

## Proyecto de un muro acristalado como elemento regulador de la temperatura interior en verano y en invierno

En este artículo se desarrollan los trabajos que dieron lugar al proyecto y construcción de un sistema de acondicionamiento bioclimático basado, fundamentalmente, en el funcionamiento selectivo de uno de sus muros de cerramiento. Este muro, junto con el resto del sistema de acondicionamiento preciso para su adecuado funcionamiento, forma parte de la ampliación del Colegio Santa María en la ciudad de Toledo.

El cerramiento en cuestión coincide en muchos aspectos con la concepción típica de un muro trombe complementado con una chimenea de ventilación y un sistema de rejillas diferente del clásico. Estas modificaciones se han introducido para potenciar su funcionamiento en condiciones de verano. Para optimizar su capacidad de captación está orientado al sur, si bien, por exigencias constructivas evidentes es vertical y no inclinado, como sería su posición energética óptima. Su dimensión es la máxima posible; es decir, ocupa la totalidad de las dos alturas que tiene el edificio, excepto un zócalo de protección para el acristalamiento y toda su anchura (Fig. 1). El vidrio utilizado es de 6 mm sobre carpintería fija de aluminio lacada en negro, con el junquillo por el exterior para permitir su sustitución en caso de roturas. La cámara de aire es de 10 cm, separación adecua-

da para permitir un flujo de aire que provoque la convección entre el muro y el aire. El muro es de 24 cm de ladrillo macizo, con las llagas enrasadas y pintado con pintura negra antirreflexiva. Este espesor permite un desfase de la onda térmica adecuado a las necesidades de uso del edificio, como más adelante se expondrá. El valor de este desfase es el siguiente:

$$d = \frac{T}{2} \cdot \left[ \frac{\delta \cdot C_e}{\pi \cdot 1 \cdot T} \right]^{1/2} \cdot L \text{ (horas)}$$

$$d = \frac{24}{2} \cdot \left[ \frac{1800 \cdot 0,23}{\pi \cdot 0,87 \cdot 24} \right]^{1/2} \cdot 24 =$$

$$= 7,23 \text{ h (7h 13 minutos)}$$

El muro, al ocupar ambas plantas del edificio, forma un todo, compartiendo la cámara de aire y siendo monolítico en cuanto a la fábrica. Sin embargo, su comportamiento es diferente según se trate de la planta superior (planta alta) o de la planta inferior (planta baja). Esto es debido a que los usos de ambas plantas son diferentes y precisan de tratamientos distintos (Fig. 2).

En la planta alta hay aulas y, por tanto, se usan durante la mañana y las primeras horas de la tarde (de 9:00 a 17:00 horas); durante la ma-

CESAR BEDOYA FRUTOS  
JAVIER MEILA GONZALEZ  
RAQUEL PUENTE GARCIA  
E.T.S. Arquitectura.  
Madrid



por parte de esas horas, y a lo largo de todo el año, el sol incide sobre la fachada, lo que provoca el calentamiento del muro y el clásico efecto invernadero calentando el aire de la cámara. Para utilizar este aire, el muro lleva unas rejillas en la disposición clásica de los muros trombe: en la parte superior e inferior de la pared. Sin embargo, por tratarse de un muro que abarca dos plantas, la posición de las rejillas descritas es la que corresponde a la visión desde dentro del aula de la planta superior; por tanto, la rejilla inferior se encuentra a media altura del muro trombe cuando se observa desde el exterior (Fig. 3). Esto no afecta al buen funcionamiento del muro ya que el aire calentado por la totalidad del muro siempre tiene tendencia a ascender y penetrar en el edificio por la rejilla superior y nunca se produce una involución por la rejilla inferior.

