

ACONDICIONAMIENTO HIGROTÉRMICO

I INTRODUCCIÓN

El presente documento está pensado como un elemento de apoyo para la correcta aplicación de los “Estándares Mínimos de Calidad para Viviendas de Interés Social” en el capítulo 4.3 correspondiente a “Requisitos de Habitabilidad” y más concretamente al 4.3.1 “Acondicionamiento Higrotérmico”.

Lo que se pretende con esta publicación, es en primer lugar explicar el procedimiento que establecen las normas IRAM a que se hace referencia en el mencionado apartado 4.3.1 para calcular el coeficiente de transmitancia térmica (K) comparando con el máximo admisible y verificar el riesgo de condensación superficial e intersticial. El otro objetivo de la publicación es explicar mediante ejemplos prácticos las consecuencias de proyectar incorrectamente o de no respetar las especificaciones técnicas del proyecto, introduciendo en obra modificaciones sin haberlas estudiado previamente. Debe entenderse que el acondicionamiento térmico no es una cuestión menor y que exige un especial cuidado al elegir la solución constructiva que se adopte en la etapa de diseño. De idéntica manera, cambiar durante la etapa de ejecución de la obra los espesores o las densidades del aislante térmico, ubicar incorrectamente la barrera de vapor, reemplazar un tipo de cubierta por otra o ignorar los puentes térmicos son decisiones que incidirán seriamente sobre las condiciones de habitabilidad (y en algunos casos la durabilidad) de las viviendas. Debe entenderse también que al hablar de habitabilidad no tenemos en cuenta solamente el confort y el ahorro de energía que surge de una vivienda bien aislada térmicamente, sino que nos estamos refiriendo también a la salud de sus habitantes ya que la condensación genera o acentúa problemas respiratorios por la proliferación de hongos en paredes y techos.

Los temas relacionados con el acondicionamiento higrotérmico de los edificios se rigen básicamente por las Normas IRAM 11601, 11603, 11605 y 11625. Es importante proveerse de la versión actualizada de estas Normas que actualmente corresponden al año 1996, salvo la 11625 que es del año 2000. Todos los temas que se desarrollan a continuación toman como referencia estas normas actualizadas.

Cabe mencionar además la existencia de la Norma IRAM N° 11630 del año 2000 que trata la verificación del riesgo de condensación en puntos singulares de muros exteriores, pisos y techos, cuya aplicación se sugiere a nivel de recomendación por el momento.

Por último, la Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda agradece muy especialmente la colaboración de los siguientes profesionales por su aporte de ideas, sugerencias y correcciones al texto original:

Arqto. Pablo E. Azqueta -Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño (U.N.R.)-

Ing. Paul Bittner -Asociación Argentina del Hormigón Postensado e Industrializado
Consultor HUNTSMAN

Ing. Horacio P. Mac Donnell -Facultad de Ingeniería Dpto Construcciones (U.B.A.)-

Ing. Vicente Volantino -CECON-INTI-

Del mismo modo, nuestro reconocimiento al IRAM y en particular a su Departamento de Construcciones a cargo del Ing. Raúl Della Porta, por su apoyo y permanente actitud positiva en pos de la calidad.

II IRAM N° 1601: “PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION”

II.1 Método de cálculo de K

Esta Norma incluye además de las propiedades indicadas en el título, el método de cálculo de la resistencia térmica total (R_T) o el de su inversa, la transmitancia térmica total (K).

Definimos “ K ” (en W/m^2K) como la cantidad de energía calórica medida en Watts, que trasmite en estado de régimen un muro o techo por metro cuadrado y por grado Kelvin de diferencia de temperatura entre el interior y el exterior.

Para las unidades, en todos los casos hemos adoptado el sistema Métrico Legal Argentino (SIMELA). Recuérdese que cuando se trate de diferencias de temperatura: $1K = 1^\circ C$ (un grado Kelvin = un grado centígrado).

Como dijimos al comienzo:

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

donde $R_T = R_{si} + R_t + R_c + R_{se}$

Analizando esta expresión :

R_{si} : es la resistencia térmica superficial interna, cuyos valores constan en la tabla 2 de la página 9. Depende de la dirección del flujo de calor: horizontal para el caso de los muros, ascendente para los techos en invierno y descendente para los techos en verano.

