



Received: 14-04-2015  
Accepted: 20-04-2015

## Acondicionamiento Pasivo de una Vivienda en la Sierra de Madrid

### Passive Conditioning of a Building in Sierra of Madrid

CARLOS MORÓN, ALFONSO GARCÍA, DANIEL FERRÁNDEZ & KENZO HOSOKAWA

\*Sensors and Actuators Group, Department of Tecnologías de la Edificación, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid 28040, España INTRODUCTION

E-Mails: [carlos.moron@upm.es](mailto:carlos.moron@upm.es), [alfonsogarciag@upm.es](mailto:alfonsogarciag@upm.es), [daniel.ferrandez.vega@alumnos.upm.es](mailto:daniel.ferrandez.vega@alumnos.upm.es) and [k.hosokawa@upm.es](mailto:k.hosokawa@upm.es)

---

**Resumen**—En el presente trabajo se analiza una posible solución para la rehabilitación energética de edificios situados en la Sierra de Madrid con un clima continental. Para la realización del mismo se escogió una vivienda construida en el año 1986 siguiendo las pautas de la ya derogada NTE-79. Su falta de intervención durante casi treinta años ha permitido realizar una simulación entre el estado actual y el estado posterior de la vivienda, tras haber tomado diferentes medidas de rehabilitación calificadas como pasivas, ya que no incluyen mecanismos ni dispositivos que requieran de alguna fuente alimentación externa más allá de la que nos permite el entorno en el cual se encuentra ubicado nuestro edificio. Se pretende demostrar que el empleo de soluciones de rehabilitación que no requieran de un consumo de energía externo, también pueden servir para mejorar la calificación energética de las viviendas actuales de manera más económica y que permita alcanzar el horizonte 2020 europeo para la mejora de la eficiencia energética. Las soluciones propuestas en este documento han ido encaminadas a cumplir con el actual Código Técnico de la Edificación, en su apartado de Ahorro de Energía recientemente modificado CTE-DB HE. Al final, se representan los resultados con la mejora en la calificación obtenida tras la puesta a punto de las medidas simuladas.

**Palabras clave**—Acondicionamiento Pasivo; Energía; Rehabilitación; Certificación Energética.

---

**Abstract**— In this work a possible solution to the energy rehabilitation of buildings located in Sierra of Madrid, with a continental climate, is analyzed. To execute this study, a 1986 building was chosen following the NTE-79 (which is currently repealed) guidelines. Its lack of intervention for nearly 30 years lets us make a simulation between the current state of the building and the subsequent one. The simulation was done after having taking different rehabilitation measures, classified as passives, because they do not include mechanisms or devices that required any external power sources beyond the ones that the environment, where our building is located, offer to us. It is pretended to demonstrate that the use of rehabilitation solutions do not required an external energy consume. It can also improve the energy rating of current building more cheaply, and allows reaching the European 2020 goal to improve efficiency energy. The suggested solutions we have described in this paper have been conducted to comply with the technical building code, specifically with its recently modified section, CTE-DB HE Energy Saving Section. Finally, the results are represented including the rating improvement after the development of the simulated measurements.

**Index Terms**— Passive Conditioning; Energy; Rehabilitation; Energetic Certification.

---

## I. INTRODUCCIÓN

Han pasado ya más de 25 años desde que en España comenzó a cobrar importancia la idea de aislar térmicamente los edificios. Desde las primeras regulaciones técnicas dadas por la derogada Norma Básica de Edificación CT/79 (NTE CT 79, 1979), hasta los actuales Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE, 2008) y Código Técnico de Edificación (CTE, 2014), la unión europea ha expedido una serie de directivas de carácter internacional, que obligan a los edificios a cumplir con unos requisitos mínimos de eficiencia energética.

La directiva europea 2010/31 tiene como objetivo principal reducir el consumo energético de los edificios en un 20% para el año 2020 y además reemplazar el 20% de la energía actual consumida en los edificios por fuentes de energías renovables. Con ello se pretende “fomentar la eficiencia energética de los edificios, teniendo en cuenta las condiciones climáticas exteriores y las particularidades locales, así como las exigencias ambientales interiores y la rentabilidad en términos coste-eficacia. Actualmente se está investigando sobre cuáles son las fuentes renovables más apropiadas para instalar en cada zona, haciendo análisis comparativos en términos de rentabilidad entre, por ejemplo, la energía eólica y solar para la producción de electricidad en las edificaciones de nueva construcción (Guedi, 2014; Mills 2010; Yang, 2011).

Además de los requisitos ya mencionados en la directiva anterior, se introduce como novedad el concepto de «edificio de consumo de energía casi nulo», esto es, que la construcción actual debe ir encaminada hacia la consecución de edificios con un nivel de eficiencia energética muy alto, el cual se determinará conforme al anexo I de dicha directiva. La cantidad casi nula o muy baja de energía demandada deberá estar cubierta en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluyendo aquella energía renovable producida in situ o aprovechando al máximo las características del entorno. Con esta premisa, algunos investigadores han realizado estudios sobre la posibilidad de construir una red de edificios de energía cero, en los cuales, la reducción de la emisiones de CO<sub>2</sub> y de consumo de energía eléctrica sea casi nula. Para ello realizan una serie de simulaciones empleando diferentes metodologías que incluyen el empleo de energías renovables, técnicas de acondicionamiento pasivo y el análisis del ciclo de vida para un desarrollo sostenible de la edificación (Deng, 2014; Kapsalaki, 2012; Sarturi, 2010).