Por otro lado, la planta baja es una sala multifuncional con uso a partir de las 16:00 horas. Dado que a esa hora ya no incide el sol sobre la fachada el aporte debe alcanzarse a través del calor acumulado en el muro a lo largo del día. Teniendo en cuenta que el sol comienza a incidir sobre esa fachada en el invierno hacia las 8:00 horas, debido, tanto a la altura solar, como a las obstrucciones, y que el desfase calculado anteriormente es de 7 horas y 13 minutos, el calor acumulado empieza a penetrar en el local a las 15:00 horas aproximadamente, lo que permite tener ya caldeado el local una hora después, que es cuando comienza su ocupación. Dado este funcionamiento, en el sector del muro situado en la planta baja, la pared no tiene ninguna rejilla abierta durante la época invernal (Fig. 3).

El comportamiento de un muro de este tipo en verano se basa, tanto en evitar que penetre aire caliente al interior de los locales, para lo que se cierran las rejillas superiores, como en eliminar el aire sobrecalentado en la cámara, conectándola con el exterior, y en la protección diurna de la superficie del muro para evitar su calentamiento por la radiación solar. El sistema dispuesto en este edificio aplica los conceptos

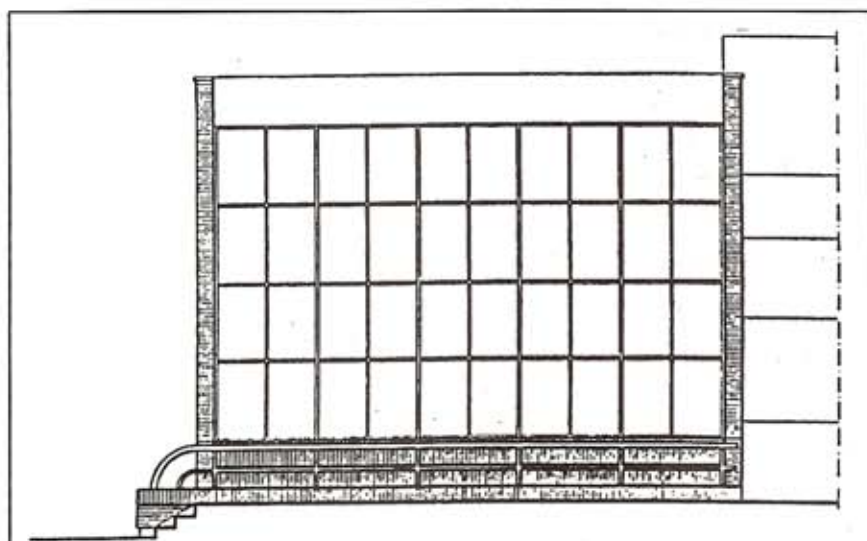


Fig. 1.

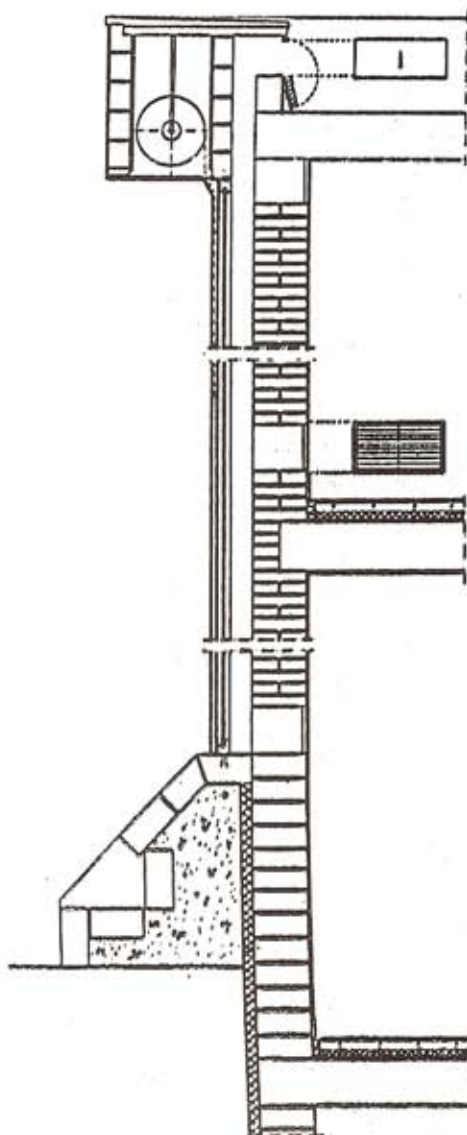


Fig. 2.



