

Ficha Técnica N°1

COMPORTAMIENTO TERMICO DE MAMPUESTOS Y TECHOS CÉRAMICOS

CÁMARA INDUSTRIAL DE LA CÉRAMICA ROJA

- 1.1 Coeficiente de transmitancia “K” para mampostería
- 1.2 Ejemplo de cálculo de la transmitancia térmica en muros exteriores
- 1.3 Aplicación a cubiertas de tejas cerámicas - Ejemplo de cálculo
- 2.2 Coeficiente volumétrico de pérdida de calor “G”
- 2.3 Ejemplo de cálculo

Prólogo

Con esta ficha la cámara industrial de cerámica roja inaugura una serie de publicaciones que tienen la intención de llegar profesionales, distribuidores y usuarios para acrecentar el conocimiento de las ventajas que nuestros productos mantienen y mantendrán frente a los sustitutivos.

El mercado constantemente ofrece infinidad de alternativas a la cerámica roja, y no siempre con costos menores, no obstante, a lo largo de los tiempos se ha ido demostrando uno a uno que la calidad, el aspecto, la duración, el mantenimiento y por último, el valor venal de las propiedades, ha superado holgadamente y sin excepción a todas las alternativas que se fueron ofreciendo a lo largo del tiempo.

La cerámica roja hoy tiene más adeptos que nunca y la difusión de distintas formas de uso y la preocupación por sus características y virtudes nos lleva a iniciar esta serie de publicación.

Mayo de 1998

Angel Di Benedetto
Presidente

1.1. COEFICIENTE DE TRANSMITANCIA TÉRMICA “K”

ANTECEDENTES

Desde su creación, la Subsecretaría de Vivienda de la Nación impulsó la aplicación, en las operatorias de viviendas ejecutadas a través del B.H.N. y posteriormente del FO.NA.VI., de lo que denominan las “Condiciones Mínimas de Habitabilidad”.

El espíritu de estas normas fue el de asegurar, en las operatorias de viviendas financiadas con dineros administrados por el Estado, niveles mínimos que debían cumplimentar las viviendas en lo referente al diseño, niveles de terminación y confort.

A los efectos de asegurar el cumplimiento, por parte de los constructores, de estos niveles mínimos, se establecieron normas por parte de la propia Subsecretaria, del INTI y posteriormente del IRAM, a las que se debían ajustar los distintos materiales.

Es así, que en relación a las condiciones de bienestar y confort, se definen para los muros y techos en las distintas zonas climáticas del país, los valores admisibles de los denominados Coeficiente de Transmitancia Térmica “K”, Coeficiente Volumétrico de Perdida de Calor “G” y la verificación obligatoria del riesgo de condensación de vapor de agua, superficial e intersticial. El sector de la cerámica roja, se siente orgulloso, no solo de haber impulsado y participado en la redacción de las mencionadas normas, sino de haber diseñado y desarrollado materiales concebidos en los criterios de confort, el bienestar y el ahorro energético.

Lamentablemente, un limitado y mezquino criterio de algunos funcionarios, en el sentido de querer “abaratar” los costos de las viviendas, ha posibilitado que en algunas operatorias no se respetan las normas de acondicionamiento térmico en los edificios, permitiéndose el uso de materiales en los techos y mampuestos que no verifican los requerimientos mínimos exigidos. Contemporáneamente en la mayoría de los casos, estos materiales no verifican tampoco los requerimientos referentes a la resistencia y vida útil.

Aceptando por un momento, que dada la difícil situación económica por la que transita nuestro país, se hace impostergable reducir el costo de las viviendas a los efectos de construir mayor cantidad de unidades con los mismos recursos, no sacrificando la calidad y el confort que se lograra este objetivo. Entendemos que la piel o envoltente de la vivienda, debe seguir siendo ejecutada con materiales, que a la par de asegurar una estructura sólida y durable en el tiempo, cumpla con las Normas de Aislacion Térmica y verifique una correcta posición del plano de condensación.

Asegurando una estructura de estas características, podremos eventualmente, sacrificar niveles de terminación que son perfectamente implementables a posteriori y no comprometen el fundamento de la vivienda.

Lo contrario significaría hipotecar el futuro, pues una vivienda concebida con materiales que no verifiquen las condiciones de habitabilidad, en lo que la aislacion térmica y resistencia se refiere, no permite amortizar la inversión realizada, ya que resulta directamente proporcional a un elevado costo energético e inversamente proporcional a su vida útil.

Por lo anteriormente expresado y como contribución al esclarecimiento de este importante tema, desarrollaremos los conocimientos teóricos fundamentales relativos al acondicionamiento térmico de edificios e incorporaremos ejemplos de cálculos numéricos referidos a una vivienda de tres dormitorios y en donde se suponen los muros y techos construidos con materiales cerámicos.

AISLACIÓN TÉRMICA

Los agentes climáticos, lluvia, radiación, temperatura del aire, etc., se ven modificados por la envoltente de la vivienda antes de afectar las condiciones interiores.

Una adecuada aislación térmica de los cerramientos contribuye al logro de un “microclima que asegure condiciones de confort” con ventajas económicas en cuanto al consumo de energía necesario para alcanzar las condiciones aconsejables.

Por esto es importante conocer las cualidades de los materiales que se utilizan como cerramiento, de manera que puedan aprovecharse, mediante una elección racional, para el control climático de los ambientes.

Veremos, en primer lugar, las nociones teóricas necesarias sobre el calor y su propagación y, a continuación, mostraremos un cuadro comparativo de los distintos tipos de muros comúnmente utilizados en la construcción, en los que se destaca la mayor o menor facilidad que tiene el calor para atravesarlos en la unidad de tiempo y de superficie.

Conviene, primeramente, recordar algunos conceptos básicos que nos permitan interpretar mejor el concepto de aislación térmica de los materiales:

-Temperatura: “propiedad que define el estado térmico de un cuerpo para transmitir calor a los otros cuerpos”.

-Calor: “es la energía transferida entre dos sistemas y que esta exclusivamente relacionada con la **diferencia de temperatura** existente entre ellos”

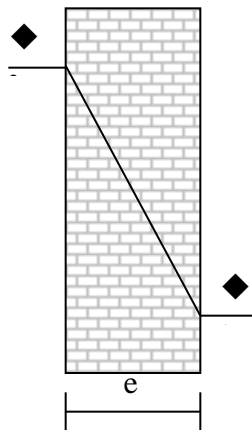
-Transmisión del calor: “transferencia de energía térmica de un cuerpo a otro en virtud de una **diferencia de temperatura** existente entre ellos”. El calor se trasmite de tres maneras distintas: por conducción, por radiación y por convección.

-Conducción: la transmisión por conducción tiene lugar en un cuerpo determinado, desde la zona de mayor temperatura a la zona de menor temperatura, por el simple contacto molecular. Si bien puede producirse en medios sólidos, líquidos o gaseosos, esta forma de transmisión resulta típica de los primeros.

El flujo del calor es directamente proporcional a la diferencia de temperatura y a la conductividad del material e inversamente proporcional al espesor del material que atraviesa.

La expresión del flujo es:

$$q = (\theta_2 - \theta_1) \cdot \frac{\lambda}{e}$$



siendo:

q: flujo de calor por conducción, por unidad de superficie y de tiempo. [w/m²]

λ: coeficiente de conductividad. [w/mK]

e: espesor del elemento (m)

$\theta_2 - \theta_1$): diferencia de temperatura (K)

Se define a la **conductividad térmica** “ λ ” de un material como la cantidad de calor que se transmite en una dirección, por unidad de tiempo, y de superficie, cuando el gradiente de temperatura en esa dirección es unitario.

Se llama **resistencia térmica** a la siguiente relación:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{w}}$$

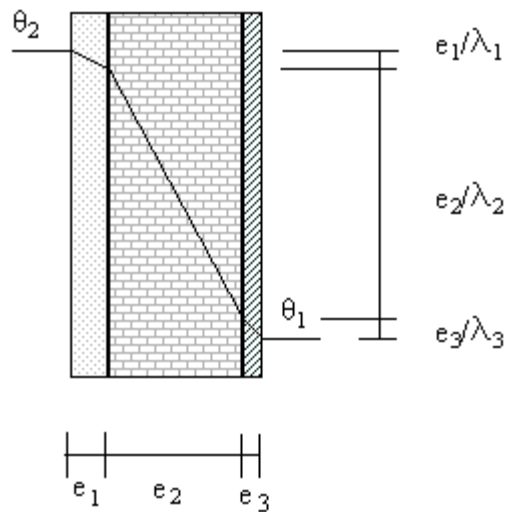
Si el material es heterogéneo, la resistencia térmica se expresa de al siguiente manera:

$$R = \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{e_n}{\lambda_n}$$

y el flujo de calor, en este caso, es:

$$q = (\theta_2 - \theta_1) \cdot \frac{1}{\frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{e_n}{\lambda_n}}$$

$$q = (\theta_2 - \theta_1) \cdot \frac{1}{R}$$



_ Radiación: en la transmisión por radiación el calor de pasa de un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura a través del espacio, sin calentamiento del medio que separa ambos cuerpos por el cual la energía transcurre. Cualquier materia emita y absorbe energía radiante dependiendo de la temperatura y de las características físicas del mismo. El ejemplo más notorio esta dado por la energía recibida en la tierra radiada por el Sol.
El intercambio de calor depende, además, de la diferencia de temperatura, del poder de absorción del cuerpo que recibe la energía radiante.

