

*Real Decreto 2429/79, de 6 de julio, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79, sobre Condiciones Térmicas en los edificios.*

Mediante Decreto 1.490/75, de 12 de junio, la Administración Pública adoptó las primeras medidas encaminadas a la consecución de un ahorro energético a través de una adecuada construcción de los edificios, haciendo frente así a los problemas derivados del encarecimiento de la energía

En consideración a la importancia y trascendencia de las medidas a adoptar en este sentido, fue formada una Comisión de expertos, con representación de organismos oficiales y entidades privadas interesadas en el sector energético de la edificación, que ha desarrollado y completado la reglamentación contenida en aquel Decreto, formulando la Norma Básica de la Edificación que ahora se aprueba.

Se incluyen en dicha Norma, además de prescripciones encaminadas al ahorro de energía, otros aspectos térmicos o higrotérmicos que afectan a la edificación y a sus condiciones de habitabilidad, incidiendo en aspectos hasta ahora no regulados, tales como los fenómenos de condensación en cerramientos exteriores que afectan al bienestar de los usuarios de los edificios.

La formulación de la presente Norma Básica de la Edificación se hace en virtud de las competencias a tal efecto atribuidas al Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo en el Real Decreto 1650/77 de 10 de junio, sobre normativa de la edificación.

En su virtud, a propuesta de los ministros de Obras Públicas y Urbanismo e Industria y Energía y previa deliberación del Consejo de Ministros en el día 6-VII-1979, dispongo:

**Artículo 1.º** Se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79 sobre condiciones térmicas en los edificios, que figura como anexo al presente Real Decreto.

**Artículo 2.º** La Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79, será de obligatoria observancia en todos los proyectos de edificaciones públicas o privadas.

**Artículo 3.º** Quedan responsabilizados del cumplimiento de esta Norma, dentro del ámbito de sus respectivas competencias, los profesionales que redacten proyectos de ejecución de edificios, las entidades o instituciones que intervengan en el visado, supervisión e informe de dichos proyectos, los fabricantes y suministradores de los materiales aislantes que se empleen en los cerramientos, los constructores y los directores facultativos de las obras de edificación, así como las entidades de control técnico que intervengan en cualquiera de las etapas de este proceso.

**Artículo 4.º** El Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, a través de la Dirección General de Arquitectura y Vivienda y por medio del Instituto Nacional para la Calidad de la Edificación, vigilará el cumplimiento de la presente Norma Básica y a tal efecto podrá inspeccionar los proyectos de ejecución de las obras, la ejecución de las mismas y el uso de los edificios.

**Artículo 5.º** Se considerará como falta muy grave el incumplimiento de esta Norma Básica, a los efectos de lo establecido en los artículos 153, C, 4, del Reglamento de Viviendas de Protección Oficial, de 24 de julio de 1.968, y 57 del Real Decreto 3.148/78, de 10 de noviembre.

**Disposición transitoria.** No será de aplicación la presente Norma a los edificios en construcción o con las licencias de construcción concedidas a la entrada en vigor de la misma.

**Disposiciones finales:**

**Primera.** Quedan derogadas las disposiciones que se opongan a lo establecido en este Real Decreto, y en especial los artículos 4.º y 5.º del Decreto 1.490/75, de 12 de junio, sobre medidas para reducir el consumo de energía en los edificios.

**Segunda.** La presente disposición entrará en vigor a los tres meses de su publicación.

**Tercera.** Por la Dirección General de Arquitectura y Vivienda se elevará a los ministros de Obras Públicas y Urbanismo e Industria y Energía, en el plazo de un año a partir de la fecha de publicación del presente Real Decreto, un informe acerca de la aplicación y operatividad de esta disposición con propuesta de revisión, en su caso, de los aspectos que se consideren convenientes.

**Cuarta.** Se autoriza al Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo para que dicte las disposiciones y medidas que se precisen para el desarrollo y cumplimiento del presente Real Decreto.

Dado en Madrid a seis de julio de mil novecientos setenta y nueve

El ministro de la Presidencia,  
José Pedro Pérez-Llorca y Rodrigo Juan Carlos R.

## Primera Parte: articulado

### Artículo 1.º Objeto

Esta Norma tiene como objeto establecer las condiciones térmicas exigibles a los edificios, así como los datos que condicionan su determinación.

Las definiciones, notaciones, unidades y métodos de cálculo, relativos a los conceptos que aparecen en los siguientes artículos, figuran en el Anexo 1 de la Norma.

### Artículo 2.º Campo de aplicación

Esta Norma es de aplicación en todo tipo de edificios de nueva planta. Se excluyen del campo de aplicación de esta NBE aquellas edificaciones de nueva planta que por sus características de utilización deben permanecer abiertas.

Salvo en el caso de edificios de viviendas, el proyectista podrá adoptar, bajo su responsabilidad medidas distintas a las que se establecen en esta Norma, que deberá justificar en el proyecto en virtud de las condiciones singulares del edificio, y siempre que, manteniéndose las condiciones ambientales exigidas en la Norma, el edificio no requiera mayor consumo de energía.

### Artículo 3.º Definición de las condiciones térmicas de los edificios

A los efectos de esta NBE, los edificios quedan definidos térmicamente por los siguientes conceptos:

- La transmisión global de calor a través del conjunto del cerramiento, definida  $c$  por su coeficiente  $K_G$ .
- La transmisión de calor a través de cada uno de los elementos que forman el cerramiento, definida por sus coeficientes  $K$ .
- El comportamiento higrotérmico de los cerramientos.
- La permeabilidad al aire de los cerramientos.

### Artículo 4.º Coeficiente $K_G$ del edificio

El coeficiente de transmisión térmica global  $K_G$  de un edificio no será superior a los valores señalados en la Tabla 1, dados en función de su factor de forma  $f$ , de la zona climática donde se ubique el edificio, según el Mapa 1 de zonificación climática por grados/día dado en el artículo 13.º y del tipo de energía empleada en el sistema de calefacción del edificio, según sea éste unitario, individual o colectivo.

Quedan exceptuados del cumplimiento de este artículo los edificios ubicados en las Islas Canarias.

Tabla 1

| Tipo de energía para calefacción  | Factor de forma $f$ ( $m^{-1}$ ) | Zona climática según Mapa 1 (art. 13.º) |             |             |             |             |
|---|----------------------------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
|   |                                  | A                                       | B           | C           | D           | E           |
| <b>Caso I</b><br>Combustibles sólidos, líquidos o gaseosos  | $\leq 0,25$                      | 2,10 (2,45)                             | 1,61 (1,89) | 1,40 (1,61) | 1,26 (1,47) | 1,19 (1,40) |
|   | $\geq 1,00$                      | 1,20 (1,40)                             | 0,92 (1,08) | 0,80 (0,92) | 0,72 (0,84) | 0,68 (0,80) |
| <b>Caso II</b><br>Edificios sin calefacción o calefactados con energía eléctrica directa por efecto Joule | $\leq 0,25$                      | 2,10 (2,45)                             | 1,40 (1,61) | 1,05 (1,19) | 0,91 (1,05) | 0,77 (0,91) |
|   | $\geq 1,00$                      | 1,20 (1,40)                             | 0,80 (0,92) | 0,60 (0,68) | 0,52 (0,60) | 0,45 (0,52) |

Valor límite máximo de  $K_G$  en  $kcal/h m^2 \text{ } ^\circ C$  ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

En la Tabla 1 se han indicado los valores de KG para los valores límites de f 0,25 y 1,00 mm<sup>-1</sup>. Para valores intermedios KG se calculará con la fórmula:

$$KG = a (3+1/f)$$

donde f es el factor de forma del edificio y a es un coeficiente que se obtiene de la Tabla 1 bis en función del tipo de energía y zona climática.

**Tabla 1 bis**

| Tipo de energía para calefacción  | Zona climática según Mapa 1 (art. 13.º) |             |             |             |             |
|---|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
|   | A                                       | B           | C           | D           | E           |
| <b>Caso I</b><br>Combustibles sólidos, líquidos o gaseosos  | 0,30 (0,35)                             | 0,23 (0,27) | 0,20 (0,23) | 0,18 (0,21) | 0,17 (0,20) |
| <b>Caso II</b><br>Edificios sin calefacción o calefactados con energía eléctrica directa por efecto Joule | 0,30 (0,35)                             | 0,20 (0,23) | 0,15 (0,17) | 0,13 (0,15) | 0,11 (0,13) |
| <b>Coefficiente a en kcal/h m<sup>2</sup> °C (W/m<sup>2</sup> °C)</b>                                     |   |             |             |             |             |

Como ejemplo, un edificio con factor de forma  $f = 0,50 \text{ m}^{-1}$  que esté en el caso I y en la zona A tendrá un coeficiente  $A = 0,30$  y un KG máximo de  $0,30 (3+1/0,5) = 1,5 \text{ kcal/h m}^2 \text{ °C}$ .

El coeficiente KG limita las pérdidas de calor de un edificio, en la situación de invierno, quedando además limitadas en cierto modo las ganancias de calor en la situación de verano.

Sin embargo, para los edificios que vayan a ir climatizados se dan en el Anexo 6 unas recomendaciones para limitar sus ganancias.

### **Artículo 5.º Coeficientes de transmisión térmica K de los cerramientos**

Los valores de los coeficientes útiles de transmisión térmica K de los cerramientos, excluidos los huecos no serán superiores a los señalados en la Tabla 2, dados en función del tipo de cerramiento y de la zona climática donde esté ubicado el edificio, según el Mapa 2 de zonificación climática por temperaturas mínimas medias del mes de enero, dado en el artículo 13.º

**Tabla 2**

| Tipo de cerramiento                      |  | Zona climática según Mapa 2 (art. 13.º) |             |             |             |
|--|--|---|-------------|-------------|-------------|
|  |  | V y W                                   | X           | Y           | Z           |
| Cerramientos exteriores                  | Cubiertas                                      | 1,20 (1,40)                             | 1,03 (1,20) | 0,77 (0,90) | 0,60 (0,70) |
|  | Fachadas ligeras ( $\leq 200 \text{ kg/m}^2$ ) | 1,03 (1,20)                             | 1,03 (1,20) | 1,03 (1,20) | 1,03 (1,20) |
|  | Fachadas pesadas ( $> 200 \text{ kg/m}^2$ )    | 1,55 (1,80)                             | 1,38 (1,60) | 1,20 (1,40) | 1,20 (1,40) |
|  | Forjados sobre espacio abierto                 | 0,86 (1,00)                             | 0,77 (0,90) | 0,69 (0,80) | 0,60 (0,70) |
| Cerramientos con locales no calefactados | Paredes  | 1,72 (2,00)                             | 1,55 (1,80) | 1,38 (1,60) | 1,38 (1,60) |
|  | Suelos o techos                                | — (—)                                   | 1,20 (1,40) | 1,03 (1,20) | 1,03 (1,20) |

Valores máximos de K en kcal/h m<sup>2</sup> °C (W/m<sup>2</sup> °C)

## Artículo 6.º Comportamiento higrotérmico de los cerramientos

La resistencia térmica y disposición constructiva de los elementos de cerramiento de los edificios serán tales que, en las condiciones ambientales consideradas en la Norma, los cerramientos no presenten humedades de condensación en su superficie interior, ni dentro de la masa del cerramiento que degraden sus condiciones, así como tampoco las esporádicas que causen daños a otros elementos.

## Artículo 7.º Condicionantes. higrotérmicos del cerramiento de los edificios

El comportamiento térmico del cerramiento de un edificio está condicionado por el ambiente interior, el ambiente exterior y por los materiales que lo constituyen.

## Artículo 8.º Condiciones del ambiente interior

A efectos de esta NBE se consideran como condiciones del ambiente interior las temperaturas de uso de los locales, las de la superficie interior de sus cerramientos y la humedad relativa.

## Artículo 9.º Temperaturas del ambiente interior

Las temperaturas a mantener en el ambiente interior de los edificios y que servirán para los cálculos de predicción de condensaciones y de la temperatura superficial interior del cerramiento, quedarán determinadas por su uso y sus valores serán los fijados en las reglamentaciones específicas- En su defecto y para los cálculos higrotérmicos se podrán adoptar los valores que figuran en la Tabla 3, dados en función del uso del edificio o local.

**Tabla 3**

| Edificio o local   | Temperatura mínima (seca) en °C |
|--|---------------------------------|
| Destinados a vivienda, enseñanza, comercio, trabajo sedentario y cultura | 18                              |
| Salas de actos, gimnasios y locales para trabajo ligero                  | 15                              |
| Locales para trabajo pesado  | 12                              |
| Espacios para almacenamiento en general                                  | 10                              |

### **Artículo 10.º Temperatura superficial de los cerramientos**

La diferencia de temperaturas entre la del ambiente de los locales, medida en su centro a 1,5 m de altura, y la de la superficie interior de los cerramientos no será superior a 4 °C. Se exceptúan de este requisito los huecos acristalados, como puertas, ventanas o claraboyas.

### **Artículo 11.º Humedad relativa del ambiente interior-**

La humedad relativa en el interior de los locales no será, para las condiciones de temperatura de uso, habitualmente superior al 75 % de la de saturación, con la excepción de locales como cocinas o aseos, donde eventualmente podrá llegar al 85 %.

Los cálculos higrotérmicos de comprobación de condensaciones se harán para el caso más desfavorable, es decir. el que dé mayor presión de vapor de agua en el ambiente interior.

### **Artículo 12.º Condiciones del ambiente exterior**

A efectos de esta NBE se consideran como condiciones del ambiente exterior los grados/día anuales en base 15-15, la temperatura mínima media en el mes de enero. la temperatura del terreno y la humedad relativa exterior.

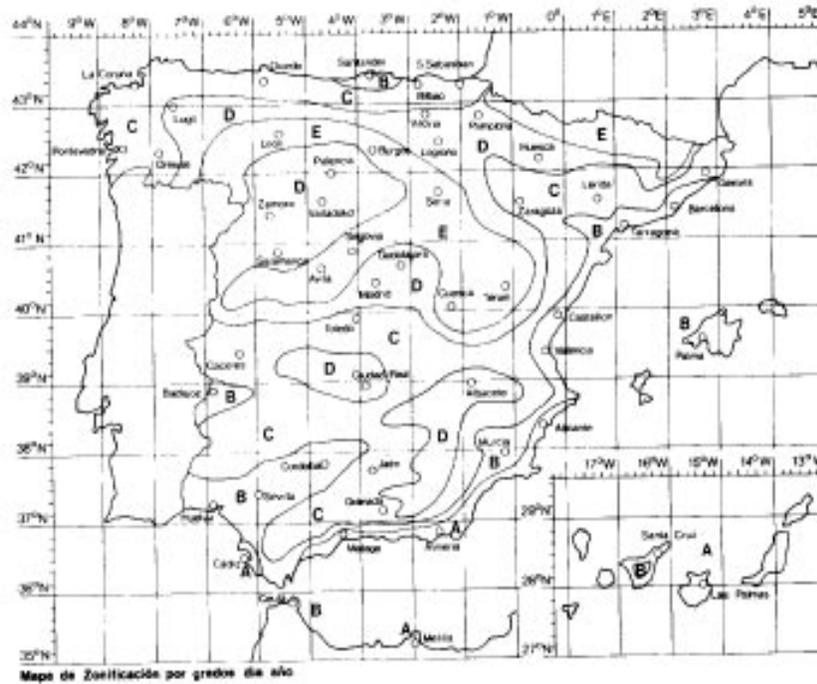
### **Artículo 13.º Grados/día 15-15, temperaturas exteriores y zonificaciones**

A los efectos de fijar las condiciones térmicas de los edificios y sus cerramientos, y de predicción de condensaciones en los mismos, se establecen dos zonificaciones climáticas diferentes.

