
NOTAS TÉCNICAS

SOBRE LA AISLACION TERMICA EN LA CONSTRUCCION

INTRODUCCION

ES DIFÍCIL, SI NO IMPOSIBLE, pretender definir en una frase el clima de Chile. Sus variadas latitudes, su zona andina casi pegada a la cordillera de la costa con un estrecho valle entre ambas, la corriente fría de Humboldt, etc., son factores que de un modo u otro influyen para que prácticamente cada localidad tenga un clima particular. Y si bien es cierto que estos factores se conjugan para que casi ningún punto del territorio tenga temperaturas medias muy extremas, ello no autoriza la idea común de considerar benigno el clima en general, ya que las diferencias entre el día y la noche son bastante fuertes, siendo este fenómeno la tónica general del territorio desde Biobío al norte.

Es lamentable comprobar la pésima aislación en casas y edificios nuevos, los cuales, en el decir común, son un "horno de verano y un témpano en invierno".

Existen edificios que en la estación fría gastan ingentes sumas en calefacción central, en tanto que en el verano sus temperaturas alcanzan a la máxima exterior.

Las razones de esta anomalía, que se está generalizando, es atribuible a:

1. El creciente uso del vidrio en la edificación
2. El reemplazo de la madera por metales, especialmente hierro y aluminio, en elementos estructurales y no estructurales.
3. El uso de muros, tabiques, cielos y pisos de materiales delgados, con vista a la economía
4. Falta de una legislación que especifique y exija los mínimos de aislación aceptables
5. Falta de control de las obras
6. Carestía de los materiales aislantes
7. Desconocimiento en muchos casos del uso correcto de dichos materiales

El objeto del presente trabajo es discutir y analizar más detalladamente estos aspectos.

1. El creciente uso del vidrio en la edificación

La arquitectura moderna, gracias al vidrio, ha dado una nueva dimensión estética a la edificación. El ambiente se proyecta hasta el jardín, el patio o la calle, y se diría que el paisaje forma parte de la decoración interior.

Desgraciadamente, a su vez, no se toman todas las precauciones que la ciencia y la técnica proporcionan para evitar que las ventanas se conviertan en emisores o receptores indeseables de calor.

El vidrio tiene, entre otras propiedades, la cualidad de ser muy transparente (80 a 90%) a la radiación infrarroja de corta longitud de onda ($<25000 \text{ \AA}$) que, en gran parte, junto al espectro visible y ultravioleta constituye la radiación solar¹. Pero es prácticamente opaco a la radiación infrarroja de gran longitud de onda, que constituye el calor reemitido por los objetos de una habitación. Así pues, el vidrio actúa como una válvula que deja entrar el calor del sol y no lo deja salir. En verano esto es un grave problema para las zonas templadas y cálidas, y exige como solución fuertes gastos por refrigeración de los ambientes.

El cálculo de la superficie de ventana debe atenerse a una serie de factores tales como: orientación respecto al sol de invierno y de verano, volumen de ambiente a iluminar con luz natural, costo de iluminación artificial, calefacción, refrigeración y costo del muro. Si por razones de orden estético se altera este cálculo drásticamente habrán de tomarse las medidas conducentes a paliar el desbalance producido en los factores citados. No obstante, nos parece que la tendencia de nuestra arquitectura actual es hacer un uso esencialmente estético del vidrio, siendo común ver fachadas enteras de vidrio, grandes ventanas con sol de verano, puertas, divisiones, claraboyas, etc., en gran profusión.

En invierno las condiciones no son menos graves, pues aunque el vidrio impide la radiación al exterior ayudando a mantener la temperatura interior, por otra parte es relativamente un mal aislante del calor; y además, como se usa en muy pequeños espesores, las pérdidas sobrevienen por conducción. Se calcula que en un ambiente normal el porcentaje mayor de pérdidas de calor se efectúa a través de la ventana.

