

Arquitectura solar pasiva

Ahorro energético en calefacción



M. VILLARRUBIA
y L. JUTGLAR
Facultad de Física.
Universidad de Barcelona

Foto 1. Vivienda objeto del estudio experimental de optimización energética



1. Introducción

En el marco del programa Monitor desarrollado por la Comunidad Europea durante los últimos años, se han llevado a cabo diversos estudios de implantación y seguimiento de proyectos de arquitectura solar pasiva con el objeto de obtener unas condiciones adecuadas de confort con el mínimo consumo energético.

En el presente artículo se presenta el caso de una vivienda unifamiliar experimental, térmicamente optimizada, situada en la zona de Oporto (Portugal) y cuyo seguimiento durante varios años ha demostrado la eficacia de la incorporación de las técnicas de la arquitectura solar pasiva a la contribución de los ahorros energéticos en el sector de la vivienda.

2. Objetivo del proyecto

El objetivo de este proyecto ha consistido en el diseño y estudio energético de una típica vivienda unifamiliar de 150 m² concebida para ser construida aislada o bien integrada en un conjunto de casas pareadas. Se pretende que el diseño arquitectónico desde el punto de vista energético permita que la casa mantenga un aceptable nivel de confort tanto en invierno como en verano, reduciendo al máximo el consumo de combustible en calefacción, así como el uso de sistemas de ventilación y refrigeración activos, objetivos asumibles por las condiciones climáticas de la zona.

En la foto 1 se muestra una casa, en la que pueden observarse las superficies acristaladas de la planta baja y las paredes Trombe del primer piso, así como los paneles solares colocados en el tejado para la producción de agua caliente sanitaria. La figura 1 presenta un perfil del alzado con orientación norte-sur y en la figura 2 se muestra la distribución en planta de la planta baja y primer piso.

3. Características del diseño con el objetivo de ahorro energético

El diseño de la construcción presenta las siguientes características a fin de obtener el máximo ahorro de energía:

a) Orientación: las habitaciones se orientan hacia el sur, existiendo

sólo dos pequeñas ventanas en la cara norte (Figs. 1, 2 y 3).

b) Sombras: a fin de proteger la casa frente a las ganancias solares de verano, se dota el edificio de los adecuados aleros, voladizos y contraventanas, diseñados de tal manera que permitan la captación de la radiación solar en invierno e impidan su acceso en verano (Fig. 4).

c) Aislamiento: la casa posee aislamiento exterior, las ventanas son de carpintería de madera y están dotadas de doble cristal y burletes anti-infiltración de aire. En la cara norte se coloca un terraplén ajardinado de tierra que actúa como abrigo o protección térmica.

d) Almacenamiento de calor: a fin de aumentar la inercia térmica, la casa se construye con materiales de alta densidad y a su vez la capacidad de almacenamiento térmico se aumenta mediante la colocación de tubos verticales llenos de agua, muros Trombe y chimenea central (Fig. 4, fotos, 2 y 3).

e) Ventilación natural: sistema de ventilación situado en la cara norte a fin de facilitar ventilación cruzada o transversal.

f) Iluminación: durante el día a través de superficies translúcidas (lucernarias) situadas en el tejado para facilitar la iluminación de escaleras, pasillos y comedor-sala de estar.

g) Agua caliente sanitaria: a través de paneles solares colocados en el tejado de la casa.

4. Características técnicas, energéticas y climatológicas del proyecto

El proyecto se ubica en las proximidades de Oporto (costa atlántica portuguesa) con un clima seco y soleado en verano, suavizado por la proximidad del mar, y templado y húmedo en invierno. Las características técnicas, energéticas y climatológicas del proyecto se muestran en la Tabla I.

