

## MEETING PASSIVHAUS STANDARD THROUGH SIMULATION IN DESIGN PHASE. APPLICATION IN THE AREA OF MADRID.

Aparicio-Fernandez, C.<sup>1</sup>; Royo Pastor, R.<sup>2</sup>; Vivancos Bono, J. L.<sup>1-3</sup>

<sup>1</sup> Universitat Politècnica de València, <sup>2</sup> Instituto de Ingeniería Energética, <sup>3</sup> CIBER de Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BBN), Spain

The aim of this paper was to reduce the overall consumption of the building. Besides getting to meet Passivhaus parameters in addition to improving indoor comfort. The space heating and the cooling loads, instead, are computed, on an hourly basis, by the building energy software tool TRNSYS, version 17, by accounting for the actual climate of the considered location. In this work we have analyzed the effect of different passive strategies. This software has been used on a set of terraced houses located in Madrid (Spain). Results show that are possible to get a lower demand up to 63% comparing with initial project. It is noted that a bypass, the extra ventilation and shading have a marked effect on the cooling demand. The factors that are more affecting the heating demand are the exchanger performance and windows type. The greatest reduction occurs on cooling demand, up more than 80%, and the heating is decreased by 37%.

**Keywords:** *Energy demand; Passivhaus; Passive strategies; TRNSYS*

## CUMPLIMIENTO DEL ESTÁNDAR PASSIVHAUS MEDIANTE SIMULACIÓN EN LA FASE DE DISEÑO. APLICACIÓN EN LA REGIÓN DE MADRID.

El objetivo del trabajo consistió en reducir el consumo global del edificio. Además de conseguir cumplir los parámetros de Passivhaus, se mejoró el confort interior. El calentamiento del espacio y las cargas de enfriamiento, se calculan sobre una base horaria mediante el software TRNSYS, versión 17, teniendo en cuenta la climatología en la ubicación considerada. En este trabajo se ha analizado el efecto de diferentes estrategias pasivas. Este software ha sido utilizado en una serie de casas adosadas situadas en Madrid (España). Los resultados muestran que es posible obtener una menor demanda hasta un 63% en comparación con el proyecto inicial. Se observa que una recirculación, la ventilación extra y el sombreado tiene un marcado efecto en la demanda de refrigeración. Los factores que más afectan en la demanda de calefacción son el rendimiento del intercambiador y el tipo de ventanas. La mayor reducción se produce en la demanda de refrigeración, hasta más de 80%, y el calentamiento se redujo en 37%.

**Palabras clave:** *Demanda energética; Passivhaus; Estrategias pasivas; TRNSYS*

## 1. Introducción

Actualmente es imprescindible tener en cuenta el ahorro de energía es el diseño de viviendas debido al aumento del precio de la energía y el mayor respeto por el medio ambiente. Desde hace años existe una gran preocupación por el adecuado diseño arquitectónico pero en ocasiones no sabemos qué herramienta utilizar para ello ya que son muchas las que se pueden utilizar. No obstante cabe señalar que todos los programas se basan en los principios básicos de energía en edificación (UNE-EN 15603, 2008; Serra & Coch, 2001). En este trabajo se utiliza una herramienta avanzada de diseño que calcula en régimen transitorio teniendo en cuenta todos los parámetros climáticos de la zona (temperatura, humedad, radiación solar y viento) a lo largo de un periodo anual. Este programa permite diseñar de forma pasiva aprovechando al máximo las condiciones climáticas locales (ganancias solares o refrigeración nocturna).

En este trabajo se analizan unas viviendas en fase de proyecto. Para ello se modelizan con el programa TRNSYS 17 cuatro viviendas unifamiliares en hilera. Con la modelización de las viviendas se pretende optimizar el diseño para conseguir que la demanda sea la mínima. El grupo de viviendas se denomina casasE0 y está situado en Valdemoro (Madrid). El estándar de baja demanda energética Passivhaus desarrollado en Alemania en los años 90 es el seguido para el diseño pasivo de las viviendas. Este estándar propone cumplir unos requisitos fijos independientemente del clima, los cuales pretenden garantizar un alto confort interior y disminuir al máximo la demanda energética del edificio (Pagliarini, Corradi & Rainieri, 2012). Estos criterios de confort son:

- Limitar la demanda energética de calefacción y refrigeración en invierno y verano sin disminuir las condiciones de confort térmico interior.
- La renovación de aire interior se hace con aire climatizado garantizando las condiciones higiénicas del aire interior.
- Aumentar al máximo la compacidad del edificio, reduciendo así la envolvente térmica y por tanto reduciendo la superficie interior en contacto con el ambiente exterior.
- Limitar y controlar todos los puentes térmicos de la envolvente. Se deben evitar todos los puentes térmicos para evitar las condensaciones superficiales interiores.
- Limitar las temperaturas de las superficies interiores para evitar el disconfort interior.
- Evitar corrientes de aire o velocidades altas de aire que tengan un efecto negativo.
- Limitar las infiltraciones de aire mediante una alta hermeticidad de la envolvente, así se limitan y controlan las pérdidas energéticas. Será necesario hacer un ensayo que garantice la estanqueidad del edificio.
- Limitar la demanda de energía primaria del edificio.