R_t : es la resistencia térmica del componente constructivo considerado (Figura superior de la página siguiente)

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

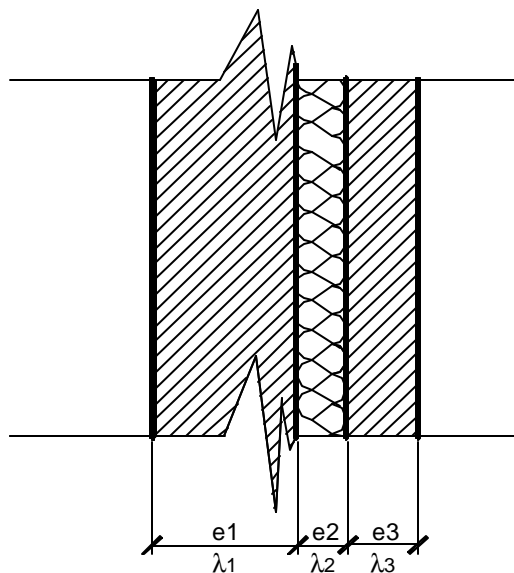
Se expresa como la sumatoria de los cocientes entre los espesores e_i (en m) y la conductividad térmica λ_i de los materiales que componen el muro o techo (en W/m^2K). Conocidos los espesores, del anexo A (Págs. 16 a 22) de la IRAM 11601 se obtienen los λ_i , para los materiales de que se trata, en función de su densidad aparente.

R_c : es la resistencia de las hubiera. Para no incluimos su estudio

R_{se} : es la resistencia externa cuyos valores la pág. 9. Depende de que la R_{si} .

La que hemos básica para el cálculo aplicable sólo en el techo homogéneo. En frecuente que heterogeneidades, por con estructura independiente y cerramientos verticales de ladrillos huecos, las vigas y columnas implican la aparición de una heterogeneidad. En este caso debe calcularse R_t tanto para la sección 1 como para la sección 2, obteniéndose finalmente un valor promedio (R_{pr}) que se calcula por la fórmula

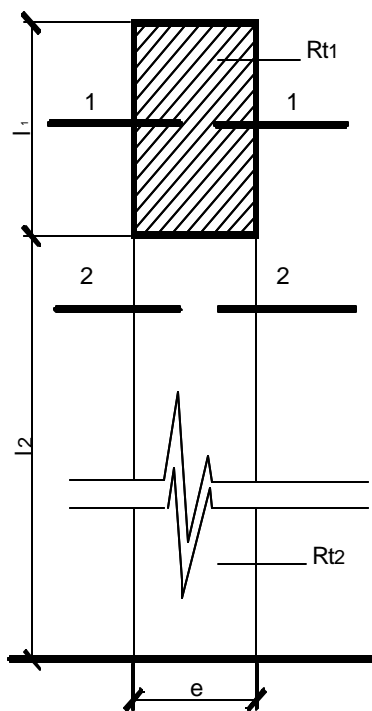
$$R_{pr} = \frac{R_{t1} R_{t2} (l_1 + l_2)}{R_{t1} l_2 + R_{t2} l_1}$$



las cámaras de aire si complicar el análisis más adelante.

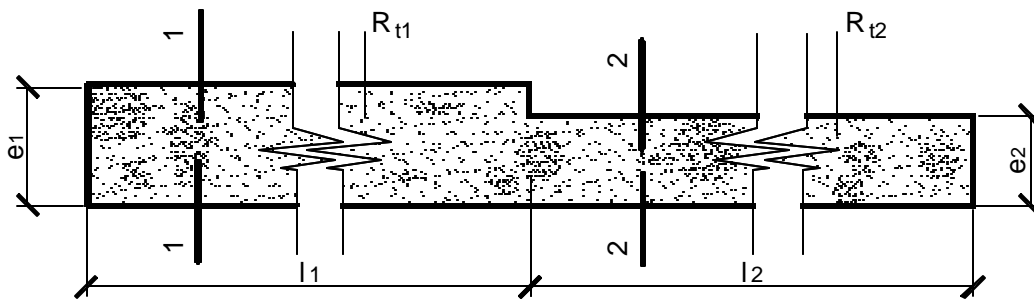
térmica superficial están en la Tabla 2 de los mismos factores

explicado es la fórmula de "K" pero es caso de un muro o la práctica es muy ejemplo en un edificio



