

# Evaluación de la demanda energética real de un grupo de viviendas

---

**Alumno: Israel Pérez Clemente**

**Profesor: Juan Soto Camino**

# INDICE

---

## INTRODUCCION

- 1. LOS COMBUSTIBLES*
- 2. AHORRAR ENERGÍA*
- 3. LA VIVIENDA CONFORTABLE*
- 4. LOS MECANISMOS*
- 5. GANANCIAS Y PERDIDAS DE CALOR. LOS MATERIALES*
- 6. LAS PAREDES Y LOS AISLANTES*
- 7. LOS VIDRIOS*
- 8. LAS INFILTRACIONES DE AIRE*

## OBJETIVOS

- 1. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL*
- 2. MODELOS Y SISTEMAS*

## FASES Y METODOLOGIA

### **1. DESARROLLO DE NUEVOS SISTEMAS DE MEDIDA ADAPTADOS A LAS NECESIDADES DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y ESTRUCTURAS.**

- 1.1. Equipo para la determinación de la conductividad térmica de los materiales.

### **2. DETERMINACIONES REALIZADAS.**

- 2.1 Conductividad térmica de materiales
- 2.2. Descripción de las propiedades térmicas de los distintos materiales.

### **3. SISTEMA PARA LA MEDIDA DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN ESTRUCTURAS Y SUBSUELOS**

- 3.1. Equipo para la medida de la conductividad térmica: Caja caliente calibrada.
- 3.2. Medida de la conductividad térmica en muros.
- 3.3. Medida de la conductividad térmica en suelos.

### **4. FACTORES DEL DISEÑO QUE ACTÚAN SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA.**

- 4.1. Efectos de del orden de las distintas capas que forman un cerramiento. aislamiento térmico e inercia térmica.
- 4.2. Nomenclatura
- 4.3. Determinación de la temperatura límite alcanzada en el sistema
- 4.4. Capacidad calorífica dinámica de un sistema:
- 4.5. Perfil térmico de un cerramiento.
- 4.6. Gráfica temperatura/tiempo.
- 4.7. Estudio de ciclos de calentamiento-enfriamiento.

- 4.8 Estudio del comportamiento de los cerramientos durante verano.
  - 4.8.1. Perfil de temperaturas.
- 4.9 El factor de pérdida  $\phi$

## **5. CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DE VIVIENDAS**

- 5.1 Introducción
- 5.2 Edificio MASSALFASAR
  - 5.2.1. Instrumentación
  - 5.2.2. Resultados
- 5.3 Edificio PATERNA
  - 5.3.1. Instrumentación
  - 5.3.2. Resultados

## **CONCLUSIONES**

## **RESULTADOS PUBLICADOS**

# INTRODUCCION

---



Desde hace pocos años, cada vez que leemos el diario, aparece alguna noticia relacionada con el petróleo, con la generación de electricidad, la inauguración de una nueva central hidroeléctrica o la realización de obras nucleares.

Día tras día, un inexorable bombardeo de noticias y slogans publicitarios, nos es lanzado desde el televisor, la radio, los diarios. Todo parece apuntar a la energía.

Esta trascendencia está dada porque sin energía las casas estarían a oscuras, las industrias no producirían, los automóviles permanecerían inmóviles. En resumen, la vida tal como la conocemos sería imposible. Hoy, para el bienestar que nos brinda la electricidad y los medios de transporte por ejemplo, debemos gastar grandes cantidades de energía, proveniente del petróleo, en primer lugar, y de las represas hidroeléctricas en segundo término.

Nuestra civilización se caracteriza por su enorme consumo de energía. El hombre primitivo, aquel que vivía en las cavernas, no tenía más que la energía de sus músculos. El alimento que comía le proveía de las calorías necesarias para caminar, correr y realizar tareas múltiples. Durante su evolución, el hombre de las cavernas inventó algunas herramientas y con ellas alivió sus labores, Siglos más tarde, incorporo; al trabajo animales como el caballo y el buey. Con ellos, pudo disponer de más fuerza y por lo tanto, por primera vez, contó con fuentes externas a su cuerpo.

Fue éste un extraordinario descubrimiento porque le permitió conocer los beneficios de disponer de grandes cantidades de energía.

El siglo pasado puso en funcionamiento la máquina de vapor, que le entregaba una cantidad de fuerza muy superior a la de los animales de carga. Desde entonces a la actualidad no se ha interrumpido la carrera tecnológica para poner en marcha fuentes que ofrecen más energía a menor costo. El hombre llegó así a domar el átomo poniéndolo a su servicio en centrales núcleo-eléctricas.

## **1.LOS COMBUSTIBLES**

Hace muchos siglos, el hombre descubrió el fuego y al quemar leña liberó la energía que contienen los vegetales. Aprendió luego a elaborar el carbón vegetal, con lo cual se apropió de un factor de confort, puesto que las brasas de carbón no producen humo, muy molesto si se lo emplea para cocinar en interiores.

Después del carbón vegetal, apareció el mineral y una nueva industria se desarrolló en su entorno. El carbón mineral tiene, en términos generales más energía por kilogramo que la leña o el carbón vegetal. Dos kilogramos de leña dan casi el mismo calor que uno de carbón mineral. Rápidamente, se comenzó a usar este nuevo combustible A pesar de que ensuciaba y dejaba mucho hollín, evitaba un doble trabajo; buscar y cortar leña. Al utilizarse la mitad de kilogramos con igual resultado, su empleo se masificó.

A principios de siglo, comenzó el uso del petróleo. Tampoco es una casualidad que este hidrocarburo se haya impuesto en tan pocos años. Es líquido y por lo tanto de práctico transporte y almacenaje. Tiene mayor poder calórico por kilogramo que el carbón. La alimentación de calderas y de otras fuentes generadoras de calor es más fácil puesto que puede automatizarse su flujo. La operación de limpieza de una caldera a petróleo, por ejemplo, es incomparablemente mejor que una a carbón. Estas características llevaron al incremento vertical del consumo de petróleo, que en solo tres décadas, desplazó totalmente al carbón, en los usos industriales y domésticos.

El hombre, con el petróleo, vio facilitado el camino de la evolución hacia comodidades cada día mayores. Las naciones, crecieron haciendo uso de sus bondades. La calidad de vida se fue acrecentando hasta llegar al que hoy posee. Pero este ascenso se realizó sobre la base de consumos cada año mayores, hasta

que los consumos se transformaron en abusivos.

## **2.AHORRAR ENERGÍA**

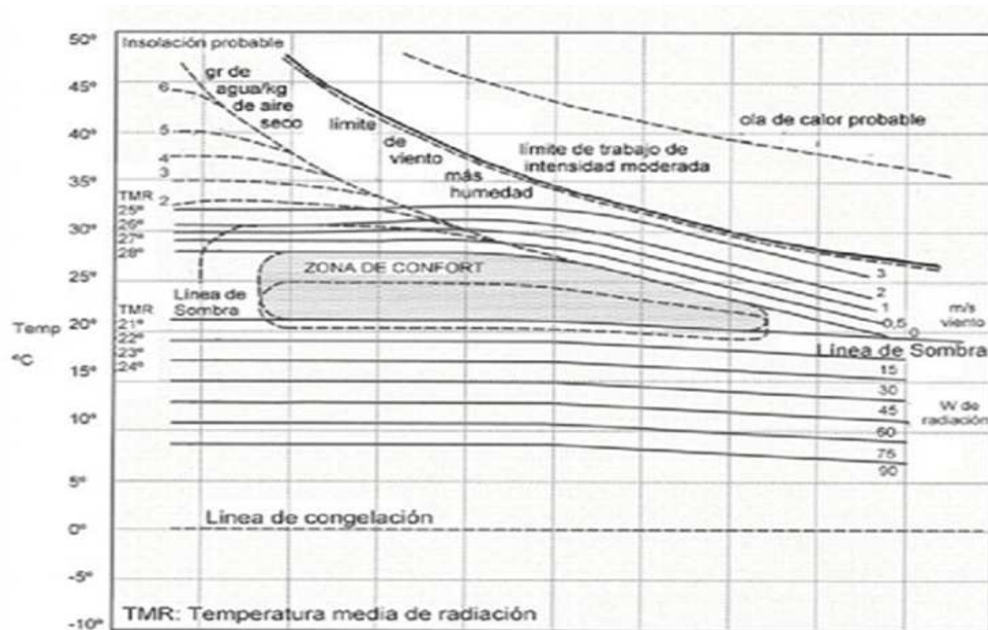
Desde que se inició el desarrollo tecnológico de este siglo, se hicieron las cosas sin pensar demasiado en los hidrocarburos que se gastaban. Pero ahora, las reglas del juego son muy diferentes. Ha llegado la hora de un nuevo desafío a la imaginación creadora y al ingenio. Hacer lo mismo que hasta ahora pero consumiendo menos.

Estarnos en los umbrales de una nueva revolución, la de la eficiencia. A tal fin se deben reconvertir todos los procesos industriales, las maquinarias, los edificios, en otras palabras todo aquello que, de una u otra forma consume energía. En particular, poner énfasis en los ahorros de energía en viviendas y edificios.

Toda vivienda o edificio es diseñado y construido para tener como mínimo, una vida de alrededor de cincuenta años, o sea, una vivienda construida hoy durará más allá del límite de agotamiento del petróleo. Permanentemente, se levantan viviendas que nada tienen que ver con la época en que vivimos. Edificios donde, dentro de unos años será imposible poder pagar los consumos de calefacción y refrigeración, están pensados para la era de la energía barata, donde una caldera o estufa más o menos grande a nadie le importaba, edificios que llevan consigo una auténtica crisis.

## **3.LA VIVIENDA CONFORTABLE**

Cuando éramos hombres primitivos nuestra piel, se cubría de espesa pelambre para protegerla de las inclemencias del clima. Muchos siglos han transcurrido y es costumbre universal protegernos del clima con una construcción que llamamos casa. Lo que diremos sobre ella será válido para los edificios de oficinas o industriales. En todos ellos, el objetivo es la búsqueda de un refugio que nos mantenga apartados, separados del clima. Es inconcebible una vivienda que no nos proteja, que no mantenga una cierta temperatura y humedad constante. Todos protestamos cuando nos vemos obligados a trabajar o vivir en un ambiente demasiado caluroso o demasiado frío, en un ambiente que no tenga diferencia respecto al aire exterior.

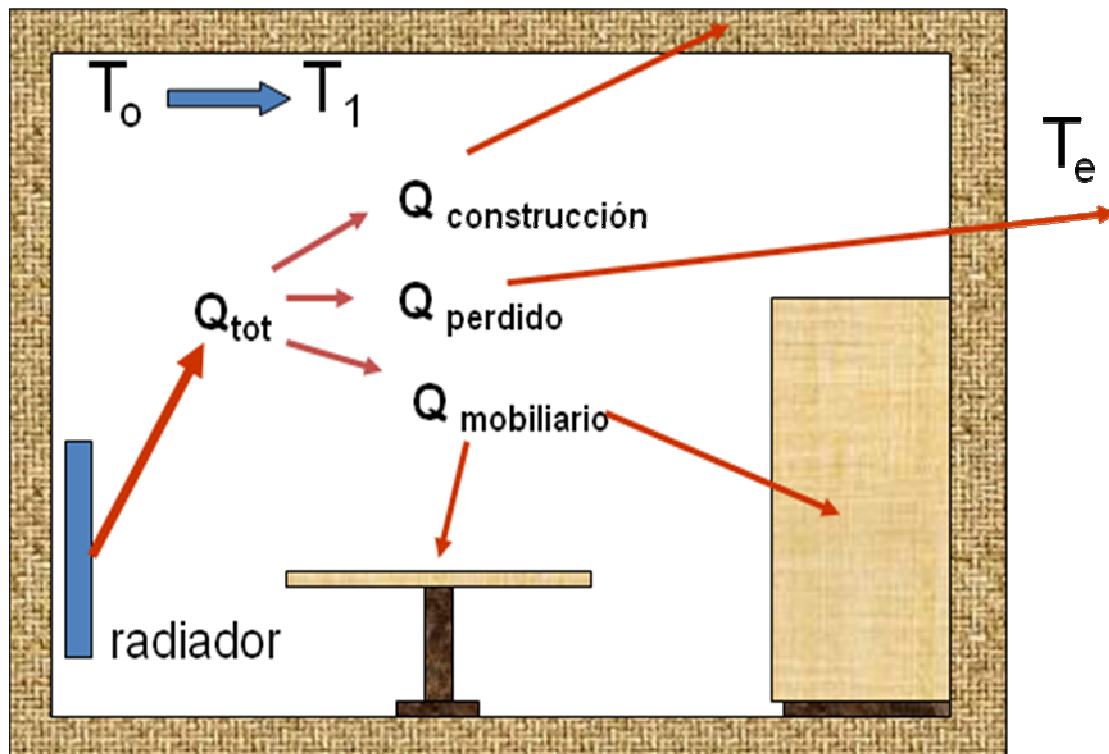


El concepto de confort, entonces, está ligado al de constancia de la temperatura interior de la vivienda y al de independencia de la temperatura exterior.

Por supuesto que esa sensación dependerá además de factores subjetivos, tales como el tipo de actividad que desarrollamos, el mobiliario que nos rodea, etc. El objetivo del diseño y construcción de un edificio es, por lo tanto, dar satisfacción plena a las diversas de los ocupantes entre ellas las ambientales. Es entonces prioritario diseñar o reacondicionar estas construcciones con un nuevo criterio.

¿Por qué tanta insistencia en el confort? Porque de todos los factores es éste el que mayores consecuencias tiene sobre los consumos de energía. Una casa dentro de la cual hace frío mientras afuera hace calor, es la antítesis de lo que llamaríamos el ideal de casa. Sin embargo, los últimos años, es fácil observar cada vez con mayor frecuencia cómo las casas y edificios se construyen contra este criterio, haciendo prevalecer la belleza del diseño sin pensar en los gastos que se ocasionarán a los futuros habitantes. Total, la energía era barata. Ahora la energía cuesta y mucho. Hay casas y edificios donde los habitantes sufren frío porque los costos de calefacción son prohibitivos.

Es suficiente con ejecutar sólo algunas medidas y los consumos de combustibles de nuestros edificios y casas serán reducidos a la mitad o menos. Eso sí, habrá que olvidarse de basar todo el confort en la calefacción o el aire acondicionado. La casa deberá ser diseñada o convertida en una construcción que conserve la energía.



Para esto, consideraremos algunos conceptos sobre el comportamiento del cuerpo humano ante el clima. Nuestro cuerpo es sensible a los cambios de temperatura, humedad, radiación y viento. La temperatura normal del cuerpo es de 37° Centígrados. Cuando enfermamos, la temperatura se eleva hasta llegar a límites de 41° o 42° donde se hace peligrosa. Nuestro cuerpo es muy sensible a los aumentos de su temperatura interior. Tan sólo 5 ó 6 grados más de lo normal pueden causar la muerte.

El cuerpo humano tolera aún menos las bajas temperaturas, pues con 35°C el hombre comienza a sentir somnolencia hasta caer en un profundo letargo. Sentado en una habitación, la sensación de satisfacción ambiental dependerá de la temperatura del aire, que se considera adecuada si se encuentra entre 18°C y 26°C. Entre esos límites, el cuerpo se encuentra, bien si se viste ropa no muy pesada y se cumple una actividad liviana.

La humedad relativa, es la menos culpable. La tolerancia a su variabilidad es grande: desde 20% a 75%. Claro que un día con un 90% de humedad relativa barre con todos los buenos recuerdos y tolerancias.

Nuestro cuerpo es muy sensible a los cambios en la radiación que recibe, por ejemplo, desde el sol. Si la temperatura es inferior a 18°C, pero hay buen sol y nos colocamos bajo su protección comenzamos a sentir de inmediato que nuestra sensación de confort aumenta. No en vano tantas generaciones de jubilados toman el solcito en las plazas. El sistema de calefacción conocido como losa radiante o el

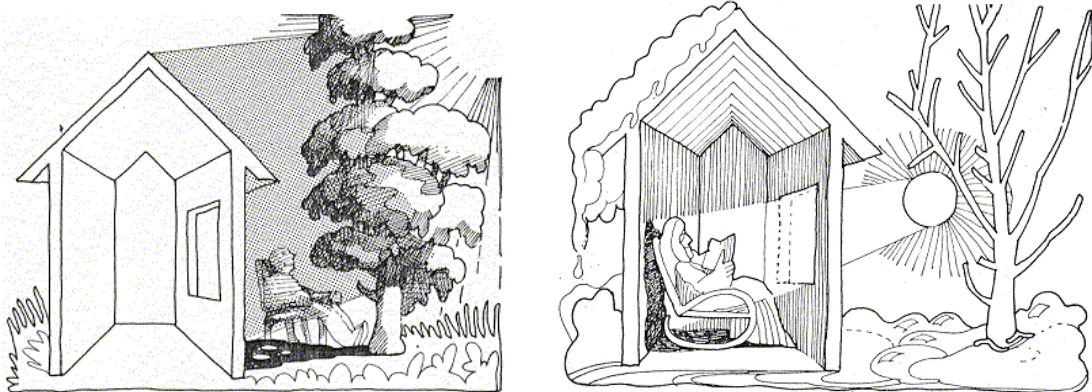


de radiadores, utiliza el principio de irradiación para alcanzar una temperatura agradable.

Así como una persona se siente bien cuando está al sol en un día de frío, lo contrario es también cierto. El sol es muy molesto cuando la temperatura del aire es alta. En consecuencia, una habitación donde entra el sol en invierno es confortable. En verano ocurre lo contrario. Esta habitación actúa como un elemento conservador de energía.

La humedad relativa es altamente molesta cuando se combina con los extremos de temperatura. Una habitación con 30°C y 80% de humedad relativa ofrece un ambiente muy molesto. Si aumentamos la temperatura sin bajar la humedad, transformaremos la habitación en un baño turco, con el peligro del golpe de calor, enfermedad producida por combinación de alta temperatura y humedad.

A la inversa, las altas temperaturas con muy baja humedad pueden provocar peligrosas insolaciones. Existen límites muy bien trazados por sobre los cuales es casi imposible el desarrollo de cualquier trabajo. Se trata de la zona por arriba del 80% de humedad relativa y 35°C o 25% y 45°C. A mayor temperatura se necesita más humedad y a menos temperatura, menos humedad.



Si la temperatura es superior a lo deseable, el cuerpo comienza a transpirar, enfriándose por medio de la evaporación. Pero, para evaporar adecuadamente, es necesario poseer buena ventilación, otro factor más que se agrega al complejo confort.

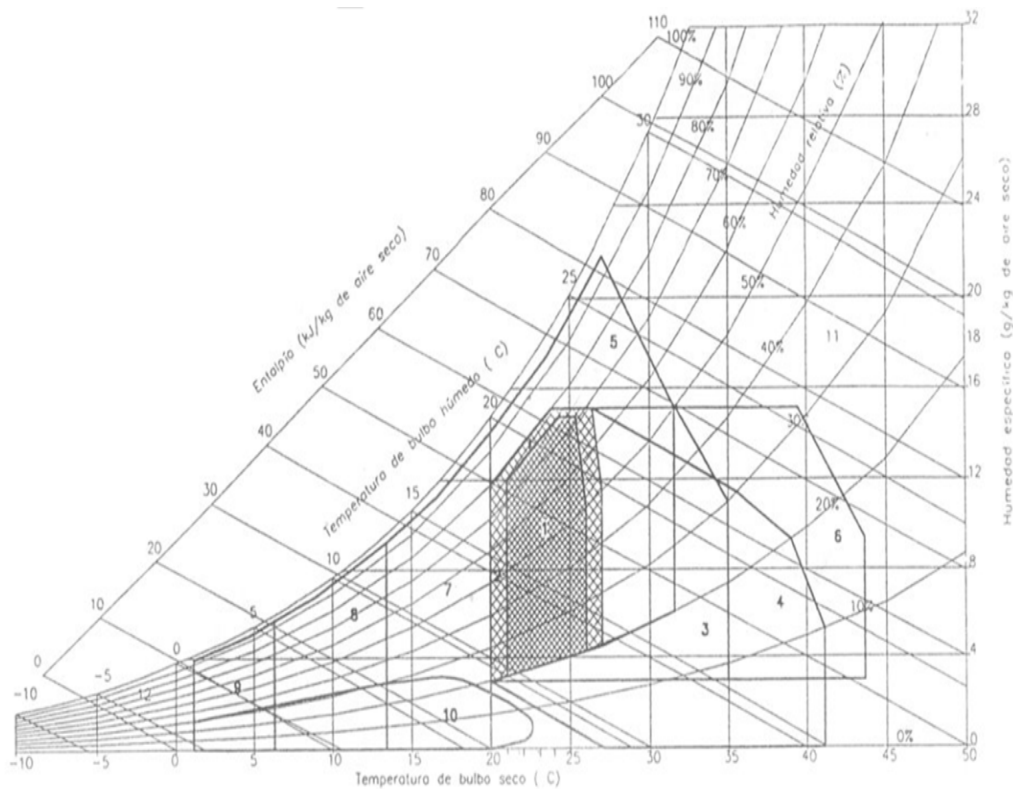
En un clima muy húmedo, es deseable contar con mucha ventilación para evaporar rápidamente la transpiración. Sabemos lo desagradable que puede ser un ambiente cerrado y húmedo en pleno verano.

