estableció, como se ha dicho anteriormente y utilizando como referencia los costes de la vivienda media. El presente trabajo muestra cifras para Alemania, Francia, España, Italia y el Reino Unido.

El análisis del coste del ciclo de vida (LCCA) es una técnica de evaluación económica que determina los gastos totales asociados con obtener y operar un determinado sistema durante un periodo de tiempo predeterminado. Por ello, en el presente caso, los principios del LCCA se usaron para analizar los beneficios económicos derivados de la vivienda *Passivhaus* propuesta por cada miembro en referencia a una vivienda estándar. Los esfuerzos se concentraron en determinar los gastos iniciales y futuros asociados con la operación de las viviendas.

. The expected economic benefits are analysed from an owner-occupier

Los beneficios económicos se evaluaron desde la perspectiva del propietario y ocupante del edificio o, alternativamente, desde el punto de vista del promotor-constructor que transfiere los beneficios a los futuros usuarios.

Es importante notar que los puntos fuertes del LCCA no son solamente la evaluación de los costes totales de la vivienda alternativa pasiva durante un periodo de tiempo, sino que también incluye la habilidad de comparar estos costes con los correspondientes a la vivienda estándar. Esto permite determinar la opción que proporciona la mejor “utilización del dinero”. Además, ya que el LCCA se basa en un modelo de evaluación dinámica, se consideran incrementos esperados de costes específicos (por ejemplo, combustible o electricidad) a la vez que considera el coste de oportunidad del capital y el valor temporal para el dinero.

Las principales variables del LCCA que se han supuesto son: los costes iniciales y futuros relacionados con el uso de la vivienda (1-2%), periodo de tiempo en el cual se incurren en dichos costes o, alternativamente, un periodo predeterminado de análisis (10 y 20 años); y la tasa de descuento que se aplica a los costes futuros para igualarlos al valor presente (3.5%).

6.2 COSTES INICIALES Y EXTRACOSTES

La siguiente tabla muestra los costes promedios de construcción de un edificio residencial estándar y de las alternativas *Passivhaus*. Se incluye también el coste adicional requerido para mejorar la vivienda estándar hasta convertirla en viviendas de calidad pasiva.

Como la tabla muestra el extracoste oscila entre el 2.85% (Seville) y el 10% (Francia) del coste de la respectiva vivienda estándar. Este rango refleja diferentes realidades en términos de coste de construcción, tradiciones y reglamentaciones térmicas.

	Standard House €/m ²	Passivhaus €/m ²	Extra Costs €/m ²	Extra Costs (%)
France	1100	1203	103	9
Germany	1.400	1.494	94	6,71
Italy	1.200	1.260	60	5
Spain (Granada)	720	744,1	24,1	3,35
Spain (Seville)	720	740,5	20,5	2,85
United Kingdom (€)	1.317	1390	73	5,54
United Kingdom (£)	881	930	49	5,54

Se ha encontrado que la inversión inicial adicional varía desde el 3 al 10%
Entre los diferentes países (España requiere la menor inversión adicional)

El ahorro total de energía medido en relación con la vivienda estándar de la misma superficie en plantase estimó entre un 25% y un 65%. En todos los casos, el LCC para 20 años fue menor para la *Passivhaus* que para la vivienda estándar. En España, se encuentra un LCC menor para 10 años

El periodo de retorno varió entre 4 y 19 años para los diferentes países. En los países más al sur, el periodo de retorno se reduce, desde los 19 años para el Reino Unido o Alemania, hasta los 8 años de Italia, llegando a los 4-5 de sur de España.

Esto indica que, para propietarios ocupantes de viviendas o para promotores de viviendas sociales, la inversión inicial puede considerarse como muy rentable.

6.3 ANÁLISIS DEL COSTE DEL CICLO DE VIDA

El coste del ciclo de vida asociado a medidas pasivas adicionales orientadas a reducir el uso de energía para calefacción y refrigeración a través de las viviendas *Passivhaus* se ha calculado para Italia, España, Francia, Alemania y el Reino Unido (una meta de 15kWh/m² por año para calefacción y refrigeración, equivalente a una vivienda de clase A en el Reino Unido).

La tabla siguiente resume los resultados individuales y permite la comparación directa entre diferentes países. Como se ha mencionado anteriormente, las comparaciones deben realizarse con sumo precaución por cuanto ya que existen realidades locales y restricciones de mercado que limitan las entradas a los cálculos y tienen un efecto importante sobre los resultados que se ofrecen.

Tabla resumen

		France	Germany	Italy	Spain Granada	Spain Seville	UK
Inversión adicional (€/m²)		103	94	60	24,1	20,5	73
Inversión adicional (%)		9%	6,71%	5%	3,35%	2,85%	5,54%
Ahorro de energía total (KWh/m²/year)		55	75,0	86,0	65,5	37,6	39,7
Ahorro de energía total (%)		45%	50,0%	65,4%	57,3%	40,7%	26,4%
Ratio inversion-ahorro KWh/m²/year		1,87	1,25	0,70	0,37	0,55	1,84
LCC 10 años €	Estandar	143.731	184.716	193.817	101.828	98.385	108.337
	Pasiva	152.621	190.104	190.437	95.676	96.100	111.988
LCC 20 años €	Estandar	160.343	204.942	221.148	117.928	108.689	117.875
	Pasiva	160.552	200.579	198.458	103.647	102.290	117.256
Relación Coste-Beneficio 10 años		-0,72	-0,48	0,39	2,13	0,93	-0,65
Relación Coste-Beneficio 20 años		0,02	0,39	2,63	4,94	2,60	0,11
Periodo de recuperación del capital (años)		19.5	19	8	4	5	19

7 BIBLIOGRAFIA

Carotti A., La Casa Passiva, Ed. Clup 2004 (Collana "Innovazione e hi-tech in Architettura ed Edilizia)

Carotti A., La Casa Passiva in Europa, Ed. Clup 2005.

De Herde, A., Liébard, A.. Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques Editions Observ'er, Observatoire des énergies renouvelables, Paris, Architecture et climat, Le Moniteur, 2005, ISBN 2-913620-37-X

Hulme et al. Climate Change Scenarios for the United Kingdom. The UKCIP02 Scientific Report, Tyndall Centre for Climate Change Research, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, UK. 120pp (2002).(available from <http://www.ukcip.org.uk/resources/publications>)

Peper Søren, Wolfgang Feist, Vahid Sariri: Luftdichte Projektierung von Passivhäusern. Eine Planungshilfe. CEPHEUS-Projektinformation Nr. 7, Fachinformation PHI-1999/6, Darmstadt, Passivhaus Institut, 1999

Schnieders, Jürgen und Wolfgang Feist: Wärmebrückenfreies Konstruieren, CEPHEUS-Projektinformation Nr. 6, Fachinformation PHI-1999/5, Darmstadt, Passivhaus Institut, Januar 1999

Schnieders, J., Feist, W., Pfluger, R. und Kah, O.: CEPHEUS – Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung, Endbericht, CEPHEUS-Projektinformation Nr. 22, Fachinformation PHI-2001/9, Darmstadt, Passivhaus Institut, Juli 2001
(A slightly modified version of this project report is also available in English and for free from http://www.passiv.de/07_eng/news/CEPHEUS_final_long.pdf)

Wienke U., L'edificio Passivo, Standard, Requisiti, Esempi, Alinea 2002

Turnpennu, J.R., Etheridge, D.W., Reay, D.A. 'Novel ventilation system for reducing air-conditioning in buildings. Part 2: Testing of prototype.' In Applied Thermal Engineering 21 (2001) 1203-1217. Pergamon.

