

Contenido

	Página
Preámbulo	IV
1 Alcance y campo de aplicación	1
2 Referencias normativas	1
3 Símbolos, magnitudes y unidades	2
4 Definiciones	3
5 Métodos de cálculo de la resistencia térmica total y de la transmitancia térmica de elementos constructivos	5
5.1 Resistencias térmicas de superficie	5
5.2 Elementos simples y homogéneos	6
5.3 Elementos compuestos	6
5.4 Elementos heterogéneos	10
5.5 Elementos y complejos de espesor variable	19
5.6 Pisos en contacto con el terreno	21
5.7 Cálculo de R_T para losas o complejos de piso sobre cámara de aire	22
Anexos	
Anexo A (informativo)	24
Anexo B (informativo) Cálculos de resistencias térmicas de las cámaras de aire no ventiladas	28

Contenido

	Página
Anexo C (informativo) Determinación de resistencias térmicas de cámaras de aire no ventiladas para cualquier espesor	31
Anexo D (informativo) Ejemplos de aplicación	35
Figuras	
Figura 1 Abaco para el cálculo de las resistencias térmicas de las cámaras de aire no ventiladas. Ejemplos de aplicación se indican en Anexo B	8
Figura 2 Ejemplo de heterogeneidad simple	11
Figura 3 Elemento conformado por bloques huecos de hormigón para el cual se puede aplicar el concepto de transmitancia térmica media	12
Figura 4 Elemento reforzado con perfil metálico en I	12
Figura 5 Elemento reforzado con perfil metálico en U	13
Figura 6 Elemento reforzado con perfil metálico en T	14
Figura 7 Losa de hormigón con aislación térmica incorporada	15
Figura 8 Nomograma para determinar el aumento del área de nevadura	16
Figura 9 Elemento con nervaduras y cubiertas metálicas sin aislación térmica. La cámara contiene aislación térmica	17
Figura 10 Nomograma para determinar α	18
Figura 11 Piso sobre cámara	22
Figura B.1 Abaco para el cálculo de las resistencias térmicas de las cámaras de aire no ventiladas	28
Figura B.2 Abaco para el cálculo de las resistencias térmicas de las cámaras de aire no ventiladas	29
Figura B.3 Abaco para el cálculo de las resistencias térmicas de las cámaras de aire no ventiladas	30

Contenido

	Página
Figura C.1 Resistencia térmica de cámaras de aire no ventiladas	32
Figura D.1 Detalles de losa de hormigón armado	35
Figura D.2 Detalle del panel	39
Figura D.3 Detalle del panel, flujo térmico ascendente	41
Tablas	
Tabla 1	2
Tabla 2	5
Tabla 3	9
Tabla 4 Transmitancia térmica lineal, según aislación del piso considerado	21
Tabla 5	23
Tabla A.1 Conductividad térmica de materiales	24
Tabla C.1 Resistencia térmica por unidad de superficie de cámaras de aire no ventiladas - Cámaras de aire verticales, flujo térmico horizontal	33
Tabla C.2 Resistencia térmica por unidad de superficie de cámaras de aire no ventiladas - Cámaras de aire horizontales, flujo térmico ascendente	33
Tabla C.3 Resistencia térmica por unidad de superficie de cámaras de aire no ventiladas - Cámaras de aire horizontales, flujo térmico descendente	34

Acondicionamiento térmico - Envoltente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas

Preámbulo

El Instituto Nacional de Normalización, INN, es el organismo que tiene a su cargo el estudio y preparación de las normas técnicas a nivel nacional. Es miembro de la INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) y de la COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS (COPANT), representando a Chile ante esos organismos.

Esta norma se estudió a través del Comité técnico *Aislación térmica* con el propósito de establecer los procedimientos de cálculo para determinar las resistencias y transmitancias térmicas de elementos constructivos, en particular los de la envoltente térmica, tales como muros perimetrales, complejos de techumbres y pisos, y en general, cualquier otro elemento que separe ambientes de temperaturas distintas.

Para la elaboración de esta norma no se ha tomado en consideración la Norma Internacional ISO 6946:1996 *Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method* para mantener la coherencia con la Reglamentación Nacional, en espera a desarrollar el soporte normativo complementario que permita la correcta aplicación de la norma internacional.

Esta norma está basada en la norma NCh853.Of1991 *Acondicionamiento térmico - Envoltente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias*, y antecedentes técnicos proporcionados por el Comité Técnico.

La norma NCh853 ha sido preparada por la División de Normas del Instituto Nacional de Normalización, y en su estudio participaron los organismos y las personas naturales siguientes:

ACHIPEX A.G. Cámara Chilena de la Construcción, CChC Compañía Industrial El Volcán S.A. Dictuc S.A.	Alberto Dunker D. Manuel Brunet B. Mauricio Muñoz C. Hernán Madrid C. José Miguel Pascual Emilio Moreno Gabriel Rodríguez J. José Pedro Campos R. Augusto Holmberg Oscar Clasing J. Paula Olivares C. Leonardo Dujovne Daniel Súnico H.
Fundación Chile	
Instituto de la Construcción Instituto del Cemento y del Hormigón, ICH Instituto Nacional de Normalización, INN	
Ministerio de Vivienda y Urbanismo, MINVU - DITEC	
Universidad Católica de Chile, Escuela de Construcción Civil Universidad de Chile - Idiem	Waldo Bustamante G. Miguel Bustamante S. Miguel Pérez A. Fernando Yáñez U. Gonzalo Cuello P.
Sociedad Industrial Romeral S.A.	

Esta norma anulará y reemplazará, cuando sea declarada Norma Chilena Oficial, a la norma NCh853.Of1991 *Acondicionamiento térmico - Envoltente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas*, declarada Oficial de la República por Decreto N°44, de fecha 04 de marzo de 1991, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, publicado en el Diario Oficial del 05 de abril de 1991.

Los Anexos A, B, C y D no forman parte de la norma, se insertan sólo a título informativo.

Esta norma ha sido aprobada por el Consejo del Instituto Nacional de Normalización, en sesión efectuada el 28 de mayo de 2007.

Acondicionamiento térmico - Envoltente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas

1 Alcance y campo de aplicación

1.1 Esta norma establece los procedimientos de cálculo para determinar las resistencias y transmitancias térmicas de elementos constructivos, en particular los de la envoltente térmica, tales como muros perimetrales, complejos de techumbres y pisos, y en general, cualquier otro elemento que separe ambientes de temperaturas distintas.

1.2 Los procedimientos de cálculo que se establecen en esta norma están basados en el supuesto que el flujo térmico se desarrolla de acuerdo con la ley de Fourier, en régimen estacionario.

1.3 Los valores determinados según esta norma son útiles para el cálculo de transmisión de calor, potencia de calefacción, refrigeración, energía térmica y aislaciones térmicas de envoltentes en la edificación.

2 Referencias normativas

Los documentos referenciados siguientes son indispensables para la aplicación de esta norma. Para referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para referencias sin fecha se aplica la última edición del documento referenciado (incluyendo cualquier enmienda).

- NCh849 *Aislación térmica - Transmisión térmica - Terminología, magnitudes, unidades y símbolos.*
- NCh850 *Aislación térmica - Método para la determinación de la conductividad térmica en estado estacionario por medio del anillo de guarda.*
- NCh851 *Aislación térmica - Determinación de coeficientes de transmisión térmica por el método de la cámara térmica.*

3 Símbolos, magnitudes y unidades

3.1 En Tabla 1 se presentan los símbolos y unidades de las magnitudes utilizadas en esta norma de acuerdo con NCh849.

Tabla 1

Símbolos, magnitudes y unidades		
Símbolo de la magnitud	Magnitud representada	Unidad
A	área en general, superficie de un elemento constructivo	m^2
e	espesor	m
E	emisividad total de una cámara de aire no ventilada	adimensional
h	coeficiente superficial de transferencia térmica	$W/(m^2 \times K)$
ℓ	longitud de la cámara de aire medida horizontalmente	m
L	longitud	m
K_ℓ	transmitancia térmica lineal	$W/(m \times K)$
R	resistencia térmica de una capa material	$m^2 \times K/W$
R_e	resistencia térmica del forrado exterior de un elemento constructivo	$m^2 \times K/W$
R_g	resistencia térmica de una cámara de aire no ventilada	$m^2 \times K/W$
R_i	resistencia térmica del forrado interior de un elemento constructivo	$m^2 \times K/W$
R_s	resistencia térmica de superficie	$m^2 \times K/W$
R_{si}	resistencia térmica de una superficie al interior de un edificio	$m^2 \times K/W$
R_{se}	resistencia térmica de una superficie al exterior de un edificio	$m^2 \times K/W$
R_T	resistencia térmica total	$m^2 \times K/W$
S	sección total de orificios o rendijas de ventilación al exterior de una cámara de aire	cm^2
U	transmitancia térmica	$W/(m^2 \times K)$
\bar{U}	transmitancia térmica media	$W/(m^2 \times K)$
ε	emisividad	adimensional
λ	conductividad térmica	$W/(m \times K)$

4 Definiciones

En esta cláusula se definen algunos de los conceptos fundamentales utilizados en esta norma o que guardan estrecha relación con ella. Se entiende que estas definiciones no tienen otro alcance que la utilización práctica de tales conceptos en los procedimientos de cálculo y recomendaciones que en ella se presentan. Otros términos se definen en NCh849.

4.1 conductividad térmica, λ : cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras planas y paralelas y de espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras. Se expresa en $W/(m \times K)$

Se determina experimentalmente según NCh850 o NCh851.

4.2 coeficiente superficial de transferencia térmica, h : flujo que se transmite por unidad de área desde o hacia una superficie en contacto con el aire cuando entre éste y la superficie existe una diferencia unitaria de temperaturas. Se expresa en $W/(m^2 \times K)$

Se puede determinar experimentalmente según NCh851.

4.3 complejo: conjunto de elementos constructivos que forman parte de una vivienda o edificio, tales como: complejo de techumbre, complejo de entrepiso, etc.

4.4 elemento: conjunto de materiales que dimensionados y colocados adecuadamente permiten que cumplan una función definida, tal como: muros, tabiques, losas y otros.

4.5 material: componente que por sí solo no cumple una función específica. Ver Anexo A para conocer sus conductividades térmicas.

NOTA - Los valores de conductividad térmica están dados para una temperatura media de 20°C. Se debe tener en cuenta que la conductividad térmica de los materiales varía con la temperatura (ver NCh850). En el caso de los materiales sólidos, su conductividad térmica se midió en estado seco según NCh850.

4.6 resistencia térmica, R : oposición al paso del calor que presentan los elementos de construcción.

Se pueden distinguir cuatro casos:

4.6.1 resistencia térmica de una capa material, R : para una capa de caras planas y paralelas, de espesor e , conformada por un material homogéneo de conductividad térmica λ , la resistencia térmica, R , queda dada por:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (1)$$

NCh853

Se expresa en $\text{m}^2 \times \text{K/W}$.

NOTA - Los materiales que se utilizan en espesores menores que 3 mm ofrecen tan pequeña resistencia térmica, que ésta no se debe considerar en los cálculos prácticos. Tal es el caso de papeles, folios y láminas delgadas. No obstante lo anterior, ellos pueden contribuir a aumentar la resistencia térmica de las cámaras de aire confinadas por ellos, al actuar por reflexión, si la cara del material que mira a dicha cámara es la brillante (lámina de aluminio $\varepsilon = 0,1$ fierro galvanizado brillante $\varepsilon = 0,25$). En tal caso se calculan las resistencias con ayuda del ábaco de Figura 1 (ver 5.3.2.1) o de Anexo B.

4.6.2 resistencia térmica total de un elemento compuesto, R_T : inverso de la transmitancia térmica del elemento. Suma de las resistencias de cada capa del elemento

$$R_T = \frac{1}{U} \quad (2)$$

Se expresa en $\text{m}^2 \times \text{K/W}$.

4.6.3 resistencia térmica de una cámara de aire no ventilada, R_g : resistencia térmica que presenta una masa de aire confinado (cámara de aire). Se determina experimentalmente por medio de NCh851

Se expresa en $\text{m}^2 \times \text{K/W}$.

4.6.4 Resistencia térmica de superficie, R_s : inverso del coeficiente superficial de transferencia térmica h , es decir:

$$R_s = \frac{1}{h} \quad (3)$$

Se expresa en $\text{m}^2 \times \text{K/W}$.

