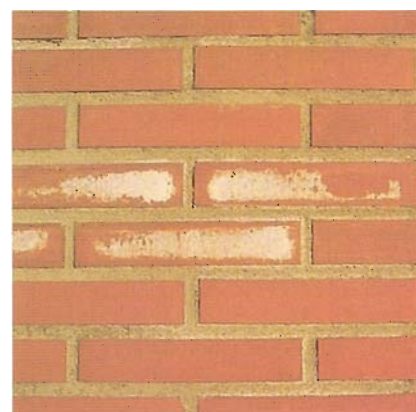


Eflorescencias en las fachadas de ladrillo cara vista

Ricardo Fombella Guillém
Director Técnico de Hispalyt.

CONTENIDO

- 1.- INTRODUCCION
- 2.- EVALUACION DE LAS EFLORESCENCIAS
- 3.- INTERACCION LADRILLO-MORTERO
- 4.- PROCESOS FISICOS QUE INTERVIENEN EN LA FORMACION DE EFLORESCENCIAS
- 5.- PREVENCION DE LAS EFLORESCENCIAS



La aparición de eflorescencias en las fachadas de ladrillo cara vista, aún siendo una patología leve de tipo estético, que no afecta a la durabilidad del ladrillo (excepto en los casos de aporte continuo de sales procedentes del terreno), constituye actualmente una fuente importante de reclamaciones por parte de técnicos y usuarios.

En el presente artículo, se analiza el tema planteando la complejidad del mismo debido a los múltiples factores intervinientes, así como las dificultades que presentan los sistemas de evaluación contemplados en la normativa de ensayo.

Se describe también una experimentación que demuestra la interacción ladrillo - cemento en la aparición de eflorescencias, concluyendo con algunas razones físicas que ayudan a comprender su proceso de formación, y una serie de recomendaciones para prevenir el problema.

1.- INTRODUCCION

La causa directa de la eflorescencia, es la migración de una solución salina a través del sistema capilar del conjunto ladrillo - mortero y la acumulación de las sales solubles en la superficie expuesta, donde se produce una evaporación relativamente rápida. En las zonas de máxima evaporación precipitan las sales cuando la solución sobrepasa su concentración de saturación, dando origen a las manchas conocidas como eflorescencias.

Definimos por lo tanto las eflorescencias como manchas producidas por la cristalización de sales solubles en la superficie del ladrillo.

Aunque en algunos casos pueden tener aspecto parecido, es importante no confundir las eflorescencias con las manchas de mortero, debidas a una deficiente eliminación del sobrante de este material durante la ejecución de la fábrica.

La posibilidad de aparición de eflorescencias, depende en primer lugar de la cantidad de sales efectivamente movilizadas, que a su vez es función de la cantidad de componentes solubles contenidos en el conjunto ladrillo - mortero, así como de las condiciones del entorno, en particular: viento, humedad relativa y temperatura.

A igualdad de estas variables, la manifestación de eflorescencias esta relacionada con la cinética del proceso de precipitación de las sales, que puede variar en función de la naturaleza de las mismas y de la permeabilidad al agua del ladrillo, que es función a su vez de la porosidad total y de la estructura de su red capilar (distribución del tamaño de los poros).

2.- EVALUACION DE LAS EFLORESCENCIAS

Dada la complejidad del proceso de formación de eflorescencias, el sistema empleado por las normas para valorar la capacidad de eflorescer de un ladrillo, se basa en la estimación visual de la mancha con independencia de las sales depositadas en la superficie de la pieza.

El método de ensayo descrito en la norma UNE 67.029 - 95, provoca un arrastre de las sales solubles contenidas en el ladrillo hacia su cara vista, mediante la evaporación del agua destilada contenida en una bandeja en la que se sitúa la pieza apoyada por el canto, y en la que se ajusta el cierre de tal forma que solo la cara vista queda al descubierto con objeto de forzar la evaporación a través de dicha superficie. Transcurridos siete días en estas condiciones, se secan los ladrillos en una estufa, y se comparan con el patrón (no ensayado).

La calificación de cada ladrillo de la muestra se hace en función de la intensidad y superficie afectada por la eflorescencia, de acuerdo con la tabla adjunta:

INTENSIDAD	SUPERFICIE AFECTADA		
	>25%	≤25% y ≥5%	<5%
Velo Fino	Ligeramente eflorescido	No eflorescido	No eflorescido
Velo Grueso	Eflorescido	Ligeramente eflorescido	Ligeramente eflorescido
Mancha	Muy eflorescido	Eflorescido	Ligeramente eflorescido

Si bien el procedimiento de evaluación de la actual norma ha mejorado con respecto a la anterior, la apreciación de las intensidades de la eflorescencia para establecer si se trata de velo fino, velo grueso o mancha, sigue siendo subjetiva.

Para solventar este problema, origen de la dispersión de resultados entre los distintos laboratorios, se ha puesto a punto un sistema de visión artificial que permite evaluar de una forma objetiva cada una de las muestras.

El sistema capta la imagen de la superficie del ladrillo a través de una cámara de vídeo, transmitiendo la información a un procesador que analiza la intensidad de las manchas por comparación con el ladrillo patrón, mediante un programa específicamente desarrollado al efecto. (fig. 1 y 2)

Este procedimiento será incorporado a la norma de ensayo, como método de evaluación alternativo, para aquellos casos dudosos en los que la calificación visual resulte dificultosa.

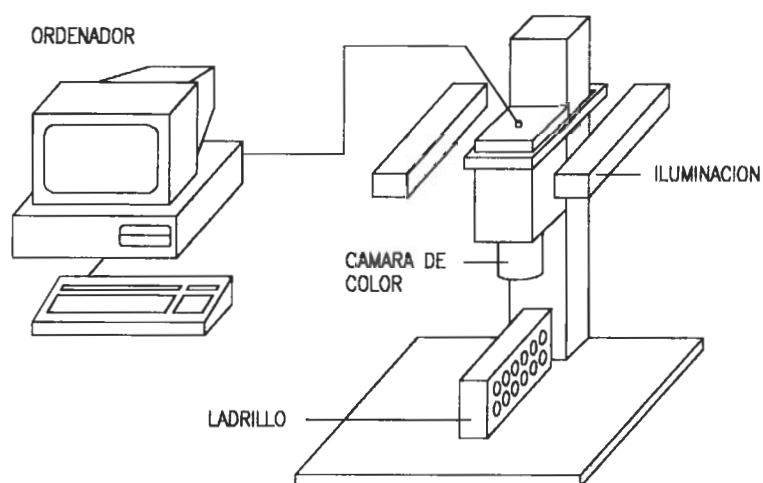


Fig.1.
Componentes del sistema.

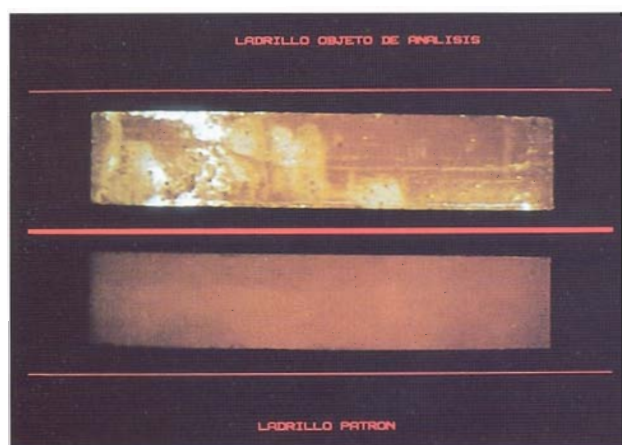


Fig.2.1
Muestra ensayada y ladrillo patrón

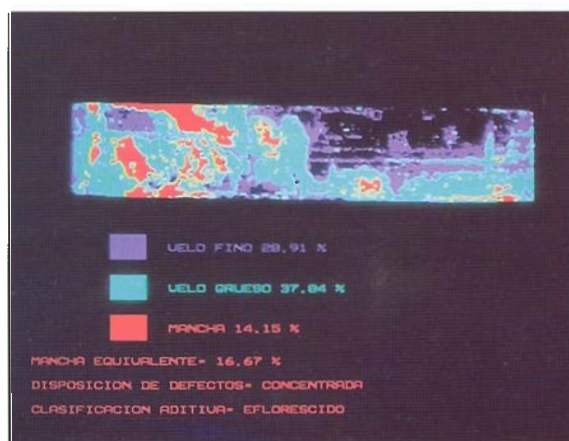


Fig.2.2
Imagen de las manchas analizadas por el ordenador

3.- INTERACCION LADRILLO - MORTERO

Aunque la aparición de eflorescencias se produce habitualmente en la superficie del ladrillo, debido a la naturaleza del sistema capilar de éste con respecto al mortero, el origen de las sales causantes del problema puede estar en cualquiera de los elementos que componen la fabrica:

- Ladrillo
- Mortero: Cemento
 - Agua
 - Aridos
 - Aditivos

En el ladrillo pueden existir sales solubles en forma de sulfatos (sodio, potasio, magnesio y calcio) cuyo origen hay que buscarlo en las materias primas (arcilla), o en los combustibles utilizados en el proceso de cocción.

El mortero, constituido a su vez por varios componentes, contribuye en muchos casos a la formación de eflorescencias.

La experiencia nos muestra a diario, como ladrillos calificados según el ensayo de la norma UNE 67.029 - 95, como no eflorescidos o ligeramente eflorescidos, presentan un aspecto deplorable a los pocos días de ser colocados en la fachada.

Para comprobar la influencia del mortero en la aparición de eflorescencias, se ha realizado un estudio experimental en el Instituto de Cerámica de la Universidad de Santiago de Compostela, consistente en someter al ensayo de eflorescencia probetas constituidas por ladrillos con sus juntas de mortero.