Es de notar que la heterogeneidad también puede presentarse en los espesores de los valor éste que se introduce en la fórmula de cálculo de R_T en reemplazo de R_t .

materiales componentes.



de manera que aquí también tendremos un R_1 y un R_2 . Calculamos el R_r con la misma fórmula.

II.2 Ejemplos de aplicación

Ejemplo N° 1

Sea un muro homogéneo de tres capas, dos de ellas de hormigón armado convencional y una intermedia de poliestireno expandido, como muestra la figura de la derecha. Con lo cual el cálculo de K queda concluido. Nótese que el aislante térmico colabora en

$$R_T = \frac{0,08}{1,63} + \frac{0,025}{0,035} + \frac{0,045}{1,63} =$$

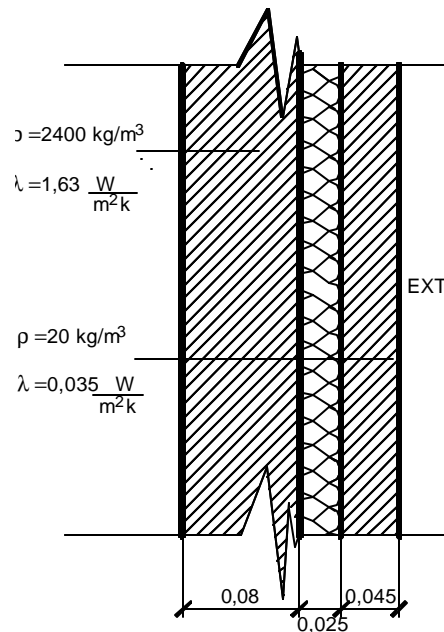
$$R_t = 0,049 + 0,714 + 0,028 = 0,791 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{si} = 0,13 m^2 K/W$$

$$R_{se} = 0,04 m^2 K/W \text{ (invierno)}$$

$$R_T = 0,13 + 0,791 + 0,04 = 0,961 m^2 K/W$$

$$K = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,961} = 1,041 \frac{W}{m^2 K}$$



R_T con $0,714 m^2 K/W$, es decir con un 75% de R_T .

La IRAM 11601 incorpora en la Tabla 13 una planilla de cálculo que permite ordenar el procedimiento. Los casilleros 18 y 19 de esta planilla se completan con datos extraídos de la IRAM 11605, según veremos más adelante en el capítulo III. El casillero 12 y su total 16 no es necesario llenarlos.

Como verificación, siguiendo el mismo procedimiento, veamos qué sucede cuando:

a) Variamos la densidad de 20 a 30kg/m³ del poliestireno expandido ($\lambda = 0,032\text{W/mK}$)

$$R_T = 1,054\text{m}^2\text{K/W} \quad K = 0,950\text{W/m}^2\text{K}$$

es decir, la resistencia térmica aumenta y K disminuye en un 9%, con lo que mejora la situación del muro.

b) Variamos la densidad de 20 a 15kg/m³ del poliestireno expandido ($\lambda = 0,037\text{W/mK}$)

$$R_T = 0,923\text{m}^2\text{K/W} \quad K = 1,083\text{W/m}^2\text{K}$$

es decir, la resistencia térmica disminuye y K crece en un 4%, con lo que desmejora la aptitud del muro desde el punto de vista térmico.

c) Reducimos el espesor del poliestireno expandido de 2,5cm a 2cm dejando constante la densidad en 20kg/m³.

$$R_T = 0,818\text{m}^2\text{K/W} \quad K = 1,222\text{W/m}^2\text{K}$$

es decir, cae la resistencia térmica y K crece en un 17.4% y desmejora fuertemente la aptitud del muro.

d) Reducimos el espesor del poliestireno expandido de 2,5cm a 1,5cm con la misma densidad de 20kg/m³

$$R_T = 0,675\text{m}^2\text{K/W} \quad K = 1,481\text{W/m}^2\text{K}$$

nuevamente disminuye la resistencia térmica y K crece en un 42%

e) Reducimos el espesor a 1,5cm y bajamos la densidad a 15kg/m³.

$$R_T = 0,652\text{m}^2\text{K/W} \quad K = 1,534\text{W/m}^2\text{K}$$

es decir, cae la resistencia térmica y K aumenta en un 47,3%, nada menos.