4.7 transmitancia térmica, U : flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre los dos ambientes separados por dicho elemento

Se expresa en $\text{W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$.

Se determina experimentalmente según NCh851 o bien por cálculo como se señala en la presente norma.

4.8 transmitancia térmica lineal, K_l : flujo de calor que atraviesa un elemento por unidad de longitud del mismo y por grado de diferencia de temperatura.

Se expresa en $\text{W}/(\text{m} \times \text{K})$.

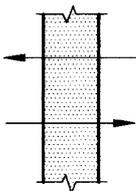
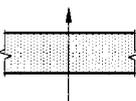
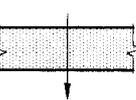
NOTA - Se suele emplear en elementos en los que prevalece claramente la longitud frente a las otras dimensiones, como por ejemplo, un puente térmico lineal, el perímetro de un edificio, etc.

5 Métodos de cálculo de la resistencia térmica total y de la transmitancia térmica de elementos constructivos

5.1 Resistencias térmicas de superficie

En Tabla 2 se dan los valores R_{si} , R_{se} y $(R_{si} + R_{se})$ que se deben considerar para los cálculos señalados en esta norma, según el sentido del flujo de calor, la posición y situación del elemento separador y la velocidad del viento.

Tabla 2

Resistencias térmicas de superficie en $m^2 \times K/W$							
Posición del elemento y sentido del flujo de calor		Situación del elemento					
		De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
		R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$
Flujo horizontal en elementos verticales o con pendiente mayor que 60° respecto a la horizontal		0,12	0,05	0,17	0,12	0,12	0,24
Flujo ascendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal		0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
Flujo descendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal		0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

NOTAS

- Estos valores se han obtenido experimentalmente por el método de NCh851.
- Los valores de esta tabla corresponden a velocidades del viento en el exterior menores que 10 km/h. Para velocidades superiores se debe considerar $R_{se} = 0$.
- Bajo condiciones de pérdidas térmicas por parte del local (invierno), en general, el flujo de calor es ascendente a través de complejos de techumbres y descendente a través de los pisos.
- Bajo condiciones de ganancias térmicas por parte del local (verano), en general, el flujo de calor es ascendente a través de los pisos y descendente a través de las techumbres.

5.2 Elementos simples y homogéneos

Para un elemento de caras planas y paralelas, de espesor e , conformado por un solo material de conductividad térmica λ , la resistencia térmica total queda dada por:

$$R_T = \frac{1}{U} = R_{si} + \frac{e}{\lambda} + R_{se} \quad (4)$$

en que:

e/λ = resistencia térmica del material;

R_{si} = resistencia térmica de superficie al interior;

R_{se} = resistencia térmica de superficie al exterior.

5.3 Elementos compuestos

5.3.1 Elementos compuestos por varias capas homogéneas

Para un elemento formado por una serie de capas o placas planas y paralelas de materiales distintos en contacto entre sí, la resistencia térmica total, queda dada por:

$$R_T = \frac{1}{U} = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se} \quad (5)$$

en que:

$\sum e/\lambda$ = sumatoria de las resistencias térmicas de las capas que conforman el elemento.

5.3.2 Elementos con cámaras de aire

Cuando el elemento está formado por capas o placas planas y paralelas separadas entre sí, que dejan cámaras de aire, la resistencia térmica de éstas se calcula como sigue:

5.3.2.1 Resistencia térmica de las cámaras de aire

La resistencia térmica aportada por la cámara depende de la ventilación que en ella se tenga. Por su parte, el grado de ventilación de las cámaras se puede relacionar como sigue:

- Para elementos verticales se considera el cociente entre la sección total de orificios o rendijas de ventilación al exterior, (S) la longitud de la cámara de aire medida horizontalmente, ℓ .
- Para elementos horizontales se considera el cociente entre la sección total de orificios o rendijas de ventilación al exterior, (S) y la superficie de la cámara de aire, A .

Dependiendo, entonces, del grado de ventilación de la cámara, se pueden distinguir tres casos de elementos con cámara de aire:

Caso a - Elementos con cámara de aire no ventilada

Se consideran las cámaras de aire como no ventiladas cuando se cumplen las condiciones siguientes:

S/ℓ menor que 20 cm²/m para elementos verticales.

S/A menor que 3 cm²/m² para elementos horizontales.

En este caso, la resistencia térmica del elemento se calcula por la fórmula siguiente:

$$R_T = \frac{1}{U} = R_{si} + R_i + R_g + R_e + R_{se} \quad (6)$$

En Figura 1 se pueden obtener los valores que se deben considerar en el cálculo de las resistencias térmicas que ofrecen las cámaras de aire no ventiladas, cuando éstas presentan espesores iguales o mayores a los óptimos de resistencia térmica y sus paredes tienen emisividades similares, $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$; o bien, una de sus paredes está conformada por materiales corrientes de construcción, tales como: madera, hormigón, ladrillos, vidrio, papeles no metálicos, etc., cuya emisividad es igual a 0,9 y la otra pared presenta valores de emisividad diferente.

Con el objeto de aclarar el uso del ábaco, en Anexo B se dan algunos ejemplos.

De Anexo C se pueden obtener los valores de la resistencia térmica en función del espesor de la cámara, cuyas paredes están conformadas por materiales de diferentes emisividades.

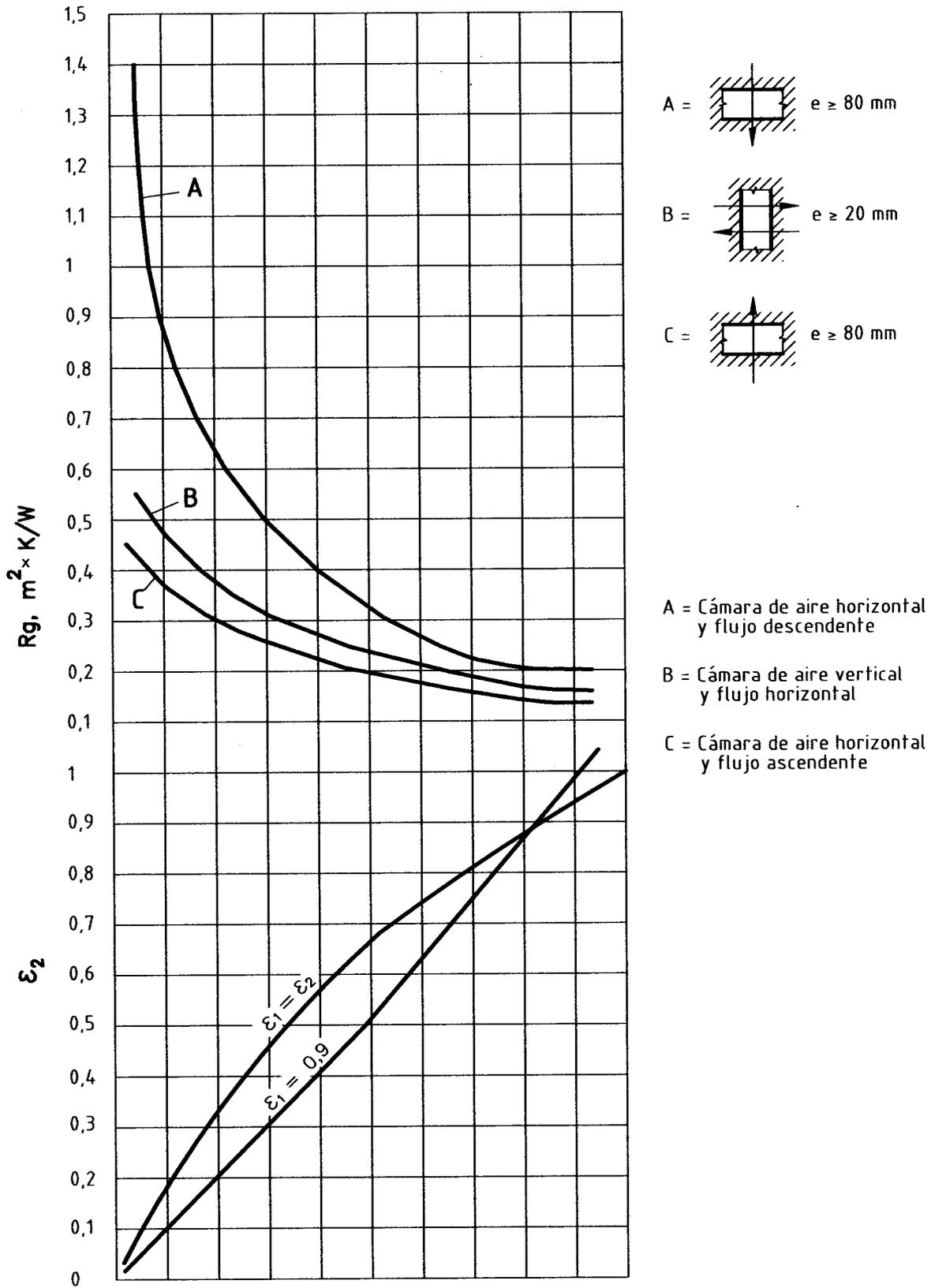


Figura 1 - Abaco para el cálculo de las resistencias térmicas de las cámaras de aire no ventiladas. Ejemplos de aplicación se indican en Anexo B

Caso b - Elementos con cámara de aire medianamente ventilada

Se consideran las cámaras de aire como medianamente ventiladas cuando se cumplen las condiciones siguientes:

$$20 \leq S/\ell < 500 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ para elementos verticales.}$$

$$3 \leq S/A < 30 \text{ cm}^2/\text{m}^2 \text{ para elementos horizontales.}$$

En este caso, la transmitancia térmica del elemento se calcula por la fórmula siguiente:

$$U = \frac{1}{R_T} = U_1 + \alpha(U_2 - U_1) \quad (7)$$

en que:

U_1 = transmitancia térmica del elemento calculada bajo el supuesto que la cámara no está ventilada (Caso a);

U_2 = transmitancia térmica del elemento calculada bajo el supuesto que la cámara se encuentra muy ventilada (Caso c);

α = coeficiente de ventilación de la cámara, que toma el valor de 0,4 para elementos horizontales y el valor de Tabla 3 para elementos verticales.

Tabla 3

Coeficiente de ventilación, α , de cámaras verticales		
Relación entre las resistencias térmicas de las capas o placas del elemento entre las cuales se encuentra la cámara	Relación S/ℓ en cm^2/m	
	20 hasta 200	sobre 200 hasta 500
R_e/R_i		
$R_e/R_i < 0,1$	0,10	0,25
$0,1 < R_e/R_i < 0,6$	0,20	0,45
$0,6 < R_e/R_i < 1,2$	0,30	0,60

Caso c - Elementos con cámara de aire muy ventilada

Se consideran las cámaras de aire como muy ventiladas cuando se cumplen las condiciones siguientes:

$$S/\ell \text{ mayor o igual que } 500 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ para elementos verticales.}$$

$$S/A \text{ mayor o igual que } 30 \text{ cm}^2/\text{m}^2 \text{ para elementos horizontales.}$$

En el cálculo de la resistencia térmica total del elemento se pueden presentar dos situaciones:

1) **El aire dentro de la cámara se mantiene en reposo**

En este caso se desprecia la resistencia de la cámara de aire, R_g , y la del forrado exterior del elemento, R_e .

La resistencia térmica total se calcula, entonces, mediante la fórmula siguiente:

$$R_T = \frac{1}{U} = 2R_{si} + R_i \quad (8)$$

Los valores que se deben considerar para la resistencia de superficie R_{si} son los dados en Tabla 2, sea para elementos verticales u horizontales.

2) **El aire de la cámara está en movimiento**

Si la capa o placa exterior del elemento consiste en una pantalla o protección situada a cierta distancia de la capa o placa interior y no existe tabiquerías que conformen una cámara, el espacio está totalmente abierto. En este caso la resistencia térmica total del elemento queda dada por:

$$R_T = \frac{1}{U} = R_{si} + R_i + R_{se} \quad (9)$$

R_{si} y R_{se} se obtienen de Tabla 2 para elementos de separación con el ambiente exterior.