5. Características constructivas

La casa está edificada sobre una elevación artificial del terreno

Fig.1. Perfil del alzado de la construcción perfectamente orientada hacia el sur

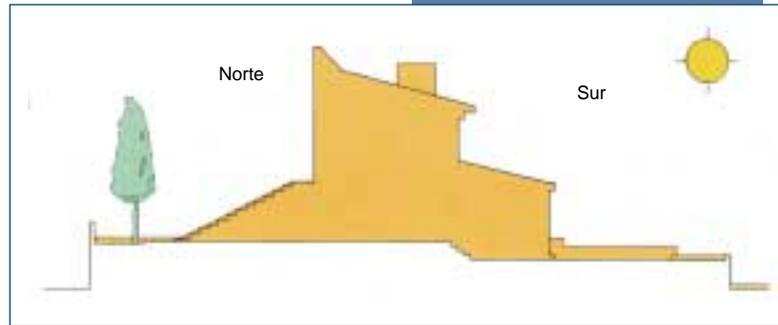


Fig.2. Alzado de la edificación. Fachada sur y norte

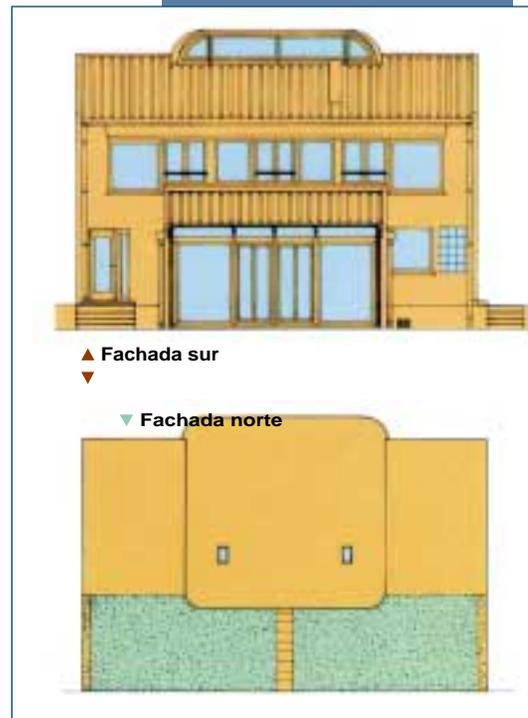
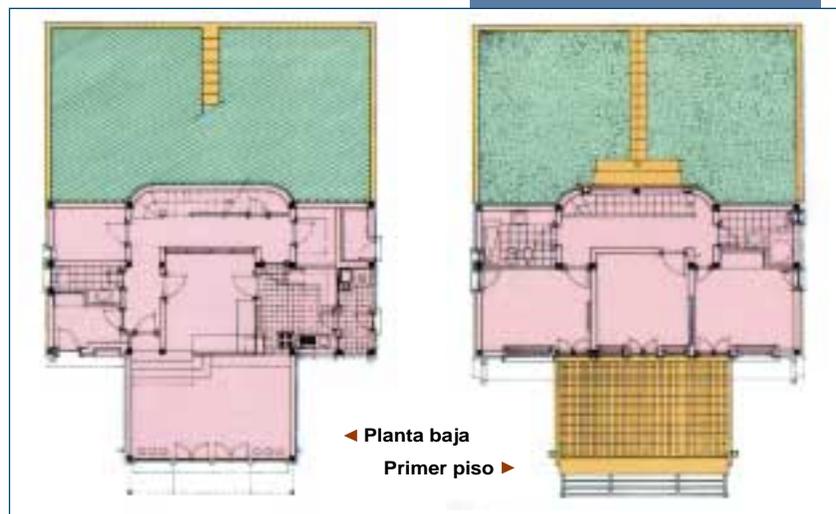


Fig.3. Distribución en planta de la planta baja y primer piso



de un metro de altura sobre el nivel circundante. Orientada hacia el sur, presentando sólo dos pequeñas ventanas de ventilación en su cara norte. Las habitaciones principales se sitúan en la parte central, dejando a los lados de las mismas las áreas de servicios con lo que se crea una zona de circulación alrededor de las estancias principales. Así mismo, en el centro de la casa se sitúa una chimenea de salida de humos del hogar de leña del salón.