2. El reemplazo de la madera por metales

La madera, tanto tiempo utilizada en la construcción, está siendo reemplazada paulatinamente por el metal, en ventanas, marcos, puertas, celosías, elementos soportantes y estructuras de techo tanto las cerchas como en la cubierta.

En general los metales utilizados en construcción (hierro, aluminio, latón, cobre) conducen entre unas 100 y 5000 veces lo que conducen los materiales aislantes. De esta manera, si consideramos un marco de ventana de un

metro por lado y 1" de sección, hecho de aluminio, sólo él podría conducir tanto calor como 200 m² de muro de ladrillo de 15 cm. Felizmente, esta enorme desproporción se ve aminorada por el aire ambiente, que siendo mal conductor, no entrega todo el calor que el metal puede conducir. Con todo, deben evitarse en lo posible, todos los elementos metálicos que unan el interior con el exterior (llamados puentes térmicos) que son causantes principales de mala aislación.

Es probable que estos elementos abaraten la obra instalada, pero no debe olvidarse que la construcción más económica no siempre es aquélla que es inicialmente más barata, sino también la que, por otro lado, tenga mínimos costos de mantención.

3. Uso de muros y tabiques, pisos y cielos de material delgado

La evolución de las técnicas constructivas ha llevado a un substancial ahorro de materiales que, aunque bien calculado para las sollicitaciones mecánicas, no ha tenido en cuenta el punto de vista de la aislación térmica. Este factor adquiere su mayor importancia en la edificación prefabricada, hoy tan en boga, en donde la economía de materiales se lleva al máximo. Debe recordarse que el traspaso de calor aumenta inversamente con el espesor del material, por lo que de poco sirve un buen material aislante si su espesor es demasiado pequeño. La Corporación de la Vivienda (CORVI) ha fijado en sus propuestas un valor de aislación equivalente a un muro de ladrillo corriente de 20 cm para las murallas exteriores, vale decir una pérdida máxima de 1,75 kcal m/m²°C h.

En el mercado se encuentra una gran variedad de materiales para estos usos, muchos de ellos prefabricados. Sus coeficientes de aislación pueden presentar diferencias que exceden un factor de 10:1 (ver Tabla I) y por tanto el espesor a usar estará comprendido entre algunos centímetros y varios decímetros, según el tipo de material.

Es obvio decir que tratándose de tabiques divisorios entre ambientes que se desea mantener a igual temperatura, la aislación térmica carece de importancia.

Un factor que no se suele tomar muy en cuenta es la llamada inercia térmica que depende de la masa del edificio. Un edificio de gran masa tiene una gran capacidad calórica, es decir, constituye un "acumulador de calor" y las variaciones de la temperatura de su ambiente son suaves y paulatinas frente a las variaciones de la temperatura exterior. Si el edificio tiene poca masa, tiene poca inercia térmica y su temperatura tiende a seguir la temperatura exterior. (ver Fig. 1, 2 y 3).

Los edificios de gran inercia térmica requieren calefacción central permanente; en cambio, los de poca inercia se prestan más a la calefacción local o discontinua.

TABLA I

COEFICIENTES DE CONDUCTIVIDAD TERMICA DE MATERIALES CORRIENTES*

Clasificación	Material	Densidad media g/cm ³	K kcal/m ² ° C h
Malos	Hormigón armado ²	2,4	1,40
	Vidrio ²	- -	1,05
	Hormigón corriente	2,4	0,90
	Mortero de revestimiento	2,0	0,54
	Plástico vinílico	1,7	0,50
Normales	Ladrillo hecho a máquina	1,7	0,40
	Panel viruta aglomerada	1,1	0,36
	Ladrillo chonchón	1,5	0,30
	Vidrio con plástico	- -	0,25
	Yeso	0,7	0,22
	Hormigón liviano	0,7	0,13
Buenos	Madera de pino	0,5	0,10
	Vidrio plástico reforzado	- -	0,10
	Amianto en polvo	- -	0,10
	Panel viruta prensada	0,2	0,04
	Lana de vidrio	0,08	0,03
	Poliestireno expandido	0,02	0,03
	Corcho en plancha ²	0,096	0,03
	Aire quieto y seco ³	- -	0,02
Conductores	Hierro ³		50
	Aluminio ³		174
	Cobre ³		332

* Todos los valores son de materiales nacionales y han sido determinados experimentalmente en nuestro laboratorio, excepto los marcados con la referencia bibliográfica de donde se extrajeron.