La zonificación dada en el Mapa 1 está basada en los datos de grados/día con base 15-15 dados en la Norma UNE 24.046, y establece cinco zonas distintas correspondientes a los siguientes intervalos de valores:

- Zona A:  $\leq$  400 grados/día anuales
- Zona B: 401 a 800 grados/día anuales.
- Zona C: 801 a 1.300 grados/día anuales.
- Zona D: 1.300 a 1.800 grados/día anuales.
- Zona E:  $>$  1.800 grados/día anuales.

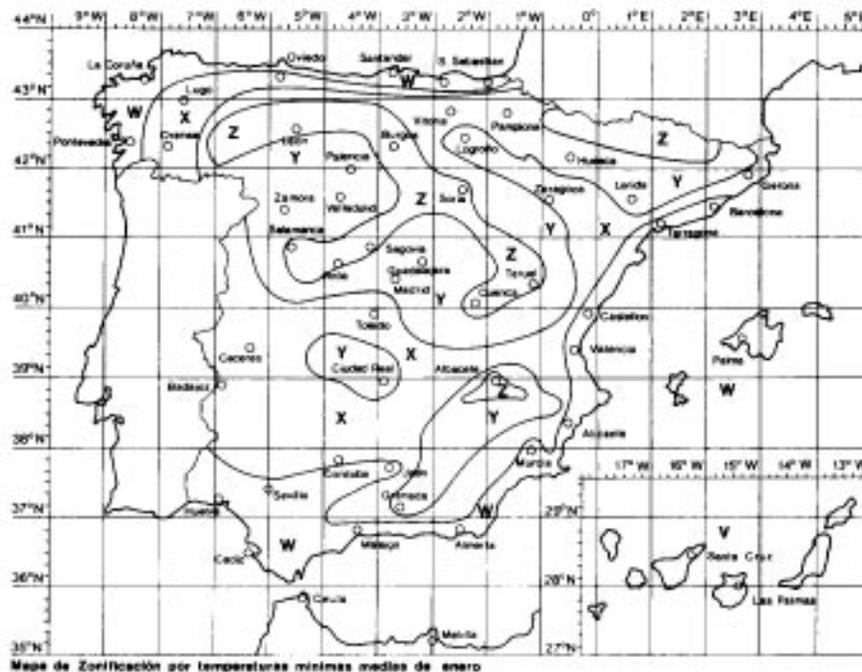
# Mapa 1



La zonificación dada en el Mapa 2 está basada en los valores de las temperaturas mínimas medias del mes de enero y establece cinco zonas en las que se estimarán las siguientes temperaturas:

| Zona climática Mapa 2                                     |    | V  | W | X | Y | Z  |
|---|----|----|---|---|---|----|
| Temperatura exterior para<br>cálculo de condensaciones en | °C | 10 | 5 | 3 | 0 | -2 |

## Mapa 2



Para facilitar la localización de una población en los Mapas 1 y 2 se da a continuación un listado de los principales municipios de cada provincia, señalando las zonas donde se ubican.

| PROVINCIA     | Mapa | PROVINCIA               | Mapa |
|---------------|------|-------------------------|------|
| Población     | 1 2  | Población               | 1 2  |
| ALAVA         |      | ALMERIA                 |      |
| Vitoria       | D Y  | Almería                 | A W  |
|               |      | Dalias                  | A W  |
| ALBACETE      |      | AVILA                   |      |
| Albacete      | D Z  | Avila                   | E Z  |
| Hellín        | C Y  |                         |      |
| Villarrobledo | C X  | BADAJOS                 |      |
| ALICANTE      |      | Almendralejo            | C X  |
| Alicoy        | B W  | Badajoz                 | B X  |
| Alicante      | A W  | Don Benito              | C X  |
| Benidorm      | A W  | Mérida                  | B X  |
| Crevillente   | B X  | Villanueva de la Serena | C X  |
| Denia         | B W  | BALEARES                |      |
| Elche         | B W  | Ibiza                   | B W  |
| Elda          | C X  | Mahón                   | B W  |
| Orihuela      | B X  | Manacor                 | B W  |
| Petrer        | C X  | Palma de Mallorca       | B W  |
| Villajoyosa   | A X  |                         |      |
| Vilena        | C Y  |                         |      |

| PROVINCIA<br>Población    | Mapa<br>1 2 | PROVINCIA<br>Población | Mapa<br>1 2 | PROVINCIA<br>Población | Mapa<br>1 2 |
|---------------------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|
| BARCELONA                 |             | CIUDAD REAL            |             | LEON                   |             |
| Badalona                  | B W         | Alcázar de S. Juan     | C X         | León                   | E Z         |
| Barcelona                 | B W         | Ciudad Real            | D Y         | Ponferrada             | E Z         |
| Castelldefels             | B W         | Puertollano            | C X         |                        |             |
| Cornellá                  | B W         | Tomelloso              | C X         | LERIDA                 |             |
| Esplugas de Llobregat     | B W         | Valdepeñas             | C X         | Lérida                 | C Y         |
| Gavá                      | B W         |                        |             |                        |             |
| Granollers                | B X         | CORDOBA                |             |                        |             |
| Hospitalet                | B W         | Baena                  | C W         |                        |             |
| Igualada                  | C X         | Cabra                  | C W         | LOGROÑO                |             |
| Manresa                   | C W         | Córdoba                | B X         | Logroño                | D X         |
| Mataró                    | B W         | Lucena                 | C W         |                        |             |
| Molins de Rey             | B W         | Montilla               | B W         |                        |             |
| Mollet                    | B W         | Priego                 | C X         | LUGO                   |             |
| Moncada y Reixach         | B W         | Puente-Genil           | C W         | Lugo                   | D X         |
| Prat de Llobregat         | B W         |                        |             | Monforte de Lemos      | D X         |
| Ripolllet                 | B W         | LA CORUÑA              |             |                        |             |
| Rubi                      | B W         | Carballo               | C W         |                        |             |
| Sabadell                  | B X         | Coruña (La)            | C W         | MADRID                 |             |
| S. Adrián de Besós        | B W         | Ferrol (El)            | C W         | Alcalá de Henares      | D Y         |
| S. Baudilio del Llobregat | B W         | Narón                  | C W         | Alcobendas             | D Y         |
| S. Cugat del Vallés       | B W         | Ribera                 | C W         | Alicorcón              | D Y         |
| S. Feliu de Llobregat     | B W         | Santiago               | C W         | Aranjuez               | D Y         |
| S. Juan Despi             | B W         |                        |             | Coslada                | D Y         |
| Sta. Coloma de Gramanet   | B W         | CUENCA                 |             | Getafe                 | D Y         |
| Sardanyola                | B W         | Cuenca                 | E Z         | Leganés                | D Y         |
| Tarrasa                   | B X         |                        |             | Madrid                 | D Y         |
| Vich                      | B Y         | GERONA                 |             | Móstoles               | D Y         |
| Viladecans                | B W         | Figueras               | C X         | Parla                  | D Y         |
| Villanueva y Geltrú       | B W         | Gerona                 | C X         | Pozuelo                | D Y         |
| Villafraña del Penedés    | B W         | Olot                   | D Y         | S. Sebastián de los R. | D Y         |
|                           |             |                        |             | Torrejón de Ardoz      | D Y         |
| BURGOS                    |             | GRANADA                |             | MALAGA                 |             |
| Aranda de Duero           | D Y         | Baza                   | D X         | Antequera              | C X         |
| Burgos                    | E Z         | Granada                | C Y         | Coin                   | A W         |
| Miranda de Ebro           | D Y         | Loja                   | C X         | Estepona               | A W         |
|                           |             | Motril                 | A W         | Fuengirola             | A W         |
| CACERES                   |             | GUADALAJARA            |             | Málaga                 | A W         |
| Cáceres                   | C X         | Guadalajara            | D Y         | Marbella               | A W         |
| Plasencia                 | D X         |                        |             | Ronda                  | C W         |
|                           |             | GUIPUZCOA              |             | Vélez-Málaga           | A W         |
| CADIZ                     |             | Eibar                  | C W         |                        |             |
| Algeciras                 | B W         | Hernani                | C W         | MURCIA                 |             |
| Arcos de la Frontera      | C W         | Irún                   | C W         | Alcantarilla           | B W         |
| Barbate                   | A W         | Mondragón              | C X         | Cartagena              | A W         |
| Cádiz                     | A W         | Pasajes                | C W         | Cieza                  | B X         |
| Chiclana de la Frontera   | A W         | Renteria               | C W         | Jumilla                | C Y         |
| Jerez de la Frontera      | A W         | S. Sebastián           | C W         | Lorca                  | B X         |
| Línea de la Concepción    | B W         |                        |             | Molina de Segura       | B W         |
| Puerto de Sta. María      | A W         | HUELVA                 |             | Murcia                 | B W         |
| Puerto Real               | A W         | Huelva                 | B W         | Yecla                  | C Y         |
| Rota                      | A W         | HUESCA                 |             |                        |             |
| S. Fernando               | A W         | Huesca                 | D Y         | NAVARRA                |             |
| Sanlúcar de Barrameda     | A W         |                        |             | Pamplona               | D Y         |
| S. Roque                  | B W         | JAEN                   |             | Tudela                 | D X         |
|                           |             | Alcalá la Real         | C X         |                        |             |
| CASTELLON                 |             | Andújar                | B X         |                        |             |
| Burriana                  | B W         | Jaén                   | C W         | ORENSE                 |             |
| Castellón                 | B W         | Linares                | C X         | Orense                 | C X         |
| Vall de Uxó               | B W         | Martos                 | C W         |                        |             |
| Villarreal                | B W         | Ubeda                  | C X         |                        |             |

| PROVINCIA<br>Población | Mapa<br>1 2 | PROVINCIA<br>Población  | Mapa<br>1 2 | PROVINCIA<br>Población | Mapa<br>1 2 |
|------------------------|-------------|-------------------------|-------------|------------------------|-------------|
| OVIEDO                 |             | STA. CRUZ DE TENERIFE   |             | VALENCIA               |             |
| Aller                  | C X         | Icod de los Vinos       | A V         | Alacués                | B W         |
| Avilés                 | C W         | La Laguna               | A V         | Alicira                | B W         |
| Cangas de Narcea       | C X         | La Orotava              | A V         | Algemesi               | B W         |
| Gijón                  | C W         | Pto. de la Cruz         | A V         | Burjasot               | B W         |
| Langreo                | C X         | Los Realejos            | A V         | Carcagente             | B W         |
| Luarca                 | C W         | Sta. Cruz de Tenerife   | A V         | Cuart de Poblet        | B W         |
| Mieres                 | C X         |                         |             | Chirivella             | B W         |
| Oviedo                 | C X         | SANTANDER               |             | Gandia                 | B W         |
| S. Martín del R.       | C X         | Santander               | B W         | Játiva                 | C W         |
| Siero                  | C X         | Torrelavega             | B W         | Manises                | B W         |
| Tineo                  | C X         |                         |             | Mislata                | B W         |
|                        |             | SEGOVIA                 |             | Onteniente             | C X         |
| PALENCIA               |             | Segovia                 | E Z         | Paterna                | B W         |
| Palencia               | D Y         | SEVILLA                 |             | Sagunto                | B W         |
|                        |             | Alcalá de Guadaira      | B W         | Sueca                  | B W         |
|                        |             | Camas                   | B W         | Torrente               | B W         |
|                        |             | Carmona                 | B W         | Valencia               | B W         |
| LAS PALMAS             |             | Coria del Rio           | B W         | VALLADOLID             |             |
| Arrecife               | A V         | Dos Hermanas            | B W         | Valladolid             | D Y         |
| Arucas                 | A V         | Ecija                   | B W         |                        |             |
| Las Palmas             | A V         | Lebrija                 | B W         | VIZCAYA                |             |
| S. Bartolomé           | A V         | Morón de la Frontera    | C W         | Baracaldo              | C W         |
| Sta. Lucia             | A V         | Los Palacios y Villaf.  | B W         | Basauri                | C W         |
| Telde                  | A V         | S. Juan de Aznalfarache | B X         | Bilbao                 | C W         |
|                        |             | Sevilla                 | B W         | Durango                | C W         |
|                        |             | Utrera                  | B W         | Galdácano              | C W         |
|                        |             | SORIA                   |             | Guecho                 | C W         |
| PONTEVEDRA             |             | Soria                   | E Z         | Portugalete            | C W         |
| Cangas                 | C W         |                         |             | Santurce               | C W         |
| La Estrada             | C W         | TARRAGONA               |             | Sestao                 | C W         |
| Lalín                  | C X         | Reus                    | B W         | ZAMORA                 |             |
| Marín                  | C W         | Tarragona               | B W         | Zamora                 | D Y         |
| Pontevedra             | C W         | Tortosa                 | B W         |                        |             |
| Redondela              | C W         | TERUEL                  |             | ZARAGOZA               |             |
| Vigo                   | C W         | Teruel                  | E Z         | Zaragoza               | C X         |
| Vilagarcía de Arosa    | C V         |                         |             |                        |             |
|                        |             | TOLEDO                  |             | CEUTA                  | B W         |
| SALAMANCA              |             | Talavera de la Reina    | D X         | MELILLA                | A W         |
| Salamanca              | D Z         | Toledo                  | C X         |                        |             |

#### Artículo 14.º Temperaturas del terreno

Para los mismos fines que el artículo anterior, y en el caso de soleras, muros o techos en contacto directo con el terreno, se estimarán las siguientes temperaturas del terreno.

| Zona climática Mapa 2         | V  | W | X | Y | Z |
|-------------------------------|----|---|---|---|---|
| Temperatura del terreno en °C | 12 | 8 | 7 | 6 | 5 |

### **Artículo 15.º Humedades relativas exteriores**

La humedad relativa exterior a considerar en los cálculos de comprobación de condensaciones será del 95 % en correspondencia con las temperaturas dadas en el artículo 13.º

### **Artículo 16.º Correcciones en datos climáticos**

Se permiten las correcciones oportunas cuando se conozca el microclima local con datos meteorológicos que comprendan al menos un período de 10 años y siempre previa justificación en el proyecto.