Tratando de producir el menor daño sobre la zona de implantación del edificio, algunos autores han realizado varios estudios sobre la evaluación del impacto ambiental producido tras introducir una nueva construcción en un entorno rural y empleando energías renovables procedentes del entorno del edificio, estableciendo métodos de medida y de calificación que clasifican las actividades realizadas desde las más agresivas a las menos significativas (Gómez 2013). Otras investigaciones se han centrado en evaluar qué materiales, en relación a su coste y precio, producen una solución más efectiva desde el punto de vista energético, analizando las diferentes posibilidades que se podían llevar a cabo mediante

programas de simulación por ordenador, para posteriormente ejecutar en obra aquellas que obtenían una mejor calificación (Guedi, 210).

Para el caso de edificios ya construidos, la perspectiva cambia, pues ya no se trata de evaluar el daño producido al introducir la nueva edificación en un paisaje concreto. Ahora, nuestra actividad se limita a conocer las medidas más efectivas para cumplir los requisitos establecidos por la normativa, modificando lo menos posible el entorno existente y empleando técnicas de acondicionamiento lo más eficaces posibles, tratando que éstas provengan de un uso pasivo que no requiera de un consumo de energía externo. Algunas investigaciones se encargan del estudio climático de determinadas regiones de la unión europea, analizando las condiciones ambientales y de confort térmico humanas para establecer una relación entre las necesidades de los inquilinos y las posibilidades ofrecidas por el ambiente exterior. Con ello se han realizado diferentes propuestas para la rehabilitación energética de las fachadas de los edificios, basadas en criterios de aislamiento, orientación y empleo de materiales sostenibles, sin la ayuda de energías externas para alcanzar las condiciones exigidas de acondicionamiento (Becker, 2015; Sorsak, 2014).

Así pues, el objetivo de este trabajo, es analizar algunas de las posibles soluciones que se pueden llevar a cabo para realizar un proyecto de rehabilitación energética en un edificio ya existente. Para ello, se ha escogido una vivienda tipo de la Sierra madrileña que no ha recibido ningún tipo de intervención desde su adquisición hace casi 30 años, y se han empleado como técnicas, únicamente aquellas que aprovechen los recursos naturales existentes en la zona sin utilizar fuentes de energía externa.

## II. CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA

La vivienda objeto de este trabajo se encuentra ubicada en el madrileño pueblo de Hoyo de Manzanares. Se trata de un pueblo de la sierra con una latitud de 40,39°N y una longitud de 3.47°O, donde se encuentran claramente diferenciadas las épocas de invierno y verano. En esta última los días son más largos y los rayos del sol inciden con suficiente inclinación como para provocar altas temperaturas (Fig. 1).



Fig. 1. Sierra de Hoyo de Manzanares

La radiación solar al incidir sobre la superficie rocosa que caracteriza el entorno, hace que éste sufra un calentamiento superficial, creando un gradiente térmico que se encarga de calentar las capas superiores. Este efecto pone en marcha una serie de corrientes convectivas que tienen su efecto sobre todo en los dos primeros metros de separación de la superficie. Al tratarse de una zona continental alejada del mar, estos factores son más extremos que en la costa, apreciándose diferencias significativas ya no solo entre estaciones, sino también entre el día y la noche. Quizá si algo suaviza esas variaciones tan extremas es la gran cantidad de vegetación existente en la zona.

Los vientos también se ven influenciados por las barreras montañosas de la región, las cuales redireccionan las corrientes hacia los valles y zonas más bajas, creando así una especie de microclima interior. Al tratarse de una zona con una elevada altitud sobre el nivel del mar, la atmósfera es más nítida, por lo que el calentamiento directo del aire que se produce a través de sus partículas en suspensión es menor, sin embargo, por este mismo motivo, el porcentaje de radiación directa aumenta.

El actual Código Técnico de la Edificación en su articulado referente al Ahorro de Energía, establece una relación para cada provincia y su zona climática, en la cual se limitan la demanda energética de los edificios de nueva construcción y se marcan unas pautas para los edificios ya existentes, fijando unos mínimos. Estas limitaciones están relacionadas esencialmente con la transmitancia máxima permitida a través de los cerramientos de nuestra vivienda (Fig. 2). Así, según la clasificación ofrecida en el anexo D de dicha normativa, la zona climática que corresponde a nuestro edificio sería la D3, y por tanto, ésta es la que tomaremos como referencia para nuestros cálculos posteriores.