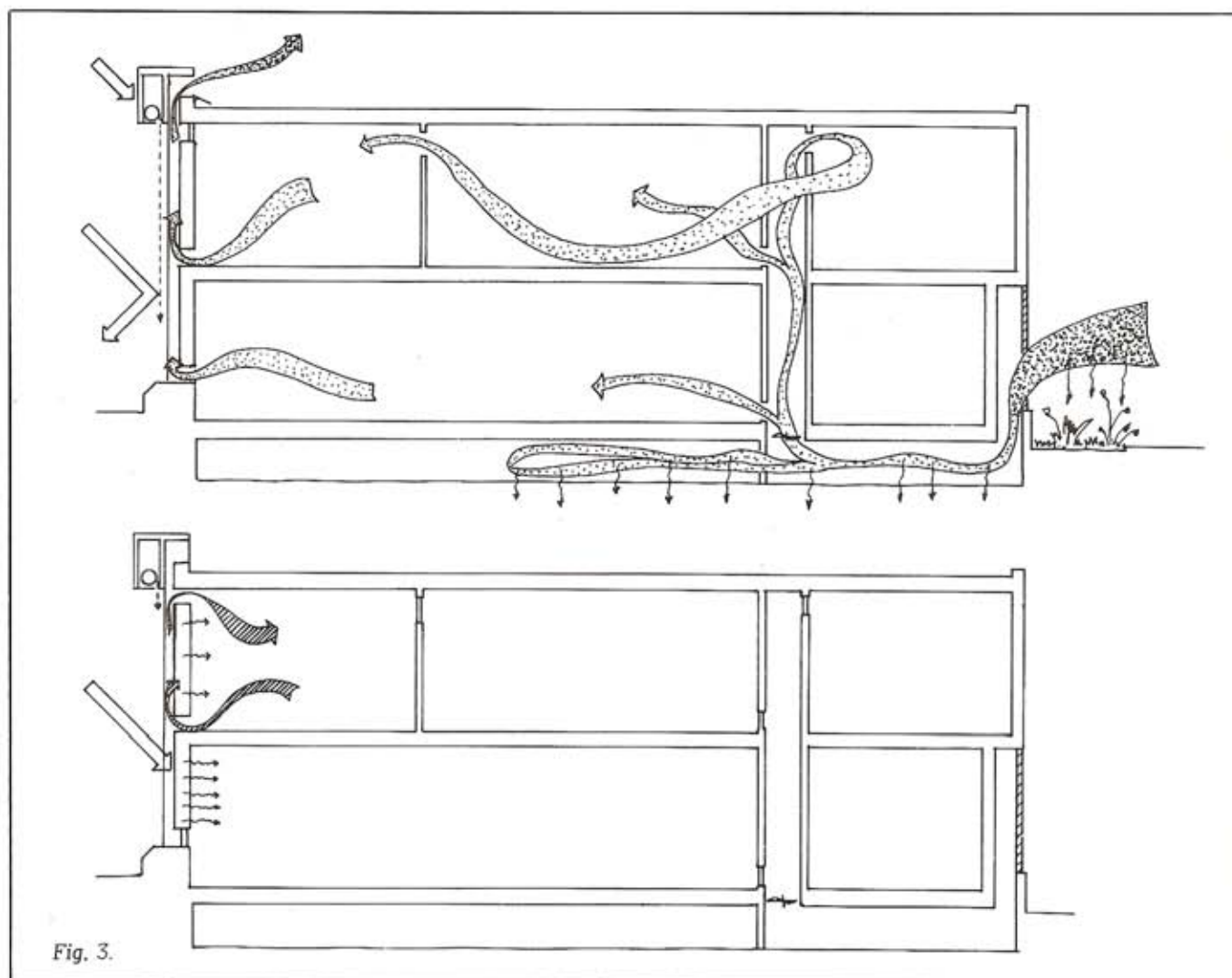


Fig. 3.