### **Artículo 17.º Características exigibles a los materiales empleados en cerramientos**

A efectos de esta NBE se consideran desde el punto de vista térmico como características determinantes y exigibles de los materiales que forman los cerramientos a su conductividad térmica y su permeabilidad al vapor de agua.

### **Artículo 18.º Conductividad térmica de los materiales**

La conductividad térmica de un material viene definida por su coeficiente de conductividad térmica  $\lambda$ , cuyos valores típicos se señalan en las tablas del Anexo 2. Deberán utilizarse estos valores salvo que se justifiquen por ensayos otros distintos.

### **Artículo 19.º Permeabilidad al vapor de agua de los materiales**

La permeabilidad de un material al vapor de agua viene dada por su coeficiente de permeabilidad, cuyos valores típicos se señalan en las tablas del Anexo 4. Podrá emplearse el coeficiente de permeancia al vapor de agua en sustitución de la permeabilidad en materiales de espesor conocido.

### **Artículo 20.º Permeabilidad al aire de la carpintería de los huecos exteriores**

La permeabilidad al aire de una carpintería de hueco se define por su clase de estanqueidad o permeabilidad al aire. En las zonas climáticas A y B del Mapa 1 las carpinterías deberán ser de Clase A-1, y en las zonas C, D y E serán de Clase A-2. En el Anexo I se dan las definiciones de estos conceptos

### **Artículo 21.º Cumplimiento de la Norma en el proyecto de ejecución**

En la documentación técnica del proyecto de ejecución del edificio deberá expresarse y justificarse el cumplimiento de las condiciones térmicas que la Norma fija.

En la Memoria Técnica deberán expresarse los cálculos justificativos de los valores de K para los diversos cerramientos, así como el valor de KG del edificio, para lo cual se empleará la Ficha Justificativa que figura en el Anexo 3.

En el Pliego de Condiciones se indicarán las características técnicas exigibles a los materiales aislantes que intervengan en el aislamiento térmico del edificio. Asimismo se expresarán las condiciones generales o particulares de ejecución de los trabajos de aislamiento térmico en los cerramientos

Se darán también las condiciones generales o particulares de control, tanto para la recepción de materiales como para la ejecución de los trabajos de aislamiento térmico en los cerramientos

### **Artículo 22.º Control de la recepción de materiales aislantes térmicos**

El constructor realizará y comprobará los pedidos de los materiales aislantes de acuerdo con las especificaciones del proyecto de ejecución. La dirección facultativa de la obra comprobará que los materiales recibidos en obra por el constructor reúnen las características exigidas en el proyecto de ejecución, realizando como mínimo los ensayos y comprobaciones especificados en el Pliego de Condiciones Técnicas, con la frecuencia establecida en el mismo.

### **Artículo 23.º Control de la ejecución**

La dirección facultativa comprobará que la ejecución de la obra se realiza de acuerdo con las especificaciones del proyecto de ejecución, realizando como mínimo los controles especificados en el Pliego de Condiciones Técnicas y con la frecuencia establecida en el mismo.

Cualquier modificación que pueda introducirse durante la ejecución quedará reflejada en el proyecto final de ejecución sin que en ningún caso dejen de cumplirse las exigencias mínimas señaladas en esta Norma

# Segunda parte: anexos

## Anexo 1 Conceptos fundamentales, definiciones, notaciones y unidades

A los efectos de esta Norma, se establecen las siguientes definiciones de los conceptos fundamentales que en ella aparecen.

Todas las magnitudes se expresan en las unidades del sistema hasta ahora tradicionalmente empleado y, entre paréntesis, en unidades del sistema internacional SI.

Las relaciones básicas que permiten pasar de un sistema a otro son las siguientes:

Unidad de calor:

1 kcal (kilocaloría) = 4,186 J (julio)    1 J = 0,2389 x 10<sup>-3</sup> kcal

Unidad de flujo de calor (pérdidas o ganancias térmicas):

1 kcal/h = 1,163 W (vatio)    1 W = 0,868 kcal/h

### 1.1 Coeficiente de conductividad térmica

Símbolo:  $\lambda$

Unidades: kcal/m h °C (W/m °C)

Es la cantidad de calor que pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de extensión infinita y caras plano-paralelas y de espesor unidad, cuando se establece una diferencia de temperatura entre sus caras de un grado.

La conductividad térmica es una propiedad característica de cada material, su valor puede depender de la temperatura y de una serie de factores tales como la densidad, porosidad, contenido de humedad, diámetro de fibra, tamaño de los poros y tipo de gas que encierre el material.

Cuando el material aislante no es isótropo se necesita indicar la dirección de propagación del flujo calorífico; por ejemplo, para una muestra de madera hay que indicar si  $\lambda$  se refiere a la dirección normal a la fibra o paralela a ella.

Cuando el material está constituido por una sustancia porosa o similar, con poros y espacios libres relativamente pequeños y distribuidos en la masa del material de un modo prácticamente uniforme (sustancias macroscópicamente homogéneas), la definición de A dada anteriormente permanece válida, pero  $\lambda$  toma el significado de un coeficiente de conductividad de una sustancia ficticia "equivalente" para las mismas temperaturas de la sustancia en examen.

Si, por otro lado, estos materiales son permeables al aire (particularmente en el caso de los materiales granulares, filamentosos, etc.) las diferencias de temperatura provocan movimientos convectivos que dependen de las características geométricas y puede llegar a no ser despreciable su influencia en la propagación del calor. Para los materiales susceptibles de absorber agua, o los materiales higroscópicos, es necesario distinguir si éstos están en estado seco o, en caso contrario, en qué estado de humedad se encuentran.

En los aislantes húmedos la propagación del calor puede modificar la distribución de la humedad por efecto de los fenómenos de difusión interna acompañados de evaporaciones y condensaciones.

Debido a los movimientos de la humedad dentro de los materiales, los ensayos experimentales requieren que los elementos a estudio estén secos, y cuando éstos no lo están suficientemente darán resultados erróneos.

## 1.2 Resistividad térmica

Símbolo:  $r$

Unidad:  $\text{m h } ^\circ\text{C/kcal (m } ^\circ\text{C/W)}$

Es la inversa de la conductividad térmica:

$$r = \frac{1}{\lambda}$$

## 1.3 Conductancia térmica

Símbolo:  $C$

Unidad:  $\text{kcal/h m}^2\text{ } ^\circ\text{C (W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C)}$

Es la cantidad de calor transmitida a través de la unidad de área de una muestra de material o de una estructura de espesor  $L$ , dividida por la diferencia de temperatura entre las caras caliente y fría, en condiciones estacionarias.

$$C = \frac{\lambda}{L}$$

Cuando las caras caliente y fría no constituyan dos superficies planas paralelas es necesario aclarar en qué condiciones se da la conductancia térmica.

La conductancia térmica depende del espesor  $L$  del material, mientras la conductividad se refiere a la unidad de espesor del material.

## 1.4 Resistencia térmica interna

Símbolo:  $R$

Unidad:  $\text{h m}^2\text{ } ^\circ\text{C/kcal (m}^2\text{ } ^\circ\text{C/W)}$

Es el inverso de la conductancia térmica:

$$R = \frac{L}{\lambda}$$

La utilidad de este coeficiente radica en el caso en el que el calor pasa sucesivamente a través de un material formado por varios componentes; entonces las resistencias pueden ser calculadas por separado y de esta manera la resistencia del conjunto es la suma de las resistencias parciales obtenidas.

## 1.5 Coeficiente superficial de transmisión de calor

Símbolos:  $h_e$  ó  $h_i$

(los subíndices indican la cara exterior o interior del cerramiento, respectivamente).

Unidad:  $\text{kcal/m}^2\text{ h } ^\circ\text{C (W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C)}$ .

Es la transmisión térmica por unidad de área hacia o desde una superficie en contacto con aire u otro fluido, debido a la convección, conducción y radiación, dividido por la diferencia de temperatura entre la superficie del material y la temperatura seca del fluido. En el caso del ambiente de un local, será la temperatura seca del mismo, cuando éste está saturado y en reposo, en condiciones de estado estacionario.

El valor del coeficiente superficial depende de muchos factores, tal como el movimiento del aire u otro fluido. las rugosidades de la superficie y la naturaleza y temperatura del ambiente.

$$\text{Símbolos: } \frac{1}{h_e} \text{ ó } \frac{1}{h_i}$$

### 1.6 Resistencia térmica superficial

Unidades:  $\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/kcal}$  ( $\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ ).

Es la recíproca de los coeficientes superficiales de transmisión de calor y su valor depende del sentido del flujo de calor y de la situación exterior o interior de las superficies.

En el Anexo 2 se dan los valores de resistencias térmicas superficiales que deberán estimarse para los cálculos en esta Norma, obtenidos experimentalmente.

### 1.7 Coeficiente de transmisión de calor

Símbolo:  $K$

Unidad:  $\text{kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$  ( $\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ )

Considerando un cerramiento con caras isotermas, que separa dos ambientes, también isotermos, el coeficiente total de transmisión térmica es: el flujo de calor por unidad de superficie (de una de las paredes o de otra superficie interna convencionalmente elegida) y por grado de diferencia de temperatura entre los dos ambientes.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{h_i}}$$

en donde  $L_1/\lambda_1$  Y  $L_2/\lambda_2$  ... son las resistencias parciales de las distintas láminas que pueden componer la pared.

El coeficiente total de transmisión térmica también llamado a veces "transmitancia", o coeficiente de transmisión térmica aire-aire difiere de la conductancia en que, para ésta, la diferencia de temperatura se mide, entre las dos caras, mientras que para la transmitancia esta medida se realiza entre los dos ambientes a ambos lados de la muestra. De esta manera la transmitancia térmica comprende la conductancia y los coeficientes superficiales de transmisión de calor.

En un cerramiento con heterogeneidades se debe utilizar el coeficiente de transmisión de calor útil obtenido según se indica en el Anexo 2.

### 1.8 Resistencia térmica total

Símbolo:  $RT$ .

Unidad:  $\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/kcal}$  ( $\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ ).

Es la suma de las resistencias superficiales y de la resistencia térmica de la propia estructura. Es la inversa del coeficiente total de transmisión de calor  $K$ .

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \dots$$

$$R_T = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} + R_1 + R_2 + \dots$$

Análogamente al apartado anterior se debe emplear el concepto de resistencia térmica útil en los cerramientos con heterogeneidades.

### **1.9 Coeficiente de transmisión térmica global de un edificio**

Símbolo:  $K_G$

Unidad: kcal/h m<sup>2</sup> °C (W/m<sup>2</sup> °C).

Es la media ponderada de los coeficientes K de transmisión de calor de los cerramientos que envuelven un edificio.

### **1.10 Coeficiente de transmisión térmica lineal**

Símbolo: k

Unidad: kcal/h m °C (W/m °C).

Es el flujo de calor que atraviesa un elemento por unidad de longitud del mismo y por grado de diferencia de temperatura.

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 del edificio, etc.

### **1.11 Temperatura seca**

Símbolo:  $t_s$

Unidad: Grado Celsius °C, (grado Kelvin K en el S.I., aunque puede emplearse también el °C).

Es la temperatura medida por un termómetro en un recinto en el que las paredes y el aire están a la misma temperatura.

Para medir la temperatura seca en un recinto en el que las paredes no están a la misma temperatura que el aire, se apantana el bulbo del termómetro con un cilindro de metal pulido que diste del bulbo alrededor de 1 cm de forma que estando en contacto con el aire ambiente no reciba los intercambios de calor por radiación entre el bulbo y las paredes del recinto.

### **1.12 Temperatura húmeda**

Símbolo:  $t_h$

Unidad: Grado Celsius °C (Grado Kelvin K en el S.I.).

Es la obtenida con un termómetro cuyo bulbo está rodeado por una camisa de algodón húmedo. El aire ambiente (cuya velocidad al pasar por el termómetro debe ser de 2 a 4 metros por segundo) provoca una evaporación de la humedad de la camisa de algodón, y con esto un descenso de temperatura, que es función de la temperatura y de la humedad del aire ambiente.

La temperatura húmeda del aire se emplea fundamentalmente para calcular por medio de tablas o ábacos psicrométricos la humedad relativa HR en % del aire o su contenido de humedad o presión de vapor.

### **1.13 Temperatura de rocío**

Símbolo:  $t_R$

Unidad: Grado Celsius °C (Grado Kelvin K en el S.I.).

Es la temperatura a la cual comienza a condensarse el vapor de agua de un ambiente, para unas condiciones dadas de humedad y presión, cuando desciende la temperatura del ambiente y por tanto la del vapor en el contenido. La temperatura o punto de rocío es una medida de la humedad del ambiente. La presión de saturación del vapor de agua a la temperatura de rocío es la presión parcial de vapor de agua del ambiente.

#### **1.14 Contenido de humedad del aire o humedad específica**

Es la relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco contenidos en una muestra de aire, es decir, la masa de vapor de agua por unidad de masa de aire seco. Se expresa en kg/kg ó g/kg de aire seco.

#### **1.15 Presión de vapor**

Símbolo:  $P_v$

Unidad: mbar (Pascal Pa, en el S.I.).

También se designa a veces como presión parcial de vapor.

En el aire húmedo, la presión de vapor es la presión parcial de vapor de agua que contiene. Entre dos recintos o dos puntos con distinta presión de vapor, separados por un medio permeable a éste, el vapor de agua se desplaza del de mayor presión de vapor al de menor presión de vapor.

$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ ;  $1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa} = 100 \text{ N/m}^2$ .

Otra unidad empleada es el mmHg o Torricelli (Torr).

La equivalencia es:

$1 \text{ mmHg} = 1.333 \text{ mbar}$ ;  $1 \text{ mbar} = 0,75 \text{ mmHg (Torr)}$ .

#### **1.16 Presión de saturación**

Símbolo:  $P_s$

Unidad: mbar (Pascal Pa, en el S.I.).

$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ ;  $1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa} = 100 \text{ N/m}^2$ .

Otra unidad empleada es el mmHg o Torricelli (Torr).

La equivalencia es:

$1 \text{ mmHg} = 1,333 \text{ mbar}$ ;  $1 \text{ mbar} = 0,75 \text{ mmHg (Torr)}$ .

La presión de saturación del vapor a una temperatura, es la presión del vapor saturado a esa temperatura.

Los valores de presión de saturación del aire a distintas temperaturas se pueden obtener en la tabla del Anexo 4.

## 1.17 Humedad relativa

Símbolo:  $HR$

Unidad: %

Para cualquier temperatura y presión barométrica de un espacio determinado, la relación entre la presión parcial  $P_v$  del vapor de agua y la presión de saturación  $P_s$  es una medida de la humedad relativa.

La humedad relativa no tiene significado como contenido de humedad del aire o como índice de confort ambiental si no se la relaciona con la temperatura seca.

$$H_R = \frac{P_v}{P_s} \cdot 100$$

Esta relación también puede expresarse como porcentaje de saturación.