Los puntos anteriormente descritos y la experiencia de varias décadas permite diseñar y construir viviendas pasivas. El estándar Passivhaus, se consigue cumpliendo con los siguientes requisitos (Gantioler, 2010):

- Demanda máxima para calefacción de  $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
- Demanda máxima para refrigeración de  $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
- Para edificios calefaccionados y refrigerados por aire, se acepta como alternativa, también, el conseguir una carga suplementaria, para frío y calor, menor de  $10 \text{ W/m}^2$ .

- Hermeticidad de n50 no superior a 0,6/h, valor obtenido mediante el test de presurización "Blower Door".
- El consumo de energía primaria para todos los sistemas (calefacción, refrigeración, ACS, electricidad, auxiliar etc.) no superior a 120 kWh/m<sup>2</sup>a Temperaturas superficiales interiores de la envolvente térmica durante invierno >17 °C
- La superficie de referencia (superficie neta) debe ser calculada según protocolo Passivhaus.

## 2. Metodología

Para el desarrollo del trabajo con la herramienta informática anteriormente comentada, primeramente se resuelve el modelo en 3D, lo que permitirá la introducción de la geometría en el programa. Posteriormente se definen los parámetros que definen la envolvente térmica y los sistemas de climatización empleados. Con estos datos obtendremos resultados de demanda de energía en un periodo anual. La comparación de estos resultados variando los parámetros de diseño y climatización del edificio es lo que nos permitirá optimizar las viviendas (Tzikopoulos, Karatza & Paravantis, 2005)

El programa TRNSYS es el que se ha empleado para calcular y optimizar la demanda de las viviendas. Este programa nos da la demanda de energía del edificio modelado en un periodo de un año. Esto nos permite comparar el mismo modelo variando distintos elementos constructivos y ver así cómo hace variar la demanda de energía en un periodo anual.

### 2.1 Geometría del edificio

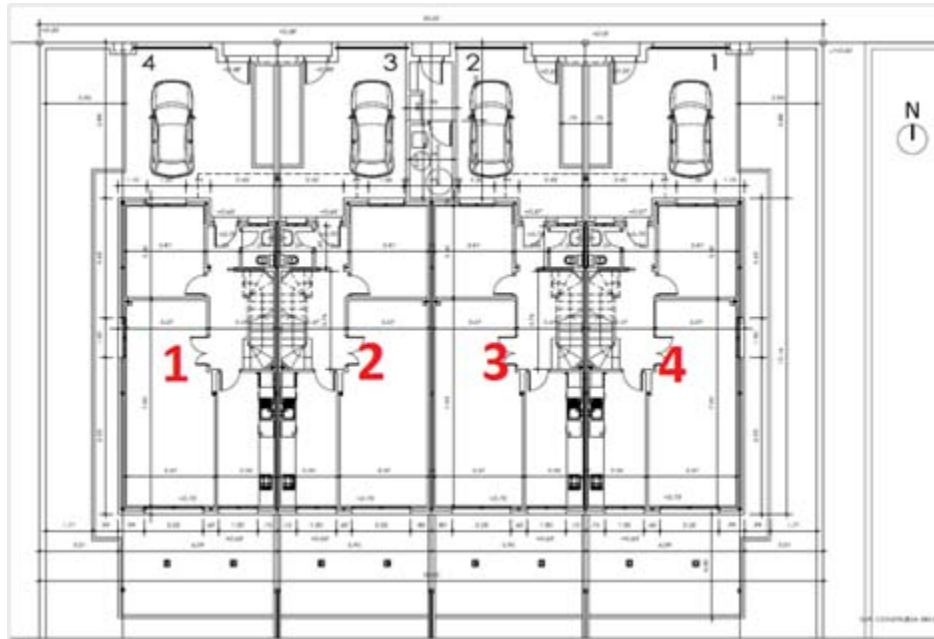
Se trata de un edificio compacto compuesto por cuatro viviendas adosadas. Todas las viviendas son iguales en superficie útil, tienen el acceso principal orientado a norte y una terraza con jardín orientado a sur. Por tratarse de cuatro viviendas agrupadas en hilera, no todas las viviendas van a tener el mismo comportamiento térmico ya que la exposición de la envolvente y la orientación es diferente. Por esta razón el análisis se realiza por separado según la situación de las viviendas:

- Vivienda 1. Vivienda de esquina con la fachada de mayor superficie orientada a oeste.
- Vivienda 2 y 3. Viviendas entre medianeras. Son las que tienen menor superficie de la envolvente expuesta al exterior. Estas viviendas están más protegidas.
- Vivienda 4. Es simétrica a la vivienda 1 y tiene la fachada de mayor superficie orientada a este.
  - Consideraremos las viviendas 2 y 3 iguales en comportamiento térmico ya que son simétricas pero las condiciones de ambas son iguales. Así, para plasmar los resultados hablaremos siempre de las viviendas 1, 3 y 4 por separado, sabiendo que la 2 y la 3 son iguales.
  - Cada vivienda ha sido modelada con TRANSYS3d. Para la modelización cada recinto de la vivienda se ha considerado como una zona térmica teniendo cada vivienda 9 zonas térmicas. El volumen total de la vivienda es el volumen de aire interior que debemos climatizar.