Una casa habitación, un hospital, etc., que son ocupados las 24 horas del día, deben tener una inercia térmica apreciable. Es preferible que no tengan mucha inercia térmica las construcciones habitadas sólo durante el día, como escuelas, oficinas, etc.

Pisos y cielos: Es práctica común colocar la cubierta del piso directamente sobre un radier de hormigón. Cuando se usa madera en espesores > 2 cm, las pérdidas de calor no son importantes. No así cuando el piso lo constituyen baldosas de plástico. Este plástico en sí es relativamente buen aislante, pero el espesor en que se fabrica es excesivamente pequeño (sólo algunos milímetros). Por esta razón el piso plástico es "frío". Este problema, que tiene especial importancia en el piso bajo, se evitaría si se colocara una capa de madera entre la cubierta del piso y el radier.

En los cielos el problema más bien depende de la capa aislante que debe colocarse entre el cielo raso y la cubierta del techo. Cuando esa aislación

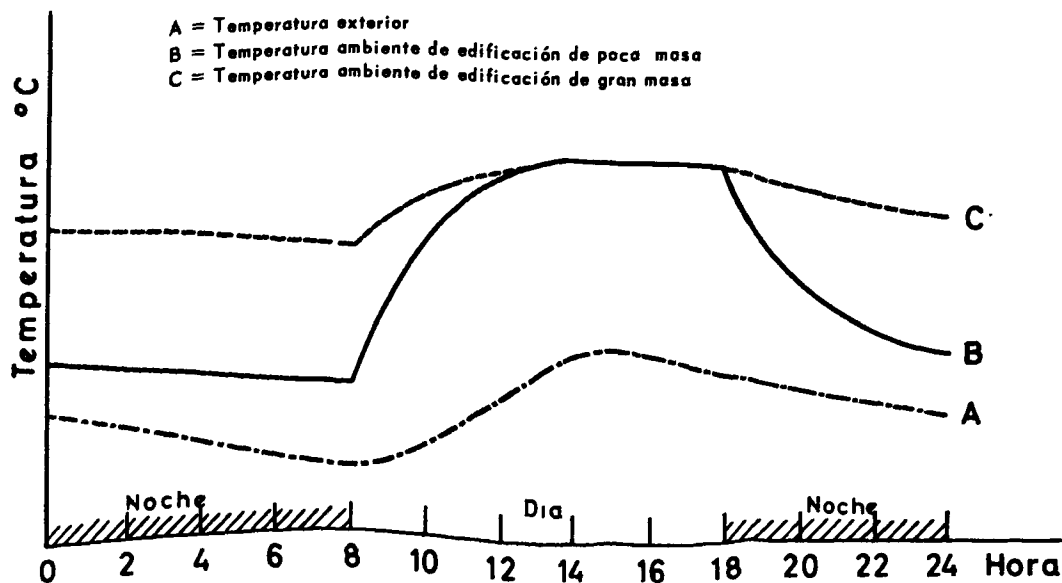


Fig. 1. Curva esquemática que muestra cualitativamente las variaciones de temperatura de dos edificios de diferente inercia térmica con calefacción diurna en un día típico de invierno.