Todos estos datos y descripciones sobre el confort de las casas, tienen condicionantes muy grandes en la edad, sexo y vestimenta del ocupante, Los varones soportan uno a dos grados menos de temperatura que las mujeres. En invierno, las mujeres necesitan más temperatura y en verano menos. Igualmente, a medida que avanzamos en edad, se necesita mayor temperatura en invierno y

menor en verano. La ropa hace variar mucho la temperatura necesaria en una habitación. De modo general, sabemos que vestidos con ropas muy abrigadas, soportamos temperaturas más bajas durante un largo tiempo.

Definimos entonces un triángulo del confort, con vértices colocados en 20% y 75% de humedad relativa y temperaturas ambientales de 18°C y 26°C. Pensamos en los extremos: desarrollar una actividad física intensa al sol con 40°C y 75 % de humedad, parece realmente incómodo. El confort dentro de tal edificio solamente se puede restaurar si se coloca aire acondicionado, con el cual se deberán gastar impresionantes cantidades de electricidad, para eliminar un defecto que pudo ser corregido al construirse el local. El camino es exactamente el opuesto: deben diseñarse edificios adaptados al clima y a la actividad a desarrollar en ellos.

El hombre se ha desarrollado mejor en estrecho contacto con la naturaleza. Un edificio del tipo "coraza" que aíse totalmente del entorno es dañino, no sólo desde un punto de vista energético, sino también médico.



#### 4. LOS MECANISMOS

Cuando hablamos de ahorro de energía, nos referimos al ahorro de los combustibles que generan esa energía.

En un edificio, la energía se consume de varias formas, pero fundamentalmente en calefacción, refrigeración e iluminación. De los consumos mencionados, el primer puesto lo ocupa la climatización de ambientes. La iluminación reviste importancia pero únicamente en los edificios para oficinas.

Los artefactos domésticos tales como lavadoras, neveras, etcétera, tienen bajos consumos.

Un fenómeno generalizado en la naturaleza es el de hacer circular la energía desde los lugares más calientes a los más fríos. En tal caso decimos que hay un flujo de calor. Jamás ocurre lo contrario. Una habitación se enfría si el ambiente externo está más frío y se calienta si la temperatura externa es superior.

El calor circula desde los lugares de mayor temperatura a los de menor temperatura.

La energía contenida en un lugar caliente que se está enfriando, se pierde de tres formas posibles. En primer lugar, los materiales calientes en contacto con materiales más fríos les pasan el calor de tal modo que los materiales calientes se enfrían. Este es un fenómeno de transmisión, donde los materiales necesitan tocarse para que ello ocurra.

La velocidad con que un material pierde calor, depende de su conductividad, una propiedad que tiene cada material en particular. Hay materiales que conducen más que otros. Los metales son mucho más conductores del calor que los materiales de construcción.

Cuando una superficie está caliente, el aire en contacto con ella se calienta por conducción. Pero como el aire tiene la posibilidad de moverse y elevarse, esta capa caliente en contacto con la pared se desprende y se lleva el calor con ella hacia lugares más fríos, donde en contacto con aire de menor temperatura le pasará el calor, se enfriará y se iniciará un proceso de convección del aire. De esta forma, se produce el enfriamiento por convección natural de una pared, techo u otro elemento: caliente y en contacto con el aire.

Existe otro tipo de enfriamiento por convección aquel en el cual el aire circula forzado sobre el material caliente. Es la convección forzada, que por hacer circular el aire más rápidamente traslada más energía que el proceso natural.

Cuando el viento sopla sobre una superficie, la masa de aire que pasa sobre ella se está llevando el calor de la superficie, siempre y cuando ésta esté más caliente que el aire. Si es a la inversa, el aire se enfría y la superficie se calienta.

Un techo al sol se calienta al recibir radiación solar y se enfría al circular aire sobre él.

El tercer proceso de transporte de energía a distancia es por radiación. La luz del sol nos llega desde muy lejos; entre el sol y la tierra no hay materia alguna que sirva de medio de transporte, tal como en los dos procesos antes descriptos. Es que la luz del sol es una onda electromagnética que puede viajar en el vacío y lo hace a gran velocidad, la de la luz. Se puede comprobar que todo cuerpo emite ondas y que estas ondas llevan consigo cierta cantidad de energía. Es lo que se conoce como irradiación.

Cuanto más caliente está un cuerpo, más energía es capaz de irradiar. Si la temperatura es suficientemente alta, alrededor de  $6.000^{\circ}\text{C}$  -como el sol- entonces las ondas irradiadas se pueden ver y las llamamos luz. Todos los cuerpos sobre la superficie terrestre emiten o irradian ondas llamadas infrarrojas. Hay varios tipos de ondas infrarrojas, dependiendo la potencia y cantidad de energía que transportan y de la temperatura del cuerpo que las emite la calefacción por infrarrojo, esas placas tan comunes que se ven en las paredes, emiten un infrarrojo muy poderoso, pues proviene de una fuente de alta temperatura.

La temperatura de un cuerpo que está más caliente que su entorno tiende a decrecer con el tiempo, lo que equivale a decir que el cuerpo está desprendiendo energía. Esta pérdida de energía por parte del cuerpo se puede producir mediante los mecanismos de conducción y de convección, en los que la magnitud del intercambio energético es proporcional a la diferencia de temperatura entre el cuerpo y el entorno.

Además estas modalidades de transmisión necesitan de la presencia de algún medio que se encuentre en contacto con el cuerpo que se considera. No obstante, si aislamos completamente un cuerpo caliente de cualquier medio que pueda estar en contacto con él (es decir, hacemos el vacío) podemos comprobar que la temperatura también disminuye con el tiempo y que el cuerpo pierde energía. El tipo de transmisión de energía registrado en estos casos es completamente distinto al de los dos anteriores y se conoce con el nombre de "radiación térmica".

Para que un cuerpo pierda energía por radiación no es necesario que se caliente. La radiación térmica forma parte de un fenómeno más general, conocido con el nombre de energía radiante.

Existen varias teorías para explicar la transmisión de energía por radiación. Una de ellas sostiene que el cuerpo emite "paquetes" o "cuantos" de energía y sirve para explicar el efecto fotoeléctrico, la radiación térmica, etc. Otra afirma que la radiación puede representarse por un movimiento electromagnético ondulatorio; con esta base explica los fenómenos de interferencia y polarización de la luz, etc. En la actualidad se acepta una teoría híbrida en la que se asignan a la vez, a la energía radiante, las características del movimiento ondulatorio y de la emisión discontinua.

Todos los cuerpos emiten energía y a su vez la absorben de sus inmediaciones. Cuando se alcanza el equilibrio térmico, la velocidad de emisión y absorción son iguales. La materia en estado condensado (sólido o líquido) emite un espectro continuo de radiación. Este espectro depende sobremanera de la temperatura. A temperaturas ordinarias, los cuerpos se ven por la luz que reflejan, no por la que emiten. Sin embargo, a temperaturas altas los cuerpos son autoluminosos y es posible verlos brillar en cuartos oscuros. Si se eleva uniformemente la temperatura de un cuerpo caliente, se observa: A mayor temperatura, mayor radiación térmica emitida.

Entre más alta la temperatura, más alta es la frecuencia de la parte del espectro que radia más intensamente; los colores cambian de “rojo vivo” a “rojo blanco” a “azul”. Así, se puede estimar la temperatura de cuerpos incandescentes (estrellas, hierro, etc.) a través del análisis de su espectro o del color principal que es visible. La forma detallada del espectro de radiación térmica depende de la composición del cuerpo que la emite.

Cuando el origen de la radiación es el calor, la energía se emite en función solo de la temperatura y se denomina radiación térmica., es la zona del espectro radiante comprendida entre las longitudes de onda de  $1 \times 10^{-7}$  m a  $1 \times 10^{-4}$  m

En primer lugar, definiremos algunos términos y conceptos que sean característicos de los problemas de emisión de energía radiante. Nos referiremos principalmente a la radiación térmica, aunque algunos de los conceptos sean aplicables a todas las formas de la energía radiante. En efecto, con frecuencia resulta que los cuerpos emiten varias formas de energía radiante. Dedicamos este capítulo exclusivamente al estudio de la energía radiante de tipo calorífico.

Las ondas de radiación pueden ser absorbidas, tanto más fuertemente cuanto más oscura o cercana al negro es la superficie.

En cambio el blanco es todo lo contrario, produce un rechazo, un reflejo de la luz del sol. Hay otros colores muy reflectantes del sol, como el plateado y el oro.

Los colores claros son buenos para climas cálidos, los oscuros para los fríos. Cuanto más oscuro es un color más absorbe la energía del sol. Esto vale también para la energía proveniente de radiación infrarroja. Además de los colores, hay elementos que absorben luz o cierto tipo de radiación. El vidrio es sumamente curioso en su comportamiento pues deja pasar la luz del sol pero no el infrarrojo. En consecuencia, en toda ventana se produce un efecto caracterizado por el pasaje de luz y el no pasaje de infrarrojo. El vidrio impide, así, que la emisión de calor de paredes y pisos se vaya por la ventana a través del vidrio. Si la habitación se ha calentado porque entró sol, no se podrá enfriar por irradiación desde adentro hacia afuera mientras la ventana permanezca cerrada.

Otro efecto muy conocido, es el de los autos colocados al sol y totalmente cerrados. Esta situación causa más de un disgusto, pues al volver al auto, el desprevenido conductor generalmente no puede tocar, sin quemarse, el volante y menos aún, sentarse. Se ha producido un efecto invernadero. la radiación del sol ha sido absorbida en los asientos y carrocería y no pudo ser remitida enfriando el auto, pues las ventanas estaban cerradas impidiendo el paso del infrarrojo. Además, los vidrios también impiden el paso del viento, con lo cual el enfriamiento por convección forzada no se produce.

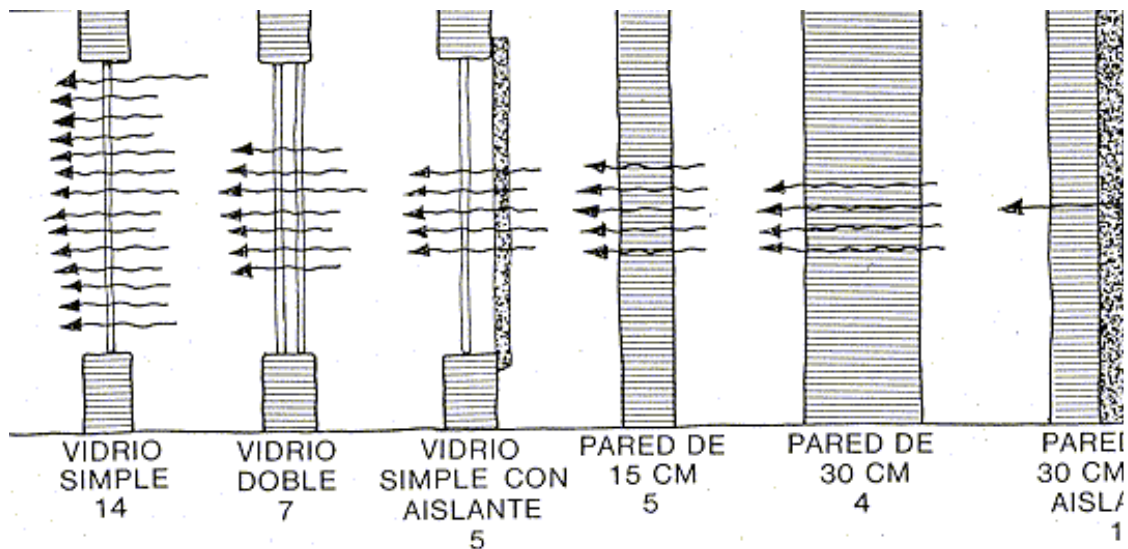
Además de absorber la luz del sol y la radiación infrarroja, los materiales tienen otra propiedad, la de almacenar calor.

Sabemos perfectamente que en toda vivienda o edificio se produce una carga de energía durante las horas en que el sol penetra a través de las ventanas o se proyecta sobre las paredes.

Esa energía, acumulada durante las horas de sol, es irradiada hacia el interior de la vivienda y hacia el exterior cuando el sol se pone. La radiación producirá un efecto calefactor. Ese mismo efecto, en verano, es indeseable y producirá un recalentamiento del ambiente.

## 5. GANANCIAS Y PÉRDIDAS DE CALOR. LOS MATERIALES.

Si las leyes físicas dicen que los flujos de calor van de lo más caliente a lo más frío, es inevitable concluir que en el invierno las habitaciones tienden a perder calor desde adentro de la casa hacia afuera y en verano a ganar calor de afuera hacia adentro. La calefacción se inventó para calentar ambientes cuya temperatura era demasiado baja para vivir con confort; en consecuencia se logró inyectar calor con una estufa para que la temperatura subiera a niveles agradables. De igual manera, el aire acondicionado fue creado para extraer calor de un ambiente demasiado caluroso.



Una habitación puede perder energía desde adentro hacia afuera y hacerlo lenta o rápidamente. Esto dependerá de los materiales con que esté construida, de la temperatura interna y de la externa.

Desde el punto de vista del ahorro, la temperatura interna de una casa deberá ser de alrededor de 18°C. Parecerá baja, no obstante es suficiente para mantener el confort del ambiente.

De ahora en más consideramos que todas las casas ahorrativas tienen una temperatura de 18°C. Mayor temperatura significa automáticamente más gasto.

De igual forma, fijaremos para verano, una temperatura de ahorro de 27°C en el interior de las viviendas y edificios. Si dos viviendas están colocadas en el mismo lugar y una de ellas necesita más calefacción que la otra, es que tiene mayores pérdidas de calor.

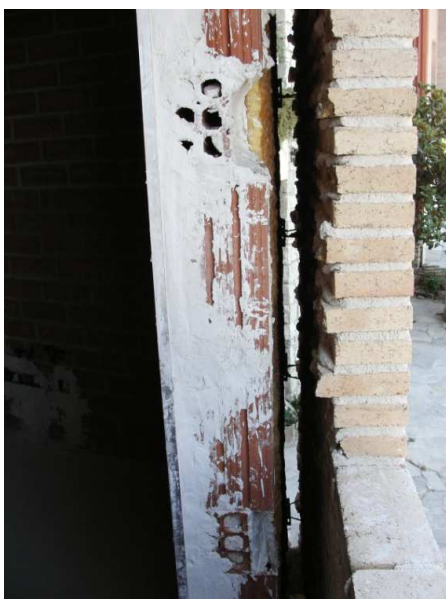
En toda habitación, las pérdidas se producen a través de las paredes, techos y ventanas por conducción del calor hacia el aire frío exterior. Además, todas las puertas y ventanas tienen rendijas por donde se infiltra aire frío, que hace bajar la temperatura del ambiente.

## 6.LAS PAREDES Y LOS AISLANTES

Las pérdidas de calor a través de la mampostería, son significativas cuando los materiales con que está construida la vivienda son muy livianos. El caso extremo es el de las casas de chapa, donde las pérdidas de calor son muy superiores. En cuanto al consumo, estas viviendas serán las más costosas.

Los materiales de construcción como el ladrillo y el hormigón, son buenos elementos para retención de la energía dentro de la habitación, siempre que tengan un espesor adecuado. Las paredes exteriores construidas con muy poco espesor, 10 ó 15 centímetros, causarán inevitablemente un gran consumo de combustible. El espesor más común con que se construye una pared, es de 30 cm. Esta pared tiene buenos valores de conductividad, aunque a medida que los combustibles se encarecen comienza a ser necesario disminuir aún más las pérdidas, para lo cual habrá que recurrir a ciertos artificios.

Las casas de antes, se hacían con paredes de 45 cm o más. Actualmente, construir semejante pared tiene un costo muy alto. Pero se pueden usar aislantes, elementos de baja conductividad y por lo tanto bajas pérdidas, además de razonable costo.





Los aislantes utilizan el aire encerrado en pequeñas celdas para evitar el paso del calor. El aire es un mal conductor del calor. Las aislaciones, al contar con cientos de pequeñas burbujas de aire encerrado en ellas, aumentan y magnifican el efecto no conductor del aire. Así, una pared con cámara de aire, baja los consumos de energía. En una pared aislada no es necesario llevar el espesor del aislante a valores muy altos para bajar mucho las pérdidas de calor. Una pared de 30 cm dividida al medio con una cámara de 5 cm de aislante, por ejemplo, tiene una pérdida que es la tercera parte de la de una pared maciza de 30 cm de ladrillo. Si llevamos aislamiento a 10 cm disminuimos las pérdidas en un 25 % adicional.

El aislamiento es particularmente importante en los techos, puesto que esta zona de los edificios está fuertemente sometida a la acción del sol y el viento.

Lo que decimos para las pérdidas es también válido para las ganancias, de calor en verano.



Existen varios tipos de aislante: Lana de vidrio, espuma rígida, lana mineral y otros en forma de espumas que se colocan en el lugar. Cabe decir, tan sólo, que el uso de aislantes es uno de los mejores caminos para bajar los consumos de combustibles.

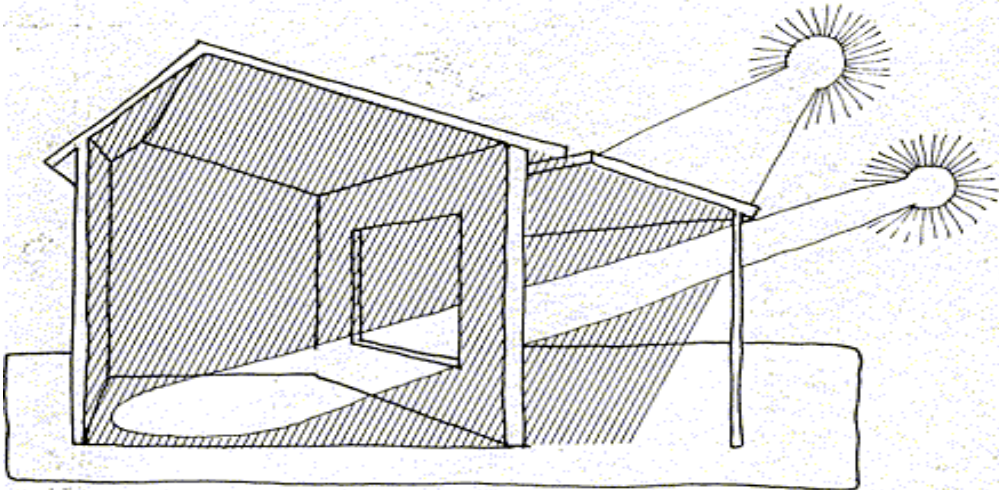
En todos los casos de colocación de aislaciones, se deberá tener especial cuidado con el fenómeno de la condensación, que ocurre siempre que hay aire húmedo, como el existente dentro de las viviendas, en contacto con una superficie fría. En ese lugar se forma una película de agua tanto mayor cuanto más húmedo es el aire y más grande la diferencia de temperatura con el exterior.

## **7.LOS VIDRIOS**

El material siguiente en importancia dentro de un edificio es el vidrio. Las ventanas se recubren de vidrio para que no penetre en las habitaciones el viento y con él polvo y suciedad. Al mismo tiempo, los vidrios permiten la visión y el pasaje de luz imprescindible para la iluminación natural de los ambientes.