### 2.2 Parámetros de cálculo considerados

Primero las viviendas se simulan introduciendo los criterios de diseño del proyecto (materiales, espesor, resistencia térmica, etc.) y sobre este diseño se irán introduciendo variaciones.

Figura 1. Plano de conjunto

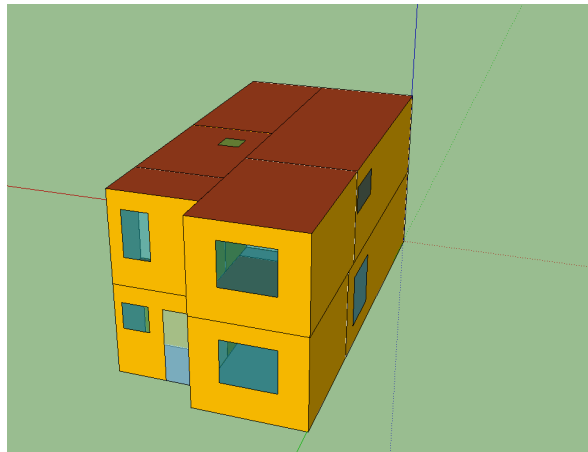


Las paredes medianeras entre viviendas se considerarán cerramientos adiabáticos ya que son paredes medianeras de un único conjunto constructivo indivisible que se construirán todos a la vez como un único conjunto constructivo.

A continuación se comentan de forma resumida los parámetros de cálculo obtenidos del proyecto y que se optimizarán en los cálculos siguientes:

- Las **ventanas** tienen un factor solar  $g$ , de 0,622 y un valor de transmitancia térmica del marco de  $1,4W / m^2 K$ , corresponde con el tipo ID2104 del programa empleado.
- La **infiltración** de aire a través de las paredes de cada pieza es modelizada con una renovación de aire de 0,2 volumen por hora para condiciones de presión atmosférica normal. El valor de la infiltración es muy reducida, esto implica que sería imprescindible conseguir una infiltración de este valor para que los resultados obtenidos en la simulación fueran aplicables. Se ha tomado este valor a priori, no obstante se deberá de confirmar con ensayo de Blower Door.
- La **ventilación** o renovación de aire es simulada con un valor inicial de referencia de 0,84 volúmenes por hora. La ventilación es uno de los parámetros que se modifican para optimizar el cálculo por lo que los valores adoptados se justifican en el apartado correspondiente. Se emplea un intercambiador con una eficacia del 83%.
- La **temperatura de confort** se mantuvo en cada habitación y en todo momento por encima de  $20^{\circ}C$  para calefacción y por debajo de  $26^{\circ}C$  para enfriamiento.
- Las otras **ganancias** de energía son de  $2,1 W/m^2$ , de acuerdo al estándar Passivhaus, incluyéndose luz, personas, y electrodomésticos.
- **Demanda de energía.** Calculamos la energía suministrada para calentar y enfriar la casa de estas características, dada en  $kWh/m^2$  año.
- Los **datos meteorológicos** utilizados son los de la estación meteorológica de Madrid-Barajas. A posteriori, se han comparado estas condiciones con los datos disponibles de Valdemoro, y se ha visto que son muy similares.

**Figura 2. Casa 1 en TRNSYS3d**



### **2.3 Datos meteorológicos**

Madrid. Altitud 589 msnm según datos de la tabla D.1 del DB-HE1 (España, CTE-HE 2006).

Valdemoro. Altitud 615 msnm. Según datos ayuntamiento.

La ciudad más cercana a Valdemoro es Madrid, situada a 27 Km. La diferencia de nivel entre ambas ciudades es de 26 metros, por lo que se considera para el cálculo la misma zona climática que Madrid.

Los cálculos se han realizado con el DB-HE1, donde para Madrid obtenemos los siguientes datos:

Temperatura exterior en enero de 6,2°C.

Temperatura exterior en agosto de 24,4°C.

Se ha confirmado que los datos meteorológicos suministrados coinciden prácticamente con los que utiliza TRNSYS para Madrid, por lo que las conclusiones del estudio se consideran totalmente válidas para Valdemoro.

### **2.4 Envoltente térmica**

Las resistencias térmicas y los espesores de las paredes se establecen de acuerdo con los datos de proyecto. Los detalles utilizados son los que se muestran a continuación.

En toda la envoltente el aislamiento térmico está al exterior por lo que no se producen puentes térmicos en los encuentros de cerramientos ni con distintos elementos constructivos.