La expresión del flujo es.

$$q = (O_r - O_1) \cdot hr$$

siendo:

q: flujo de calor por radiación, por unidad de tiempo y de superficie w/m^2

hr: coeficiencia de conductancia superficial por radiación w/mK

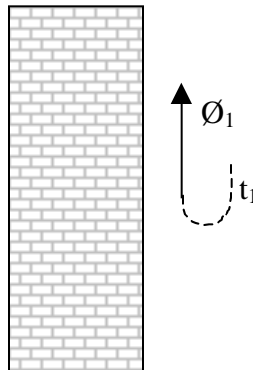
_ Convección: la transmisión por convección se produce cuando el calor se transporta de una zona de mayor temperatura a otra de menor temperatura dentro de una misma masa de un fluido por el movimiento interno de las moléculas.

Tipicamente se produce en medios líquidos y gaseosos.

Por ejemplo, un muro a mayor temperatura que el aire, provoca en este aumento de temperatura al intercambiar calor por conducción. El aire variara su densidad y ascenderá, generando la circulación del mismo.

El intercambio de calor se expresa:

$$q = (\theta_1 - t_1) \cdot hc$$



siendo:

q: flujo de calor por convección, por unidad de superficie y de tiempo w/m^2

hc: coeficiente de transmisión por convección (w/m^2K)

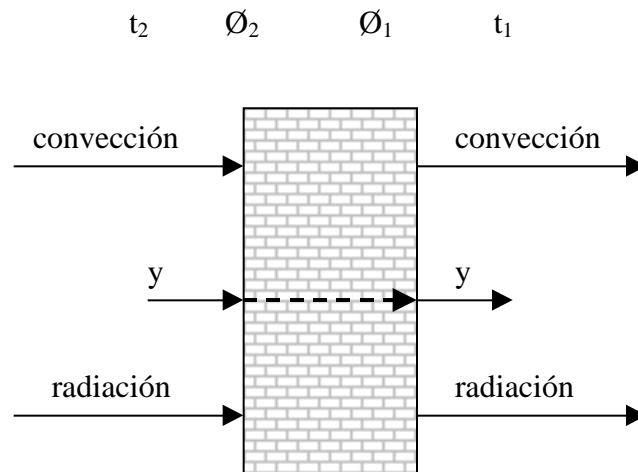
-Unidades de medida: el calor es una forma de energía, por lo tanto sus unidades fundamentalmente son:

Cantidad de calor: Q Joule (J)
 Flujo de calor: q Watt o Joule por segundo (w)
 Conductividad térmica: λ Watt por metro kelvin (w/mK)
 Temperatura: t Kelvin o grados Celsius (K) o ($^{\circ}$ C)

En algunos casos se sigue utilizando la caloría “cal” como unidad de calor, la equivalencia con las anteriores es:

$$1 \text{ kilocaloría/hora} = 1,1628 \text{ watt}$$

Transmisión total del calor: en los casos prácticos la transmisión de calor ocurre, generalmente, como una conjunción de dos o de las tres formas de transmisión simultáneamente. Por ejemplo, la transmisión del calor entre dos ambientes con distintas temperatura separados por una pared sólida, se produce de la siguiente manera:



En estado de régimen la cantidad de calor que se transmite en cada uno de los tres procesos (convección y radiación, conducción, convección y radiación) será la misma aunque referida a temperaturas distintas: t_2 a θ_2 para el primero, θ_2 a θ_1 para el segundo y θ_1 a t_1 para el tercero. Pero ante la dificultad de medir las temperaturas intermedias se relaciona el flujo del calor con las temperaturas de los ambientes.

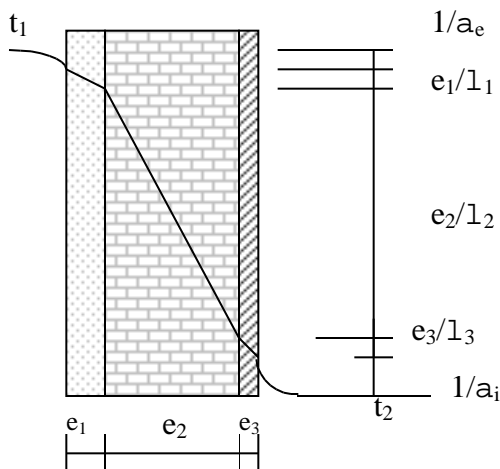
Los coeficientes de convección y radiación: h_r y h_c actúan simultáneamente en el aire en contacto con las superficies, por lo tanto se los reúne en un único coeficiente de transmisión “a” que auna sus efectos y es llamado de conductancia superficial. Este coeficiente involucra todos los factores que intervienen y varía según se considere la superficie exterior “ a_e ” o la superficie interior “ a_i ”.

Su valor numérico ha sido determinado por ensayos.

Resumiendo podemos decir que la transmisión total de calor del exterior al interior, o viceversa, depende de la diferencia de temperatura, de las conductancias superficiales y de la conductibilidad del o los materiales, expresándose:

$$q = (t_2 - t_1) \cdot K$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_n}{\lambda_n} + \dots + \frac{1}{\alpha_e}} = \frac{1}{R}$$



siendo:

q: flujo de calor por unidad de superficie y de tiempo w/m^2

$(t_2 - t_1)$: diferencia de temperatura de los ambientes

K: coeficiente de transmitancia térmica. w/m^2K

R: resistencia al paso del calor. m^2K/w

El coeficiente “K” de transmitancia térmica puede definirse como “la cantidad de calor que transmite un cerramiento en estado de régimen, por metro cuadrado de superficie, por hora y por gradiente unitario de temperatura entre los ambientes interior y exterior”.

A título orientativo les presentamos un cuadro comparativo de los valores de transmitancia térmica “K” de los cerramientos verticales más usuales en nuestro medio. Cabe acotar que los valores de “K” aquí suministrados han sido extraídos de la norma IRAM 11.601 y que los mismos corresponden a muro con revoque de 1,5 cm de espesor en cada parámetro.

En la norma IRAM 11.605 se establecen los valores máximos de “K” para tres niveles de confort higrotérmico (A, B y C) exigiendo la Secretaría de Vivienda de la Nación con carácter de obligatorio el cumplimiento del nivel “ C “ .

En las viviendas ejecutadas a nivel particular su observancia no es obligatoria.

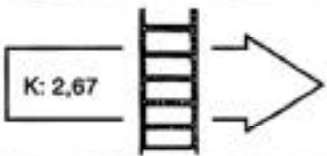
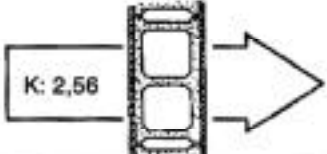
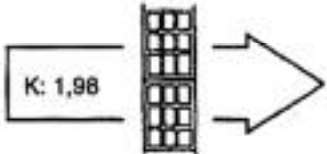
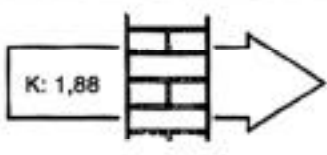
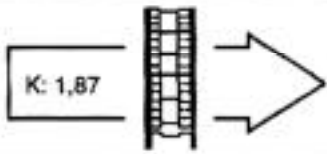
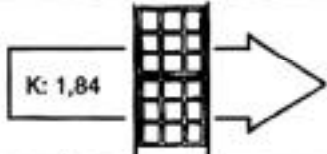
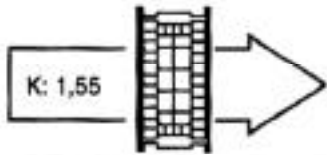
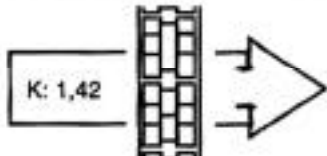
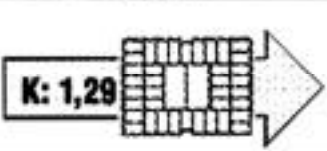
Se establecen en la citada norma valores máximos admisibles de transmitancia térmica K para las condiciones de invierno y verano. La verificación debe realizarse para ambas condiciones.