mencionados, corregidos y mejorados para lograr el máximo rendimiento. Fundamentalmente se resumen en la obtención de dos objetivos: eliminar el aire sobrecalentado y aportar, con esa ventilación, aire en movimiento a una temperatura inferior a la existente en el interior. Para favorecer la eliminación del aire sobrecalentado se incorpora una chimenea de ventilación que extrae el aire de la cámara del muro y de los locales. Esta chimenea, que es lineal y ocupa la longitud total del muro, está situada encima de la cámara y tiene un recubrimiento exterior oscuro que favorece su sobrecalentamiento y, por tanto, la mejor y más rápida extracción de dicho aire (Fig. 2). También, debido a los materiales con que está construida permite acumular el ca-

lor durante algunas horas después de ponerse el sol, con lo que se sigue sobrecalentando el aire del remate durante algún tiempo. De este modo se consigue evitar un calentamiento excesivo de la cámara y el riesgo que esto supone para los locales, al tiempo que se mueve el aire del interior.

El segundo complemento estival del muro incide sobre este último hecho, ya que se trata de un sistema de tratamiento del aire que ventila los locales. Estas masas de aire se impulsan al interior del edificio desde su fachada norte, lo que ya en sí supone incorporar aire con unas condiciones microclimáticas algo mejores. Para proceder a un primer enfriamiento evaporativo de estas masas de aire, se toma a través de zonas ajardinadas donde la hume-

dad que es necesario evaporar está asegurada. El aire que va a ventilar los locales sufre un segundo tratamiento enfriativo antes de penetrar definitivamente. Este segundo tratamiento se basa en utilizar la inercia del terreno y su menor temperatura para enfriarlo por convección. El terreno más fresco que se puede utilizar es el que se encuentra debajo del edificio ya que está libre del efecto de la radiación del sol, evitando las capas más superficiales. Por ese motivo, una vez que el aire ha penetrado en el muro norte a través de las rejillas situadas en las zonas sombreadas y ajardinadas, se le hace pasar por debajo del edificio a través del plenum que forma el forjado y el terreno, que se encuentra a una cota de  $-1$  m, ya que el edificio está parcialmente enterra-