En este trabajo, la única variable considerada ha sido el cemento, ya que los otros componentes del mortero fueron agua destilada y arena lavada, con una proporción arena - cemento de 3:1.

Las probetas estaban formadas por tres ladrillos con las dos juntas de mortero correspondientes.

Tras el fraguado y endurecimiento del mortero, se procedió al sellado del perímetro de la probeta con una cinta impermeable, excepto la zona sumergida en agua y la cara vista por donde se produce la evaporación.

Después de 30 días en condiciones equivalentes a las de la norma de ensayo de ladrillos, se procedió al secado de las probetas y se observaron las eflorescencias aparecidas sobre la cara vista.

Para la experimentación se tomaron 8 tipos de ladrillo y 13 cementos, todos ellos de distintas procedencias.

Si bien se analizaron las sales solubles de ladrillos y morteros, dado que la normativa sobre eflorescencias se limita a comparar visualmente el aspecto de las probetas ensayadas con el ladrillo patrón. En las fotografías adjuntas se reproducen los ladrillos de cada tipo, tras el ensayo con los 13 cementos, mostrando el patrón en posición horizontal en la parte inferior, y el ladrillo sin mortero ensayado según la norma UNE en la esquina superior izquierda, según el esquema de la fig. 3.

A la vista de los resultados, es evidente que con algunas combinaciones de ladrillos y cementos se produce la acumulación anómala de gran cantidad de sales solubles en la superficie vista del ladrillo.

De la observación de la serie de probetas ensayadas puede concluirse lo siguiente:

Todos los ladrillos resultaron no eflorescidos o ligeramente eflorescidos según el ensayo UNE 67.029 - 95 (pieza situada en la esquina superior izquierda).

No todos los ladrillos presentan eflorescencias con los mismos tipos de cemento, ni el mismo tipo de cemento causa siempre eflorescencias.

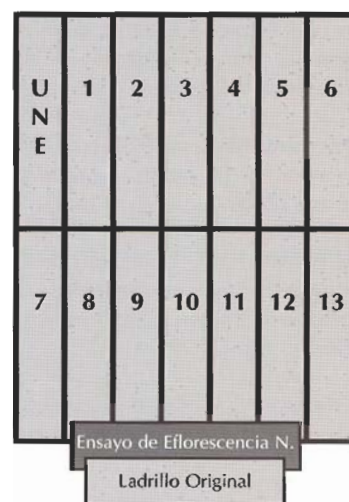
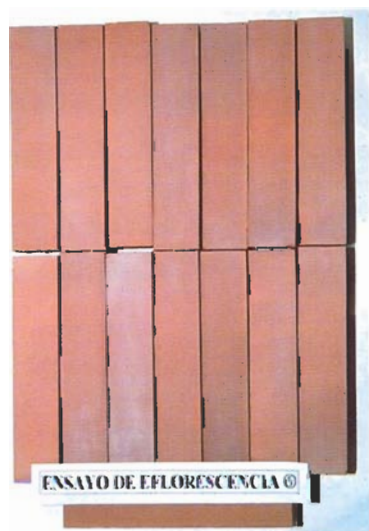
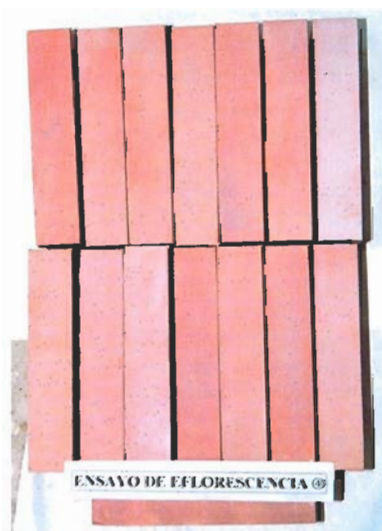
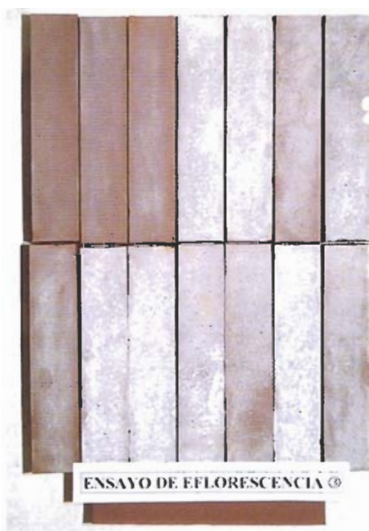
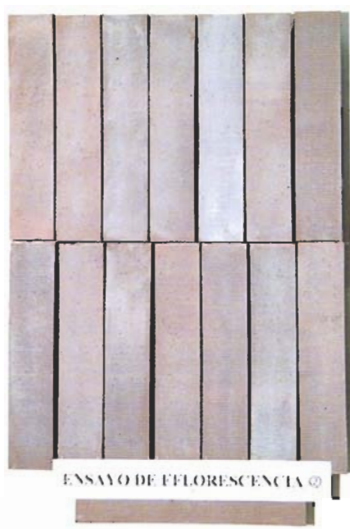
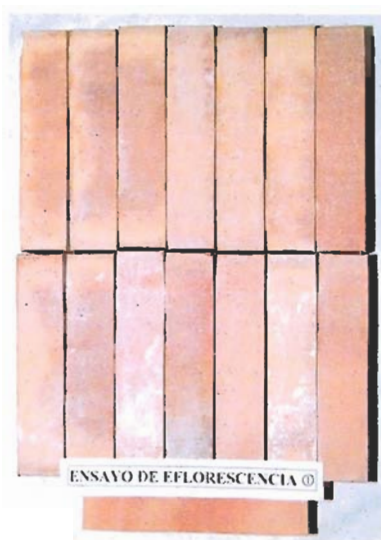
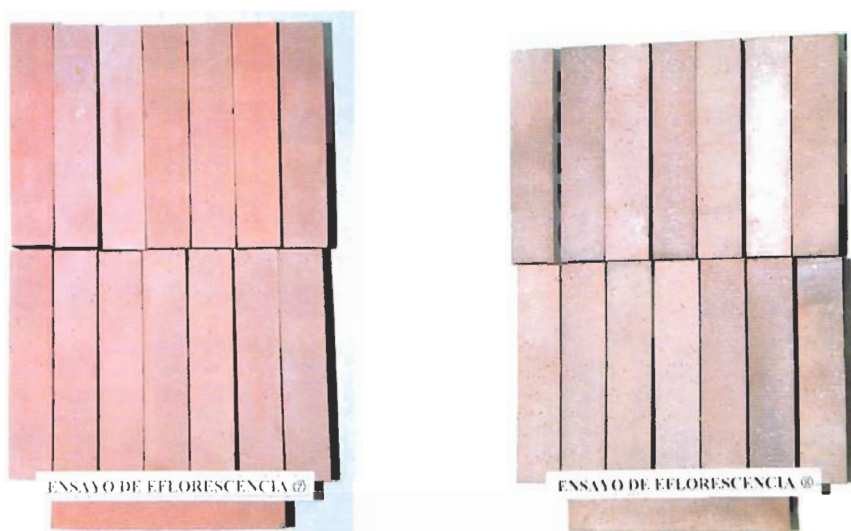


Fig. 3
N = Identificación del Ladrillo
UNE: Resultado del ensayo según
Norma UNE.
Números del 1 al 13: Resultado del
ensayo para cada uno de los 13 cementos.





4.- PROCESOS FISICOS QUE INTERVIENEN EN LA FORMACION DE EFLORESCENCIAS

Tal como se ha indicado anteriormente, además de la cantidad de las sales solubles efectivamente movilizadas procedentes de los distintos componentes de la fábrica, existen otros factores que ejercen gran influencia en el proceso de migración y precipitación de las sales.

Veamos algunas razones físicas que explican la aparición de eflorescencias.

Un peso fijo de agua a una temperatura, puede disolver una cantidad máxima de una sal determinada. Cuando se ha disuelto esa cantidad máxima, decimos que la solución está saturada. En general, a mayor temperatura del agua corresponde una mayor cantidad de sal disuelta.

Cuando se enfría una solución saturada, se separa de la misma cierta cantidad de sal en forma sólida. Igual ocurre si, manteniendo fija la temperatura, se evapora parte del agua. La cristalización de la sal puede producirse por tanto, por enfriamiento o por evaporación del agua.

De este modo, cuando la pared se encuentra a temperatura relativamente baja y expuesta a una rápida evaporación por la acción del viento y del sol, se facilita la formación de eflorescencias, proceso que suele ocurrir en primavera, siendo esta época del año la más propensa a la aparición de dicha patología.

Al estudiar la formación de eflorescencias, hay que tener presente también la manera en que se realiza el mojado y secado del ladrillo.

Si el agua entra en el ladrillo por la misma cara que después ha de salir por evaporación, la eflorescencia es menos probable que si el mojado se produce por alguna otra cara.

Analicemos con mayor detalle el primer caso: El agua comienza a penetrar por la cara vista o cara de evaporación. Las primeras porciones de agua irán disolviendo sales a medida que vayan penetrando hacia el interior del ladrillo por los capilares. Las siguientes porciones de agua encontrarán cada vez menos sales que disolver y por tanto quedarán más diluidas.

Los fenómenos de difusión en la red capilar son lentos y por tanto se tardaría mucho tiempo en alcanzar la homogeneidad de concentración en dichas soluciones.

Si el proceso de secado se inicia antes de que se homogeneicen las concentraciones, la solución próxima a la cara externa del ladrillo estará diluida, siendo por tanto escaso el aporte de sales a la superficie, y bajo el riesgo de aparición de eflorescencias.

Si por el contrario hubiese transcurrido tiempo suficiente para conseguir la homogeneidad de las concentraciones, la solución próxima al exterior habría alcanzado una mayor concentración, siendo por tanto más alto el riesgo de eflorescencias.

