



Received: 14-07-2018  
Accepted: 26-07-2018

Anales de Edificación Vol. 4,  
Nº 3, 34-43 (2018)  
ISSN: 2444-1309  
Doi: 10.20868/ade.2018.3798

## Análisis de la influencia, en la demanda de climatización, de estrategias pasivas en viviendas con grandes superficies acristaladas, mediante un código de simulación. La casa Farnsworth.

## Analysis of the influence, in climate control demand, of passive strategies in houses with large glazed surfaces, by means of a simulation code. The Farnsworth house.

P. Aguilera, C. Viñas, A. Rodríguez, S. Varela

Universidad Politécnica de Madrid (patricia.aguilera@upm.es; carmen.vinas@upm.es; antonio.rodriguez@upm.es; sheila.varela.lujan@alumnos.upm.es)

---

**Resumen**— El mayor consumo energético en el sector residencial se debe a las instalaciones de climatización. Existen numerosos estudios de viviendas plurifamiliares orientados a optimizar este ítem, pero pocos se centran en la vivienda unifamiliar. Un punto crítico en esta tipología edificatoria son los huecos de ventanas, que suponen una gran superficie sobre el total de la envolvente. El objetivo de este trabajo es analizar, cuantificar y valorar la influencia de estrategias pasivas, consistentes en la instalación de diferentes tipos de acristalamientos y protecciones solares, teniendo en cuenta la orientación de la vivienda, para reducir la demanda energética de climatización. El análisis de resultados ofrece unas pautas que demuestran el comportamiento de las diferentes estrategias pasivas utilizadas y su repercusión directa en la demanda de diseño de los equipos de climatización. No siendo soluciones únicas, pero sí orientativas a la hora de proponer decisiones adaptables a tipologías edificatorias similares.

**Palabras clave**— Radiación solar, simulación energética, estrategias pasivas, demanda de climatización, eficiencia energética.

---

**Abstract**- The highest energy consumption in the residential sector is due to the air conditioning installations. There are numerous studies of flats oriented to optimize this item, but few focus on the detached house. A critical point in this building typology are the window aperture, which suppose a great surface on the total of the envelope. Therefore, the objective of this work is to analyze, quantify and assess the influence of different passive strategies, which consists of the installation of different types of glazing and solar protections, taking into account the orientation of the house, to reduce the energy demand of air conditioning. The analysis of results provides guidelines for the behavior of different strategies and their direct impact on the design demand of refrigeration and heating equipment. They are not unique solutions, but they are indicative when proposing decisions adapt-able to similar building typologies.

**Index Terms**— Solar radiation, energy simulation, passive strategies, demand of air conditioning, energy efficiency.

---

P. Aguilera y C. Viñas pertenecen al Departamento de Tecnología de la Edificación de la Universidad Politécnica de Madrid.

A. Rodríguez pertenece al Departamento de Construcciones Arquitectónicas y su Control de la Escuela Técnica Superior de Edificación.

S. Varela actualmente es doctorando de la Escuela Técnica Superior de Edificación de la Universidad Politécnica de Madrid.

## I. INTRODUCCIÓN

Los edificios representan hoy en día el 40% del consumo de energía final de la Unión Europea (Institute for Energy Diversification and Saving - IDAE, 2011). Debido a este alto porcentaje y al interés prioritario de reducir el consumo energético en el sector edificatorio y minimizar la huella de carbono, son muchos los estudios que buscan soluciones para conseguir una construcción más sostenible. En España, de acuerdo con los últimos datos señalados en la estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética (ERESEE 2017), el sector de la edificación tiene un peso del 30% en el consumo de energía final, repartido en un 18,5% en el sector de la edificación residencial y un 12,5% en edificaciones no residenciales (comercio, servicios y administraciones públicas) (Ministerio de Fomento, 2017).

Además, dentro del sector residencial en la Unión Europea, el 24,1% de la población reside en viviendas adosadas y el 33,3% viviendas aisladas, suponiendo un total de un 57,4% de viviendas unifamiliares, frente a un 42,6% de viviendas plurifamiliares (Statistics Explained, 2017). Por otra parte, en España la vivienda unifamiliar es la segunda tipología edificatoria más construida como primera residencia (28,2%), incrementando considerablemente su uso como segunda residencia (46,9%) (Ministerio de Fomento, 2014).

Por ello, el estudio y la investigación es cada vez más importante, para que nuevas soluciones bioclimáticas puedan ser incorporadas en los edificios (Psomas, Heiselberg, Lyme, & Duer, 2017), disponiendo de una demanda energética menor y haciendo uso del aprovechamiento de los recursos naturales. (Friess & Rakhshan, 2017) Estas investigaciones que se centran en analizar la vivienda unifamiliar son reducidas si se comparan con los estudios que existen referentes a las viviendas plurifamiliares (García-Alvarado, González, Bustamante, Bobadilla, & Muñoz, 2014).

Para que el concepto de desarrollo sostenible pueda ser incorporado de manera eficaz en nuestro sistema económico, los aspectos ecológicos deben ocupar un lugar destacado (Goes, Sinhoreti, Consani, & Silva, 1998). Por ello es necesario una concienciación social de respeto y cuidado del medio ambiente en este tipo de construcciones, y vencer el mito existente relativo a que las viviendas eficientes, que generan la energía que necesitan consumir, son más costosas que las convencionales (Kristianto, Utama, & Fathoni, 2014).

Para poder acometer medidas orientadas a optimizar los ítems de mayor consumo en el sector residencial, especialmente en viviendas unifamiliares, es preciso el estudio pormenorizado de los distintos servicios y equipamientos. Las instalaciones de climatización (calefacción y refrigeración) son las que demandan más energía, tanto en España, como en el cómputo global de la Unión Europea, seguidas del consumo en los electrodomésticos, en el agua caliente sanitaria (ACS) y en la

cocina.