La finalidad de introducir estos ejemplos, es la de advertir la enorme importancia que tiene para el proyectista y en la inspección de obras el hecho de definir densidades y espesores de los aislantes térmicos a utilizar y no admitir modificaciones sin previa comprobación.

Demás está decir que esto obliga a un estricto control en fábrica, cuando se trate de paneles allí ejecutados, y en obra cuando el aislante se incorpora en esa etapa.

Ejemplo N° 2

Supongamos un muro de hormigón de arcilla expandida de las características de la figura de la derecha

$$R_t = \frac{0,15}{0,35} = 0,43 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

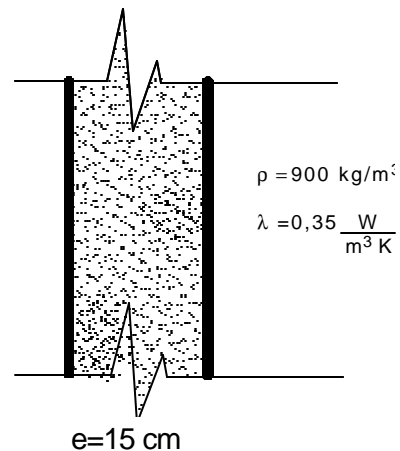
$$R_T = 0,13 + 0,43 + 0,04 = 0,60 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$K = 1,667 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

$$R_t = \frac{0,15}{0,57} = 0,26 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_T = 0,13 + 0,26 + 0,04 = 0,43 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$K = 2,326 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$



Es decir que el valor de K aumenta en un 39,5% con lo cual el muro reduce drásticamente su capacidad como aislante térmico.

Otros ejemplos pueden plantearse variando el tipo de agregado que se utiliza en lugar de la arcilla expandida originalmente prevista:

- Hormigón con poliestireno expandido ($\rho = 1000\text{Kg/m}^3$; $\lambda = 0,26\text{W/mK}$):

$K = 1,339\text{W/m}^2\text{K}$, es decir, mejora la aislación térmica en un 20%.

- Hormigón celular ($\rho = 1200\text{kg/m}^3$; $\lambda = 0,40\text{W/mK}$):

$K = 1,835\text{W/m}^2\text{K}$, empeorando la aislación térmica en un 10%.

Como conclusión, el proyectista debe definir claramente el tipo de hormigón y su densidad, en tanto que en la inspección de obra debe verificar no sólo que tipo de agregado fino y grueso es el que se previó sino que además la densidad del hormigón sea la pactada. En relación con este último caso, es muy frecuente que para mejorar la resistencia a la compresión del hormigón se aumente su densidad, pero hay que tener muy presente que entonces el "K" aumenta y en consecuencia se desmejora la calidad de la aislación térmica.

Nuevamente se impone no aceptar modificaciones sin la previa verificación y un buen control en fábrica si se trata de paneles, o en obra si se trata de tabiques hormigonados in situ.

Veamos otros ejemplos, ahora en el caso de utilizar mamposterías:

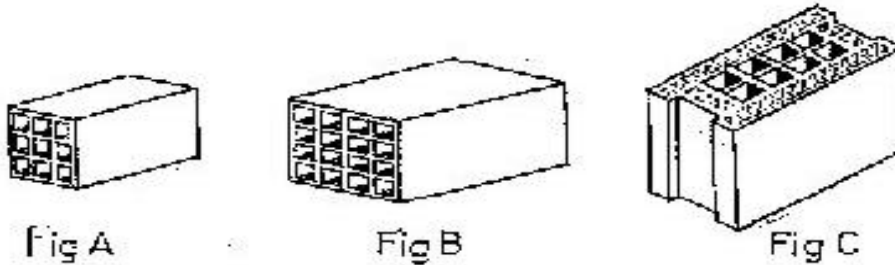
a) Mampostería de ladrillos comunes de $\rho = 1600\text{kg/m}^3$ (con revoques en ambas caras, 2 cm al interior y 2 cm al exterior)

de 15 cm de espesor	$K = 2,89\text{W/m}^2\text{K}$
de 20 cm de espesor	$K = 2,45\text{W/m}^2\text{K}$
de 30 cm de espesor	$K = 1,88\text{W/m}^2\text{K}$

Nótese el mejoramiento significativo de K a medida que aumenta el espesor. Nótese también el altísimo K de la mampostería de 15, incluso de la mampostería de 20, que como veremos luego, no verifican los requisitos mínimos en ningún lugar del país.

b) Mampostería de ladrillos huecos de 20 cm. de espesor (incluido revoque 1 cm en ambas caras)

Figura A: con 9 agujeros horizontales	$K = 1,67\text{W/m}^2\text{K}$
Figura B: con 16 agujeros horizontales	$K = 1,52\text{W/m}^2\text{K}$
Figura C: con agujeros verticales	$K = 1,61\text{W/m}^2\text{K}$



Nótese que el aumento en el número de agujeros horizontales implica una disminución del 9% en el valor de K. En cuanto a los ladrillos con agujeros verticales, como se puede ver en las páginas 24 a 27 de la Norma IRAM 11601, existe una variedad enorme de diseños por lo que debe controlarse si el que se utiliza en la obra responde al cálculo.

Veamos un caso lamentablemente frecuente. Qué pasaría si dejamos al exterior una mampostería de ladrillos huecos de 8 cm de espesor (más 2 cm de revoques)

$$K = 2,50\text{W/m}^2\text{K}$$

valor este decididamente elevado que, como se verá más adelante, es inaceptable para cualquier lugar del país.

c) Mampostería de bloques de hormigón. Salvo especificación en contrario en los ejemplos siguientes la densidad ρ del hormigón es 1750Kg/m^3 y el espesor del bloque es de 19 cm con 1 cm de revoque en ambas caras.

Figura A: de hormigón común, 1 agujero	$K = 2,44\text{ W/m}^2\text{K}$
Figura B: de hormigón común, c/1 agujero y una división de cartón con una película de aluminio en ambas caras	$K = 1,52\text{ W/m}^2\text{K}$
Figura C: de hormigón común c/enrejado de cartón	$K = 1,67\text{ W/m}^2\text{K}$

Figura D: de hormigón común c/relleno
de copos de poliestireno expandido

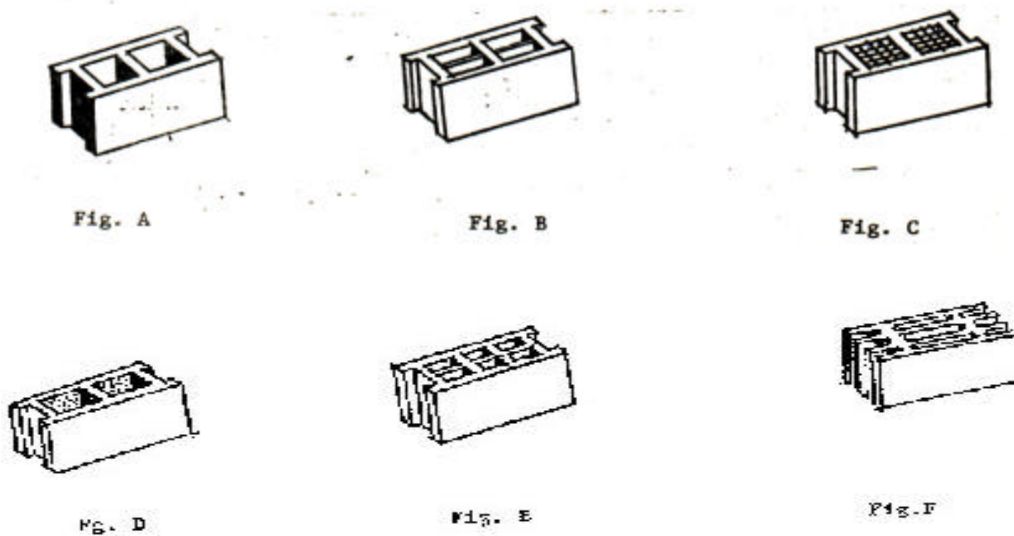
$$K = 1,70 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Figura E: de hormigón de granulado
volcánico ($\rho = 1600\text{Kg/m}^3$)