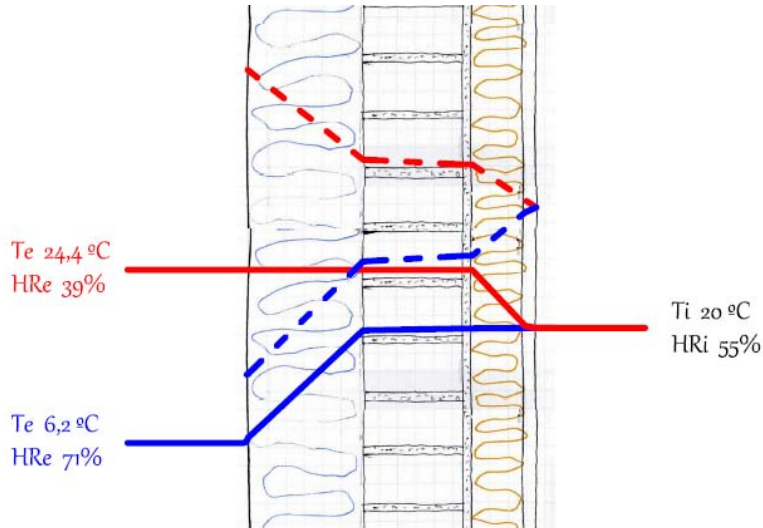
#### **2.4.1 Fachada**

La fachada proyectada consta de aislamiento térmico no hidrófilo al exterior a base de paneles de poliestireno expandido (EPS) y una de lana mineral (MW) al interior ya que está protegida de la humedad exterior. Los valores de Resistencia Térmica total ( $R_t$ ) y Transmitancia Térmica total ( $U$ ) del cerramiento considerando son:

$$R_t \text{ (m}^2\text{K/W)} = 4,5 \qquad U \text{ (m}^2\text{K/W)} = 0,22$$

Según los datos de proyecto, obtenemos el siguiente perfil de temperaturas en régimen de verano y de invierno, donde se aprecia que no hay riesgo de condensaciones para las temperaturas y humedad consideradas.

**Figura 3. Perfil térmico para verano (rojo) e invierno (azul).**



#### 2.4.2 Cubierta

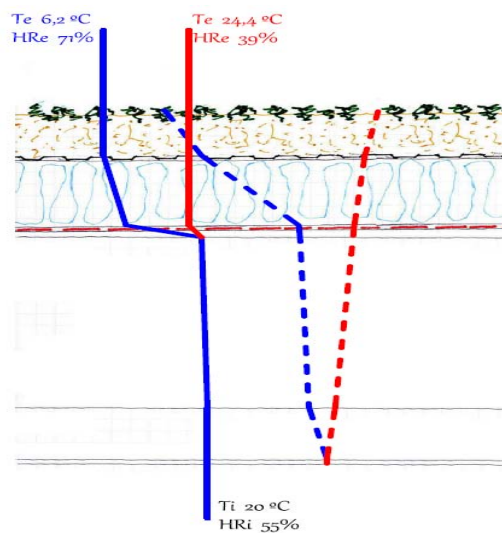
La cubierta proyectada es una cubierta plana resuelta con azotea ajardinada. Para modelizar posteriormente el efecto de enfriamiento de la cubierta vegetal se le supondrá una reducción de la absorción a la radiación solar, ponderada entre 1 y 0.

En estos primeros resultados, el perfil de la cubierta es el que se presenta en la Figura 4. Los valores de Resistencia Térmica total ( $R_t$ ) y Transmitancia Térmica total ( $U$ ) del cerramiento es:

$$R_t \text{ (m}^2\text{K/W)} = 5,67 \quad U \text{ (W/m}^2\text{K)} = 0,18$$

Según los datos de proyecto, obtenemos el siguiente perfil de temperaturas en régimen de verano y de invierno, donde se aprecia que no hay riesgo de condensaciones para las temperaturas y humedad consideradas.

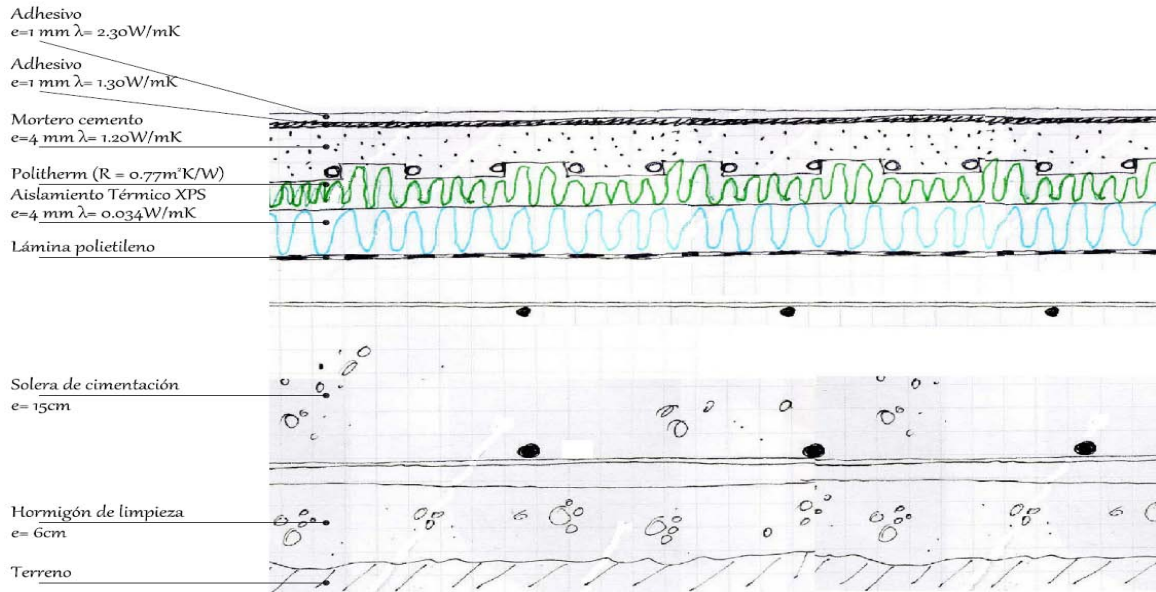
**Figura 4. Perfil térmico para verano (rojo) e invierno (azul).**