La estructura es de hormigón prefabricado. Tanto las paredes interiores como exteriores son de

bloques de hormigón de 200 mm de espesor. Las paredes exteriores, incluidas la columnas, están aisladas por su parte exterior con un espesor de 50 mm de poliestireno expandido y revocadas por su cara exterior con mezcla de cemento y arena. Los techos de las habitaciones también están provistos del mismo espesor de aislamiento.

El suelo está constituido por una losa de hormigón de 150 mm de espesor con un aislamiento de 25 mm situado en su cara inferior. La primera planta es de hormigón prefabricado. El tejado está aca-

Fig.4. Diseño solar pasivo: modos de operación en temporada de calefacción y de refrigeración

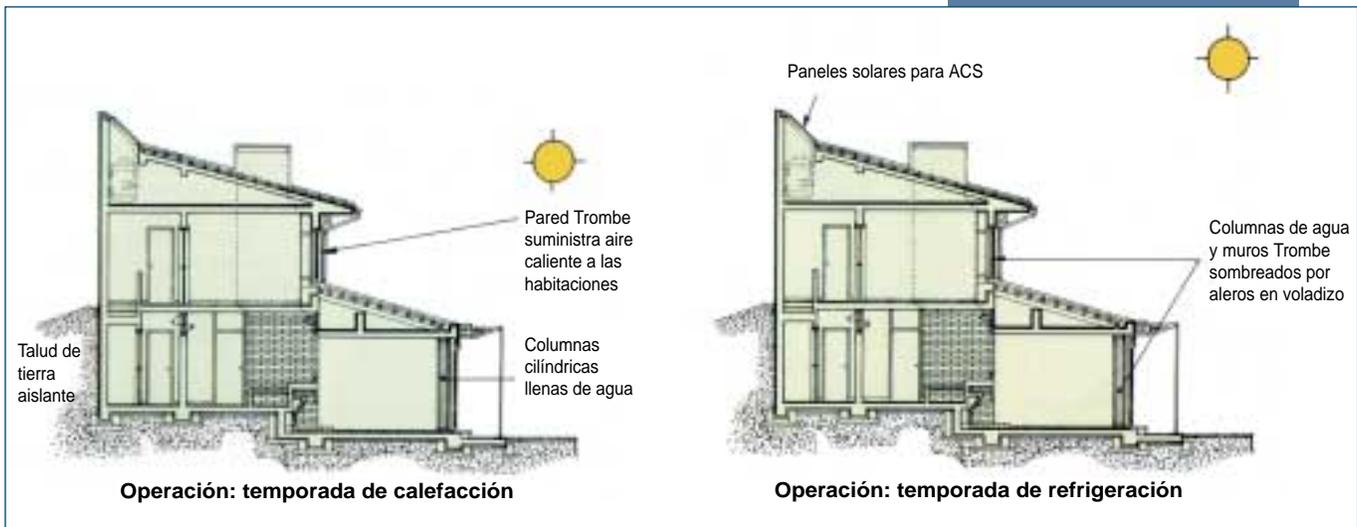
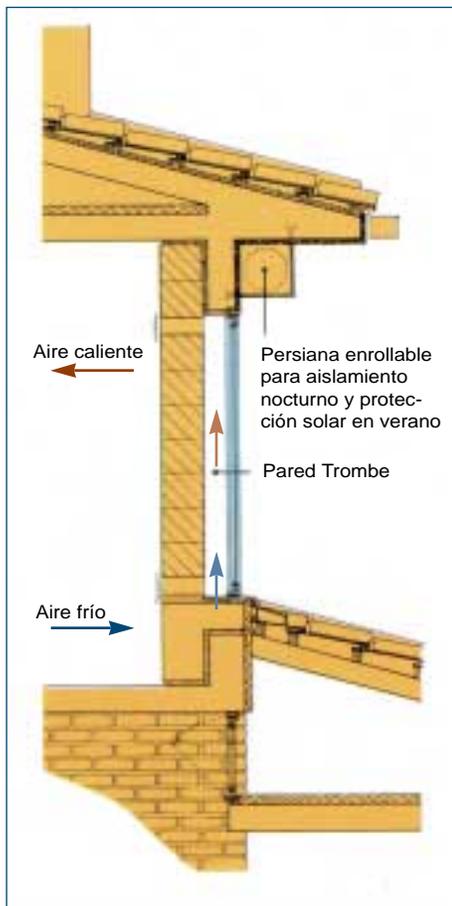