5.4 Elementos heterogéneos

5.4.1 Introducción

Corrientemente los elementos constructivos no son homogéneos, ya que existen, en mayor o menor grado, discontinuidades que los transforman en elementos térmicamente heterogéneos. Es el caso, por ejemplo, de las juntas de pega en las albañilerías, las nervaduras de paneles prefabricados, los ladrillos y bloques con huecos o perforaciones, los pilares y vigas, los encuentros entre muros y losas, los ensambles metálicos, etc.

El método de cálculo de los coeficientes de transmisión térmica depende, entonces, de la influencia que presentan las discontinuidades sobre la uniformidad del flujo de calor que se transmite a través del elemento. De acuerdo con esto los elementos se pueden clasificar como de heterogeneidades simples o heterogeneidades complejas.

5.4.2 Elementos con heterogeneidades simples

Se consideran como de heterogeneidades simples aquellos elementos en los que se cumplen las condiciones siguientes:

- heterogeneidad queda perfectamente definida y delimitada por dos planos perpendiculares a las caras del elemento;
- el conjunto tiene una constitución tal, que no se producen flujos térmicos laterales de importancia entre la heterogeneidad y el resto del elemento (ver Figura 2).

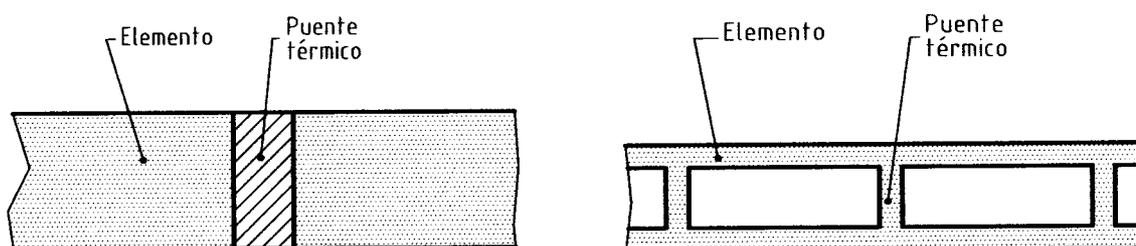


Figura 2 - Ejemplo de heterogeneidad simple

Como ejemplo de heterogeneidades simples que corrientemente se presentan en la construcción se pueden citar: las estructuras de paneles de madera con cámaras de aire, las nervaduras en paneles y losas de hormigón con cámaras de aire, los pilares y cadenas de hormigón en muros de albañilería, las juntas de pega en albañilerías con ladrillos macizos, etc.

El método de cálculo de la transmitancia térmica media de un elemento con heterogeneidades simples viene dado por la fórmula siguiente:

$$\bar{U} = \frac{1}{R_T} = \frac{\sum U_i \times A_i}{\sum A_i} \quad (10)$$

siendo A_i la superficie de la parte del elemento a la que corresponda una transmitancia térmica U_i .

Este procedimiento puede ser aplicado, por ejemplo, para obtener la transmitancia térmica media de elementos construidos con bloques huecos de hormigón, siempre que el espesor del espacio de aire sea mayor que 20 mm y que, a su vez, el espacio sea suficientemente ancho comparado con el espesor (ver Figura 3). No es aplicable para el caso de ladrillos huecos o perforados en los cuales las cámaras de aire son pequeñas.

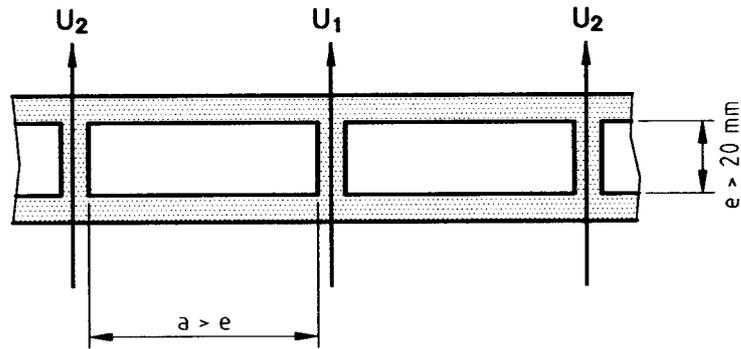


Figura 3 - Elemento conformado por bloques huecos de hormigón para el cual se puede aplicar el concepto de transmitancia térmica media

5.4.3 Elementos con heterogeneidades complejas

Se consideran como de heterogeneidades complejas aquellos elementos en los que no se cumple cualesquiera de las condiciones enunciadas en 5.4.2.

La transmitancia térmica media de estos elementos conviene determinarla experimentalmente según NCh851, dado la complejidad de su determinación por cálculo.

Metodologías de cálculo para casos típicos de elementos con heterogeneidades complejas se dan a continuación.

NOTA - Por sobre los valores obtenidos mediante el uso de las fórmulas matemáticas propuestas a continuación, se consideran como válidos los resultados obtenidos a partir de ensayos, realizados e informados por laboratorios de ensayo acreditados, según NCh851.

5.4.3.1 Elemento con perfil metálico en I

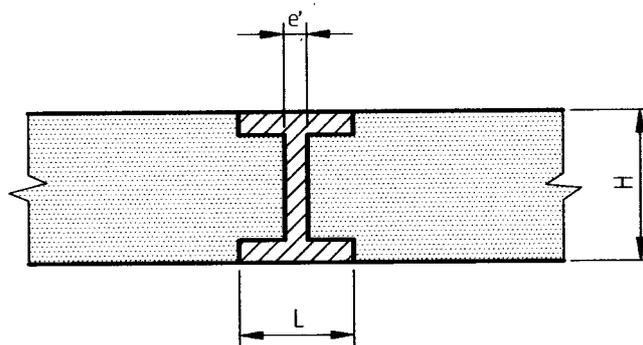


Figura 4 - Elemento reforzado con perfil metálico en I

La resistencia térmica del perfil metálico se calcula como sigue:

$$R = \frac{1}{U} = (R_{si} + R_{se}) \frac{L}{L + e'} + \frac{L}{\lambda_m} \left(\frac{H}{e'} - 1 \right) \quad (11)$$

en que:

L = ala del perfil, m (ancho de la heterogeneidad);

e' = espesor del nervio del perfil, m;

H = altura del perfil, m (espesor del elemento);

λ_m = conductividad térmica del metal, W/(m x K).

5.4.3.2 Elemento con perfil metálico en U

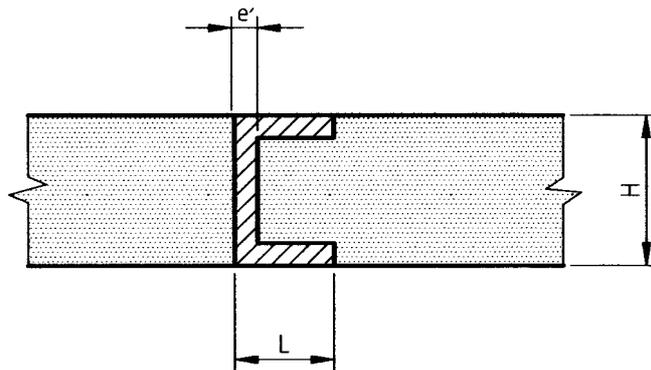


Figura 5 - Elemento reforzado con perfil metálico en U

La resistencia térmica del perfil metálico se calcula como sigue:

$$R = \frac{1}{U} = (R_{si} + R_{se}) \frac{L}{L + e'} + \frac{L}{\lambda_m} \times \frac{H}{e'} \quad (12)$$

en que:

L = ala del perfil, m (ancho de la heterogeneidad);

e' = espesor del nervio del perfil, m;

H = altura del perfil, m (espesor del elemento);

λ_m = conductividad térmica del metal, W/(m x K).

5.4.3.3 Elemento con perfil metálico en T

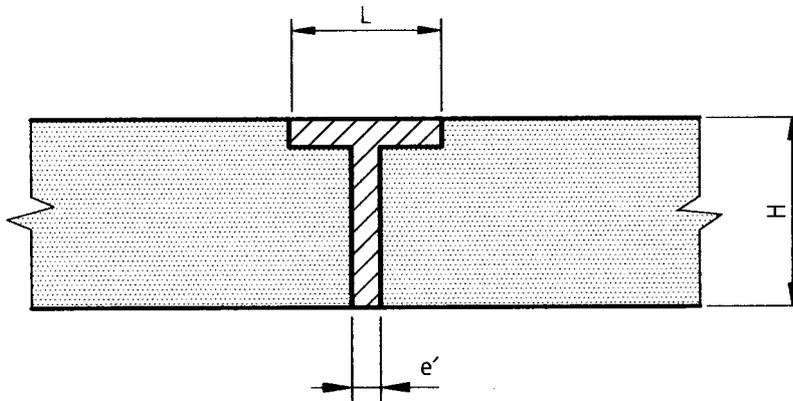


Figura 6 - Elemento reforzado con perfil metálico en T

La resistencia térmica del perfil metálico se calcula como sigue:

a) Pletina al lado interior

$$R = \frac{1}{U} = R_{si} \times \frac{e'}{L + e'} + \frac{1}{\lambda_m} (H - 0,75e') + R_{se} \quad (13)$$

en que:

e' = espesor del nervio del perfil, m (ancho de la heterogeneidad).

b) Pletina al lado exterior

$$R = \frac{1}{U} = R_{si} + \frac{1}{\lambda_m} \times (H - 0,75e') + R_{se} \times \frac{e'}{L + e'} \quad (14)$$

en que:

e' = espesor del nervio del perfil, m (ancho de la heterogeneidad).

5.4.3.4 Losas de hormigón con aislación térmica incorporada

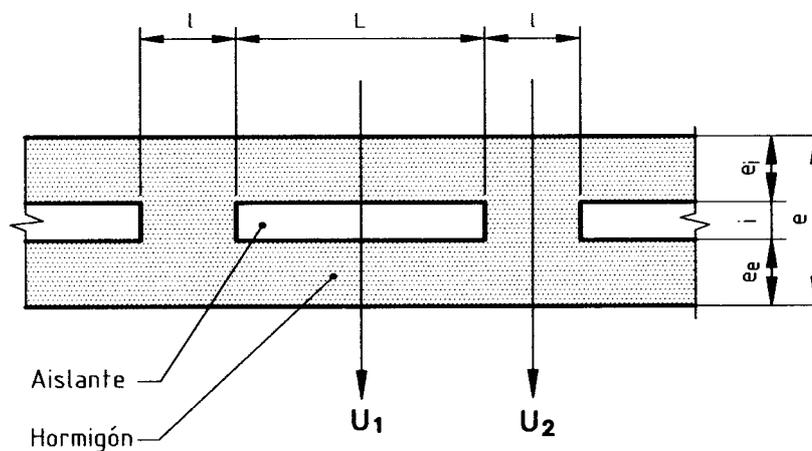
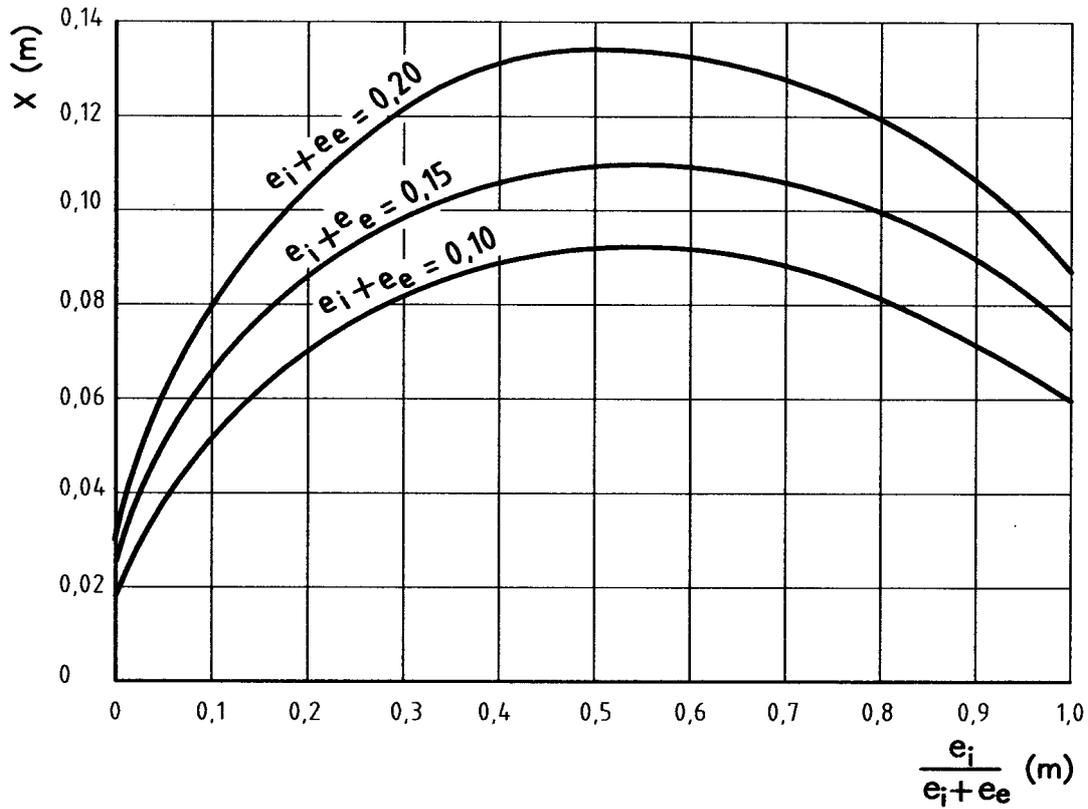


Figura 7 - Losa de hormigón con aislación térmica incorporada

La transmitancia térmica media del elemento se calcula como sigue:

Calcular, empleando fórmula (10), pero aumentando el área de las nervaduras y disminuyendo, en el mismo valor, la de las partes corrientes de acuerdo al nomograma de Figura 8 que da la cantidad x (m), que se debe agregar al ancho, l , (m) de la nervadura, para diferentes espesores totales de hormigón $(e_i + e_e)$, en m, en función de la razón $e_i/(e_i + e_e)$.