Este consumo en climatización es variable dependiendo de la climatología de la zona, siendo países más cálidos los que hacen un menor uso de la calefacción y países nórdicos los que incrementan la intensidad de consumo energético en este concepto, cuya demanda varía desde el 43% en España, hasta el 65% en el conjunto de la Unión Europea (Ministerio de Fomento, 2017). Se observa, también que el consumo energético por refrigeración, en España en relación con el promedio de la Unión Europea es un 60% mayor. Se trata, por tanto, dentro de los objetivos de disminución de la demanda de energía en el sector de la edificación, de reducir en el sector residencial las cargas por climatización (calefacción y aire acondicionado).

Este panorama, hace imprescindible un profundo cambio en el concepto de diseño de viviendas unifamiliares aisladas, las cuales cuentan cada vez más con un alto porcentaje de superficie acristalada en su envolvente. La primera vivienda unifamiliar diseñada en España con certificación Passivhaus Plus, dispone tan solo en planta baja de un 80% de superficie acristalada (Daniel, Diedrich y Talia, 2017). Cada vez es más habitual y necesario el uso de grandes acristalamientos, (Larrumbide & Bedoya, 2015) incrementándose considerablemente la relación hueco-macizo y siendo esto un punto crítico para el correcto diseño de la climatización (Carletti, Pierangioli, Scurpi, & Salvietti, 2018).

Existen investigaciones (Oteiza, Alonso, & Frutos, 2014) donde se muestran qué estrategias bioclimáticas pasivas orientadas hacia el estándar "Passivhaus" (Chen, Yang, & Wang, 2017), reducen considerablemente la demanda energética (Ascione, 2017). Una de las actuaciones, dentro de las estrategias bioclimáticas, es la utilización de vidrios con características especiales en función de las diferentes orientaciones (Suárez & Frago, 2016) (Sacht, Bragança, & Almeida, 2013). Está constatado que existe una mejora asociada a esta estrategia, pero ninguno de los estudios cuantifica el ahorro que supone en el gasto de energía utilizada para las instalaciones de calefacción y refrigeración (Irulegi, Serra, Hernández, & Torres, 2012).

Además, el análisis de costes en construcción para la rehabilitación energética de edificios y la calificación energética global (Valdivieso, 2014) pone de manifiesto que no siempre una mayor inversión económica se corresponde con la calificación energética más alta (Ortiz, Fonseca i Casas, Salom, Garrido Soriano, & Fonseca i Casas, 2016). Esto significa que la sustitución de vidrios y carpinterías de precios elevados, en obras de rehabilitación energética, no tienen por qué dar siempre el mínimo consumo del edificio, sino que se requiere un análisis minucioso y personalizado en función de cada caso (Aste, Buzzetti, Del Pero, & Leonforte, 2018). Los diferentes vidrios del hueco de ventana son componentes clave en la

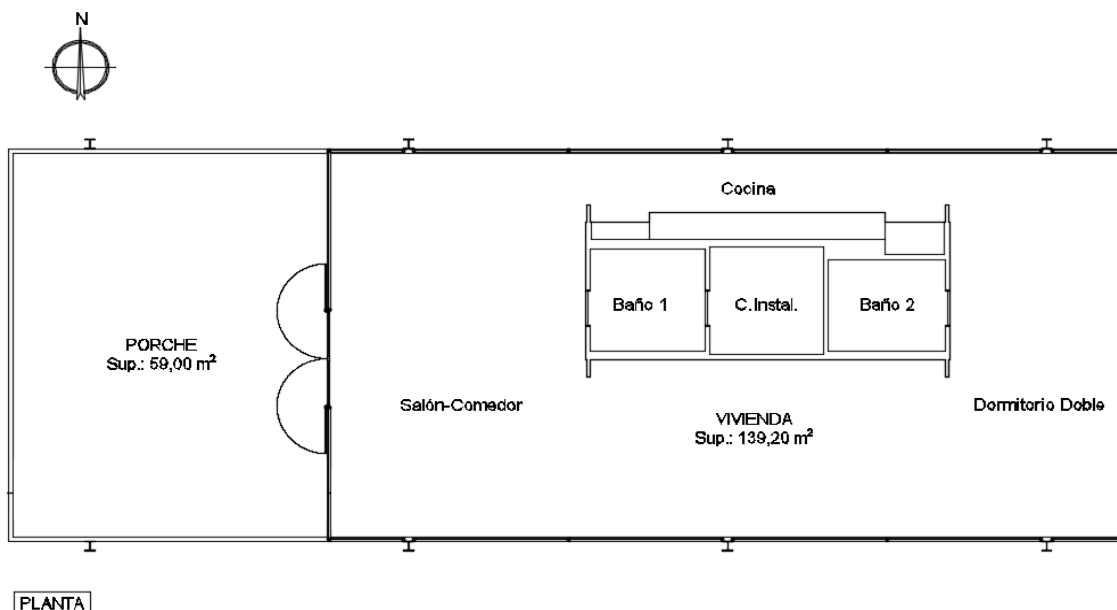


Fig. 1. Planta del modelo de simulación base.

envolvente del edificio influyendo tanto en la iluminación como en las ganancias y pérdidas de calor, afectando al consumo energético tanto en verano como en invierno.

En el estudio pormenorizado del edificio es muy importante tener en cuenta la orientación de este (Abdulkareem, Al-Maiyah, & Cook, 2018), ya que a priori no implica ningún coste extra, y el ahorro energético puede ser muy importante (Miguel Angel, 2018). El aprovechamiento de la energía calorífica es fundamental en la fase de diseño del edificio, maximizando el aprovechamiento de los recursos naturales mediante la incorporación de estrategias pasivas adecuadas para la zona climática donde se ubique el edificio. Por ejemplo, en países con zonas con clima mediterráneo-continental, la utilización de voladizos, aleros o porches es relevante, para resguardar ciertas fachadas del soleamiento severo (Zalamea-León & García-Alvarado, 2018). En consecuencia, un correcto diseño de estos elementos es fundamental para minimizar en verano la incidencia de radiación solar en el interior de la vivienda sin perjuicio en la captación de energía calorífica durante los meses de invierno, potenciándose, por tanto, en todo el proceso, los recursos naturales.

El objetivo de este trabajo es analizar, cuantificar y valorar la influencia de las estrategias pasivas más adecuadas, en un clima mediterráneo-continental, en viviendas unifamiliares de vidrio, que tienen una gran superficie acristalada en su envolvente.