El caso más desfavorable sería aquel en que el agua penetra por caras distintas a la de evaporación, ya que entonces la solución iría concentrándose a medida que avanza hacia la cara vista (de evaporación). De esta forma, la solución llegaría al exterior prácticamente saturada y la cristalización comenzaría al poco de iniciarse el secado, produciendo un depósito de sales sobre la superficie del ladrillo.

Estas son las condiciones del ensayo de eflorescencias, según UNE-67029, que como vemos corresponden a la situación más desfavorable.

Las eflorescencias suelen manifestarse muy claramente en las obras nuevas durante el primer secado. La razón es que los ladrillos han sido mojados durante la colocación, y el secado se realiza preferentemente por la cara vista, lo cual favorece el depósito de sales en la cara exterior.

Tras la terminación de la obra, la lluvia que incide sobre la cara vista de los ladrillos tiende a arrastrar las sales hacia el interior.

El siguiente brote de eflorescencias puede producirse con el secado de la obra en primavera, cuando las temperaturas aún son bajas y la larga persistencia del ambiente húmedo invernal ha reducido la evaporación, dando lugar a que se homogeneice la concentración de las sales solubles en la solución existente en la red capilar del ladrillo.

Los siguientes brotes de eflorescencias que se producen en temporadas sucesivas suelen ser más benignos, o incluso no llegan a producirse, debido a que se alcanza un estado de equilibrio en el cual, el agua que penetra por la cara exterior empuja hacia el interior del ladrillo una cantidad de sales que compensa la que se mueve hacia el exterior durante el secado.

5.- PREVENCIÓN DE LAS EFLORESCENCIAS

Tal como se indicó en la presentación, el fenómeno de las eflorescencias es complejo, función de múltiples variables que difícilmente podemos controlar en su totalidad. No obstante, las siguientes recomendaciones pueden reducir su presencia:

- Utilizar ladrillos calificados, según la norma de ensayo, como no eflorescidos o ligeramente eflorescidos.

- Impedir el contacto directo del ladrillo con el terreno en las zonas de acopio, para evitar su contaminación con las sales solubles del suelo.

- Para verificar que el mortero no tendrá una influencia negativa, realizar el ensayo de eflorescencias del conjunto ladrillo - mortero (con los mismos componentes que vayan a ser utilizados en obra).

- Debido a que el agua es el vehículo que transporta las sales solubles causantes de las eflorescencias, debe procurarse no mojar la fábrica tras su ejecución, ya que con la humectación previa del ladrillo, el proceso de fraguado se desarrolla con normalidad. Sólo en tiempo caluroso debe aportarse la humedad necesaria para impedir la deshidratación del mortero.

- Evitar que la fábrica se moje desde el interior. Esta humedad siempre provoca eflorescencias y manchas en el ladrillo.

- Durante la ejecución de la obra de fábrica, deberá protegerse la parte superior de los paramentos para resguardarlos del agua de lluvia. Se protegerá así mismo, la cara superior del ladrillo en los huecos de fachada y coronaciones de muros hasta que se coloquen los vierteaguas y albardillas.

- Desde la terminación de un muro hasta el enfoscado de su cara interior, debe transcurrir un periodo de tiempo no inferior a 24 horas, con objeto de interrumpir la continuidad capilar, evitando así posibles eflorescencias procedentes del mortero del enfoscado.

- Los muros de contención, jardineras y demás elementos de fábrica en contacto con el terreno, deben impermeabilizarse correctamente por su cara posterior, con objeto de evitar el aporte constante de sales solubles del terreno que producirán eflorescencias continuamente, pudiendo llegar a dañar el ladrillo.

- Para evitar la ascensión capilar de la humedad por los muros en contacto con la cimentación, se colocará una lamina antihumedad con el ancho del muro y entre dos capas de mortero recién hecho.

- Todos los muros de ladrillo cara vista deberán disponer de los elementos necesarios (aleros, vierteaguas, albardillas, etc.), con objeto de evitar un aporte excesivo de agua en tiempo de lluvia.

Como hemos podido observar, muchos de los factores causantes de la eflorescencia son ajenos al propio ladrillo, aunque por ser en este material donde aparecen las manchas, existe una tendencia generalizada a hacerle responsable del problema.

Esperamos haber contribuido a clarificar algunos aspectos de esta patología de tipo estético, que en la mayor parte de los casos desaparece sola, tras los ciclos naturales de humectación y secado.

BIBLIOGRAFIA

- ARTIEDA J., CATALINA J.C., FOMBELLA R., FUENTES J. L.
Applicazione di un sistema di visione artificiale per la valutazione delle efflorescenze nei prodotti di laterizio.
L'industria dei laterizi 26 / 1.994.
- FABBRI B., DONDI M.
Manifestazioni efflorescenti sui prodotti in laterizio.
L'industria dei laterizi 41/1.996.
- FOMBELLA R.
El muro de ladrillo. HISPALYT 1.992.
- GARCIA VERDUCH, A.
Eflorescencias.
Arcilla Cocida nº 11. Marzo 1.981.
- GARCIA VERDUCH A.
Guía para el estudio de velos y eflorescencias en ladrillos de construcción. Instituto Universitario de Tecnología Cerámica de Castellón. 1.988.
- GUITIAN F.
Eflorescencias en el sistema ladrillo - mortero.
Instituto de Cerámica. Universidad de Santiago de Compostela. 1.993.
- HAAGE R.
Efflorescence on bricks and masonry. Origin, removal, prevention.
ZI 4 / 1.991.
- MUZZIN G.
Les efflorescences dan les maçonneries en briques.
C.S.T.C. nº 4. 1.982.
- PAULS N.
Changes in the efflorescent salt content of the system bricks - mortar. *ZI.*

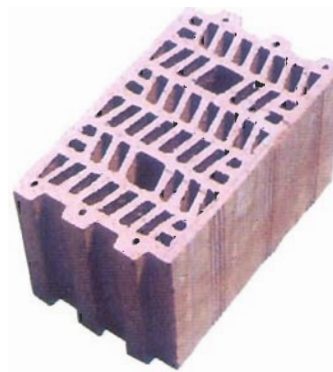
El comportamiento térmico y la inercia térmica de las fábricas con bloques Termoarcilla

F. Javier Neila González, Dr. Arquitecto
César Bedoya Frutos, Dr. Arquitecto

CONTENIDO

INTRODUCCION

- 1.- LAS TRANSFERENCIAS DE ENERGIA EN LOS CERRAMIENTOS
- 2.- LOS COEFICIENTES QUE REGULAN LA TRANSMISION DE CALOR
- 3.- EXIGENCIAS NORMATIVAS QUE REGULAN LA TRANSMISION DE CALOR
- 4.- LA TRANSMISION DE CALOR EN REGIMEN VARIABLE
- 5.- DESFASE Y AMORTIGUACION DE LA ONDA TERMICA
- 6.- LA INERCIA TERMICA
- 7.- LA INERCIA TERMICA EFECTIVA
- 8.- LA INFLUENCIA DE LA INERCIA TERMICA EN LAS CONDICIONES DE VERANO
- 9.- LA ESTABILIDAD TERMICA DURANTE EL VERANO
- 10.- LA INERCIA TERMICA Y EL CALENTAMIENTO SOLAR



INTRODUCCION

El acondicionamiento y el consumo de energía son dos conceptos que van tradicionalmente enlazados. El bienestar higrotérmico se identifica con el equipo capaz de controlar la temperatura de la habitación. Sin embargo, esto no es perfectamente cierto, ya que intervienen otros factores, igualmente importantes, pero que aparentemente pierden importancia al no poder ser manipulados por el usuario. Los cerramientos, a través de los cuales se establecen los flujos de energía, pueden y deben ser diseñados con altas resistencias térmicas, con el fin de buscar su máxima eficacia, que representará el equilibrio entre los gastos de implantación y la reducción y el ahorro de la energía que se produzca. Si esto tiene que ver con el ahorro de energía, el bienestar viene de la mano de la estabilidad de la temperatura interior dentro de los márgenes del confort, lo que se consigue con una inercia térmica; es decir, de nuevo la configuración del cerramiento, y en esta ocasión, también, de las particiones interiores. Todos estos conceptos están absolutamente enlazados entre sí y son los que se van a desarrollar en este artículo a la luz de las aplicaciones de los bloques Termoarcilla.

1.- LAS TRANSFERENCIAS DE ENERGÍA EN LOS CERRAMIENTOS

El comportamiento térmico de los distintos tipos de cerramientos que se utilizan en la construcción muestra diferentes grados de eficacia. Sin embargo, todos ellos tienen en común el hecho de que no consiguen evitar la salida de la energía que se utiliza para acondicionar el ambiente interior. Su capacidad se limita a controlar el ritmo con el que se pierde la energía. Este ritmo es como un grifo que deja salir la energía según esté más o menos abierto, pero que nunca puede cerrarse del todo y que, en el mejor de los casos, simplemente goteará.

Las transferencias de energía a través de los cerramientos se producen debido a la diferencia de temperatura entre el interior y exterior. A través de cualquier cerramiento que separe ambientes con temperaturas diferentes, por muy aislado que esté, se producirán estas transferencias. Cualquier edificio convencional es incapaz de conservar la energía que se haya podido depositar en su interior. Si la fuente de acondicionamiento no continúa tardará más o menos tiempo en transferir dicha energía, pero acabará de perderla por completo, y se apreciará al comprobar que la temperatura interior baja hasta llegar a igualarse con la del exterior, en un sistema teórico sin aportaciones cíclicas.

