

**Conceptos básicos sobre aislación térmica de viviendas**

**Pág. 115 - 138**

**Gonzalo Arrau C.**

Ingeniería Civil U.C., Apoquindo 5794, Las Condes.

**RESUMEN:** el tema de la aislación térmica de viviendas ha sido estudiado por el hombre desde los principios de su existencia; inicialmente lo hizo basado en la experiencia cotidiana y poco a poco fue formulando teorías, métodos de análisis y procedimientos de cálculo para determinar el mejor sistema de aislación a utilizar. En este trabajo se revisan los principios básicos de la aislación térmica (en conjunto con las principales fuentes de pérdida de calor existentes en una vivienda) y las características de los materiales aislantes más utilizados en nuestro país, con la finalidad de formar un criterio básico que permita elegir el sistema de aislación mas eficiente a cada necesidad.

**I. INTRODUCCION**

Al pensar en una vivienda, se visualiza un sitio confortable, que protege y entrega una cierta calidad ambiental, ya que una de las exigencias primarias del ser humano es la de mantenerse caliente en invierno y fresco en verano. Estudios médicos han demostrado que el frío excesivo en los hogares tiene enorme influencia en la muerte prematura de personas mayores, en la mortalidad infantil e incluso en enfermedades leves como la gripe. Además, hay que considerar las molestias que provoca el frío y el calor excesivo. Por lo anterior, se hace necesario mantener una cierta temperatura en el interior de la vivienda, mediante sistemas de calefacción o aire acondicionado, según se requiera, lo que es muy caro debido al costo de dichos aparatos, al de su mantención y principalmente al de la energía necesaria para su funcionamiento. Dichos costos pueden disminuirse si se aísla térmicamente la vivienda, ya que se requerirá menos energía para temperar cada habitación, pues se impide el flujo de calor, reduciendo por lo tanto los costos de energía para calefacción y los de mantención (1). El ahorro de energía es generalmente mucho mayor que el costo de la aislación térmica. Por lo tanto, al estudiar los sistemas de calefacción (aire acondicionado) y de aislación térmica más adecuados a instalar en una vivienda se debe analizar el problema tomando en consideración que (2):

- a) Es necesario producir el calor requerido tan económicamente como sea posible, minimizando en lo posible el consumo de energía.
- b) Es necesario hacer un balance de energía entre el calor ganado por el edificio y el calor perdido por éste, en base a dicho balance es posible establecer los mejores métodos para reducir las pérdidas de calor en una vivienda y con ello reducir la cantidad de calor (o aire acondicionado) requerida para mantenerla a una temperatura adecuada.

En general, se puede decir que en una vivienda (ver Figura N° 1) el balance de calor se puede realizar considerando que:

- a) Las Principales fuentes de ganancia de calor son:
  - Calor útil suministrado por el aparato de calefacción.
  - Calor suministrado por lámparas eléctricas, cocinas y el disipado por motores eléctricos, tales como refrigeradores, lavadoras, etc.
  - Calor irradiado por los ocupantes.
  - Ganancia de calor de radiación a través de los cristales de las ventanas (incluso en invierno).
  - Ganancia de calor de radiación a través de las paredes. El calor es absorbido por radiación en la superficie exterior de la pared y luego transmitido por conducción y convección al interior.

b) Las Principales causas de pérdidas de calor son:

- Pérdidas de calor sensible debido a la ventilación. El aire del interior de la casa que ha sido calentado, se pierde hacia el exterior a través de las aberturas debajo de las puertas y ventanas, a través de las puertas cuando se abren, por los ventiladores, por el tiro de las chimeneas, etc., entonces el aire caliente es reemplazado por el frío.
- Por conducción a través del techo.
- Por conducción a través del suelo.
- Por conducción a través de las paredes.
- Por conducción y radiación a través de las ventanas.
- Por el desagüe del agua caliente (calor sensible).
- Por evaporación del agua en el interior de las habitaciones y pérdida de este al exterior (calor latente).

## II. MECANISMO DEL AISLAMIENTO TERMICO

### 2.1. Definiciones

Este mecanismo está basado en el hecho de que entre dos cuerpos con temperaturas diferentes, inevitablemente se produce un flujo calórico, desplazándose el calor desde el cuerpo más caliente al más frío, hasta que se produce el equilibrio de temperatura entre las superficies en contacto (3, 4), luego si se interpone entre ambos un tercer cuerpo se produce el mismo efecto entre las superficies en contacto, con ello va disminuyendo la intensidad del flujo calórico al pasar de un cuerpo al otro, aún más si el cuerpo intermedio tiene resistencia al paso del flujo a través de él, con la consideración de que ningún medio permite impedir el cambio de calor, sólo modificar su intensidad (3). Este es el mecanismo en que se basa la aislación térmica de las viviendas, es decir, en proteger el ambiente interno del externo interponiendo algún material que disminuya al máximo la intensidad del flujo de calor entre ambos. Para entrar de lleno al tema es necesario definir ciertos conceptos:

Coefficiente de Conductividad: es una medida de la conductividad térmica, que es la cantidad de calor que atraviesa un metro cuadrado de un cuerpo, con un espesor de un metro, por hora y para una diferencia de 1°C entre las dos caras.

Resistencia Térmica (r): es la resistencia ofrecida por un cuerpo al paso del calor, es proporcional a su espesor, e inversamente proporcional a su conductividad, es decir, mientras mayor sea el espesor de un elemento y menor su conductividad, mayor será la resistencia que opondrá al paso del calor.

- Conductancia (k): es el inverso de la resistencia térmica, se le llama comúnmente Conductividad Térmica (Tablas N° 1 y N° 2). En Chile la conductancia térmica se mide en  $w/(m \cdot k)$ , Nch 849 Eof.71 ( $1 w/(m \cdot k) = 0,8598 kcal/(h \cdot m \cdot ^\circ C)$ ). El valor "K" de una pared depende de la conductividad térmica de las diversas capas que la constituyen, juntamente con los coeficientes de transmisión de calor de las superficies de contacto solido/aire (capa límite) de la pared (Figura N° 2). Este valor se puede obtener teóricamente como el inverso de la suma de las resistencias que se oponen al flujo de calor. Lo anterior se puede escribir :

$$K = (r_1 + \sum d_j / k_i + r_0)^{-1} \quad [1]$$

en que (1 y 3):

$r_1$  y  $r_0$  : son las resistencias del aire de la capa límite en el interior y exterior de la pared.