## II. METODOLOGÍA

Para poder cuantificar la influencia de las estrategias pasivas, se busca en primer lugar, un modelo base sobre el que trabajar y una herramienta de simulación energética. Posteriormente se analiza el modelo y se plantean diferentes estrategias pasivas,

atendiendo a la orientación de la vivienda.

Se analizan las diversas estrategias y se obtienen las conclusiones de dichos resultados. A continuación, se profundiza en cada cuestión.

### A. Caso de estudio: modelo base

Dado que el objeto del trabajo es analizar la influencia de distintas estrategias pasivas en viviendas unifamiliares que disponen de una gran superficie acristalada en su envolvente, se decide trabajar con la Casa Farnsworth, que es una vivienda unifamiliar construida en los años cincuenta, diseñada por el arquitecto alemán Ludwig Mies Van Der Rohe y situada en Illinois al Suroeste de Chicago.

Esta vivienda supone un estudio de gran interés para su rehabilitación energética, por tener todas sus fachadas compuestas por paramentos acristalados en la totalidad de su superficie.

La superficie total de la edificación es de 198,20 m<sup>2</sup>, con una planta rectangular de 8,45 m de ancho por 23,46 m de largo y una altura libre de 2,90 m. De dicha superficie, 59,00 m<sup>2</sup> corresponden al porche (7,2 m de longitud) que se dispone en su orientación Oeste y se encuentra abierto al exterior.

En el interior de la vivienda solo se dispone de un volumen central, donde se alojan los aseos y un pequeño cuarto de instalaciones, ligeramente desplazado hacia la cara Norte, lugar en el que se ubica la cocina (Figura 1).

La edificación no se encuentra en contacto con el terreno ya que se eleva de la superficie 1.60 m, quedando abierta al exterior y sustentada por una estructura metálica que se cierra con vidrio monolítico, de 6 mm de espesor (transmitancia térmica de 5.7 W/m<sup>2</sup> K).

El forjado superior que conforma la cubierta está compuesto

por una membrana asfáltica impermeable en la cara externa, aislamiento de fibra de vidrio, placa de hormigón armado prefabricado y techo de escayola continuo por el interior.

El forjado inferior está formado de baldosa de mármol travertino, sobre una cama de mortero, encachado de piedra, un aislamiento de fibra de vidrio y unas losas alveolares de hormigón prefabricado.

Ambos forjados obtienen una transmitancia térmica de 0.52 W/m<sup>2</sup> K, en función de la composición constructiva originaria y de los valores que indica el catálogo de elementos constructivos del Código Técnico de la Edificación para los diferentes materiales.

Según indica Guillermo Yañez Paradedá en su libro “Arquitectura solar e iluminación natural” (Paradedá, 2008), la casa Farnsworth planteó graves problemas de sobrecalentamiento en verano, sobre todo por falta de ventilación natural, que atenuase el efecto invernadero, ya que no tenía ventanas practicables y por la ausencia de protección solar que redujese las ganancias solares (Figura 2). Por lo que existe un alto interés en su estudio, debido a los problemas energéticos que tenía por su alto consumo en climatización.

El análisis de la vivienda se realiza en la zona climática D3, concretamente en la ciudad de Madrid, zona caracterizada por clima mediterráneo-continental. Este clima se define por tener inviernos largos y fríos y veranos cortos y cálidos. Las precipitaciones son propias de clima mediterráneo típico y las temperaturas de clima continental no extremo.



Fig. 2. Casa Farnsworth.

### B. Simulación energética

Se utiliza como herramienta de simulación el programa informático Design Builder® v.5.0.1.020, basado en el motor de cálculo de Energy Plus®. Design Builder® es un programa validado por el “IEA BESTEST Building load and HVAC test”, el cual permite, entre otros, el cálculo de las cargas de calefacción y refrigeración mediante el método de balance térmico, aprobado por ASHRAE e implementado en Energy Plus®. El programa utiliza una base de datos climatológica y de

radiación solar, que puede ser actualizada por el usuario. No obstante, en esta investigación se ha utilizado la base datos climatológica y de radiación solar que trae el programa por defecto, la correspondiente al año 2002. Cabe destacar, que el motor de cálculo Energy Plus®, es un programa diseñado por el Department of Energy of USA (DOE) (Energy.gov, 2018), y sucesor del DOE-2 y BLAST, siendo el programa que ha obtenido más certificados y validaciones (Giménez, 2011).

A todas las simulaciones se les asigna la zona climática D3 (Madrid, altitud 589 m) y se definen las mismas condiciones iniciales para los sistemas de calefacción y refrigeración, en relación a la temperatura de consigna primaria y secundaria (Tabla 1).

TABLA I  
TEMPERATURAS DE CONSIGNA PRIMARIA Y SECUNDARIA  
ASIGNADAS A LOS SISTEMAS DE CALEFACCIÓN Y  
REFRIGERACIÓN.

<b>Sistema de Calefacción</b>			
<b>Temperatura de consigna primaria y secundaria por horas</b>			
<i>Meses</i>	<i>00:00 – 8:00 h</i>	<i>8:00 – 16:00 h</i>	<i>16:00 – 24:00 h</i>
Enero - Mayo	17°C	22°C	22°C
Junio -Septiembre	--	--	--
Octubre - Diciembre	17°C	22°C	22°C
<b>Sistema de Refrigeración</b>			
<b>Temperatura de consigna primaria y secundaria por horas</b>			
<i>Meses</i>	<i>00:00 – 8:00 h</i>	<i>8:00 – 16:00 h</i>	<i>16:00 – 24:00 h</i>
Enero - Mayo	--	--	--
Junio -Septiembre	27°C	25°C	25°C
Octubre - Diciembre	--	--	--

Así mismo en todas las simulaciones se asignan los mismos valores en cuanto a cargas energéticas por ocupación, iluminación, equipos y renovaciones de aire (Tabla 2). Estos valores se han definido en función de lo establecido en Apéndice C del DB-HE 1, del año 2013 modificado conforme a la Orden FOM/588/2017, de 15 de Junio (BOE 23-06-2017) (Ministerio de Vivienda, 2007) para uso residencial, salvo lo que se refiere a la temperatura de consigna para calefacción que se ha asignado 22°C, que es lo que establece Norma ISO 7730/2006 (AENOR, 2006).