La única diferencia entre unos cerramientos y otros radica en la velocidad con la que pierden el calor. Los cerramientos muy resistentes al paso del calor dejan salir la energía muy lentamente, mientras que los poco resistentes térmicamente la dejan pasar con mayor rapidez. Teniendo en cuenta que los sistemas de acondicionamiento interior deben proporcionar calor al mismo ritmo que lo pierde el ambiente, los edificios poco aislados y por tanto, con velocidades de pérdidas de calor elevadas, deben tener sistemas de acondicionamiento grandes, costosos y con grandes consumos, mientras que, en el caso contrario, los consumos serán bajos y los equipos pequeños. (Figura 1)

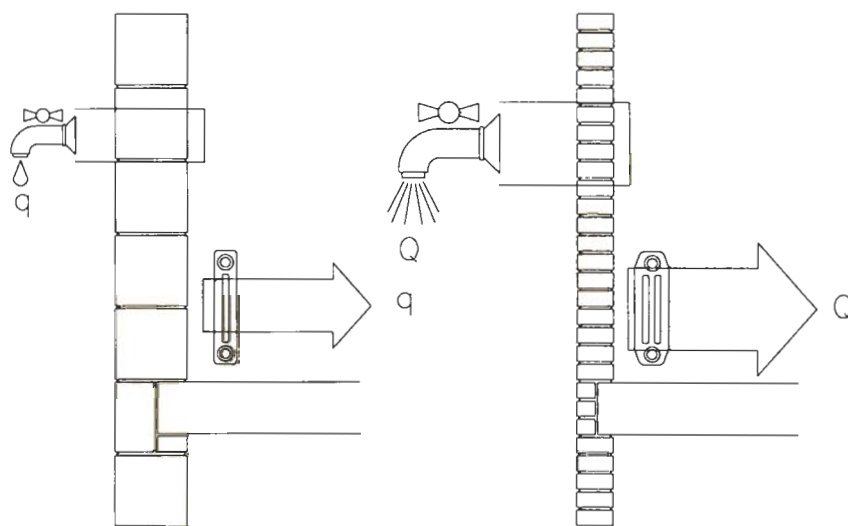


Fig.1.
El ritmo de transferencia de calor en los cerramientos.

2.- LOS COEFICIENTES QUE REGULAN LA TRANSMISION DE CALOR

La dificultad que ofrecen los materiales al paso del calor se mide mediante su resistencia térmica interna (R_i).

La resistencia térmica interna total de los cerramientos se obtiene de la suma de las resistencias térmicas de cada uno de los materiales que los configuran. La resistencia térmica interna de un material depende de su espesor y de la conductividad térmica, λ ($\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$). El coeficiente entre estos valores proporciona la cuantificación de la resistencia térmica interna ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$). $R_i = L/\lambda$

Por ese motivo, al depender la resistencia térmica de dos factores, se pueden alcanzar los mismos valores actuando sobre uno u otro indistintamente. Es decir, con pequeños espesores de materiales con una conductividad térmica igualmente reducida, o con espesores gruesos de materiales con una conductividad térmica alta.

El primer caso corresponde al empleo de aislantes específicos, que permiten obtener resultados óptimos con espesores de 4, 5 ó 6 cm. El segundo caso correspondería a materiales constructivos convencionales que precisarían de espesores de varios metros para obtener los mismos resultados que el caso anterior. Entre ambos se encuentra una situación intermedia, consistente en el empleo de materiales constructivos con aplicaciones convencionales de cerramiento (resistencia portante, aislamiento acústico, protección del agua de lluvia, etc.), pero que permiten obtener los mismos valores de resistencia térmica que los obtenidos con los materiales aislantes, con espesores de menos de 30 cm. Se trata de los materiales constructivos aislantes, y entre ellos se encuentran los bloques Termoarcilla.

(Figura 2)

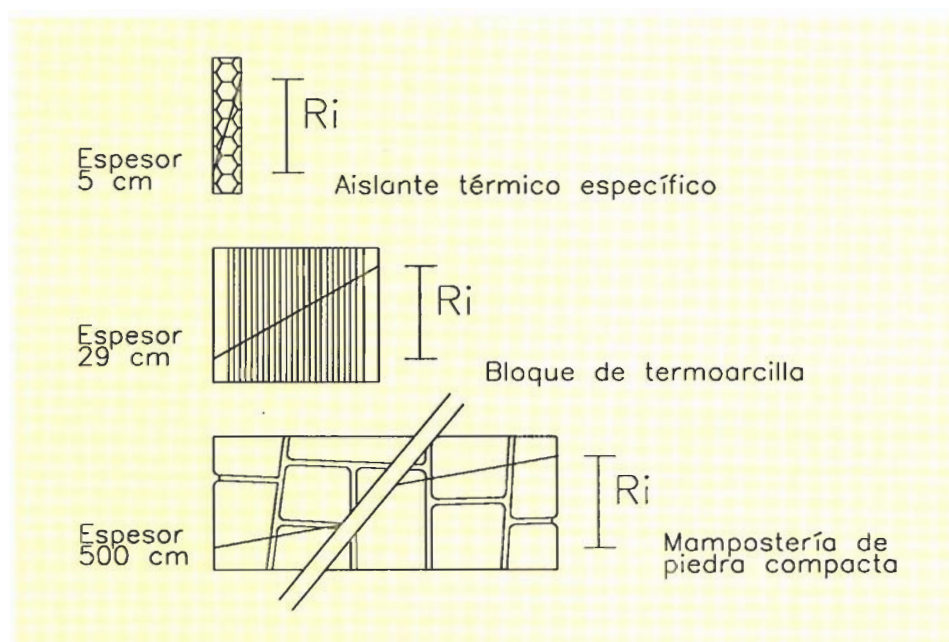


Fig.2.
Distintos espesores para conseguir la misma resistencia.

TABLA DE CONDUCTIVIDADES TERMICAS DE VARIOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS	
MATERIAL	CONDUCTIVIDAD TERMICA (W/M·°C)
Aislante térmico típico	0,023...0,057
Bloque termoarcilla	0,20...0,25
Fábrica de ladrillo hueco	0,49
Fábrica de ladrillo perforado	0,76
Fábrica de ladrillo macizo	0,87
Mortero de cemento	1,40
Hormigón armado	1,63
Roca compacta	3,50

La conductividad térmica es una propiedad fundamental de los materiales que indica el flujo de calor que atraviesa por conducción una muestra de material en unas condiciones concretas de ensayo. Su valor es muy variable, desde los $0,023 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ de la espuma de poliuretano, un material aislante, hasta valores como los $384 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ del cobre. Los bloques Termoarcilla tienen una conductividad térmica intermedia entre la de los materiales aislantes específicos y la de los materiales constructivos convencionales.

Por tratarse de una propiedad intrínseca, la conductividad térmica debería ser inalterable para cada material. Sin embargo, hay factores externos que alteran su valor. Algunos lo hacen de forma poco significativa, como la temperatura, para el discreto margen de variación que surge en la edificación, pero hay otros que lo hacen de forma muy importante, como son los contenidos de aire y de humedad. El contenido de aire determina la densidad de la pieza y es el factor clave en el aislamiento térmico, ya que, ante la ausencia de materia sólida se rompe el proceso de conducción. Por su parte, la humedad, al mezclarse con el material mezcla también su conductividad térmica con la de aquel, al ocupar los huecos en los que antes había aire, reduciendo su capacidad aislante. En el caso de tratarse de materiales específicamente aislantes el efecto es catastrófico, pues al tener una proporción mayor de aire, se reduce enormemente su resistencia térmica.

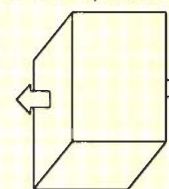
Los materiales aíslan confinando aire, o cualquier otro gas, en su interior. Lo hacen las cámaras de aire entre sus caras, los vidrios aislantes entre sus láminas, los aislamientos de fibra abierta (lanas de vidrio o de roca, fibras vegetales,...) entre sus fibras, los aislamientos formados por celdillas en su interior (poliestirenos...), los aireantes químicos provocando la aparición de burbujas de gas en la masa, los productos naturales, como el corcho, con el gas que encierran sus células muertas, etc.

El bloque Termoarcilla lo consigue gasificando esferas de poliestireno expandido u otros materiales granulares, que previamente se han mezclado con la arcilla, durante el proceso de cocción, y que, sin dejar residuos, convierten al bloque en una pieza finamente porosa.

El concepto de conductividad térmica sólo se podría aplicar a las sustancias perfectamente homogéneas y compactas, ya que sólo en ellas se da un proceso de transmisión de calor exclusivamente por conducción. Sin embargo, se tiende a generalizar el concepto a cualquier material en el que se establezca un proceso de conducción, aunque sea parcialmente. Este fenómeno ocurre en las fábricas perforadas, en las que se dan procesos híbridos de conducción, en la parte sólida, y de convección y radiación, en los huecos. Por simplificación, calculando la energía que atraviesa la pieza de cara a cara y suponiéndola perfectamente sólida, mediante el cociente entre esta energía y el espesor de la pieza se obtiene el valor de la conductividad térmica que asignamos al material, si bien se debe denominar conductividad térmica equivalente. (Figura 3)

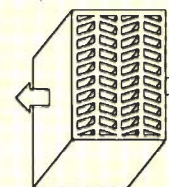
Por este motivo, los diferentes modelos de bloques Termoarcilla, aún estando configurados con la misma materia prima tienen diferentes conductividades térmicas, siendo menores en las piezas más anchas, donde la densidad es menor, y mayor en las piezas más pequeñas y densas.

Pieza compacta



Conductividad térmica

Pieza perforada



Conductividad térmica equivalente

Fig.3.
Conductividad térmica y conductividad térmica equivalente.