De todos los elementos de una vivienda, el vidrio es el que mayor pérdida térmica tiene ya que equivale a tres veces la de una pared de 30 cm de espesor. Es necesario entonces, estudiar muy cuidadosamente la cantidad de vidrio a colocar en una vivienda, pues está directamente relacionada con las pérdidas de energía y de dinero. La superficie de vidrio deberá ser, desde el punto de vista del ahorro de energía, la necesaria para una buena iluminación y ventilación naturales al abrirse las ventanas. Los edificios con enormes muros de vidrio reemplazando a las paredes, son verdaderos monstruos consumidores de energía. Exactamente van a gastar tres veces más que uno normal y seis veces más que uno convenientemente aislado. Esto puede ser mucho dinero. Así como el vidrio pierde energía, también la gana. Cuando el sol pasa a través de vidrio y entra en un ambiente en verano el efecto puede ser desagradable pues introduce calor extra en el ambiente. Debemos en consecuencia evitar la penetración del sol en verano mediante un adecuado diseño de los aleros de protección de las ventanas y la orientación de ellas. En invierno, las ventanas causan pérdidas de energía durante las horas en las cuales no entra sol, pero ganan energía cuando penetra en la habitación.

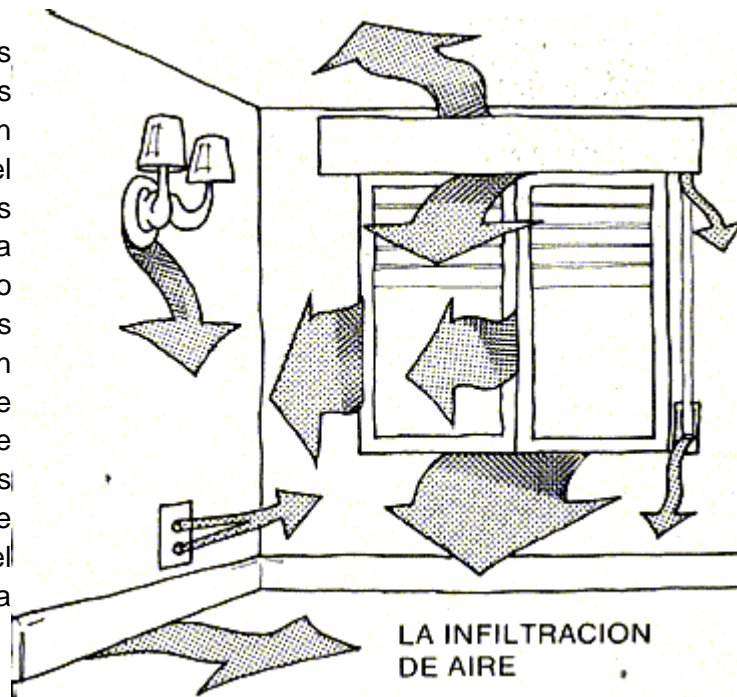


El sol es energía pura que evita el gasto en calefacción. Una vivienda con locales bien orientados y con ventanas recibiendo sol durante varias horas al día, puede disminuir enormemente, su consumo de combustible. Una habitación de 3 x 3 metros construida con paredes aisladas, y con una buena ventana al sur no necesita calefacción alguna en las horas de sol, aunque la temperatura externa sea 0°C. Ese mismo sol acumulará en paredes y techo suficiente energía para que las necesidades de calor en horas nocturnas sean menores, pues la energía acumulada en la mampostería se re-irradia al interior de las habitaciones contribuyendo a la calefacción. En verano ese calor almacenado puede ser perjudicial y hay que evitarlo; los aleros que permiten sol en invierno y no en verano, son fáciles de construir.

En edificios de oficinas generalmente el sol es un inconveniente pues a mucha gente le molesta trabajar con sus rayos sobre el escritorio. En este caso es recomendable cubrir las ventanas con una película protectora altamente reflectante de la luz solar o con vidrios que posean, esta propiedad.

## 8.LAS INFILTRACIONES DE AIRE

Hemos hablado de los materiales aislantes constituyentes. Este es en realidad sólo un aspecto del tema. De todas las posibilidades que tiene una construcción para ganar o perder energía, la más importante es la infiltración de aire en rendijas de puertas y ventanas. El aire frío invernal penetra en las habitaciones y enfría el aire por mezcla. En verano, el aire caliente eleva la temperatura interior.

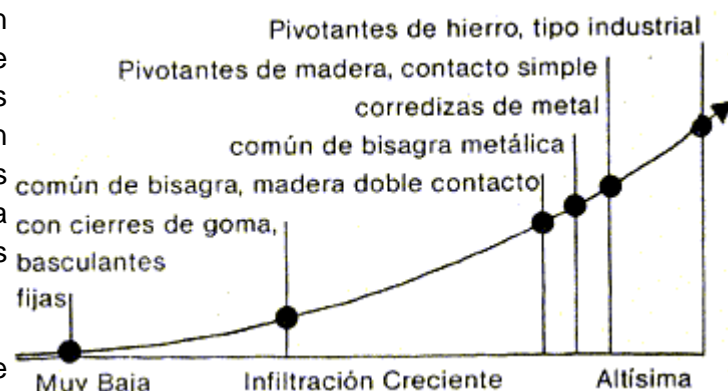


Para vivir en un ambiente es necesario que este sea ventilado adecuadamente. Pero, la cantidad de aire infiltrada es casi siempre muy superior a la requerida para ventilación. Además de las ventanas y puertas, toda abertura es responsable de las infiltraciones de aire en una casa. El espectro es amplísimo. Pero todas ellas tienen en común la existencia de una comunicación entre el interior y el exterior.

El viento aumenta este efecto, al ejercer presión o succión sobre las aberturas. Por lo tanto, se debe evitar toda abertura sobre una fachada en la cual prevalezca el viento. Si es necesario tener aberturas en estas fachadas, hay que tratar de colocar una buena carpintería de doble contacto y burletes.

Los burletes colocados en aberturas presuntamente responsables de las infiltraciones de aire, son tan útiles como los vidrios dobles o los aleros para evitar pérdidas y ganancias de calor.

Cuando más alta se encuentra una ventana, más presión ejercerá el viento sobre ella y mayor será la infiltración; por lo tanto, deberán ser colocados mejores burletes. La calidad de la carpintería de cerramiento en ventanas y puertas es decisiva.



# OBJETIVOS

---

El concepto de “Edificación Sostenible”, debe asociarse al concepto de Desarrollo Sostenible, que podría definirse como aquel que satisface las necesidades presentes de la sociedad, pero sin crear problemas medioambientales críticos y sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras.

La Edificación Sostenible se caracteriza por analizar de una forma rigurosa el impacto ambiental de todos los procesos implicados en la construcción de la vivienda, desde la utilización de unos materiales de fabricación que durante su obtención no generen desechos tóxicos ni contaminantes, hasta que los consumos de energía sean razonablemente reducidos. Por otra parte, es necesario considerar que las técnicas de construcción tienen que incidir lo menos posible en el deterioro ambiental del entorno, y deben estudiarse parámetros tales como la ubicación de la vivienda, su impacto con el entorno y el consumo de energía de la misma.

Como se puede comprobar, uno de los objetivos que más pesan para la Edificación Sostenible es construir edificios que posean una elevada eficiencia energética, para ello se suele:

- Aumentar el aislamiento de los edificios en torno al 30-40% respecto al requerido por la normativa actual.
- Incluir en la construcción tecnologías de alta eficiencia en el aprovechamiento energético.
- Aplicar diseños Bioclimáticos (Buena ventilación, aprovechamiento de la luz natural, optimización del espacio...) de tal modo que el edificio consuma la menor energía posible durante su utilización.
- Diseñar el edificio de tal modo que se utilice la menor energía posible durante su construcción, utilizando materiales que se hayan fabricado o transportado con el menor gasto energético posible; buscando la mayor eficacia durante el proceso constructivo.

## 1. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

Una faceta adicional asociada a este proyecto, y que es también de especial relevancia, es que no existe una instrumentación comercial adecuada (o simplemente no existe) para la medida y caracterización térmica o de la capacidad de transpiración de la obra en los edificios.

Aunque la normativa indica las metodologías más adecuadas para la determinación de la resistencia térmica o de la transpirabilidad. E incluso en la norma, se suministra ejemplos de diseño de equipo, no siempre se proporciona información acerca de la

preparación de las muestras que se someten a estudio, o de los procedimientos operativos, o cómo trabajar en condiciones en las que las muestras están húmedas.

Queremos destacar que a pesar de la excelente descripción y caracterización normativa de los equipos descritos en ellas, no hemos encontrado productos comerciales aplicados a la medida de la conductividad térmica diseñados de forma específica para su aplicación para el estudio y mejora de las características de los materiales de construcción y especialmente cuando estos están ya incorporados en una obra acabada.

Estas nuevas facetas sobre el control de calidad en la construcción, son una serie de necesidades que empiezan a surgir en este instante concreto. Es previsible este tipo de control e inquietud que se irá generalizando a medida que la legislación y el ciudadano, vayan exigiendo el cumplimiento riguroso de las normativas vigentes. Evidentemente, la creación de una instrumentación de medida práctica, competitiva y capaz de solucionar el problema, tiene sentido por sí misma.

## **2.MODELOS Y SISTEMAS**

Aunque en la actualidad existen una serie de normas UNE acerca de la medida de las propiedades de conductividad térmica, aislamiento acústico y de transpirabilidad de los materiales de construcción, no tenemos conocimiento de que exista una colección de datos uniforme y lo bastante amplia, para la elaboración de un modelo que permita optimizar las diferentes estructuras de materiales de construcción. En muchos casos, además, los datos no se ofrecen de forma cuantitativa sino cualitativa tales como poco aislante, aislante o muy aislante y similares. Es por eso que este proyecto aspira junto con el desarrollo de instrumentación sencilla y portátil al desarrollo de modelos claros especializados en el sector de la construcción.

Esperamos a partir de él poder realizar estimaciones de las características de las edificaciones previas a su construcción, encontrar nuevos materiales y desarrollar nuevas combinaciones para mejorar sus características

**1.- Crear nueva instrumentación de medida y su software.** que permita la medida de los parámetros térmicos y energéticos que deben determinarse para la evaluación de la calidad energética de los edificios. Esta instrumentación se diseñará en una versión de laboratorio y una portátil que sea útil para la medición de control en edificios bien en obra o bien acabados.

**2.- Minimización de las pérdidas energéticas.** Para ello, se caracterizarán y se estudiarán distintos tipos de materiales que permitan un mejor aprovechamiento de las energías pasivas. Se tratará de mejorar el aislamiento térmico y la capacidad de almacenamiento de energía utilizando materiales de baja conductividad térmica y /o materiales de alta Capacidad Calorífica, que cumplan además con los requisitos descritos en el apartado anterior.

# FASES Y METODOLOGIA

---

## **1.DESARROLLO DE NUEVOS SISTEMAS DE MEDIDA ADAPTADOS A LAS NECESIDADES DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y ESTRUCTURAS.**

Se han desarrollado una serie de equipos capaces de medir la conductividad térmica de materiales, muros y suelos, además de un equipo para la medida de la. A continuación se describen los equipos construidos y su funcionamiento.

### ***1.1. Equipo para la determinación de la conductividad térmica de los materiales.***

Para realizar la determinación experimental de la conductividad térmica de los materiales y elementos utilizados en la edificación, se ha construido siguiendo la normativa UNE, una pareja de equipos preparada para realizar la medida sobre elementos de pequeño o gran formato.

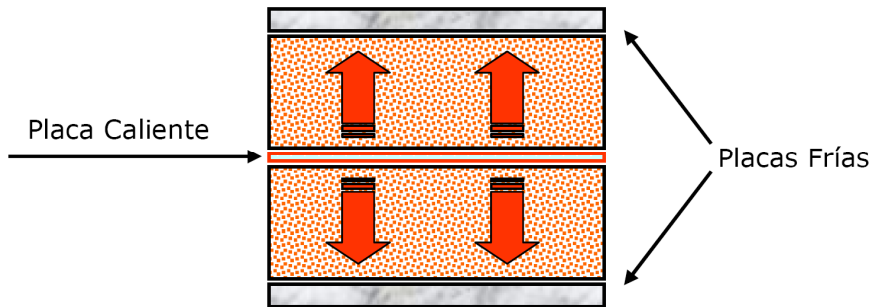


**Figura 1.** Equipos para realizar la medida sobre elementos de pequeño o gran formato.

El método que hemos escogido ha sido el que se denomina de la PLACA CALIENTE GUARDADA, (UNE-EN 12939 y 12667, UNE-EN ISO 8990) que es útil para la medida de la conductividad térmica de materiales secos y húmedos para la construcción de alta y media resistencia térmica.

El método de la Placa Caliente Guardada, se basa en que el calor generado por la placa atraviesa dos probetas (material de ensayo) del mismo material, igual superficie y espesor, y sometidas al mismo gradiente de temperaturas. De tal forma que se

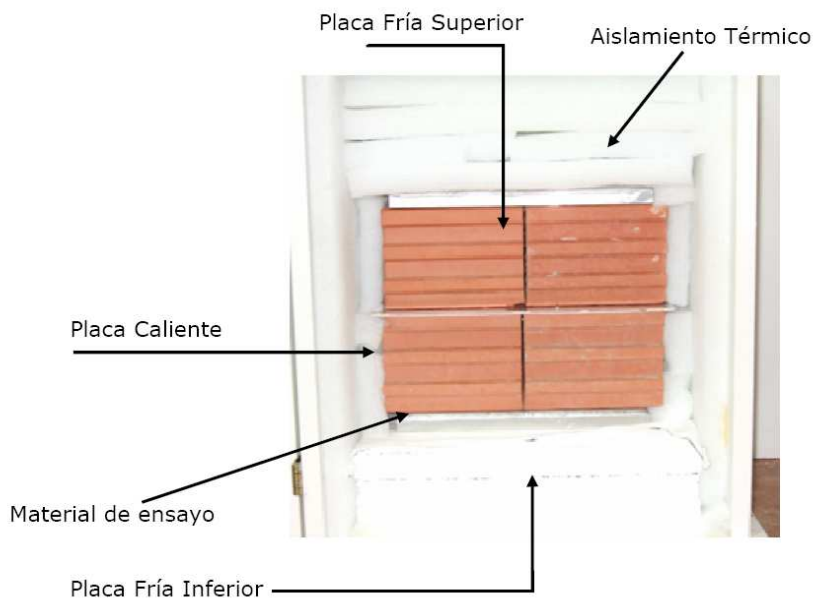
garantiza que la casi totalidad del calor generado por la placa caliente atraviesa el material a caracterizar. Tal y como se puede observar en el siguiente gráfico.



**Figura 2.** Esquema de cómo se produce la transmisión de calor en el método de la placa caliente guardada.

Es importante aislar térmicamente tanto el material de ensayo como la placa caliente para garantizar que las pérdidas de calor sean mínimas con respecto al exterior. Es por eso que el equipo se encuentra físicamente en contacto pero al mismo tiempo aislado del exterior con un material aislante así como por las paredes del equipo.

En la siguiente imagen (figura 3) se muestra como se coloca el material de ensayo entre la placa caliente y las placas frías además del relleno de aislante.



**Figura 3.** Vista de uno de los equipos con un material de ensayo.

Se construyeron dos equipos con la idea de caracterizar el mayor rango posible de materiales con dimensiones muy variadas. El primero de los equipos cuyas

características se muestran en la siguiente tabla se realizó con la idea de caracterizar materiales de la construcción de pequeñas dimensiones.

Equipo estándar	
Dimensiones exteriores	600x600x600
Dimensiones interiores	550X550X600
Dimensiones placas frías	250x250x20
Dimensiones placa caliente	300x300x7

**Tabla 1.** Dimensiones del equipo estándar en milímetros.

El segundo de los equipos cuyas características se muestran en la siguiente tabla se realizó con la idea de caracterizar materiales de la construcción de grandes dimensiones.

Equipo grande	
Dimensiones exteriores	600x600x800
Dimensiones interiores	550X550X800
Dimensiones placas frías	350x350x20
Dimensiones placa caliente	400x400x7

**Tabla 2.** Dimensiones del equipo grande en milímetros.

## 2.DETERMINACIONES REALIZADAS.

El objetivo de esta parte del trabajo realizado se ha centrado en la determinación de la conductividad térmica de una serie de materiales empleados en la construcción. A la vista de los primeros datos experimentales obtenidos, consideramos necesario determinar una serie de propiedades físicas de los materiales estudiados, que no fueron tenidas en cuenta en el Proyecto inicial, porque como se verá aportan una información valiosa a la hora de realizar la interpretación de datos y en el diseño de sistemas de aislamiento térmico eficiente.

Los parámetros determinados han sido:

- 1) Densidad real y aparente del material.
- 2) Capacidad de absorción de agua (porosidad al agua).
- 3) Calor específico del material.



## 2.1. Conductividad térmica de materiales.

Se ha caracterizado la conductividad térmica de distintos materiales utilizados en la construcción, que se han agrupado en distintas categorías:

- a) Fábrica de ladrillos:
- b) Fábrica de bloque de Hormigón.
- c) Placas de yeso Pladur.
- d) Morteros y enlucidos.
- c) Materiales aislantes.

Dado que la conductividad térmica de los materiales cambia con la temperatura de trabajo, se han escogido tres temperaturas medias diferentes (15, 25 y 35°C ) escogidas en base a las exigencia de la norma que fija que el incremento de temperatura entre la placa caliente y la placa fría sea de 30°C, tenemos la siguiente tabla de temperaturas de trabajo:

<b>T<sup>a</sup> máxima</b>	<b>T<sup>a</sup> mínima</b>	<b>T<sup>a</sup> media</b>
<b>30</b>	<b>0</b>	<b>15</b>
<b>40</b>	<b>10</b>	<b>25</b>
<b>50</b>	<b>20</b>	<b>35</b>

Los resultados experimentales que hemos obtenido muestran que la conductividad térmica del material ( $\lambda$ ) cambia de forma aproximadamente lineal con respecto a la temperatura de acuerdo con la ecuación:

$$\lambda = \lambda_{25} + B \cdot (t - 25)$$

Donde:

$\lambda_{25}$  = conductividad térmica del material a 25°C.

B = Coeficiente de variación de la conductividad térmica.

$$B = \left( \frac{\partial \lambda}{\partial T} \right)$$



Nuestros datos experimentales muestran que el coeficiente B es del orden de 0.002 a 0.007 Watt /m<sup>2</sup>°C , y que este factor cambia mucho con el grado de humedad contenida por el material (puede llegar a 0.023 Watt /m<sup>2</sup>°C ).

Como es sabido, la conductividad térmica cambia con el contenido en humedad en la obra, se ha estudiado el efecto del agua absorbida en la construcción sobre la conductividad térmica, de forma que dispongamos de este dato para poder establecer un modelo que permita interpretar los resultados experimentales y permita evaluar el grado de aislamiento térmico de una edificación en función de éste factor.

Eso permitirá estimar el rango de variación en la pérdida de energía tanto en los periodos en que la obra esté húmeda (bien por ser una época de lluvias, como por el hecho de que la obra esté húmeda por ser de factura reciente). Como comprobaremos la conductividad térmica aumenta hasta llegar a duplicarse cuando la humedad del material aumenta.

Variación de la conductividad térmica de materiales húmedos en función de la temperatura: Puesto que la conductividad del material húmedo cambia además con la temperatura, se han realizado estudios para la estimación de este factor.

Desafortunadamente (y afortunadamente a la vez) como el calentamiento a elevadas temperaturas evapora el agua absorbida, los estudios a la pareja de temperaturas 50-20 (temperatura media de 35°) no resultan reproducibles. Para la pareja de observan modificaciones relativas que en ocasiones pueden considerarse importantes y sólo se obtienen datos reproducibles para una temperatura media comprendida entre los 15 y 20°C.

Es por eso que los estudios de obra húmeda se presentan en general para la temperatura media de 20°C. En algunos casos se ha realizado el estudio a dos temperaturas distintas. En general no es siempre posible realizar este estudio.

Por otra parte, cuando se combinan dos materiales diferentes (por ejemplo el ladrillo con un cemento que ocupa huecos en su interior) en un elemento constructivo, la conductividad térmica del elemento resultante es diferente de la de los materiales que lo forman. El valor previsible es realmente difícil de calcular porque hay que tener en cuenta la geometría del material, la geometría y distribución de los huecos ocupados por el cemento, el grado de ocupación del ladrillo por parte del cemento, porque por lo general quedarán cámaras de aire que no se han rellenado, y para cada sección del elemento constructivo, si la conducción de calor se realiza en serie o en paralelo.

Es por eso que cada material después de haber sido estudiado en seco y en húmedo a 15, 25 y 35°C. Se he rellenado totalmente con cemento, se ha dejado secar y finalmente se ha dejado en estufa para acelerar el secado final y después se ha medido su conductividad térmica a las temperaturas promedio de 15, 25 y 35°C. Los resultados obtenidos muestran que tanto la conductividad térmica aumenta al introducir el relleno de cemento como la constante B de variación de la conductividad térmica respecto a la temperatura. La fábricas de Hormigón no varían de una forma significativa sus propiedades térmicas al ser llenados por cemento.