## 1.18 Permeabilidad o difusividad al vapor de agua

Símbolo:  $d_v$

Unidades:

Se expresa normalmente en  $\text{g cm/mmHg m}^2 \text{ día}$ . En unidades S.I. se expresa en  $\text{gm/MN s}$  (gramo metro por meganewton segundo).

La equivalencia es:

$$1 \text{ g cm/mmHg m}^2 \text{ día} = 0,868 \times 10^{-3} \text{ g m/MN s.}$$

$$1 \text{ g m/MN s} = 11,52 \times 10^2 \text{ g cm/mmHg m}^2 \text{ día.}$$

Es la cantidad de vapor que pasa a través de la unidad de superficie de material de espesor unidad cuando la diferencia de presión de vapor entre sus caras es la unidad.

## 1.19 Resistividad al vapor

Símbolo:  $r_v$

Unidades: Se expresa normalmente en  $\text{mmHg m}^2 \text{ día/g cm}$ . En unidades S.I. se expresa en  $\text{MN s/g m}$  (meganewton segundo por gramo metro)

La equivalencia es:

$$1 \text{ mmHg m}^2 \text{ día/g cm} = 11,52 \times 10^2 \text{ MN s/g m.}$$

$$1 \text{ MN s/g m} = 0,868 \times 10^{-3} \text{ mmHg m}^2 \text{ día/g cm.}$$

Es el inverso de la permeabilidad al vapor  $d_v$ .

$$r_v = \frac{1}{d_v}$$

## 1.20 Resistencia al vapor de agua

Símbolo:  $R_v$

Unidades: Se expresa normalmente en mmHg m<sup>2</sup> día/g. En unidades S.I. se expresa en MN s/g (meganewton segundo por gramo).

La equivalencia es:

$$1 \text{ mmHg m}^2 \text{ día/g} = 11,52 \text{ MN s/g.}$$

$$1 \text{ MN s/g} = 0,0868 \text{ mmHg m}^2 \text{ día/g.}$$

Es el valor de la resistencia total de un material de espesor e o combinación de varios, a la difusión del vapor de agua. Es decir:

$$R_v = \frac{e}{d} = e \cdot r_v$$

En un cerramiento formado por varias capas su resistencia al paso del vapor será la suma de las resistencias de cada una de las capas, despreciándose las resistencias superficiales.

$$R_v \text{ total} = \sum R_{vj} = \sum e_j r_{vj}$$

Los materiales con juntas no tienen una resistencia al vapor uniforme ya que sus juntas resultan generalmente más permeables que el resto. En este caso debe emplearse la resistencia al vapor útil del conjunto, repartiendo las resistencias al vapor proporcionalmente a las superficies que ocupen las juntas y el resto. Es decir, puede:

$$\frac{1}{R_v \text{ útil}} = \frac{S_m}{R_{vm}} + \frac{S_j}{R_{vj}}$$

Donde:

$R_v \text{ útil}$  es la resistencia al vapor útil.

$R_{vm}$  es la resistencia al vapor del material.

$R_{vj}$  es la resistencia al vapor de sus juntas.

$S_m$  es la superficie del material.

$S_j$  es la superficie de sus juntas.

## 1.21 Permeancia al vapor de agua

Símbolo: P.

Unidades: En unidades S.I. se expresa en g/MN s (gramo por meganewton segundo).

En unidades tradicionales se expresa normalmente en g/mmHg m<sup>2</sup> día.

La equivalencia es:

$$1 \text{ g/MN s} = 11,52 \text{ g/mmHg m}^2 \text{ día}$$

$$1 \text{ g/mmHg m}^2 \text{ día} = 0,0868 \text{ g/MN s}$$

Es el recíproco de la resistencia al vapor de agua:

$$P = \frac{1}{R_v}$$

### **1.22 Relación volumen/masa de aire**

Un kilogramo de aire seco o húmedo ocupa, aproximadamente, un volumen de 0,83 m<sup>3</sup>.

Un metro cúbico de aire pesa, aproximadamente. 1,20 kg.

### **1.23 Puente térmico**

Es la parte de un cerramiento con una resistencia térmica inferior al resto del mismo y, como consecuencia, con temperatura también inferior, lo que aumenta la posibilidad de producción de condensaciones en esa zona, en la situación de invierno o épocas frías.

### **1.24 Temperatura de rocío**

También llamada punto de rocío, es la temperatura a la cual una muestra de aire húmedo llega a saturarse y comienza la condensación. El punto o temperatura de rocío depende de la masa de vapor de agua contenida en el aire.

### **1.25 Condensación superficial**

Es la condensación que aparece en la superficie de un cerramiento o elemento constructivo cuando su temperatura superficial es inferior o igual al punto de rocío de aire que está en contacto con dicha superficie.

### **1.26 Condensación intersticial**

Es la condensación que aparece en la masa interior de un cerramiento como consecuencia de que el vapor de agua que lo atraviesa alcanza la presión de saturación en algún punto interior de dicha masa.

### **1.27 Barrera de vapor**

Parte de un elemento constructivo a través del cual el vapor de agua no puede pasar. En la práctica se definen generalmente como barreras de vapor aquellos materiales cuya resistencia al vapor es superior a 10 MN s/g, es decir, su permeancia al vapor es inferior al 0,1 g/MN s.

### **1.28 Grado-día**

Símbolo: G

Unidad: °C

Grados/día de un período determinado de tiempo es la suma, para todos los días de ese período de tiempo, de la diferencia entre una temperatura fija o base de los grados/día y la temperatura media del día, cuando esa temperatura media diaria sea inferior a la temperatura base.

En esta Norma se han estimado para la confección del Mapa 1 los grados/día anuales con base 15 °C.

## 1.29 Permeabilidad al aire de las carpinterías

Símbolo: p.

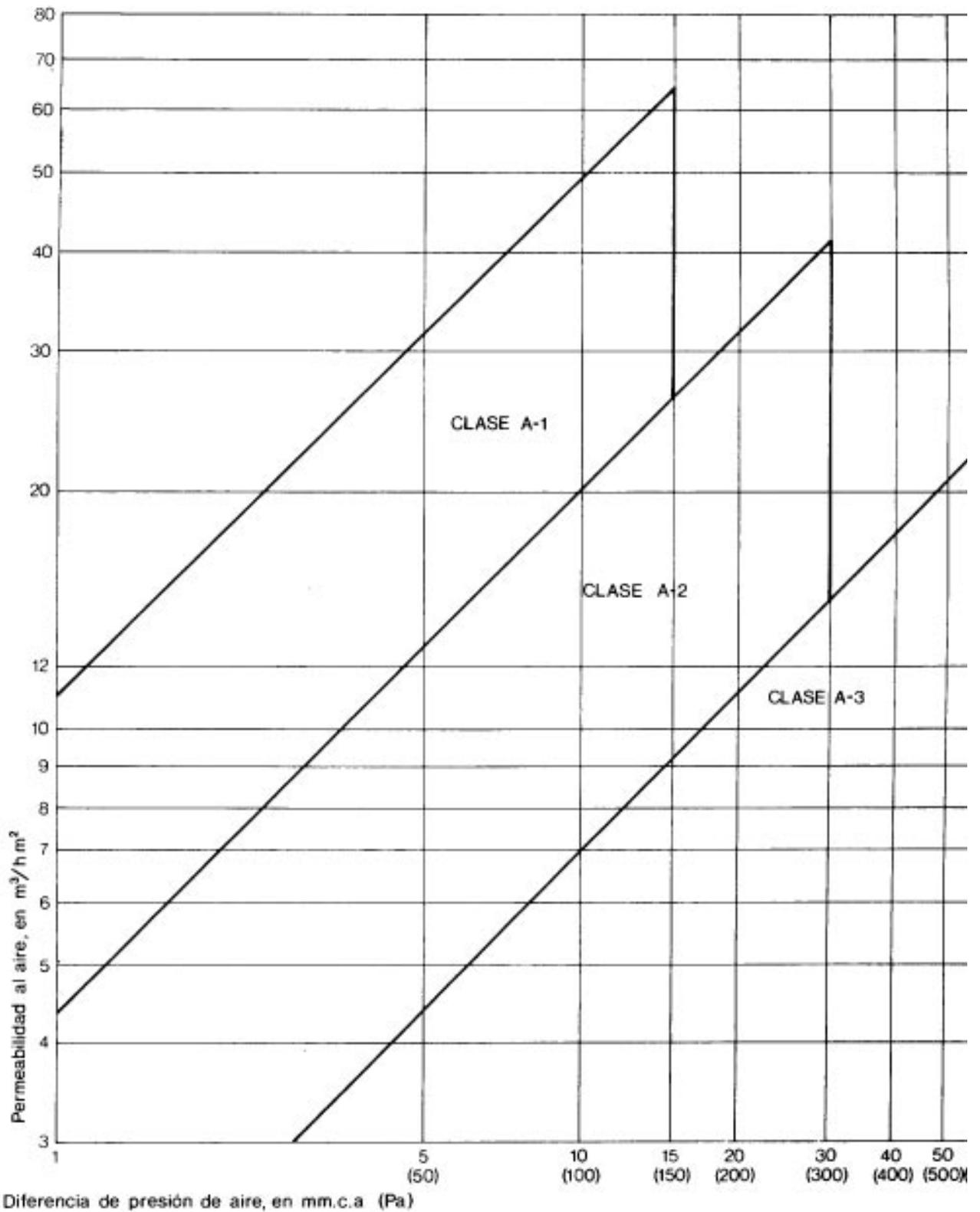
Unidad:  $\text{m}^3/\text{h m}^2$ .

Es la propiedad de una ventana o puerta de dejar pasar el aire cuando se encuentra sometida a una presión diferencial. La permeabilidad al aire se caracteriza por la capacidad de paso del aire expresada en  $\text{m}^3/\text{h}$  en función de la diferencia de presiones. Esta capacidad de paso o caudal puede referirse a la superficie de apertura (capacidad de paso por unidad de superficie  $\text{m}^3/\text{h m}^2$ ), a la longitud de los batientes (capacidad de paso por unidad de longitud  $\text{m}^3/\text{h m}$ ) o, por último, a la superficie total de la ventana (capacidad de paso por unidad de superficie  $\text{m}^3/\text{h m}^2$ ).

No se tendrán en cuenta las juntas entre carpintería y fábrica para el ensayo de la permeabilidad de la carpintería.

Según la permeabilidad al aire las carpinterías se clasifican en Clases A-1, A-2 y A-3, en el gráfico logarítmico siguiente, con coordenadas de permeabilidad referida a superficie total del hueco practicable y diferencia de presión.

La permeabilidad al aire se ensayará con la Norma UNE 7-405-76 (correspondiente a la Norma Europea EN 42), presentándose los resultados según Norma UNE 85-205-78 (correspondiente a la Norma Europea EN 78).



Clasificación de ventanas por su permeabilidad al aire

### 1.30 Cuadro de notaciones y unidades

| Notación       | Concepto   | Unidad tradicional           | Unidad Sistema Internacional SI |
|----------------|--|------------------------------|---------------------------------|
| $\lambda$      | Coefficiente de conductividad térmica o conductividad.   | kcal/h m °C                  | W/m °C; W/m °K                  |
| $r$            | Resistencia térmica.   | m h °C/kcal                  | m °C/W; m °K/W                  |
| $C$            | Conductancia térmica.  | kcal/h m <sup>2</sup> °C     | W/m <sup>2</sup> °C             |
| $R$            | Resistencia térmica interna.   | h m <sup>2</sup> °C/kcal     | m <sup>2</sup> °C/W             |
| $h_e, h_i$     | Coefficiente superficial de transmisión de calor, exterior e interior respectivamente.                                   | kcal/m <sup>2</sup> h °C     | W/m <sup>2</sup> °C             |
| $1/h_e, 1/h_i$ | Resistencia térmica superficial exterior e interior respectivamente.   | m <sup>2</sup> h °C/kcal     | m <sup>2</sup> °C/W             |
| $K$            | Coefficiente de transmisión térmica de calor.  | kcal/h m <sup>2</sup> °C     | W/m <sup>2</sup> °C             |
| $K_u$          | Coefficiente de transmisión térmica de calor útil.   | kcal/h m <sup>2</sup> °C     | W/m <sup>2</sup> °C             |
| $R_T$          | Resistencia térmica total.   | m <sup>2</sup> h °C/kcal     | m <sup>2</sup> °C/W             |
| $R_u$          | Resistencia térmica total útil.  | m <sup>2</sup> h °C/kcal     | m <sup>2</sup> °C/W             |
| $f$            | Factor de forma del edificio.  | m <sup>-1</sup>              | m <sup>-1</sup>                 |
| $K_G$          | Coefficiente de transmisión térmica global de un edificio.   | kcal/h m <sup>2</sup> °C     | W/m <sup>2</sup> °C             |
| $K_E$          | Coefficiente de transmisión térmica correspondiente a un cerramiento en contacto con el exterior.                        | kcal/h m <sup>2</sup> °C     | W/m <sup>2</sup> °C             |
| $K_N$          | Coefficiente de transmisión térmica correspondiente a un cerramiento en contacto con un edificio o local no calefactado. | kcal/h m <sup>2</sup> °C     | W/m <sup>2</sup> °C             |
| $K_B$          | Coefficiente de transmisión térmica correspondiente a un cerramiento en contacto con el terreno.                         | kcal/h m <sup>2</sup> °C     | W/m <sup>2</sup> °C             |
| $K_D$          | Coefficiente de transmisión térmica correspondiente a las cubiertas.   | kcal/h m <sup>2</sup> °C     | W/m <sup>2</sup> °C             |
| $k$            | Coefficiente de transmisión térmica lineal.  | kcal/h m °C                  | W/m °C                          |
| $t_s$          | Temperatura seca.  | °C                           | K                               |
| $t_h$          | Temperatura húmeda.  | °C                           | K                               |
| $t_r$          | Temperatura de rocío.  | °C                           | K                               |
| $H_R$          | Humedad relativa.  | %                            | %                               |
| $P_v$          | Presión de vapor.  | mmHg (Torr.)                 | mbar (1)                        |
| $P_s$          | Presión de saturación.   | mmHg (Torr.)                 | mbar (1)                        |
| $d_v$          | Permeabilidad o difusividad al vapor de agua.  | g cm/m <sup>2</sup> día mmHg | g m/MN s                        |
| $r_v$          | Resistividad al vapor de agua.   | mmHg m <sup>2</sup> día/g cm | MN s/g m                        |
| $R_v$          | Resistencia al vapor de agua.  | mmHg m <sup>2</sup> día/g    | MN s/g                          |
| $P$            | Permeancia al vapor de agua.   | g/mmHg m <sup>2</sup> día    | g/MN s                          |

(1) Admitida en el S.I., aunque la unidad de presión es el Pascal Pa:  
1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup>

## Anexo 2: Cálculo del coeficiente de transmisión de calor K de cerramientos

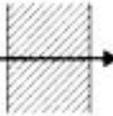
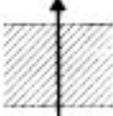
### 2.1 Cerramiento simple

Para un cerramiento de caras planoparalelas, formado por un material homogéneo de conductividad térmica  $\lambda$  y espesor L, con coeficientes superficiales de transmisión de calor  $h_i$  y  $h_e$ , el coeficiente de transmisión de calor K, también llamado de "aire-aire", viene dado por la expresión:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{h_e}$$

En la Tabla 2.1 se dan los valores de  $1/h_i$ ,  $1/h_e$  y  $1/h_i+1/h_e$  que deben estimarse para los cálculos, en función de la posición, del cerramiento y del sentido del flujo de calor, y de la situación del cerramiento.