CONDUCTIVIDAD TERMICA DE LOS BLOQUES TERMOARCILLA

BLOQUE	ESPESOR (cm)	CONDUCTIVIDAD TERMICA λ (W/m·°C)
BTA14	14	0,217
BTA19	19	0,191
BTA24	24	0,191
BTA29	29	0,188

En los cerramientos multicapa la labor fundamental de la resistencia térmica está confiada a los materiales aislantes, ya que, al ser su conductividad térmica muy inferior a la del resto de materiales constructivos, permite obtener magníficos resultados con pequeños espesores. Sin embargo, debido a la debilidad de estos materiales, (falta de resistencia a la compresión, son afectables por la radiación ultravioleta, etc.) deben estar protegidos por otros materiales constructivos, convirtiendo al cerramiento en una sucesión de capas, con funciones diferentes cada una, lo que encarecen el producto final como consecuencia de la mano de obra.

Los bloques Termoarcilla permiten conseguir los mismos resultados térmicos y constructivos empleando un único producto, lo que, al reducir la manipulación acelera el proceso de construcción y abarata el resultado.

En las fábricas con bloques Termoarcilla, los recubrimientos interior y exterior aumentarán la resistencia térmica del conjunto. La suma de las resistencias internas (R_i) de los diversos materiales que conforman un cerramiento será la resistencia interna total del mismo.

$$\Sigma R_i = \Sigma (L/\lambda)$$

Sin embargo, en esta suma, para obtener la resistencia total (R_T) deben estar incluidas las resistencias térmicas que ofrecen las láminas de aire que se encuentran adosadas a todos los cuerpos, y que se denominan capas límite. Estas capas de aire son resistentes al paso del calor debido a que tienen limitado su movimiento a causa de su propia viscosidad y la proximidad de la pared. En elementos verticales toman dos valores distintos según se trate de la cara interior ($1/h_i = 0,11 \text{ m}^2\cdot\text{C}/\text{W}$) o la cara exterior ($1/h_e = 0,06 \text{ m}^2\cdot\text{C}/\text{W}$). En la primera de ellas se dan procesos de convección más débiles que en la exterior, donde el viento los favorece, por lo que su valor es mayor.

$$R_T = 1/h_i + \Sigma (L/\lambda) + 1/h_e$$

El coeficiente de transmisión de calor (K) es la inversa de este valor e indica las cualidades térmicas que tiene cada cerramiento. Los cerramientos con valores altos de este coeficiente tendrán velocidades de pérdida de energía altas, mientras que los cerramientos con valores de K pequeños serán más eficaces y dejarán salir el calor a un ritmo más lento.

$$K = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \Sigma \left(\frac{L}{\lambda}\right) + \frac{1}{h_e}}$$

COEFICIENTES DE TRANSMISION DE CALOR (K) DE MUROS CONFIGURADOS CON LOS DIFERENTES BLOQUES TERMOARCILLA					
BLOQUE	ESPESOR (cm)	CONDUCTIVIDAD TERMICA (W/m·°C)	RESISTENCIA TERMICA (Sin recubrimientos) (m ² ·°C/W)	K (Con recubrimientos) (Kcal/h·m ² ·°C)	K (Con recubrimientos) (W/m ² ·°C)
BTA14	14	0,217	0,65	1,14	1,33
BTA19	19	0,191	0,99	0,78	0,91
BTA24	24	0,191	0,26	0,63	0,73
BTA29	29	0,188	0,54	0,52	0,60

3.- EXIGENCIAS NORMATIVAS QUE REGULAN LA TRANSMISION DE CALOR

La Norma Básica de la Edificación sobre Condiciones Térmicas es la que, en la actualidad, regula las condiciones térmicas en los edificios. La NBE-CT-79 exige el cumplimiento de unos valores mínimos para los coeficientes de transmisión de calor de los cerramientos opacos. Como es sabido, la normativa distingue, en primer lugar, los cerramientos situados en distintas regiones climáticas, siendo más rigurosa con los cerramientos de los edificios situados en las zonas frías. Igualmente, la normativa diferencia los cerramientos que separan los locales del exterior de los que sirven de separación con otros locales no calefactados, asignando a cada uno de ellos valores diferentes, más estrictos para las fachadas que para los muros que dan a locales no calefactados.

COEFICIENTE DE TRANSMISION DE CALOR (K) EXIGIDO EN LA NBE-CT-79 SEGUN ZONA CLIMATICA (W/m ² ·°C)					
TIPO DE CERRAMIENTO VERTICAL	TIPO DE CERRAMIENTO VERTICAL				
	V	W	X	Y	Z
Fachada exterior (≤ 200 Kg/m ²)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Fachada exterior (> 200 Kg/m ²)	1,8	1,8	1,6	1,4	1,4
Muro a local no calefactado	2,0	2,0	1,8	1,6	1,6

Estos valores generalmente se cumplen añadiendo materiales aislantes al muro. Sin embargo, con soluciones constructivas aislantes, como ocurre con los bloques Termoarcilla, se puede obtener el mismo resultado aprovechando la anchura de la pieza. Los diferentes espesores de estas piezas, 19, 24 y 29 cm. (los 14 cm. se emplean para particiones interiores), permitirán cumplir las exigencias normativas en cada una de las situaciones y optimizar, por tanto, su uso.

TABLA COMPARATIVA ENTRE LOS K DE LOS MUROS CON TERMOARCILLA Y LAS EXIGENCIAS DE LA NBE-CT-79									
BLOQUE	ESPESOR (cm)	K (Con recubrimientos) (W/m ² ·°C)	DENSIDAD PESO		COEFICIENTE DE TRANSMISION DE CALOR (K) MAXIMO PERMITIDO (W/m ² ·°C)				
			(Kg/m ³)	(Kg/m ²)	Zona V	Zona W	Zona X	Zona Y	Zona Z
BTA19	19	0,91	920	216,80	1,80	1,80	1,60	1,40	1,40
BTA24	24	0,73	890	255,60	1,80	1,80	1,60	1,40	1,40
BTA29	29	0,60	860	291,40	1,80	1,80	1,60	1,40	1,40

4.- LA TRANSMISION DE CALOR EN REGIMEN VARIABLE

La transmisión de calor que se produce a través de cualquier cuerpo resistente no es sólo función de la resistencia térmica del mismo sino, como se ha dicho, fundamentalmente, de la diferencia de temperaturas que se establece entre ambos lados. Sin embargo, esa diferencia varía a lo largo del día y con ella el ritmo de la transferencia.

Este fenómeno se produce de forma muy significativa en verano, ya que a las condiciones reales, de elevada temperatura exterior, hay que añadir un incremento ficticio provocado por la radiación solar que al incidir sobre las fachadas, y una vez absorbida, se convierte en un incremento de temperatura. El resultado es una temperatura ficticia denominada sol-air, que puede ser entre 10 y 20 °C superior a la temperatura real del ambiente exterior. Dado que esta temperatura se alcanza cuando el sol incide sobre esa fachada, en el momento en el que deja de incidir se produce una rápida disminución.

Todo esto supone una fluctuación notable de la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior a lo largo del día y obliga a incorporar conceptos de régimen variable en su cálculo.

El régimen variable representa tener en cuenta el factor tiempo en la evaluación de los flujos de calor como una nueva variable. Dos de las primeras consecuencias de su aplicación son la aparición de los conceptos de desfase y amortiguación de la onda térmica.

5.- DESFASE Y AMORTIGUACION DE LA ONDA TERMICA

El primero de ellos, el desfase de la onda térmica, se aprecia claramente ante los procesos de calentamiento solar. Una vez que la capa más exterior del cerramiento se ha calentado, por la acción conjunta de la radiación solar y de la temperatura exterior, comienza un lento proceso de paso del calor por conducción desde esta capa hacia el interior del muro. El tiempo que tarda la onda de calor en atravesar el cerramiento se denomina desfase de la onda térmica.

Este desfase (d), que es generalmente de varias horas, depende de la conductividad térmica (λ), de la densidad (ρ), del espesor (L), del calor específico (Ce) y del período del fenómeno (T), que para aplicaciones climáticas es de 24 horas. Los desfases mayores se obtienen para los materiales más densos y con mayor espesor, con el calor específico alto y una baja conductividad térmica. Su expresión, en unidades SI, dando el resultado en horas, es la siguiente:

$$d = 0,53 \cdot \frac{T}{2} \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot Ce}{\pi \cdot \lambda \cdot T}} \cdot L$$

**DESFASE DE LA ONDA DE CALOR PARA BLOQUES
TERMOARCILLA CON Y SIN RECUBRIMIENTOS**

BLOQUE	DENSIDAD (Kg/m ³)	ESPESOR (m)	CONDUCTIVIDAD TERMICA (W/m · °C)	CALOR ESPECIFICO (KJ/Kg · °C)	DESFASE DE LA ONDA (Horas)
BTA14 sin recubrimientos	980	0,14	0,25	1,46	7,72
BTA19 sin recubrimientos	920	0,19	0,21	1,38	10,76
BTA24 sin recubrimientos	890	0,24	0,21	1,25	10,74
BTA29 sin recubrimientos	860	0,29	0,20	1,25	15,51
BTA14 con recubrimientos	980	0,14	0,25	1,46	8,62
BTA19 con recubrimientos	920	0,19	0,21	1,38	11,66
BTA24 con recubrimientos	890	0,24	0,21	1,25	13,64
BTA29 con recubrimientos	860	0,29	0,20	1,25	16,41

Teniendo en cuenta que el proceso de transferencia de calor a través de los cerramientos acristalados es prácticamente instantáneo, y muy lento a través de los cerramientos opacos, es conveniente desfasar lo más posible el paso del calor a través de estos últimos para evitar su coincidencia o proximidad con las cargas térmicas a través de las ventanas.