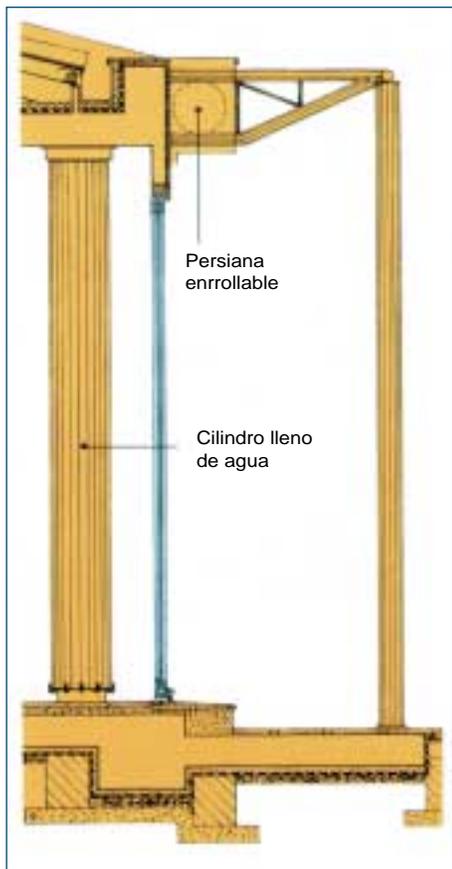
Foto 2. Aspecto exterior de la fachada sur. En el primer piso pueden observarse las paredes Trombe y en la planta baja la superficie acristalada

Foto 3. Vista interior de la sala de estar. A la izquierda pueden observarse tres de las seis columnas llenas de agua





▲ Fig. 5. Sección transversal de la pared Trombe (primer piso). En el interior de la habitación dos aberturas situadas en la parte superior e inferior facilitan la circulación de aire caliente



◀ Fig. 6. Sección transversal de la cara sur de la sala de estar (planta baja), donde se muestra el cilindro lleno de agua

Tabla I
Características técnicas, energéticas y climatológicas del proyecto

Edificación

- Volumen: 326 m³
- Superficie total en planta: 145 m²
- Superficie de tejado: 96 m²
- Superficie de cerramiento exteriores (sin ventanas): 164 m²
- Superficie de ventanas: 20 m² (orientadas al sur 16.2 m²)
- Muros Trombe: 7.5 m²

Características térmicas

- Coeficiente de transmisión de calor U (W/m² K)
- Tejado: 0,4
- Suelo: 0,95
- Paredes exteriores: 0,6
- Ventanas: 3,1 (sin persiana), 2,3 (con persiana)
- Coeficiente global medio del edificio. U = 0,71 W/m² K
- Coeficiente global de pérdidas: 330 W/K
- Tasa de infiltración: 0,3 a 0,9
- Temperatura exterior de diseño para calefacción: -1°C
- Superficie a calefactar: 70 m²
- Volumen a calefactar: 176 m³
- Carga térmica anual neta: 96 kWh/m² año (0,35 GJ/m² año)

Situación y condiciones climáticas

- Altitud: nivel del mar (0 m)
- Latitud: 41,1 N Longitud: 8,7° W
- Temperatura media: enero 8,5°C julio 20,5°C
- Grados día (base 18): 1.615
- Irradiación solar global (sobre superficie horizontal): 5.312 MJ/m²
- Insolación anual (número de horas de sol anuales): 2.667

bado por teja roja y todas las ventanas van provistas de doble cristal.