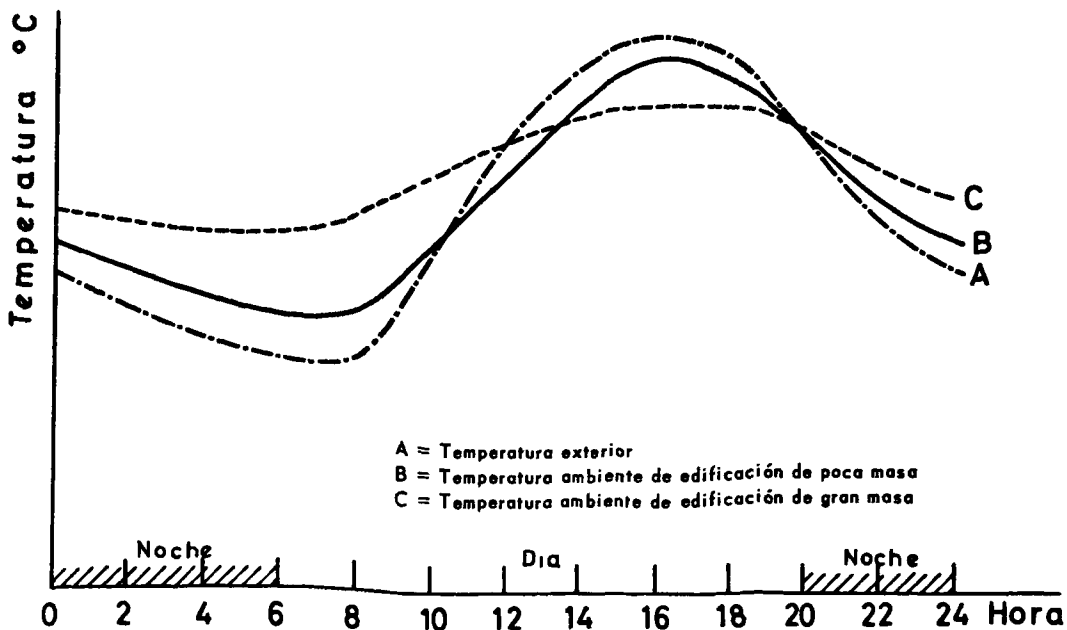


Fig. 2. Las mismas curvas anteriores para un día típico de verano.

es adecuada no importa que las planchas del cielo, generalmente de yeso, sean delgadas. En cambio si no existe o es deficiente, es el cielo el que debe tener características aislantes. Cabe recordar que en un ambiente calefaccionado la temperatura en el cielo raso, debido a la menor densidad del aire caliente, puede ser varios grados superior a la medida junto al piso y por esta razón las pérdidas a través del techo adquieren mayor importancia.

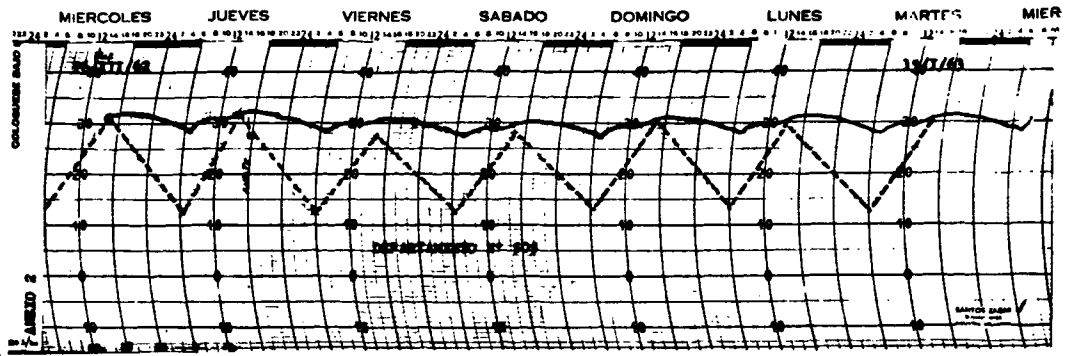


Fig. 3. Termograma real de un departamento perteneciente a un edificio con buena inercia térmica, pero mala aislación y grandes ventanales con sol de verano y sin protección externa adecuada.

La línea llena indica la temperatura interior. La línea punteada une las máximas y mínimas temperaturas del día proporcionadas por la Oficina Meteorológica de la FACH. Nótese que la temperatura media interior es similar a las máximas del día.