Aplicar este método, sólo en los límites siguientes: conductividad térmica del aislante $\lambda_a < 0,06 \text{ W/(m x K)}$ y distancia media entre nervaduras, $L > 3 \ell$. Para los bordes de estos elementos, tomar para el aumento y disminución de áreas, el valor $x/2$.



NOTA - Ver ejemplo de aplicación en Anexo D, problema a).

Figura 8 - Nomograma para determinar el aumento del área de nervadura

5.4.3.5 Elemento con nervaduras y cubiertas metálicas, sin aislación térmica en la nervadura

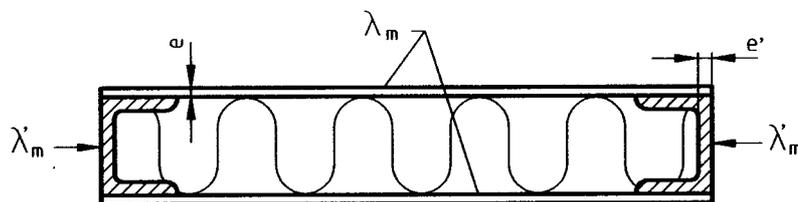


Figura 9 - Elemento con nervaduras y cubiertas metálicas sin aislación térmica. La cámara contiene aislación térmica

La transmitancia térmica media de este elemento, el cual no tiene aislación térmica en la nervadura, se calcula como sigue:

$$\bar{U} = U_o + \delta \frac{L_n}{A} \sqrt{e' \times \lambda_m} \quad (15)$$

en que:

U_o = transmitancia térmica en la parte corriente del elemento, calculada según fórmula 5;

δ = $1,1 \text{ W}^{1/2}/(\text{m} \times \text{K}^{1/2})$;

L_n = perímetro, m, de la nervadura;

A = superficie, m^2 , del elemento;

e' = espesor de la nervadura;

λ_m = conductividad térmica, $\text{W}/(\text{m} \times \text{K})$, de la nervadura.

Aplicar este método, sólo en los límites siguientes:

$e\lambda_m < 0,10 \text{ W/K}$; $0,6 \leq U_o \leq 1,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$; la menor dimensión entre nervaduras $> 0,5 \text{ m}$; e' (que puede ser diferente de e) $< 0,002 \text{ m}$; e'/λ_m (resistencia térmica por unidad de superficie de la nervadura) $< 0,0017 \text{ m}^2 \times \text{K}/\text{W}$.

NOTA - Ver ejemplo de aplicación en Anexo D, problema b).

5.4.3.6 Elemento con nervaduras y cubiertas metálicas, con aislación térmica

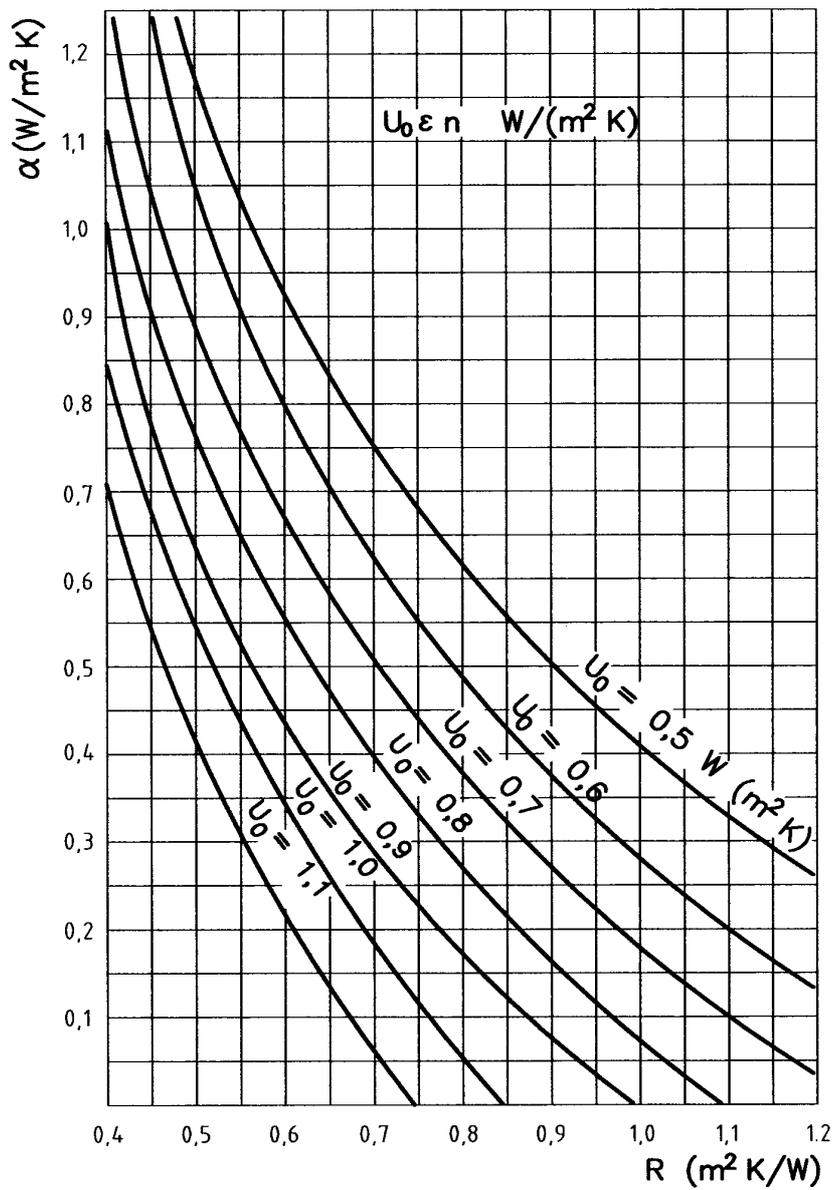
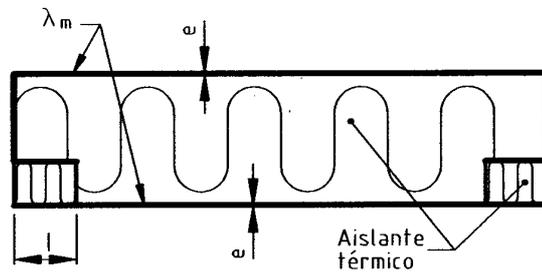


Figura 10 - Nomograma para determinar α

La transmitancia térmica media de este elemento, el cual tiene aislación térmica en la nervadura, se calcula como sigue:

$$\bar{U} = U_o + \alpha \ell \frac{L_n}{A} \quad (16)$$

en que:

U_o = transmitancia térmica en la parte corriente del elemento, calculada según fórmula 5;

α = coeficiente, $W/(m^2 \times K)$, en función de la resistencia térmica del aislante térmico, R y U_o , deducido del nomograma de Figura 10;

ℓ = ancho del aislante térmico, m;

L_n = perímetro, m, de la nervadura;

A = superficie del elemento, m^2 .

Aplicar este método, sólo en los límites siguientes:

$e \times \lambda_m < 0,10 \text{ W/K}$; $U_o > 0,5 \text{ W}/(m^2 \times K)$; la menor dimensión entre nervaduras $> 0,5 \text{ m}$; la resistencia térmica por unidad de superficie del aislante térmico $e_\alpha / \lambda_\alpha > 0,4 \text{ m}^2 \text{ K/W}$.

NOTA - Ver ejemplo de aplicación en Anexo D, problema c).

5.5 Elementos y complejos de espesor variable

5.5.1 Elementos con capas de espesor variable

Cuando las capas no son totalmente planas y paralelas o presentan cierta irregularidad en su espesor, la resistencia térmica se obtiene por medio de las fórmulas dadas en 5.2 y 5.3, según sea el caso.

5.5.2 Complejos con cámara de aire de espesor variable

Este punto se refiere principalmente a espacios como desvanes y entretechos que conforman una cámara de aire de espesor variable.

El grado de ventilación del entretecho o desván se puede relacionar con el cociente entre la sección total de orificios o rendijas en sus cerramientos exteriores expresada en centímetros cuadrados, y la superficie A_i de la losa o cielo que lo separa del local calefaccionado.

NCh853

De acuerdo con el grado de ventilación se pueden presentar tres casos:

Caso a - Complejo con cámara de aire débilmente ventilada

Se considera que la cámara está débilmente ventilada cuando:

$$S/A_i \text{ es menor que } 3 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

El cálculo de la resistencia térmica total ($\text{m}^2 \times \text{K}/\text{W}$) del complejo se realiza mediante la fórmula siguiente:

$$R_T = \frac{1}{U} = \frac{1}{U_i} + \frac{A_i}{\sum (U_e \times A_e)} \quad (17)$$

en que:

U_i = transmitancia térmica del elemento de cielo;

$\sum (U_e \times A_e)$ = sumatoria de los productos entre la transmitancia térmica y el área de los elementos exteriores que delimitan la cámara de aire;

A_i = área del elemento de cielo (que separa el entretecho o desván del local calefaccionado).

Caso b - Complejo con cámara de aire medianamente ventilada

Se considera que la cámara de aire está medianamente ventilada cuando:

$$3 \text{ cm}^2/\text{m}^2 \leq S/A_i \leq 30 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

en este caso:

$$R_T = \frac{1}{U} = \frac{1}{U_i} + \frac{1}{\alpha + \sum (U_e \times A_e)/A_i} \quad (18)$$

en que:

U_i, U_e = tienen el mismo significado que en el Caso a;

A_e y A_i

α = coeficiente igual a $5 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$.

Caso c - Complejo con cámara de aire muy ventilada

Se considera que la cámara está muy ventilada cuando:

$$S/A_i \text{ es mayor o igual que } 30 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

NOTA - Un ejemplo típico de esta situación es el de complejos de techumbre con cubierta formada por planchas, tejas, u otros similares sin forro o revestimiento del entretecho.

En este caso la resistencia térmica total del conjunto se calcula con fórmula 9.

5.6 Pisos en contacto con el terreno

Para pisos en contacto con el terreno, en general, se emplea el concepto de transmitancia térmica lineal, K_ℓ , que es igual al flujo de calor que sale del local por metro de perímetro exterior del piso considerado, por cada grado Celsius de diferencia de temperaturas entre el local y el ambiente exterior.