$d_i$  : espesor de la capa  $i$  de la pared responsablemente.

$k_j$  : coef. de conductividad térmica del material componente de la capa  $i$  de la pared.

Con respecto a la conductividad térmica, se puede señalar que la del aire completamente quieto es mucho más baja que la de cualquier material sólido, rasgo dominante en los materiales aislantes de alto vacío, que no llegan a alcanzar la conductividad del aire, ya que en el interior de sus fibras se produce una microconvección. Otro punto interesante de tener en cuenta es que la conductividad del agua es tal, que hace que los materiales húmedos sean menos aislantes que los materiales secos.

## 2.2. Flujo de calor (2).

En cualquier caso de transmisión de calor de un lado a otro de una pared, el papel desempeñado por las superficies de contacto sólido/aire o capa límite es fundamental. Una capa de aire próxima a un sólido está virtualmente estática y el calor se transmite de la superficie a la capa de aire turbulento de atrás por cuatro acciones:

- a) Por convección libre, que se debe al movimiento natural del aire en contacto con las superficies, a causa de los cambios de densidad. Las diferencias de temperatura provocan diferentes masas específicas, las que engendran los movimientos del flujo que tiende a mezclar las zonas calientes y frías (3). La convección libre es importante solo cuando los efectos de la convección forzada son pequeños. El efecto de la convección libre es distinto si se trata de una pared vertical o de una horizontal y de si la superficie caliente está abajo o arriba.
- b) Por convección forzada, que se debe a los movimientos de convección provocados por acción del viento u otras corrientes de aire (por ejemplo en las cámaras de aire cuando hay tiro de ventilación). La convección forzada, incluso a velocidades bajas del aire, entrega valores significativos. Se tiene que tomar en consideración que en las superficies lisas la convección forzada es menor que en las superficies rugosas.
- c) Por radiación, que es el calor o frío emitido por los cuerpos dotados de cierta temperatura y depende fundamentalmente de la emisividad de la superficie. Una superficie sólo es capaz de absorber una fracción del calor que incide sobre ella (elevando su temperatura), el resto es reflejado (3). La fracción absorbida depende de la naturaleza del cuerpo y de la longitud de onda de la radiación recibida (Figura N° 3).
- d) Por conducción, el calor se propaga a través de todos los cuerpos sólidos o líquidos de molécula a molécula, suponiendo que éstas últimas están inmóviles (3).

## 2.3 Cámaras de aire (2).

Las cámaras de aire en general están formadas por dos tabiques que entre ellos contienen un espacio de aire. En condiciones en que el aire, dentro del tabique, está completamente en calma, se ha comprobado experimentalmente que gracias a la baja conductividad del aire, éstas cámaras son muy buenos aislantes térmicos. Siendo la separación mínima óptima entre los tabiques, para que la cámara actúe en forma eficiente, de 5 cm.

Al dividir el espacio entre tabiques en compartimientos, la transmisión de calor aumenta apreciablemente, debido a que se forman pequeñas corrientes de convección, que pasan rápidamente el calor de la superficie más caliente a la más fría. Por ésta razón es conveniente diseñar las ligaduras de paredes de tal forma que produzcan la menor resistencia posible a la circulación de aire (ésto es aplicable a las paredes de entramado con cámara de aire).

La posición de la superficie caliente afecta apreciablemente la transmisión de calor debido a la convección. Esto se debe al hecho de que el aire caliente se eleva, por ello al calentar la superficie inferior del tabique (horizontal o

vertical) el aire caliente sube y tiende a acelerar la transmisión de calor, mientras que en el caso inverso, en que se calienta la superficie superior, el espacio de aire tiene una considerable resistencia a la transmisión de calor. Por ello es que si se reserva un espacio de aire debajo de un piso de madera se tendrá el mismo efecto que si se tuviera una capa de aislamiento térmico.

Al aislar cámaras de techo, debe prestarse particular atención a la influencia de la convección libre, que en tales casos es de una importancia mucho mayor que en las paredes y pisos. Esto se ve aumentado por el hecho de que las partes superiores de las habitaciones a menudo están algo más calientes que los niveles inferiores. La manera obvia de solucionar dicha pérdida de calor es mediante la incorporación de un material aislante térmico, ya sea en la cámara de techo o en la construcción del cielo raso.

## **2.4 Posibles fuentes de pérdidas de calor**

### **2.4.1 Puentes térmicos**

La transmisión total de calor a través de una pared aumenta considerablemente cuando una sección de dicha pared, incluso secciones muy pequeñas, están menos correctamente aisladas que el resto de ella, éstos puntos o regiones se llaman "Puentes Térmicos" o "Puentes Fríos". Típicos de éstos son las juntas entre las paredes interiores y exteriores, losas de balcón en voladizo, ligaduras metálicas para paredes, esquinas de edificios, etc. Al existir un puente térmico, el calor se dirige hacia él desde un área considerablemente mayor a su área real, produciéndose de éste modo un efecto perjudicial, ocasionalmente se puede provocar un punto frío que produzca la condensación dentro del edificio.

### **2.4.2 Ventanas**

Las pérdidas de calor a través de las ventanas corresponden a entre un 25 y un 35% de las pérdidas totales y se deben principalmente a tres causas:

- a) Pérdidas de calor por convección a través de los resquicios entre el marco de la ventana y los umbrales, montantes, tragaluces, etc. En general las ventanas con marco metálico ajustan mejor que las con marco de madera, reduciéndose el problema, pero de todas maneras se tendrán filtraciones de aire que deben ser evitadas.
- b) Pérdidas de calor por efecto de la existencia de puentes térmicos, especialmente cuando se usan marcos metálicos. En los lugares en que se permite que se junte una pared (con cámara de aire) con las aberturas de ventanas o puertas, se forma un puente térmico, que aumenta considerablemente al coeficiente de transmisión de calor. Sin embargo, si ésta unión está aislada con una capa de lana mineral, el efecto del puente se reduce en forma significativa.
- c) Pérdidas de calor a través de los cristales, por convección y conducción superficial. En general, las pérdidas de calor a través de un cristal son entre 3 y 12 veces mayores que a través de una pared, mal y bien aislada respectivamente. El hecho de utilizar cortinas permite disminuir este problema, ya que éstas ofrecen una considerable utilidad como aislante y a veces, pueden actuar como un tabique térmicamente aislante. En algunos casos extremos puede ser necesario solucionar el problema colocando un doble cristal, que funciona como un "tabique" con una cámara de aire intermedia. A través de los cristales de las ventanas se producen considerables

ganancias de calor por radiación solar directa e indirecta. Esta ganancia de calor radiante varía con las condiciones climáticas, la orientación de la ventana y con el espesor y naturaleza del cristal mismo.