Para la condición de invierno es necesario conocer la temperatura exterior de diseño llamada temperatura mínima de diseño (TDMN) que se obtiene para cada localidad del país mediante la norma IRAM 11603, debiendo verificar que

$$K_{\text{del cerramiento}} < K_{\text{admisible}}$$

(* **Nota aclaratoria:** se deja constancia que la industria cerámica comercializa en nuestro medio bloques cerámicos con una mayor densidad de material cerámico por unidad de superficie y una mayor cantidad de celdas, obteniendo valores de:

$K = 1,15$ que verifica para zonas V y VI

TIPO DE MAMPUESTO	CUADRO COMPARATIVO	VERIFICACION
Ladrillo macizo $e = 0,15 \text{ m}$ $P = 175 \text{ Kg/m}^2$		No verifica en ninguna zona bioambiental.
Bloque de hormigón $e = 0,23 \text{ m}$ $P = 225 \text{ Kg/m}^2$		No verifica en ninguna zona bioambiental.
Ladrillo cerámico hueco $e = 0,15 \text{ m}$ $P = 150 \text{ Kg/m}^2$		No verifica en ninguna zona bioambiental.
Ladrillo macizo $e = 0,30 \text{ m}$ $P = 290 \text{ Kg/m}^2$		Verifica solamente en zonas bioambientales Ia, IIa, IVa y IVb.
Bloque cerámico portante $e = 0,15 \text{ m}$ $P = 160 \text{ Kg/m}^2$		No verifica en ninguna zona bioambiental.
Ladrillo cerámico hueco $e = 0,21 \text{ m}$ $P = 200 \text{ Kg/m}^2$		Verifica solamente en zonas bioambientales Ia, IIa, IVa y IVb.
Bloque cerámico portante $e = 0,21 \text{ m}$ $P = 230 \text{ Kg/m}^2$		Verifica en todas las zonas bioambientales menos V y VI.
Ladrillo cerámico hueco (puente térmico interrumpido) $e = 0,21 \text{ m}$ $P = 200 \text{ Kg/m}^2$		Verifica en todas las zonas bioambientales menos V y VI.
$e = 0,30 \text{ m}$ $P = 208 \text{ Kg/m}^2$		

NORMAS VIGENTES

Aunque no resulte frecuente encontrar que las viviendas que se construyen en el país cumplan con normativa alguna respecto al tema que nos ocupa, lo cierto es que IRAM ha estudiado suficientemente la manera de ponderar el aseguramiento de la calidad térmica. Y como producto

de estos estudios, un conjunto de normas se encuentran hoy en día a disposición de los calculistas, aún para el caso específico de las cubiertas.

Iremos haciendo mención a diversas normas, de manera de guiar al lector respecto a su utilización.

Como referencia rápida, vale describir los documentos de mayor aplicación en el tema:

- *Norma IRAM 11.549*: Acondicionamiento térmico de edificios. Definiciones.
- *Norma IRAM 111.601*: Acondicionamiento térmico de edificios. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de la construcción en régimen estacionario.
- *Norma IRAM 11.603*: Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina.
- *Norma IRAM 11.605*: Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos.

1.2 - EJEMPLO DE CALCULO DE LA TRANSMITANCIA TERMICA DE LOS MUROS EXTERIORES

Tal como se manifestó en la introducción, el presente ejemplo numérico de calculo esta referido a una vivienda de 3 dormitorios, cuya tipología ha sido diseñada.

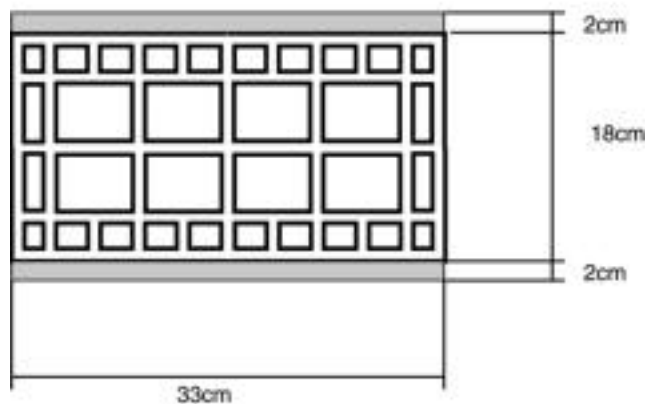
I- DESCRICION DEL CERRAMIENTO

- **Tipo de mampuesto:** los muros exteriores se ejecutarán con ladrillos cerámicos portantes, de agujeros verticales 0,18 m de espesor.
- **Revoque:** tanto el parámetro exterior como el interior se realizarán con un revoque común a la cal y terminado al fieltro, incorporando al primer un azotado previo con material hidrófugo.

II- DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TRANSMITANCIA TERMICA

Sea el muro de la figura constituido por los materiales antes indicados. El coeficiente de transmitancia térmica “K” se calcula aplicando la formula siguiente:

$$K = \frac{1}{R}$$



siendo la resistencia térmica “R”

$$R = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{e_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_e}$$

En la norma IRAM 11.601 se establecen valores de CONDUCTIVIDAD TERMICA “ λ ”, RESISTENCIA TERMICA “R” Y TRANSMITANCIA TERMICA “K” de los materiales, espacios de aire y componentes más usuales en la construcción con el objeto de homogeneizar los valores de propiedad térmica.

Analizaremos la resistencia al paso del calor de las distintas capas del muro, partiendo en orden desde la capa de aire superficial interior hacia la capa de aire superficial exterior.

- **Resistencia superficial interna:** de la tabla 2 de la norma 11.601 obtenemos:

$$R_{si} = \frac{1}{\alpha_i} = 0,13 \quad \text{m}^2\text{K/w}$$

- **Revoque interior:** la resistencia térmica se calcula con la ecuación:

$$e = 0,02 \text{ m}$$

$$l = 1,16 \text{ w/mK (de tabla 6)}$$

$$R_{ri} = \frac{0,02}{1,16} = 0,017 \quad \text{m}^2\text{K/w}$$

Bloque cerámico: la resistencia térmica de los ladrillos y bloques cerámicos varia apreciablemente según la cantidad y configuración de las celdas interiores. Una mayor cantidad de estas influye positivamente para disminuir el coeficiente “K”.

La norma IRAM, en la tabla 7, da valores de Resistencia térmica “ R_t ” para distintos tipos de ladrillos huecos y bloques cerámicos. Estos valores no incluyen las resistencias superficiales ni las de los revoques externo e interno.

Se considera para el ejemplo de cálculo un bloque cerámico portante de 18x19x33 cm con un $R_t = 0,43 \text{ m}^2 \text{ K/w}$

- **Revoque exterior.** Aplicando e / l

$$e = 0,02 \text{ m}$$

$$l = 0,93 \text{ w/mK (de tabla 6)}$$

$$R_{re} = \frac{0,02}{0,93} = 0,021 \quad \text{m}^2\text{K/w}$$

Capa de materiales	Espesor "e" (m)	Conduct "λ" (W/mK)	Resistencia "R" (m ² K/w)
Capa de aire superficial interna	-----	-----	0,130
Revoque interior	0,02	1,160	0,017
Bloque cerámico	0,18	-----	0,430
Revoque exterior	0,02	1,160	0,021
Capa de aire superficial externa	-----	-----	0,040
			Rt =0,638

- **Resistencia superficial externa:** de la tabla 2

$$R_{se} = \frac{1}{\alpha_e} = 0,040 \text{ m}^2\text{K/w}$$

Todos estos valores se pueden sintetizar en una tabla
El coeficiente de transmitancia térmica "K" es:

$$K = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,638} = 1,567 \frac{\text{w}}{\text{m}^2\text{K}}$$

$K = 1,567 \text{ w/m}^2\text{K}$

III- VALOR MAXIMO ADMISIBLE DE TRANSMITANCIA TERMICA

La determinación de este valor lo establece la norma IRAM 11.605. El valor máximo de transmitancia térmica es función, entre otras variables, de la orientación, la masa y la protección solar del muro y de la zona geográfica de ubicación.

La norma IRAM 11605 considera para el cálculo solamente la aislación térmica mientras que la norma 11603 hace recomendaciones acerca de otras variables.

- **Localización de la vivienda:** ciudad de Córdoba - zona biombiental III^a.
- **Coefficiente de absorción solar** Se considera revoque pintado con un color tal que este coeficiente sea 0,7 es decir no se debe modificar el K admisible.

De acuerdo a la norma IRAM 11605 se debe verificar el muro para las condiciones invierno y verano

Condición de invierno: Es necesario previamente determinar el TDMN: Temperatura de diseño medio mínimo que se obtiene de la tabla 2 de la norma IRAM 11603

$$\text{TDMN} = 1,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

Con esta temperatura se ingresa a la tabla 1 de la norma IRAM 11605 y se obtiene para nivel “C”

$$K \text{ max adm} = 1,85 \text{ w/m}^2 \text{ K}$$

Finalmente comparamos el valor de transmitancia térmica del muro con el valor máximo admisible.

$$K \text{ muro} = 1,567 \text{ w/m}^2 \text{ K}$$
$$K \text{ muro} < K \text{ max. ad}$$

El muro verifica las exigencias sobre transmitancia térmica para el nivel C para condición de invierno.

Para condición de verano debemos fijarnos en la tabla 2 de la norma IRAM 11605 para zona Bioambiental III donde se observa que $K_{\text{max}} = 2,00$ es decir:

$K_{\text{muro}} < K_{\text{max}}$ El muro verifica también para la condición de verano.

1.3 - APLICACIÓN A CUBIERTAS DE TEJAS CERÁMICAS

I-INTRODUCCION

Nos hemos referido a la transmitancia térmica, aplicando ejemplos a los casos de muros compuestos por distintos materiales.