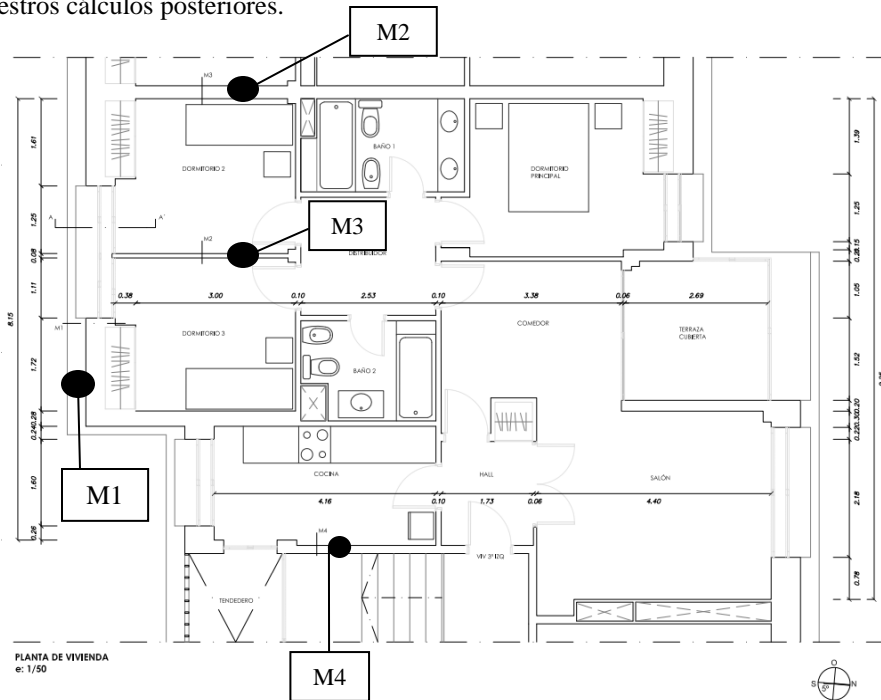


Fig. 2. Plano de la vivienda tipo y ubicación de los cerramientos

TABLA I  
Composición de los Cerramientos de Vivienda

Cerramientos Verticales		
Cerramiento		$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
M1	1/2 Pie de ladrillo métrico o cara vista	1020
	Enfoscado mortero de cemento	1525
	Cámara de aire sin ventilar	-
	A. Térmico de poliuretano expandido	37.5
	Tabique de ladrillo hueco sencillo	1000
M2	Guarnecido y enlucido de yeso	900
	1/2 Pie de ladrillo métrico	1020
	A. Térmico de poliuretano expandido	37.5
	2/2 Pie de ladrillo métrico	1020
M3	Guarnecido y enlucido de yeso	900
	Tabique de ladrillo hueco sencillo	1000
	Guarnecido y enlucido de yeso	900
M4	Guarnecido y enlucido de yeso	900
	Tabique de ladrillo hueco doble	932
	Guarnecido y enlucido de yeso	900
Cerramientos Horizontales		
Cerramiento		$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
FS <sup>1</sup>	A. Térmico de poliuretano expandido	37.5
	Forj, Unidireccional bovedilla cerámica	1110
	Guarnecido y enlucido de yeso	900
FI <sup>2</sup>	Tarima de madera de roble	660
	Cama de mortero de cemento	1525
	Forj, Unidireccional bovedilla cerámica	1110
	Guarnecido y enlucido de yeso	900

<sup>1</sup> FS: Forjado Superior, <sup>2</sup> FI: Forjado Inferior

TABLA II  
Trasmitancia térmica de los cerramientos de la vivienda

Cerramientos Verticales	
Tipo	$U_T$ [W/m <sup>2</sup> · °C]
M1	0.41
M2	0.43
M3	0.56
M4	0.59
Cerramientos Horizontales	
Tipo	$U_T$ [W/m <sup>2</sup> · °C]
FS	0.23
FI	0.53

TABLA III  
Trasmitancia térmica de los huecos de la vivienda

Ventanas exteriores	
$U_T$ [W/m <sup>2</sup> · °C]	Factor solar
1.12	0.61
Puerta de entrada	
-	-

Como se puede deducir de los datos anteriores, la base para realizar una arquitectura sostenible y acondicionar los edificios sin invertir grandes cantidades de dinero en instalaciones radica en el conocimiento, control y aprovechamiento de la energía solar térmica.

### III. ESTRATEGIAS DE ACONDICIONAMIENTO PASIVO (INVIERNO)

En las épocas más frías del año, tanto las ganancias solares como las ganancias térmicas recibidas de los aportes interiores, no son suficientes para alcanzar las temperaturas de confort requeridas por los ocupantes.

Debemos pues, tratar de aumentar las ganancias recibidas desde el exterior y disminuir las pérdidas a través de los cerramientos aplicando sistemas pasivos de calefacción. Para el caso de nuestra vivienda se proponen las siguientes soluciones.

#### A. Minimizar las pérdidas de transmisión de calor

En este apartado diferenciaremos entre dos posibles casos, tratando de manera diferente los cerramientos opacos exteriores y los huecos de ventana que dan al exterior.

Para el primer caso, cuando se trata de aislar muros exteriores, existe un principio en construcción que se puede calificar como básico para obtener un edificio energéticamente eficiente, este es, el de realizar un aislamiento térmico ininterrumpido (Fig. 3). Esta solución, empaqueta el edificio reduciendo las pérdidas de calor y minimiza los puentes térmicos.

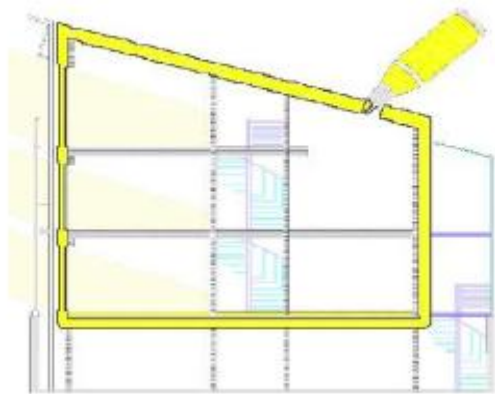


Fig. 3. Ejemplo de Aislamiento Térmico Continuo

Así pues, si somos capaces de obtener una baja transmitancia térmica a través de los cerramientos, también conseguiremos disminuir la demanda energética del edificio. En función del clima, existen estudios que demuestran, que a partir de cierto punto de inflexión, el aumento del espesor del aislante es poco relevante a la hora de disminuir las pérdidas de calor. Si bien es cierto, que cualquier disminución de temperatura que se produzca en el interior debe de ser compensada, ya que en caso contrario ésta iría descendiendo hasta alcanzar unos límites muy inferiores al confort térmico recomendado.