Tabla 2.1

| Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor  | Situación del cerramiento                          |                |                |   |                |                |
|--|--|----------------|----------------|---|----------------|----------------|
|  | De separación con espacio exterior o local abierto |                |                | De separación con otro local, desván o cámara de aire |                |                |
|  | $1/h_i$  | $1/h_e$        | $1/h_i+1/h_e$  | $1/h_i$   | $1/h_e$        | $1/h_i+1/h_e$  |
| Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $> 60^\circ$ y flujo horizontal        | 0,13<br>(0,11)                                     | 0,07<br>(0,06) | 0,20<br>(0,17) | 0,13<br>(0,11)  | 0,13<br>(0,11) | 0,26<br>(0,22) |
| Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente  | 0,11<br>(0,09)                                     | 0,06<br>(0,05) | 0,17<br>(0,14) | 0,11<br>(0,09)  | 0,11<br>(0,09) | 0,22<br>(0,18) |
| Cerramientos horizontales y flujo descendente   | 0,20<br>(0,17)                                     | 0,06<br>(0,05) | 0,26<br>(0,22) | 0,20<br>(0,17)  | 0,20<br>(0,17) | 0,40<br>(0,34) |

Resistencias térmicas superficiales en  $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C/kcal$  ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )

### 2.2 Cerramiento compuesto

En los cerramientos formados por una serie de láminas planoparalelas de distintos materiales, el coeficiente K del conjunto se obtiene de la fórmula siguiente:

$$\frac{1}{K} = \sum \frac{L}{\lambda} + \left( \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \right)$$

donde  $\Sigma L/\lambda$  es la suma de las resistencias térmicas de las diferentes láminas que conforman el cerramiento. Si el cerramiento tiene heterogeneidades regularmente repartidas, pero importantes (huecos de los ladrillos y bloques), en el cálculo de  $K$  puede introducirse el concepto de resistencia térmica útil  $R_U$  por unidad de superficie, quedando la expresión:

$$\frac{1}{K} = \Sigma R_o + \left( \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \right)$$

### 2.3 Cerramiento con cámara de aire

Las cámaras de aire pueden ser consideradas por su resistencia térmica ya que la transmisión de calor por radiación y convección a su través es proporcional a la diferencia de temperatura de las paredes que los delimitan.

La resistencia térmica de los espacios de aire depende de la absorción de las superficies, del espesor de la cámara, del sentido del flujo del calor, de la inclinación y de la temperatura de los espacios, así como del movimiento del aire dentro de ellas.

#### 2.3.1 Cámaras de aire no ventiladas

La Tabla 2.2 da los valores que deben estimarse para los cálculos de la resistencia térmica al paso del calor de las cámaras de aire continuas, considerando al aire en reposo. Los valores están dados en función de la situación de la cámara de aire, de la dirección del flujo de calor y de su espesor, para cámaras formadas por materiales constructivos corrientes.

**Tabla 2.2**

| Situación de la cámara y dirección del flujo de calor | Espesor de la cámara, en mm |                |                |                |                |
|---|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|   | 10                          | 20             | 50             | 100            | ≥ 150          |
| Cámara de aire vertical y flujo horizontal            | 0,16<br>(0,14)              | 0,16<br>(0,16) | 0,21<br>(0,18) | 0,20<br>(0,17) | 0,19<br>(0,16) |
| Cámara de aire horizontal y flujo ascendente          | 0,16<br>(0,14)              | 0,17<br>(0,15) | 0,19<br>(0,16) | 0,19<br>(0,16) | 0,19<br>(0,16) |
| Cámara de aire horizontal y flujo descendente         | 0,17<br>(0,15)              | 0,21<br>(0,18) | 0,24<br>(0,21) | 0,24<br>(0,21) | 0,24<br>(0,21) |

Resistencia térmica de la cámara  $R_c$  en  $m^2 h \text{ } ^\circ C/kcal (m^2 \text{ } ^\circ C/W)$

#### 2.3.2 Cámaras de aire ventiladas

El grado de ventilación de las cámaras de aire se caracteriza por la relación entre la sección total de los orificios de ventilación  $S$ , expresada en  $cm^2$ , y la longitud del cerramiento  $L$ , expresada en  $m$ , para cerramientos verticales, o la superficie del cerramiento  $A$ , expresada en  $m^2$ , en el caso de cerramientos horizontales.

Se consideran tres casos:

Caso I: Cerramientos con cámara de aire *débilmente ventilada*.

Se consideran las cámaras sin ventilación o con ventilación débil cuando se cumplen las siguientes relaciones:

$S/L < 20 \text{ cm}^2/\text{m}$  para cerramientos verticales  
 $S/A < 3 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  para cerramientos horizontales

El cálculo del coeficiente  $K$  del cerramiento se realiza mediante la expresión:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + R_i + R_c + R_e + \frac{1}{h_e} \text{ en h m}^2 \text{ }^\circ\text{C/kcal (m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W) erior del cerramiento.}$$

donde:

$R_i$  es la resistencia térmica de la hoja interior del cerramiento

$R_c$  es la resistencia térmica de la cámara de aire calculada según apartado anterior.

$R_e$  es la resistencia térmica de la hoja exterior del cerramiento.

### Caso II: Cerramientos *con* cámara de aire *medianamente ventilada*

Se consideran las cámaras medianamente ventiladas cuando se cumplen las siguientes relaciones:

$20 \leq S/L < 500 \text{ cm}^2/\text{m}$  para cerramientos verticales

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

El coeficiente  $K$  de este cerramiento viene dado por:

$$K = K_1 + \alpha (K_2 - K_1) \text{ en kcal/h m}^2 \text{ }^\circ\text{C (W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C)}$$

Siendo:

$K_1$  Coeficiente  $K$  calculado por la fórmula del Caso I.

$K_2$  Coeficiente  $K$  calculado por la primera fórmula del Caso III.

$\alpha$  Coeficiente de ventilación de la cámara y que toma el valor de la tabla siguiente para cerramientos verticales y de 0,4 para los horizontales.

**Tabla 2.3**

| Relación de resistencias<br>térmicas de las hojas<br>$R_e/R_i$ | Relación $S/L$ , en $\text{cm}^2/\text{m}$                    |           |
|--|---|-----------|
|  | 20 a 200  | 200 a 500 |
| < 0,1  | 0,10  | 0,25      |
| 0,1 a 0,6  | 0,20  | 0,45      |
| 0,6 a 1,2  | 0,30  | 0,60      |
|  | Coeficiente $\alpha$ de ventilación de cámaras<br>verticales. |           |

### Caso III: Cerramientos *con* cámara de aire *muy ventilada*

Se consideran las cámaras muy ventiladas cuando se cumplen las siguientes relaciones:

$S/L \leq 500 \text{ cm}^2/\text{m}$  para cerramientos verticales

$S/A \leq 30 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  para cerramientos horizontales

Para realizar el cálculo de la  $K$  de este cerramiento se considera inexistente la hoja exterior, si bien entonces el aire exterior se considera en calma. El coeficiente  $K$  se calcula de la expresión:

$$\frac{1}{K} = \left( \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \right) + R, \text{ en h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/kcal (m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W)}$$

donde:

- Para cerramientos verticales:

$$\left( \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \right) = 0,24 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/kcal (0,20 m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W)}$$

- Para cerramientos horizontales con flujo ascendente (techos):

$$\left( \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \right) = 0,22 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/kcal (0,18 m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W)}$$

- Para cerramientos horizontales con flujo descendente (suelos):

$$\left( \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \right) = 0,31 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/kcal (0,26 m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W)}$$

Si la hoja exterior del cerramiento consiste en una pantalla o protección situada a cierta distancia, el espacio de aire está totalmente abierto con lo que el ambiente exterior no puede considerarse en calma. Entonces, el coeficiente  $K$  se calcula por la fórmula:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + R + \frac{1}{h_e} \text{ en h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/kcal (m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W)}$$

donde:  $(1/h_i + 1/h_e)$  toma los valores dados en la Tabla 2.1 para cerramientos de separación con el ambiente exterior.

## 2.4 Cerramientos de espesor

### 2.4.1 Cerramientos con hojas de espesor variable

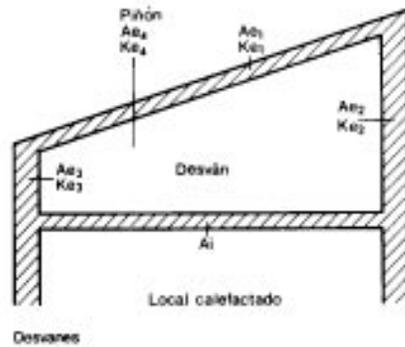
Para la obtención del coeficiente  $K$  se considerará el espesor medio de las hojas de espesor variable, aplicándose las fórmulas dadas en los epígrafes 2.1 Cerramiento Simple y 2.2 Cerramiento Compuesto.

### 2.4.2 Cerramientos con cámara de aire de espesor variable

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

La ventilación de la cámara de aire se caracteriza por la relación entre la sección total de los orificios de ventilación  $S$ , expresada en  $\text{cm}^2$ , y la superficie  $A_i$  del forjado que lo separa del local habitable, expresada en  $\text{m}^2$ .

El coeficiente de transmisión térmica  $K$  que se define a continuación es igual al flujo de calor que atraviesa  $1 \text{ m}^2$  de forjado para una diferencia de temperatura entre el local y el exterior de  $1 \text{ } ^\circ\text{C}$ .



Al igual que en el apartado anterior se consideran tres casos:

Caso I: Cerramientos con cámara de aire *débilmente ventilada*.

Se considera que la cámara no está o está débilmente ventilada cuando:

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

El cálculo se realiza igual que si la cámara no estuviera ventilada. Es decir:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_i} + \frac{A_i}{\sum(K_e \cdot A_e)} \text{ en } \text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/kcal (m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W)}$$

Donde:

$K_i$  es el coeficiente de transmisión de calor del forjado en cuyo cálculo se ha tomado:

$\sum(K_e \cdot A_e)$  es la suma de los productos de  $K_e - A_e$  de los cerramientos exteriores que delimitan el espacio de aire,

$$\left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}\right) = 0,22 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/kcal (0,18 m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W)}$$

donde  $K_e$  es su coeficiente de transmisión de calor y  $A_e$  su superficie.

Caso II: Cerramientos con cámara de aire medianamente ventilada

Se considera que la cámara está medianamente ventilada cuando

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

En este caso:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_i} + \frac{1}{\alpha + \sum(K_e \cdot A_e)/A_i}$$

donde:

$K_i$ ,  $K_e$ ,  $A_e$  y  $A_i$  tienen el mismo significado que en el Caso I anterior.

$\alpha$  es un coeficiente igual a  $4,3 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$  ( $5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ )

Caso III: Cerramientos con cámara de aire muy ventilada

Se considera que la cámara está muy ventilada cuando:

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

El coeficiente k se calcula en este caso con la fórmula dada en Caso III del epígrafe 2.3.2.

## 2.5 Cerramientos en contacto

### 2.5.1 Cálculo simplificado con el terreno

El coeficiente de transmisión térmica  $K$  de un elemento en contacto con el terreno se calculará con la fórmula:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + \sum \frac{L}{\lambda} \text{ en h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/kcal (m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W)}$$

Por considerarse nula la resistencia superficial exterior  $1/h_e$ .

El valor de  $1/h_i$  se tomará de la Tabla 2.1 en función de la posición del elemento separador del terreno y el sentido del flujo de calor, siendo  $\lambda$  la conductividad térmica de los elementos que forman el cerramiento en contacto con el terreno y  $L$  sus espesores. En el caso de muros semienterrados, el coeficiente  $K$  de la parte no enterrada se calculará como se indicó anteriormente.

Cuando el cerramiento horizontal esté separado del terreno por una cámara de aire, se calculará de acuerdo con el apartado 2.5.4.

### 2.5.2 Cálculo por el método del coeficiente de transmisión térmica lineal $k$ para soleras y muros en contacto con el terreno

Con este método no se emplea la noción del coeficiente de transmisión térmica  $K$  a través de una superficie, sino que se utiliza el concepto de coeficiente de transmisión térmica lineal  $k$ , que es igual al flujo de calor que sale del local por metro de perímetro exterior del terreno o del muro considerado, por  $1^\circ\text{C}$  de diferencia de temperatura entre el local y el ambiente exterior. Este coeficiente se expresa en  $\text{kcal/m h } ^\circ\text{C}$  ( $\text{W/m } ^\circ\text{C}$ ).

Una vez obtenido el  $k$  de un cerramiento puede obtenerse el  $K$  con la siguiente fórmula:

$$K = \frac{k \cdot L}{S}$$

Siendo  $L$  la longitud de perímetro del cerramiento y  $S$  la superficie de la solera o muro.

Se consideran cuatro casos:

#### Caso I: Soleras en contacto *con el terreno*

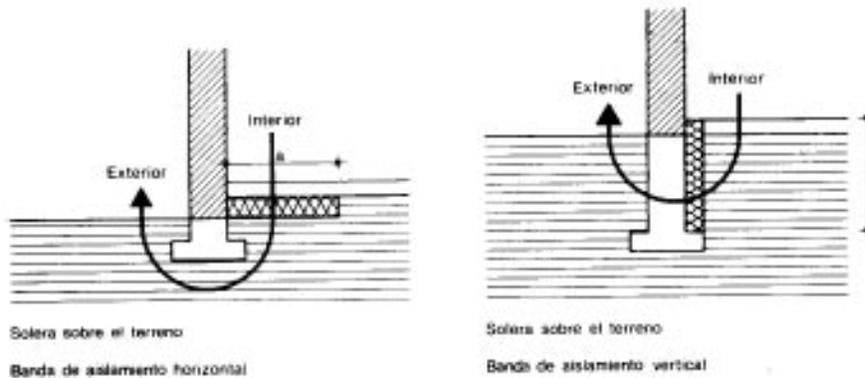
Se consideran en este apartado las soleras a nivel con el terreno o como máximo 0,50 m por debajo de éste.

Para soleras sin aislamiento térmico se tomará el valor del coeficiente  $k = 1,5 \text{ kcal/h m } ^\circ\text{C}$  ( $1,75 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ ). Este valor puede mejorarse colocando un aislamiento térmico de cualquiera de las maneras que se indican en las figuras siguientes. En este caso el coeficiente  $k$  viene dado por la Tabla 2.4, en función de la resistencia térmica  $r_i$  del aislante y por su anchura  $a$ .