Naturalmente, todos los conceptos vistos para parámetros verticales, son de aplicación para cubiertas. Y, por cierto, el estudio del comportamiento térmico de los techos no resulta para nada despreciable, toda vez que en la mayor parte de los casos su superficie es muy alta, comparada con las demás superficies que sufren la pérdida de calor por transmisión.

En la presente publicación, reiteraremos algunos conceptos específicamente aplicados a las cubiertas, para culminar con ejemplos de cálculo que se refieren a una vivienda completa.

EJEMPLO DE CALCULO DE LA TRANSMITANCIA TERMICA DE UNA CUBIERTA

Con lo visto, es posible determinar la transmitancia de cualquier elemento componente de una vivienda, siempre que se conozcan algunos datos referentes a su conducta térmica.

La propuesta es determinar el Coeficiente de Transmitancia Térmica de un conjunto, compuesto por tirantería de madera a la vista, entablonado de pino machimbrado, aislación hidráulica de techado asfáltico (tipo Papel Ruberoid), aislación térmica de poliestireno expandido, cámara de aire (establecida por la presencia de clavaderas), y teja cerámica plana. La hipótesis de cálculo atenderá el caso especial del verano, es decir, con temperatura del interior menor que la del exterior.

Como esquema de cálculo, se seguirán los pasos instruidos por la Norma IRAM 11.601:1996, documento que, al mismo tiempo, establece el método de cálculo de los elementos de construcción, y brinda valores de propiedades térmicas para algunos materiales.

Se ha visto que:

$$K = \frac{1}{R}$$

y, como se había determinado, la resistencia térmica R es:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{e}{\lambda_1} + \dots + \frac{e}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_c}}$$

Si hacemos el análisis de la resistencia para cada capa del conjunto, tendremos:

- **Resistencia superficial interna:** la norma 11.601 informa, en la tabla 2, el valor de la resistencia superficial en el caso de flujo de calor descendente, es:

$$R_{si} = \frac{1}{\alpha_i} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

- **Entablonado de pino machimbrado:**

$$e = 0,013 \text{ m}$$

$$l = 0,190 \text{ W/mK, valor obtenido de trabajos publicados en la materia por el INTI}$$

- **Aislacion hidráulica:**

$$e = 0,001 \text{ m}$$

$$l = 0,110 \text{ W/mK, según INTI}$$

- **Aislación térmica**

$$e = 0,03 \text{ m}$$

$$l = 0,032 \text{ W/m K, según INTI}$$

- **Cámara de aire:** para el caso de aire no ventilada, y considerando un espesor de 38 mm, la norma informa que:

$$R_c = 0,14 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

- **Teja cerámica plana:**

$$e = 0,13 \text{ m}$$

$$l = 0,76 \text{ W/m K, valor informado por IRAM, Norma 11.601, Tabla 6}$$

- **Resistencia superficial externa:** también se obtiene de la Tabla 2 de la Norma 11.601, y vale:

$$R_{sc} = \frac{1}{\alpha_c} = 0,04 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

De acuerdo con la planilla de calculo estipulada en la Tabla 13 de la Norma mencionada, podemos establecer un resumen del calculo; solo a los efectos de complementar la planilla y obtener un parámetro comparativo, se estipula que la cubierta se encuentra en la Zona Bioclimatica IIIa. (Ciudad de Córdoba). Ver Tabla 1

Tabla 1

NORMA IRAM 11.601	CALCULO DE TRANSMITANCIA TERMICA		
Proyecto	Ejemplo de calculo		
Elemento	Cubierta de teja cerámica		
Verificación	Verano	flujo de calor	Descendente
Zona Bioambiental	III ^a		

Capa de elemento constructivo	e (m)	$\frac{1}{\alpha}$ (W/mK)	R (m ² K/W)
Resistencia superficial interna	-	-	0,17
Entablonado de pino	0,013	0,190	0,068
Techado asfáltico	0,001	0,110	0,009
Poliestireno expandido	0,030	0,032	0,937
Cámara de aire	0,031	-	0,14
Teja cerámica	0,013	0,76	0,017
Resistencia superficial exterior	-	-	0,04
TOTAL	0,078		1,381

Transmitancia térmica del componente (W/m ² K)	0,72
---	-------------

Transmitancia térmica de acuerdo con la Norma IRAM 11.605 (W/m ² K) .Para la condición de verano (La más exigente en este caso)	0,76	Cumple con Norma IRAM 11.605: SI
--	-------------	---

III-VALOR MÁXIMO ADMISIBLE DE TRANSMITANCIA TÉRMICA PARA TECHOS

Este valor esta establecido en la Norma IRAM 11.605, y depende de la ciudad de que se trate (tema que, a su vez, se encuentra especificado en la Norma 11.603). En el ejemplo anterior, el máximo valor permitido por las normativas para la condición de verano resulta

$$K_{max} = 0,76 \text{ W/m}^2 \text{ K} \quad \text{Tal que}$$

$$K_{cubierta} < K_{max}$$

Para no extendernos demasiado debemos decir que además tendríamos que verificar la cubierta para la condición de invierno, que no haremos pues en este caso es menos crítica que la de verano.

IV-OTROS EJEMPLOS:

Dentro de las múltiples alternativas que la industria de la construcción ofrece hoy en día, se podrán obtener también innumerables combinaciones de materiales, de forma de optimizar la conservación de la energía calórica en el interior de la vivienda.

El ejemplo de calculo desarrollado ha contemplado la inclusión de materiales de permanente presencia en el campo de la ejecución de cubiertas. No obstante, a nadie escapa que el tradicional techado asfáltico compite cada día con mayor número de opciones en el campo de la aislación hidráulica.

Algo similar ocurre con el poliestireno expandido, convencional aislante térmico que, no obstante, puede ser superado por otros materiales no solo en cuanto a su espesor y facilidad de manejo, sino también en lo que respecta a valores de transmitancia térmica.

No tiene mayor sentido detenerse en comparar esas alternativas, puesto que, al momento de la difusión de este texto, es probable que ya haya ingresado al mercado un nuevo producto de características diferentes.

En todo caso, es importante considerar la capacidad térmica de aquellos sistemas tecnológicos que se ofrecen como alternativos de las cubiertas de teja cerámica.

Supongamos que se pretende calcular la transmitancia térmica de una losa de hormigón, bajo las condiciones estipuladas para el ejemplo ya visto de la de la cubierta de tejas. Nos valdremos para esto de la planilla establecida por la Norma IRAM.

La descripción del conjunto comprende un forjado de viguetas pretensadas de hormigón, bloques cerámicos y capa de compresión de hormigón (espesor total=16cm); sobre el conjunto se ha dispuesto un contrapiso pobre, y en la cara inferior se ha aplicado una capa de revoque a la cal, terminada con enlucido de yeso a manera de cielorraso visto.

Resulta evidente que, a pesar del enorme incremento de costos generados por la ejecución de un conjunto como el descrito, las cualidades térmicas de la solución propuesta no resultan las deseables; será entonces necesario dotar a la losa de un aislante térmica adicional, para igualar las condiciones que, en ese sentido, ofrece el conjunto compuesto por la teja cerámica y a su estructura tradicional.

Tabla 2

NORMA IRAM 11.601	CALCULO DE LA TRANSMITANCIA TERMICA
Proyecto	Ejemplo de calculo
Elemento	Losa de viguetas pretensadas, bloques cerámicos y capa de compresión de hormigón
Epoca del año	Verano flujo de calor: Descendente
Zona Bioambiental	III ^a

Capa del elemento constructivo	e (m)	l (m ² K/W)	R (m ² K/W)
Enlucido de yeso	0,003	0,49	0,006
Mortero de revoque aplicado interior	0,020	0,93	0,022
Forjado s/ tabla 9 de Norma IRAM 11.601 (1)	0,160	-----	0,358
Contrapiso pobre con pendiente, espesor promedio 10cm	0,100	0,970	0,103
TOTAL	0,283		0,489

--	--	--	--

Transmitancia térmica del componente W/m^2K “ K “	2,04
---	-------------

Transmitancia térmica de acuerdo con la Norma IRAM 11.605 (W/m^2K)	0,76	Cumple con la norma IRAM 11.605 ? : NO
--	-------------	--

(1) Nota: La norma IRAM 11601 tabla 9 establece para un forjado de 16 cm de espesor y $L = 50$ cm (Se denomina forjado a la losa de viguetas y bloques) y condición de verano un $K = 2,79$ $w/m^2 K$. Este coeficiente incluye las resistencias superficiales externas e internas resultando $K = 2,79$ lo que da un $R = 1/K = 1 / 2,79 = 0,358$

2.1 Coeficiente Volumétrico de Perdida de Calor “G”

I-INTRODUCCION

La crisis energética mundial, originada por la creciente demanda de los últimos 50 años que condujo a la utilización indiscriminada de recursos energéticos no renovables, me obligó a un replanteo profundo de todos los sectores tendientes a racionalizar el consumo de energía y, simultáneamente, a buscar nuevas fuentes alternativas.