Teniendo en cuenta lo anterior, se proponen las siguientes medidas para nuestra vivienda:

- Como solución más económica, se recomienda el relleno de la cámara de aire en los muros exteriores con un aislamiento de lana mineral inyectada, de densidad  $70 \text{ kg/m}^3$  y conductividad térmica  $0.034 \text{ W/mK}$ .
- Sustitución del aislamiento en bajo cubierta por 12cm de lana de roca con una densidad de  $40 \text{ kg/m}^3$  y una conductividad térmica de  $0.035 \text{ W/mK}$ .
- Además, puesto que se trata de residencias de segunda ocupación, generalmente las viviendas colindantes no se encuentran habitadas en las épocas de invierno. Por ello se propone trasdosar las medianeras con un tabique de yeso laminado con un alma de 4 cm de lana de roca de densidad  $40 \text{ kg/m}^3$ .

Además, la transmisión de energía no sólo se da en los elementos generales como pueden ser las paredes y techos, por lo que también hemos de cuidar la ejecución en las esquinas, ejes, juntas...etc., a fin de evitar puentes térmicos, es decir, aquellos lugares geométricos donde el flujo de energía es más grande respecto a la superficie normal del cerramiento. Siguiendo las siguientes recomendaciones, es posible eliminar los efectos negativos que estas zonas tienen para la eficiencia total del edificio:

- No interrumpir la capa de aislamiento
- En las juntas de los elementos constructivos del edificio, la capa de aislamiento debe unirlos y rellenarlos.
- Si interrumpir la capa de aislamiento térmico es inevitable, usar un material con la resistencia térmica más alta posible.
- Los puentes térmicos también pueden minimizarse instalando las ventanas en la capa del aislamiento y cubriendo parte del marco con aislamiento térmico. Sin embargo, debido al cambio de grosor de la capa de aislamiento, es normal que quede un puente térmico en la junta entre la ventana y la pared. Los puentes térmicos reducen las temperaturas superficiales de la cara interior del muro en invierno lo cual incrementa el riesgo de formación de condensaciones.

Reducir o evitar los puentes térmicos es en general una cuestión de coste-eficiencia para reducir las pérdidas por transmisión o la transmisión de cargas de calor. Mediante la aplicación adecuada de aislamiento, como se acaba de explicar, se puede llegar a valores de la transmitancia térmica lineal por debajo de  $0.01 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

#### B. Maximizar las ganancias solares

Si nos fijamos en los huecos de ventana, tratando de responder a los criterios de ganancia solar, conservación y transmisión de calor para el clima existente en la Sierra de Madrid, será necesario mejorar la calidad del acristalamiento y marcos existentes en las ventanas actuales, las cuales desde su colocación en el año 1986 no han sufrido ninguna variación. Actualmente, éstas constan de un vidrio doble con marco de aluminio sin rotura de puente térmico, cuya transmitancia



térmica es de aproximadamente  $2.9 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Así, la estrategia para el tratamiento de las partes transparentes del edificio sería sustituir las ventanas actuales, por otras de triple acristalamiento con vidrios de baja emisividad y marcos bien aislados (Fig. 4). El coeficiente de transmisión para el conjunto de la ventana será de  $0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Con estas ventanas, se reduce algo más de la mitad las pérdidas de calor a través de los huecos, resultando un balance energético positivo, siempre y cuando, la orientación sea la adecuada y el sombreado no excesivo (Ochoa, 2012).

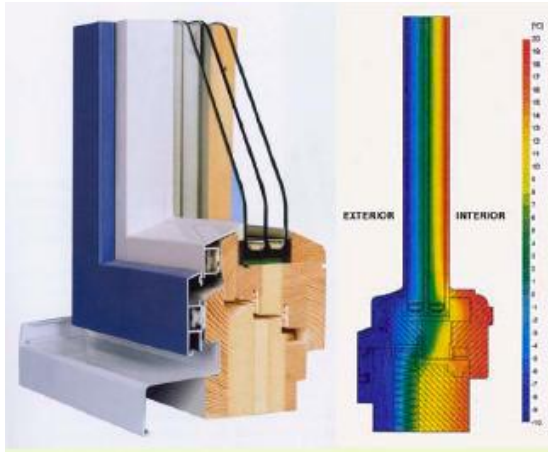


Fig. 4. Ventana de triple acristalamiento

Al tratarse de un edificio existente, no podemos intervenir sobre la orientación y el clima del edificio los cuales influyen también en los sistemas de captación directa.

*C. Estudio del soleamiento del edificio.*

El estudio sobre la colocación óptima de las ventanas en la vivienda requiere de un análisis previo del comportamiento solar en las diferentes partes del edificio. Así, se analizan los paramentos que componen la fachada y su comportamiento respecto al almacenamiento y transmisión de la energía solar térmica.

Bajo la hipótesis de trabajo de que el edificio existente debe responder correctamente, frente al sombreado producido por los edificios circundantes se deben calcular las sombras propias y arrojadas sobre nuestra vivienda a lo largo de todo el año. Una vez determinadas, se estima la necesidad de llevar a cabo un control lumínico y de deslumbramiento en los huecos de ventana, así como, las necesidades de aislamiento en los cerramientos opacos.