## ***2.2. Descripción de las propiedades térmicas de los distintos materiales.***

Fábrica de ladrillos.

Se ha determinado la conductividad térmica de distintos tipos de ladrillos uniéndolos entre sí mediante la mínima cantidad de silicona porque posee las prestaciones mecánicas adecuadas y baja porosidad para asegurar la integridad física del montaje sobre el cual se trabaja en la determinación de sus propiedades conductoras.

Los tipos de ladrillos cerámicos caracterizados han sido:

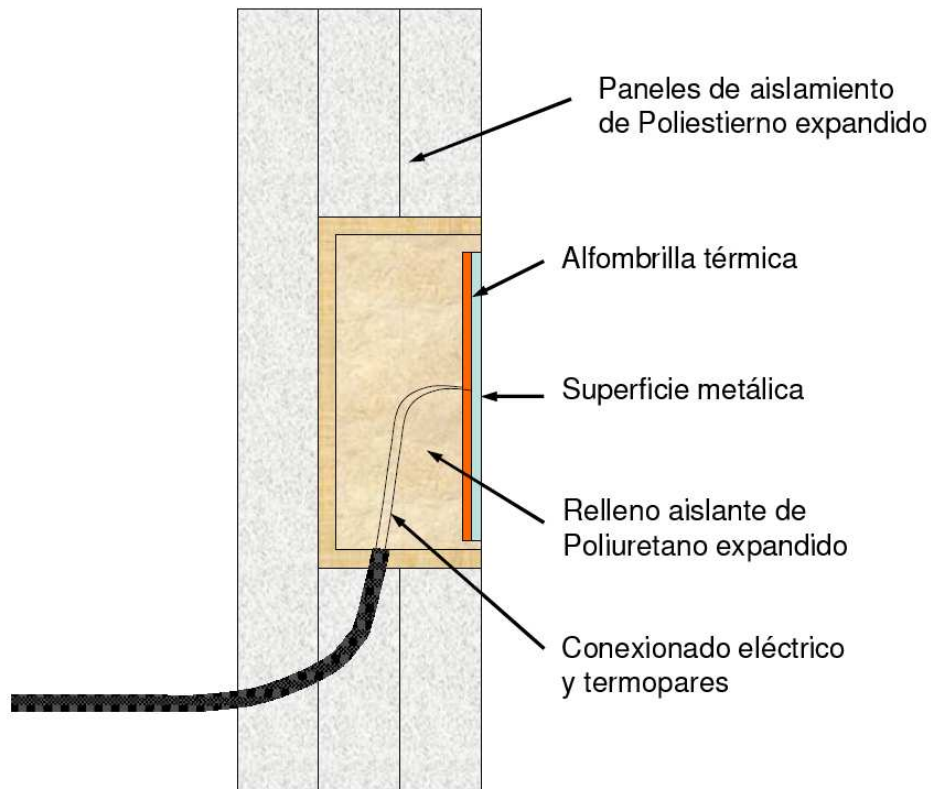
Ladrillo Caravista Macizo, Ladrillo Caravista Perforado, Ladrillo Panal Cerámico, Ladrillo Hueco del 9, Ladrillo Hueco del 11, Ladrillo Termoarcilla del 14, Ladrillo Termoarcilla del 19, Ladrillo Termoarcilla del 24, Ladrillo Termoarcilla del 29, Ladrillo Panal de Hormigón.

## **3.SISTEMA PARA LA MEDIDA DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN ESTRUCTURAS Y SUBSUELOS.**

El instrumento portátil desarrollado resulta fácil de manejar, es de tamaño reducido (inferior a 1 metro cuadrado), ligero (menos de 4 Kg) y dispone de un software de adquisición de datos sencillo e intuitivo que facilita la medida de la conductividad térmica de materiales incluso a personal no especializado. El equipo desarrollado es adaptable, capaz de abarcar un rango lo bastante amplio de conductividades térmicas y puede ser empleado en múltiples situaciones, como por ejemplo en la medición de la conductividad térmica de distintas superficies de viviendas tales como muros (interiores y exteriores), puertas y ventanas.

### ***3.1. Equipo para la medida de la conductividad térmica: Caja caliente calibrada.***

El Equipo presentado para la determinación de conductividad térmica de materiales está basado en el diseño del equipo de placa caliente calibrada. En él, una placa resistora plana genera por efecto joule la energía térmica que es cedida a la muestra en estudio a través de una superficie metálica a la que se encuentra adherida.



**Figura 4.** Sección de la caja caliente para la determinación de conductividades térmicas.

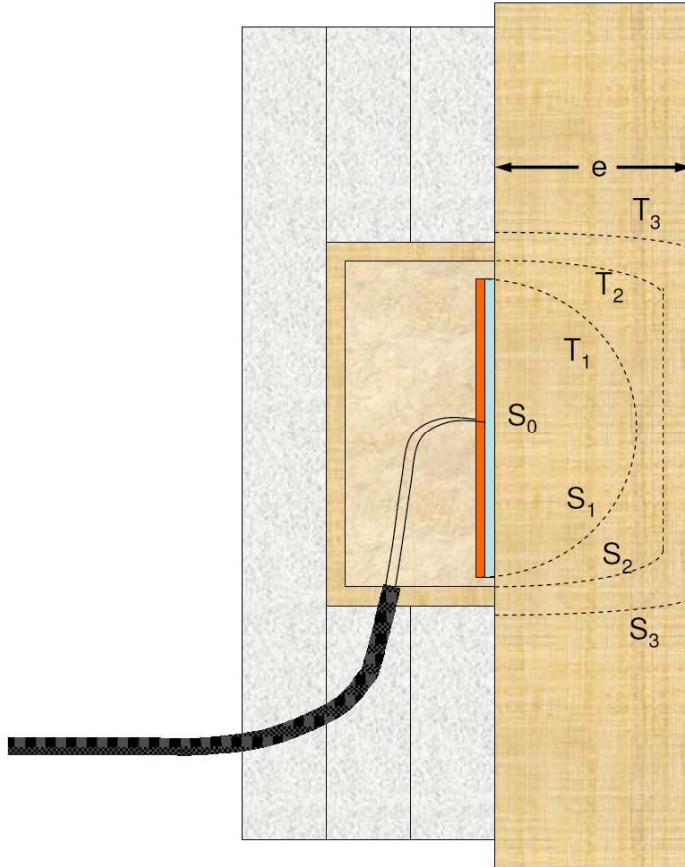
El gradiente de temperatura existente entre la placa y la superficie exterior de la muestra es controlado por una serie de termopares, a la vez el consumo de corriente es medido mediante un vatímetro asociado al equipo y por el procesado de los datos obtenidos de potencia, tiempo y temperatura cuando se alcanza el estado estacionario, se determina la conductividad térmica del material.

Este procesado tiene en cuenta las pérdidas de la caja caliente a través de la superficie de la placa caliente que no se encuentra en contacto con el material. La figura 4 presenta una sección de la caja y un esquema del reparto del consumo de energía.

El gradiente de temperatura existente entre la placa y la superficie exterior de la muestra es controlado por una serie de termopares, a la vez el consumo de corriente es medido mediante un vatímetro asociado al equipo y por el procesado de los datos obtenidos de potencia, tiempo y temperatura cuando se alcanza el estado estacionario, se determina la conductividad térmica del material. Este procesado tiene en cuenta las pérdidas de la caja caliente a través de la superficie de la placa caliente que no se encuentra en contacto con el material. La figura 4 presenta una sección de la caja y un esquema del reparto del consumo de energía.

### 3.2. Medida de la conductividad térmica en muros.

En la figura 5 se muestra el reparto ideal de temperaturas cuando la placa caliente se coloca en contacto con un material homogéneo o casi homogéneo.



**Figura 5.** Sección de la caja caliente en contacto con un material homogéneo y Distribución idealizada de isotermas para la determinación de conductividades térmicas.

En estas condiciones, la medida precisa de las temperaturas  $T_0$  y  $T_3$ , del espesor del material ( $e$ ) y el valor de la potencia consumida en estado estacionario, permitirá evaluar el valor de la conductividad térmica  $\lambda$ , aplicando la ecuación 1:

$$\lambda = \frac{(W - W_p) \cdot e}{S \cdot \Delta T} = \frac{W - W_p}{(S_0 + 2 \cdot l \cdot e) \cdot \Delta T}$$

Donde  $W$  es la potencia consumida en estado estacionario  $W_p$  la pérdida de potencia a través del aislante de poliuretano y poliestireno que rodea la caja,  $\Delta T$  es la diferencia mínima de temperaturas entre la placa caliente y la cara exterior del material,  $e$  es el espesor del material,  $S_0$  es la superficie de la placa caliente y  $l$  la longitud de su arista.

La pérdida de potencia de la placa caliente se establece para cada equipo particular por calibrado contra un patrón de polimetacrilato, su valor habitual no supera los 0.046 watt/°C.

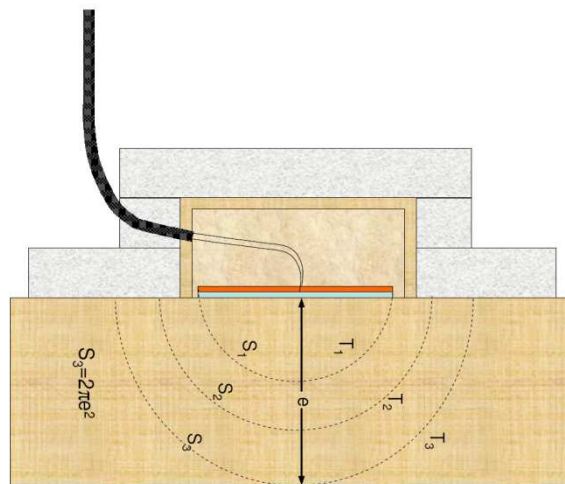
### 3.3. Medida de la conductividad térmica en suelos.

En la figura 6 se muestra el reparto ideal de temperaturas cuando la placa caliente se coloca en contacto con un material homogéneo o casi homogéneo.

En estas condiciones, la medida precisa de las temperaturas  $T_0$  y  $T_3$ , de la profundidad del suelo ( $e$ ) y el valor de la potencia consumida en estado estacionario, permitirá evaluar el valor de la conductividad térmica  $\lambda$ , aplicando la ecuación 2:

$$\lambda = \frac{(W - W_p) \cdot e}{S \cdot \Delta T} = \frac{W - W_p}{2 \cdot \pi \cdot e \cdot \Delta T}$$

Donde  $W$  es la potencia consumida en estado estacionario  $W_p$  la pérdida de potencia a través del aislante de poliuretano y poliestireno que rodea la caja,  $\Delta T$  es la diferencia de temperaturas entre la placa caliente y la sonda termométrica introducida en el interior del suelo y  $e$  es la profundidad a la que se encuentra la sonda termométrica



**Figura 6.** Sección de la caja caliente en contacto con un suelo o terreno formado por un material homogéneo y distribución idealizada de isoterma para la determinación de conductividades térmicas.

## **4.FACTORES DEL DISEÑO QUE ACTÚAN SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA.**

Hay una serie de factores del diseño en las viviendas que causan modificaciones importantes en el rendimiento del aprovechamiento de la energía. El programa de cálculo que acompaña a esta memoria realiza cálculos estimativos del nivel de consumo energético de las viviendas y permite realizar las modificaciones en el diseño del edificio que parezcan más adecuadas para optimizar el aprovechamiento de la energía.

Como ejemplos se muestran dos casos de interés constructivo, el primer ejemplo estudiará la importancia del orden constructivo en las distintas capas que forman un cerramiento (permitirá comparar el diferente comportamiento térmico de dos muros equivalentes pero con sus capas cambiadas de orden, como por ejemplo (escrita en el orden dentro-fuera):

yeso(1cm)/LH7/PES(4cm)/TA14/mortero(1cm)

yeso(1cm)/TA14/PES(4cm)/LH7/mortero (1cm)

Se estudiará comparativamente (manteniendo la superficie de planta constante) el efecto de la forma de la planta del edificio sobre el aprovechamiento de la energía dedicada al acondicionamiento térmico del edificio.

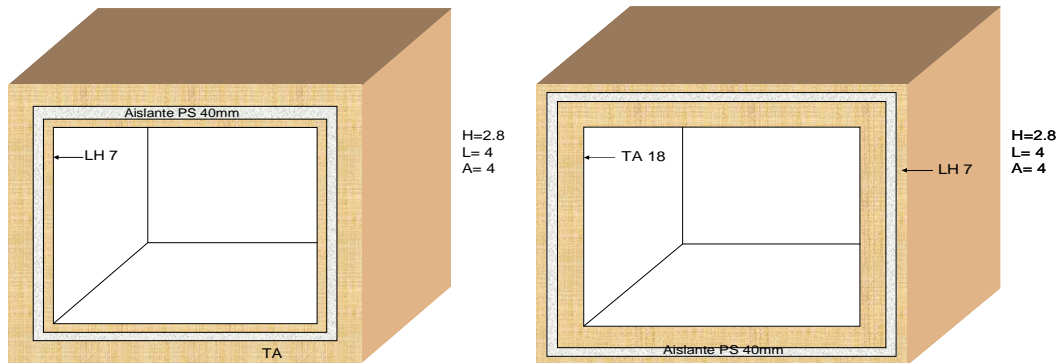
### ***4.1.Efectos de del orden de las distintas capas que forman un cerramiento. Aislamiento térmico e Inercia térmica.***

Como mostrará este ejemplo de estudio, la forma en que se ordenan las distintas capas que forman un cerramiento no afecta a la Resistencia térmica del muro, es decir, las pérdidas de energía cuando se alcance el estado estacionario serán las mismas independientemente del orden constructivo.

Sin embargo, el orden de las capas juega un papel muy importante sobre la respuesta dinámica Temperatura/tiempo y sobre la inercia térmica. Este factor juega entonces un papel importante a la hora de tomar decisiones acerca del diseño estructural de los distintos cerramientos que forman el edificio.

Para comprobar la importancia de este factor, simularemos la variación de la temperatura en una caja totalmente cerrada construida con Termoarcilla del 14, una capa de Poliestireno Expandido y un tabique de Ladrillo Hueco del 7. Los modelos constructivos son dos (figura 7), en el primero (A) ubicamos el termoarcilla como cerramiento exterior, a continuación el PES y como tabique interior colocamos el

ladrillo hueco del 7. En la segunda configuración (B), introducimos el LH 7 para el cerramiento exterior y el Termoarcilla en el muro interior de la caja.



**Figura 7.** Esquema de las cajas cerradas A (izquierda) y B (derecha) construidas

## 4.2. Nomenclatura

Para nombrar de forma precisa los cerramientos compuestos caracterizados y descritos en este informe, hemos utilizado las siguientes reglas de nomenclatura:

- Cada uno de los elementos constructivos del cerramiento se nombra mediante su correspondiente nombre abreviado que figuran en el apéndice final de la memoria, seguido de su espesor entre paréntesis.
- Los elementos constructivos con su espesor en centímetros se escriben en el orden que va desde dentro de la vivienda hacia fuera.
- Cada elemento se separa del siguiente mediante una barra inclinada.
- Las cámaras de aire se nombran como /(espesor)/

De esta manera el cerramiento de tipo A quedaría descrito como:

A: LH(7)/PSE(4)/TA(14)

Mientras que el cerramiento de tipo B sería:

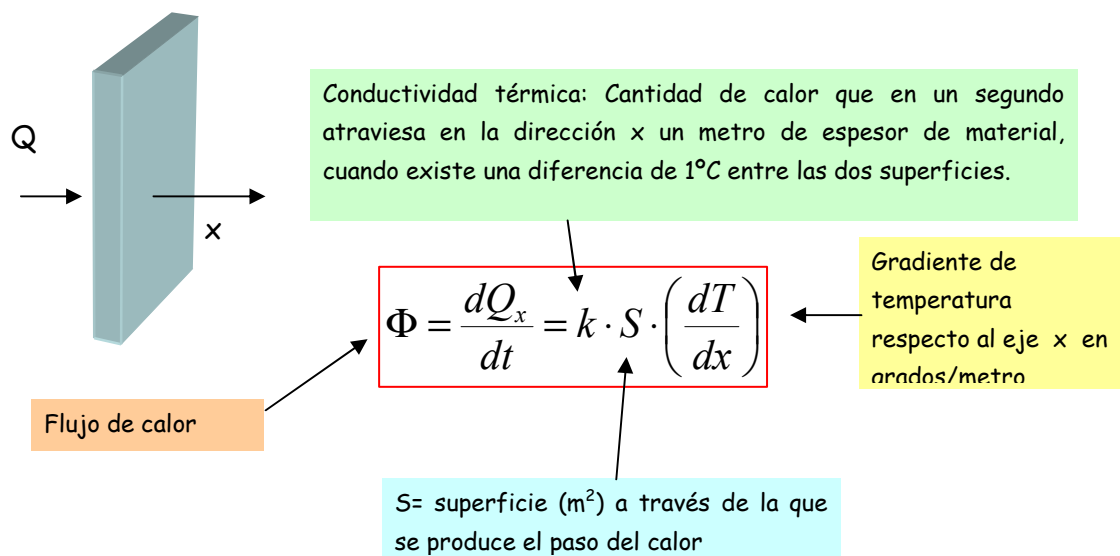
B: TA(14)/PSE(4)/LH(7)

### 4.3. Determinación de la temperatura límite alcanzada en el sistema:

El cálculo de la temperatura límite que puede alcanzarse en un sistema cerrado es una buena forma de valorar las características de los cerramientos construidos. Este cálculo se realiza fácilmente suponiendo que se ha alcanzado el equilibrio térmico, en esas circunstancias, si el sistema es cerrado, toda la energía del sistema está dedicada a compensar las pérdidas de calor de la superficie exterior del recinto, y por lo tanto se debe cumplir que:

$$Q_{generado} = Q_{perdido}$$

El calor generado es el procedente del elemento calefactor. La ecuación anterior puede expresarse en función de la potencia, de forma que la potencia de calor generada es igual a la perdida por disipación con el exterior. La pérdida de calor exterior de acuerdo con las leyes establecidas por Fourier, es igual a:



Integrando la ecuación de Fourier tenemos que:

$$W = \frac{Q}{t} = k \cdot S \cdot \frac{(T_2 - T_1)}{l} = k \cdot S \frac{\Delta T}{l} = \frac{\Delta T}{R}$$

Donde  $R$  es la denominada Resistencia térmica del material o del cerramiento, y por tanto es igual a:

$$R_T = \frac{1}{k} \cdot \frac{l}{S} \quad (1)$$



Relación que es válida para sistemas simples formados por un solo tipo de material de conductividad térmica  $k$ , espesor  $l$  y superficie  $S$ .

$$W_{generada} = W_{perdida} = \frac{\Delta T}{R} \quad (2)$$

Donde  $\Delta T$  es la diferencia de temperatura cuando se alcance el equilibrio térmico, es decir  $T$  máxima –  $T$  ambiente. El cálculo de la Resistencia térmica de un cerramiento es relativamente fácil de hacer, sólo es necesario tener en cuenta las distintas laminas que lo forman, su superficie y espesor, su conductividad térmica y si la conducción se realiza en serie o en paralelo. En el caso hipotético que estamos estudiando, suponiendo que los valores sean los mostrados en las tablas finales, tendríamos que la resistencia térmica sería:

$$R(LH7) = \frac{1}{k} \cdot \frac{l}{S} = \frac{0.07}{0.38 \cdot (4 \cdot 4 \cdot 2 + 4 \cdot 2.8 \cdot 4)} = 0.002398 W^{-1} \cdot grado$$

$$R(PS) = \frac{1}{k} \cdot \frac{l}{S} = \frac{0.04}{0.036 \cdot 1} = 0.014467 W^{-1} \cdot grado$$

$$R(TA14) = \frac{1}{k} \cdot \frac{l}{S} = \frac{0.14}{0.36 \cdot 1} = 0.005063 W^{-1} \cdot grado$$

$$R_T = \sum R_i = 0.002398 + 0.014467 + 0.005063 = 0.021928 W^{-1} \cdot grado$$

Evidentemente la Resistencia Térmica de los dos tipos de cerramiento sería exactamente la misma, dado que las láminas que lo forman y sus respectivos espesores son iguales, cambiando sólo el orden de su disposición.