Las condiciones iniciales en relación a la capacidad de los sistemas mecánicos de calefacción y de refrigeración, para mantener un confort adecuado en el interior de la vivienda, se determinan de acuerdo a lo que establece el Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, que aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE) (Ministerio de Fomento, 2008), y en el Real Decreto 1027/2007 que aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) (Industria & Ministerio de vivienda, 2013).

Para el análisis de la demanda energética de calefacción, Design Builder® considera las variables meteorológicas

TABLA II  
DISTRIBUCIÓN DE CARGAS INTERNAS Y RENOVACIONES DE AIRE

Cargas	00:00 - 8:00 h	8:00 - 16:00 h	6:00 - 8:00 h	18:00 -20:00 h	20:00 -23:00 h	23:00 -24:00 h
<b>Calor Sensible (W/m<sup>2</sup>)</b>						
Laborables	2,15	0,54	1,08	1,08	1,08	2,15
Sábados/Festivos	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
<b>Calor latente (W/m<sup>2</sup>)</b>						
Laborables	1,36	0,34	0,68	0,68	0,68	1,36
Sábados/Festivos	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
<b>Iluminación (W/m<sup>2</sup>)</b>						
Laborables/ Sábados/Festivos	0,44	1,32	1,32	2,20	4,40	2,20
<b>Equipos (W/m<sup>2</sup>)</b>						
Laborables/ Sábados/Festivos	0,44	1,32	1,32	2,20	4,40	2,20
<b>Renov. aire (ren/h)</b>						
Laborables/ Sábados/Festivos	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63

correspondientes a un día tipo de invierno, predeterminado, de la zona climática seleccionada, y aplica un coeficiente de seguridad que garantiza que el sistema de calefacción mantendrá las condiciones de confort definidas, incluso ante condiciones meteorológicas de invierno extremas. En este trabajo, se ha tomado el valor predeterminado de 1,25 que significa que el sistema se sobredimensiona en un 25%

Sin embargo, la demanda del sistema de refrigeración el programa necesita fijar un mes y un día de verano, debido a que tiene en cuenta la plantilla de actividad. En el dimensionado del sistema de refrigeración se aplica, también, un coeficiente de seguridad que ofrece mayor certeza para mantener las condiciones de confort definidas, incluso ante situaciones meteorológicas de verano extremas. En esta investigación se ha tomado el valor 1,15, por lo que el sistema se sobredimensiona en un 15%.

### C. Caracterización de los modelos de simulación.

Se analiza el comportamiento energético de la Casa Farnsworth (modelo base) y a partir de este análisis, se llevan a cabo distintas actuaciones centradas en la implantación de

estrategias pasivas, conformando diferentes modelos de actuación. Concretamente, se incorporan al modelo inicial vidrios de altas prestaciones y voladizos, que varían en función de la orientación de las fachadas.

Se han realizado en este trabajo un total de treinta y dos simulaciones, resultado de sustituir todas las fachadas o algunas de ellas por vidrios de altas prestaciones y voladizos con diferente configuración geométrica.

En base a esto se definen las estrategias pasivas:

#### C.1. Incorporación de diferentes vidrios (del fabricante Guardian Glass):

- Vidrio sencillo de 6 mm, denominado “Clear Float Glass” (instalado en el modelo base);
- Vidrio sencillo de 6 mm y lámina de control solar situada en la parte interior (LCS), denominado “HD Neutral 67 neutro”;
- Vidrio de doble acristalamiento (6+16+6) mm, denominado “DA convencional”;
- Vidrio de doble acristalamiento (6+16+6) mm y lámina de control solar (LCS) situada en la cara interior del vidrio exterior (cara dos del acristalamiento), siendo su denominación

TABLA III.  
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS VIDRIOS

Propiedades	Vidrio sencillo de 6 mm (Clear Float Glass) -Modelo base-	Vidrio sencillo de 6 mm +LCS (HD Neutral 67 neutro)	Vidrio doble de (6+16+6) mm (DA Convencional)	Vidrio doble de (6+16+6) mm + LCS (SunGuard Solar Neutral 67)
Transmisión solar Total SHGC “g” (%)	86,0	68,0	77,1	58,8
Transmisión solar Directa (%)	78,0	63,0	72,2	53,1
Transmisión de luz (%)	89,0	66,0	81,9	61,0
Valor U (ISO 10292) (W/m <sup>2</sup> K)	5,7	5,6	2,7	2,6

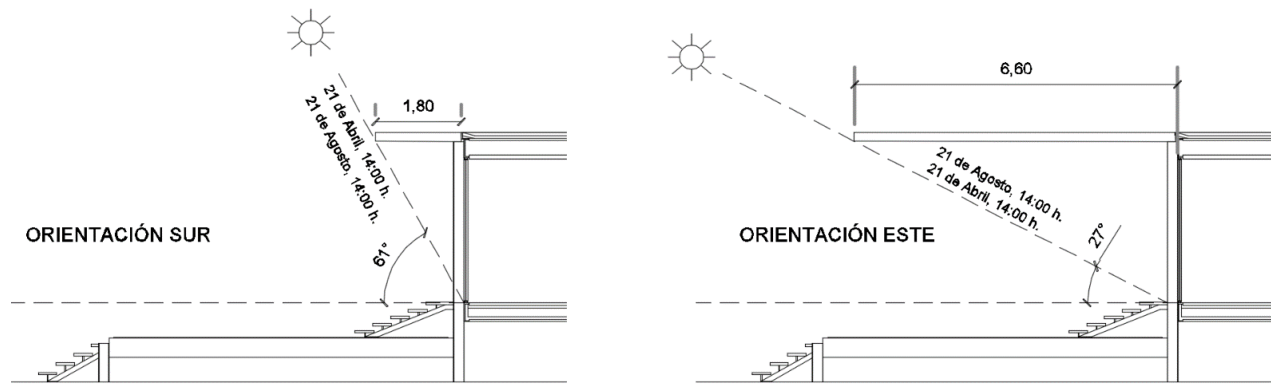


Fig. 3. Voladizos calculados en función del ángulo solar y la orientación.