Tabla 2.4

| Resistencia térmica $r_i$<br>del aislamiento en<br>$h \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/kcal (m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W)}$ | Ancho $a$ de la banda de aislamiento en m |                |                |                |
|---|---|----------------|----------------|----------------|
|   | 0,3                                       | 0,6            | 1,2            | $\geq 3,0$     |
| 0,2<br>(0,17)   | 1,35<br>(1,57)                            | 1,31<br>(1,52) | 1,28<br>(1,48) | 1,26<br>(1,46) |
| 0,4<br>(0,34)   | 1,28<br>(1,48)                            | 1,20<br>(1,39) | 1,15<br>(1,33) | 1,11<br>(1,29) |
| 0,6<br>(0,51)   | 1,22<br>(1,41)                            | 1,13<br>(1,31) | 1,06<br>(1,23) | 1,01<br>(1,17) |
| 0,8<br>(0,66)   | 1,18<br>(1,37)                            | 1,07<br>(1,24) | 0,99<br>(1,15) | 0,93<br>(1,08) |
| 1,0<br>(0,86)   | 1,15<br>(1,33)                            | 1,03<br>(1,19) | 0,93<br>(1,08) | 0,86<br>(1,00) |
| 1,2<br>(1,03)   | 1,13<br>(1,31)                            | 0,99<br>(1,15) | 0,88<br>(1,02) | 0,80<br>(0,93) |
| 1,4<br>(1,20)   | 1,11<br>(1,29)                            | 0,97<br>(1,12) | 0,84<br>(0,97) | 0,75<br>(0,87) |
| 1,6<br>(1,37)   | 1,09<br>(1,26)                            | 0,95<br>(1,10) | 0,81<br>(0,94) | 0,71<br>(0,82) |
| 1,8<br>(1,54)   | 1,07<br>(1,24)                            | 0,93<br>(1,08) | 0,78<br>(0,90) | 0,67<br>(0,77) |
| 2,0<br>(1,72)   | 1,06<br>(1,23)                            | 0,91<br>(1,05) | 0,76<br>(0,88) | 0,63<br>(0,73) |

**Coefficiente de transmisión térmica lineal  $k$  de la solera en  $\text{kcal/h m } ^\circ\text{C (W/m } ^\circ\text{C)}$**



Caso II: Muros *semienterrados*

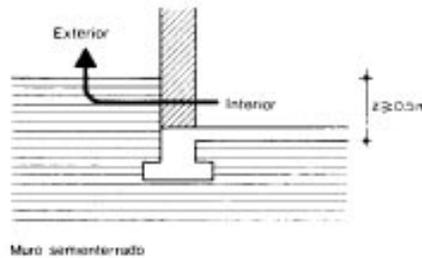
El coeficiente  $k$  se determina por la Tabla 2.5. en función del coeficiente de transmisión térmica del muro enterrado  $K_M$  y de la profundidad de la parte enterrada  $z$ .

Para el cálculo del coeficiente  $K_M$  se considera la suma de las resistencias térmicas superficiales igual a  $0,21 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/kcal (0,18 m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W)}$ .

Tabla 2.5

| Coeficiente de transmisión térmica $K_m$ del muro enterrado en kcal/h m <sup>2</sup> °C (W/m <sup>2</sup> °C) | Profundidad $z$ de la parte enterrada del muro, en m |        |        |        |        |        |
|---|--|--------|--------|--------|--------|--------|
|   | 0,5  | 1      | 2      | 3      | 4      | ≥ 6    |
| 0,6   | 0,26   | 0,47   | 0,79   | 1,03   | 1,22   | 1,52   |
| (0,69)  | (0,30)   | (0,54) | (0,91) | (1,15) | (1,41) | (1,76) |
| 0,8   | 0,34   | 0,59   | 0,96   | 1,22   | 1,44   | 1,76   |
| (0,93)  | (0,39)   | (0,68) | (1,11) | (1,41) | (1,67) | (2,04) |
| 1,0   | 0,41   | 0,70   | 1,11   | 1,39   | 1,62   | 1,96   |
| (1,16)  | (0,47)   | (0,81) | (1,29) | (1,61) | (1,88) | (2,27) |
| 1,2   | 0,48   | 0,80   | 1,24   | 1,54   | 1,77   | 2,12   |
| (1,39)  | (0,55)   | (0,98) | (1,44) | (1,79) | (2,05) | (2,46) |
| 1,4   | 0,54   | 0,89   | 1,35   | 1,66   | 1,90   | 2,25   |
| (1,62)  | (0,62)   | (1,03) | (1,57) | (1,93) | (2,20) | (2,61) |
| 1,6   | 0,60   | 0,97   | 1,45   | 1,75   | 2,02   | 2,37   |
| (1,86)  | (0,69)   | (1,12) | (1,68) | (2,07) | (2,34) | (2,75) |
| 1,8   | 0,64   | 1,04   | 1,55   | 1,88   | 2,12   | 2,47   |
| (2,09)  | (0,74)   | (1,20) | (1,80) | (2,18) | (2,46) | (2,87) |
| 2,0   | 0,70   | 1,11   | 1,63   | 1,97   | 2,20   | 2,56   |
| (2,32)  | (0,81)   | (1,29) | (1,89) | (2,29) | (2,55) | (2,97) |
| 2,2   | 0,75   | 1,18   | 1,70   | 2,05   | 2,29   | 2,65   |
| (2,55)  | (0,87)   | (1,37) | (1,97) | (2,38) | (2,66) | (3,08) |
| 2,4   | 0,80   | 1,23   | 1,78   | 2,12   | 2,37   | 2,73   |
| (2,79)  | (0,93)   | (1,43) | (2,07) | (2,46) | (2,75) | (3,17) |
| 2,6   | 0,84   | 1,29   | 1,84   | 2,19   | 2,44   | 2,90   |
| (3,02)  | (0,97)   | (1,50) | (2,13) | (2,54) | (2,83) | (3,25) |
| 2,8   | 0,89   | 1,34   | 1,90   | 2,24   | 2,52   | 2,87   |
| (3,25)  | (1,03)   | (1,55) | (2,20) | (2,60) | (2,93) | (3,33) |
| 3,0   | 0,93   | 1,40   | 1,96   | 2,30   | 2,60   | 2,95   |
| (3,48)  | (1,08)   | (1,62) | (2,27) | (2,67) | (3,02) | (3,43) |

Coeficiente de transmisión térmica lineal  $k$  del muro enterrado en kcal/h m °C (W/m °C)



Caso III: Muros totalmente enterrados

El coeficiente  $k$  se obtiene de la expresión:

$$k = k_s - k_p$$

Donde  $k_s$  y  $k_p$  son los coeficientes  $k$  dados en la tabla del apartado anterior, donde:

$k_s$  es el que se obtiene al hacer  $z = z_s$

$k_p$  es el que se obtiene al hacer  $z = z_p$

$z_s$  y  $z_p$  son las alturas definidas en la figura.

Para entrar en la tabla, el coeficiente  $k$  es siempre el coeficiente de transmisión térmica del muro enterrado comprendido entre las cotas  $z_s$  y  $z_p$ .

Caso IV: Soleras de sótanos enterradas

Se consideran enterradas las soleras cuando la diferencia de cotas entre el terreno y ellas es superior a 0,50 m.

El coeficiente  $k$  se obtiene del ábaco siguiente, en función de la profundidad  $z$  a que esté situada la solera.

Tabla 2.6

| Profundidad z de la solera en m   | 0,5            | 1              | 2              | 3              | 4              | 5              | > 6      |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|
| Coefficiente de transmisión térmica lineal k de la solera enterrada en kcal/h m °C (W/m °C) | 1,50<br>(1,74) | 0,87<br>(1,01) | 0,57<br>(0,66) | 0,35<br>(0,40) | 0,20<br>(0,23) | 0,10<br>(0,11) | 0<br>(0) |

### 2.5.3 Cálculo de K para forjados enterrados y azoteas ajardinadas

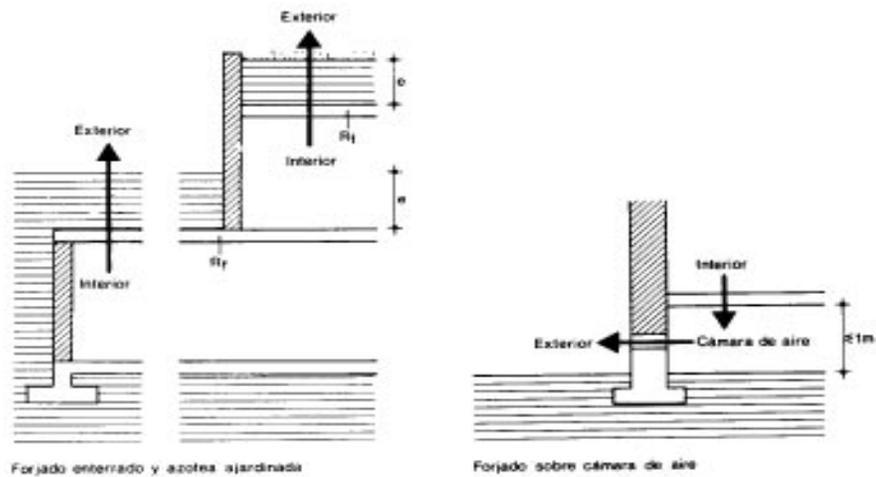
El coeficiente de transmisión térmica K viene dado por la fórmula siguiente:

$$\frac{1}{K} = 0,17 + R_i + \frac{e}{1,6} \quad (\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}/\text{kcal})$$

$$\frac{1}{K} = 0,14 + R_i + \frac{e}{1,9} \quad (\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W})$$

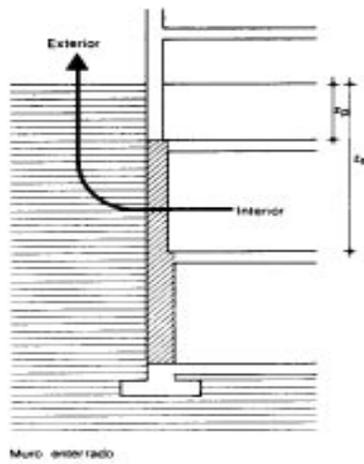
Donde:

$R_i$  es la resistencia interna del forjado expresada en  $\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}/\text{kcal}$  ( $\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$ ),  
e es el espesor del terreno por encima del forjado, expresado en m.



### 2.5.4 Cálculo de K para forjados sobre cámara de aire

Este método de cálculo es aplicable para cámaras de aire de una altura inferior o igual a 1 m. En caso contrario, la cámara se considerará como un local y su coeficiente K se calculará según los apartados 2.1 ó 2.2, donde  $1/h_e$  tomará los valores dados en la Tabla 2.1 para cerramientos exteriores.



El coeficiente de transmisión térmica definido por la fórmula siguiente es igual al flujo de calor que atraviesa 1 m<sup>2</sup> de forjado, por 1°C de diferencia de temperatura entre este local y el ambiente exterior.

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_f} + \frac{1}{\alpha + 2,6 (l_{ex}/A)} \quad (\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}/\text{kcal})$$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_f} + \frac{1}{\alpha + 3 (l_{ex}/A)} \quad (\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W})$$

Donde:

$K_f$  es el coeficiente de transmisión térmica del forjado que separa el local de la cámara de aire, en kcal/m<sup>2</sup> h °C (W/m<sup>2</sup> °C), y calculado tomando la suma de las resistencias superficiales (1/h<sub>i</sub>+1/h<sub>e</sub>) igual a 0,34 m<sup>2</sup> h °C/kcal (0,29 m<sup>2</sup> °C/W).

$l_{ex}$  es el perímetro exterior de la cámara de aire en m.

$A_{es}$  la superficie de la cámara de aire en m<sup>2</sup>.

$\alpha$  es un coeficiente cuyo valor se da en la tabla siguiente, en función de la relación entre la sección total de las aberturas de ventilación S, en cm<sup>2</sup> y la superficie de la cámara de aire A, en m<sup>2</sup>.

Tabla 2.7

| Relación S/A en cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> | Coeficiente $\alpha$ en  |                       |
|---|--------------------------|-----------------------|
|   | kcal/m <sup>2</sup> h °C | (W/m <sup>2</sup> °C) |
| Cámara de aire muy ventilada $\geq 10$          | 1,4                      | (1,6)                 |
| Cámara de aire medianamente ventilada 2 - 10    | 0,35                     | (0,4)                 |
| Cámara de aire muy poco ventilada $< 2$         | 0,0                      | (0,0)                 |

## 2.6 Coeficiente útil de transmisión de calor

### 2.6.1 Generalidades

Las edificaciones nunca están delimitadas por un cerramiento normalmente homogéneo y continuo, longitudinal y transversalmente. Los huecos, los elementos estructurales, los encuentros entre forjados y muros, las juntas y uniones con mortero, anclajes tanto de los paneles prefabricados como de ladrillos y bloques, etc., hacen que dicha superficie envolvente de los cerramientos, a través de las cuales

tiene lugar los procesos de transmisión del calor y de la difusión del vapor de agua entre los dos ambientes que separa, presente ciertas heterogeneidades que van a influir decisivamente en las características que regularán el equilibrio térmico del sistema edificio-clima exterior.

Por consiguiente, si la homogeneidad de una pared o cubierta se ve interrumpida por la intersección de otro elemento de mayor conductividad térmica, pilar o vigas metálicas, por ejemplo, la cantidad de calor que atraviesa la sección de este material será mayor que la que atraviesa otra sección cualquiera del resto de la pared o cubierta. Es decir, que la densidad de líneas de flujo de calor en esta zona es superior a la del resto del cerramiento.

A esta parte de mayor densidad de peso de calor se le denomina punto débil de transmisión de calor o puente térmico.

Los cerramientos con puentes térmicos definen su poder aislante mediante un coeficiente útil de transmisión de calor en cuyo cálculo deben tenerse en cuenta las características termofísicas y geométricas del elemento constitutivo del puente térmico.

## 2.6.2 Cerramientos con heterogeneidades simples

Se dice que una heterogeneidad es simple cuando ésta queda perfectamente definida y delimitada por dos planos perpendiculares a las caras del cerramiento, así como cuando en la constitución del conjunto del cerramiento, no existen flujos de calor laterales realmente importantes entre la parte heterogénea y el resto del cerramiento. Termofísicamente hablando la heterogeneidad viene definida por un coeficiente de transmisión térmica distinto, mayor o menor, que el del resto del cerramiento.

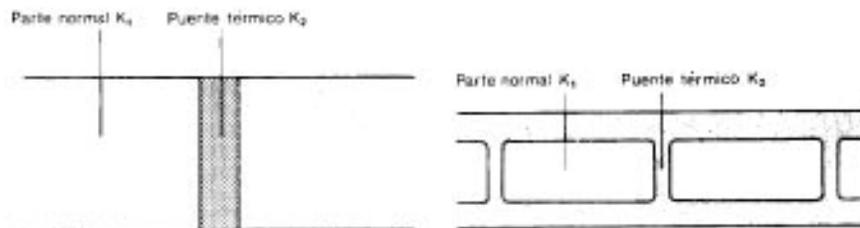
El método del cálculo del coeficiente de transmisión térmica útil medio del cerramiento se basa en la descomposición de éste en elementos homogéneos en los que se determina su correspondiente K

Es decir:

$$K_m = \frac{\sum K_i A_i}{\sum A_i}$$

siendo  $A_j$  la superficie del cerramiento a que corresponde un coeficiente de transmisión igual a  $K_j$ .