### 2.4.3 Solera

El encuentro, como se observa en la Figura 5, con el terreno se resuelve con una solera apoyada directamente sobre el terreno y con una capa aislamiento térmico XPS de 4 centímetros en toda la superficie. De acuerdo con la normativa vigente y según el detalle de proyecto obtenemos los siguientes resultados.

**Figura 5. Detalle solera aislada con suelo radiante.**



La vivienda se proyecta con calefacción por suelo radiante en planta baja y primera, por lo que el aislamiento de la solera será continuo para reducir las pérdidas. Los valores de Resistencia Térmica total ( $R_t$ ) y Transmitancia Térmica total ( $U$ ) del cerramiento considerado calculado según la normativa vigente es:

$$R_t \text{ (m}^2\text{K/W)} = 2,23 \qquad U \text{ (W/m}^2\text{K)} = 0,45$$

### 2.4.4 Transmitancia térmica de los cerramientos

Así, los valores de proyecto con los que se realiza el cálculo inicial son los que se indican en la tabla 1.

**Tabla 1. Envoltente térmica. Valores de transferencia de calor.**

	Espesor e (m)	Coefficiente de transferencia de calor U (W/m <sup>2</sup> K)
Medianera	0,09	0,51
Cubierta	0,58	0,18
Fachada	0,30	0,22
Suelo	0,41	0,45

## 2.5 Demanda energética de las diferentes viviendas

En primer lugar se compara el comportamiento térmico de las distintas viviendas considerando sólo las condiciones de situación y de proyecto predeterminadas. El programa diferencia entre la demanda que se produce para calentar o enfriar la vivienda. Considerando los datos de proyecto comentados en el apartado anterior. Los datos se representan a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados obtenidos de Demanda Energética de frío y calor al año (kWh/m<sup>2</sup> yr).

Demanda global de las casas	Q Calor (kWh/m <sup>2</sup> )	Q Frío (kWh/m <sup>2</sup> )	Total (kWh/m <sup>2</sup> )
Casa 1	16,02	25,42	41,44
Casa 3	11,60	19,89	31,50
Casa 4	16,02	25,18	41,20

De los resultados obtenidos se aprecia que la vivienda entre medianeras (Casa 3) tendrá menor demanda energética porque la envolvente térmica expuesta al exterior es menor. Las viviendas Casa 1 y Casa 4 tienen demandas similares pese a que una tiene la fachada lateral a este y otra a oeste.

De este primer análisis se aprecia como la demanda de las viviendas centrales (Casa nº3) es sustancialmente menor ya que la superficie de la envolvente térmica también lo es. Sobre las demandas obtenidas se aprecia que la Casa 3 reduce un 23% la calefacción y un 10% la refrigeración, respecto a las casas 1 y 4 que tienen demanda muy similar.

En este cálculo inicial no se han considerado elementos de sombras o protección sobre las ventanas. Posteriormente se analizan las protecciones de las ventanas en las distintas viviendas en régimen de verano e invierno.

La demanda obtenida es superior al estándar *Passivhaus* siendo el límite de demanda para calefacción y refrigeración de 15 kWh/m<sup>2</sup>. Así que para este caso no cumple para la refrigeración ya que supera el máximo admisible. A partir de estos datos de partida del proyecto a analizar, se realizarán distintas mejoras que permitan disminuir la demanda energética de la vivienda.