4. Falta de una reglamentación que exija los mínimos de aislación aceptables

No existe en el país ninguna disposición legal expresa que obligue a quienes construyen una casa o edificio habitacional, a protegerlo contra las inclemencias térmicas del clima.

La Ordenanza General de Construcciones⁴ se refiere especialmente, desde el punto de vista técnico, a la solidez estructural (recuérdese que vivimos en un país de terremotos) a algunas exigencias contra incendios y contra ruidos molestos. No estipula en ninguna de sus disposiciones protección alguna del tipo que estamos analizando.

No obstante, deja una puerta de escape para que las autoridades correspondientes puedan exigir estos u otros requisitos, pero en la práctica tal cosa no ocurre. Esta posibilidad se encuentra en los Artículos 14 y 254, que dicen:

“Artículo 14. En casos especiales la Dirección de Obras Municipales podrá exigir para la construcción de una obra, requisitos no estipulados en esta Ordenanza, pero cuya adopción será impuesta por la técnica de la construcción”.

“Artículo 254. 1. La calidad de los materiales y sus elementos industriales para la construcción y sus condiciones de aplicación a las obras quedará sujeta a las Normas Oficiales vigentes, estudiadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización (INDITFC-NOR) o que se dicten en el futuro, y, a falta de ellas, a las reglas que la técnica y el arte de la construcción establezcan.

El control de calidad de los materiales establecidos en el párrafo anterior será obligatorio y lo efectuarán el Instituto de Investigaciones y Ensayos de Materiales de la Universidad de Chile y los Laboratorios de En-

saye que para este efecto se declaren como Instituciones Oficiales de Control Técnico”.

“Artículo 254. 5. La Dirección de Obras Municipales podrá disponer que se termine la calidad de los materiales o elementos industriales de construcción mediante ensayos o análisis, que serán de cargo del fabricante, del constructor o del propietario”.

La modificación de la Ordenanza General de Construcciones³ efectuada en 1962 establece además que “el espesor de los muros fabricados con ladrillos hechos a máquina será determinado por la capacidad resistente de aquellos al esfuerzo vertical y horizontal, a su poder de aislación térmica y acústica”, etc.

INDITECNOR por otra parte, no ha confeccionado ninguna norma sobre aislación térmica.

Es importante destacar que algunos organismos particulares o estatales como la CORVI, por ejemplo, se han interesado por el aspecto aislación térmica y desde algunos años están exigiendo en sus propuestas el valor del coeficiente de aislación de materiales y elementos prefabricados.

5. Falta de control de las obras

Fuera de que no existen especificaciones oficiales, aun en los casos en que el proyectista de la obra exige una determinada aislación térmica, ocurre a veces que no se cumple lo estipulado en el proyecto. Es cierto que las Municipalidades tienen inspectores de obras, pero éstos no constatan cada una de las fases de una construcción y en general ponen menos atención a la aislación térmica que a la parte estructural de la obra.

6. Carestía de los materiales aislantes

Otro de los factores que influye en la deficiente aislación de las viviendas es la carestía de los productos que existen en el mercado para aislación térmica. Por eso suelen disminuirse para no gravar el precio total de la construcción. Sin embargo, aquel arquitecto, ingeniero o constructor que se proponga proporcionar una buena aislación, tiene a su disposición una variedad de productos baratos que correctamente usados pueden dar muy buenos resultados.

Como ejemplo de extrema economía, diremos que hay experimentados profesionales que conservan la antigua práctica de aislar el entretecho con una generosa capa de barro con paja, sobre un enlistonado de madera. El espacio de aire que allí queda, entre el cielo raso y el enlistonado, más la madera y la capa de barro poroso debido a la paja, forman un emparedado tan buen aislante que es difícilmente superable aun por el mejor, a menos que se coloque a un costo realmente prohibitivo.