### 2.4.3 Conducción de calor a través de los suelos

Básicamente puede considerarse que la transmisión de calor a través de los suelos se puede calcular de manera bastante similar al modo en que se determina para las paredes y techos. Así, la transmisión de calor a través del suelo dependerá del espesor y de la naturaleza de las distintas capas paralelas de que está construido el suelo. Desde el punto de vista de la transmisión de calor desde el interior de la vivienda al terreno, no tiene importancia donde está colocado el material aislante del suelo, a condición de que factores tales como la penetración de la humedad, convección forzada, etc., sean insignificantes. Sin embargo, el orden de colocación de las varias capas de materiales de que está formado el piso (incluido el aislante), es de inmensa importancia cuando se consideran las características de bienestar de la vivienda en cuestión. (Por ejemplo: si un suelo compuesto de hormigón y poliestireno expandido se construye con el poliestireno encima de todo, el suelo se sentirá caliente al andar sobre él con los pies desnudos, mientras que si el hormigón está encima de todo, el suelo se notará frío). Se demostró que con el pie desnudo la sensibilidad al calor estaba determinada por la naturaleza de los materiales del suelo (conductividad térmica, calor específico y densidad), por el espesor y por el orden de las diversas capas, así como por la temperatura superficial del suelo. Cuando el pie está cubierto, los factores importantes son principalmente la temperatura del aire cerca del suelo. También es importante considerar cuánto tiempo estará una persona sobre el suelo en cuestión. Por ejemplo, en un pasillo, el contacto del pie desnudo con el suelo será solamente fugaz, mientras que en el cuarto de baño, una persona puede estar por algún tiempo. Se ha demostrado que las características de confort de diferentes superficies dependen del llamado coeficiente de penetración térmica "b" del material. Los valores de "b" de ciertos materiales de construcción corrientes son los siguientes (mientras menor es su valor mayor confort entregan):

Corcho 13 a 20

Madera 40 a 59

Hormigón celular, 50 a 130 (dependiendo de la densidad).

Hormigón pesado, 130 a 200 (dependiendo de la densidad).

Algunos plásticos espumosos tales como el poliestireno expandido son materiales que tienen un coeficiente de penetración térmica particularmente bajo, en cambio todos los metales, piedras pesadas, hormigón, etc., tienen coeficientes de penetración térmica muy altos y de ésta manera son extraordinariamente fríos al tacto.

### 2.5 Importancia ubicación capa de aislamiento (2)

En cualquier solución constructiva debe tomarse en consideración la ubicación de la capa de aislamiento con respecto a la pared, es decir si el aislante térmico estará colocado contra el exterior de la pared, en una cavidad dentro de ella o contra la superficie interior (se ha considerado el nombre genérico de pared para referirse tanto a muros, como a estructuras de cielo o de piso), teniendo cada método sus ventajas y desventajas.

### **2.5.1 Material de aislamiento asentado contra el exterior de la pared.**

La principal ventaja de este sistema es que los materiales de construcción, tales como la obra de ladrillo, hormigón armado, etc., no están sometidos a esfuerzos de expansión térmica, pues la temperatura de la estructura principal del edificio puede mantenerse razonablemente uniforme. Al mismo tiempo las paredes pueden almacenar calor, lo que hace más uniforme la carga en los aparatos de calefacción. Sus inconvenientes son el hecho de que tienen que escogerse materiales de aislamiento que tengan una cierta resistencia estructural y que no sean afectados por ataques del medio ambiente (lluvia dirigida, contaminación atmosférica, hongos, parásitos, etc.). La mayor parte de los materiales utilizados como aislantes tienden a absorber algo de humedad, lo que disminuye su resistencia térmica. La clase de material que podría utilizarse es el poliestireno expandido u otros materiales protegidos en su exterior por alguna sustancia impermeable a la humedad (hormigón celular protegido con una capa bituminosa, lana mineral con un revestimiento de cristal o metálico, etc.).

### **2.5.2 Capa de aislamiento intercalada entre materiales de construcción.**

Este es el método de aislamiento térmico probablemente más utilizado en la construcción, tiene la ventaja de que el material aislante no necesita tener resistencia estructural y que está protegido de los ataques del medio y del deterioro del interior del edificio. Si la pared exterior es porosa, en condiciones de lluvia dirigida, el agua puede ser forzada contra la capa de aislamiento, y penetrar en ésta. Esto solo sucede si el ángulo de contacto capilar del material de aislamiento es menor a  $90^\circ$  (materiales silíceo fibrosos, fieltro de lana, etc.) y se evita si es mayor (lana de roca protegida con un material grasoso, fibras de vidrio protegido con resinas fenólicas, etc.). En los casos en que se usan materiales en que dicho ángulo es menor a  $90^\circ$  se puede evitar la penetración de la humedad manteniendo una cavidad entre la superficie exterior del material y la interior del tabique exterior, que se comportará como una cámara de aire, otro procedimiento para evitar este problema, aunque no tan efectivo, es el de colocar entre la superficie del material y la superficie interior del tabique exterior una lámina de papel ondulado (Papel Fieltro), la que además de ser aislante es hidrofugante (Figura N° 4). Cuando la capa de material aislante es gruesa se necesita colocar una barrera de vapor en la superficie interior de este, para impedir que el vapor que proviene del interior de la vivienda penetre al interior del aislante y se condense en él (el polietileno es una efectiva barrera), algunos materiales como el poliestireno actúan como barreras de vapor de si mismas.