Estudios realizados en el año 1973 en Estados Unidos sobre el problema energético, demostraron que el 25% del consumo total de energía, en sus diversas formas, se utilizaba para la climatización de los edificios. De este porcentaje se estimaba factible reducir el consumo en un 50%. Interviene aquí la responsabilidad de los profesionales y de los funcionarios e instituciones públicas que deciden cómo serán los edificios, para brindar al usuario edificaciones energéticamente eficientes y con la mayor economía posible. Solo a partir de condiciones interiores adecuadas en las viviendas, podremos hacer participe al usuario en la responsabilidad que él también tiene en el consumo de energía.

De esta manera y con la participación de todos los sectores, habremos logrado evitar el derroche de energía sin afectar la calidad de las condiciones interiores de confort.

Por todo ello creímos conveniente difundir conceptos sobre la verificación del Coeficiente Volumétrico G de perdida de calor, tendiente al ahorro de energía en calefacción, elaborado por IRAM como norma 11.604 y en actual etapa de revisión.

II-CONSIDERACIONES PRELIMINARES

Las condiciones de confort durante el periodo invernal en edificios destinados a vivienda, exigen el logro de una temperatura ambiental adecuada. Esta temperatura interior se consigue mediante un sistema de calefacción que permita, una vez alcanzada las condiciones deseadas, equilibrar las pérdidas de calor que se producen a través de los distintos cerramientos (muros, techos y pisos) y por la renovación del aire. Este consumo de energía para calefaccionar la vivienda durante toda su vida útil, es un elemento que debe ser evaluado en el momento de proyectar y construir edificios. Es necesario, por lo tanto, optimizar el proyecto de los mismos, tanto en lo que se refiere a la elección correcta de los materiales y su adecuada utilización, como a las condiciones de diseño, de manera de encontrar el punto mínimo de la curva resultante de la suma de los gastos de calefacción y de construcción.

En la norma IRAM 11.604, actualmente en etapa de revisión, se establece un parámetro, de medida que permite verificar en términos cuantitativos el ahorro de energía en los edificios. Este parámetro se denomina "coeficiente Volumétrico G de pérdida de calor" y se lo define como: *"La energía térmica que pierde un local calefaccionado por unidad de volumen, unidad de tiempo y unidad de diferencia de temperatura, en régimen estacionario, que deberá suplir el sistema de calefacción para mantener constante la temperatura interna del local."* Se mide en watt por metro cúbico kelvin, y su determinación se rige por las instrucciones establecidas en dicha norma.

En la evaluación de este coeficiente intervienen los siguientes factores:

- **Aislacion térmica de los cerramientos.**
- **Renovación de aire por infiltración y ventilación.**
- **Condiciones de diseño.**
- **Zona biombiental.**

Además de estos factores inciden en el proceso de pérdida de energía el interior de un local calefaccionado hacia el exterior, otras variables tales como: humedad, asoleamiento, condensación, inercia térmica, iluminación, metabolismo de los usuarios, etc., los cuales, dada la complejidad que representa interrelacionarlos, no se los tiene en cuenta en la determinación del coeficiente volumétrico "G". Nos referimos, entonces, a cada uno de los factores antes mencionados.

III-AISLACION TERMICA DE LOS CERRAMIENTOS

Es a través de los cerramientos (muros, aberturas, techos y pisos) por donde se produce el mayor porcentaje de pérdida de energía calórica. Se debe apelar por lo tanto a materiales que, además de poseer propiedades resistentes y de cerramiento, cumplan con la aislacion térmica necesaria. Anteriormente vimos el concepto del coeficiente de transmitancia termica "K" y dijimos que podía ser interpretado como: "la mayor o menor facilidad que tiene el calor para atravesar un cerramiento en la unidad de tiempo, de superficie y de diferencia de temperatura", siendo mayor la pérdida de energía a mayor coeficiente "K". Vimos también la expresión del "flujo de calor por unidad de superficie y de tiempo", el cual expresamos de la siguiente manera:

$$q = K \cdot (t_i - t_e)$$

Siendo:

q: flujo de calor por unidad de superficie y de tiempo W/m^2

K: coeficiente de transmitancia térmica del cerramiento considerado $W/m^2 \cdot ^\circ C$

($t_i - t_e$): diferencia de temperatura entre el interior y el exterior $^\circ C$

Si a este valor de "q" lo integramos a toda la superficie de la vivienda y para cada uno de los distintos cerramientos que están en contacto con el exterior u otros locales no calefaccionados, obtendremos la pérdida "pérdida global de calor por transmitancia térmica de los cerramientos **en la unidad de tiempo**". Esta pérdida de calor se expresa por:

$$Q_1 = S \cdot K \cdot (t_i - t_e) \quad (1)$$

Siendo.

Q1: pérdida global de calor por transmitancia térmica de los cerramientos en la unidad de tiempo. (w)

S: superficie interior de cada cerramiento en contacto con el exterior u otro local no calefaccionado (m²)

K: transmitancia térmica de cada uno de los distintos tipos de cerramientos que componen la vivienda. (w/m² °C)

(ti – te): diferencia de temperatura entre el interior y exterior (°C)

S:sumatoria de la pérdida total de calor de cada cerramiento.

En (1) vemos que, para una vivienda determinada, la pérdida de calor aumenta en forma directamente proporcional con el aumento del coeficiente “K”, y caso contrario, se puede reducir notablemente el consumo de energía con sólo realizar una elección adecuada del elemento a utilizar como cerramiento.

IV-RENOVACION DEL AIRE

El aire interior de una vivienda, por razones de salubridad y confort, debe renovarse en forma continua, exigiéndose, como mínimo y por tal motivo, “una renovación total de aire por hora”.

En invierno, cuando las puertas y ventanas están cerradas, la renovación del aire se produce por **infiltración** en las juntas de la carpintería, y por **ventilación** “natural” a través de orificios y rejillas y “controlada” mediante extractores mecánicos. Este aire que ingresa a un local calefaccionado se encuentra a una temperatura exterior “te” inferior a la temperatura interior “ti” provocando, además de las molestias que origina el filete de aire frío, una caída en la temperatura interior que debe ser restituida mediante el sistema de calefacción.

La cantidad necesaria de calor para elevar en 1°C la temperatura de un volumen unitario de aire se llama “**calor específico del aire**” (Ce) y su valor es igual a 0,35 (W /m³ °C). Por lo tanto, para una vivienda con volumen "Vr" de aire renovado por hora, el cual ingresa con una temperatura exterior te y se la quiere elevar a la temperatura interior de confort “ti”, demandara un consumo de energía en forma de calor igual a:

$$Q_2= Ce. Vr. (ti - te) \quad (2)$$

siendo:

Q₂= pérdida total de calor consumida en elevar la temperatura de un volumen de Vr de aire desde un valor inicial te a un valor final Ti (W)

Ce: calor específico del aire (W / m³ °C)

Vr: volumen de aire renovado (m³)

(ti- te): diferencia de temperatura entre el aire interior y exterior (°C)

Si bien la necesidad de purificar el aire obliga a renovar el volumen interior de una vivienda una vez por hora, todo aumento por sobre este valor significa consumir mayor cantidad de energía tal como se desprende de la ecuación (2) . Por ello se deben evitar las entradas parasitarias de aire provocadas por infiltración en la carpintería mejorando su estanqueidad. Además se debe tender a una regulación manual o mecánica de los caudales de aire que ingresan por ventilación.

V-CONDICIONES DE DISEÑO

Hemos visto que la pérdida global de calor por transmitancia térmica se produce a través de la envolvente de la vivienda. De esto surge que mientras sea mayor la superficie de contacto de los cerramientos con el ambiente exterior mayor será la pérdida de calor, tal como puede observarse en la ecuación (1) al aumentar la superficie “S”.

Si analizamos dos viviendas distintas, construidas con materiales de idénticas propiedades térmicas en todos sus cerramientos y con igual cantidad de metros cuadrados cubiertos, observaremos distintas pérdidas de calor para una de ellas, teniendo un mejor comportamiento térmico aquella que presenta una menor superficie de contacto con el exterior, o sea, una mayor compacidad en su diseño. De igual manera vemos que la influencia de la forma tiene mas importancia en viviendas individuales que en viviendas colectivas dada la mayor relación “**superficie de la envolvente en contacto con el exterior-volumen interior de la vivienda**”

Por todo lo expresado se puede lograr una interesante economía energética mediante una adecuado criterio de diseño tendiente a mejorar a la relación superficie-volumen.

VI-ZONA BIOAMBIENTAL

Es indudable que el consumo de energía para mantener un nivel de confort interior aceptable depende fundamentalmente del clima, siendo mayor la necesidad de calefacción en aquellas zonas donde las condiciones climáticas, durante el periodo invernal, son más rigurosas. El ahorro de energía tendrá, entonces, valores significativos en algunas zonas disminuyendo su importancia en otras en función de las condiciones climáticas.