Sin embargo, no es éste el único fenómeno que se detecta en los cerramientos como consecuencia del régimen variable. Durante el lento proceso de conducción del calor a través del muro, las condiciones exteriores cambian: deja de dar el sol y baja la temperatura. Esto provoca que parte del calor que se había acumulado dentro del muro encuentre una salida térmicamente razonable hacia el exterior, produciéndose un rebote de la onda de calor. A esto se le denomina amortiguación de la onda térmica (f_t). (Figura 4)

$$R_T = 1 - e^{\left(-0,53 \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot \rho \cdot C_e}{T \cdot \lambda}} \cdot L\right)}$$

La amortiguación de la onda térmica, que como se ve depende de los mismos parámetros que el desfase de la onda, es muy elevada, generalmente por encima del 60%.

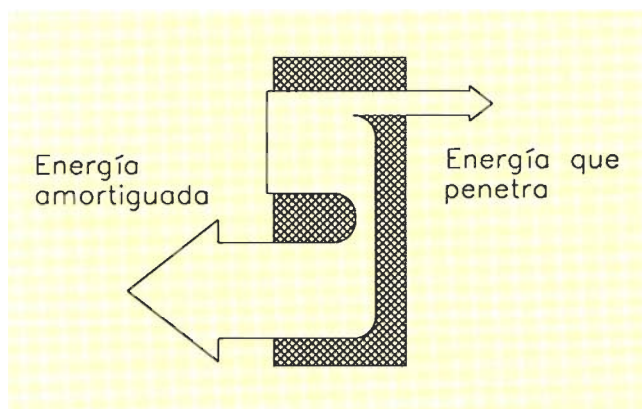


Fig.4.
Amortiguación de la onda térmica.

AMORTIGUACION DE LA ONDA DE CALOR PARA BLOQUES TERMOARCILLA CON Y SIN RECUBRIMIENTOS						
BLOQUE	DENSIDAD (Kg/m ³)	ESPESOR (m)	CONDUCTIVIDAD TERMICA (W/m·°C)	CALOR ESPECIFICO (KJ/Kg·°C)	AMORTIGUACION DE LA ONDA (%)	ENERGIA QUE PENETRA (%)
BTA14 sin recubrimientos	980	0,14	0,25	1,46	86,8	13,2
BTA19 sin recubrimientos	920	0,19	0,21	1,38	96,4	6,0
BTA24 sin recubrimientos	890	0,24	0,21	1,25	96,4	3,6
BTA29 sin recubrimientos	860	0,29	0,20	1,25	98,3	1,7
BTA14 con recubrimientos	980	0,14	0,25	1,46	89,5	10,5
BTA19 con recubrimientos	920	0,19	0,21	1,38	95,3	4,7
BTA24 con recubrimientos	890	0,24	0,21	1,25	97,2	2,8
BTA29 con recubrimientos	860	0,29	0,20	1,25	98,6	1,4

6.- LA INERCIA TERMICA

El tercer efecto provocado por el factor tiempo y el régimen variable de temperaturas es la inercia térmica.

La inercia es la dificultad que ofrecen los cuerpos para cambiar el estado en el que se encuentran. La inercia térmica es, por tanto, la dificultad que ofrece un cuerpo a cambiar su temperatura, y se obtiene cuantificando su masa térmica.

La masa térmica es el producto del volumen, por la densidad y por el calor específico, es decir, el producto de la masa del elemento por su calor específico. Dado que el calor específico de los materiales constructivos varía poco, los elementos con mayor masa, ya sea debida a su volumen o a su densidad, son los que confieren al cerramiento, local o edificio del que forman parte, mayor inercia térmica.

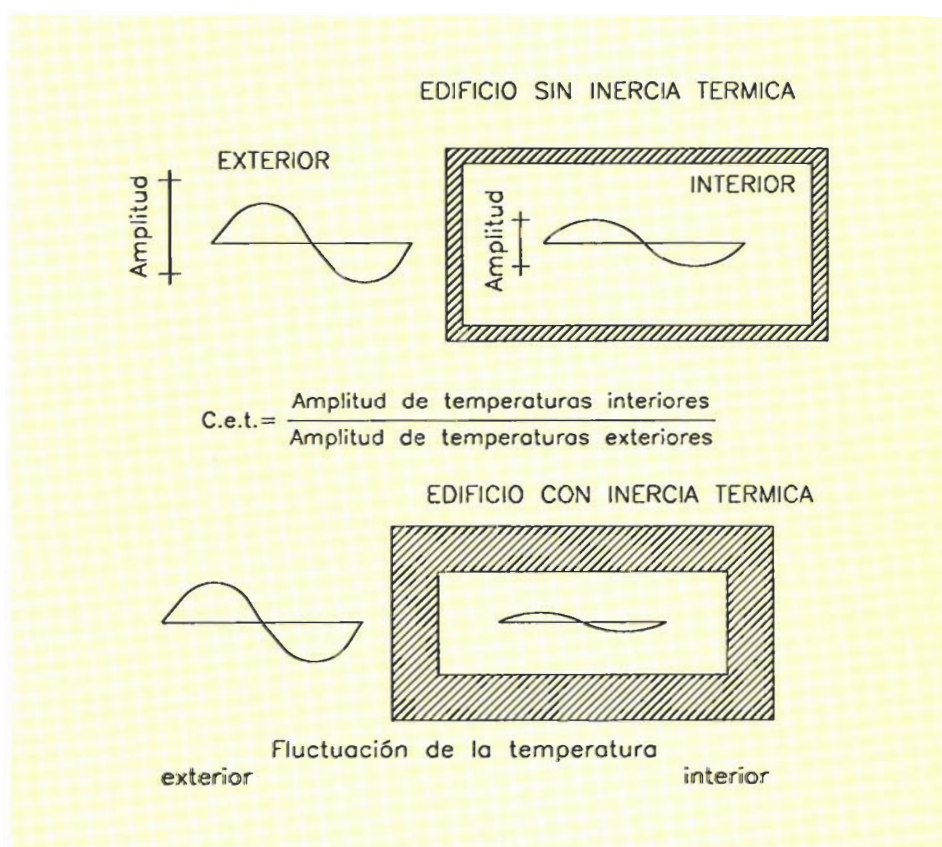


Fig.5.
Coeficiente de estabilidad térmica.

MASA TERMICA DE DIFERENTES MUROS FORMADOS CON BLOQUES TERMOARCILLA

BLOQUE	ESPESOR (cm)	DENSIDAD (Kg/m ³)	CALOR ESPECIFICO		MASA TERMICA POR UNIDAD DE SUPERFICIE (sin recubrimientos)		MASA TERMICA POR UNIDAD DE SUPERFICIE (con recubrimientos)	
			(Kcal/Kg · °C)	(KJ/Kg · °C)	(Kcal/m ² · °C)	(KJ/m ² · °C)	(Kcal/m ² · °C)	(KJ/m ² · °C)
BTA14	14	980	0,35	1,463	200,72	48,02	50,08	209,33
BTA19	19	920	0,35	1,379	241,12	57,68	60,32	252,13
BTA24	24	890	0,30	1,254	267,85	64,08	67,10	280,49
BTA29	29	860	0,30	1,254	312,75	74,82	78,47	328,02

Los valores altos de la inercia permiten conseguir uno de los objetivos más deseables de un edificio: la estabilidad térmica. Generalmente los edificios se ven permanentemente afectados por las variaciones climáticas externas, día-noche, invierno-verano, calor-frío, y por las condiciones de uso interiores, encendido-apagado de los sistemas de acondicionamiento, apertura-cierre de ventanas, ocupación mayor-menor. Todo esto provoca una permanente variación de la temperatura interior, que en ocasiones, puede ser compensada con los sistemas de acondicionamiento y el gasto de energía. El objetivo deseable desde el punto de vista del bienestar es que la temperatura fluctúe sólo levemente y siempre dentro de los márgenes del bienestar, y todo ello sin consumos excesivos de energía convencional. (Figura 5)

Para poder cuantificar las distintas soluciones a la luz de este fenómeno, la estabilidad térmica se mide con un coeficiente que relaciona la amplitud de la temperatura interior (temperatura máxima menos temperatura mínima) con la amplitud de la temperatura exterior. Los valores próximos a uno quieren decir que el local no tiene inercia térmica y que cualquier alteración energética (exterior o interior) se nota inmediatamente en el ambiente interior, mientras que los valores pequeños, por debajo del 0,5, nos hablan de edificios muy estables, y por tanto, poco dispuestos a cambiar de temperatura.

COEFICIENTES DE ESTABILIDAD TERMICA	
C.e.t. > 1	Local donde los efectos del sobrecalentamiento son críticos.
C.e.t. = 1,0	La temperatura varía en el interior al mismo ritmo que en el exterior.
C.e.t. entre 1,0 y 0,5	Local sin inercia térmica.
C.e.t. < 0,5	Local con inercia térmica. Repercute en el local menos del 50% de la fluctuación de la temperatura exterior.