### **2.5.3 Capa de aislamiento colocada contra la parte interior de la pared.**

La ventaja de este sistema es que la habitación se calienta mucho más rápidamente que con los métodos anteriores. Para este efecto se pueden emplear materiales con ángulo de contacto pequeño, tales como placas de fibra de madera, paneles de poliestireno expandido o de plásticos laminados, paneles de yeso, etc. Puede considerarse que este método es el más apropiado, ya que además de lo señalado anteriormente la parte interior se siente más caliente al tacto que con los otros sistemas, además que es el más rápido y simple de instalar, se puede instalar incluso mucho tiempo después de terminada la construcción (solo se producirá un ligero aumento del grosor de las paredes). Su único inconveniente es que se deben ocupar materiales que entreguen una duración adecuada, soporten el tráfico diario existente dentro de una vivienda y que se les pueda dar una terminación adecuada a un muro interior.

## **2.6 Consideraciones especiales para los casos de la techumbre y del piso de la vivienda**

### 2.6.1 Cielos y estructuras de techos

Para poder determinar la aislación más adecuada para una estructura de techumbre se deben solucionar previamente dos problemas teóricos. El primero de ellos es saber evaluar la conductividad térmica de un elemento de espesor variable, lo que es relativamente simple si el elemento es de un material homogéneo o es una cámara de aire no ventilado, en que basta considerar que el espesor del elemento es igual al valor medio del espesor variable, en cambio si se trata de una cámara de aire ventilado se procederá de un modo similar, pero despreciando la contribución de la pared externa. Por lo tanto el segundo problema será saber cuando una cámara de aire es un espacio no ventilado, esto sucede cuando el área de los orificios de ventilación es inferior a  $10 \text{ cm}^2/\text{ml}$  de pared (1). En general para aislar una cámara de techo o el cielo raso se puede colocar un material aislante de alto vacío, siendo conveniente que el material tenga poca o ninguna microconvección, ya que son más efectivos, por ello es mejor una fibra de vidrio o una lana mineral más compacta que un material suelto, las sustancias tales como el poliestireno expandido o las espumas de poliuretano son casi ideales. Otro sistema para aislar techos rasos de edificios es construyéndolos de vigas o tabloncillos de soporte de hormigón celular, que posee una buena combinación de capacidad de aislación y de soporte de carga.

### 2.6.2 Piso y estructura de piso

Para determinar la estructura de piso más adecuada para una vivienda se debe buscar que ésta entregue las condiciones térmicas y de resistencia requeridas, además se debe verificar que entregue un confort adecuado a las personas que habitan en ella (considerando que eventualmente transitarán sobre el piso con los pies desnudos, asegurando por lo tanto que la caída de temperatura del cuerpo, al entrar el pie en contacto con el piso sea la menor posible). Para lograr todo lo anterior se tienen dos posibles soluciones, construir un piso sólido o dejar un espacio de subsuelo bajo la estructura de piso.

Un espacio de subsuelo, por constituir éste una cámara de aire horizontal, actuará como una capa de aislamiento térmico, entregando una considerable resistencia a las pérdidas de calor a través del piso. Esto será efectivo si se disminuyen las pérdidas por radiación a través del piso (lo que se logra colocando una lámina de Aluminio) y se impide el flujo de aire entre el subsuelo y la vivienda (utilizando un material de pavimento de piso en condiciones adecuadas, para impedir que se formen intercambios). Un buen material, que cumple las condiciones señaladas y las de confort, es el piso de madera. En el caso de los pisos sólidos (radier o similar), el problema que se debe solucionar es el de confort principalmente, lo que se logra colocando un material con un coeficiente de penetración térmica bajo, como madera, corcho o un poliestireno expandido sobre el radier.

## III. MATERIALES PARA EL AISLAMIENTO TERMICO UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCION EN CHILE (1 y 2).

Los materiales de aislamiento térmico utilizados en la construcción deben poseer ciertas propiedades específicas que se reseñan a continuación.

- a) Conductividad térmica baja. El ideal es que este valor tienda a ser similar al del aire completamente en calma, ya que así se tendría una conductividad muy baja. Pueden obtenerse valores muy cercanos a este con materiales con una elevada proporción de huecos, con alveolos lo suficientemente pequeños como para limitar rigurosamente la microconvección.
- b) Poca absorción de humedad. La humedad reduce de un modo considerable las propiedades del aislamiento térmico de la mayoría de los materiales aislantes debido a que tiene una conductividad térmica alta a temperaturas normales. Debido a que algunas materias orgánicas presentan una gran afinidad por el agua debe vigilarse su presencia en los materiales aislantes. Esta propiedad es de importancia cuando existe la posibilidad de que el material entre en contacto con la humedad.
- c) Resistentes a la acción del fuego y estables a la influencia del medio ambiente. Los productos naturales, tales como la madera, son propensos a ataques del medio, por ello no son tan desables como los productos sintéticos. Por lo que respecta a los materiales porosos, en caso de incendio, aún cuando estén hechos de sustancias intrínsecamente inflamables, por lo general tienen una buena resistencia térmica y evitan la propagación de las llamas (al estar sometidos a la acción de las llamas los hormigones celulares tienden a desmenuzarse y las espumas de plástico a encogerse).
- d) Tener un bajo costo y ser de fácil aplicación.
- e) Características estructurales. Por lo general sucede que los materiales estructurales son malos aislantes, y los materiales aislantes tienen una escasa resistencia estructural, por lo tanto es necesario llegar a un compromiso entre el aislamiento y la resistencia requerida.

### 3.1 Materiales comunes

#### 3.1.1 Hormigón celular

Este es un material poroso formado por burbujas no intercomunicadas, rellena de aire, que puede utilizarse en tamaños prefabricados o hecho "in situ" (vertido en suelos o techos planos). Este hormigón celular tiene una gran resistencia a la humedad, es incombustible, inorgánico (no está expuesto a ataques de hongos o insectos), no tiene tendencia a envejecer ni a agrietarse y puede ser trabajado con gran facilidad. Su conductividad térmica puede variar entre 0,17 y 0,67 w/(m k), dependiendo principalmente de su densidad y de si está hecho con escoria de altos hornos o con áridos silíceos. En Chile los agentes gasificadores más utilizados son los aditivos a base de sales de plata. A las superficies exteriores de las paredes de hormigón celular normalmente se les da una capa de enlucido con lechada de cemento impermeable al agua, a las interiores se les puede dejar toscas o lisas según se desee.