Aplicando la ecuación número 2, podemos calcular ahora la temperatura final que se alcanzaría en equilibrio en este sistema cerrado. La temperatura máxima sería:

$$W = \frac{\Delta T}{R} = \frac{T_{\text{máxima}} - T_{\text{ambiente}}}{R}$$

Despejando de aquí tenemos que:

$$T_{\text{máxima}} = T_{\text{ambiente}} + W \cdot R \quad (3)$$

Para poder evaluar la temperatura máxima final de equilibrio tendremos que conocer la temperatura ambiente exterior y la potencia del equipo de calefacción que utilizaremos para calentar el recinto. Como la superficie del recinto sólo es de 16 m<sup>2</sup>, podemos pensar en utilizar una fuente de baja potencia de calefacción. Supondremos entonces que la potencia es del equipo sea sólo de 1000 Vatios y que la temperatura exterior es de 14°C. Entonces:

$$T_{\text{máxima}} = T_{\text{ambiente}} + W \cdot R = 14 + 1000 \cdot 0.021928 = 35.9^\circ C$$

Para este modo de funcionamiento, la ecuación del consumo energético cuando se haya alcanzado la temperatura seleccionada, puede escribirse de la siguiente forma:

$$W_{\text{consumida}} = \frac{T_{\text{selec.}} - T_{\text{ambiente}}}{R} = \frac{22 - 14}{0.021928} = 365 \text{Watts}$$

#### ***4.4. Capacidad Calorífica Dinámica de un sistema:***

Para determinar el tiempo necesario para que un sistema alcance la temperatura de confort seleccionada, es fundamental conocer la Capacidad Calorífica Dinámica del sistema, que es la cantidad de calor que el sistema ha retenido para alcanzar la temperatura programada en estado de equilibrio dinámico. La forma de evaluar esta energía retenida por el cerramiento es conocer el calor específico de cada uno de los elementos que forman el cerramiento (en este caso, los calores específicos del LH7, del PSE y del TA14 y del motero utilizado para crear la estructura, que en este caso vamos a dejar de lado).

Por otra parte es necesario conocer la masa total de los distintos elementos que forman el cerramiento, para lo cual utilizaremos los datos de la densidad aparente de

los distintos materiales utilizados (Tabla 3). Finalmente necesitamos conocer el perfil térmico del cerramiento, de forma que dispongamos de la temperatura de cada uno de los elementos que lo forman. Los datos necesarios se reflejan en la siguiente tabla y se han obtenido a partir de las medidas realizadas en este proyecto y de tablas termodinámicas.

Material	Cesp. (J/Kg°C)	Densidad( $\rho$ ) Kg/m <sup>3</sup>
Aire Seco	750	1.18
LH 7	780	800
PSE	1200	12.0
TA 14	780	873

**Tabla 3:** Datos necesarios para el cálculo del comportamiento térmico de los sistemas

#### 4.5. Perfil térmico de un cerramiento.

Para poder establecer el perfil térmico necesitamos conocer el gradiente de temperaturas que existe entre el sistema y el exterior y la resistencia de cada una de las láminas que forma el cerramiento y el flujo de energía que lo atraviesa. Para ello:

- 1.- Determinamos el gradiente de temperaturas. En este caso es  $22-14=8^{\circ}\text{C}$ .
- 2.- Calcularemos el flujo total de energía, que igual a la potencia consumida:

$$W_{\text{consumida}} = \frac{T_{\text{selec.}} - T_{\text{ambiente}}}{R} = \frac{22 - 14}{0.021928} = 365 \text{ Watts}$$

Como la densidad de energía que atraviesa el cerramiento es la misma que la que atraviesa a cada una de las láminas, podremos plantear que la diferencia de temperaturas  $\Delta T$  entre las dos superficies (interna/externa) de cada uno de los elementos del muro de resistencia térmica  $R_i$  es igual a:

$$\Delta T = W \cdot R_i$$

Así por ejemplo, para el muro de configuración LH(7)/PSE(4)/TA(14) el valor del incremento de temperatura que se presenta entre la cara interna y la externa del ladrillo hueco del 7 del muro será:

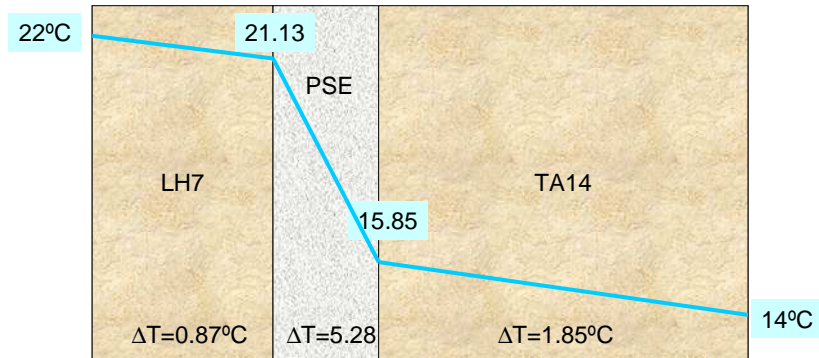
$$\Delta T(\text{LH7}) = W \cdot R_{\text{LH7}} = 365 \cdot 0.002398 = 0.875^{\circ}\text{C}$$

Para el mismo muro, el valor del incremento de temperatura que se presenta entre la cara interna y la externa del Poliestireno Expandido será:

$$\Delta T(\text{PSE}) = W \cdot R_{\text{PSE}} = 365 \cdot 0.014467 = 5.28^{\circ}\text{C}$$

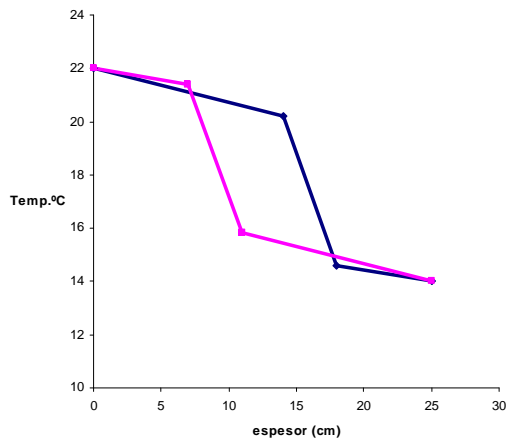
Y finalmente el valor del incremento de temperatura que se presenta entre la cara interna y la externa del Termoarcilla del 14 muro será:

$$\Delta T(TA14) = W \cdot R_{TA14} = 365 \cdot 0.005063 = 1.85^{\circ}C$$



**Figura 8:** perfil de temperaturas del muro tipo A.

Cuando se alcance el equilibrio térmico en los muros diseñados en el ejemplo anterior, se alcanzan los siguientes perfiles térmicos que muestran que la energía térmica almacenada por el cerramiento LH7/PSE/TA14 (que es el área encerrada bajo la línea del perfil térmico) es menor (línea en color rojo) que la almacenada por el cerramiento TA14/PSE/LH7 (en color azul). Los respectivos perfiles térmicos quedan reflejados en la figura siguiente:



**Figura 9:** Perfil de temperaturas en el cerramiento A (línea azul) y en B (línea roja) cuando se ha alcanzado el equilibrio térmico en el muro.

La Energía Térmica Almacenada por el Cerramiento LH7/PSE/TA14 puede calcularse fácilmente basándonos en la temperatura media de cada uno de los elementos que lo

componen, su masa y su calor específico, es fácil demostrar que el calor almacenado por unidad de superficie del cerramiento es igual a:

$$Q = \sum_{i=1}^n m_i \cdot c_{ei} \cdot (\bar{T}_i - T_a)$$

Donde  $m_i$  es la masa de cada uno de los elementos que forman el cerramiento,  $c_{ei}$  es el calor específico de dicho elemento,  $\bar{T}_i$  es la temperatura media del mismo y  $T_a$  la temperatura ambiente exterior. Calcularemos en primer lugar la energía almacenada por el cerramiento LH7/PSE/TA14, que será igual a:

$$Q = \sum_{i=1}^n m_i \cdot c_{ei} \cdot (\bar{T}_i - T_a) = 4147 \cdot 780 \left( \frac{22 + 21.13}{2} - 14 \right) + 38 \cdot 1200 \left( \frac{21.13 + 15.85}{2} - 14 \right) + 122220 \cdot 780 \left( \frac{15.85 + 14}{2} - 14 \right) = 112856677$$

$$Q(LH7 / PSE / TA14) = 112856677 \text{ Julios} = 31.35 \text{ kWhora}$$

Para el cerramiento alternativo la energía almacenada es:

$$Q = \sum_{i=1}^n m_i \cdot c_{ei} \cdot (\bar{T}_i - T_a) = 122220 \cdot 780 (21.1 - 14) + 38 \cdot 1200 (17.5 - 14) + 4147 \cdot 780 (14.4 - 14) =$$

$$Q(TA14 / PSE / LH7) = 679307824 \text{ Julios} = 188.4 \text{ kWhora}$$

Como se ve, hay una diferencia de 154 kWhora de energía térmica, que será la causa de que la primera configuración constructiva se caliente mucho más rápida que la segunda. De forma aproximada podemos calcular el tiempo de calefacción para que se alcanzara la temperatura de 22 grados con los dos tipos de cerramiento. Si la fuente de calor es de una potencia  $W$  y suponemos que no existe radiación a través de la envolvente podemos escribir que:

$$Q_{total} = W \cdot t \cdot 3600 \quad \text{y despejando de aquí el tiempo en horas será:}$$

Tiempo para el caldeo de la estructura LH(7)/PSE(4)/TA(14):

$$t = \frac{Q(LH7/PSE/TA14)}{W \cdot 3600} = \frac{2330757 \cdot 8}{1000 \cdot 3600} = 5.18 \text{ horas}$$

Mientras que para la estructura inversa TA(14)/PSE(4)/LH(7):

$$t = \frac{Q(TA14/PSE/LH7)}{W \cdot 3600} = \frac{3673403 \cdot 8}{1000 \cdot 3600} = 8.16 \text{ horas}$$

Resulta evidente que el tiempo requerido para alcanzar la temperatura de bienestar en cualquiera de los dos recintos es excesivo. Teniendo en cuenta que es necesario reducirlo se optaría por introducir un sistema Calefactor de 2000 Vatios, lo que reduce el tiempo a:

$$t = \frac{Q(LH7/PSE/TA14)}{W \cdot 3600} = \frac{2330757 \cdot 8}{2000 \cdot 3600} = 2.59 \text{ horas}$$

Para la primera configuración se obtiene ahora un tiempo razonable para llegar al caldeo del recinto, mientras que para la segunda se tiene un tiempo que a todas luces sigue siendo excesivo si por ejemplo el recinto con esta configuración constructiva estuviese dedicada a residencia de fin de semana:

$$t = \frac{Q(TA14/PSE/LH7)}{W \cdot 3600} = \frac{3673403 \cdot 8}{2000 \cdot 3600} = 4.08 \text{ horas}$$

#### 4.6. Gráfica Temperatura/tiempo.

La forma de realizar el cálculo temperatura tiempo es resolver la ecuación diferencial que propone que:

$$\frac{dT}{dt} = \sum m_i \cdot c_i \cdot dT - \sum \frac{\Delta T_i}{R_T}$$

Esta ecuación diferencial se ha resuelto mediante alguna simplificación y la ecuación integrada permite simular la variación de temperaturas en los dos modelos constructivos a lo largo del tiempo.

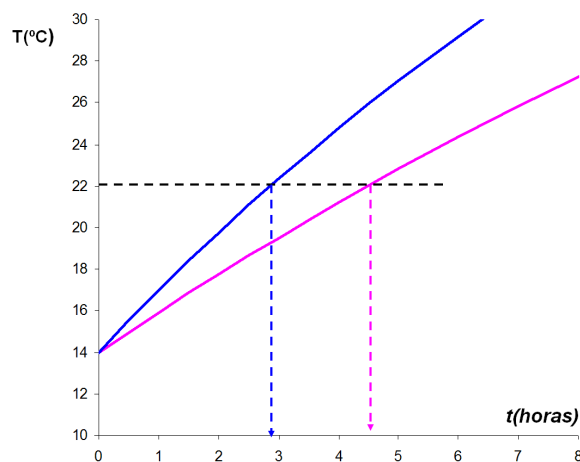
$$T = (T_{ext} - T_{eq})e^{-\frac{t}{RC_d}} + T_{eq}$$

Donde  $T_{ext}$  es la temperatura del entorno,  $T_{eq}$  es la Temperatura máxima que se puede alcanzar en el sistema con la potencia de calefacción utilizada,  $R$  es la resistencia térmica total del cerramiento y  $C_d$  es la capacidad calorífica dinámica del mismo.

La ecuación anterior puede reescribirse en función de la potencia de calefacción utilizada de forma que se obtiene la siguiente expresión, donde  $W$  es la potencia del equipo calefactor utilizado

$$T = T_{ext} + R \cdot W(1 - e^{-\frac{t}{RC_d}})$$

Utilizando la ecuación anterior obtenemos la figura 10, que muestra que para llegar a la temperatura de confortabilidad que hemos supuesto es de 22°C, el modelo A tarda sólo 2 horas 50 minutos, mientras que para el modelo B llegue a esa temperatura tiene que estar funcionando el sistema un total de 4 horas y 30 minutos.



**Figura 10.** Evolución de la temperatura en el recinto A (línea azul) y en B (línea roja) cuando se conecta una fuente de calor de 2000 W.

Resulta evidente que al menos desde un punto de vista bioclimático la estructura A es más beneficiosa que la B. Sin embargo hay que estudiarlas desde el punto de vista dinámico para ver su comportamiento en tratamientos cíclicos de calentamiento y enfriamiento, y posteriormente estudiar su respuesta durante el verano, imponiendo ciclos de enfriamiento cuando se desea utilizar aire acondicionado.

#### ***4.7. Estudio de ciclos de calentamiento-enfriamiento.***

Si suponemos un coeficiente de convección  $h$  de  $5 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  asociado a transmisión de calor desde el muro exterior al aire sin viento. La ecuación de Newton permite calcular la potencia emitida a través del cerramiento en función del gradiente de temperaturas:

$$\frac{dQ}{dt} = -h \cdot S \cdot (T - T_a)$$

El valor del calor  $Q$  perdido lo expresaremos en función de la Capacidad calorífica del Sistema:

$$dQ = C \cdot dT$$

Sustituyendo en la ecuación de Newton tenemos:

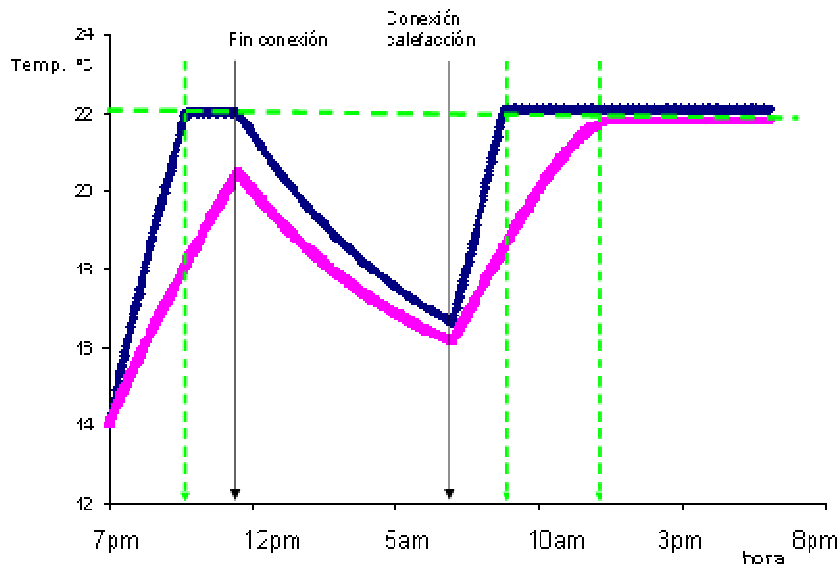
$$\frac{dT}{dt} = -\frac{h \cdot S}{C} (T - T_a)$$

Integrando:

$$T = T_a + (T_0 - T_a) \cdot e^{-\frac{h \cdot S}{C} t}$$

Donde  $T_a$  es la temperatura ambiente exterior,  $T_0$  la temperatura de recinto en el momento de desconexión de la calefacción,  $S$  la superficie exterior del recinto,  $C$  es la capacidad calorífica del Sistema y  $t$  es el tiempo en segundos. La figura 11 muestra la simulación Temperatura/tiempo de los dos recintos durante dos días consecutivos.



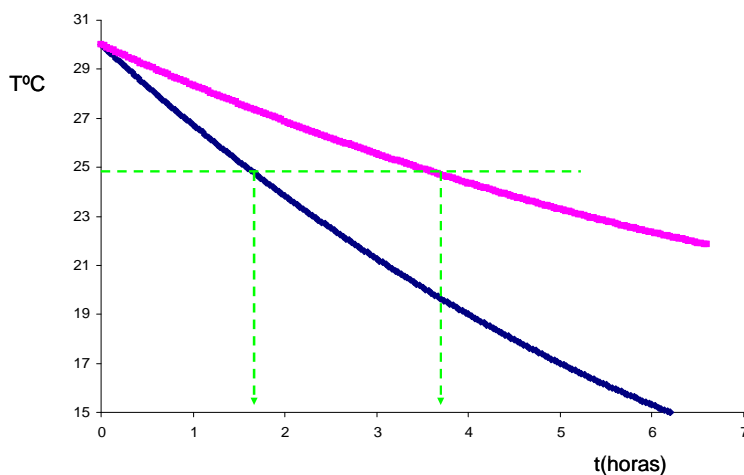


**Figura 11.** Evolución de la temperatura en el recinto A (línea azul) y en B (línea roja) en un periodo de 24 horas.

Para realizar este cálculo, se ha supuesto que los recintos son de ocupación de fin de semana, y que por ejemplo se conecta la calefacción el viernes tarde a las 7 horas, se desconecta a las 11.30 y se vuelve a conectar a las 7 a la mañana siguiente. La temperatura de confort se alcanza para el cerramiento B 18 horas después de ser ocupada la vivienda (sábado al medio día).

#### 4.8. Estudio del comportamiento de los cerramientos durante verano.

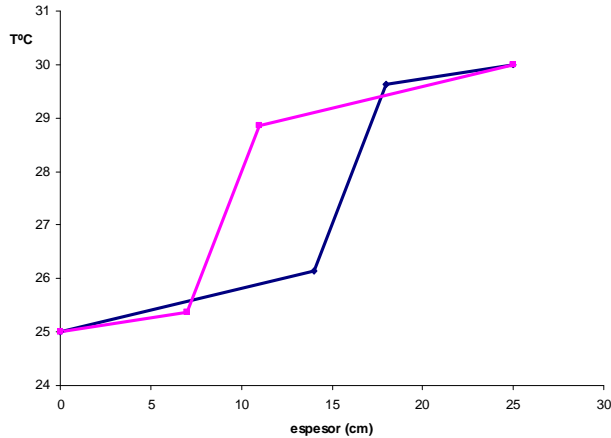
Supondremos que el sistema se encuentra equilibrado inicialmente con el entorno, a una temperatura de 30°C y que la temperatura de confort que se desea alcanzar es de 25°C. Para estimar el consumo energético supondremos que el sistema de climatización posee un rendimiento del 100%. Los valores finales de consumo tendrán que dividirse por el rendimiento de la máquina expresado en tanto por uno. La figura 12 presenta la evolución de la temperatura en función del tiempo para los sistemas A y B.



**Figura 12.** Evolución de la temperatura en el recinto A (línea azul) y en B (línea roja) cuando se conecta un sistema de refrigeración de potencia nominal de 2000 W.

#### 4.8.1. Perfil de temperaturas.

Cuando se alcance el equilibrio térmico en los muros diseñados en el ejemplo anterior, se alcanzan los siguientes perfiles térmicos que muestra que la energía térmica almacenada por el cerramiento LH7/PSE/TA14 es menor (línea en color rojo) que la almacenada por el cerramiento TA14/PSE/LH7 (en color azul) ver figura 13.



**Figura 13.** Perfil de temperaturas en el cerramiento A (línea azul) y en B (línea roja) cuando se ha alcanzado el equilibrio térmico en el muro.