Mediante programas de simulación adecuados, podemos deducir el asoleo del edificio en el cual se encuentra la vivienda durante los solsticios y equinoccios a distintas horas del día. Para ello, utilizando el programa Heliódón (© Benoit Beckers y Luc Masset) se han obtenido las sombras propias y arrojadas sobre el edificio a lo largo de todo el año, como se puede observar en las figuras 5, 6 y 7.

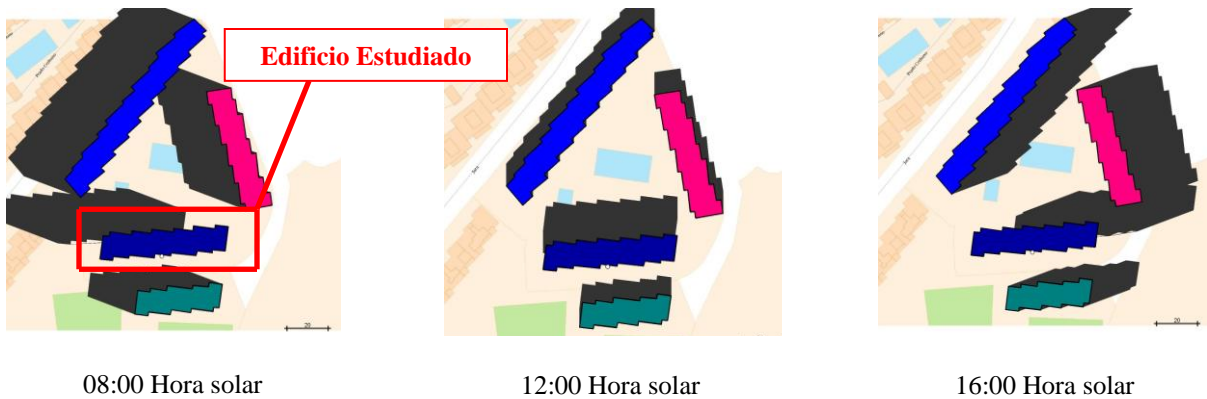


Fig. 5. Equinoccio de Primavera (21 de marzo) Otoño (21 de septiembre)

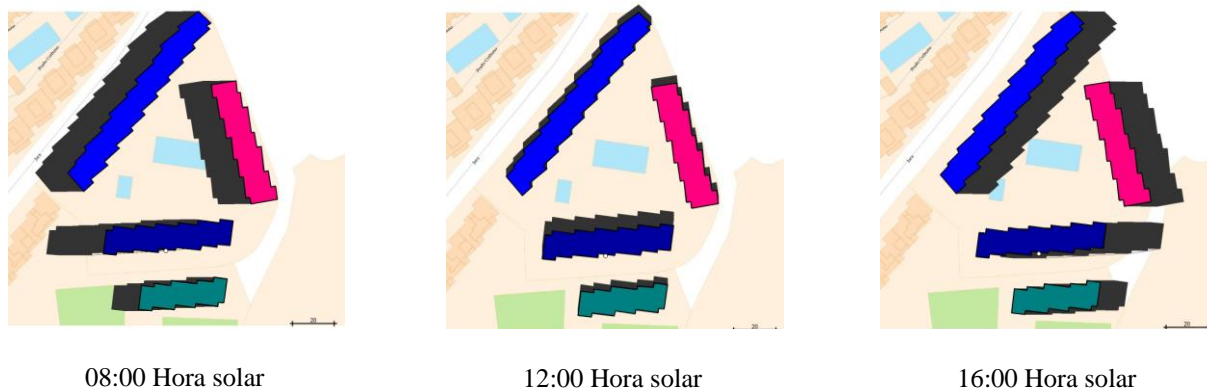


Fig. 6. Solsticio de Verano (21 de junio)

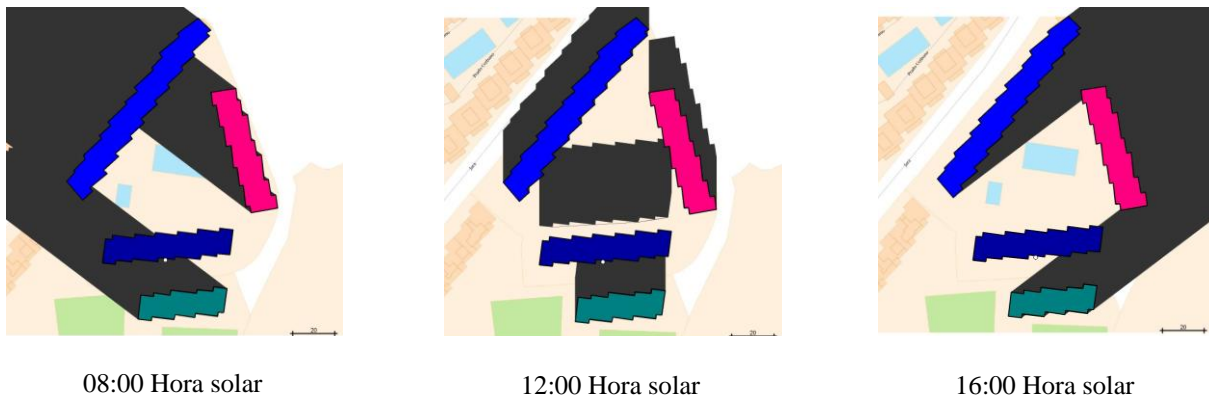


Fig. 7. Solsticio de Invierno (21 de diciembre)

De las imágenes anteriores deducimos que la fachada Sur del edificio durante las épocas de verano, primavera y otoño se encuentra expuesta a la radiación solar directa a lo largo de todo el día. En cambio, se puede ver como en invierno el edificio colindante ofrece una sombra variable sobre la misma fachada. Con esta información, estamos en condiciones de elaborar una carta solar para las fachadas Norte y Sur de nuestro edificio (Fig. 8-9).