#### 3.1.2 Yeso

El yeso se emplea en forma cartón yeso, paneles, tabiques y en planchas de fibra de madera impregnada. El cartón yeso aislante tiene un núcleo interior de yeso aereado, que no se dilata ni contrae con los cambios de temperatura atmosférica, esta recubierto por ambos lados con una plancha de cartón y en un lado con una hoja de aluminio pulido (aislante por reflexión). Es un compuesto de baja propagación a la llama, y tiene un coef. de conductividad térmica de 0,20 w/(m k).

Los paneles de yeso para cielos rasos, se utilizan en cielos suspendidos (colegios, hospitales, etc.), para eliminar las pérdidas de calor a través del cielo raso, tiene una conductividad térmica que varía entre 0,24 y 0,41 w/(m k),

impedir la formación de manchas de suciedad, mantener el cielo seco y absorber sonidos. También se ocupa en bloques para tabiques con un coef. de conductividad térmica de 0,40 w/(m k).

Las planchas de lana de madera impregnada son empleadas para el aislamiento de techos. Están formadas con fibras de madera comprimida impregnadas bajo presión con cemento de yeso para producir unidades petrificadas de peso ligero. Este producto se encuentra en el mercado con el nombre comercial de Eraclit.

### 3.1.3 Escorias de alto horno expandidas

Generalmente este material se ocupa como relleno suelto, en forma de gránulos expandidos, lo que le da un coef. de conductividad térmica cercano a 0,11 w/(m k). Este material es de naturaleza inorgánica y resistente al fuego, pero tiene afinidad con el agua, por lo que se debe evitar utilizar donde haya riesgo de penetración de humedad. En general se utiliza como capa de aislamiento en el espacio de techo, y como masa aislante del suelo por encima del nivel de la capa impermeable (en pisos solidos).

## 3.2 Materiales de alto vacío

Son materiales en los que el espacio ocupado por la parte sólida del material es comparativamente pequeño dentro del volumen total, en el que la mayor parte es un gas. La función del material sólido es simplemente la de restringir el movimiento de las moléculas de gas y limitar de ésta forma las corrientes de convección. Los materiales porosos de aislamiento pueden clasificarse según si son de poros abiertos o cerrados (los de poros cerrados tiene una menor conductividad que los de poros abiertos, para poros de un mismo tamaño). En ciertas sustancias fibrosas la conductividad puede no ser la misma en todos sentidos, pues las formas y direcciones de los intersticios pueden ser diferentes según cada dirección. El límite más bajo de la conductividad de éstos materiales es la del aire completamente en calma o la del gas en cuestión, si el medio térmicamente resistente no es el aire. En la práctica no puede alcanzarse una conductividad igual a la del aire debido a la existencia de corrientes de microconvección y radiación de un poro al siguiente.

### 3.2.1. Papel ondulado

Este material está formado por arrugas múltiples de papel impregnado con una mezcla de asfalto, lo que lo hace hidrofugante, logrando un coef. de conductividad térmica cercano a 0,041 w/(m k), conocido en el mercado como Papel Fieltro. Este material está pensado como aislante térmico para ser empleado en paredes con entramado de madera, y tiene como ventaja, en relación a otros materiales, su naturaleza elástica que puede adaptarse para formar una protección realmente eficaz contra el viento, impidiendo las pérdidas por convección que aparecen a menudo cuando el material aislante no encaja totalmente en la pared de entramado.

### 3.2.2 Lana de roca o lana mineral

La lana de roca es un material fibroso hecho a partir de la diabasa mineral, que es una roca ígnea muy dura de composición bastante homogénea. Las planchas de lana de roca son elásticas y si no se ha rebasado su límite de elasticidad conservan su espesor y forma original casi completamente después de quitarse el peso al que se las ha tenido sometida. La conductividad térmica de la lana de roca depende de su densidad y finura de fibras. Una propiedad importante de este material y de otros de fibras delgadas, es la resistencia a la microconvección. La lana mineral se emplea principalmente en Chile de las siguientes formas:

a) Como lana suelta, ya sea colocada a mano (provoca irritación de la piel de la persona que la coloca) o con maquina, empleada para sellar juntas y para colocar en el interior de las cámaras de techo o bajo el piso, donde no sustenten ningún peso, obteniéndose con ella una conductividad térmica cercana a 0,043 w/(m k).

a. En forma de fieltro o manta, se produce en rollos y se utiliza principalmente en suelos con capas de aire contra el sonido, para aislamiento de cámaras de techo, etc., lográndose conductividades térmicas que varían entre 0,037 y 0,047 w/(m k).

b. Como planchas, en las cuales la lana se atiesa con una impregnación con material plástico. Las planchas semi-duras son ideales como aislante entre paredes, sin peligro que se hunda, y las duras para aislamiento en paredes de hormigón moldeado, pisos, techos o donde quiera que se necesite soportar presiones de compresión. Al igual como varía su rigidez varía su conductividad térmica entre 0,052 y 0,058 w/(m k).

Este material es uno de los más utilizados dentro del país, siendo la marca más conocida existente en el mercado Aislan, que ofrece tanto el material en planchas como granulado (suelto), asegurando que es incombustible (resiste hasta 800°C), que tiene un alto coeficiente de conductividad térmica, que es inodoro, no higroscópico y resistente al ataque de insectos y roedores.

### 3.2.3 Fibra de vidrio

Este material es algo similar a la lana de roca y se produce de una composición especial de vidrio de sosa suave. Se produce como lana suelta, con una conductividad térmica que varía entre 0,039 y 0,056 w/(m k), dando muy buenos resultados para el aislamiento de espacios de techo, y en forma de mantas, que son planchas ligadas con resinas sintéticas, en que por lo general, el aglomerante tiene un ángulo de contacto para el agua inferior a 90°, por lo que debe cuidarse que el material no entre en contacto con la humedad. La conductividad térmica de las planchas varía entre 0,036 y 0,051 w/(m k), y se utiliza también para la aislación de techos. El llenado de una cavidad de una pared con lana suelta (no es higroscópica ni se asienta) no es muy satisfactorio, siendo mucho mejor utilizar planchas ligadas al tabique interior, dejando una cavidad con aire entre ellas y el tabique exterior, para protegerlas de la humedad.