7.- LA INERCIA TERMICA EFECTIVA

No es suficiente con que un cuerpo tenga una gran masa térmica para que esa cualidad intervenga en la estabilidad térmica del local. Los elementos masivos deben cargarse de energía para poder actuar como volantes de inercia. No todos los cuerpos tienen la misma facilidad para cargarse de energía; por ejemplo, un fluido se carga mejor de energía ya que la convección que se produce en su seno permite utilizar la totalidad de su masa para ese cometido. Sin embargo, un sólido tiene que calentarse por conducción, que es un mecanismo más lento, y que establece un gradiente térmico. El mar, al acumular por convección, actúa más eficazmente que un conjunto montañoso; por ese motivo la temperatura en las localidades costeras es más estable y benigna que la del interior. Sin embargo, si el sólido se encuentra completamente rodeado por el ambiente que lo va a cargar de energía no se establecerá gradiente aunque su calentamiento sea lento. Esto ocurre con las particiones interiores de un edificio. Por contra, cuando se trata de un cerramiento exterior se establece inevitablemente un gradiente que reduce su capacidad de acumulación de calor muy por debajo de su masa térmica, al no poder alcanzar en toda su masa la misma temperatura. (Figura 6)

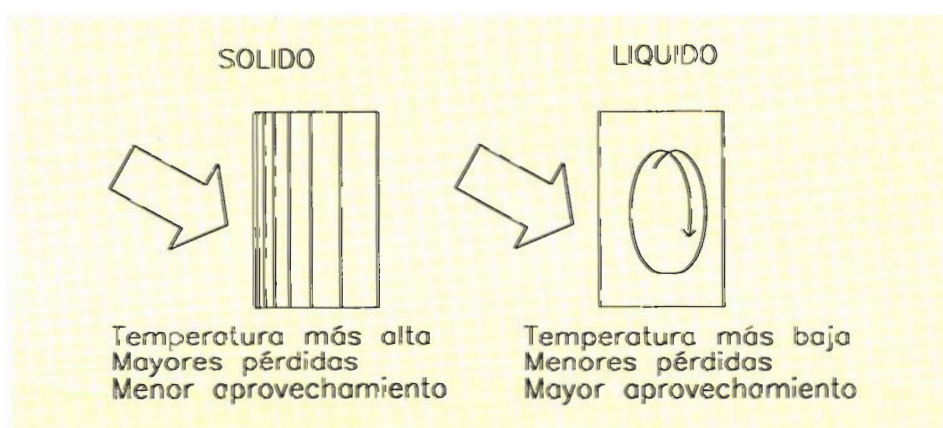


Fig.6.
Acumulación en sólidos y fluidos.

El empleo del material específicamente aislante en los cerramientos es el responsable de la poca inercia con la que, generalmente, se construye hoy en día. Esto es debido a que se coloca cerca del ambiente interior, lo que reduce drásticamente la aportación como acumulador de lámina exterior, que suele ser la pesada. Para que un elemento aporte su inercia a la estabilidad térmica del local es necesario que esté situado dentro de él (una partición horizontal o vertical) o tratándose de un cerramiento exterior que su masa esté en contacto directo con el ambiente interior, es decir un cerramiento sin aislar o con el aislamiento por el exterior. (Figura 7)

Un cerramiento convencional, con el aislamiento situado cerca del ambiente interior aporta únicamente entre el 10 y el 20% de su masa térmica a la inercia del local. Sin embargo, un cerramiento con el aislamiento situado por la cara exterior aportará el 90% y uno que no necesite emplear aislante térmico, entre el 40% y el 60% de su capacidad máxima. Los bloques Termoarcilla recubiertos interior y exteriormente aprovechan el 49% de su masa térmica como masa térmica efectiva.

8.- LA INFLUENCIA DE LA INERCIA TERMICA EN LAS CONDICIONES DE VERANO

La influencia de la inercia térmica en el bienestar es particularmente importante durante el verano, ya que en este período se produce un efecto térmico singular que se denomina sobrecalentamiento.

Durante todo el año, pero fundamentalmente a lo largo de los meses de calor, los espacios cerrados alcanzan temperaturas superiores a las del ambiente exterior. Esto se puede apreciar con claridad en los coches, sobre todo si son oscuros, que cuando han estado unos minutos al sol la temperatura del interior se puede elevar por encima de los 60 °C. El sobrecalentamiento lo produce fundamentalmente la radiación solar, aunque no es la única causa. También lo generan las cargas internas, es decir, el calor disipado por los ocupantes, por los equipos de alumbrado y por el resto de maquinaria que consume y transforme energía (pequeños electrodomésticos de cocina, televisores, ordenadores, etc.). (Figura 8)

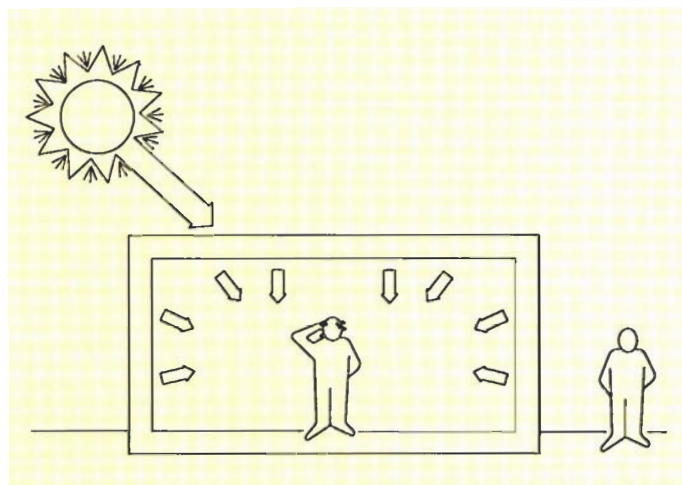
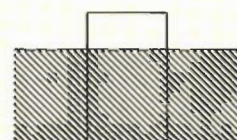


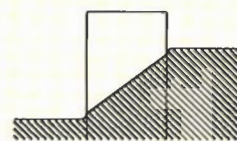
Fig.8.
El efecto del sobrecalentamiento por radiación solar.

La mayor causa del sobrecalentamiento es la radiación solar. Sin embargo, la energía radiante no calienta el aire que atraviesa, por lo que, para notar el efecto del sol es necesario que se intercepte directamente la radiación con un cuerpo opaco a ella. Este cuerpo, una vez caliente será el que transfiera la energía al aire por convección y por radiación en la banda del infrarrojo.

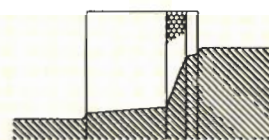
En los espacios cerrados y acristalados, la energía solar, que directamente atraviesa los vidrios, al incidir sobre los cuerpos opacos a la radiación (el suelo, las paredes o los muebles de la habitación) los calentará convirtiéndolos en potenciales emisores de calor por convección y radiación. Dado que los vidrios son opacos al infrarrojo la energía emitida por estos cuerpos no saldrá del local, produciéndose, gracias al efecto invernadero, el



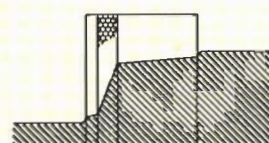
PARTICION INTERIOR
Aporte efectivo: 100%



CERRAMIENTO SIN AISLAMIENTO
Aporte efectivo aproximado: 50%



CERRAMIENTO AISLADO POR EL INTERIOR
Aporte efectivo aproximado: 10%



CERRAMIENTO AISLADO POR EL EXTERIOR
Aporte efectivo aproximado: 90%

Fig.7.
Aportación efectiva en los diferentes cerramientos.

sobrecalentamiento. Por ello, es muy importante proteger los huecos acristalados durante el verano, con soluciones fijas, móviles o simplemente con la correcta orientación de los huecos.

Sin embargo, por muy bien protegido que esté un hueco acristalado, a no ser que se proceda al oscurecimiento total, siempre será una fuente de radiación solar, a veces como radiación directa, a veces como radiación difusa, por lo que el calor pasará al local calentado el aire por encima de las condiciones de bienestar deseadas.

9.- LA ESTABILIDAD TERMICA DURANTE EL VERANO

La temperatura media de un día de verano, salvo excepciones, se encuentra siempre dentro de unos márgenes aceptables de bienestar, es decir, entre 19 y 25°C para casi la totalidad de la península. Si durante los meses del verano se pudiera mantener en el interior de los locales esa temperatura media habríamos conseguido las condiciones de bienestar. Este fenómeno se produce espontáneamente en el interior de una cueva, un sótano, una iglesia o una vivienda popular, es decir en construcciones masivas como mucha inercia. Todas estas construcciones lo consiguen gracias a su gran masa térmica, donde se puede acumular el calor durante las horas centrales y calurosas del día, para distribuirlo lentamente durante el resto del tiempo. En todas ellas el coeficiente de estabilidad térmica estará por debajo del 0,3. (Figura 9)

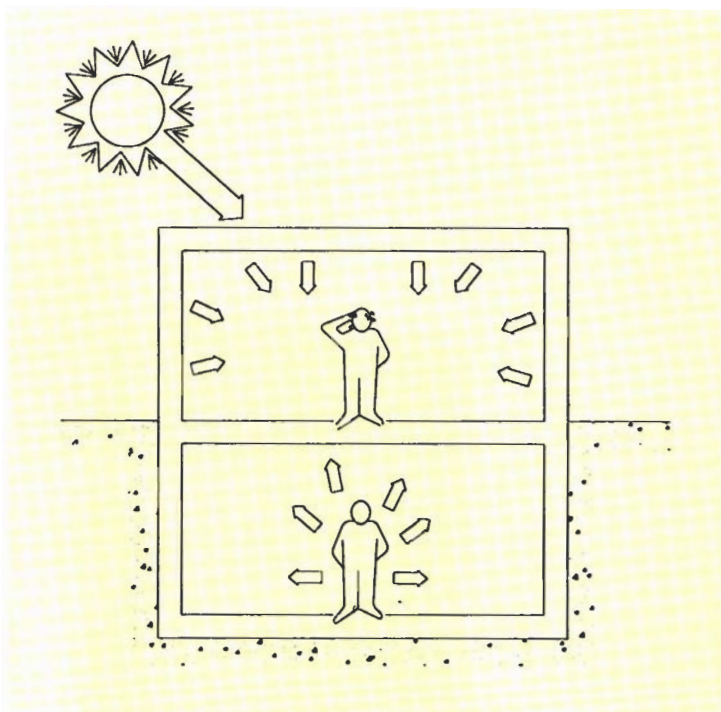


Fig.9.
El efecto de la estabilidad en sótanos.