7. Desconocimiento en muchos casos del uso correcto de dichos materiales

El desconocimiento en la aplicación de aislantes térmicos surge especialmente del hecho de haber una gran variedad de productos para el mismo fin y de la escasez o falta de información técnica seria de los fabricantes de dichos productos.

Como el calor se propaga a través del medio por conducción, convección y radiación surgen dificultades al comparar dos o más productos ya que ellos pueden deber su cualidad principalmente a uno, dos o los tres modos de propagación del flujo térmico.

En general será mejor aislante aquél que dificulte mayormente los tres tipos de propagación térmica. Específicamente, en la construcción, donde el ambiente exterior rara vez sobrepasa los límites de -20° y $+50^{\circ}$ C, la conducción es el modo de propagación más importante, seguida de la convección y de la radiación.

Conducción. El traspaso de calor por conducción para un material homogéneo* y de espesor uniforme depende esencialmente de la naturaleza del mismo.

En la Tabla I damos los valores K, de conductividad térmica, de los más comunes materiales usados en edificación.

Los valores deben entenderse para los materiales exentos de humedad y a temperatura ambiente.

Para un material dado, la aislación se ve afectada principalmente por la humedad, la temperatura y la densidad.

Según el grado medio de humedad del ambiente y la absorción del material, hay que multiplicar el coeficiente de conductividad por un factor que según el caso puede aumentar el valor de K hasta más de un 100%⁶.

En general, a mayor densidad mayor conductividad. No obstante, para materiales sueltos esto no es siempre válido como veremos luego.

Convección. La convección natural se produce en un fluido, en nuestro caso el aire, debido a que la densidad del mismo varía con la temperatura. Así, en un recinto cerrado, las capas de aire contiguo a la pared caliente se dilatan, disminuye su densidad y ascienden, siendo reemplazadas por aire fresco. El aire caliente entrega su calor a regiones más frías. Cuanto mayor es la diferencia de temperatura, más enérgica es la convección, y más rápida la pérdida de calor.

El aire seco y quieto es uno de los mejores aislantes del calor ($K=0,02$ kcal $m/m^2C h$), sin embargo, a causa de la convección se convierte en un "mal

*Para los efectos de la conductividad térmica, se entiende por material homogéneo aquél cuyos componentes son inferiores al cm^3 y uniformemente distribuidos en la masa total.

aislador del calor". Para evitar este fenómeno se recurre a encerrarlo en pequeños recintos, inferiores a 1 cm^3 , en donde debido a la viscosidad del aire y a la pequeña gradiente de temperatura, se dificulta grandemente la convección. En ello radica la inigualada bondad de los mejores aislantes: corcho, espuma plástica, hormigón celular, paja, viruta de madera, lana mineral, lana de vidrio, tierra de infusorios, etc.

Algunos de estos materiales, como el corcho, la espuma plástica, viruta mineralizada, etc., son autosoportantes y las cavidades que dejan son herméticas. Estos productos son fáciles de aplicar, ya que generalmente se hacen en forma de planchas que pueden aserrarse, clavarse, etc.

Al contrario, en otros, que no son autosoportantes, como la paja, viruta, lana mineral, tierra de infusorios, lana de vidrio, etc., sus cualidades aislantes dependen principalmente del modo como se coloquen en la obra. Un ejemplo típico lo constituye la lana de vidrio. Esta viene a granel o en colchonetas tejidas sueltamente con cáñamo. Si se colocan verticalmente deben anclarse de manera tal que con el tiempo no se comprima el material en el fondo. Si es suelta debe tomarse la misma precaución, sin comprimirla en exceso.

El gráfico de la Fig. 4 muestra la variación del coeficiente de conductividad respecto a la densidad de la lana de vidrio. Obsérvese que el óptimo está por los 75 kg/m^3 .

Esto se explica porque si se comprime más, el flujo calórico avanza por conducción a través de las fibras mismas, y si se deja demasiado suelta ($<70 \text{ kg/m}^3$) la convección empieza a adquirir valores apreciables.