### 3.3 Aislamiento reflector de la radiación solar

Los aislantes reflectores procuran reducir la transmisión de calor debido a la radiación, cuyos efectos son bastante considerables. El principal aislante reflector utilizado en la construcción es la chapa o lámina de aluminio, siendo uno de sus nombres comerciales Harvifoil, el cual ha demostrado ser mucho mejor que las pinturas de aluminio ocupadas anteriormente para dicho efecto. Se ha estimado que las pérdidas de calor debidas a radiación en una cámara vertical son de cerca del 60% de las pérdidas totales, en espacios bajo el pavimento y en las cámaras de techo son de cerca del 70% y del 50% respectivamente, en caso de utilizar una chapa de aluminio se pueden reducir las pérdidas por radiación en éstas cámaras en cerca de un 60%, de un 70% y de un 50% respectivamente, en cada una de ellas. De lo anterior se opina que la chapa es más efectiva para el aislamiento de pisos.

La chapa de aluminio es una buena barrera de vapor, es incombustible y ocupa un espacio despreciable, pero no tiene ningún efecto sobre las pérdidas de calor por conducción y convección.

### 3.4 Plásticos celulares

La aparición de los plásticos celulares revolucionó la industria del aislamiento térmico, ya que en general son mejores y más baratos que las sustancias naturales equivalentes. Los plásticos celulares pueden subdividirse en aquellos en los cuales los poros de la estructura celular no están interconectados y aquellos en los cuales la estructura porosa es continua. Básicamente se puede considerar que la conductividad térmica de los materiales de aislamiento de alto vacío es virtualmente la misma, cualquiera sea la naturaleza del medio sólido utilizado, esto también es válido para la mayor parte de los plásticos celulares, salvo que los de poros cerrados tienen coeficientes de conductividad térmica ligeramente inferiores que los de poros abiertos. Los principales tipos de plásticos utilizados en la construcción en nuestro país son los siguientes.

- i. Poliestireno expandido, para el aislamiento de paredes, cielos o bajo el pavimento de piso.
- ii. Ebonita expandida, para el aislamiento de almacenes frigoríficos y de lugares donde la capacidad de repulsión del agua sea de vital importancia, teniendo un coef. de conductividad térmica de 0,031 w/(m k).
- iii. Cloruro de polivinilo expandido, en paneles de plástico muy fuertes y resistentes a la presión, con un coef. de conductividad térmica de aprox. 0.035 w/(m k).
- iv. Poliuretano expandido, empleado donde se necesita buena elasticidad y adherencia a superficies metálicas, teniendo un coef. de conductividad térmica de 0,025 w/(mk). Un material de este tipo existente en el mercado nacional es el Baytherm, que es una espuma rígida.

#### 3.4.1 Poliestireno expandido

Este es uno de los materiales de aislamiento en uso más popular, debido a que es uno de los materiales más baratos, además de que solo tienen conductividades más baja que él algunos de los otros plásticos celulares en los que los poros están llenos con gases distintos al aire, éstos materiales son mucho más caros y, en general, no tienen las convenientes propiedades del poliestireno, las que son:

1. Conductividad térmica muy baja, debido al hecho de que los poros del material están completamente cerrados.
2. Excelente rigidez y buena relación resistencia/peso.
3. Baja penetración del agua.

Este material es idealmente apropiado para el aislamiento de paredes, cielos o bajo el pavimento de piso. En nuestro país es principalmente identificado a través del nombre comercial Aislapol, encontrándose en el mercado en planchas (en espesores desde 10 mm. hasta 50 cm.) y en partículas (granulado o perlas), con coeficientes de conductividad térmica que varían entre 0.034 y 0,036 w/(m k), para las planchas, dependiendo de su densidad, y de aprox. 0.031 w/(m k) para el material en partículas. También se puede encontrar en forma de bloques, placas decorativas, medios caños (para tuberías), paneles para frigoríficos y paneles Sandwich (paneles formados por un recubrimiento, de masisa, internit u otro material, y un núcleo de Aislapol). Otro nombre comercial del poliestireno expandido es Bepol, también existe un revestimiento especial para cielos y estructuras de techumbre llamado Bepolit, compuesto por una plancha de poliestireno expandido revestida en sus caras con fibras de madera aglomeradas con cemento, del tipo Eraclit, reuniendo en uno solo las características de ambos materiales.

#### IV. CONCLUSIONES

El aislamiento térmico de las viviendas se debe diseñar tomando en consideración diversos factores que son de fundamental importancia en el comportamiento del sistema de aislación elegido. Estos factores son principalmente los siguientes:

- f) Características de los materiales aislantes disponibles (materiales comunes, de alto vacío y/o plásticos celulares)(tabla N° 3).
- g) Diferencia de temperatura a que estará sometida la pared, el cielo y/o el piso (la que será distinta para cada habitación, pues se debe tomar en consideración el uso que se les dará a estas).
- h) Características climáticas (vientos, lluvias, nieve, etc.).
- i) Costo de los materiales aislantes y de su colocación.
- j) Estructura y características de los pisos, cielos y techos a aislar.
- k) Interrelación entre los materiales de construcción y los materiales de aislación.
- l) Posibilidad de presencia de humedad.
- m) Posición del aislante con respecto a la pared (si es requisito para el sistema de aislación, de lo contrario su ubicación deberá ser determinada a través del análisis del problema).
- n) Existencia de puentes térmicos.
- o) Existencia de cámaras de aire y/o posibilidad de dejarlas durante la construcción.
- p) Características de las puertas y ventanas.
- q) Ambiente al que estará sometido el aislante.
- r) Riesgo de incendio de la construcción misma. .?
- s) Resistencia requerida al avance de las llamas.
- t) Resistencia estructural requerida.
- u) Otros.

Con toda esta información se puede estar en condiciones de determinar el mejor sistema de aislación térmica para cada vivienda, el que deberá señalar la ubicación, tipo y dimensiones de los materiales aislantes y de las barreras (de vapor, de humedad y/o de reflexión) a instalar. Junto con ello se deben entregar diseños adecuados para evitar una sobreventilación de la vivienda (ajustes adecuados para puertas y ventanas, ventilaciones necesarias, etc.) y soluciones para los puentes térmicos (atenuar sus efectos o impedir que ocurran, según lo que sea posible).