“SunGuard Solar Neutral 67”.

Las características técnicas de los cuatro acristalamientos se muestran en la tabla 3.

### C.2. Incorporación de voladizos:

En relación al diseño de voladizo, como segunda estrategia pasiva elegida, se pretende proteger el interior de la vivienda del soleamiento en los cuatro meses de mayor ángulo de elevación. De los cálculos realizados se han seleccionado dos, siendo estos los que minimizan la máxima radiación solar, en el interior de la edificación, en el máximo periodo posible.

Los dos voladizos seleccionados, se calcularon para el día 21 de abril y 21 de agosto a las 14:00 horas, para las fachadas Sur y Este correspondiendo, a cada caso, un ángulo de incidencia de la radiación solar con la horizontal de 61° y 27° respectivamente (Figura 3).

De esta manera se analiza la repercusión energética, de los elementos de protección pasiva descritos, sobre las instalaciones de refrigeración y de calefacción. Se han realizado treinta y dos simulaciones, de las cuales se muestran cinco por considerarse las más representativas.

En la tabla 4 se muestran, las características de las estrategias incorporadas en las distintas fachadas.

En la figura 4 se muestra un esquema de la vivienda del

modelo base y de los cinco modelos seleccionados, representando un total de seis modelos a evaluar. Todos se caracterizan, por tener la misma geometría y las mismas propiedades constructivas en forjado de cubierta y en el forjado de suelo diferenciándose, por tanto, en la estrategia pasiva implementada o no, en sus diferentes fachadas.

### III. ANÁLISIS Y VALORACIÓN DE RESULTADOS

En este apartado se valoran los sistemas de calefacción y refrigeración que deben de instalarse en los diferentes modelos simulados. La figura 5 recoge la demanda de los equipos de climatización requerida en cada uno de los casos.

Respecto a la incorporación de vidrios dobles (6+16+6) mm, en los modelos 2, 3, 4 y 5, en todas sus fachadas con o sin lámina de control solar, mejora la demanda energética, principalmente, asociada a la demanda de calefacción del orden del 29% respecto del modelo base.

En la demanda en refrigeración, es de destacar que los modelos 1 y 5, junto al modelo base, son los que requieren mayor demanda energética en refrigeración. Esto es debido a que la ganancia de calor por radiación solar en estos modelos es semejante (Figura 6), atribuyendo la diferencia, en relación con el modelo base, al efecto de lámina de control solar y al doble

TABLA IV  
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS VIDRIOS

Nomenclatura	Modelo	Características
MB	<b>Modelo base</b>	Vidrio sencillo de 6 mm de espesor en todas las orientaciones.
EVS	<b>Modelo 1</b>	Vidrio sencillo de 6 mm de espesor en orientación Norte y Oeste, y vidrio sencillo de 6 mm de espesor con Lámina de Control Solar (LCS) en orientación Este y Sur.
EVD+LCS (SyO)	<b>Modelo 2</b>	En orientaciones Norte y Oeste vidrio (6+16+6) mm y en orientaciones Sur y Este vidrio (6+16+6) mm con LCS.
EVD+VO6.6+VS	<b>Modelo 3</b>	Vidrio (6+16+6) mm en todas las orientaciones. Además, en Sur voladizo de 1,80 m y en Este voladizo de 6,60 m de longitud.
EVD+VO1.8+VS	<b>Modelo 4</b>	Vidrio (6+16+6) mm en todas las orientaciones. Además, en Sur y Este voladizo de 1,80 m de longitud.
EVD	<b>Modelo 5</b>	Vidrio (6+16+6) mm en todas las orientaciones.



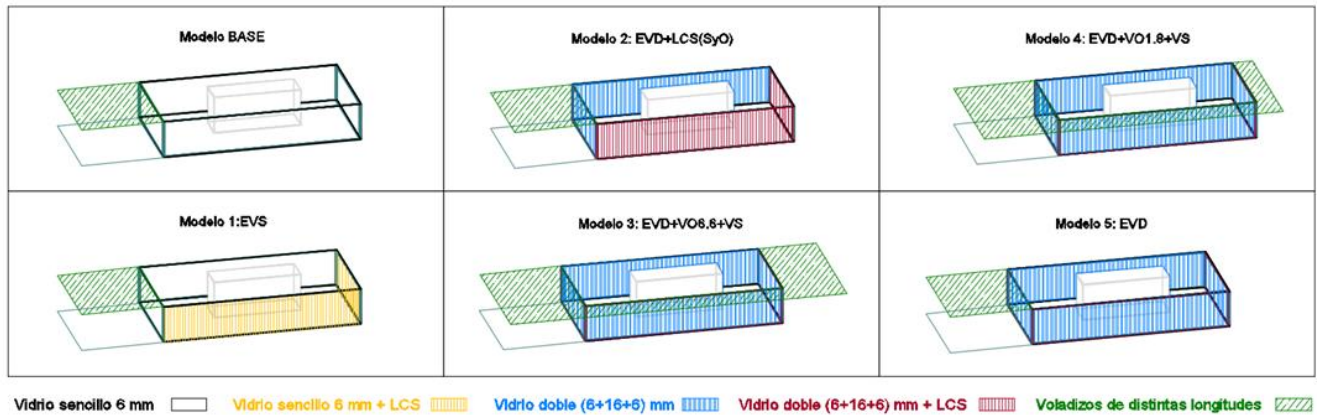


Fig. 4. Caracterización de los modelos simulados.

vidrio en los respectivos modelos.

En cuanto a la incorporación de LCS, el modelo 1, en el que se sustituye los vidrios sencillos, de las fachadas Sur y Este, por vidrios sencillos con LCS, la demanda de calefacción prácticamente es la misma que la del modelo base, mejorando ligeramente la demanda de refrigeración. En consecuencia, la utilización de vidrios sencillos con LCS no mejora sustancialmente la demanda de climatización del modelo de edificación elegido.