La energía térmica extraída del cerramiento LH7/PSE/TA14 puede calcularse fácilmente basándonos en la temperatura media de cada uno de los elementos que lo componen, su masa y su calor específico, es fácil demostrar que el calor almacenado por unidad de superficie del cerramiento es igual a:

$$Q = \sum_{i=1}^n m_i \cdot c_{ei} \cdot (\bar{T}_i - T_a)$$

Donde  $m_i$  es la masa de  $1\text{m}^2$  de superficie de cada uno de los elementos que forman el cerramiento,  $c_{ei}$  es el calor específico de dicho elemento,  $T_i$  es la temperatura media del mismo y  $T_a$  la temperatura ambiente exterior. Calcularemos en primer lugar la energía almacenada por el cerramiento LH7/PSE/TA14, que será igual a:

$$Q = \sum_{i=1}^n m_i \cdot c_{ei} \cdot (\bar{T}_i - T_a) = 54 \cdot 780(25.2 - 30) + 0.5 \cdot 1200(27.1 - 30) + 140 \cdot 780(29.4 - 30) =$$

$$Q(\text{LH7 / PSE / TA14}) = -269400 \text{ Julios} / \text{m}^2$$

Para el cerramiento alternativo la energía almacenada es:

$$Q = \sum_{i=1}^n m_i \cdot c_{ei} \cdot (\bar{T}_i - T_a) = 140 \cdot 780(25.6 - 30) + 0.5 \cdot 1200(27.9 - 30) + 54 \cdot 780(29.8 - 30) =$$

$$Q(TA14 / PSE / LH7) = -490100 \text{ Julios} / m^2$$

Como se ve, hay una diferencia de 220700 Julios/m<sup>2</sup> de energía térmica, que es la causa de que la primera configuración constructiva se caliente mucho más rápida que la segunda. Si suponemos que deseamos acondicionar una vivienda de unos 60 metros cuadrados, la diferencia de energía consumida para calentar una estructura frente a la otra es de:

$$\Delta Q = 60 \cdot 220700 = 13242000 \text{ Julios}$$

Este valor que es la diferencia de energía entre las dos estructuras es en Kw.hora un trabajo eléctrico de:

$$\Delta W_{\text{eléctrico}} = 3.67 \text{ KW hora}$$

Es interesante observar que la figura 12 muestra que para llegar a la temperatura de confortabilidad que hemos supuesto de 25°C, el modelo A tarda sólo 1 hora y 45 minutos, mientras que para el modelo B llegue a esa temperatura tiene que estar funcionando el sistema un total de 3 horas y 40 minutos.

Resulta evidente que nuevamente desde un punto de vista bioclimático, la estructura A nuevamente resulta más rentable energética y económicamente que la B. Los valores promedio de Valencia provincia, arrojan un total de 108 días/año (15 fines de semana) con temperaturas inferiores a los quince grados centígrados. Y 30 días (4 fines de semana, en Julio y Agosto fundamentalmente) en que la temperatura supera los 28°C. Si se pretendiera mantener temperatura de 22°C durante el invierno y 25°C durante el verano, la diferencia neta de energía entre los dos modos constructivos sería importante y del orden de:

$$\Delta W_{\text{electr.}} \approx 3.67 \cdot (15 + 4) = 70 \text{ KW hora}$$

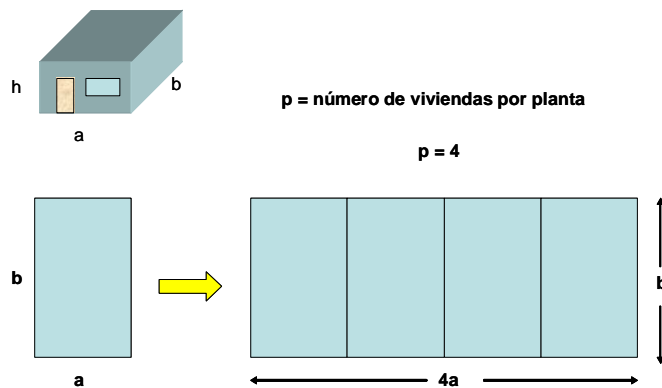
El valor obtenido (70 KW hora) supone el consumo total de energía de una vivienda aceptablemente aislada, de unos 60m<sup>2</sup> de superficie, con la calefacción eléctrica conectada ocho horas al día durante una semana y media.

#### 4.9. El factor de pérdida $\varphi$ :

Por otra parte, resulta evidente que si la eficiencia térmica de una edificación se mide en función de la cantidad de energía perdida/m<sup>2</sup> superficie de planta o en función del volumen encerrado en el edificio, se concluye que la agrupación de viviendas en bloque de extensión tanto en horizontal como en vertical, suponen un ahorro de energía que puede llegar a ser importante. De hecho, si por ejemplo se calcula las pérdidas de energía de un edificio de tres alturas, en el que hay 4 viviendas alineadas de 120m<sup>2</sup> por planta. Como las pérdidas se producen a través de la envolvente exterior del edificio, el podríamos definir un factor de pérdida energética  $\varphi$  se calculará de acuerdo con el cociente de superficie exterior del bloque de N viviendas dividido por la superficie de las N viviendas aisladas correspondientes, es decir:

$$\varphi = \frac{S_{\text{bloque}}}{N \cdot S_{\text{vivienda}}}$$

Para calcular la superficie de la vivienda individualizada, denominaremos h a la altura de la edificación, a será el valor de la longitud de la fachada principal y b la longitud de la fachada lateral. Además, denominaremos p como el número de viviendas que hay por planta del edificio.



**Figura 14.** Agrupación de viviendas para formar un bloque lineal

Resulta evidente que la superficie total radiante de una vivienda aislada será:

$$S_{\text{vivienda}} = 2 \cdot (a \cdot b + h \cdot (a + b))$$

El producto de a por b, representa el valor de la superficie de planta, mientras que el producto de h por a y b representa los valores de las superficies de fachada principal y lateral respectivamente.

Para establecer el valor de la superficie envolvente del bloque en función de las dimensiones de la vivienda aislada, tendremos en cuenta cómo se han agrupado estas, y en este caso supondremos que seguimos una agrupación lineal de viviendas,

como la mostrada en la figura 14. Para este ejemplo de agrupación, podemos escribir que:

$$S_{bloque} = S_{fachadas} + 2 \cdot S_{planta}$$

Resulta evidente que la superficie de la planta es igual a:

$$S_{planta} = p \cdot a \cdot b$$

La superficie de fachada es igual a:

$$S_{f.lateral} = 2 \cdot b \cdot h \cdot \frac{N}{p} \quad (N/p \text{ es el número de plantas})$$

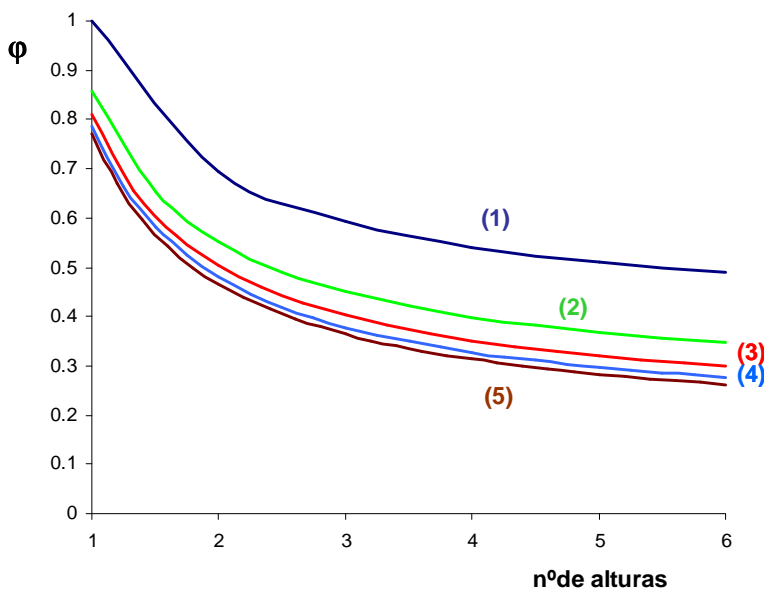
Mientras que para la superficie frontal tenemos que:

$$S_{f.principal} = 2 \cdot \left( a \cdot h \cdot \frac{N}{p} \cdot p \right) = 2 \cdot a \cdot h \cdot N$$

Por tanto el factor de pérdida energética será:

$$\varphi = \frac{S_{bloque}}{N \cdot S_{vivienda}} = \frac{2 \cdot \left[ p \cdot a \cdot b + N \cdot \left( \frac{b \cdot h}{p} + a \cdot h \right) \right]}{2 \cdot N \cdot (a \cdot b + h \cdot (a + b))} = \frac{p \cdot a \cdot b + N \cdot h \cdot \left( \frac{b}{p} + a \right)}{N \cdot (a \cdot b + h \cdot (a + b))}$$

Esta ecuación permite evaluar el valor de la eficiencia energética de un edificio en función del número de viviendas agrupadas, el número de viviendas por planta y las dimensiones particulares de la vivienda módulo.



**Figura 15.** Factor de pérdida energética en función del número de viviendas por planta (entre paréntesis) y el número de alturas del edificio.

## 5. CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DE VIVIENDAS

### 5.1. Introducción

El consumo energético de un edificio específico depende principalmente del tipo de edificio, condiciones climatológicas, técnicas constructivas, horas anuales de uso, instalaciones de calefacción, refrigeración, producción de agua caliente doméstica e iluminación (Balaras, 2000). De acuerdo con la EPA Danesa, el consumo energético residencial por cápita varía en los países del sur de Europa entre 150-350 kWh/m<sup>2</sup> (Balaras, 2005). Esta energía es utilizada principalmente en el acondicionamiento del espacio (calentamiento y refrigeración), producción de agua caliente sanitaria, cocina, alumbrado y aparatos eléctricos (neveras, lavadoras y equipos de entretenimiento).

Recientemente, en España, en el marco de la Directiva 2002/91/CE, se ha desarrollado un nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE) (Real Decreto 314, 2006). El CTE tiene como objetivo conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo su consumo energético y utilizando para ello fuentes de energía renovable. Así el CTE establece la obligación de incorporar criterios de eficiencia energética y el uso de energía solar, térmica o fotovoltaica en los nuevos edificios o en aquellos que se vayan a rehabilitar.

El Documento Básico que lo regula contiene cuatro exigencias energéticas básicas: limitación de la demanda energética, donde se establecen los valores límite para los cerramientos de los edificios (fachadas, vidrios, cubiertas, etc.); eficiencia energética de las instalaciones de iluminación, donde se fijan por primera vez en la normativa española, unos requisitos a cumplir por estas instalaciones sobre todo para edificios del sector terciario; la exigencia relativa a la contribución solar mínima de agua caliente sanitaria obliga a que la producción de agua caliente sanitaria se realice con un aporte obligatorio de energía solar térmica que variará entre un 30% y un 70% en función del volumen diario previsto de agua caliente demandado; y la contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica, que establece que en los nuevos edificios del sector terciario de una determinada superficie.

El CTE utiliza dos indicadores diferentes para la evaluación energética de edificios, ambos son indicadores indirectos y se alejan de la cuantificación absoluta del comportamiento energético del edificio en términos de energía primaria consumida Kw h /m<sup>2</sup> año. En su opción simplificada, los principales indicadores son el coeficiente de conductividad térmica de los diferentes componentes de la envolvente del edificio, sin tener en cuenta la radiación solar. En su opción general, el indicador utilizado es la demanda energética de la envolvente del edificio en valor relativo a una demanda energética del revestimiento del edificio de un edificio de referencia, siendo ambas demandas energéticas evaluadas con una herramienta informática, denominada LIDER, que ha sido desarrollada específicamente para el CTE, y que presenta

importantes limitaciones en relación a sus capacidades de evaluar de forma apropiada el comportamiento energético de diferentes planteamientos de diseños de edificios.

Casals (2006) coincide en que los indicadores del comportamiento del edificio utilizados en el CTE son completamente inapropiados. El indicador de la opción simplificada, el coeficiente de conductividad térmica, es obviamente inapropiada tanto para evaluar los efectos de aspectos energéticos de muchos edificios, así como proporcionar una información cuantitativa sobre el consumo energético del edificio.

Tras todo esto es conveniente y necesaria una evaluación más real del comportamiento de edificios. Puesto que todo ello debería implicar mejoras en futuros diseños de edificios.

## 5.2. Edificio Massalfasar

El edificio está situado en la población de Massalfasar, se destinará para utilización residencial; se han construido 6 viviendas, siendo 4 con superficies inferiores a los 80 m<sup>2</sup> útiles; y 2 de tipo dúplex (alrededor de 106 m<sup>2</sup>).

Debido a la desocupación del edificio se pudo conseguir una medida muy exacta del consumo energético de la vivienda. También habría que indicar que este consumo podría verse reducido en un 80% debido a que las pérdidas en caso que las viviendas colindantes estuvieran acondicionadas serían por la fachada hacia el exterior.

Del edificio de 4 plantas se analizaron algunas de las viviendas, siendo analizada una de las viviendas de la segunda planta.

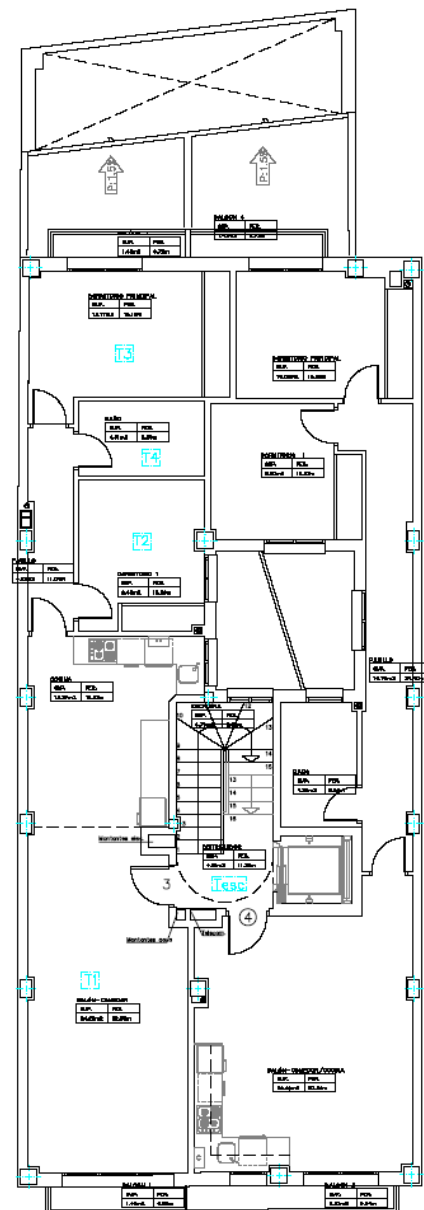


Figura 16. Planta segunda vivienda 4.

Con el objetivo de mantener un gradiente de temperaturas, se utilizaron termoventiladores distribuidos por toda la vivienda cuyas características se muestran en la tabla 3.

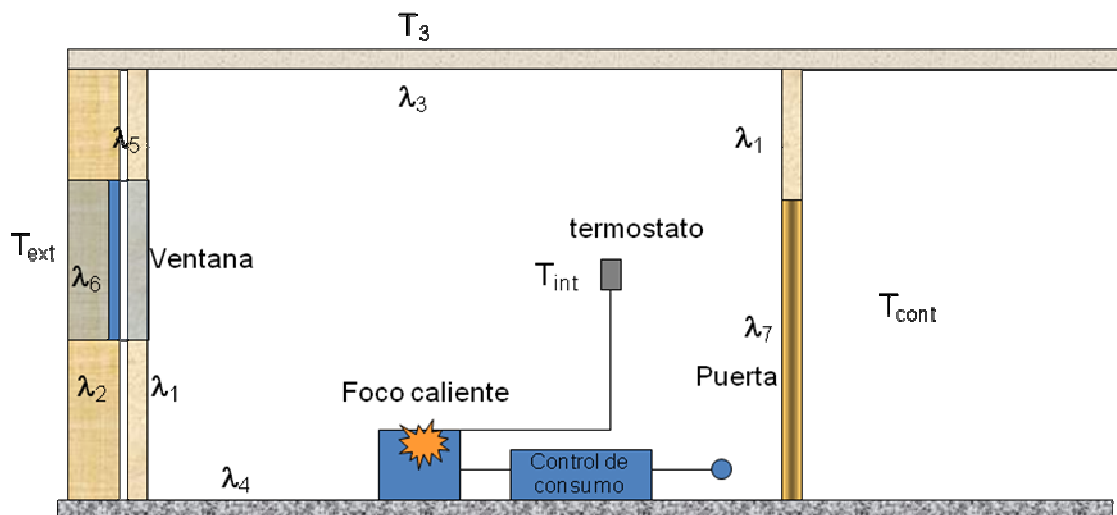
Potencia máxima (W)	2.500
Voltaje (V)	230
Selector Potencia	2
Protección	IP 20
Termostato	Alta precisión

**Tabla 4.** Características de los termoventiladores.

### 5.2.1. Instrumentación

Se utilizaron medidores y sensores y un sistema de recogida de datos instalados en las distintas viviendas para controlar el consumo energético.

Los termopares se colocaron en la pared exterior, y se realizaron medidas de las viviendas contiguas mediante un termopar portátil.



**Figura 17.** Esquema



## 5.2.2.Resultados

Se puso en marcha la experiencia durante varios días seguidos en diciembre de 2007. Los resultados obtenidos fueron consumo de potencia, y temperaturas interiores y exteriores, con respecto al tiempo. Los valores obtenidos para el apartamento descrito anteriormente, quedan reflejados en la tabla 4:

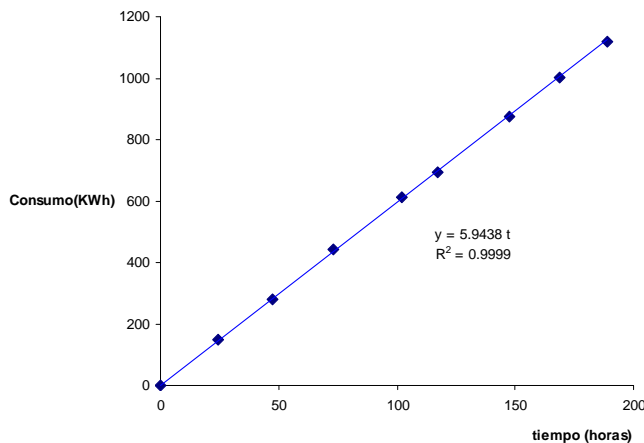
dia (Diciembre)	tiempo (h)	Kwhora	Temperatura	T exterior
12	0.00	0	14.5	14.5
13	24.17	149	22.42	15
14	47.58	280	26.25	14.8
15	73.17	443	28.08	13.2
16	102.17	614	28.90	10.7
17	117.17	694	29.40	8.5
18	147.67	876	29.74	10.8
19	168.67	1003	30.04	13.7
20	189.17	1120	30.71	13.8

**Tabla 5.** Valores de consumo y temperatura obtenidos en el edificio estudiado.

La sistemática seguida para la toma de medidas se ha descrito en el apartado anterior. La tabla refleja solamente los datos más representativos, ya que se tomaron datos durante todos los días indicados, en las distintas estancias de los apartamentos colindantes a izquierda, derecha, arriba y debajo del estudiado. Para cada una de las distintas estancias de este también se determinó la temperatura. El valor presente en la memoria es el de la temperatura promedio del apartamento.

Al haber diferencias entre las temperaturas de las distintas habitaciones de las viviendas, para obtener un valor promedio se ponderaron éstas en función de su volumen. Al encontrarse algunas diferencias de las temperaturas de las viviendas contiguas, para obtener un valor promedio se ponderó en función de la superficie de la pared divisoria.

El consumo de energía a lo largo del tiempo, se puede evaluar en función de la gráfica Energía Consumida (KW hora)/tiempo que se muestra a continuación:



La representación gráfica es una recta de ordenada en el origen cero y pendiente 5,944KWhora. El coeficiente de correlación es muy bueno (0.9999) lo que nos indica que la potencia consumida a lo largo de toda la experiencia ha sido prácticamente constante e igual a unos 5950 vatios.