De este modo, la resistencia térmica de un bloque hueco, como el que muestra la figura, con secciones alternativas de material sólido y cámara de aire, puede ser deducida por este procedimiento siempre que el espesor del espacio de aire sea igual o mayor a 20 mm y suficientemente grande en comparación con su espesor total. Sin embargo, en el caso de ladrillos huecos no puede seguirse este método dado que los espacios de aire no cumplen esas condiciones, por lo que su resistencia térmica puede obtenerse de la tabla que se da al final de este Anexo.



### 2.6.3 Cerramientos con heterogeneidades complejas

A continuación se explica el sistema de cálculo de cerramientos con las heterogeneidades complejas que suelen ser más frecuentes en construcción.

Se consideran dos casos:

#### Caso I: Cerramientos con un entramado de perfil metálico

Se sigue el mismo procedimiento de cálculo del apartado anterior. La heterogeneidad compleja se asimila a una simple en la que la anchura y el coeficiente de transmisión  $K$  son los siguientes:

- Para perfiles en I:

La anchura de la heterogeneidad equivalente es la longitud  $L$  del ala del perfil. La  $K$  equivalente se deduce de:

$$\frac{1}{K} = \left( \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \right) \frac{1}{1+E} + \frac{H}{\lambda_m} \left( \frac{L}{E} - \frac{L}{H} \right) \text{ en h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/kcal (m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W)}$$

donde  $\lambda_m$  es la conductividad térmica del metal del perfil, y  $E$ ,  $L$  y  $H$  son las dimensiones acotadas en la figura expresadas en m.

-Para perfiles en U:

La anchura de la heterogeneidad equivalente es la longitud  $L$  del ala del perfil La  $K$  equivalente se deduce de:

$$\frac{1}{K} = \left( \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \right) \frac{1}{1+E} + \frac{H}{\lambda_m} \cdot \frac{L}{E} \text{ en h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/kcal (m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W)}$$

con las mismas notaciones que en el párrafo anterior.

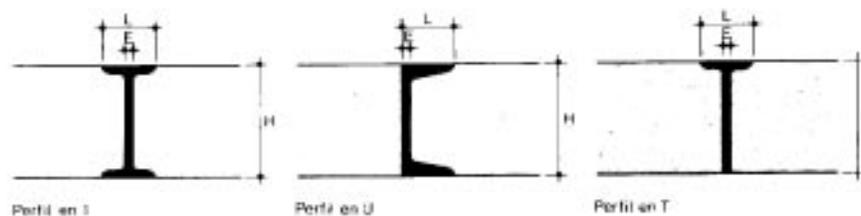
-Para perfiles en T:

La anchura equivalente de la heterogeneidad  $E$ , es la del alma del perfil, y el coeficiente  $K$  equivalente se deduce de las expresiones siguientes:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} \cdot \frac{EIL}{1+EIL} + \frac{H}{\lambda_m} \left( 1 - 0,75 \frac{E}{H} \right) + \frac{1}{h_e} \text{ Ala por la parte interior}$$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + \frac{H}{\lambda_m} \left( 1 - 0,75 \frac{E}{H} \right) + \frac{1}{h_e} \cdot \frac{EIL}{1+EIL} \text{ Ala por la parte exterior}$$

con las mismas unidades y notación que anteriormente.



Caso II: cerramiento de *paneles de hormigón con relleno de material aislante*. En este caso se sigue empleando el método de la ecuación del apartado 2.6.2, pero mayorando las superficies del entramado o parte maciza y minorando las de las

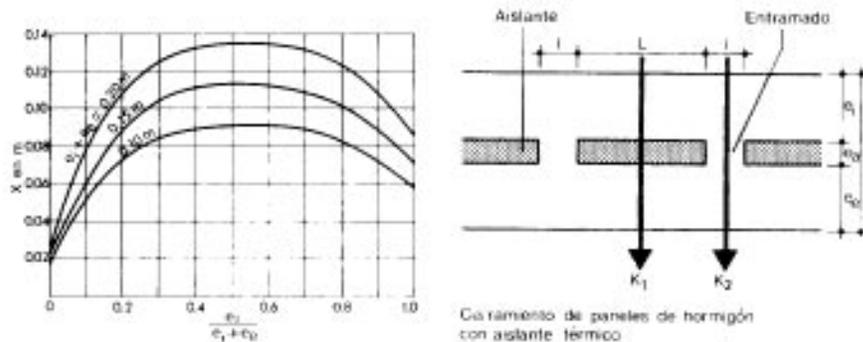
partes normales del cerramiento. La mayorización de la superficie de los entramados o partes macizas se obtiene de aumentar su anchura real en una cantidad  $x$  dada por el ábaco adjunto en función de:

- a) espesor total del hormigón ( $e_i + e_e$ ) en metros, y
- d) de la relación  $e_i / (e_i + e_e)$

Los límites de aplicación de este método son los siguientes:

- a) Conductividad térmica útil del aislante, inferior a  $0,05 \text{ kcal/m h } ^\circ\text{C}$  ( $0,06 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ ).
- b) La distancia media entre entramados o partes macizas es superior a tres veces su anchura media.

Sobre los bordes de estos cerramientos la mayorización y minoración de superficies es de  $x/2$ .



## 2.7 Conductividades térmicas de materiales empleados en cerramientos

Los datos que aparecen en esta tabla de algunos materiales utilizables en cerramientos, son valores típicos indicativos para los cálculos que se precisan en esta Norma. Pueden tomarse valores más estrictos cuando el material disponga de datos avalados por Marca o Sello de Calidad y en su defecto se disponga de ensayos realizados en los últimos dos años por laboratorios oficiales.

Los valores aparecen en unidades tradicionales y entre paréntesis en el Sistema Internacional S.I., y están dados para una temperatura de  $0^\circ\text{C}$ .

**Tabla 2.8**

| Material  | Densidad aparente kg/m <sup>3</sup> | Conductividad térmica $\lambda$ |          |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|----------|
|   |                                     | kcal/hm °C                      | (W/m °C) |
| - Hormigón en masa con grava normal:                |                                     |                                 |          |
| • con áridos ligeros                                | 1600                                | 0,63                            | (0,73)   |
| • con áridos ordinarios, sin vibrar                 | 2000                                | 1,00                            | (1,16)   |
| • con áridos ordinarios, vibrado                    | 2400                                | 1,40                            | (1,63)   |
| - Hormigón en masa con arcilla expandida            | 500                                 | 0,10                            | (0,12)   |
| Hormigón en masa con arcilla expandida              | 1500                                | 0,47                            | (0,55)   |
| Fábrica de bloques de hormigón incluidas juntas (1) |                                     |                                 |          |
| - Con ladrillos silicocalcáreos macizo              | 1600                                | 0,68                            | (0,79)   |
| - Con ladrillos silicocalcáreos perforado           | 2500                                | 0,48                            | (0,56)   |
| - Con bloques huecos de hormigón                    | 1000                                | 0,38                            | (0,44)   |
| Con bloques huecos de hormigón                      | 1200                                | 0,42                            | (0,49)   |
| Con bloques huecos de hormigón                      | 1400                                | 0,48                            | (0,56)   |
| - Con bloques hormigón celular curado vapor         | 600                                 | 0,30                            | (0,35)   |
| Con bloques hormigón celular curado vapor           | 800                                 | 0,35                            | (0,41)   |
| Con bloques hormigón celular curado vapor           | 1000                                | 0,40                            | (0,47)   |
| - Con bloques hormigón celular curado aire          | 800                                 | 0,38                            | (0,44)   |
| Con bloques hormigón celular curado aire            | 1000                                | 0,48                            | (0,56)   |
| Con bloques hormigón celular curado aire            | 1200                                | 0,60                            | (0,70)   |
| Placas o paneles                                    |                                     |                                 |          |
| - Cartón-yeso                                       | 900                                 | 0,16                            | (0,18)   |
| - Hormigón con fibra de madera                      | 450                                 | 0,07                            | (0,08)   |
| - Placas de escayola                                | 800                                 | 0,26                            | (0,30)   |
| LADRILLOS Y PLAQUETAS                               |                                     |                                 |          |
| - Fábrica de ladrillo macizo                        | 1800                                | 0,75                            | (0,87)   |
| Fábrica de ladrillo perforado                       | 1600                                | 0,65                            | (0,76)   |
| Fábrica de ladrillo hueco                           | 1200                                | 0,42                            | (0,49)   |
| - Plaquetas   | 2000                                | 0,90                            | (1,05)   |
| VIDRIO (2)  |                                     |                                 |          |
| - Vidrio plano para acristalar                      | 2500                                | 0,82                            | (0,95)   |
| METALES   |                                     |                                 |          |
| - Fundición y acero                                 | 7850                                | 50                              | (58)     |
| - Cobre   | 8900                                | 330                             | (384)    |
| - Bronce  | 8500                                | 55                              | (64)     |
| - Aluminio  | 2700                                | 175                             | (204)    |
| MADERA  |                                     |                                 |          |
| - Maderas frondosas                                 | 800                                 | 0,18                            | (0,21)   |
| - Maderas de coníferas                              | 600                                 | 0,12                            | (0,14)   |
| - Contrachapado                                     | 600                                 | 0,12                            | (0,14)   |
| - Tablero aglomerado de partículas                  | 650                                 | 0,07                            | (0,08)   |
| PLASTICOS Y REVESTIMIENTOS DE SUELOS                |                                     |                                 |          |
| - Linóleo   | 1200                                | 0,16                            | (0,19)   |
| - Moquetas, alfombras                               | 1000                                | 0,04                            | (0,05)   |
| MATERIALES BITUMINOSOS                              |                                     |                                 |          |
| - Asfalto   | 2100                                | 0,60                            | (0,70)   |
| - Betún   | 1050                                | 0,15                            | (0,17)   |
| - Láminas bituminosas                               | 1100                                | 0,16                            | (0,19)   |
| MATERIALES AISLANTES TERMICOS                       |                                     |                                 |          |
| - Arcilla expandida                                 | 300                                 | 0,073                           | (0,085)  |
| Arcilla expandida                                   | 450                                 | 0,098                           | (0,114)  |
| - Aglomerado de corcho UNE 5.690                    | 110                                 | 0,034                           | (0,039)  |
| - Espuma elastomérica                               | 60                                  | 0,029                           | (0,034)  |
| - Fibra de vidrio:                                  |                                     |                                 |          |
| • Tipo I  | 10-18                               | 0,038                           | (0,044)  |
| • Tipo II   | 19-30                               | 0,032                           | (0,037)  |
| • Tipo III  | 31-45                               | 0,029                           | (0,034)  |
| • Tipo IV   | 46-65                               | 0,028                           | (0,033)  |
| • Tipo V  | 66-90                               | 0,028                           | (0,033)  |
| • Tipo VI   | 91                                  | 0,031                           | (0,036)  |

| Material  | Densidad aparente kg/m <sup>3</sup> | Conductividad térmica $\lambda$ kcal/hm °C (W/m °C) |        |
|---|-------------------------------------|---|--------|
| <b>ROCAS Y SUELOS NATURALES</b>                                   |                                     |   |        |
| Rocas y terrenos  |                                     |   |        |
| - Rocas compactas   | 2500-3000                           | 3,00  | (3,50) |
| - Rocas porosas   | 1700-2500                           | 2,00  | (2,33) |
| - Arena con humedad natural                                       | 1700                                | 1,20  | (1,40) |
| - Suelo coherente humedad natural                                 | 1800                                | 1,80  | (2,10) |
| Arcilla   | 2100                                | 0,80  | (0,93) |
| Materiales suelos de relleno desecados al aire, en forjados, etc. |                                     |   |        |
| - Arena   | 1500                                | 0,50  | (0,58) |
| - Grava rodada o de machaqueo                                     | 1700                                | 0,70  | (0,81) |
| - Escoria de carbón   | 1200                                | 0,16  | (0,19) |
| - Cascote de ladrillo   | 1300                                | 0,35  | (0,41) |
| <b>PASTAS, MORTEROS Y HORMIGONES</b>                              |                                     |   |        |
| Revestimientos continuos  |                                     |   |        |
| - Morteros de cal y bastardos                                     | 1600                                | 0,75  | (0,87) |
| - Mortero de cemento  | 2000                                | 1,20  | (1,40) |
| - Enlucido de yeso  | 800                                 | 0,26  | (0,30) |
| - Enlucido de yeso con perlita                                    | 570                                 | 0,16  | (0,18) |
| Hormigones normales y ligeros                                     |                                     |   |        |
| - Hormigón armado (normal)  | 2400                                | 1,40  | (1,63) |
| - Hormigón con áridos ligeros                                     | 600                                 | 0,15  | (0,17) |
| Hormigón con áridos ligeros                                       | 1000                                | 0,28  | (0,33) |
| Hormigón con áridos ligeros                                       | 1400                                | 0,47  | (0,55) |
| - Hormigón celular con áridos silíceos                            | 600                                 | 0,29  | (0,34) |
| Hormigón celular con áridos silíceos                              | 1000                                | 0,58  | (0,67) |
| Hormigón celular con áridos silíceos                              | 1400                                | 0,94  | (1,09) |
| Hormigón celular sin áridos                                       | 305                                 | 0,08  | (0,09) |

| Material  | Densidad aparente kg/m <sup>3</sup> | Conductividad térmica $\lambda$ kcal/hm °C (W/m °C) |         |
|---|-------------------------------------|---|---------|
| - Lana mineral:                                   |                                     |   |         |
| • Tipo I  | 30-50                               | 0,036   | (0,042) |
| • Tipo II   | 51-70                               | 0,034   | (0,040) |
| • Tipo III  | 71-90                               | 0,033   | (0,038) |
| • Tipo IV   | 91-120                              | 0,033   | (0,038) |
| • Tipo V  | 121-150                             | 0,033   | (0,038) |
| - Perlita expandida                               | 130                                 | 0,040   | (0,047) |
| - Poliestireno expandido UNE 53.310:              |                                     |   |         |
| • Tipo I  | 10                                  | 0,049   | (0,057) |
| • Tipo II   | 12                                  | 0,038   | (0,044) |
| • Tipo III  | 15                                  | 0,032   | (0,037) |
| • Tipo IV   | 20                                  | 0,029   | (0,034) |
| • Tipo V  | 25                                  | 0,028   | (0,033) |
| - Poliestireno extrusionado                       | 33                                  | 0,028   | (0,033) |
| - Polietileno reticulado                          | 30                                  | 0,033   | (0,038) |
| - Polisocianurato, espuma de                      | 35                                  | 0,022   | (0,026) |
| - Poliuretano conformado, espuma de               |                                     |   |         |
| • Tipo I  | 32                                  | 0,020   | (0,023) |
| • Tipo II   | 35                                  | 0,020   | (0,023) |
| • Tipo III  | 40                                  | 0,020   | (0,023) |
| • Tipo IV   | 80                                  | 0,034   | (0,040) |
| - Poliuretano aplicado <i>in situ</i> , espuma de |                                     |   |         |
| • Tipo I  | 35                                  | 0,020   | (0,023) |
| • Tipo II   | 40                                  | 0,020   | (0,023) |
| - Urea formol, espuma de                          | 10-12                               | 0,029   | (0,034) |
| - Urea formol, espuma de                          | 12-14                               | 0,030   | (0,035) |
| - Vermiculita expandida                           | 120                                 | 0,030   | (0,035) |
| - Vidrio celular                                  | 160                                 | 0,038   | (0,044) |

(1) Las densidades se refieren al bloque, no a la fábrica.