Del análisis de los modelos 2 y 5 observamos que el modelo 2, con lámina de control solar en sus fachadas Sur y Este, prevé una demanda de refrigeración de hasta 5 kW menos que la correspondiente al modelo 5, lo que representa un 23,5% menos de demanda energética. Se atribuye este comportamiento al hecho de que el modelo con lámina de control solar (modelo 2), deja pasar menos radiación solar hacia el interior de la edificación, que el modelo con vidrios dobles (6+16+6) mm (figura 6). Por tanto, la LCS tiene un efecto mucho mayor con acristalamientos dobles con cámara, que en acristalamientos sencillos.

Referente a la incorporación de voladizos, los modelos 3 y 4 tienen un comportamiento semejante a los modelos 2 y 5 en la

demanda de calefacción.

En cuanto a la demanda de refrigeración se obtiene una mejora en el modelo 3 con relación a los modelos 2 y 5 del 25,8% y del 43,2% respectivamente. Por tanto, la incorporación de voladizos es la medida más eficiente para disminuir la demanda de refrigeración, consiguiendo potencias análogas a los sistemas de calefacción.

Comparando los modelos 3 y 4 comprobamos que la demanda de refrigeración es de un 8,6% menos el modelo 3 que en el modelo 4. Este resultado se atribuye a la diferencia en la ganancia de radiación solar a través de los vidrios en las primeras horas de la mañana debido al sobredimensionado del voladizo en la fachada Este, en el modelo 3. Por tanto, la dimensión del voladizo en la fachada Este no influye de forma muy significativa.

En la figura 7, se muestran las simulaciones realizadas a lo largo de una semana típica de invierno (entre el 1 y el 7 de diciembre) y para una semana típica de verano (entre el 1 y el 7 de agosto). Mostrando los consumos en calefacción y refrigeración del modelo base y de los cinco modelos propuestos, en función de las estrategias pasivas diseñadas en cada uno de ellos y a partir de las programaciones estipuladas para todos por igual.

Los resultados muestran que la solución más idónea, para una edificación singular, como la que se ha tomado como referencia, situada en clima mediterráneo-continental con las condiciones de temperatura de consigan primaria y secundaria consideradas en el programa, corresponde al modelo 3. Esto significa que la combinación de aleros en las fachas Sur y Este con acristalamiento en sus fachadas de un vidrio (6+16+6) mm, es la estrategia pasiva que mejor optimiza la demanda energética de la edificación.

Se pone de manifiesto, por un lado, que comprobando los dos modelos de voladizos calculados, con los criterios definidos en esta investigación, el voladizo de 6,60 m de longitud respecto al de 1,80 m de longitud, ambos en fachada Este, no supone una

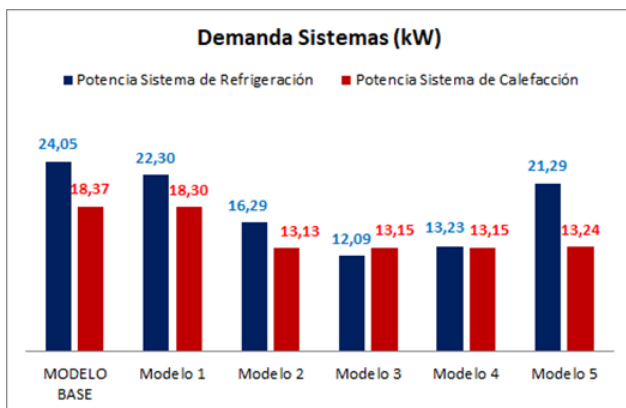


Fig. 5. Demanda sistemas de calefacción y refrigeración (kW).

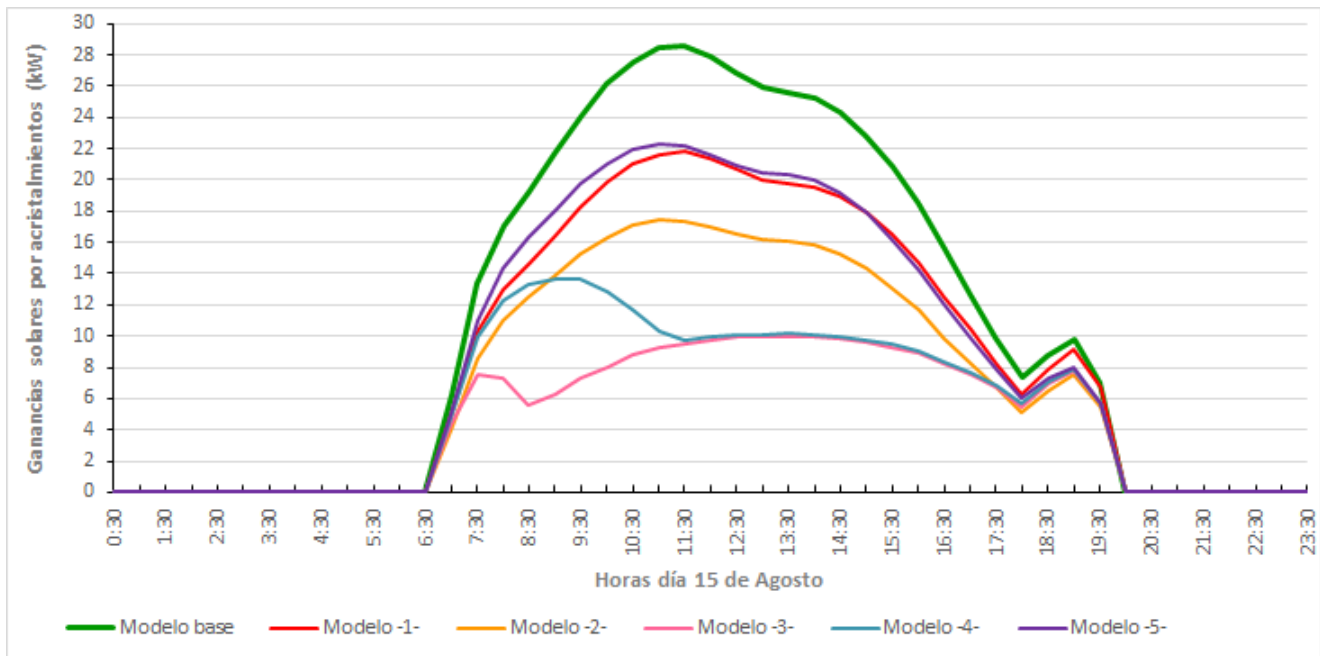


Fig. 6. Ganancias solares por acristalamientos (kW).

mejora sustancial en cuanto a la demanda de energía en refrigeración, pudiendo ser, por el contrario, significativo la disminución de iluminación natural en los meses no estivales. Por otro lado, las LCS, en la segunda cara del vidrio, en las fachadas Este y Sur, sin voladizos, produce un incremento de la radiación solar reflejada por la lámina que eleva de forma considerable la temperatura de la superficie exterior del segundo vidrio, lo que implica un incremento del calor, en el interior, que debe compensarse con un aumento de energía en refrigeración para mantener las temperaturas de consigna establecidas.