6. Diseño solar pasivo

Dado que el objetivo del proyecto es prescindir al máximo de sistemas de calefacción convencionales, la edificación se concibe aplicando los principios del diseño solar pasivo a fin de aprovechar todas las ganancias solares directas y las indirectas mediante la instalación de paredes Trombe (Fig. 5), en cada una de las tres habitaciones orientadas al sur y la incorporación de un sistema de almacenamiento térmico.

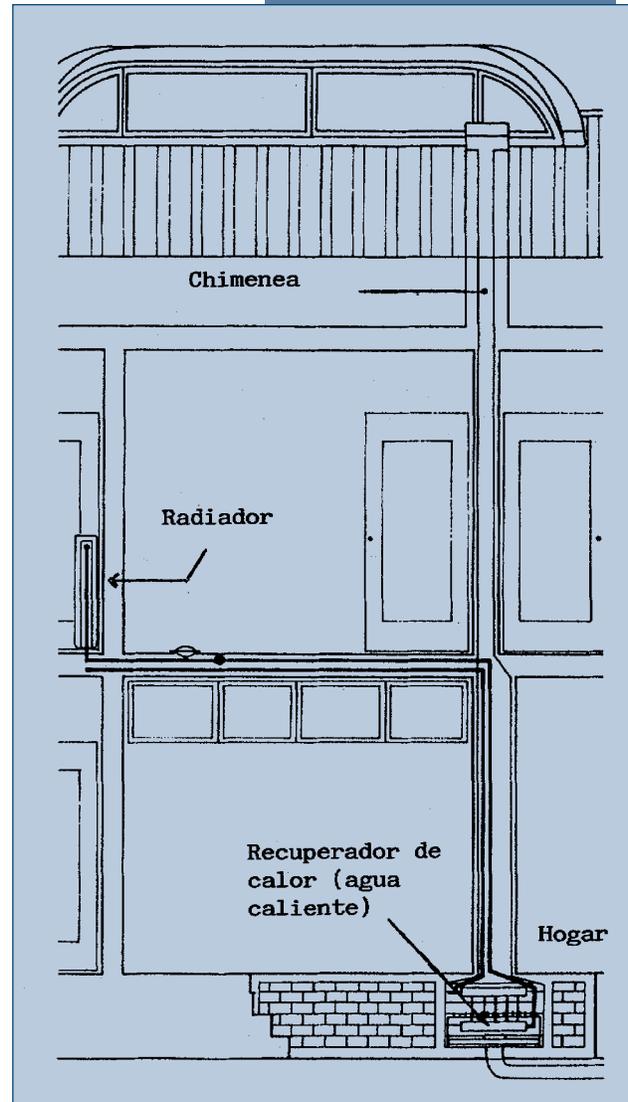
Las ganancias directas se consiguen a través de los $16,2 \text{ m}^2$ de superficie acristalada de ventanas (orientadas al sur) que corresponden a $12,2 \text{ m}^2$ de ventanal de salón y 4 m^2 a las habitaciones. Las ganancias se aumentan colocando una pavimentación en la terraza de color claro y superficie poco rugosa a fin de favorecer la reflexión solar sobre las superficies vidriadas.

Cada dormitorio tiene $1,3 \text{ m}^2$ de superficie acristalada de ventana y $2,5 \text{ m}^2$ de muro Trombe a fin de aumentar las ganancias energéticas y elevar la temperatura ambiente y de paredes radiantes durante el periodo nocturno.