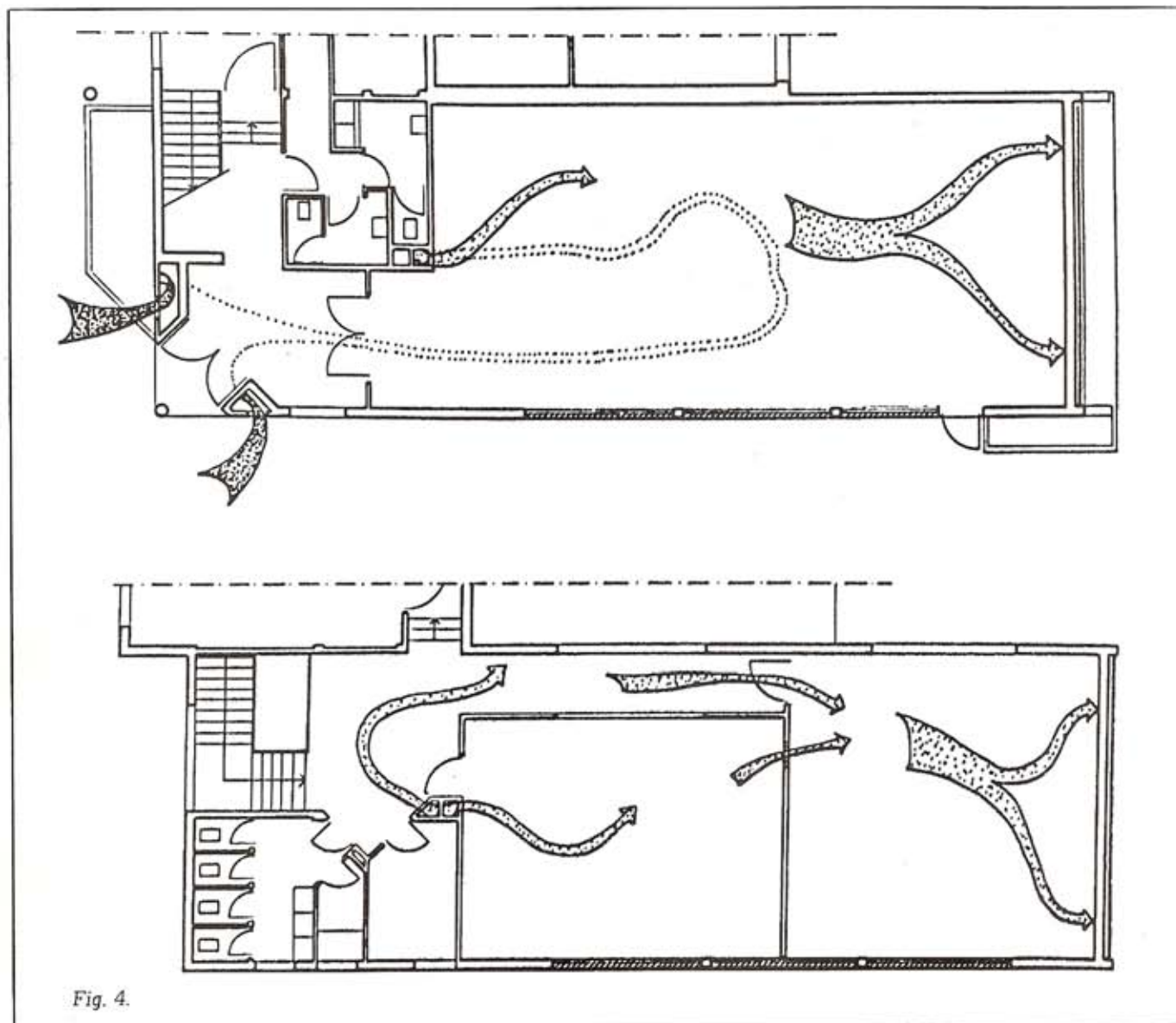


Fig. 4.

do; de este modo se aprovecha la inercia del terreno para enfriar de nuevo el aire. Para que el recorrido sea lo suficientemente largo como para ser eficaz, se traza un camino serpenteante con una longitud de 42 m, suficiente para provocar el intercambio de calor. Dado que esto implica para el aire una pérdida de carga por rozamiento, se utiliza un ventilador que fuerza la circulación e impulsa el aire al interior de los locales a acondicionar en ambas plantas a través de un conducto vertical (Fig. 4).

Tanto estas últimas rejillas de impulsión de aire, como las de extracción y las de la chimenea admi-

ten distintas posiciones de cierre y apertura según la época del año. En invierno están cerradas todas las rejillas de impulsión de aire desde el exterior y las de extracción a través de la chimenea, manteniéndose abiertas las del muro. Durante el verano se abren las de extracción e impulsión y se cierran únicamente las de recirculación del aire situadas en la parte alta del muro.

Para optimizar el comportamiento exterior del muro existe una persiana de aluminio blanco aislada por inyección de poliuretano. Esta persiana aislada desciende automáticamente durante las horas sin radiación solar en invierno, para proteger

el muro que se ha calentado durante el día. Esta misma protección aislada y reflectante evita que se caliente el muro durante los días de verano, al estar bajada durante las horas de incidencia de la radiación solar directa. En los otros momentos del día, los días del invierno y las noches del verano, la persiana está levantada; durante el invierno para que reciba la radiación solar y se caliente, y durante el verano para que por reirradiación nocturna hacia la bóveda celeste se enfríe. Su movimiento se realiza automáticamente regulado por un temporizador en el que se fija la hora de accionamiento.