$$K = 1,52 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Figura F: de hormigón común c/3 agujeros
($\rho = 1887\text{Kg/m}^3$)

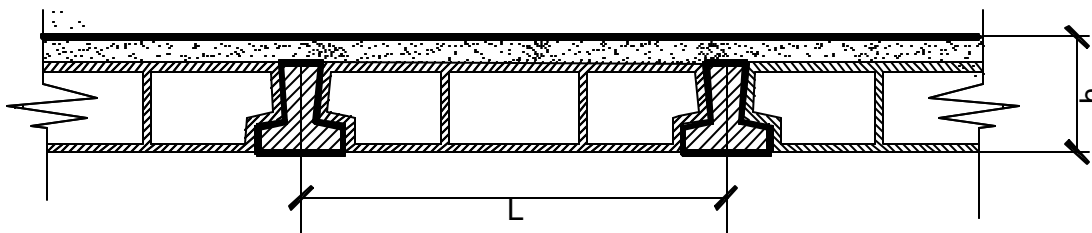
$$K = 1,56 \text{ W/m}^2\text{K}$$



Nótese que el K depende de la cantidad de agujeros que el bloque presenta en el sentido de su espesor, mejorando el K al aumentar el número de agujeros. Nótese también que en el caso de bloques de hormigón común de un agujero se utilizan elementos para compartimentar o se agregan rellenos para mejorar el K que, de lo contrario, sería muy alto.

Veamos seguidamente el caso de forjados cerámicos para entrepisos o techos (Norma IRAM 11601, pág. 31).

a) Para una misma altura del forjado (h), K depende de la distancia L entre viguetas (y en consecuencia, del tamaño del ladrillón). Por ejemplo para una altura total de 12 cm (y calor de abajo, invierno).



si $L < 50 \text{ cm}$ $K = 3,61 \text{ W/m}^2\text{K}$
si $50 \leq L \leq 60 \text{ cm}$ $K = 3,48 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vamos a ordenar los pasos para determinar el K partiendo de la clasificación de las cámaras según su geometría, analizando las alternativas para los distintos grados de ventilación.

II.3.1.2.1 Cámaras de aire de planos paralelos (espesor constante)

Como antes dijimos, este tipo de cámaras se presenta en los muros (cámaras verticales) y en los techos planos con escasa pendiente (cámaras horizontales). También es el caso de los techos inclinados donde el cielorraso sigue la pendiente.

Debemos determinar cuál es el grado de ventilación de la cámara a partir de la tabla N° 4 en función de la relación:

S/L en las verticales.
S/A en las horizontales.

donde: S (cm²) es la sección total de orificios de ventilación
L (m) es la distancia vertical entre orificios de ventilación
A (m²) área del techo

a. Débilmente ventiladas o no ventiladas

Son las que cumplen la siguiente condición:

cámaras verticales	S/L	<20
cámaras horizontales	S/A	< 3

Para el cálculo se utiliza la Tabla N°3, de donde se obtiene la resistencia térmica R_e, tanto para muros (flujo de calor horizontal), en función del espesor de la cámara y del estado de la superficie. Con R_e vamos a la fórmula de R_T y obtenemos K según hemos visto en II.1.

b. Medianamente ventiladas

Son las que cumplen la siguiente condición:

cámaras verticales	20 ≤ S/L ≤ 500	
cámaras horizontales	3 ≤ S/A ≤	30

Para este caso:

$$K = \frac{1}{R_t} = K_1 + \alpha (K_2 - K_1)$$

donde:

K₁ :se calcula según el procedimiento explicado en a.1) y K₂ el que se explicará en a.3).