De lo dicho se deduce que tratándose de materiales sueltos es muy importante la forma de colocación, porque de ello depende el valor de la aislación obtenida.

Otro caso típico es el de un panel con huecos relativamente grandes ($>>1 \text{ cm}^3$). Por ejemplo, un panel de madera natural o sintética con agujeros que la atraviesan de un extremo a otro (Fig. 5).

Si las perforaciones están horizontales, la convección se realiza como se muestra en A y el valor de la aislación es algo mejor que el que da el es-

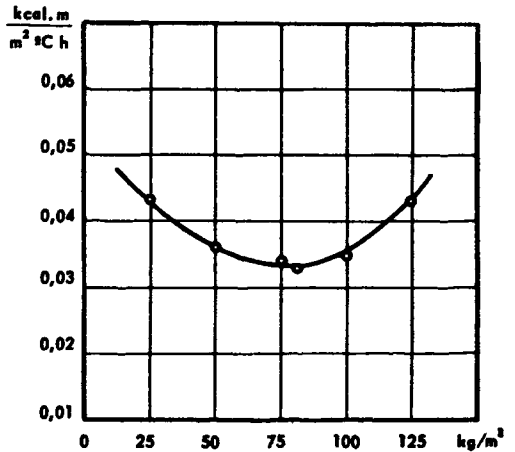


Fig. 4. Variaciones del coeficiente de conductividad térmica de lana de vidrio con la densidad.

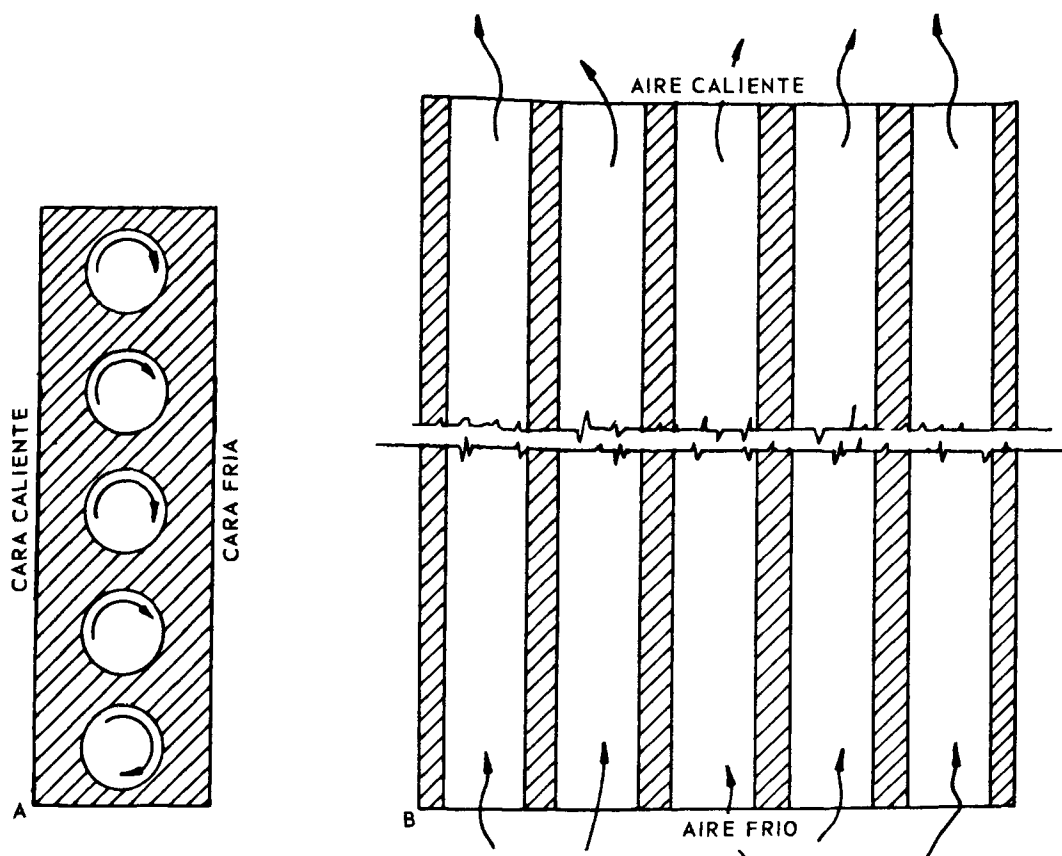


Fig. 5. Convección del aire de un panel perforado. A: corte perpendicular al eje de las perforaciones. B: corte paralelo a las caras del panel.