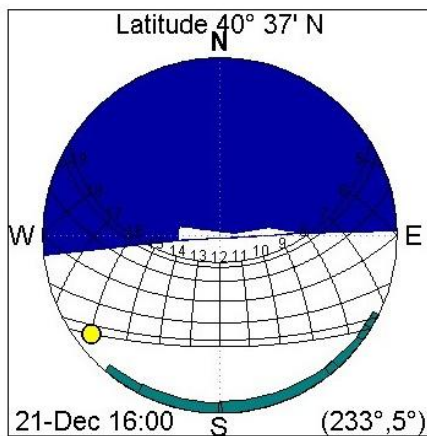


Fig. 8. Carta solar. Fachada Sur.

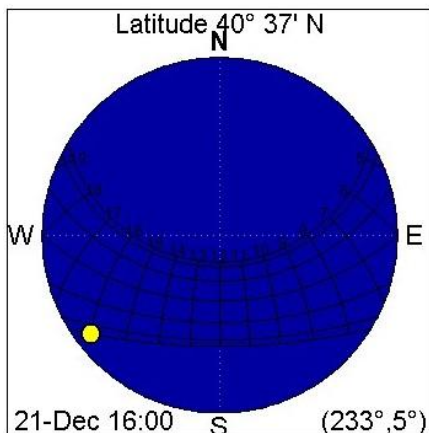


Fig. 9. Carta solar. Fachada Norte.

Como se puede deducir de las imágenes anteriores (Fig. 8-9), para nuestras latitud, la orientación Sur es la más favorable para el acristalamiento propuesto, ya que es la única en la que se obtienen mayores ganancias en invierno que en verano. En cambio, las orientaciones más pésimas para este fin son las Este y Oeste.

#### IV. ESTRATEGIAS DE ACONDICIONAMIENTO PASIVO (VERANO)

Hay tres fuentes principales de calor en verano no deseadas: las ganancias directas solares en un edificio, por las ventanas; la transmisión de calor y la infiltración de las altas temperaturas del exterior, a través de los materiales y elementos de la estructura, y los aportes interiores producidos por los aparatos, equipos, y los habitantes.

De los tres, el primero es potencialmente el mayor problema, pero generalmente es el más fácil de controlar.

El sobrecalentamiento es un fenómeno que se produce al transformarse, en un espacio cerrado, la energía solar incidente, en energía térmica. Este fenómeno provoca que en los edificios expuestos a la radiación solar se alcancen en su interior temperaturas bastante más elevadas que las temperaturas exteriores. Así pues, las estrategias bioclimáticas en condiciones de verano en clima continental templado se pueden agrupar en: Actuaciones directas sobre el control de la radiación solar y actuaciones indirectas de refrigeración pasiva.

##### A. Control sobre las ganancias de Radiación Solar.

Si se tratase de un proyecto de obra nueva, lo primero que deberíamos hacer sería estudiar las posibles medidas preventivas antes de diseñar todos los elementos constructivos (cubiertas, cerramientos, vidrios, color de las fachadas...etc.) pensando en sus implicaciones energéticas. Es mucho más sencillo, impedir el sobrecalentamiento que intentar eliminarlo una vez construido el edificio.

Además, muchos principios y técnicas de calefacción solar pasiva son adaptables a un enfriamiento pasivo. El aislamiento que impide la pérdida de calor en el invierno también servirá para retrasar la ganancia de calor durante el verano.

Las protecciones solares fijas tienen la ventaja de que necesitan poco mantenimiento, y al no poder ser manipuladas, evitan la posibilidad de ser mal utilizadas. Por el contrario, exigen de un dimensionado algo más detallado, para que arrojen sombra únicamente en verano.

En ocasiones, consisten en extensiones de la propia cubierta, otras veces, consisten en elementos a parte, situados en las partes altas de las fachadas. Generalmente son opacos y su dimensión depende de la radiación solar incidente. Los aleros y voladizos horizontales tienen más efecto en las fachadas Norte y Sur que en las fachas Este y Oeste, donde se emplea más la protección vertical por el recorrido del sol.

En el caso de nuestra vivienda, una protección solar horizontal o un alero encima de las ventanas de la fachada Sur es una solución económica y eficaz. La proyección del voladizo será adecuada si la ventana tiene el 100% de sombra al mediodía en verano. Si sobresale la mitad de la altura total de la ventana, protegerá el hueco acristalado desde principios de mayo hasta la mitad del mes de agosto, permitiendo en cambio, la entrada de radiación solar en invierno.