#### IV. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se puede concluir que:

- Incorporar vidrios sencillos con LCS en las fachadas Este y Sur no presenta una mejora energética significativa, en la demanda de calefacción en relación al modelo original. En la demanda de refrigeración la disminución del sistema es de un 7,3%.
- Incorporar vidrios dobles en todas las orientaciones, y comparándolo con un modelo de vidrios dobles con LCS en sus fachadas Este y Sur, no supone una disminución en la demanda

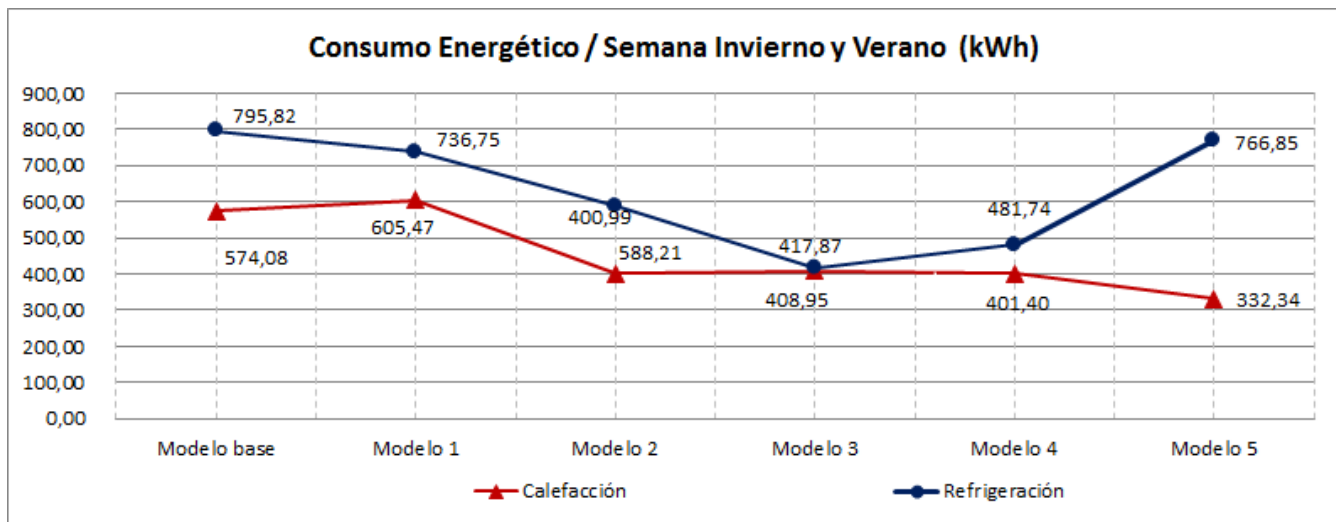


Fig. 7. Consumos de calefacción y refrigeración (kW).



del sistema de calefacción (igual que ocurría con los vidrios sencillos), pero si se observa una gran disminución de demanda de energía en el equipo de refrigeración, siendo esta de un 30,7%.

- Sustituir vidrio simple, por doble acristalamiento, supone una disminución del sistema de calefacción de un 28,3% y en el sistema de refrigeración de un 11,5%. En los mismos modelos, pero ambos con LCS en sus fachadas Este y Sur, supone la misma disminución en el diseño del sistema de calefacción (28,3%) y en refrigeración el equipo se minorará un 27,0%. Esto es debido a que la LCS impide la entrada de energía calorífica proveniente de la radiación solar, reflejando hacia el exterior las ganancias que podamos tener en las zonas más expuestas de la edificación y protegiendo así del sobrecalentamiento en el interior.

- Incorporar voladizos en las fachadas Este y Sur, diseñados con una longitud de 6,60 m y 1,80 m, suponen una disminución en el sistema de refrigeración de un 43,2% y 37,9% respectivamente. Siendo la diferencia inapreciable para el sistema de calefacción. Voladizos superiores a 1,80 m en la fachada Este, no conlleva diferencia energética relevante en el sistema de refrigeración, siendo esta de 5,3%, pudiendo ser, por el contrario, significativo la disminución de iluminación natural en los meses de verano.

Como conclusión final, los resultados obtenidos en esta investigación confirman de nuevo la importancia que tiene el análisis pormenorizado de la geometría y la orientación del edificio para poder elegir adecuadamente los acristalamientos y las protecciones pasivas necesarias para una edificación. Una correcta elección conlleva una disminución en la demanda energética del edificio y como consecuencia una disminución en el consumo de energía necesaria para el uso de la climatización en el interior de la vivienda.