Tabla I

Condiciones climáticas de la ciudad de Toledo												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura media (°C)	5,9	7,3	10,6	13,4	16,9	22,1	26,1	25,3	21,3	11,2	9,9	6,4
Grados-día base 15/15	365	208	176	91	29	1	0	0	2	37	155	289
Radiación sobre superficie vertical a sur (MJ/m <sup>2</sup> · d)	9,8	13,3	10,5	10,3	9,0	8,7	9,9	11,7	12,3	12,1	8,8	6,9

El acondicionamiento de estos espacios se complementa con un sistema de calefacción por suelo radiante. Para poder aprovechar de la manera más eficaz los aportes pasivos del muro durante el invierno y no generar un exceso de calor en los locales, el suelo radiante está dispuesto en circuitos independientes para cada uno de los locales que se acondicionan bioclimáticamente con un sistema de regulación que los hace entrar en funcionamiento únicamente en los momentos en que son necesarios. Este sistema de regulación es una válvula de tres vías accionada por un termostato de ambiente.

Teniendo en cuenta que el objeto de este sistema es reducir los consumos energéticos, cuando estos se produzcan (invierno) y mejorar las condiciones de habitabilidad, cuando no se produzcan (verano), merece la pena resaltar el efecto que tiene el sistema sobre la temperatura media radiante de los locales. En invierno las dos plantas tienen como uno de sus cerramientos el muro trombe calentado por el sol y los forjados calientes por el suelo radiante. Esto supone una temperatura media radiante en la planta baja casi 6°C por encima de la temperatura ambiente (3°C de aumento de la temperatura efectiva) y en la planta alta de 5°C (2,5°C de aumento de la temperatura efectiva). Durante el verano el forjado de la planta baja está frío gracias a la circulación de aire que permanentemente transcurre bajo él, y en am-

bas plantas el muro trombe está frío por reirradiación nocturna. Esto supone una temperatura media radiante 2°C menos que la temperatura ambiente en la planta baja (1°C de reducción de la temperatura efectiva) y 1,5°C menos en la planta alta (0,75°C de reducción de la temperatura efectiva).

Con el fin de reducir los efectos de la radiación solar directa sobre la fachada oeste, lo que supondría un sobrecalentamiento no deseable en verano y unos deslumbramientos sobre los planos de trabajo, horizontales, pupitres, y verticales, pizarras, durante todo el año, se han colocado parasoles de lamas regulables verticales de aluminio en todos los huecos de esa fachada.

Características del sistema:

Superficie de los locales acondicionados: 186 m<sup>2</sup>.

Tabla II

Influencia en la temperatura efectiva		
Verano	Planta baja	Planta alta
Velocidad del aire:	-1,50°C	-1,50°C
Temperatura media radiante:	-1,00°C	-0,75°C
Total	-2,50°C	-2,25°C
Invierno	Planta baja	Planta alta
Velocidad del aire:	-	-
Temperatura media radiante:	+3,00°C	+2,50°C
Total	+3,00°C	+2,50°C

Superficie del cerramiento (muro): 53,2 m<sup>2</sup>.

Superficie del cerramiento (vidrio): 36,2 m<sup>2</sup>.

Carga de los locales a acondicionar: 10 kW.

Consumo energético de calefacción: 576 x 10<sup>3</sup> kWh/año.

Aportes energéticos para calefacción: aproximadamente el 40 por 100.

Temperatura media del aire impulsado desde el muro en invierno: 32°C.

Temperatura media del aire impulsado desde el muro en verano: 6°C inferior a la temperatura exterior.

Los datos que ofrecen las tablas I y II serán contrastados mediante la monitorización a lo largo de un período anual, una vez adquirido el régimen de uso definitivo del edificio.