Para el cálculo del consumo energético por metro cuadrado de vivienda se utiliza la siguiente expresión:

$$\varphi = \frac{Q}{t \cdot S \cdot \Delta T}$$

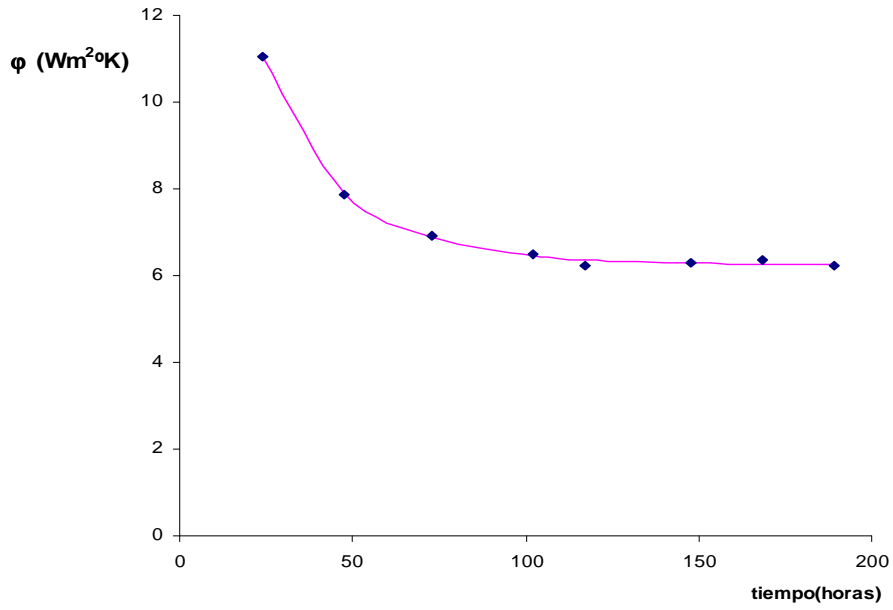
donde  $\Delta T$  es la diferencia media de temperaturas,  $S$  es la superficie de la vivienda,  $t$  es el tiempo transcurrido entre mediciones, y  $Q$  es el calor generado por el equipo de calefacción. Supondremos que  $Q$  es igual al producto de la potencia consumida por el tiempo. Teniendo en cuenta esto, y a partir de los datos de la tabla 4, presentamos la tabla 5.

El valor de  $\varphi$  ha sido calculado para una superficie de 60.3 m<sup>2</sup>.

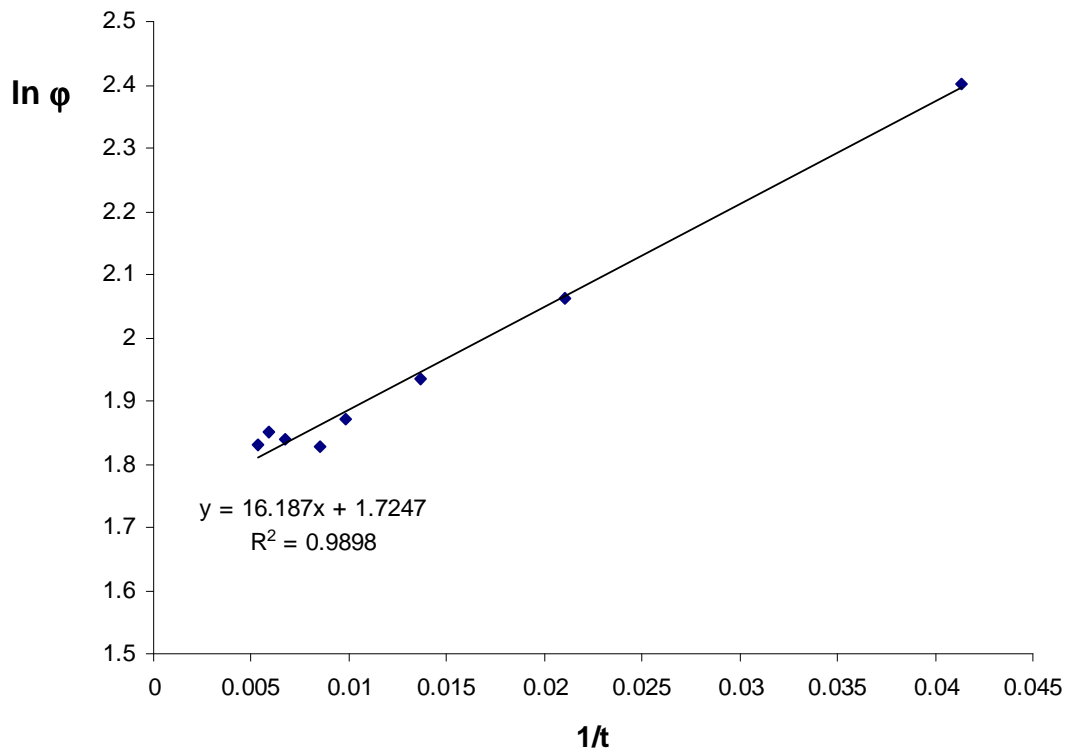
tiempo (h)	T media viv.	T media alr.	Q(KWh)	$\Delta T$	$\varphi$
0.00	14.5	13.48	0.00	1.02	
24.17	22.42	13.51	143.65	8.92	11.05
47.58	26.25	13.71	282.84	12.53	7.86
73.17	28.08	13.84	434.90	14.24	6.92
102.17	28.90	13.73	607.28	15.17	6.49
117.17	29.40	13.57	696.44	15.84	6.22
147.67	29.74	14.09	877.73	15.66	6.29
168.67	30.04	14.55	1002.55	15.50	6.36
189.17	30.71	14.90	1124.41	15.81	6.23

**Tabla 6.** Valores de consumo y temperatura obtenidos en la vivienda 4.

En la figura 8 se muestra el consumo energético por metro cuadrado de la vivienda (W/ m<sup>2</sup>K) en función del tiempo. Se observa una rápida disminución del consumo en los primeros días (de 11 hasta unos 6 W/m<sup>2</sup>°K), causada por los requerimientos energéticos para calentar la estructura de la edificación, una vez se ha calentado el sistema, la pérdida es prácticamente constante y está asociada a las pérdidas de calor del edificio de acuerdo con las leyes de Fourier.



**Figura 18.** Consumo energético por metro cuadrado de vivienda en función del tiempo.



**Figura 19.** Logaritmo del consumo energético por metro cuadrado de vivienda en función de la inversa del tiempo.

En la figura 19 se observa que existe una buena correlación entre el consumo energético y la inversa del tiempo, lo que se puede extrapolar el valor de la energía perdida a tiempo infinito (en situación de estado estacionario si la temperatura ambiente se mantuviese constante) el valor límite es de 1.7247 luego el valor de la pérdida de energía será:

$$\varphi = e^{1.7247} = 5.61 \text{ Wm}^2\text{K}$$

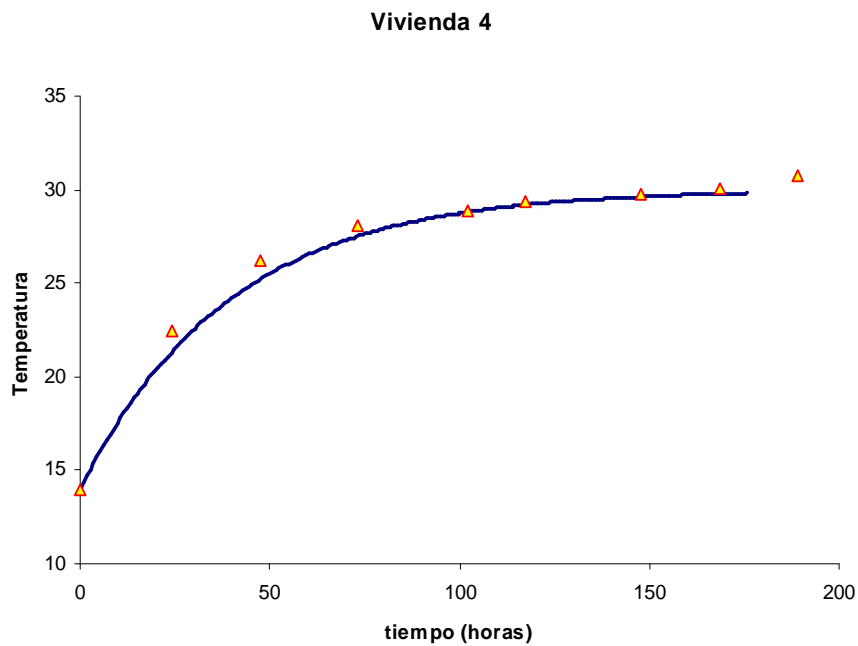
En el apartado 2 ejemplo segundo, se discutió la importancia del diseño de planta y la agrupación de viviendas en el aprovechamiento de la energía, y se comprobó que las pérdidas por viviendas colindantes no habitadas podrían ser relevantes. En la tabla 6 se muestran las superficies compartidas con la vivienda estudiada.

Superficie	Superficie (m2)	Porcentaje
Exterior	19,06	8,90%
Vivienda contigua	53,28	24,88%
Vivienda Superior	60,32	28,17%
Vivienda Inferior	60,32	28,17%
Escalera y Rellano	21,19	9,89%

**Tabla 7.** Superficies

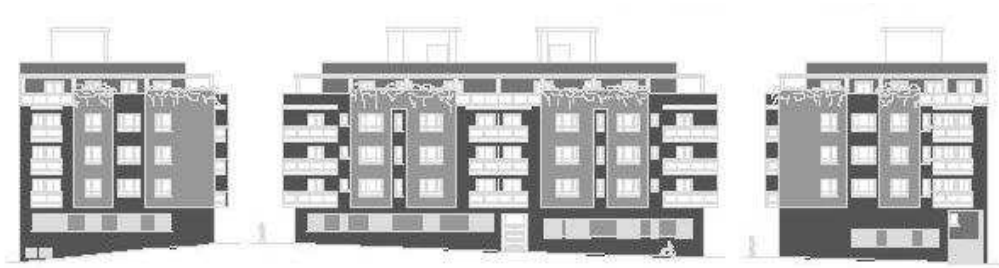
Suponiendo que el sistema de calefacción está en marcha las horas necesarias, y sabiendo que en la ciudad de Valencia se tienen 515,9 grados/día con base 15-15 dados en la Norma UNE 24.046, se obtiene que el consumo de las vivienda varía entre los 2.8 y los 3 Kwh / m<sup>2</sup> año-1, unos valores que comparados con los resultados de otros trabajos (Balaras, 2005), están dentro de la edificación de alta eficiencia energética. En caso que las viviendas colindantes estuvieran acondicionadas como las pérdidas serían prácticamente por la fachada hacia el exterior, entonces el consumo variaría entre 4 y los 5 Kw h /m<sup>2</sup> año-1. El valor del consumo de energía para el acondicionamiento térmico de la vivienda 4 de 60.3 m<sup>2</sup> de superficie es entonces de 174 KW hora, con base 15-15. Para este cálculo no se ha tenido en cuenta el valor de las aportaciones solares. Cuando el bloque de viviendas esté totalmente habitado, el consumo puede disminuir hasta aproximadamente los 60 KW hora anuales (ver figura 15 del apartado 2). Los valores obtenidos distan bastante de ser reales porque la base de cálculo 15-15 no se adecua en absoluto a los requisitos exigidos actualmente por los habitantes de las viviendas.

La temperatura más adecuada como base de cálculo debe estar comprendida en el intervalo de los 20 a 22°C para el invierno, y una temperatura próxima de 25°C para el verano (temperatura de confort). En ese caso los requisitos energéticos para el acondicionamiento son netamente superiores. El programa de cálculo que acompaña a esta memoria permite estimar de forma aproximada este valor. La curva presentada en la figura 10 presenta el valor teórico y experimental de la temperatura en el apartamento 4 a lo largo del periodo de experimentación. Los modelos teóricos utilizados son lo suficientemente aceptables como para poderlos utilizar en cálculos de estimación del consumo de energía de la vivienda.



**Figura 20.** Curva Temperatura/tiempo experimental (puntos triangulares) y simulada (línea continua) mediante el programa de cálculo que acompaña a esta memoria.

### 5.3. Edificio Paterna

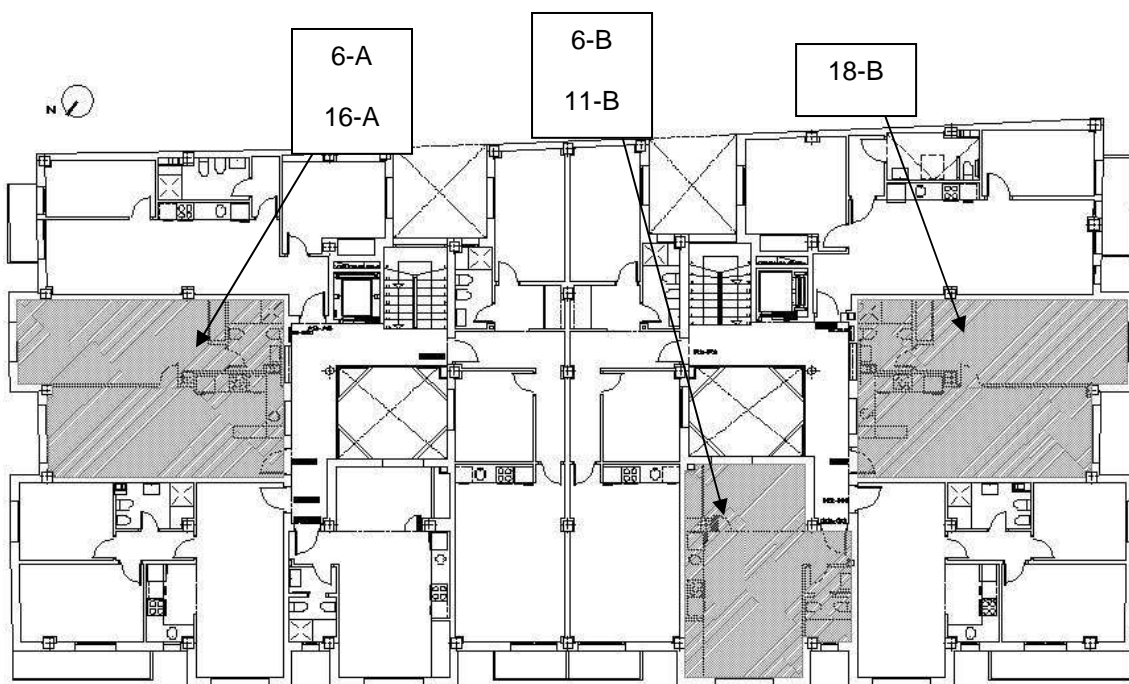


**Figura 21.** Alzados generales del edificio.

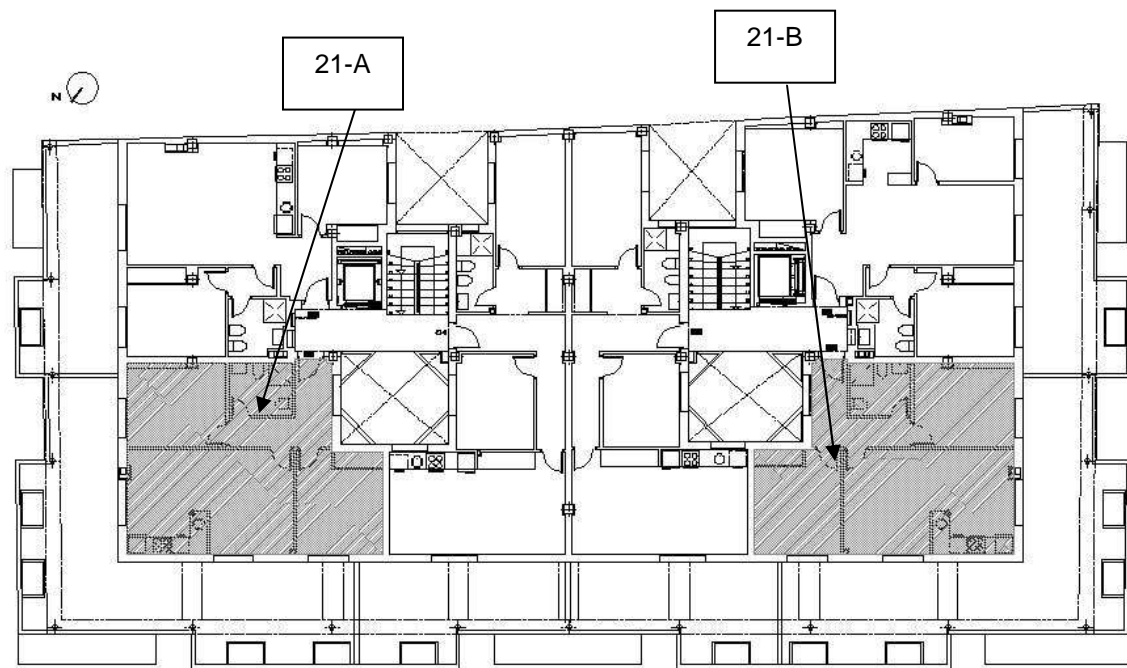
El edificio está situado en la población de Paterna, se destinará para utilización residencial, mediante sistema de arrendamiento sometido al régimen de protección oficial y dirigido a personas menores de 36 años; se han construido 44 viviendas, siendo 4 adaptadas para personas con movilidad reducida, y todas ellas con superficies inferiores a los 70 m<sup>2</sup> útiles; y 46 plazas de garaje, siendo 2 adaptadas para personas con movilidad reducida.

Debido a la desocupación del edificio se pudo conseguir una medida muy exacta del consumo energético de la vivienda. También habría que indicar que este consumo podría verse reducido en un 60% debido a que las pérdidas en caso que las viviendas colindantes estuvieran acondicionadas serían por la fachada hacia el exterior.

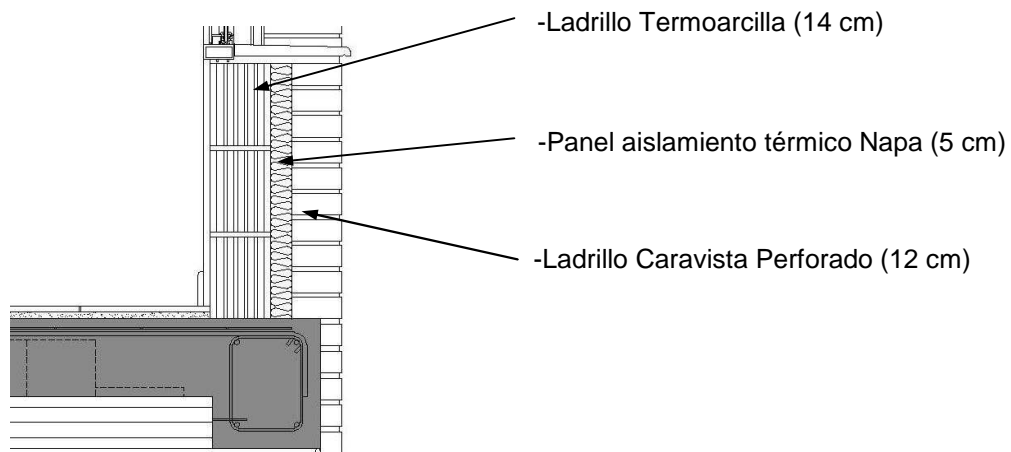
Del edificio de 4 plantas se analizaron algunas de las viviendas, cuya situación se encuentran resaltadas en las figuras 22 y 23. En las figuras 24 y 25 se muestra el tipo de cerramiento tanto para las viviendas analizadas como para la vivienda situada en la población de Tavernes Blanques.



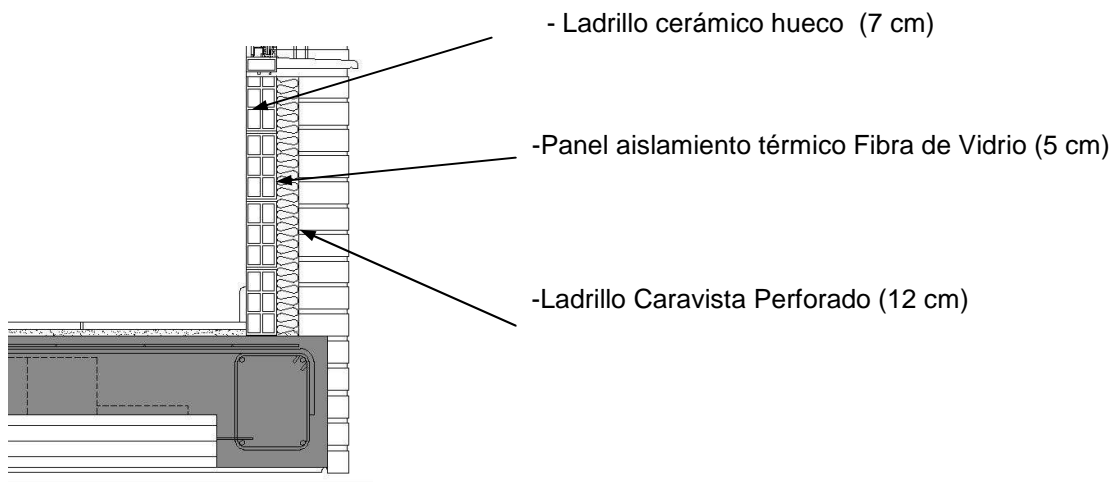
**Figura 22.** Planta tipo, incluye planta primera, segunda y tercera.