Según la aislación del piso, se debe considerar para K_ℓ , los valores siguientes:

Tabla 4 - Transmitancia térmica lineal, según aislación del piso considerado

Aislación del piso o radier	Resistencia térmica total, R_T $\text{m}^2 \times \text{°C}/\text{W}$	Transmitancia térmica lineal, K_ℓ $\text{W}/(\text{m} \times \text{K})$
Corriente	0,15 - 0,25	1,4
Medianamente aislado	0,26 - 0,60	1,2
Aislado	> 0,60	1,0

5.7 Cálculo de R_T para losas o complejos de piso sobre cámara de aire

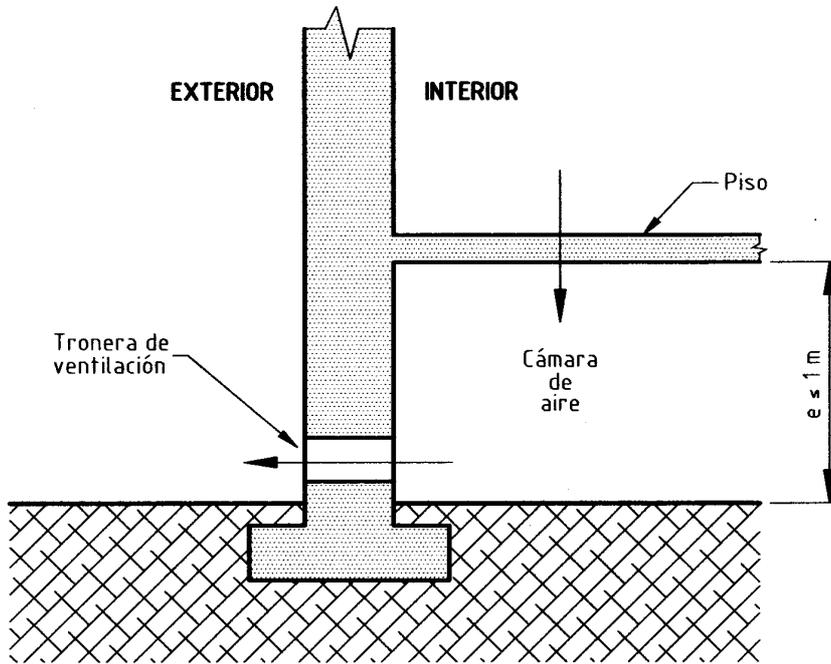


Figura 11 - Piso sobre cámara

Este método es aplicable en el caso que se tenga cámara de aire de una altura menor o igual que 1 m (ver Figura 11). En caso contrario la cámara se considera como un local y R_T se calcula según 5.2, 5.3 ó 5.4, donde R_{se} toma los valores dados en Tabla 2, según sean las características de circulación del aire en la cámara o local.

La resistencia térmica total de cálculo que se asigna a la losa o complejo de piso queda dada por:

$$R_T = \frac{1}{U} = R_p + \frac{1}{\alpha + 3(P_{ex}/A)} \tag{19}$$

en que:

R_p = resistencia térmica de la losa o piso sobre enviado, que separa el local de la cámara de aire, en $m^2 \times K/W$, calculada tomando la suma de las resistencias térmicas superficiales ($R_{si} + R_{se}$) y la suma de los e/λ de la losa;

P_{ex} = perímetro exterior (en planta) de la cámara de aire, en metros;

A = superficie en planta de la cámara de aire, en metros cuadrados;

α = coeficiente cuyo valor se obtiene de Tabla 5 en función del grado de ventilación de la cámara.

Tabla 5

Valores del coeficiente α		
Grado de ventilación	Relación S/A en cm^2/m^2	Coeficiente α en $\text{W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$
Cámara de aire ventilada	10 a 40	1,6
Cámara de aire medianamente ventilada	2 a 10	0,4
Cámara de aire muy poco ventilada	< 2	0

Anexo A (Informativo)

Tabla A.1 - Conductividad térmica de materiales

Material	Densidad aparente kg/m ³	Conductividad térmica, λ W/(m x K)
Agua líquida a 0°C	1 000	0,59
Agua líquida a 94°C	1 000	0,69
Aire quieto a 0°C	0,0012	0,024
Aire quieto a 100°C	-	0,031
Adobe	1 100 - 1 800	0,90
Aluminio	2 700	210
Arcilla	2 100	0,93
Arcilla expandida	300	0,09
Arcilla expandida	450	0,11
Arena	1 500	0,58
Aserrín de madera	190	0,06
Asfaltos	1 700	0,7
Azulejos	-	1,05
Baldosas cerámicas	-	1,75
Betún	1 050	0,16
Bronce	8 500	64
Cascote de ladrillo	1 300	0,41
Capotillo de arroz	117	0,06
Cebada	470	0,07
Cobre	8 930	380
Escorias	800	0,25
	1 000	0,29
	1 200	0,34
	1 400	0,41
Enlucido de yeso	800	0,35
	1 000	0,44
	1 200	0,56
Enlucido de yeso con perlita	570	0,18
Fibro-cemento	920	0,22
	1 000	0,23
	1 135	0,23
Fundición y acero	7 850	58
Grava rodada o de machaqueo	1 700	0,81
Hormigón armado (normal)	2 400	1,63
Hormigón con áridos ligeros	1 000	0,33

(continúa)

Tabla A.1 - Conductividad térmica de materiales (continuación)

Material	Densidad aparente kg/m ³	Conductividad térmica, λ W/(m x K)
Hormigón con áridos ligeros	1 400	0,55
Hormigón celular con áridos silíceos	600	0,34
Hormigón celular con áridos silíceos	1 000	0,67
Hormigón celular con áridos silíceos	1 400	1,09
Hormigón celular sin áridos	305	0,09
Hormigón en masa con grava normal:		
- con áridos ligeros	1 600	0,73
- con áridos ordinarios, sin vibrar	2 000	1,16
- con áridos ordinarios, vibrados	2 400	1,63
Hormigón en masa con arcilla expandida	500	0,12
Hormigón en masa con arcilla expandida	1 500	0,55
Hormigón con cenizas	1 000	0,41
Hormigón con escorias de altos hornos	600	0,17
	800	0,22
	1 000	0,30
Hormigón normal, con áridos silíceos	600	0,34
	800	0,49
	1 000	0,67
Hormigón de viruta de madera	450 - 650	0,26
Hormigón de fibras de madera	300 - 400	0,12
	400 - 500	0,14
	500 - 600	0,16
Hormigón liviano a base de cascarilla de arroz	570	0,128
	780	0,186
	850	0,209
	1 200	0,326
Hormigón liviano a base de poliestireno expandido	260	0,088
	320	0,105
	430	0,134
	640	0,214
	840	0,269
	1 100	0,387
Ladrillo macizo hecho a máquina	1 000	0,46
	1 200	0,52
	1 400	0,60
	1 800	0,79
	2 000	1,0

(continúa)

Tabla A.1 - Conductividad térmica de materiales (continuación)

Material	Densidad aparente kg/m ³	Conductividad térmica, λ W/(m x K)
Ladrillo hecho a mano	-	0,5
Láminas bituminosas	1 100	0,19
Lana de amianto	100	0,061
	200	0,063
	400	0,12
Lana mineral, colchoneta libre	40	0,042
	50	0,041
	70	0,038
	90	0,037
	110	0,040
	120	0,042
Lana mineral granulada	20	0,069
	30	0,060
	40	0,055
	60	0,048
	80	0,044
	100	0,041
	120	0,042
	140	0,042
Linóleo	1 200	0,19
Maderas		
- álamo	380	0,091
- alerce	560	0,134
- coigüe	670	0,145
- lingue	640	0,136
- pino insigne	410	0,104
- raulí	580	0,121
- roble	800	0,157
Maderas, tableros aglomerados de partículas	400	0,095
	420	0,094
	460	0,098
	560	0,102
	600	0,103
	620	0,105
	650	0,106
Maderas, tableros de fibra	850	0,23
	930	0,26
	1 030	0,28
Mármol	2 500 - 2 850	2,0 - 3,5

(continúa)

Tabla A.1 - Conductividad térmica de materiales (conclusión)

Material	Densidad aparente kg/m ³	Conductividad térmica, λ W/(m x K)
Moquetas, alfombras	1 000	0,05
Morteros de cal y bastardos	1 600	0,87
Mortero de cemento	2 000	1,40
Papel	1 000	0,13
Perlita expandida	90	0,050
Plancha de corcho	100	0,040
	200	0,047
	300	0,058
	400	0,066
	500	0,074
Plomo	11 300	35
Poliestireno expandido	10	0,0430
	15	0,0413
	20	0,0384
	30	0,0361
Poliuretano expandido	25	0,0272
	30	0,0262
	40	0,0250
	45	0,0245
	60	0,0254
	70	0,0274
Productos minerales en polvo (kieselgur, polvo mineral)	200	0,08
	400	0,12
	600	0,16
	800	0,21
	1 000	0,27
	1 200	0,34
	1 400	0,40
Rocas compactadas	2 500 - 3 000	3,50
Rocas porosas	1 700 - 2 500	2,33
Vermiculita en partículas	99	0,047
Vermiculita expandida	100	0,070
Vidrio plano	2 500	1,2
Yeso-cartón	650	0,24
	700	0,26
	870	0,31

Anexo B
(Informativo)

Cálculos de resistencias térmicas de las cámaras de aire no ventiladas

Ejemplos de aplicación

- a) Calcular la resistencia térmica de un elemento vertical cuya cámara de aire no ventilada tiene un espesor de 20 mm (flujo térmico horizontal). Las emisividades son iguales: $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,65$.

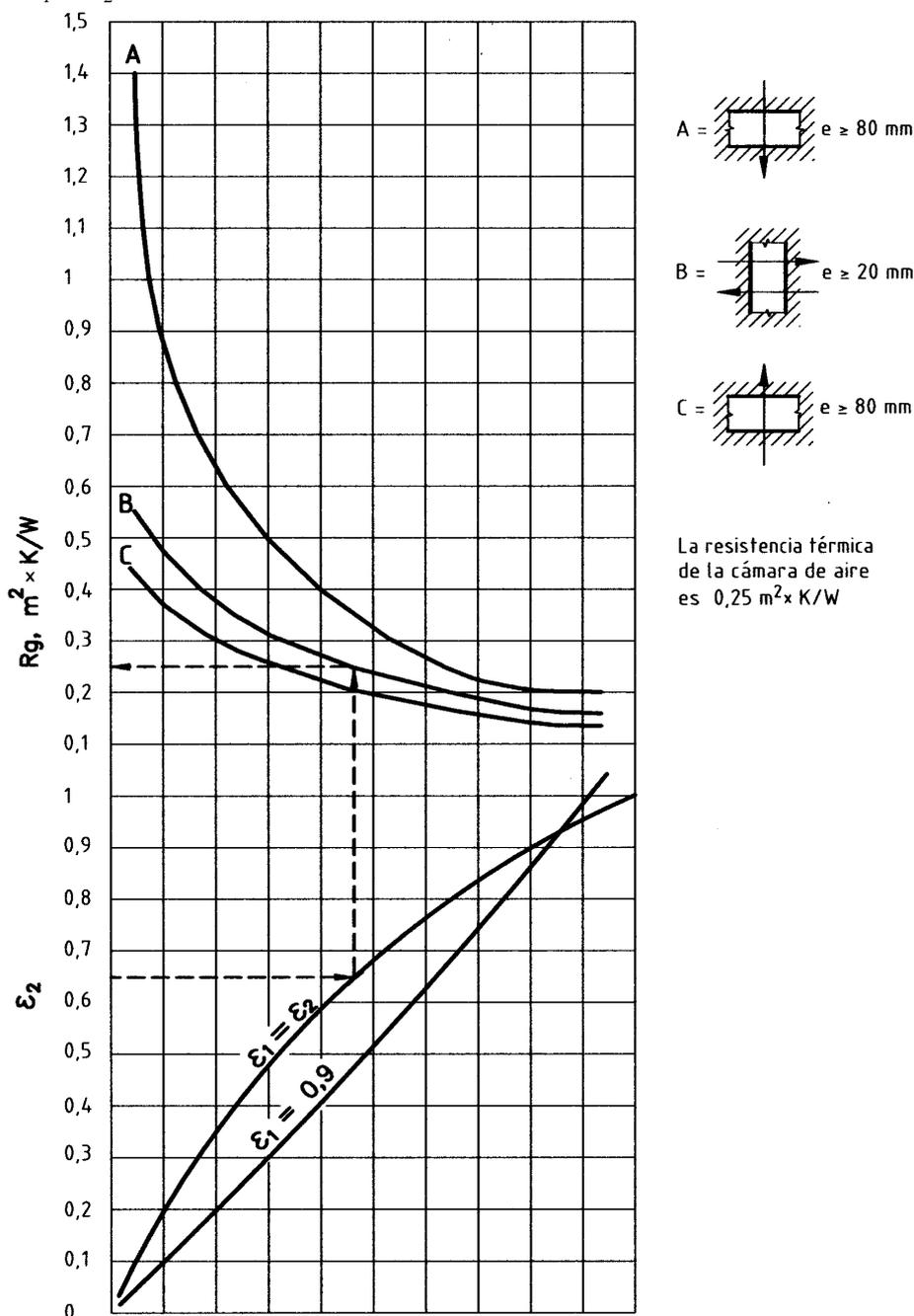


Figura B.1 - Abaco para el cálculo de las resistencias térmicas de las cámaras de aire no ventiladas

b) Calcular la resistencia térmica de un elemento vertical cuya cámara de aire no ventilada tiene un espesor de 20 mm (flujo térmico horizontal); $\varepsilon_1 = 0,9$ y $\varepsilon_2 = 0,25$.