La pared Trombe está construida por bloques de hormigón prefabricado de 300 mm de espesor con doble cristal y cámara de aire de 50 mm. Está provista de ventiladores en sus partes superior e inferior para favorecer la circulación del aire y dotada con persiana enrollable para proveer sombra en verano y evitar las pérdidas de calor durante los periodos nocturnos en invierno (Fig. 5).

Con carácter experimental y a fin de estudiar su comportamiento sobre la inercia térmica del edificio, se han instalado seis columnas cilíndricas de fibra de vidrio de 250 mm de diámetro, conteniendo cada una de ellas 180 litros de agua. Se han colocado en la sala de estar, situadas en los laterales del ventanal, tres a cada lado del mismo. Estas columnas

Fig.7. Disposición del hogar en sala de estar y sistema de calefacción por agua caliente y recuperación de calor de chimenea



absorben la radiación solar incidente sobre las mismas, para liberar posteriormente el calor captado durante las horas nocturnas (Fig. 6).

Para favorecer las condiciones de refrigeración de la casa durante la temporada de verano se evitan las ganancias solares, proyectando adecuadamente los aleros voladizos, de forma que su sombra proyectada sobre la fachada consiga proteger a la misma de la radiación solar directa. Además las ventanas se protegen exteriormente mediante persianas enrollables e interiormente se favorece la circulación del aire mediante la adecuada disposición de puertas y ventanas y ventiladores colocados en la cara norte.

7. Sistemas de calefacción de apoyo

El principal sistema de calefacción de apoyo lo constituye el hogar situado en el salón de la vivienda (Fig. 7). Está dotado de un sistema de recuperación de calor que genera agua caliente que alimenta a los radiadores de calefacción de las habitaciones de la primera planta. La convección es forzada a través de una bomba de agua de impulsión. Además la chimenea se ha proyectado de forma que su trazada discorra verticalmente por el centro de la casa a fin de aprovechar el calor latente de humos antes de su expulsión al exterior.

El sistema de calefacción se complementa con radiadores o calefactores eléctricos situados en cada una de las habitaciones principales con una potencia unitaria de 1,5 kW. Su uso está previsto para la cobertura de puntas de demanda de calor cuando el hogar no está en funcionamiento.

El agua caliente sanitaria (ACS) se suministra a través de paneles solares situados en el tejado, y sus puntas de demanda o períodos sin suficiente radiación solar se cubren con un calentador eléctrico.

8. Programa experimental de operación y resultados obtenidos

La monitorización de la casa permite medir en continuo (cada hora), a través de un conjunto de sensores, las siguientes variables:

- Temperatura de cada habitación.
- Condiciones ambientales exteriores (temperatura, humedad, viento, radiación solar).
- Consumo energético y tipo de uso del mismo.

El programa de experimentación ha consistido en el estudio de dos períodos invernales. En el primero de ellos se ha estudiado la casa en régimen de temperatura libre flotante (es decir sin aporte de

Fig.8. Irradiación solar diaria (media mensual) sobre la superficie horizontal y temperaturas medias mensuales correspondientes al emplazamiento de la vivienda

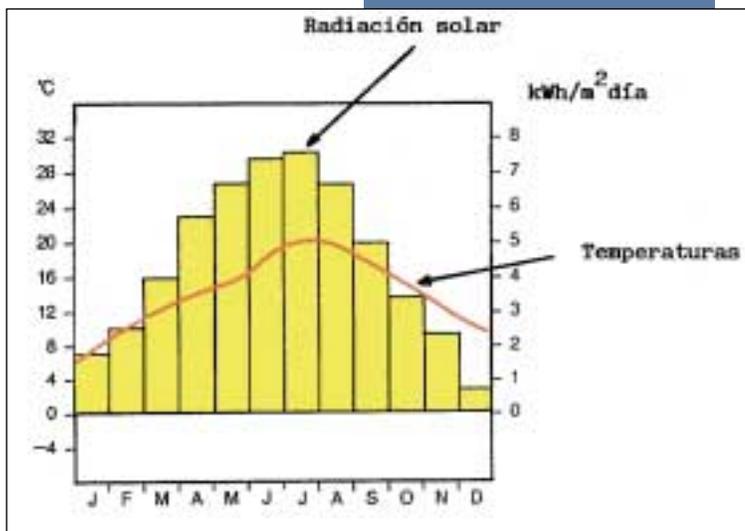


Fig.9. Demanda mensual de energía para calefacción y cobertura solar junto con energía auxiliar de apoyo