α: es el coeficiente de ventilación de la cámara, que toma el valor dado en la Tabla N°5 de la IRAM 11601 para cerramientos verticales y 0,4 para cerramientos horizontales.

Nótese que α en la Tabla N°5 depende de la relación “r” de resistencias térmicas de las hojas y de S/L.

Para mejor aclarar:

$$r = R_i / R_e$$

donde:

R_i = es la resistencia térmica de los componentes que se encuentran entre el local y la cámara (hoja interior).

R_e = es la resistencia térmica de los componentes que se encuentran entre la cámara y el exterior (hoja exterior).

c. Muy ventiladas

Son las que cumplen con la siguiente condición:

cámaras verticales $S/L > 500$
cámaras horizontales $S/A > 50$

$$y R_T = 2 R_{si} + R_i$$

con R_i según lo explicado en a.2. Como se observa, se considera inexistente a la hoja exterior.

Si la hoja exterior consiste en una pantalla o protección situada a cierta distancia, el espacio de aire está totalmente abierto y

$$R_T = R_{si} + R_i + R_{se} \quad \text{y como siempre } K = 1/R_T.$$

II.3.1.2.2 Cámara de aire de espesor variable (áticos)

Es el caso típico de los áticos que se configuran entre un techo inclinado y un cielorraso horizontal. Se definen los distintos tipos de cámaras en función de la relación:

$$S/A_f$$

donde:

S (cm^2): es el área total de los orificios de ventilación

A_f (m^2): es el área del forjado (cielorraso) que separa el ático del local habitable.

Para realizar el cálculo de K se ha seguido el método simplificado propuesto en el Anexo B del "Esquema 1 de modificación N°1 a la Norma IRAM 11601".

Como se verá a continuación, según el tipo de cámara existen requisitos para poder aplicar este método. Cuando estos no se cumplan, deberá recurrirse al método original descripto en la Norma IRAM 11601 de 1996 (páginas 9 a 13).

a) Débilmente ventiladas o no ventiladas

Son las que cumplen la condición:

$$\frac{S}{A_f} < 3$$

En este caso:

$$R_T = 0.85 \times (R_f + R_C)$$

Siendo:

R_f : resistencia térmica del forjado

$$R_f = R_{si} + \frac{e_i}{\dots} + R_{se}$$

$$\Sigma \frac{e_i}{\lambda_i}$$

Para R_{si} se toma el valor de la tabla 2 de la IRAM 11601, y para R_{se} ese mismo valor, ya que se considera que en el ático el aire se comporta de similar manera que en el ambiente que está por debajo del forjado (cielorraso).

Por ejemplo, para el flujo de calor ascendente (invierno):

$$R_{si} = R_{se} = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$$

R_C : resistencia térmica de la cubierta:

$$R_C = R_{si} + \Sigma \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{se}$$

Aquí R_{si} y R_{se} se obtienen de la tabla 2. Por ejemplo para ascendente (invierno) :

$$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W} \quad \text{y} \quad R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Los requisitos para poder aplicar este método simplificado, son que R_C sea menor que la resistencia térmica de los tímpanos si los hubiere y el ángulo α° de inclinación del faldón sea menor o igual a 40° .

b) Medianamente ventiladas

Aquí la condición es que:

$$3 \leq S/A_f \leq 30$$

La fórmula a aplicar para R_T es la misma que en a)

$$R_T = 0.85 \times (R_f + R_C)$$

El requisito en este caso es que sea $R_C \leq 0,21 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Si R_C es mayor que $0,21 \text{ m}^2\text{K/W}$ puede optarse por uno de los dos caminos siguientes:

b.1 Utilizar la fórmula:

$$R_T = 0.85 \times (R_f + 0,21)$$

b.2 Aplicar el método original de la IRAM 11601 con el valor real de R_C .

c) Muy ventiladas

Son aquellas en las que:

$$S/A_f > 30$$

$$R_t = 2 R_{si} + R_f$$

Siendo:

R_{si} : la resistencia térmica superficial interna.