Para racionalizar el criterio de ahorro de energía, la norma IRAM establece un parámetro de referencia denominado “**Grados-Dias**” el cual lo define como “**la suma de las diferencias de temperatura entre 18 °C y la media horaria diaria, para cada día del año en que la media diaria es inferior a 18°C**” y considera que a partir de los 900 grados-dias, las condiciones de confort interior exigen de un uso intensivo de la calefacción, razón por la cual se hace necesario la verificación del ahorro de energía en todas aquellas localidades que superen este valor, como así también para las que se encuentren en las zonas biombientales III, IV, V y VI.

Los “grados-dias” suman las diferencias de temperatura entre la “media horaria diaria” y los 18°C durante todo el año. Este parámetro sintetiza la diferencia de temperatura “ti-te” de las expresiones (1) y (2) para todo el año.

VII-COEFICIENTE VOLUMETRICO “G”

De acuerdo con todo lo que arriba expuesto estamos en condiciones de evaluar las pérdidas de calor que se producen en una vivienda. Este valor surge de la suma de la pérdida global de calor por transmitancia térmica (I) mas pérdidas por renovación del aire (II), siendo su expresión la siguiente:

$$Q_t = Q_1 + Q_2$$

$$Q_t = \underbrace{\sum S \cdot K \cdot (t_i - t_e)}_{(I)} + \underbrace{C_e \cdot V_r \cdot (t_i - t_e)}_{(II)}$$

“Qt” representa la pérdida total de calor de una vivienda para una temperatura exterior “te” y una temperatura interior “ti”, en la unidad de tiempo. Este valor, sin embargo, no nos da una idea de la **calidad térmica** del edificio, ya que su valor variara según la temperatura exterior y las dimensiones de la vivienda. Si referimos la pérdida total de calor “Qt” a la unidad de volumen de la vivienda y a la unidad de diferencia de temperatura obtendremos el “ coeficiente volumétrico G de pérdida de calor”, valor este que representa “ **la energía que pierde un local calefaccionado por unidad de volumen, unidad de tiempo y unidad de diferencia de temperatura, en régimen estacionario, que debería suplir el sistema de calefacción para mantener constante la temperatura interna del local**”, y cuya expresión es

$$G = \frac{Q_t}{(t_i - t_e) \cdot V} = \frac{\sum S \cdot K}{V} + C_e \cdot \frac{V_r}{V} \quad (3)$$

Si reemplazamos la sumatoria del primer término de la ecuación (3) por cada uno de los tipos de cerramientos que componen una vivienda, y en el segundo termino hacemos la relación Vr/V igual a “n”, numero de renovaciones de aire por hora, la expresión (3) nos queda:

$$G = \frac{K_m \cdot S_m + K_v \cdot S_v + \gamma \cdot K_r \cdot S_r + \alpha \cdot K_p \cdot P \cdot \beta}{V} + C_e \cdot n \quad (4)$$

Siendo para el primer término:

Km.: transmitancia térmica de cada uno de los cerramientos opacos que lindan con el exterior (muros y techos opacos a la radiación solar).
(W/m² °C)

Sm: superficie interior de los cerramientos opacos anteriores (m²)

Kv: transmitancia térmica de cada uno de los cerramientos no opacos que lindan con el exterior.
(Aventamiento de todo tipo y puertas exteriores)
(W/ m² °C)

Sv: superficie interior de los cerramientos no opacos anteriores (m²)

γ : factor de corrección de la transmitancia térmica “Kr” de los cerramientos que lindan con locales no calefaccionados. Su valor se calcula aplicando la formula siguiente:

$$\gamma = \frac{\sum K_i \cdot S_i}{\sum K_i \cdot S_i + \sum K_r \cdot S_r}$$

siendo:

Ki: transmitancia térmica de los cerramientos del local no calefaccionado que no pertenece a la envolvente ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

Si: área de los cerramientos anteriores (m^2)

Kr: transmitancia térmica de los cerramientos del local no calefaccionado que linda con el local calefaccionado en estudio ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

Sr área de los cerramientos anteriores (m^2)

Puede evitarse el cálculo de “g” adoptando los siguientes valores:

g: 0,5 para cerramientos que lindan con locales pertenecientes a locales contiguos calefaccionados.

g: 1 en cualquier otro caso.

a: factor de corrección por inercia térmica del terreno, cuando la temperatura media diaria es menor de $18^\circ C$, siendo su valor el dado por la tabla 3 de la norma IRAM 11.604

Kp: transmitancia térmica de cada uno de los cerramientos en contacto con el terreno (soldados y muros de subsuelo) ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

P: perímetro exterior de los cerramientos anteriores (m)

b: ancho de la superficie efectiva de pérdida de calor, de perímetro P de los cerramientos anteriores de la tabla VII de la norma IRAM 11.604, en función de Kp y la conductividad del terreno (m).

V: volumen interior del edificio vivienda calefaccionado (m^3)

y para el segundo término:

Ce: calor específico del aire. Se adopta el valor: $0,35 (W/m^\circ C)$.

n: número de renovaciones de aire promedio del edificio vivienda calefaccionado, por hora.

El análisis teórico del número de renovaciones “n” se calcula aplicando las siguientes fórmulas:

y

$$n = \sum \frac{li \cdot Svi}{V} \quad (5)$$

$$n = n' + n'' \quad (6)$$

siendo:

li: caudal de aire infiltrado por el cerramiento no opaco “i”, obtenido de la tabla IV de la norma IRAM 11.604 (m^3/m^2h).

Svi: superficie abrible del cerramiento no opaco anterior (m^2)

V: volumen del edificio vivienda calefaccionado (m^3)

n' : número de renovaciones de aire promedio, debido a las ventilaciones naturales del edificio vivienda calefaccionado por hora (rejillas de ventilación), obtenido de la tabla 6 de la norma IRAM 11.604.

n'' : número de renovaciones de aire promedio, debido a las ventilaciones controladas del edificio vivienda calefaccionado, por hora (extractores, inyectores).

El mayor valor de n , calculado según las expresiones (5) y (6), es que se adopta en la expresión (4) del coeficiente volumétrico de pérdida de calor “G”.

Una vez calculado el coeficiente “G”, se debe verificar que el mismo no sobrepase el valor máximo admisible establecido en la tabla VII de la norma IRAM 11.604, el cual varía en función del volumen interior de la vivienda calefaccionada y de los grados-días.

VIII-CALEFACCION

Una vez verificada la aptitud térmica de la vivienda mediante el coeficiente volumétrico “G”, es fundamental conocer el consumo anual de energía necesario para calefaccionar la vivienda.

De la ecuación (3) obtenemos la pérdida total de calor de una vivienda en la unidad de tiempo y para una temperatura exterior determinada, siendo:

$$Q_t = G \cdot V \cdot (t_i - t_e)$$

Si adoptamos como temperatura exterior “ t_e ” el valor de la media horaria “ t_m ” y la multiplicamos por las 24 horas del día, obtendremos la pérdida total de calor un día determinado, siendo:

$$Q_{t_{24}} = 24 \cdot G \cdot V \cdot (t_i - t_m)$$

Como nos interesa conocer el valor de la pérdida anual de energía, hacemos la sumatoria de las diferencias de temperatura entre el interior y la media horaria diaria, durante todo el periodo anual donde es necesaria la calefacción, quedando la expresión anterior de la siguiente manera:

$$Q = 24 \cdot G \cdot B \cdot S \cdot (t_i - t_m)$$

El valor $S(t_i - t_m)$ es el que definimos anteriormente como “grados-días”, “ $^{\circ}D$ ”, quedando finalmente la expresión de la “**carga térmica de calefacción anual**”, expresada en kilowatts horas, de la siguiente manera:

$$Q = \frac{24 \cdot G \cdot V \cdot ^{\circ}D}{1000} \quad (\text{kWh})$$

IX-COSTO DE CALEFACCION

El costo de calefacción anual de edificio vivienda calefaccionado se expresa por la siguiente ecuación:

$$C = Q .P$$

Siendo:

C: costo anual de calefacción

Q: carga térmica anual (kW/h)

P: precio del kW/h

2.2-EJEMPLO DE CALCULO

En el presente ejemplo numérico analizaremos una vivienda de 3 dormitorios.

1. Datos básicos

(de norma IRAM 11.603)

Localidad: Córdoba (zona III^a)

Temperatura media anual: 10,5 °C

Grados-dias anual de la localidad: 720°C

Velocidad media del viento: 12Km/h

II-DETERMINACION DEL COEFICIENTE VOLUMETRICO “G”

De las planillas I y II obtenemos las perdidas de calor volumétricas por transmitancia térmica y por esta renovación del aire, siendo estas:

Gr = 1,618 W/m³°C (por transmitancia térmica a través de los cerramientos)

G2 = 0,359 W/m³°C (por renovaciones de aire)

El coeficiente volumétrico “G” se obtiene sumando las dos perdidas anteriores:

$$G = G1 + G2$$

$$G = 1,977 \text{ W/m}^3 \text{ °C}$$

III-VALOR MAXIMO ADMISIBLE

En la tabla VII de la norma IRAM 11.604, figura una serie de curvas, una para cada zona de biombiental, las cuales permiten obtener, entrando con el volumen de la vivienda por el eje de las abscisas, el valor máxima admisible de “G”.