La importancia del buen diseño del aislamiento térmico de una vivienda es que se logra que este trabajo en forma efectiva, sea duradero y tenga un costo mínimo, evitando un desperdicio inútil de recursos.

#### REFERENCIAS

1. INN, "Acondicionamiento Ambiental Térmico - Muros y Complejos De Techumbre - Cálculo de Resistencia y Transmitancia Térmica", NCh 853. Eof. 71, Instituto Nacional De Normalización, Santiago, 1971.
2. Diamant, E., Aislamiento Térmico y Acústico de Edificio Ed. Blume, Madrid, España, 1967.
3. Rougeron, C., Aislamiento Acústico y Térmico en la Construcción. Editores Técnicos Asociados, Barcelona, España, 1977.

4. Croiset, M., Humedad y Temperatura en los Edificios. Editores Técnicos Asociados, Barcelona, España, 1976.

Tabla N° 1 Conductividad Térmica de algunos Materiales (\*)

Material	Conductividad Térmica $w(m\ k)$
Metales	
Aluminios	210
Cobre	380
Cinc	110
Materiales de Construcción	
Hormigón Armado	1.50 a 1.75
Hormigón Liviano	0.17 a 0.55
Hormigón sin armar	0.73 a 1.75
Ladrillo hueco	0.46 a 0.60
Ladrillo macizo	0.52 a 1.00
Adobe	0.90
Maderas de Construcción	0.12 a 0.23
Baldosas Cerámicas	1.75
Linoleo	0.19
Pavimento plástico	0.75
Vidrio para ventana	1.20
Papel	0.13
Enlucido de Yeso	0.35 a 0.56
Tejas	0.70 a 0.76
Tierra	
Tierra natural	0.3 a 2.8
Arena Seca	0.6
Gravas	2.3
Fluidos	
Aire	0.027
Argón	0.019
Parafina	0.151
Agua	0.603

(\*) Extracto NCh 853. Eof. 71

Tabla N° 2 Conductividad Térmica de algunos Materiales Aislantes Térmicos utilizados en Chile (\*)

Materiales	Conductividad Térmica w/(m k)
Materiales Comunes	
Hormigón Celular	0.17 a 0.67
Cartón Yeso	0.20
Paneles de Yeso	0.24 a 0.41
Bloques	0.40
Escoria A.H. Expandida	0.11
Vermiculita, partículas	0.047
Plancha de Corcho	0.040 a 0.074
Aserrín	0.044 a 0.060
Materiales de Alto Vacío	
Lana mineral, suelta	0.043
Lana mineral, manta	0.037 a 0.047
Lana minera, plancha	0.052 a 0.058
Fibra de vidrio, suelta	0.039 a 0.056
Fibra de vidrio, manta	0.036 a 0.051
Paneles de amianto	0.056 a 0.150
Lana de amianto, suelta	0.061 a 0.120
Paneles de fibras aglomeradas	0.044 a 0.071
Plásticos Celulares	
Poliestireno expandido, plancha	0.034 a 0.036
Poliestireno expandido, partículas	0.031
Cloruro de polivinilo expandido	0.035
Poliuretano expandido, espumado	0.025
Ebonita expandida	0.031

(\*) Extracto NCh 853 Eof. 71

Tabla N° 3 Características de algunos Materiales Aislantes Térmicos utilizados en Chile

MATERIAL	Conductividad Térmica (*) w/(m k)	Resistencia a la Humedad	Comentarios	Aplicaciones más adecuadas
<b>Materiales Comunes</b>				
Hormigón celular exteriores,	0,17 a 0,67	alta	Incombustible	Revest.
Cartón Yeso	0,20	baja	Inorgánico Trabajable. Baja propagación llama.	paredes, techos y pisos. Revest.interiores en tabiques de madera.
Paneles de Yeso	0,24 a 0,41	mediana	Absorbe sonidos	Cielos rasos.
Escoria A.H. expandida	0,11	higroscópico	Inorgánico Incombustible.	Espacio de techo masa aislante suelo.
<b>Materiales de Alto Vacío</b>				
Papel ondulado	0,041	hidrofugante		En paredes con entramado de madera.
Lana mineral,		no higroscópico	Incombustible	
suelta	0,043	Inodoro.	Irritación a la piel.	Interiores de techo y bajo el piso.
cámaras				En pisos.
manta	0,037 a 0,047		Soporta solo su propio peso.	En paredes con cámara de aire.
plancha semi-dura	0,052		Soporta presiones de compresión.	Pisos y techos, paredes moldeado.
plancha dura	0,058			Espacios de techo.
hormigón				Espacios de techo, rellenos
Fibra de vidrio, suelta	0,039 a 0,056	no higroscópico	No se asienta	
Fibra de vidrio, manta	0,036 a 0,051	higroscópico		
intermedio.				
<b>Plásticos Celulares</b>				
Poliestireno expandido, plancha	0,034 a 0,036	alta	Económico	Paredes, cielos y bajo el piso.
Poliestireno expandido, partículas	0,031	alta	Económico	Paredes y cielos