## 2.6 Variación progresiva del parámetro U de los diferentes cerramientos

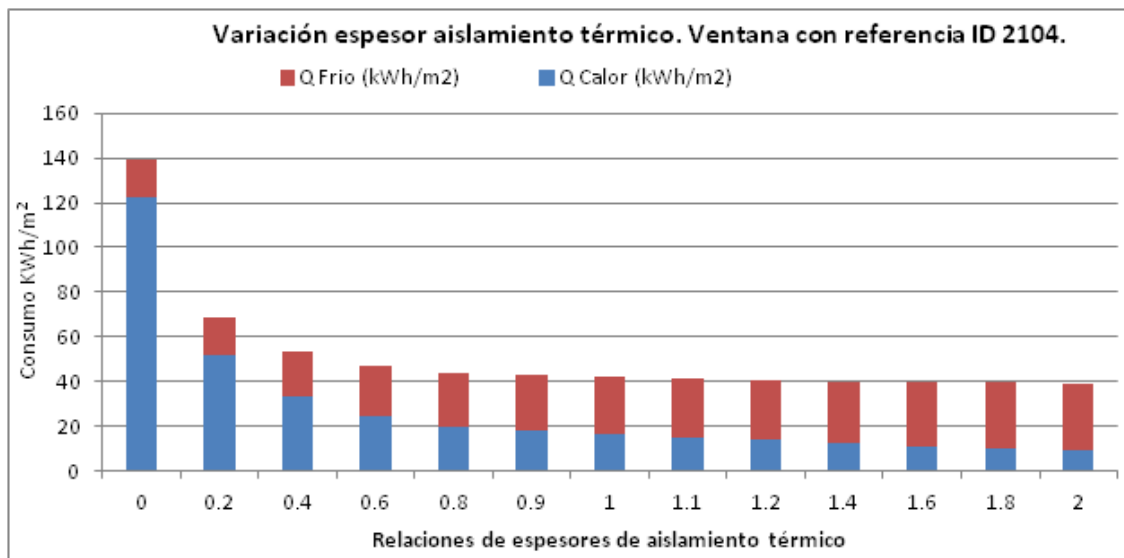
En este apartado se analiza el espesor óptimo del asilamiento térmico sobre todos los cerramientos. Debemos asegurarnos de que todos los cerramientos son adecuados para las exigencias de ese emplazamiento.

Para saber la influencia que tiene el espesor del aislamiento térmico sobre la envolvente térmica se han realizado diferentes simulaciones disminuyendo y aumentando progresivamente el espesor de la capa de aislamiento térmico de cada uno de los cerramientos de la vivienda. En la Figura 6 se representan los valores obtenidos de demanda energética según el espesor de aislamiento térmico de los cerramientos para la casa 1.

Para el análisis se va a ir aumentando o disminuyendo el espesor del aislamiento térmico de forma porcentual. Se ha considerado como valor de referencia 1 el conjunto de valores iniciales de espesores de cerramiento de proyecto, y a partir de este valor se aumenta hasta duplicar (valor 2) y se disminuye hasta espesor cero.



**Figura 6. Casa 1. Demanda según el espesor del aislamiento térmico: relación de espesor 1 valor original de proyecto**



Todos los casos se simulan con la misma referencia de ventanas ID 2104 que son las definidas en el proyecto. Los valores de cálculo de estas ventanas son  $U=1,4W/m^2K$  y el factor solar del acristalamiento de 0,622.

La evolución que se observa en la Figura 6 muestra claramente el efecto del aislamiento sobre la demanda energética. Se aprecia cómo cuando se coloca el aislamiento térmico en la envolvente (salto de 0 a 0,2), el efecto sobre la demanda energética es muy elevado. Conforme ya hay mayor espesor, el efecto va haciéndose más pequeño hasta que se llega a alcanzar una tendencia casi asintótica. Además se observa que los espesores escogidos en proyecto son realmente muy razonables, puesto que ya muestran un compromiso muy correcto entre reducción de demanda de calefacción y refrigeración (relación 1). Al incrementar espesores prácticamente no se modifica el valor global de la demanda, pero sí que se modifican los valores parciales de demanda de calefacción y refrigeración, siendo considerablemente menor la demanda de refrigeración cuando se duplica el espesor de aislamiento en la envolvente térmica.

## 2.7 Infiltraciones.

Las infiltraciones son la entrada de aire que se produce de manera espontánea e incontrolada. En las *Passivhaus* deben estar muy controladas y verificadas con un ensayo Blower Door.

En una vivienda *Passivhaus* que pasa el test de infiltraciones a 50Pa tendrá unas infiltraciones en torno a 0,06vol/hora. En una vivienda convencional que no cumple el estándar *Passivhaus* estas infiltraciones pueden llegar a valores en torno a 0,4vol/hora, por lo que en la Tabla 3 se muestran las diferencias en los resultados obtenidos en los distintos casos y en valores intermedios.

El primer resultado que aprecia claramente es que el aumento de la infiltración aumenta la demanda global. Cuanto mayor es la infiltración menor es la demanda de frío, pero el aumento de la demanda de calor es muy superior, llegando incluso a triplicarse la demanda de calefacción.

Por supuesto, el efecto está claramente condicionado por la localización geográfica y las condiciones ambientales. Posteriormente se intentará controlar este efecto por medio de la ventilación nocturna controlada.