#### REFERENCIAS

- Abdulkareem, M., Al-Maiyah, S., & Cook, M. (2018). Remodelling façade design for improving daylighting and the thermal environment in Abuja's low-income housing. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(June 2017), 2820–2833. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.010>.
- AENOR. (2006). UNE-EN ISO 7730.
- Ascione, F. (2017). Energy conservation and renewable technologies for buildings to face the impact of the climate change and minimize the use of cooling. *Solar Energy*, 154, 34–100. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.01.022>.
- Aste, N., Buzzetti, M., Del Pero, C., & Leonforte, F. (2018). Glazing's techno-economic performance: A comparison of window features in office buildings in different climates. *Energy and Buildings*, 159, 123–135. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.088>.
- Carletti, C., Pierangioli, L., Sciarpi, F., & Salviotti, A. (2018). Comparison among detailed and simplified calculation methods for thermal and energy assessment of the building envelope and the shadings of a new wooden nZEB house. *Sustainability (Switzerland)*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/su10020476>.
- Chen, X., Yang, H., & Wang, Y. (2017). Parametric study of passive design strategies for high-rise residential buildings in hot and humid climates: miscellaneous impact factors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69(November 2016), 442–460. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.055>.
- Daniel, Diedrich y Talia, D. (2017). IV Congreso Internacional EECS Edificios de Energía Casi Nula. In *Edificio Titania de consumo nulo passivhaus plus*. (pp. 384–391). España. <https://doi.org/ISBN-10:197316339X> ISBN-13: 978-1973163398.
- Energy.gov. (2018). Department of Energy of USA.
- Friess, W. A., & Rakhshan, K. (2017). A review of passive envelope measures for improved building energy efficiency in the UAE. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72(November 2016), 485–496. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.026>.
- García-Alvarado, R., González, A., Bustamante, W., Bobadilla, A., & Muñoz, C. (2014). Características relevantes de la simulación energética de viviendas unifamiliares. *Informes de La Construcción*, 66(533), e005. <https://doi.org/10.3989/ic.12.108>.
- Giménez, M. D. C. (2011). Alternativas para la mejora de la eficiencia energética de los acristalamientos: los vidrios dinámicos TESIS DOCTORAL.
- Goes, M. F., Sinhoreti, M. A., Consani, S., & Silva, M. A. (1998). Investigation of Indonesian Traditional Houses through CFD Simulation. *Materials Science and Engineering*, 9(1), 3–10. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/755/1/011001>.
- Industria, D. E., & Ministerio de vivienda. (2013). Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. *Boletín Oficial Del Estado*, (74), 11816–11831. Retrieved from <http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/realDecreto/RD3142006.pdf>
- Institute for Energy Diversification and Saving - IDAE. (2011). Plan de ahorro y eficiencia energética 2011-2020. Madrid. Retrieved from <http://www.idae.es/uploads/>

documentos/documentos\_11905\_PAEE\_2011\_2020.\_  
A2011\_A\_a1e6383b.pdf

- Irulegi, O., Serra, A., Hernández, R., & Torres, L. (2012). Fachadas ventiladas activas para reducir la demanda de calefacción en los edificios de oficinas . El caso de España. *Informes de La Construcción*, 64, 575–585. <https://doi.org/10.3989/ic.11.099>
- Kristianto, M. A., Utama, N. A., & Fathoni, A. M. (2014). Analyzing Indoor Environment of Minahasa Traditional House Using CFD. *Procedia Environmental Sciences*, 20, 172–179.
- Larrumbide, E., & Bedoya, C. (2015). El comportamiento del hueco de ventana en la arquitectura vernácula mediterránea española ante las necesidades de acondicionamiento solar. *Informes de La Construcción*, 67(539).
- Miguel Angel, P. B. (2018). IV Congreso EECN Edificios de Energía Casi Nula. In G. T. R. S.L. (Ed.), *Rompiendo Mitos: “si aumentamos los huecos de fachada al norte aumenta la demanda de calefacción”* (pp. 85–89). España. <https://doi.org/9781973163398>
- Ministerio de Fomento. (2008). Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Ministerio de Fomento, 160. Retrieved from <https://www.codigotecnico.org/>
- Ministerio de Fomento. (2014). Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España.
- Ministerio de Fomento. (2017). Eresee 2017. Actualización 2017 de la estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España. Retrieved from <http://www.fomento.gob.es/>
- Ministerio de Vivienda. (2007). DB HE-Ahorro de Energía. Código Técnico de La Edificación, 2013, 1–129.
- Ortiz, J., Fonseca i Casas, A., Salom, J., Garrido Soriano, N., & Fonseca i Casas, P. (2016). Cost-effective analysis for selecting energy efficiency measures for refurbishment of residential buildings in Catalonia. *Energy and Buildings*, 128, 442–457.
- Oteiza, I., Alonso, C., & Frutos, B. (2014). Análisis y propuesta de mejoras para la eficiencia energética del edificio principal del Instituto c . c . Eduardo Torroja-CSIC. *Informes de La Construcción*, 66(536).
- Parareda, G. Y. (2008). *Arquitectura solar e iluminación natural* (Munilla-Le). Madrid. Retrieved from [https://www.coam.org/media/DefaultFiles/fundacion/biblioteca/donativos de autor/GUILLERMOYANEZ\\_ArquitecturaSolar.pdf](https://www.coam.org/media/DefaultFiles/fundacion/biblioteca/donativos de autor/GUILLERMOYANEZ_ArquitecturaSolar.pdf)
- Psomas, T., Heiselberg, P., Lyme, T., & Duer, K. (2017). Automated roof window control system to address overheating on renovated houses: Summertime assessment and intercomparison. *Energy and Buildings*, 138, 35–46.
- Sacht, H. M., Bragança, L., & Almeida, M. (2013). Trombe wall and glazings facades : Energy efficiency for different Portuguese Climates Fachadas con muro Trombe y doble acristalamiento : *Informes de La Construcción*, 65, 11–22. <https://doi.org/10.3989/ic.11.152>.
- Statistics Explained. (2017). Estadísticas sobre vivienda. Eurostat. Retrieved from [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Housing\\_statistics/es](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Housing_statistics/es).
- Suárez, R., & Fragoso, J. (2016). Estrategias pasivas de optimización energética de la vivienda social en clima mediterráneo. *Informes de La Construcción*, 68(541). <https://doi.org/10.3989/ic.15.050>.
- Valdivieso, M. (2014). «Estudio Precost&e»: evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la calificación energética en un edificio de viviendas situado en Madrid. *Informes de La Construcción*, 66(535).
- Zalamea-León, E. F., & García-Alvarado, H. R. (2018). Integración de captación activa y pasiva en viviendas unifamiliares de emprendimientos inmobiliarios. *Ambiente Construido*, 18(1), 445–461. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000100231>.



**Reconocimiento – NoComercial (by-nc):** Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.