Para un volumen del edificio vivienda calefaccionado de $V = 167,51 \text{ m}^3$ y zona biombiental III, el coeficiente máximo admisible de G es:

$$G \text{ max. Adm} = 3,500 \text{ W/m}^3 \text{ °C}$$

Finalmente comparamos el valor máximo admisible con el coeficiente volumétrico de pérdida de calor obtenido de la vivienda en estudio:

$$G_{\text{max.adm.}} = 3,500 \text{ W/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$G = 1,977 \text{ W/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$G < G_{\text{max. Adm.}}$$

CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CALOR VOLUMÉTRICO POR LOS CERRAMIENTOS I

CERRAMIENTOS QUE LINDAN CON EL EXTERIOR			SUPERF. m ² Sm ó Sv	COEF "K" W/m ² °C Km ó Kv	PÉRDIDA de CALOR (1) Sm.Km ó Sv.Kv	
CERRAMIENTOS	DESCRIPCIÓN	n°				
Opacos	Muros	Bloque cerámico portante	68,71	1,522	104,58	
	Techos	Losa cerámica c/viguetas pretensadas	60,34	1,290	77,84	
No opacos	Puertas	Metálica sin aislación térmica 1,00 x 2,00	1	2,00	5,80	11,60
		Metálica sin aislación térmica 0,80 x 2,00	1	1,60	5,80	9,28
	Ventanas	Metálica con vidrio simple 1,20 x 1,30	5	7,80	5,80	45,24
		Metálica con vidrio simple 0,80 x 1,20	1	0,96	5,80	5,57
Otras	Banderola simple 0,40 x 1,00	1	0,40	5,80	2,32	
				S. K =	256,43	

CERRAMIENTOS QUE LINDAN CON LOCALES NO CALEFACCIONADOS			FACTOR de Corrección "g"	SUPERF. m ² Sr	COEF "K" W/m ² °C Kr	Pérdida de Calor (2) Sr.Kr
CERRAMIENTOS	DESCRIPCIÓN	n°				
OPACOS	MUROS					
	TECHOS					
NO OPACOS	PUERTAS					
	VENTANAS					
	OTRAS					
					g .Sr. Kr =	

CERRAMIENTOS EN CONTACTO CON EL TERRENO		Perímetro (m) "P"	Coef "K" W/m ² °C Kp	Factor de corrección "a "	Ancho de Sup Efectiva "b"	Pérdida de Calor (3) a . b . P . Kp
CERRAMIENTO	DESCRIPCIÓN					
SOLADOS	Baldosa cerámica con 10 cm de contrapiso	31,55	3,57	0,30	0,43	14,53
MUROS ENTERRADOS						
						a . b . P . Kp = 14,53

PÉRDIDA TOTAL DE CALOR POR LOS CERRAMIENTOS (1) + (2) + (3)	W/°C	q = 270,96
VOLUMEN DEL LOCAL VIVIENDA CALEFACCIONADO	m ³	V = 167,51
PERDIDA DE CALOR VOLUMÉTRICA POR LOS CERRAMIENTOS G1=q/V	W/m ³ °C	G1 = 1,618

CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CALOR VOLUMÉTRICAS POR LAS RENOVACIONES DE AIRE II			
VELOCIDAD DEL VIENTO	Velocidad Media Vm = 12,08 Km/h	Coef de Corrección c = 1,00	Velocidad Corregida Ve = Vm.c = 12,00 Km/h
VOLUMEN DE LA VIVIENDA	V = 167,51 m ³		

	CARACTERÍSTICAS DE LA CARPINTERÍA				Infiltración m ³ /m ² h I	Superficie m ² S	Caudal Renovado m ³ /h I.S.n°
	TIPO	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	n°			
INFILTRA- CIONES	Abrir Común	Marco y hoja de chapa doblada	2,00 x 1,00	1	13,5	2,00	27,00
			2,00 x 0,80	1	13,5	1,60	21,60
			1,20 x 1,30	5	13,5	7,80	105,30
			1,20 x 0,80	1	13,5	0,96	12,96
	Corredizas						
	Pivotantes						
A Guillotina							
Banderola	Marco de chapa y hoja de perf. met.	0,40 x 1,00	1	12,0	0,40	4,80	
						I.S.n° =	171,66

$$n = I . S . n^{\circ} / V = 1,025$$

	CARACTERÍSTICAS DE LA VENTILACIÓN				Volumen m ³ /h v	Caudal Renovado m ³ /h n°.v
	TIPO	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	n°		
VENTILA- CIÓN	Natural					
	Controlada	Extractor de la Cocina	diam. 100mm	1	120,00	120,00
						n°.v =

$$n^{\circ}.v / V = 0,716$$

MAYOR NÚMERO DE RENOVACIONES	n o n'	n = 1,025
CALOR ESPECÍFICO DEL AIRE	W/m ³ °C	Ce = 0,35
PÉRDIDAS DE CALOR VOLUM. POR RENOVACIONES DE AIRE	G2=n.Ce W/m ³ C	G2 = 0,359

IV-CARGA TERMICA ANUAL DE CALEFACCION

La perdida anual de energía utilizada en calefaccionar la vivienda es:

$$Q = \frac{24 . G . V . \Delta D}{1000}$$

$$Q = \frac{24 \times 1,977 \times 167,51 \times 720}{1000}$$

$$Q = 5722,6 \text{ KW/h}$$

V-CONSUMO ANUAL DE CALEFACCION DEL EDIFICIO VIVIENDA CALEFACCIONADO

Si suponemos que el combustible utilizado para calefaccionar el edificio vivienda es el gas licuado envasado y recordando los datos siguientes:

Poder calórico del gas envasado: 12.013 calorías/Kg de gas liquido

1 KW: 860,3 calorías

Tenemos que el consumo anual de gas líquido es

$$C_{\text{gas}} = \frac{860.38}{12013} \times 5722,60$$

$C_{\text{gas}} = 410$ Kg. de gas líquido

VI-COSTO ANUAL DE CALEFACCION

El mismo se obtiene multiplicando el consumo anual por el costo del kilogramo de gas:

$$C \$ = C_{\text{gas}} \cdot P$$

VII- CUADRO COMPARATIVO DE “LA CARGA TERMICA ANUAL”

Para comparar la diferencia de consumo de energía que se origina al utilizar distintos tipos de mampuestos en la vivienda en estudio, hemos realizado un cuadro comparativo, el cual expresa, mediante barras representativas, la “carga térmica anual de calefacción” de dicha vivienda para cada alternativa, indicándose además sobre cada barra el porcentaje de aumento o disminución de consumo con respecto al utilizado en el ejemplo (bloque cerámico portante de tubos verticales)

TABLA EXCEL CON DIBUJOS DE LADRILLOS

VIII-ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA VOLUMETRICA DE CALOR

Si se pretende efectuar un balance técnico-económico de los costos de calefacción y construcción de una vivienda, es preciso calcular el “Coeficiente volumétrico G de pérdida de calor”. Este valor como ya dijimos considera simultáneamente la resistencia térmica de los componentes del edificio; la situación geográfica en sus características climáticas, y las condiciones de diseño.

Los estudios de confort que rigen los métodos de cálculo han establecido que en época invernal, la temperatura de diseño en el interior de los locales será de 18°C. En general, esto se conseguirá por medios de sistemas de calefacción que entregaran energía calórica de modo de reemplazar calor perdido por la vivienda. De esta forma se asegurara que, cuando el rigor de la temperatura exterior lo demande, el interior alcance ese “piso” de temperatura.

Precisamente, a los efectos del cálculo del parámetro “G”, se consideran las pérdidas volumétricas de calor por infiltración y por transmisión. Las primeras se deben a la existencia de filtraciones de aire a través de las juntas de los cerramientos que conforman las aberturas (puertas, ventanas, etc.); y eventualmente a los sistemas de ventilación que posean los locales.

Pero al referirnos a las pérdidas de calor por transmisión; entran a jugar los conceptos vistos anteriormente. El calor podrá perderse del interior de un edificio; debido a la transmisión a través de los muros; los cerramientos (opacos y no opacos), el piso, y por supuesto, el techo.

En este juego de energía resulta vital asegurar la mayor cantidad de formas de retener el calor en el interior de la vivienda, y es válido para entender la importancia de contar con una cubierta que observe un comportamiento apropiado a esos requerimientos. En relación directa con el diseño de la vivienda, posiblemente sea el techo la mayor superficie de la vivienda expuesta a la pérdida de calor por transmisión.

Naturalmente, todo lo expuesto resulta de valor si se trata de la situación climáticamente inversa, es decir, con el clima estival donde la temperatura mayor es la exterior y, por lo tanto, lo que se pretende es impedir su ingreso a los locales habitables.

Sin pretender introducirnos en los pormenores del cálculo de “G” ya que excedería las pretensiones de esta publicación, si resulta válido insistir en el hecho que la fracción del coeficiente correspondiente a las pérdidas por transmisión, es proporcional a la transmitancia del elemento y a su superficie. Acordando que los techos resultan, en viviendas unifamiliares de una o dos plantas, con una superficie de fuerte incidencia sobre el total, adicionarle una alta transmitancia térmica de la solución tecnológica adoptada como cubierta, será conducir invariablemente al edificio a una situación de “gasto continuo” para mantener una aceptable temperatura interior.