**Tabla 3. Demanda energética global y parcial de la Casa 1 con variación de las infiltraciones.**

Infiltración de aire (vol/h)	Q Calefacción (kWh/m <sup>2</sup> yr)	Q Refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> yr)	Q Total (kWh/m <sup>2</sup> yr)
0	8,43	29,58	38,02
0,06	10,54	28,14	38,68
0,12	12,84	26,90	39,74
0,16	14,46	26,16	40,63
0,2	16,17	25,67	41,84
0,24	17,92	24,93	42,85
0,28	19,70	24,44	44,13
0,32	21,40	23,75	45,15
0,4	25,42	22,98	48,40

### 2.8 Renovación de aire. Ventilación controlada con recuperador de calor.

En este punto analizamos la influencia de la ventilación controlada en la Casa 1. Como siempre, primero se realiza el cálculo sólo sobre la vivienda 1 y una vez optimizada la demanda en esta vivienda se realizará sobre las restantes.

Las viviendas cuentan con un recuperador de frío-calor con un rendimiento del 83%, por lo que en principio se ha considerado este sistema en las renovaciones de aire.

Para calcular las renovaciones de aire se ha utilizado la normativa vigente de salubridad (CTE-HS). En este caso tenemos una vivienda de 111m<sup>2</sup> para 4 ocupantes por lo que se necesita 340 m<sup>3</sup>/h (incluyendo la extracción de la cocina). Pero, la ventilación que obtenemos al calcularlo con el *Standard Passivhaus* es de 150m<sup>3</sup>/h por lo que hay una diferencia importante.

Al aumentar la ventilación aumenta la demanda de calor en invierno y disminuye la demanda de refrigeración en verano utilizando unas infiltración de 0,2 vol/h (por ser un valor moderado para una vivienda convencional) y un recuperador de calor con un rendimiento neto del 83%. Por lo tanto, en climas con inviernos fríos y veranos calurosos (como Madrid) se requiere diferenciar claramente dos tipos de ventilación según el régimen de verano o invierno. Los parámetros considerados en el cálculo inicial son los de una vivienda convencional:

Infiltraciones 0.2 vol/h

Ventilación 0,84 vol/h

Activación sistema ventilación en verano, ON

Temperatura interior > 26°C

Temperatura exterior < 25°C

Des activación sistema ventilación en verano, OFF

Temperatura interior < 23°C

Temperatura exterior > Temperatura interior

En la Tabla 4 se resumen los datos obtenidos de la ventilación de verano, consiguiendo así disminuir la demanda de refrigeración al aumentar la ventilación. Con este sistema conseguimos refrigerar de forma natural, por lo que tiene un resultado muy interesante sobre la demanda anual.

**Tabla 4 Demanda energética según la variación de la ventilación-extra de verano para refrigerar.**

Extra Ventilation (vol/h)	Heating (kWh/m <sup>2</sup> yr)	Cooling (kWh/m <sup>2</sup> yr)	Total (kWh/m <sup>2</sup> yr)
0	16,16	25,59	41,75
1,3	18,27	17,72	35,99
1,8	18,88	16,66	35,54
2,4	19,23	15,85	35,07
3	19,77	15,35	35,12

Determinar la ventilación óptima es uno de los parámetros más complejos del proyecto y que más afecta a la demanda final. Este valor deberá recalcularse una vez obtenido el valor real de infiltración con el ensayo de Blower Door, hasta ese momento todo son especulaciones sobre los cálculos.

## 2.9 Protección solar y sombras sobre huecos.

Por tratarse de un clima cálido y soleado en verano, se hace imprescindible analizar el efecto del sombreado en todos los huecos, por eso dedicamos este apartado se analiza la influencia de las sombras sobre los huecos de fachada. Utilizando el vidrio que mejor comportamiento tiene en invierno (bajo emisivo) se va a introducir sombras en verano cuando la temperatura exterior comienza a elevarse y la radiación solar es importante por lo que la vivienda se sobrecalienta.

Los datos de partida de aislamientos y del resto de elementos son los del proyecto y se añade el efecto de sombras sobre los huecos durante los meses de verano (de abril a octubre). En la tabla 5 se plasman los datos de demanda obtenidos suponiendo que las sombras se activan cuando la temperatura exterior es inferior a 24°C. En este análisis se determina la temperatura interior de la vivienda a la que se deberán activar las sombras sobre los huecos. Se considera la temperatura interior entre 21 y 25,5°C.

**Tabla 5 Casa 1. Demanda energética con activación de sombras para distintas temperaturas interiores de activación del sistema de sombras.**

OFF Tmax(int) <(° C)	Heating (kWh/m <sup>2</sup> yr)	Cooling (kWh/m <sup>2</sup> yr)	Total (kWh/m <sup>2</sup> yr)
21	17,82	7,53	25,35
22	17,72	7,53	25,25
23	17,30	7,60	24,91
24	16,83	7,80	24,63
25	16,69	8,27	24,95
25,5	16,66	8,59	25,25

Se tomará la temperatura de consigna de desactivación cuando la temperatura interior alcance los 24°C ya que es cuando obtenemos menor demanda. En la tabla 6 se procede a optimizar el coeficiente de sombra sobre los huecos orientados a sur y a oeste, el resto de huecos no dispondrán del dispositivo de sombreado, variando el coeficiente desde 0 a 1, siendo 0 cuando no hay sombras y 1 cuando la sombra oscurece el espacio totalmente.