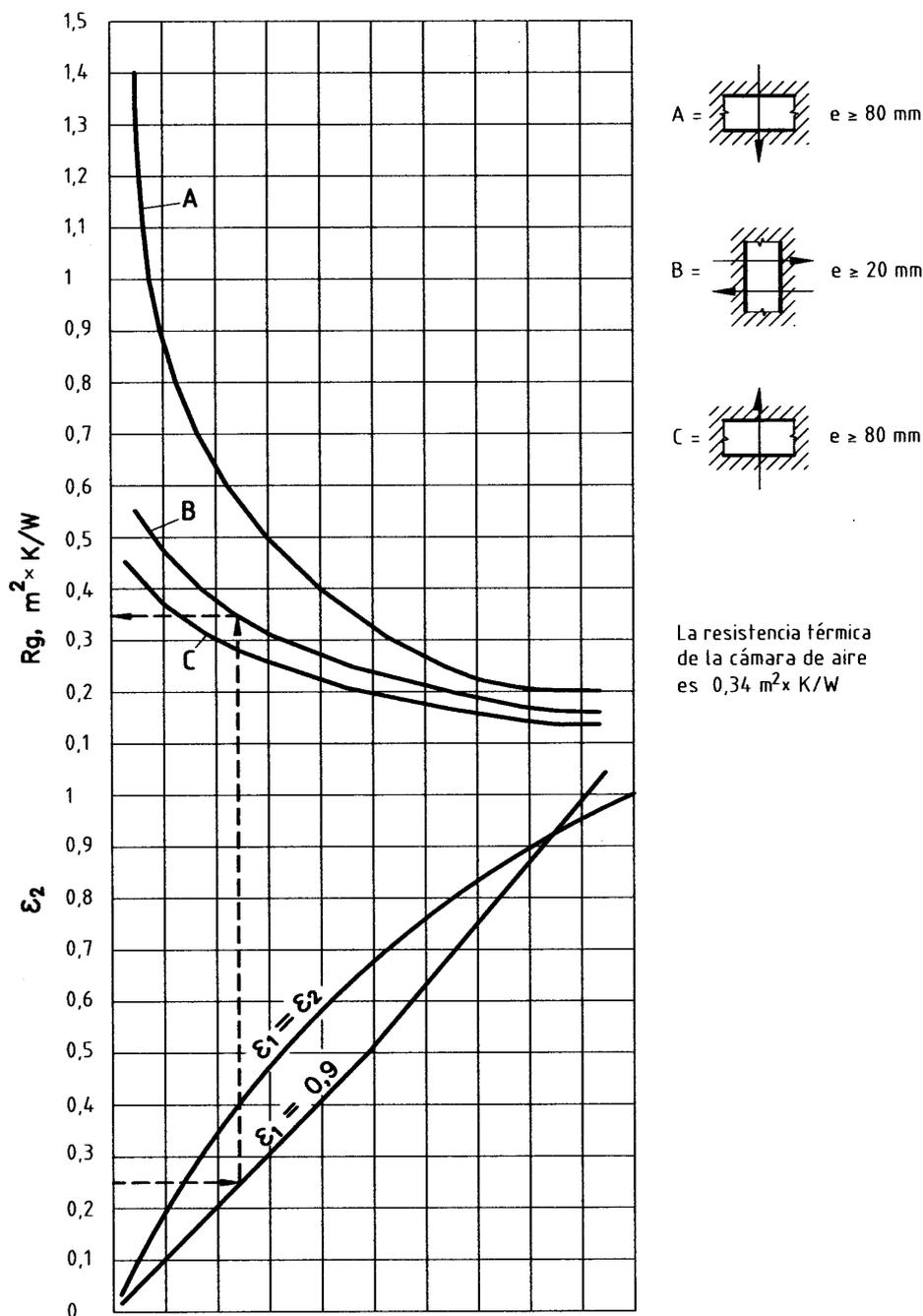


Figura B.2 - Abaco para el cálculo de las resistencias térmicas de las cámaras de aire no ventiladas

b) Calcular la resistencia térmica de un elemento horizontal cuya cámara de aire no ventilada tiene un espesor de 80 mm (flujo térmico vertical, condición de verano);

$$\varepsilon_1 = 0,9 \text{ y } \varepsilon_2 = 0,15.$$

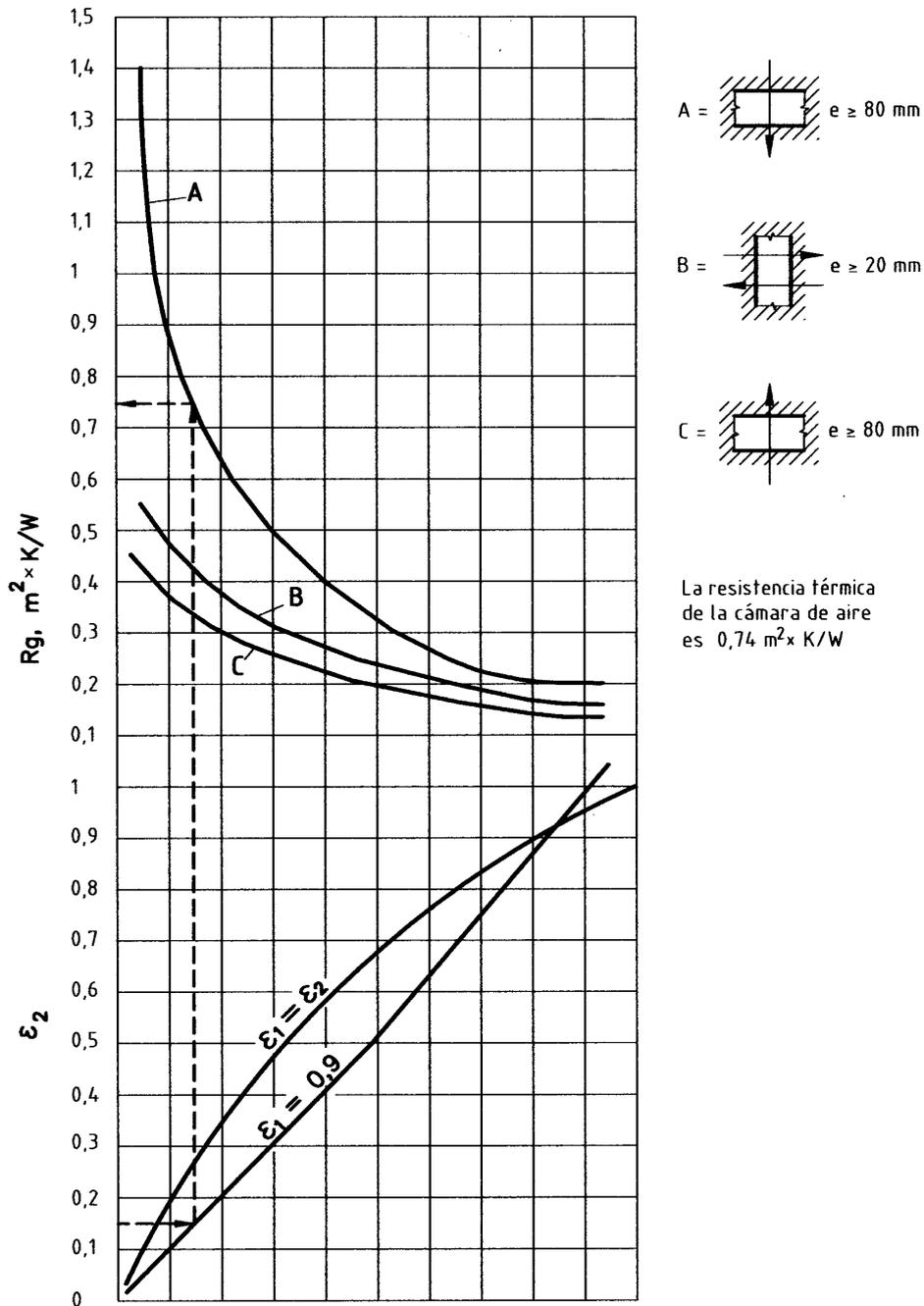


Figura B.3 - Abaco para el cálculo de las resistencias térmicas de las cámaras de aire no ventiladas

Anexo C (Informativo)

Determinación de resistencias térmicas de cámaras de aire no ventiladas para cualquier espesor

La resistencia térmica de una cámara de aire no ventilada, R_g , varía en función de los parámetros siguientes:

- a) sentido del flujo térmico;
- b) espesor de la cámara de aire;
- c) emisividad total de la cámara, E , dada por la fórmula:

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \quad (20)$$

en que:

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ = emisividades de las superficies en contacto con la cámara considerada.

En general se distinguen cuatro casos característicos, ellos son:

- a) caso general (materiales corrientes de construcción, tales como madera, hormigón, ladrillos, vidrio, papeles no metálicos, etc.): $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,9$ de donde $E = 0,82$, ver Figura C.1;
- b) una de las superficies de la cámara es brillante, $\varepsilon_1 = 0,2$, la otra superficie, en cambio, corresponde a materiales corrientes de construcción, $\varepsilon_2 = 0,9$ de donde $E = 0,20$, ver Tablas C.1, C.2 y C.3;
- c) ambas superficies de la cámara son brillantes, $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,2$ de donde $E = 0,11$, ver Tablas C.1, C.2 y C.3;
- d) una de las superficies de la cámara es muy brillante, $\varepsilon_1 = 0,05$, la otra superficie en cambio, corresponde a materiales corrientes, $\varepsilon_2 = 0,9$ de donde $E = 0,05$, ver Tablas C.1, C.2 y C.3.

De Figura C.1 se pueden obtener los valores que se deben considerar en el cálculo de las resistencias térmicas R_g , de cámaras de aire no ventiladas. Dichas resistencias corresponden a las obtenidas en cámaras cuyas paredes están conformadas por materiales corrientes de construcción, tales como madera, hormigón, ladrillo, vidrio, papeles no metálicos, etc., es decir con emisividades relativamente elevadas.

En Tablas C.1, C.2 y C.3 se pueden obtener valores de resistencia térmica para cámaras con paredes conformadas por materiales de alta y baja emisividad.