pesor total neto de madera. Lo mismo sucede para la plancha colocada horizontalmente; pero si se coloca como en B, las perforaciones constituyen verdaderas chimeneas por donde escapa el calor por convención del aire. El valor aislante del panel será a lo sumo igual al del espesor neto de madera. Así pues puede decirse que los paneles, atendiendo a la geometría de sus espacios de aire y por tanto a las posibilidades de convección, pueden tener hasta tres valores de aislacion segun cada una de las posiciones en el espacio.

Como la humedad del aire afecta desfavorablemente sus propiedades aislantes, no es aconsejable usar en zonas húmedas, materiales cuyas características aislantes dependan de huecos o cavidades de aire abiertas al exterior en donde el aire circule más o menos libremente.

Radiación y reflexión. En el caso teórico de un cuerpo negro, el calor emitido por él es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. Para el propósito que estamos viendo, dado que las temperaturas ambientales en grados absolutos son bajas, esta pérdida no revista primera importancia, aunque se acrecienta para superficies expuestas directamente a los ra-

yos del sol. En la práctica, la radiación se ve afectada por el tipo de superficie (pulida u opaca), por el color, (claro u oscuro) y por la naturaleza del material.

En ciertos países es práctica usual colocar capas de papel de aluminio (coeficiente de reflexión $\approx 85\%$) bajo la cubierta del techo, la que actúa como eficiente espejo del calor, expulsándolo si viene del exterior (verano) y reflejándolo cuando viene del interior (invierno). En Chile no se hace uso de este medio, que por lo demás es un complemento a la verdadera aislación por conducción que debe haber en el techo. Un efecto similar lo tiene las cubiertas brillantes de fierro galvanizado o aluminio, mientras puedan mantener su brillo.

CONCLUSIONES

De los puntos de vista expuestos, pueden formularse las siguientes recomendaciones:

1. Incluir en la Ordenanza General de Construcciones los requisitos mínimos de aislación, según la zona del país.
2. Propender a que los profesionales de la construcción tomen más en cuenta los efectos térmicos del clima, y procedan a aminorarlos con un proyecto adecuado y una correcta ejecución.
3. Crear las normas oficiales necesarias para la estandarización de métodos de medida del coeficiente de aislación térmica y clasificación de los aislantes térmicos para uso en la construcción.
4. Hacer cumplir las disposiciones que se dictaren al respecto, por medio del Ministerio de la Vivienda y Urbanismo, Departamentos de Obras Municipales, etc.

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero M. Piñeiro por la discusión e insinuaciones hechas al trabajo.

REFERENCIAS

1. DE VIDTS, P. "Absorción de rayos infrarrojos por los vidrios". Informe n° 16, Centro de la Vivienda y Construcción, Universidad de Chile, 1964.
2. J. LAORDEN. "Calor". Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, Madrid.

3. J. PERRY. "Chemical Engineers' Handbook. Mc Graw Hill, 1950.
4. "Ordenanza General de Construcciones". Decreto Supremo nº 884, Boletín Municipal de la Ciudad de Santiago, Año XXXII nº 10111, 1956.
5. "Modificaciones a la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización". Decreto Supremo 2183 del 26 Septiembre 1962.
6. R. CADIERGUES "Aislamiento y protección de las construcciones". G. Gili 1959.

Gabriel D. RODRÍGUEZ J.
Laboratorio de Calorimetría, IDIEM