**Figura 23.** Planta ático, viviendas 21-A y 21-B.



**Figura 24.** Sección del cerramiento de fachada del edificio.



**Figura 25.** Sección del cerramiento de fachada del edificio situado en Tavernes Blanques, Valencia.

Con el objetivo de mantener un gradiente se utilizaron termoventiladores distribuidos por toda la vivienda cuyas características se muestran en la tabla 8.

Potencia máxima (W)	2.500
Voltaje (V)	230
Selector Potencia	2
Protección	IP 20
Termostato	Alta precisión

**Tabla 8.** Características de los termoventiladores.

### 5.3.1. Instrumentación

Se utilizaron medidores y sensores y un sistema de recogida de datos instalados en las distintas viviendas para controlar el consumo energético.

Los termopares se colocaron en la pared exterior, y se realizaron medidas de las viviendas contiguas mediante un termopar portátil.

### 5.3.2. Resultados

Se realizaron mediciones en 8 tipos de viviendas, 7 viviendas corresponden al edificio descrito en el apartado anterior, y la última vivienda se realizó en otro edificio, que se encontraba parcialmente habitado, aunque ninguna de las viviendas colindantes se encontraba ocupada.

Se puso en marcha la experiencia durante varios días seguidos en diciembre de 2006. Los resultados obtenidos fueron consumo de potencia, y temperaturas interiores y



exteriores, con respecto al tiempo. Las medidas se han descrito en el apartado anterior.

Al haber diferencias entre las temperaturas de las distintas habitaciones de las viviendas, para obtener un valor promedio se ponderaron éstas en función de su volumen. Al encontrarse algunas diferencias de las temperaturas de las viviendas contiguas, para obtener un valor promedio se ponderó en función de la superficie de la pared divisoria.

Para el cálculo del consumo energético por metro cuadrado de vivienda se utiliza la siguiente expresión:

$$\varphi = \frac{Q}{t \cdot S \cdot \Delta T} \quad (1)$$

donde  $\Delta T$  es la diferencia media de temperaturas, S es la superficie de la vivienda, t es el tiempo transcurrido entre mediciones, y Q es el calor consumido por el equipo de calefacción.

En la figura 26 se muestran para 4 viviendas los consumos energéticos por metro cuadrado de vivienda ( $W/m^2K$ ) en función del tiempo.

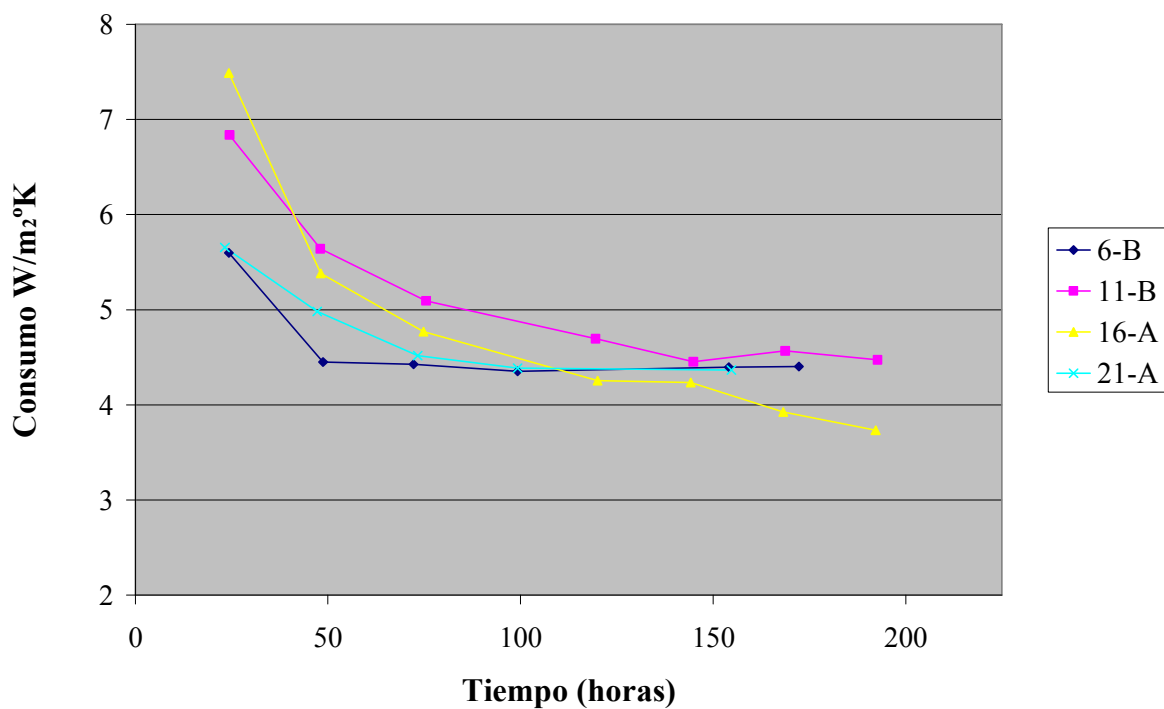
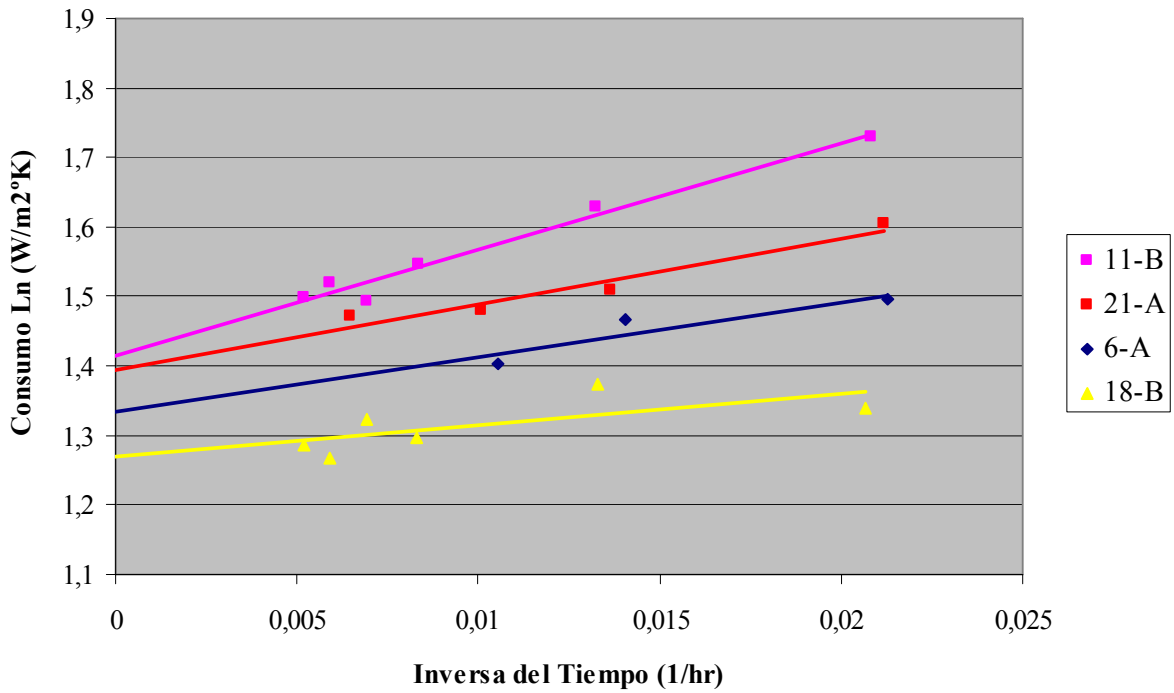
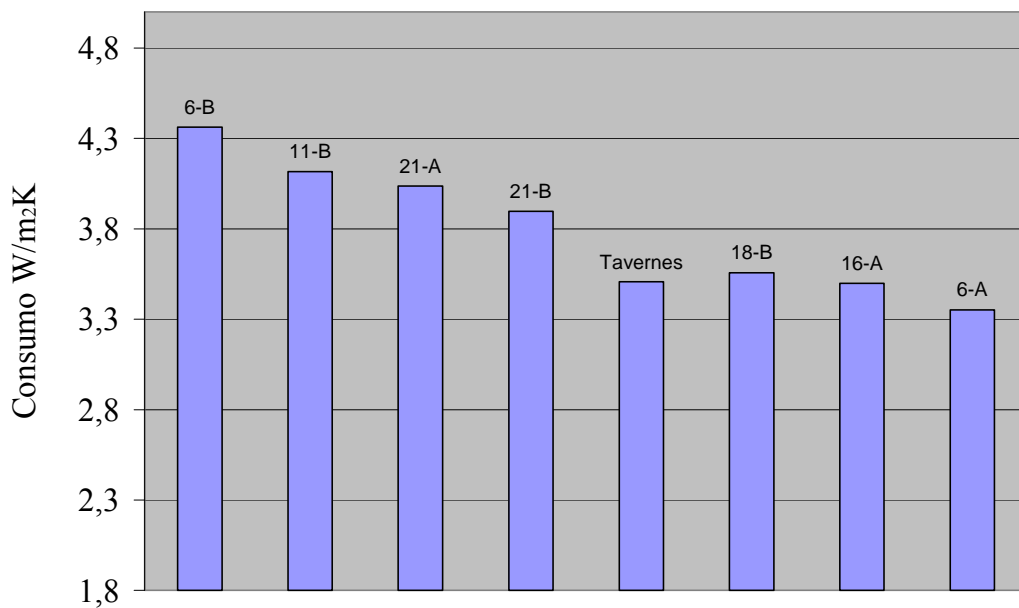


Figura 26. Consumo energético por metro cuadrado de vivienda en función del tiempo.



**Figura 27.** Logaritmo del consumo energético por metro cuadrado de vivienda en función de la inversa del tiempo.

En la figura 27 se observa que existe una buena correlación entre el consumo energético y la inversa del tiempo, lo que permitiría reducir la experiencia con el consecuente ahorro energético.



**Figura 28.** Consumo energético por metro cuadrado de las distintas viviendas.

En la figura 28 se muestran los resultados obtenidos para todas las viviendas analizadas después de obtener la intersección en el eje de las rectas obtenidas ajustadas por mínimos cuadrados.

Se discutió que las pérdidas por ventanal podrían ser relevantes. En la tabla 2 se muestran la superficie de ventanal de cada una de las viviendas. Se detectó que el tipo de ventanal en la vivienda situada en Tavernes Blanques correspondía con el tipo ventana abatible con eje horizontal inferior CLIMALIT. Mientras que en las viviendas situadas en Paterna el acristalamiento correspondía con una ventana corredera, cuyas pérdidas eran difíciles de estimar.

vivienda	S vidrio (m <sup>2</sup> )
6-A	5,58
6-B	5,14
11-B	5,14
21-B	13,72
21-A	13,72
18-B	5,58
16-A	5,58
TAVERNES	11,64

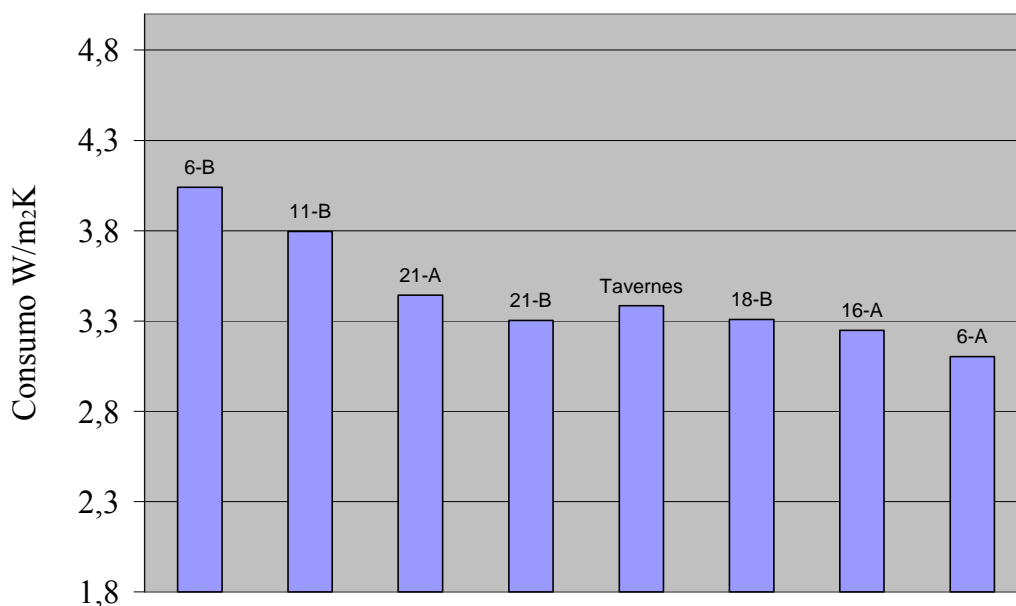
**Tabla 9.** Superficie de ventanal.

Es por eso que partiendo de la hipótesis que las pérdidas por el cerramiento debían ser similares en todas las viviendas se calculó el valor del coeficiente de transmisión térmica ( $U_{ventana}$ ) minimizando las diferencias al cuadrado mediante la siguiente expresión:

$$\varphi_{\text{cerramiento}} = \frac{\varphi_{\text{vivienda}} \cdot S_{\text{vivienda}} - U_{\text{ventana}} \cdot S_{\text{ventana}}}{S_{\text{vivienda}}} \quad (2)$$

Para obtener el ajuste se supuso que la  $U_{\text{Tavernes}}$  era de 0,8 W/m<sup>2</sup>K, alcanzándose una  $U_{\text{ventana}}$  de 2,6569 W/m<sup>2</sup>K. Los resultados de los consumos energéticos del cerramiento de la vivienda se muestran en las figura 9.

Como se puede apreciar al observar las figuras 28 y 29, viviendas que en principio tenían peor comportamiento térmico, cuando se analiza el cerramiento se observa que sus características son muy similares a otras viviendas analizadas. Si nos fijamos en las viviendas 21-a y 21-b se observa que tenían peor comportamiento que las viviendas 18-b, 16-a y 6-a, pero al tener en cuenta las pérdidas por el acristalamiento se observa que su comportamiento es prácticamente el mismo.



**Figura 29.** Consumo energético del cerramiento por metro cuadrado de las distintas viviendas.

Suponiendo que el sistema de calefacción sólo se utiliza 8 horas al día, y sabiendo que en la ciudad de Valencia se tienen 515,9 grados/día con base 15-15 dados en la Norma UNE 24.046. Se obtiene que el consumo de las viviendas varía entre los 18 y los 14 kW h /m<sup>2</sup> año<sup>-1</sup>, unos valores que comparados con los resultados de otros trabajos (Balaras, 2005), para 800 grados/día se observan que varían entre los 80 y los 25 kW h /m<sup>2</sup> año. Lo que indica que los valores obtenidos están dentro de la edificación de alta eficiencia energética. En caso que las viviendas colindantes estuvieran acondicionadas como las pérdidas serían prácticamente por la fachada hacia el exterior, entonces el consumo variaría entre 13 y 3 kW h m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>.

# Conclusiones

---

1. Se ha estudiado el comportamiento térmico de distintas viviendas edificadas en la provincia de Valencia e interpretado los resultados obtenidos.
2. Los estudios del comportamiento térmico de distintos materiales y de edificaciones se han realizado tanto en estado transitorio como en estado de equilibrio estacionario.
3. Se ha comprobado que para las experiencias en estado transitorio, la representación del  $\ln \phi$  ( $W/m^2K$ ) respecto a la inversa del tiempo ( $1/hr$ ) permite obtener el correspondiente valor en el estacionario por la intersección con el eje de tiempo.
4. Se ha caracterizado una serie de diferentes materiales utilizados para la edificación, y publicado los resultados obtenidos en revista especializada y dado a conocer en distintos congresos nacionales e internacionales.
5. Se ha desarrollado un modelo simple para la evaluación del intercambio de energía entre una edificación y sus alrededores, que ha sido utilizado para la estimación de la eficiencia energética de los diferentes tipos de cerramientos utilizados en las viviendas estudiadas.
6. Este modelo de trabajo nos ha llevado a las siguientes conclusiones particulares:

6.1 Se ha comprobado que las pérdidas a través de ventanal pueden ser relevantes, comparándose viviendas con sistemas oscilobatientes con sistemas de ventanas correderas. Obteniéndose los correspondientes valores de los coeficientes de transmisión térmica ( $U$ ) del acristalamiento.

6.2. Al estudiar la pérdida energética del cerramiento de las viviendas de Massalfasar, Paterna y Tabernes, (después de desestimar las pérdidas por el acristalamiento), se obtuvo que las diferencias eran mínimas. Aun así existe casos que no se encuentran dentro del rango.

6.3 Se comprobó que las pérdidas por viviendas colindantes podrían ser relevantes. La causa de esto es la escasa resistencia térmica que opone el muro

medianero al paso del calor (yeso/ladrillo panal de hormigón/yeso, que aunque acústicamente sea adecuado, térmicamente es un buen sistema conductor del calor). Puede comprobarse que el aislamiento mejoraría sensiblemente sustituyendo el muro simple por ejemplo por un muro doble de ladrillo hueco del 7 con una pequeña cámara de aire (de 1 o 2 cm). El programa entregado permite analizar fácilmente estas sugerencias.

6.4 Hemos comprobado que diferentes ordenes de composición en los cerramientos modifica la inercia térmica de los mismos. Que los muros con gran inercia térmica juegan un papel desfavorable en la vivienda de fin de semana por los elevados costos que suponen tanto el calentamiento como el enfriamiento de los mismos. Sin embargo, para una vivienda de carácter habitual, este factor puede llegar a ser incluso favorable, ya que si la calefacción o el sistema de enfriamiento del edificio funciona continua o intermitentemente a lo largo de toda la semana, el enfriamiento o el calentamiento del sistema de más inercia térmica (que es el de mayor capacidad calorífica dinámica) será siempre menor y a largo plazo tanto la maquinaria de calor o frío que funcionará de una forma más relajada y la sensación de confort térmico alcanzado en el sistema de mayor inercia posiblemente sea más agradable.

7. La modelación desarrollada indica que la edificación en bloques de viviendas en altura, favorecen el ahorro de energía, como consecuencia de la disminución y superficie exterior del conjunto respecto a las viviendas individualizadas. Por otra parte, como es evidente, la energía perdida por una vivienda pasará a las viviendas colindantes excepto en los casos en los que estas sean limítrofes con el exterior. La construcción en bloque puede abaratar significativamente los costos de edificación, entre otras causas por el aprovechamiento de elementos comunes, redes de distribución, alumbrado, evacuación, mejor aprovechamiento del terreno y redes de comunicación, tal y como se discutió en la introducción, etc. Pero además resulta rentable económica y ecológicamente por el hecho de poderse mejorar los sistemas de aislamiento térmico del edificio con el exterior y los sistemas captación de energía solar, térmica, fotovoltaica, etc.

## **RESULTADOS PUBLICADOS**

**Título:** A new model based on experimental results for the thermal characterization of bricks

**Autores:** Jose-Luis Vivancos, Juan Soto, Israel Perez, Jose V. Ros-Lis, Ramón Martínez-Mañez

**Revista:** Building an Environment

**Aceptada:** 29 julio de 2008

**Congreso :** CLIMA 2007 Wellbeing Indoors

**Edición:** CLIMA 2007 Wellbeing Indoors

**Título:** Experimental unsteady characterization of thermal building performance

**I.S.B.N.:**978-952-99898-2 Fecha10/06/2007 **Lugar:** Helsinki Finland

**Editorial:** FINVAC pag 153

**Tipo de participacion:** Poster

**Congreso :** Internacional Congress on project Engineering

**Edición:** XI Internacional Congress on project Engineering

**Título:** Caracterizacion experimental del comportamiento termico de viviendas

**I.S.B.N.:**978-84-690-81334 Fecha01/09/2007 **Lugar:** Lugo España

**Editorial:** AEIPRO pag 338-347

**Tipo de participacion:** Articulo

**Congreso :** Internacional Congress on project Engineering

**Edición:** XI Internacional Congress on project Engineering

**Título:** Determinacion experimental de la conductividad térmica de materiales de la construcción

**I.S.B.N.:**978-84-690-81334 Fecha01/09/2007 **Lugar:** Lugo España

**Editorial:** AEIPRO pag 348-354

**Tipo de participacion:** Articulo