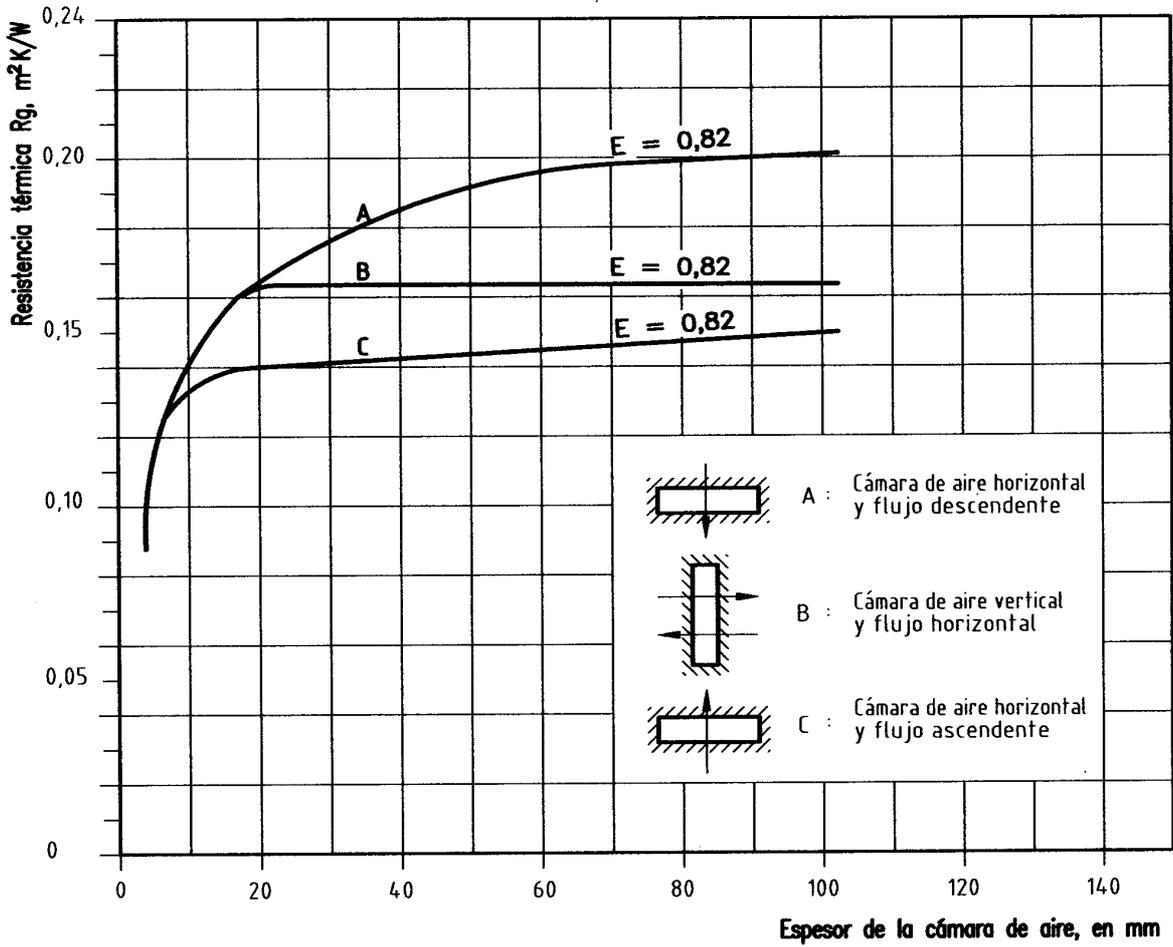


Figura C.1 - Resistencia térmica de cámaras de aire no ventiladas

Tabla C.1 - Resistencia térmica por unidad de superficie de cámaras de aire no ventiladas -
Cámaras de aire verticales, flujo térmico horizontal

Espesor de la cámara, mm	Emisividad total, E			
	0,82	0,20	0,11	0,05
	Resistencia térmica, R_g , m ² x K/W			
5	0,105	0,17	0,20	0,20
10	0,140	0,28	0,32	0,38
15	0,155	0,35	0,43	0,51
20	0,165	0,37	0,46	0,55
25	0,165	0,37	0,46	0,55
30	0,165	0,37	0,46	0,55
35	0,165	0,37	0,46	0,55
e ≥ 40	0,165	0,37	0,46	0,55

Tabla C.2 - Resistencia térmica por unidad de superficie de cámaras de aire no ventiladas -
Cámaras de aire horizontales, flujo térmico ascendente

Espesor de la cámara, mm	Emisividad total, E			
	0,82	0,20	0,11	0,05
	Resistencia térmica, R_g , m ² x K/W			
5	0,10	0,16	0,17	0,19
10	0,13	0,23	0,26	0,29
15	0,13	0,25	0,29	0,32
20	0,14	0,25	0,29	0,33
30	0,14	0,26	0,31	0,35
40	0,14	0,27	0,32	0,36
50	0,14	0,28	0,33	0,37
60	0,14	0,28	0,34	0,38
70	0,14	0,29	0,34	0,39
80	0,15	0,30	0,35	0,40
90	0,15	0,30	0,35	0,40
e ≥ 100	0,15	0,30	0,35	0,40

Tabla C.3 - Resistencia térmica por unidad de superficie de cámaras de aire no ventiladas -
Cámaras de aire horizontales, flujo térmico descendente

Espesor de la cámara, mm	Emisividad total, E			
	0,82	0,20	0,11	0,05
	Resistencia térmica, R_g , $m^2 \times K/W$			
5	0,09	0,16	0,20	0,20
10	0,14	0,29	0,34	0,37
15	0,16	0,36	0,45	0,52
20	0,17	0,42	0,55	0,65
25	0,17	0,47	0,63	0,76
30	0,175	0,51	0,68	0,87
40	0,185	0,57	0,77	1,03
50	0,19	0,60	0,84	1,15
60	0,19	0,61	0,89	1,25
70	0,19	0,62	0,94	1,33
80	0,20	0,63	1,00	1,46
90	0,20	0,63	1,00	1,46
e \geq 100	0,20	0,63	1,00	1,46

Anexo D (Informativo)

Ejemplos de aplicación

a) Losa de hormigón con aislación térmica incorporada

Calcular la transmitancia térmica promedio de una losa de hormigón armado con poliestireno expandido en su interior. La conductividad térmica de la losa es de $1,63 \text{ W}/(\text{m} \times \text{K})$ y la del poliestireno expandido de $0,041 \text{ W}/(\text{m} \times \text{K})$.

Detalles de la losa se observan en Figura D.1.

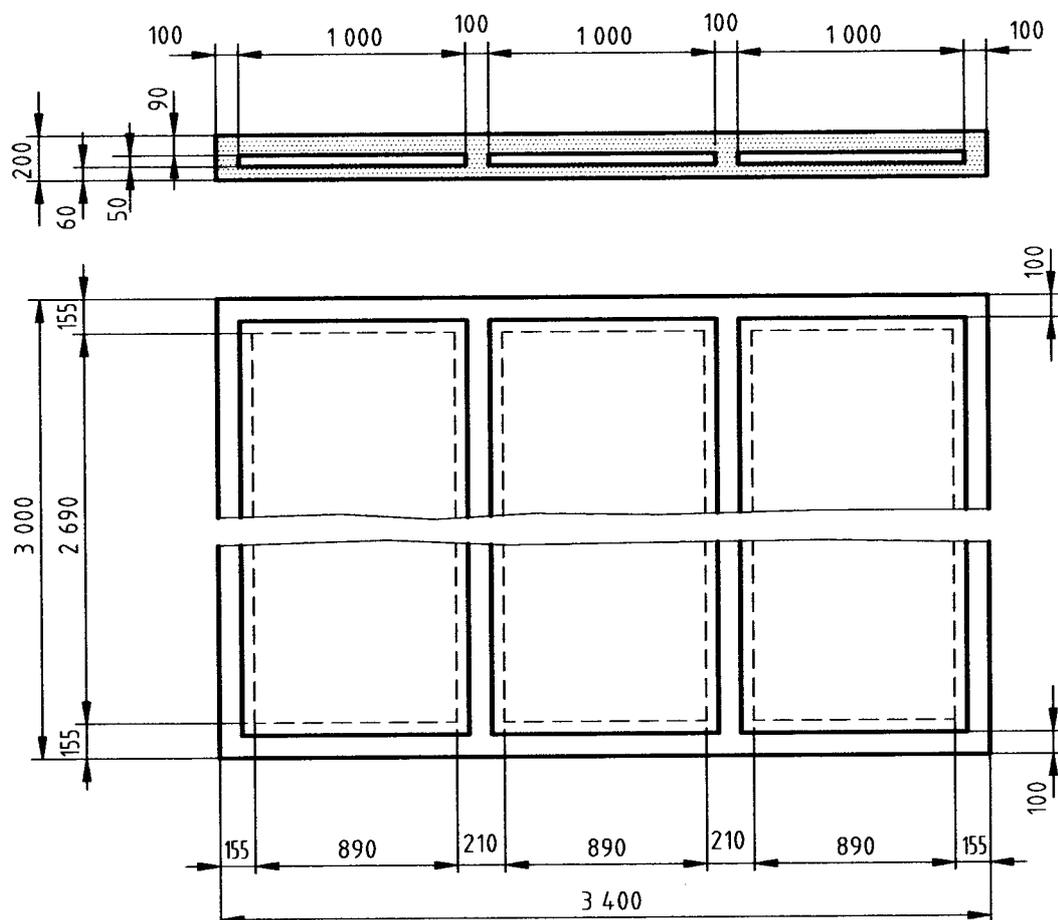


Figura D.1 - Detalle de losa de hormigón armado

NCh853

1 Cálculo según método general

1.1 Cálculo de U_1 (parte aislada).

$$\text{Hormigón} \quad R = \sum \frac{e}{\lambda} = \frac{0,15}{1,63} = 0,092 \quad \text{m}^2 \times \text{K/W}$$

$$\text{Poliestireno expandido} \quad R = \frac{e}{\lambda} = \frac{0,05}{0,041} = 1,220 \quad \text{m}^2 \times \text{K/W}$$

$$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \quad (\text{flujo térmico descendente}) = 0,22 \quad \text{m}^2 \times \text{K/W}$$

$$R_T = \frac{1}{U_1} = 1,532 \quad \text{m}^2 \times \text{K/W}$$

$$U_1 = 0,65 \text{ W (m}^2 \times \text{K/W)}$$

1.2 Cálculo de U_2 (nervadura)

$$\text{Hormigón} \quad R = \frac{e}{\lambda} = \frac{0,20}{1,63} = 0,123 \quad \text{m}^2 \times \text{K/W}$$

$$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \quad (\text{flujo térmico descendente}) = 0,22 \quad \text{m}^2 \times \text{K/W}$$

$$R_T = \frac{1}{U_2} = 0,343 \quad \text{m}^2 \times \text{K/W}$$

$$U_2 = 2,92 \text{ W (m}^2 \times \text{K/W)}$$

1.3 Aumento del área en la nervadura según el nomograma de Figura 8

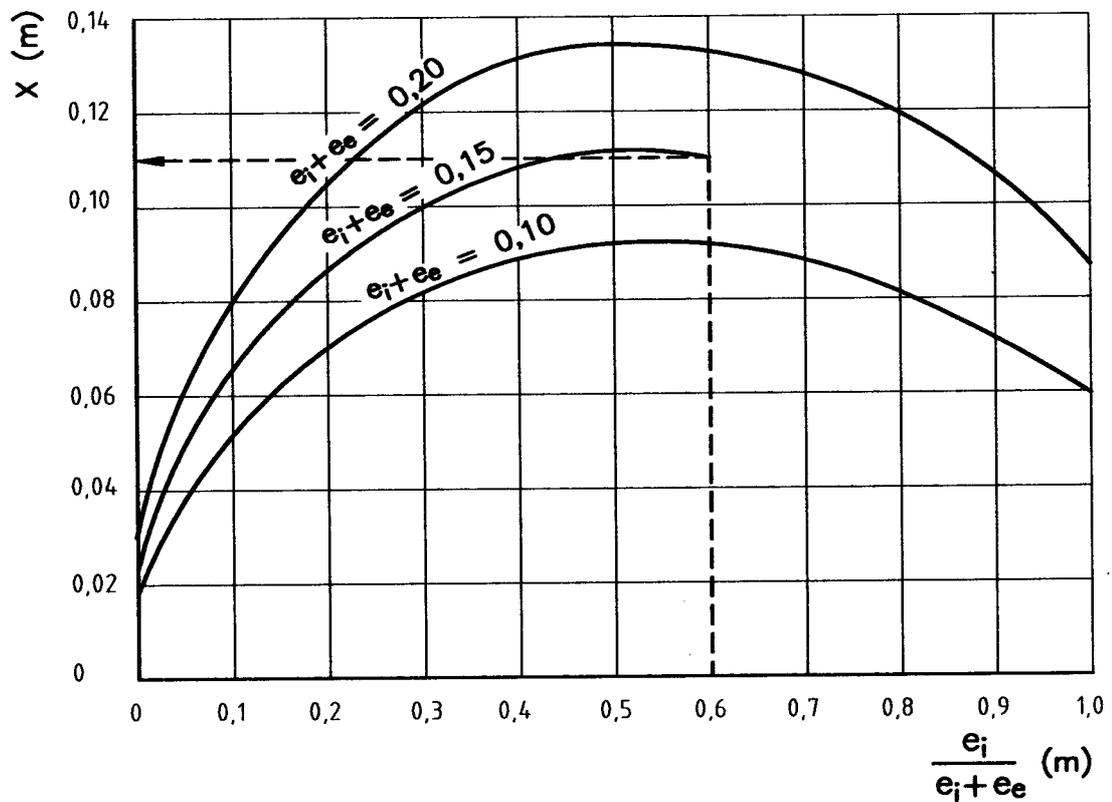
$$e_i = 0,09 \text{ m}$$

$$e_e = 0,06 \text{ m}$$

$$e_i + e_e = 0,15 \text{ m}$$

$$\frac{e_i}{e_i + e_e} = 0,60 \text{ (según 5.4.3.4).}$$

Por lo tanto tenemos:



$$x = 0,11 \text{ m}$$

Las dos nervaduras interiores de la losa se deben aumentar en 0,11 m cada una y las de los bordes en $\frac{x}{2} = 0,055 \text{ m}$.