(\*) Extracto NCh 853. Eof.71

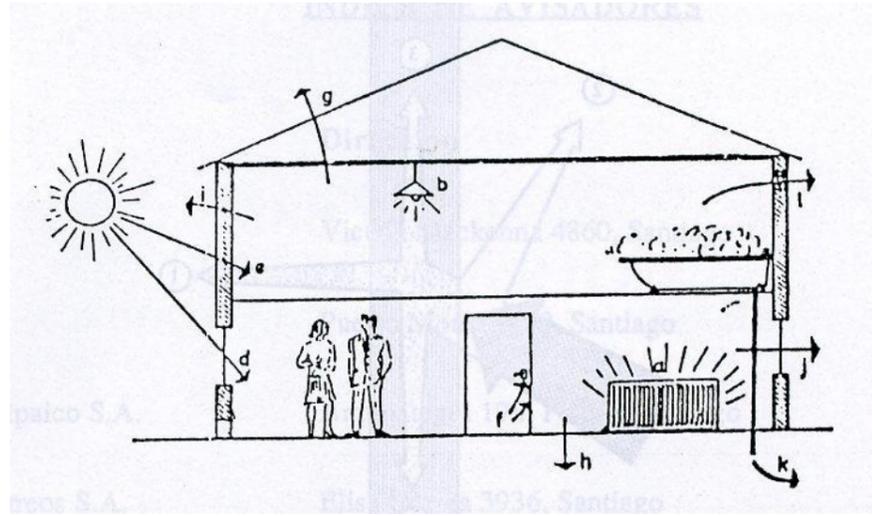


Figura N° 1: Balance de calor en una vivienda

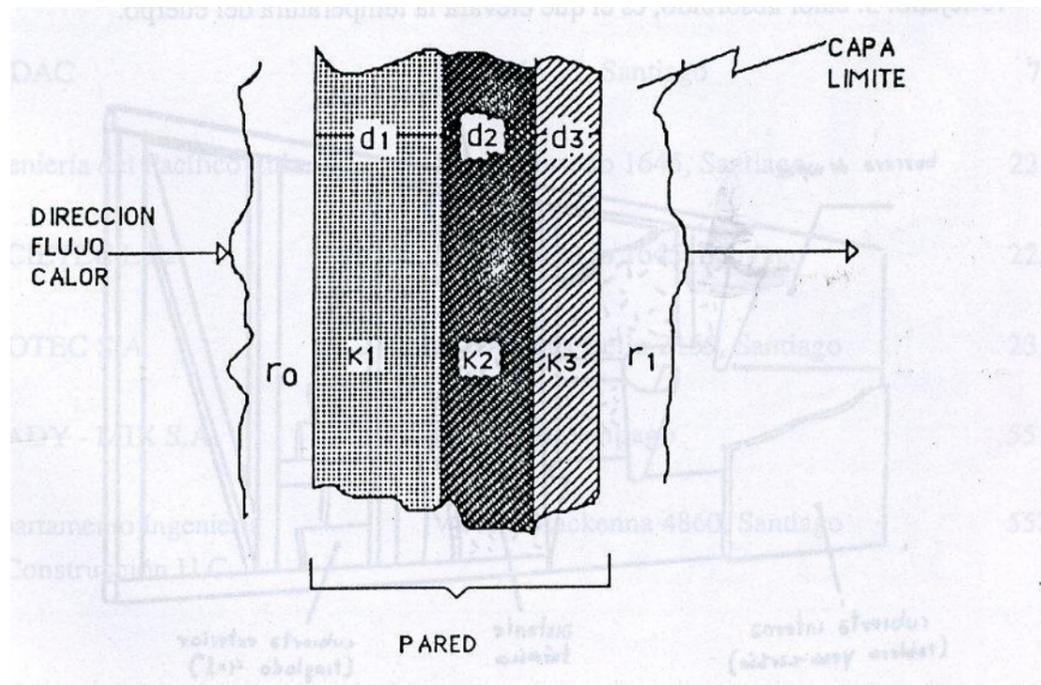


Figura N° 2: Transmisión de calor a través de una pared compuesta.

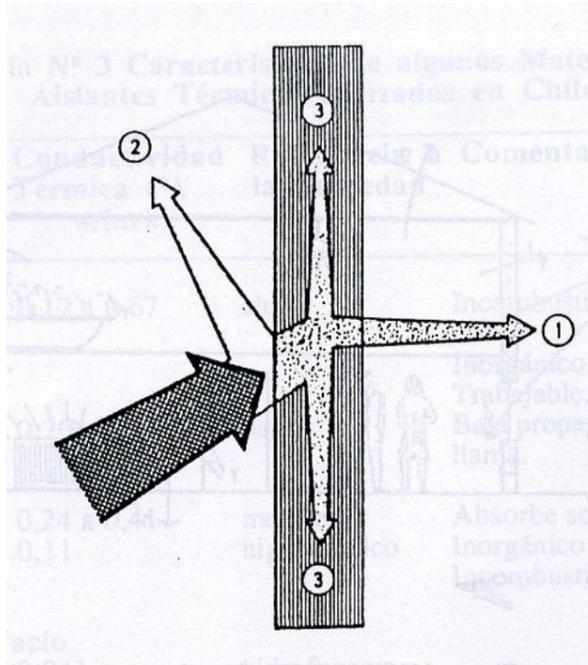


Figura N° 3: Calor absorbido y calor reflejado. 1: calor transmitido a través del cuerpo  
2: calor reflejado 3: calor absorbido, es el que elevara la temperatura del cuerpo

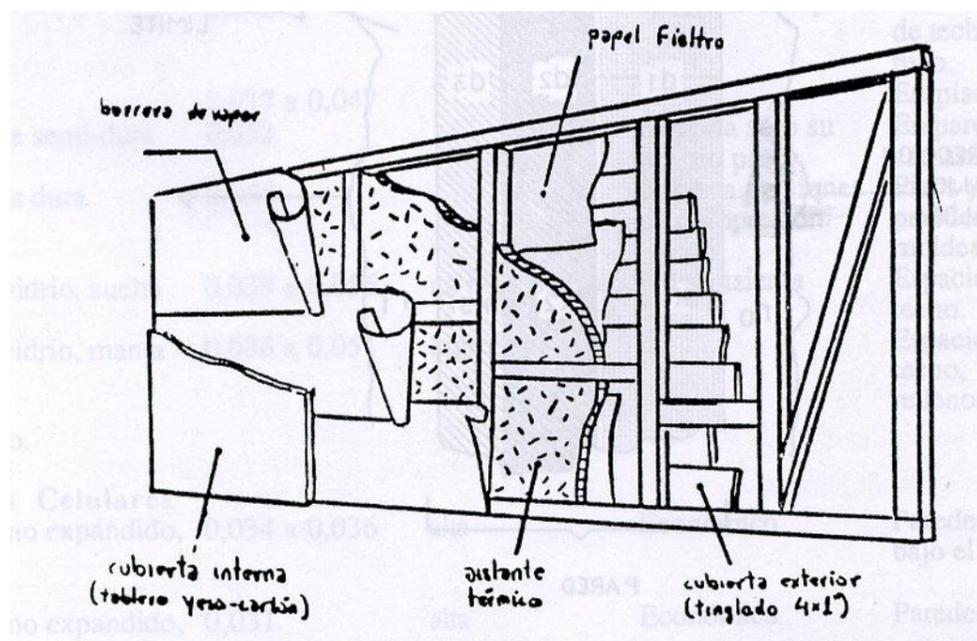


Figura N° 4 Capa de aislamiento intercalada dentro de un tabique de madera