R_f : la resistencia térmica de los componentes del forjado =

$$\sum \frac{e_i}{\lambda_i}$$

Ejemplo de Cálculo

Seguidamente se desarrolla un ejemplo de cálculo para los tres tipos de áticos.

Se propone un caso muy usual, en las obras que se ejecutan en la operatoria FO.NA.VI., esto es un techo a dos aguas compuesto por los siguientes materiales:

Forjado

- Cielorraso de machimbre de pino eliotis de 1/2" (11mm cepillado). Densidad 500kg/m³ $\lambda = 0,16 \text{ W/mK}$.
- Barrera de vapor (luego veremos su utilidad) consistente en un film de polietileno de 100 μ (0,10mm).
- Aislación térmica de planchas lana de vidrio de 2" (5cm) de 45kg/m³ de densidad $\lambda = 0,034 \text{ W/mK}$.

Cubierta

- De chapa trapezoidal N°24 (espesor 0,5mm) montada sobre una estructura de madera. Si bien no se considera para el cálculo, desde el punto de vista constructivo, bajo la chapa se debe colocar una barrera hidráulica (por ej. otro film de polietileno) para recoger el agua de condensación originada por la radiación nocturna, que sino deterioraría la lana de vidrio.
- α ángulo de pendiente de la cubierta: 30°.

a) Ático débilmente ventilado o no ventilado ($S/A_f < 3$)

Es requisito que $\alpha \leq 40^\circ$, siendo α de 30°, lo cumplimos.

Supongamos que los tímpanos se ejecutan en mampostería de ladrillos huecos portantes con revoque exterior a la cal con $R_T = 0,59 \text{ m}^2 \text{K/W}$.

Aplicamos $R_T = 0,85 (R_F + R_C)$

$$R_F = 0,10 + \frac{0,011}{0,16} + \frac{0,05}{0,034} + 0,10 = 1,740 \text{ m}^2 \text{K/W}$$

$$R_C = 0,10 + \frac{0,005}{58} + 0,04 = 0,140 \text{ m}^2 \text{K/W}$$

Vemos entonces que $R_C < R_T$ de los tímpanos, con lo cual se cumple la otra condición necesaria para poder aplicar el método simplificado.

Luego $R_T = 0,85 (1,740 + 0,140) = 1,598 \text{ m}^2 \text{K/W}$

y $K = 1/1,598 = 0,626 \text{ W/m}^2\text{K}$

b) Ático medianamente ventilado

Aquí es de aplicación la misma fórmula de R_T , pero con la condición de que $R_C \leq 0,21 \text{ m}^2\text{K/W}$, que también se cumple ($R_C = 0,140 \text{ m}^2\text{K/W}$).

Luego $R_T = 1,598 \text{ m}^2\text{K/W}$

y $K = 0,626 \text{ W/m}^2\text{K}$

c) Ático muy ventilado

$R_T = 2 R_{si} + R_f$

$$R_T = 2 \times 0,10 + \frac{0,011}{0,16} + \frac{0,05}{0,034} = 1,740 \text{ m}^2\text{K/W}$$

y $K = 1/1,740 = 0,575 \text{ W/m}^2\text{K}$

Digamos finalmente que el ejemplo se ha desarrollado hasta ahora para la condición de invierno (flujo de calor ascendente).

Para la condición de verano (flujo de calor descendente), lo único que cambia en el cálculo, son los valores de las resistencias superficiales obtenidos de la tabla 2 de la IRAM 11601. Veamos cuales serían los valores de K, en este caso para las tres posibilidades de ventilación del ático:

a) Ático débilmente ventilado o no ventilado

Forjado $R_{si} = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W} = R_{se}$

Cubierta $R_{si} = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$

$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

$R_T = 2,09 \text{ m}^2\text{K/W}$ $K = 0,478 \text{ W/m}^2\text{K}$

b) Ático medianamente ventilado

$K = 0,478 \text{ W/m}^2\text{K}$, es decir igual que en a).

c) Ático muy ventilado

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

$R_T = 1,880 \text{ m}^2\text{K/W}$ $K = 0,532 \text{ W/m}^2\text{K}$

Veremos en el capítulo III la utilidad de realizar este cálculo para las condiciones de invierno y verano.