(Ver Figura D.1, las líneas segmentadas indican el aumento obtenido).

NCh853

1.4 Cálculo de \bar{U} de la losa

Area correspondiente a las partes aisladas de la losa. Ver Figura D.1.

$$A = 3 (0,89 \times 2,69) = 7,20 \text{ m}^2$$

Area correspondiente a las nervaduras. Ver Figura D.1.

$$A = 3,40 \times 3,00 - 7,20 = 3,0 \text{ m}^2$$

Aplicando la fórmula 10 siguiente, tenemos:

$$\bar{U} = \frac{\sum U_i \times A_i}{\sum A_i}$$

$$\bar{U} = \frac{0,65 \times 7,2 + 2,92 \times 3,0}{10,20} = \frac{4,68 + 8,76}{10,20} \quad (10)$$

$$\bar{U} = 1,32 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$$

La transmitancia térmica promedio de la losa es de 1,32 W/(m² x K).

b) Elemento con nervaduras y cubiertas metálicas, sin aislación térmica en la nervadura

Calcular la transmitancia térmica promedio de un panel de 3 x 2 (m), cuyas características generales se indican en Figura D.2. El espacio interior contiene lana mineral cuya densidad media aparente es de 90 kg/m³ y la conductividad térmica es de 0,038 W/(m x K). La conductividad térmica del acero es de 58 W/(m x K).

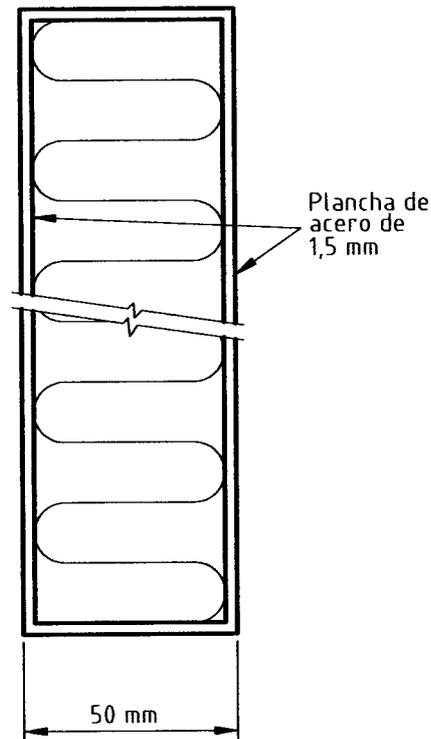


Figura D.2 - Detalle del panel

1) Cálculo de U_o .

Lana mineral $R = \frac{e}{\lambda} = \frac{0,05}{0,038} = 1,32 \text{ m}^2 \times \text{K/W}$

$$\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_e} = 0,17 \text{ m}^2 \times \text{K/W}$$

Planchas de acero $R = \sum \frac{e}{\lambda} = \frac{0,003}{58} = 0,000$

$$R_T = \frac{1}{U_o} = 1,49 \text{ m}^2 \times \text{K/W}$$

$$U_o = 0,67 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$$

$$0,6 < U_o < 1,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$$

NCh853

como:

$$e \times \lambda_m = 0,087 < 0,10 \text{ W/K}$$

siendo:

$$e = \text{espesor del acero} = 0,0015 \text{ m};$$

$$\lambda_m = \text{conductividad del acero} = 58 \text{ W/(m x K)}.$$

Se puede, en consecuencia, aplicar la fórmula 15.

$$\bar{U} = U_o + \delta \frac{L_n}{A} \sqrt{e \times \lambda_m}$$

$$\bar{U} = 0,67 + 1,1 \times \frac{10}{6} \sqrt{0,087} \tag{15}$$

$$\bar{U} = 1,21 \text{ W/(m}^2 \times \text{K)}$$

La transmitancia térmica promedio del panel es de 1,21 W/(m² x K).

c) Elemento con nervaduras y cubiertas metálicas, con aislación térmica

Calcular la transmitancia térmica promedio de un panel de 2 x 2 (m), cuyas características generales se indican en Figura D.3. El espacio interior contiene lana mineral cuya densidad media aparente es de 90 kg/m^3 y la conductividad térmica es de $0,038 \text{ W/(m x K)}$. Los bordes del panel contienen poliestireno expandido de 20 kg/m^3 y la conductividad térmica es de $0,038 \text{ W/(m x K)}$. La conductividad térmica del acero es de 58 W/(m x K) .

Dimensiones en metros

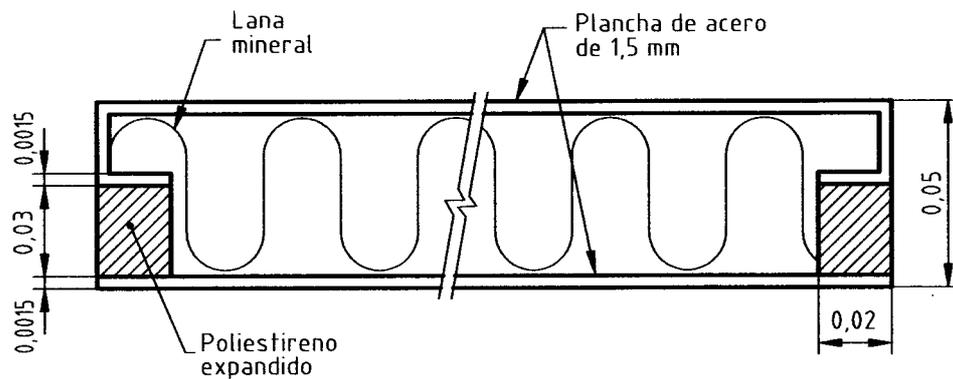


Figura D.3 - Detalle del panel, flujo térmico ascendente

Cálculo de U_o

Lana mineral $R = \frac{0,05}{0,038} = 1,32 \text{ m}^2 \times \text{K/W}$

$$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \text{ flujo térmico ascendente} = 0,14 \text{ m}^2 \times \text{K/W}$$

Planchas de acero $R = \sum \frac{e}{\lambda} = \frac{0,003}{58} = 0,000$

$$R_T = \frac{1}{U_o} = 1,46 \text{ m}^2 \times \text{K/W}$$

$$U_o = 0,68 \text{ W/(m}^2 \times \text{K)}$$

NCh853

Resistencia térmica del poliestireno expandido

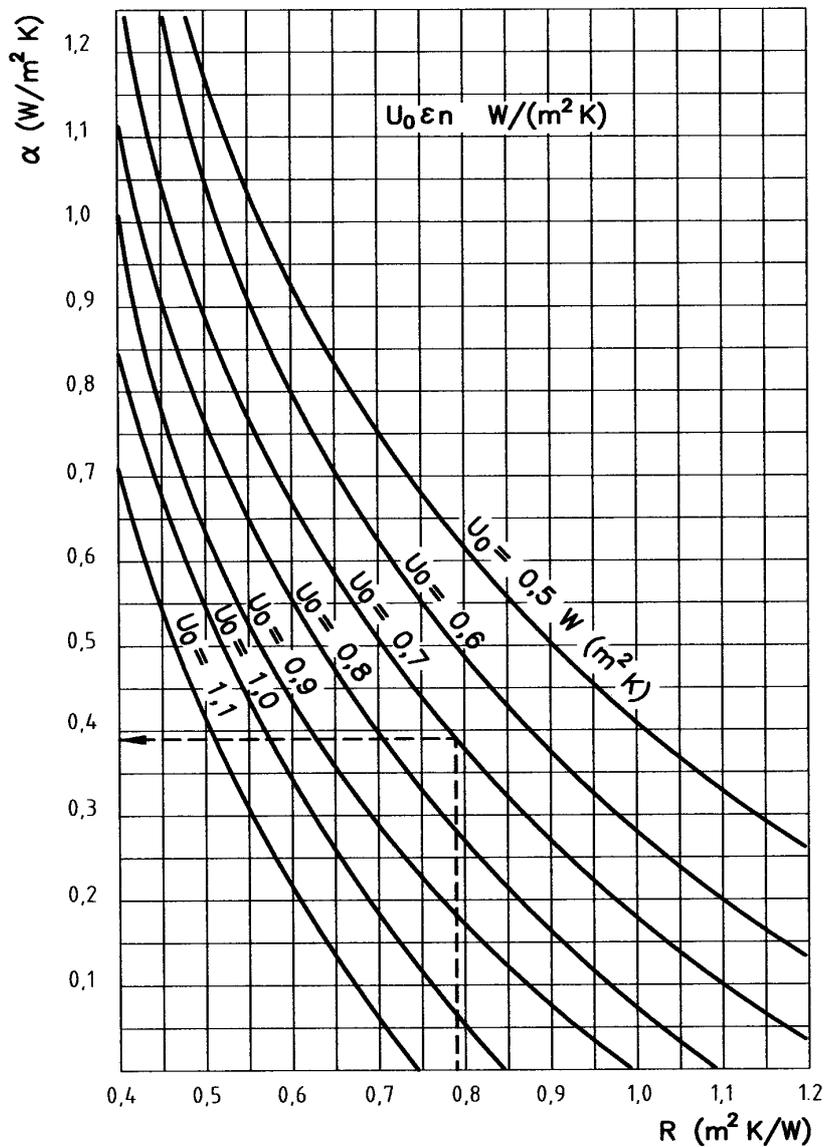
$$R = \frac{0,03}{0,038} = 0,79 \text{ m}^2 \times \text{K/W} > 0,4$$

En consecuencia, como:

$$U_o = 0,68 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$$

$$R = 0,79 \text{ m}^2 \times \text{K/W}$$

el α de fórmula 10 se puede deducir del nomograma siguiente (ver Figura 10):



$$\alpha = 0,39 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$$

Como $e \times \lambda_m = 0,087 < 0,10 \text{ W/K}$ y $U_o = 0,68 > 0,5 \text{ W/(m}^2 \times \text{K)}$,

siendo:

$$e = \text{espesor del acero} = 0,0015 \text{ m};$$

$$\lambda_m = \text{conductividad del acero} = 58 \text{ W/(m} \times \text{K)}$$

Se puede, en consecuencia, aplicar fórmula 16 siguiente:

$$\bar{U} = U_o + \alpha \ell \frac{L_n}{A}$$

$$L_n = 8 \text{ m}; A = 4 \text{ m}^2; \ell = 0,02$$

$$\bar{U} = 0,68 + 0,39 \times 0,02 \times \frac{8}{4}$$

$$\bar{U} = 0,70 \text{ W/(m}^2 \times \text{K)}$$

(16)

La transmitancia térmica promedio del panel es de $0,70 \text{ W/(m}^2 \times \text{K)}$.

NORMA CHILENA

NCh 853-2007

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION • INN-CHILE

Acondicionamiento térmico - Envoltente térmica de edificios - Calculo de resistencias y transmitancias térmicas

Thermal conditioning - Thermal envelope of buildings - Thermal resistance and transmittance calculation

Primera edición : 2007

Descriptores:

CIN

COPYRIGHT © : INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION - INN

* Prohibida reproducción y venta *

Dirección : Matías Cousiño N° 64, 6° Piso, Santiago, Chile

Web : www.inn.cl

Miembro de : ISO (International Organization for Standardization) • COPANT (Comisión Panamericana de Normas Técnicas)