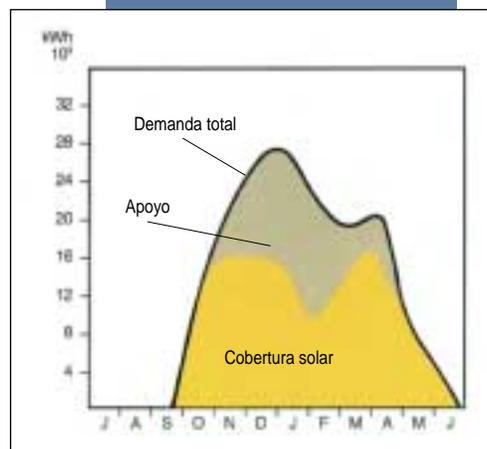
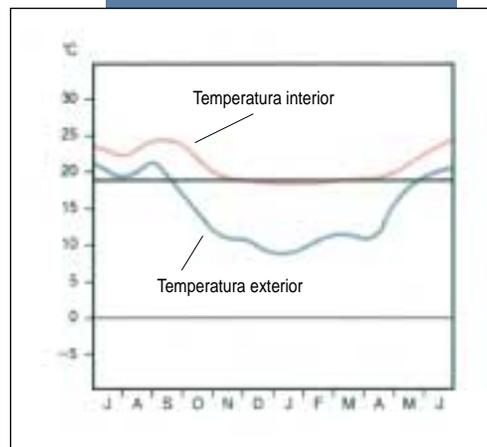


Fig.10. Variación de la media mensual de las temperaturas interior y exterior de la vivienda





energía de apoyo de ningún tipo) y en el segundo invierno se ha termostatizado toda la vivienda a 18°C) aportando la correspondiente energía de apoyo, en su caso, para mantener estas condiciones interiores.

Los resultados obtenidos se pueden resumir en los siguientes puntos:

a) Durante el primer período invernal (sin energía de apoyo) la temperatura media más baja alcanzada en el interior de la vivienda fue de 15°C durante el mes más frío (enero), alcanzándose la temperatura mínima de 13°C durante sólo 35 horas en ese mes. En la figura 8 se muestra la variación en media mensual de la irradiación solar diaria sobre la superficie horizontal y la temperatura media exterior.

b) En el segundo invierno (casa termostatizada a 18°C) la energía solar aportó el 45% de la demanda de calefacción. El invierno considerado resultó algo más severo que el correspondiente al valor medio climático (un número de grados-día un 6% mayor y una radiación solar un 9% menor que la correspondiente a la media).

c) Comparando esta casa experimental con una convencional de las mismas características y ubicación, resulta un ahorro de un 73% de energía destinada a calefacción. En la figura 9 se muestra la variación mensual de la demanda total de energía de calefacción, la cobertura solar y la energía de apoyo. En la figura 10 se presenta la variación de la temperatura exterior e interior de la vivienda durante el período de tiempo estudiado.

La distribución de consumos energéticos de la vivienda es:

- Calefacción: 3.085 kW (36%).
- Consumo equipamiento doméstico: 4.178 kWh (49 %).
- Iluminación: 729 kWh (9 %).
- Agua caliente sanitaria: 513 kWh (6 %).

d) Las paredes Trombe demostraron ser muy efectivas, mientras que las columnas cilíndricas llenas de agua apenas introdujeron mejoras apreciables, por lo que su inclusión en futuros proyectos es muy cuestionable.