Todos los elementos de un edificio o un local se deben calentar simultáneamente, por lo que, para que aumente la temperatura del aire de la habitación es necesario que simultáneamente lo hagan todos los elementos que lo confinan: paredes, techo y suelo. Dado que la capacidad de acumulación de un elemento constructivo pesado es muy alta, para que la temperatura del aire de la habitación suba un grado habrá sido necesario aportar enormes cantidades de energía al cerramiento. Por ello, cuanto mayor sea la masa que hay que calentar menos subirá la temperatura del aire y, con masas suficientemente significativas, se podría conseguir en el interior una estabilidad térmica perfecta, próxima a la temperatura media del día. (Figura 10)

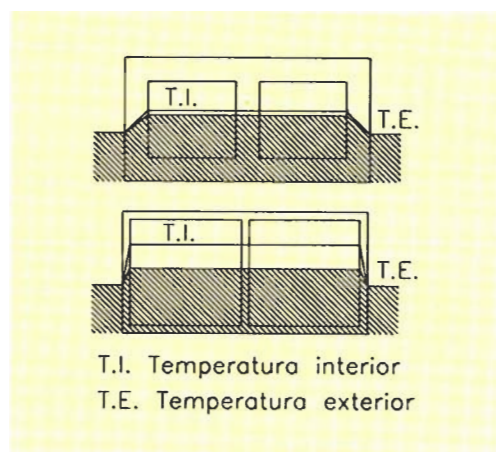


Fig.10.
Subida de los niveles térmicos en edificios con o sin inercia térmica ante la misma captación de energía.

Si el cerramiento es convencional, con un aislante térmico situado cerca del ambiente interior y trasdosado simplemente por un ladrillo hueco, al ser su inercia efectiva del orden del 10 al 20%, la habitación tendrá un coeficiente de estabilidad térmica cercano al 0,9. Es decir, que, al estar próximo a la unidad, las variaciones exteriores se apreciarán perfectamente en el interior. Este tipo de local, orientado al sur y situado en Madrid, durante el mes de julio, con un porcentaje de huecos convencional (del orden del 20%), si no se protege exterior o interiormente, puede llegar al alcanzar los 40 °C.

Sin embargo si el muro se construye con bloques Termoarcilla, al no precisar aislamiento, y ser la inercia térmica efectiva del 49%, el coeficiente de estabilidad térmica bajará hasta el 0,27, lo que supone que, para el mes de julio en Madrid, cuando las variaciones de temperatura en el exterior son de 15,1 °C, en el interior sólo variará 4,1 °C a lo largo del día. Si las condiciones de diseño favorecen la poca entrada de energía (huecos protegidos) o su eliminación durante la noche (ventilación nocturna), se habrá conseguido el objetivo del bienestar en verano sin necesidad de gastar energía en el acondicionamiento.

10.- LA INERCIA TERMICA Y EL CALENTAMIENTO SOLAR

Si la inercia térmica es fundamental a la hora de plantearse mejorar las condiciones de habitabilidad interiores durante el verano, sin recurrir al empleo de equipos de refrigeración, durante el invierno puede ser igualmente fundamental, si lo que se desea es recurrir a las captaciones solares para reducir nuestra dependencia de las energías convencionales.

La forma más sencilla de emplear la energía natural emitida por el sol es mediante el uso de sistemas pasivos, es decir, aquellos sistemas que utilizan los elementos propios del edificio para su funcionamiento: las ventanas y ventanales para la captación de la energía, los muros y particiones internas para su acumulación y la forma y configuración interior de sus espacios para la distribución. Estos sistemas, por tanto, no suponen ningún incremento significativo de presupuesto y si un notable ahorro de energía y contaminación, sin más exigencia que un razonable uso del diseño y de los materiales.

Los sistemas de calentamiento pasivo necesitan para la captación solar de un gran acristalamiento orientado al sur. Sin embargo, dado que la energía que se capta por este acristalamiento es energía radiante, que no calienta directamente el aire, si los acabados del local fueran reflectantes, con la misma facilidad con la que ha entrado saldría sin calentarlo. Por ello, es necesario que los materiales que conforman ese espacio absorban la radiación y la transformen, gracias a un proceso de convección, en aire caliente. Con ello aseguraríamos la eficacia del primer requisito: la absorción y transformación de la energía solar.

Este planteamiento elemental se puede mejorar colocando sencillos sistemas que, a su vez, distribuyan ese aire caliente uniformemente por la habitación. Sin embargo, esto no es sufi-

ciente ya que la energía solar es muy irregular a lo largo del día. Durante el mes de diciembre podemos captar a través de un acristalamiento a sur energía entre las 8:00 y las 16:00 horas solares nada más. Esto provoca que durante las horas de la noche, y gran parte de la mañana y de la tarde, al no haber captaciones, o se consuma energía convencional o la temperatura interior esté muy por debajo de la de bienestar. Por contra, durante las horas centrales del día, cuando la radiación es muy intensa, el calor generado por el exceso de captación nos puede obligar, incluso, a abrir las ventanas y perder parte del calor captado.

Para evitar estos dos extremos es imprescindible acumular la energía que se capta cuando incide el sol y repartirla, lo más equilibradamente posible, a lo largo de las 24 horas del día. Esto resulta muy sencillo si los locales están dotados de una adecuada acumulación. La forma más simple de acumulación es la que se realiza en los muros de cerramiento y en las particiones internas de que disponga el local. Cuanto mayor sea esa acumulación más correcta será la distribución de la energía a lo largo del día.

Sin embargo, un muro pesado, potencialmente acumulador, si lleva el aislamiento convencionalmente situado por el interior, se comporta como si fuera un elemento ligero sin capacidad efectiva de almacenamiento. Este hecho, que corresponde a la situación más habitual en las construcciones actuales, se puede comprobar analizando la fluctuación de la temperatura de un local situado en un Madrid, durante un día de diciembre. Si se pretendió que se comportara captando energía, y para ello se dispuso un gran ventanal ocupando toda la fachada sur, pero se construyó convencionalmente, lo único que se obtuvo fue una gran temperatura durante las horas de captación, el entorno del mediodía, que puede llegar a los 25 ó 26 °C. Sin embargo, durante las horas de la madrugada, cuando no hay captaciones y el escaso calor acumulado ya ha sido utilizado, se alcanzarían poco más de 12 °C. Este local deberá consumir energía para calefactarse durante el 80% del día, mientras que durante el 20% restante, las horas de captación deberán abrirse las ventanas para disipar el exceso de calor. (Figura 11)

Sin embargo, si se utilizara un cerramiento acumulador con bloque Termoarcilla, se aprovecharía el 49% de su masa térmica, y se alcanzaría un factor de estabilidad térmica suficientemente bajo como para que la temperatura interior no tuviera una fluctuación superior a los 5,5 °C. Esto convertiría al sistema en altamente eficaz ya que, en los periodos de calefacción no excesivamente fríos no será necesario aportar energía complementaria, y en aquellos demasiado fríos se aprovecha al máximo lo captado, transformándolo en ahorro efectivo. (Figura 12)

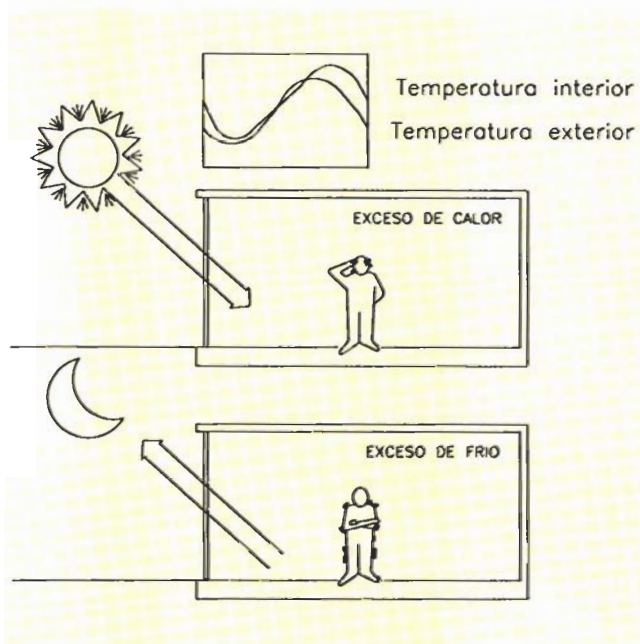


Fig.11.
El efecto día/noche en un local sin inercia

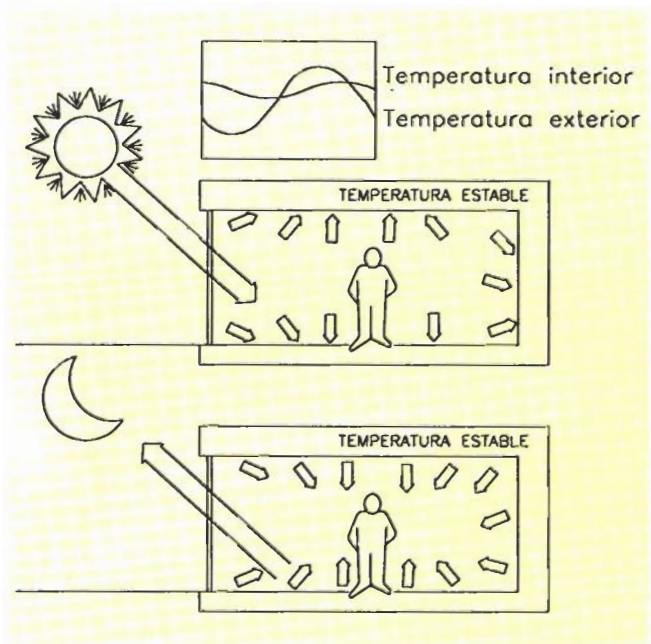


Fig.12.
El efecto día/noche en un local con inercia.