A través de un programa de simulación, introduciendo los valores de latitud, orientación, altura de ventana y longitud del voladizo, se han obtenido los resultados de la radiación solar entrante a través de nuestra ventana (Fig. 10-11)

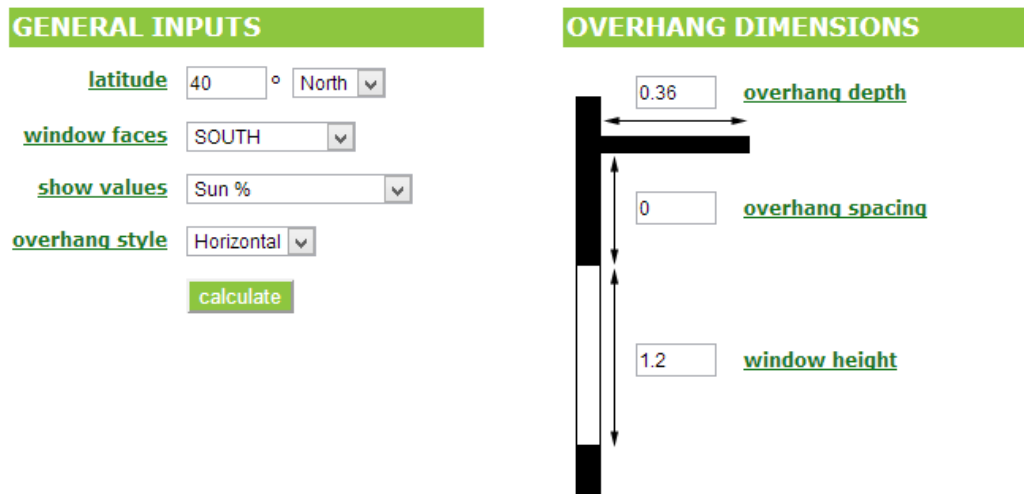


Fig. 10. Diseño del Brise-Soleil para la vivienda tipo

								TARDE								
	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	
Ene				93%	88%	85%	84%	83%	84%	85%	88%	93%				Ene
Feb			95%	86%	81%	79%	78%	77%	77%	79%	81%	85%	95%			Feb
Mar			74%	69%	68%	67%	67%	67%	67%	67%	68%	69%	73%			Mar
Abr			0%	23%	40%	46%	48%	49%	48%	45%	39%	22%	0%			Abr
May				0%	0%	10%	20%	22%	20%	10%	0%	0%				May
Jun					0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%					Jun
Jul				0%	0%	0%	6%	10%	6%	0%	0%	0%				Jul
Ago				0%	19%	32%	37%	38%	37%	32%	20%	0%				Ago
Sep			44%	55%	58%	59%	60%	60%	60%	59%	58%	56%	45%			Sep
Oct			89%	80%	76%	75%	74%	73%	74%	75%	77%	80%	89%			Oct
Nov				91%	86%	83%	82%	82%	82%	83%	86%	91%				Nov
Dic				95%	90%	87%	85%	85%	85%	87%	90%	95%				Dic
	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	
								TARDE								

Fig. 11. Resultados de la radiación solar entrante a través de la ventana (%)

De lo anterior se deduce que la protección solar más adecuada para las ventanas de la fachada Sur sería un Brise-soleil de 0.36 m de longitud.

En la tabla podemos ver que la protección diseñada impide la entrada de radiación solar en los meses de verano, y la favorece en los meses de invierno.

### B. Actuaciones de refrigeración pasiva.

Con estas técnicas se pretende eliminar (o por lo menos reducir), el uso de los actuales refrigeradores mecánicos, reduciendo así el consumo de energía que actualmente se malgasta con estos equipos.

Los sistemas de refrigeración pasiva, se basan en la interacción del edificio con su entorno. Para que ésta sea efectiva, se deben de estudiar previamente al diseño del edificio, los vientos y el clima de la zona donde realizaremos la construcción. Así, se puede aprovechar al máximo la ventilación natural existente en la región.

Debemos tener en cuenta los siguientes aspectos a la hora de estudiar la ventilación natural en un edificio:

- El objeto principal de la ventilación (CTE DB-HS) es mantener la calidad del aire interior, reemplazando el aire viciado por otro más limpio.
- Se trata de evitar el exceso de calor soportado por el cuerpo, luego debe primar en las estancias que vayan a tener mayor índice de ocupación.
- La ventilación se produce exclusivamente por acción del viento o por la existencia de un gradiente de temperaturas entre los puntos de entrada y salida del aire fresco.

En general, todos los edificios intercambian aire con el exterior, inclusive cuando sus aberturas se encuentren cerradas. Esto se debe a que sus componentes constructivos tienen numerosos poros y fisuras, en ocasiones microscópicos, que permiten que el aire pase a través de ellos. Esto da lugar a un fenómeno que se conoce como infiltración, es decir, ventilación no controlada.

Sin embargo, conseguir una ventilación eficiente, además de un adecuado conocimiento de las condiciones climáticas de la zona, exige un estudio cuidadoso de la orientación, tamaño y ubicación de los huecos exteriores. No por colocar ventanas de mayor tamaño garantizaremos una ventilación más eficiente.

Para el caso de nuestra vivienda ya construida, si tratamos de seguir las pautas indicadas, la ventilación más efectiva sería la que se muestra en la Fig. 12.



Fig. 12. Esquema de ventilación

Como se puede ver en el esquema, se trata de un tipo de ventilación cruzada, donde el aire fluye desde la zona de vientos dominante de la Sierra (Norte de la vivienda), hacia la zona donde la presión del aire es menor (fachada Sur). Con este tipo de ventilación, se minimizan los consumos energéticos y se favorece la ventilación natural, aprovechando al máximo los recursos climáticos de la zona y reduciendo el gasto en equipos secundarios.

## V. RESULTADOS

El programa elegido para realizar la certificación energética de nuestro edificio, es el propuesto por el ministerio de industria, este es, CE3X. Con esta herramienta, podemos realizar la certificación de edificios existentes de una manera rápida y sencilla, si conocemos los parámetros de transmitancia térmica, soleamiento, e instalaciones que definen nuestro edificio. Este programa se adapta a las diferentes posibilidades que pueden darse al introducir los datos de partida y obliga al técnico certificador a proponer unas medidas de mejora, que permitan un ahorro energético de forma económica con respecto al estado actual.