Esto, en términos de cálculo, se conoce como “carga térmica” y es la energía, medida en kilowatt hora, que habrá que aportar a la vivienda para mantener la temperatura interior siempre por encima de 18°C. En edificios de planta baja, más de 50% de esa carga térmica puede deberse a un techo mal aislado. Si a eso súmanos que grandes fugas de calor degradan los materiales componentes, generan disconfort, y pueden permitir condensación en invierno, se concluye en la necesidad de emplear respuestas tecnológicas apropiadas a la situación.

IX-ALTERNATIVAS CONSTRUCTIVAS PARA CUBIERTAS DE TEJAS E INCIDENCIA EN LA PERDIDA DE CALOR

Son incontables las variantes constructivas que la práctica ha aportado a la técnica en ejecución de cubiertas con teja cerámica. Su descripción en detalle será impensable, pero se puede nombrar las variantes más generales en lo referente a la presencia o no de distintos estratos, y su manera de combinarlos.

La opción más simple es la que incluye (en orden ascendente), la estructura de soporte, el entablado, la aislación hidrófuga, los listones, una pequeña cámara de aire, y la teja cerámica (**alternativa 1**).

Una segunda variante la constituye la misma secuencia del primer caso, pero con un manto de poliestireno expandido (de espesor 20mm) encima del aislante hidrófugo (**alternativa 2**).

Un tercer caso que frecuentemente se encuentra en la práctica, es el constituido por una cubierta sin aislación (como el la alternativa 1), con un cielorraso horizontal de machimbre formando un entretecho no accesible. En este caso no existe aislación térmica de ninguna especie (**alternativa 3**).

Una cuarta posibilidad es la colocar planchas de poliestireno expandido de 20 mm, encima del cielorraso horizontal de madera(**alternativa 4**).

En cambio, si el aislante térmico se inserta debajo de la teja, y el cielorraso se mantiene sin aislación, se habrá conseguido una nueva opción constructiva (**alternativa 5**).

Empleando todas las variantes de cubierta de teja descritas anteriormente, se procedió a calcular el coeficiente volumétrico de calor “G” para una misma vivienda.

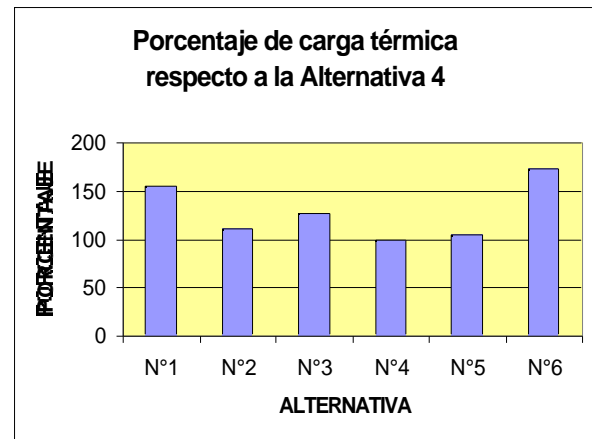
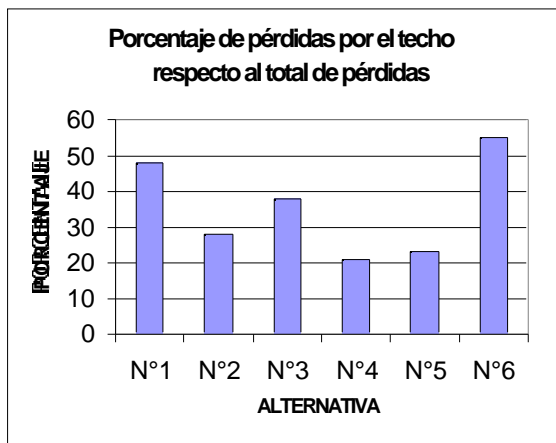
A efectos comparativos y con la finalidad de poseer valores de referencia, se ha incluido en este listado de ejemplos, a la losa de hormigón cuya transmitancia térmica se calculara más arriba (alternativa 6).

X-Valores comparativos

Se tomó como vivienda de referencia la que describe la Norma IRAM 11.604/1990. Se trata de una casa de 63.24 m² de superficie, de una planta, ubicada en Las Lajas, provincia de Neuquén. Con esa base, se calcularon las pérdidas de calor y la carga térmica, para las seis alternativas enunciadas anteriormente.

De esta forma se pretendía poseer, más que los valores absolutos de cada solución, el comportamiento relativo entre ellas.

Con los resultados a la vista y habiendo mantenido constante las características de la vivienda, se pueden sacar interesantes conclusiones respecto a la importancia de la presencia del aislante térmico, y acerca de cuál es el modo más conveniente de disponerlo.



XI-Análisis de los resultados:

El esquema funcional con mejor comportamiento térmico, resultó ser la alternativa 4, es decir, aquella que dispone una cubierta sin aislante térmico, pero un cielorraso horizontal a 2,40m de altura, constituido por manera machimbrada con un manto de poliestireno expandido por encima. Esta propuesta alterna un volumen habitable pequeño (más fácil de calefaccionar), con un aislante ubicado de manera tal que minimiza las perdidas de calor ocurridas por el techo propiamente dicho.

Dentro de este esquema, y ya considerando el conjunto de la vivienda, se advierte que el 86% de las pérdidas de calor corresponden a transmisión y el resto a infiltración.

Si, a su vez, observamos la incidencia de la transmisión por el techo en relación al total de pérdidas por transmisión, el resultado arroja un valor de 26%. O sea que, **en el balance total de las pérdidas, el techo se lleva un 22% de la incidencia.**

Estos valores variarán según se trate de las soluciones adoptadas; en este caso, analizamos la opción de mejores resultados, pero se verá que las incidencias resultan sumamente variables, por ello la importancia de estudiar pormenorizadamente el tema.

Retomando el ejemplo de la alternativa 4, puede decirse que la incidencia de las pérdidas por infiltración de aire no resulta demasiado significativa. Mejorar ese parámetro implicará mejorar el diseño de las carpinterías, o alterar su orientación.

Otro de los importantes factores de pérdida de calor, resulta ser la transmisión a través de los llamados “cerramientos no opacos exteriores”, cuyo ejemplo más notorio son los vidrios de los aventanamientos. En el ejemplo- del que vale aclarar que cuenta con dos puertas exteriores, cinco ventanas y dos ventiluces, su incidencia es casi la misma que la del techo completo. Por lo tanto, sería prudente estudiar la conveniencia de incluir aberturas con doble vidriado hermético, que mejoren la aislación.

También es útil comparar la alternativa 4 de mejor rendimiento, con las restantes alternativas constructivas tomadas en el cálculo. En tal sentido, importará saber que relación existe entre la carga térmica de cada una, necesaria para calefaccionar la vivienda.

La Figura 4 ilustra acerca de los porcentajes de carga térmica calculados para cada alternativa constructiva, respecto a la que resultó con mejor rendimiento.

Por su parte, la Figura 5 muestra la incidencia porcentual que, para cada caso, tienen las pérdidas producidas por el techo, respecto a la totalidad de pérdidas ocasionadas en la vivienda. Ya habíamos dicho que el mejor de los casos resulto de un 22% de las pérdidas totales. En el gráfico se nota cómo crece este parámetro a medida que se ubica la aislación térmica en otro lugar del techo (que no sea el cielorraso). O cuando directamente se lo elimina. Al final de esta comparación queda la cubierta de losa, que llega a perder el 55% del total a través del techo.

Observando la Figura 4 se nota que la ausencia de aislación térmica (como es el caso de la alternativa 3), lejos de constituir un ahorro, puede, puede convertirse en una pesada carga traducida a costo de calefacción, ya que necesitará un 11% más de energía que la alternativa 4. Esto, traducido al caso de la vivienda adoptada por IRAM como ejemplo, representa unos 3.100 Kwh por año.

Finalmente, resulta obvio advertir la notable desventaja constituida por la alternativa 6 (losa de hormigón), respecto a cualquier otra variante que se adopte.

También puede resultar de utilidad hacer una sucinta referencia al comportamiento de la chapa, en cualquiera de sus variantes comerciales (ondulada, pintada, etc.).

El conjunto de soporte y aislación ubicado por debajo del elemento es similar, desde el punto de vista térmico, la requerida por la teja, por lo tanto, se comparara a continuación sólo los valores de resistencia térmica alcanzados por ambas alternativas.

Es posible advertir que, independientemente de cuestiones estéticas o funcionales, la termohigrometría también otorga a la teja cerámica importantes.

Elemento	Teja Cerámica	Chapa Galvanizada N° 24
Espesor	0,013 m	0,0006 m
Conductividad λ	0,76 W/m K	58 W/m K
Resistencia térmica R	0,017 m ² K/W	1,03 . 10 ⁻⁵ m ² K/W