El efecto de las sombras tiene una influencia fundamental sobre la demanda global al reducirse drásticamente la necesidad de refrigeración, y teniendo un pequeño efecto perjudicial sobre la demanda de calefacción. El sombreado se debe activar a partir de los 26°C y desactivar cuando estemos por debajo de 24°C.

Evidentemente el sombreado, al igual que la extra-ventilación sólo se activará finalmente durante los meses de verano.

**Tabla 6 Casa 1. Demanda energética con diferentes coeficientes porcentuales de activación de las sombras (0 sin activar, 1 totalmente oscuro)..**

Coeficiente Sombras	Q Calor (kWh/m <sup>2</sup> )	Q Frio (kWh/m <sup>2</sup> )	Q Total (kWh/m <sup>2</sup> )
0	16,04	25,42	41,47
0,2	16,34	19,40	35,74
0,4	16,74	14,12	30,85
0,5	16,88	11,82	28,71
0,6	16,91	9,68	26,58
0,7	16,83	7,80	24,63
0,8	16,81	6,29	23,10
0,9	16,86	5,06	21,92
1	16,91	4,05	20,96

### 3. Resultados finales

A partir de los resultados parciales analizados por separado en los apartados anteriores, se va a tratar de escoger la mejor opción posible para obtener la máxima reducción de demanda energética. En la tabla 7 se resumen los datos obtenidos de demanda energética para todas las viviendas analizadas. Cuando activamos de forma progresiva todas las estrategias pasivas analizadas anteriormente. Todos los valores presentados corresponden a demanda de energía, en kW hora/m<sup>2</sup> año. Las infiltraciones se han dejado en el valor inicial de 0.2 Volúmenes/hora, y la ventilación en condiciones normales, en 0.84 Volúmenes/hora. Asimismo, se ha decidido mantener los espesores de aislamiento y tipos de cerramientos de proyecto.

**Tabla 7. Demanda energética anual para la calefacción y refrigeración sobre el proyecto utilizando diferentes estrategias.**

	Calefacción (kWh/m <sup>2</sup> año)	Refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> año)	Total (kWh/ m <sup>2</sup> año)
Casa 1 y 4			
Proyecto	16,32	24,41	40,73
Intercambiador de calor	13,82	25,42	39,25
Bypass	14,14	18,02	32,16
Extra-ventilacion	14,37	13,45	27,82
Ventanas	10,24	11,21	21,45
Sombras	10,27	4,79	15,06
Casa 2 y 3			
Proyecto	11,85	18,88	30,73
Intercambiador de calor	9,48	19,85	29,32
Bypass	9,73	13,18	22,91
Extra-ventilacion	9,89	10,13	20,02
Ventanas	6,62	8,49	15,11
Sombras	6,64	4,59	11,23

Se aprecia cómo se ha disminuido la demanda energética anual más del 63%. Cabe señalar que el Bypass, la ventilación nocturna y las sombras son las que tienen mayor efecto sobre la disminución de la demanda. Cuando aplicamos estrategias para disminuir la demanda de refrigeración, aumentamos las de calefacción, por lo que deberemos analizar detalladamente el efecto de cada estrategia en un periodo anual completo.

#### **4. Conclusiones**

Los valores para viviendas Passivhaus son fácilmente aplicables en climas cálidos y moderados.

El aislamiento térmico del edificio hace reducir la demanda de calefacción pero aumenta la demanda de refrigeración.

Los valores de infiltración de aire afectan notablemente sobre la demanda anual por lo que deberán estar testados y certificados. Una vez conocido este valor se deberá volver a modelizar la vivienda y analizar los resultados obtenidos.

La actual normativa española no exige ensayos de infiltración, pero son necesarios para poder ajustar el modelo a la realidad.

La simulación de edificios con herramientas avanzadas permite diseñar reduciendo al máximo la demanda energética de los edificios. Debería ser obligatorio el uso de estas herramientas para desarrollar un adecuado diseño.

#### **Referencias**

- Gantioler, G. (2010). Manual para la certificación "Estándar Passivhaus" CERTIFICADO Estándar Passivhaus Dr. Wolfgang Feist. Versión del 23.05.2010 --TBZ Traducción al castellano 21.01.2011 – Alejandro Cuesta y Micheel Wassouf-TBZ
- Pagliarini, G., Corradi C. & Rainieri S. (2012). Hospital CHCP System Optimization Assisted by TRNSYS Building Energy Simulation Tool. Applied Thermal Engineering, 44, 150–158.
- Serra Florensa, R. & Coch Roura, H. (2001). Arquitectura y Energía Natural. Barcelona: Edicions UPC. ISBN 84-8301-497-1.
- Standard Passivhaus. Passivhaus Institute. <http://www.passiv.de/>
- Tzikopoulos A.F., Karatza M.C. & Paravantis J.A. (2005). Modeling energy efficiency of bioclimatic buildings. Energy and Buildings, 37, 529–544.
- UNE-EN 15 603. (2008) Energy Performance of Buildings. overall Energy use and Definition of Energy Ratings.

#### **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación de la Generalitat Valenciana (proyecto GV/2012/094).