Así pues, los resultados muestran tanto el estado inicial de la vivienda antes de ser acondicionado, y el estado que presenta una vez tomadas las medidas indicadas en este trabajo, en el podemos ver la variación global en la calificación energética obtenida (Fig. 13-14).

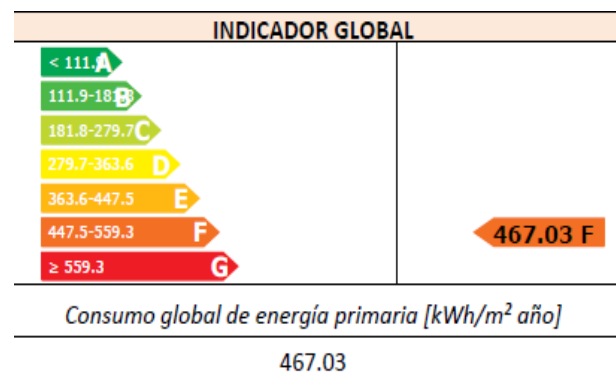


Fig. 13. Estado inicial de la vivienda

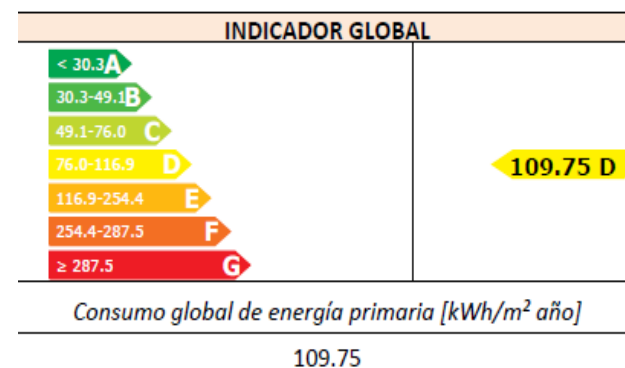


Fig. 13. Estado reformado de la vivienda



Como se puede ver, se ha obtenido una mejora significativa respecto al estado actual de consumo de energía, empleando únicamente técnicas de acondicionamiento pasivas.

## VI. CONCLUSIONES

Los sistemas pasivos poseen la ventaja de ser más duraderos, sencillos y requerir menos operaciones de mantenimiento. Sin embargo, al ir integrados en el propio edificio, existe la dificultad de medir la aportación de carga térmica de forma directa, sino que ésta debe hacerse comparando los consumos de los edificios estudiados con aquellos edificios que los programas de calificación energética tienen como referencia.

Así pues, es posible reducir los consumos de energía actuales empleando técnicas de acondicionamiento pasivo y así mejorar la certificación energética de un edificio.

## VII. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Universidad Politécnica de Madrid mediante el proyecto IE1415-54005.

## REFERENCIAS

- Becker, S, Frew, B, Andresem, G, et al. (2015). *Renewable build-up pathways for the US: Generation costs are not system costs*. Energy, 81 (pp. 437-445).
- CTE. *Código Técnico de la Edificación*. REAL DECRETO 314/2006, de 17 de MAR, de la Presidencia del Gobierno. B.O.E.: 28-MAR-2006. n° 74.
- Deng, S, Wang, RZ & Dai, YJ. (2014). *How to evaluate performance of net zero energy building*. Energy, 71 (pp. 1- 16).

- DIRECTIVA 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios
- Gómez Orea, D & Gómez Villarino, M. T. (2013). *Evaluación de impacto ambiental*. España, Ediciones Mundi-Prensa. 3º Edición.
- Guedi, I & Ochoa, C. (2014). *Simulation-based method to determine climatic energy strategies of an adaptable building retrofit façade system*. Energy, 76 (pp. 375-384).
- Kapsalaki M, Leal V, Santamouris M. A (2012) *methodology for economic efficient design of Net Zero Energy Buildings*. Energy Build 55:765e78
- Mills A, Wiser R. (2010) *Implications of wide-area geographic diversity for shortterm variability of solar power*. Tech. Rep. Lawrence Berkeley National Laboratory;
- NBE – CT – 79. *Norma Básica de la Edificación sobre Condiciones Térmicas de los Edificios*. REAL DECRETO 2429/1979, de 6-JUL, de la Presidencia del Gobierno. B.O.E.: 22-OCT-79, (Derogada)
- Ochoa CE, Aries MBC, van Loenen EJ, Hensen JLM. (2012) *Considerations on design optimization criteria for windows providing low energy consumption and high visual comfort*. Appl Energy, 95:238e45.
- RITE. *Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios*. Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, de la Presidencia del Gobierno. B.O.E. del 28 de febrero de 2008.
- Sartori I, Geier S, Lollini R, Athienitis A, Pagliano L. *Comfort and energy efficiency recommendations for net zero energy buildings*. In: EuroSun 2010-p.1. International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings; 2010. p. 1.
- Sorsak, M, Zegarac, V, Premrow, M, Psunder, I et al. (2014). *Economical optimization of energy-efficient timber buildings: Case study for single family timber house in Slovenia*. Energy, 77 (pp. 57- 65).
- Yang L, Wan KKW, Li DHW, Lam JC. (2011) *A new method to develop typical weather years in different climates for building energy use studies*. Energy 36: 6121e9