(2) Véase tabla de resistencias térmicas.

## 2.8 Resistencias térmicas útiles de elementos constructivos

En las siguientes tablas se dan con carácter orientativo los valores útiles que pueden emplearse de resistencia térmica de algunos elementos constructivos que pueden formar parte del cerramiento o constituir ellos mismos el propio cerramiento.

### 2.8.1 Muros de cerramiento de ladrillo

En las Tablas 2.9 y 2.10 se da el valor de la resistencia térmica útil de un cerramiento de ladrillo de una hoja, en función del tipo de ladrillo, hueco, perforado o macizo, y del espesor del cerramiento, excluidos los revestimientos que pudiera llevar.

Tabla 2.9

| Formato métrico  |                                      | Espesor E, en cm, del cerramiento |                |                |                |                |                |                |
|------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Tipo de ladrillo | Peso específico en kg/m <sup>3</sup> | 4,0                               | 5,3            | 9,0            | 11,5           | 24,0           | 36,0           | 49,0           |
| Hueco            | 1200                                 | 0,09<br>(0,07)                    | 0,13<br>(0,11) | 0,21<br>(0,18) | 0,27<br>(0,23) | 0,57<br>(0,49) | 0,86<br>(0,74) | 1,17<br>(1,00) |
| Perforado        | 1600                                 | 0,06<br>(0,05)                    | 0,08<br>(0,07) | 0,14<br>(0,12) | 0,18<br>(0,15) | 0,37<br>(0,32) | 0,55<br>(0,47) | 0,75<br>(0,65) |
| Macizo           | 1800                                 | 0,05<br>(0,04)                    | 0,07<br>(0,06) | 0,12<br>(0,10) | 0,15<br>(0,13) | 0,32<br>(0,27) | 0,48<br>(0,41) | 0,65<br>(0,60) |

Resistencia térmica R en m<sup>2</sup> h °C/kcal (m<sup>2</sup> °C/W)

Tabla 2.10

| Formato catalán  |                                      | Espesor E, en cm, del cerramiento |                |                |                |                |                |                |
|------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Tipo de ladrillo | Peso específico en kg/m <sup>3</sup> | 4,0                               | 6,5            | 9,0            | 14,0           | 19,0           | 29,0           | 44,0           |
| Hueco            | 1200                                 | 0,09<br>(0,07)                    | 0,15<br>(0,13) | 0,21<br>(0,18) | 0,33<br>(0,28) | 0,45<br>(0,39) | 0,69<br>(0,59) | 1,04<br>(0,89) |
| Perforado        | 1600                                 | 0,06<br>(0,05)                    | 0,10<br>(0,09) | 0,14<br>(0,12) | 0,21<br>(0,18) | 0,29<br>(0,25) | 0,45<br>(0,39) | 0,68<br>(0,58) |
| Macizo           | 1800                                 | 0,05<br>(0,04)                    | 0,09<br>(0,07) | 0,12<br>(0,10) | 0,19<br>(0,16) | 0,25<br>(0,22) | 0,39<br>(0,34) | 0,59<br>(0,50) |

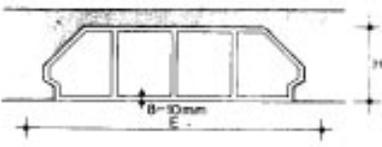
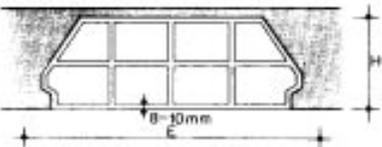
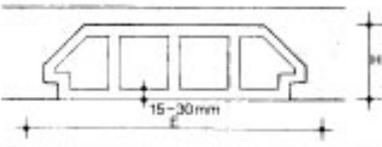
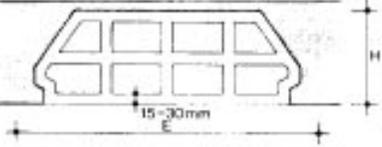
Resistencia térmica R en m<sup>2</sup> h °C/kcal (m<sup>2</sup> °C/W)

### 2.8.2 Forjados

En la Tabla 2.11 se dan valores de resistencias térmicas útiles de algunos tipos de forjados unidireccionales con bovedillas, cerámicas o de hormigón, para distintas alturas de bovedillas y distancias de entrevigado.

Estos valores se dan para hormigón de relleno de senos y capa de compresión, con áridos normales.

Tabla 2.11

| Tipo de forjado  | Distancia de entrevigado E en cm | Altura H de la bovedilla, en cm |                |                |                |                |
|--|----------------------------------|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|  |                                  | 8                               | 12             | 16             | 20             | 25             |
| Bovedilla cerámica<br>    | < 45                             | 0,09<br>(0,08)                  | 0,13<br>(0,11) |                |                |                |
|  | 45 a 65                          | 0,13<br>(0,11)                  | 0,16<br>(0,14) |                |                |                |
|  | > 65                             | 0,14<br>(0,12)                  | 0,19<br>(0,16) |                |                |                |
| Bovedilla cerámica<br>    | < 45                             |                                 | 0,15<br>(0,13) | 0,20<br>(0,17) | 0,24<br>(0,21) | 0,29<br>(0,25) |
|  | 45 a 65                          |                                 | 0,22<br>(0,19) | 0,27<br>(0,23) | 0,30<br>(0,26) | 0,36<br>(0,31) |
|  | > 65                             |                                 | 0,27<br>(0,23) | 0,31<br>(0,27) | 0,35<br>(0,30) | 0,40<br>(0,34) |
| Bovedilla de hormigón<br> | < 65                             |                                 | 0,13<br>(0,11) | 0,15<br>(0,13) | 0,17<br>(0,15) | 0,21<br>(0,18) |
|  | ≥ 65                             |                                 | 0,14<br>(0,12) | 0,16<br>(0,14) | 0,19<br>(0,16) | 0,22<br>(0,19) |
| Bovedilla de hormigón<br> | < 65                             |                                 |                |                | 0,26<br>(0,22) | 0,29<br>(0,25) |
|  | ≥ 65                             |                                 |                |                | 0,27<br>(0,23) | 0,31<br>(0,27) |

Resistencia térmica R, en  $m^2 h \text{ } ^\circ C/kcal (m^2 \text{ } ^\circ C/W)$

### 2.8.3 Ventanas

Se consideran en este apartado las ventanas que pueden formar parte del cerramiento del edificio. No se da su resistencia térmica, pues estos elementos en si constituyen el propio cerramiento, por lo que añadiéndole la resistencia térmica superficial se obtiene su resistencia térmica total, es decir, el valor inverso de K. Los valores de la Tabla 2.12, se dan para la superficie total del hueco y no de la superficie del vidrio. Se ha estimado que ésta corresponde a 0,7 del hueco en carpintería de madera y 0,8 en carpintería metálica.

Tabla 2.12.

| Tipo de acristalamiento | Espesor nominal de la cámara de aire, en mm | Tipo de carpintería | Inclinación del hueco con respecto a la horizontal |              |
|-------------------------|---|---------------------|--|--------------|
|                         |   |                     | ≥ 60°  | < 60°        |
| Sencillo                |   | Madera              | 4,3<br>(5,0)                                       | 4,7<br>(5,5) |
|                         |   | Metálica            | 5,0<br>(5,8)                                       | 5,6<br>(6,5) |
| Doble                   | 6   | Madera              | 2,8<br>(3,3)                                       | 3,0<br>(3,5) |
|                         |   | Metálica            | 3,4<br>(4,0)                                       | 3,7<br>(4,3) |
|                         | 9   | Madera              | 2,7<br>(3,1)                                       | 2,8<br>(3,3) |
|                         |   | Metálica            | 3,4<br>(3,9)                                       | 3,6<br>(4,2) |
|                         | 12  | Madera              | 2,5<br>(2,9)                                       | 2,7<br>(3,1) |
|                         |   | Metálica            | 3,2<br>(3,7)                                       | 3,4<br>(4,0) |
| Doble ventana           | ≥ 30  | Madera              | 2,2<br>(2,6)                                       | 2,3<br>(2,7) |
|                         |   | Metálica            | 2,6<br>(3,0)                                       | 2,8<br>(3,2) |
| Hormigón translúcido    | —   | —                   | 3,0<br>(3,5)                                       | 3,2<br>(3,7) |

**Coefficiente de transmisión térmica K, en kcal/h m<sup>2</sup> °C (W/m<sup>2</sup> °C)**

#### 2.8.4 Puertas

Se consideran en este apartado las puertas que pueden formar parte de cerramientos con el exterior o con locales no calefactados. Análogamente al apartado 2.8.3, en la Tabla 2.13 se dan los valores del coeficiente de transmisión térmica k para los distintos casos. donde el % expresado es el de la superficie del vidrio sobre la superficie total de la puerta.

Tabla 2.13

| Tipo de puerta         |  | Separación con: |                      |
|------------------------|--|-----------------|----------------------|
|                        |  | Exterior        | Local no calefactado |
| Madera                 | Opaca  | 3,0<br>(3,5)    | 1,7<br>(2,0)         |
|                        | Acrilamiento simple en < 30 %                      | 3,4<br>(4,0)    |                      |
|                        | Acrilamiento simple en 30 a 60 %                   | 3,9<br>(4,5)    |                      |
|                        | Acrilamiento doble                                 | 2,8<br>(3,3)    |                      |
| Metálica               | Opaca  | 5,0<br>(5,8)    | 3,9<br>(4,5)         |
|                        | Acrilamiento simple                                | 5,0<br>(5,8)    |                      |
|                        | Acrilamiento doble con cámara de 6 mm en < 30 %    | 4,7<br>(5,5)    |                      |
|                        | Acrilamiento doble con cámara de 6 mm en 30 a 70 % | 4,1<br>(4,8)    |                      |
| Vidrio sin carpintería |  | 5,0<br>(5,8)    | 3,9<br>(4,5)         |

**Coefficiente de transmisión térmica K, en kcal/h m<sup>2</sup> °C (W/m<sup>2</sup> °C)**

### **Anexo 3: Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor KG de los edificios**

#### **3.1 Generalidades**

Las normas de aislamiento térmico que deben cumplir individualmente los elementos estructurales de cierre de los edificios (techos, muros y suelos) proporcionan las exigencias relativas que deben ser satisfechas para garantizar unas condiciones ambientales interiores de bienestar dadas, así como evitar las condensaciones sobre los paramentos. Sin embargo, estas exigencias no tienen en cuenta el consumo de la energía necesaria para la consecución de aquellos niveles de confortabilidad térmica. Para cubrir este aspecto se define un coeficiente global de transmisión de calor del edificio, KG, cuyos valores máximos, en función del factor de forma del edificio, de la zona climática y del tipo de energía empleada en la calefacción, se dan en la Tabla 1 del texto articulado.

En el caso de edificios que tengan locales cuyo cerramiento exterior no se puede fijaren el proyecto general, como es, por ejemplo, el caso de locales comerciales cuya fachada no esta inicialmente definida, se considerarán éstos locales como exteriores al edificio, con la consideración, a efectos de cálculo del coeficiente KG, de locales no calefactados.

En los proyectos de locales citados en el párrafo anterior, figurarán el cálculo y justificación del valor de KG.

#### **3.2 Cálculo de los coeficientes de transmisión de calor K**

Siguiendo los criterios del Anexo 2, se calculan los coeficientes útiles de transmisión de calor K, de los elementos constructivos que delimitan el cerramiento del edificio, y que intervienen en el cálculo de KG, es decir:

KE Correspondiente a cerramientos en contacto con el ambiente exterior, como:

- Cerramientos verticales de separación con el exterior.
- Cerramientos inclinados más de 60° con la horizontal de separación con el exterior.
- Forjados sobre espacios exteriores.

KN Correspondiente a cerramiento de separación con otros edificios o con locales no calefactados, como:

- Cerramientos verticales de separación con espacios cerrados no calefactados o medianería entre edificios.
- Cerramientos horizontales sobre espacios cerrados no calefactados de altura superior a 1 m.

KQ Correspondiente a cerramientos de techo o cubierta, como:

- Cubiertas inclinadas menos de 60° con la horizontal.
- Cubiertas horizontales.
- Cubiertas bajo el terreno.

KS Correspondiente a cerramientos de separación con el terreno, como:

- Soleras.
- Forjados sobre cámara de aire de altura menor de 1 m.
- Muros enterrados.

También podrá utilizarse para estos cálculos el coeficiente lineal de transmisión de calor  $k$  según se define en el Anexo 2, debiendo cumplirse que las pérdidas de calor por unidad de temperatura sean iguales con un método u otro. Es decir, que se cumpla la ecuación:

$$K_s \cdot S_s = K_s \cdot L_s$$

en Kcal/h °C (W/°C)

$K_s$  Coeficiente de transmisión de calor del elemento en contacto con el terreno, en kcal/h m<sup>2</sup> °C (W/m<sup>2</sup> °C).

$S_s$  Superficie de dicho elemento en contacto con el terreno, en m<sup>2</sup>.

$K_s$  Coeficiente lineal de transmisión de calor del elemento en contacto con el terreno, en kcal/h m °C · (W/m °C).

$L_s$  Longitud perimetral del elemento en contacto con el terreno, en m.

De esta ecuación puede deducirse el  $K_s$ :

$$K_s = \frac{K_s \cdot L_s}{S_s}$$

### 3.3 Cálculo de la superficie total de cerramiento

Es la suma de las superficies de cada uno de los elementos constructivos que delimitan el cerramiento del edificio, en m<sup>2</sup>.

$$S = \sum S_E + \sum S_Q + \sum S_S + \sum S_N$$

donde:

$\sum S_E$  Suma de las superficies de los cerramientos en contacto con el ambiente exterior, en m<sup>2</sup>.

$\sum S_N$  Suma de las superficies de los cerramientos de separación con otros edificios o locales no calefactados, en m<sup>2</sup>.

$\sum S_Q$  Suma de las superficies de los cerramientos de techo o cubierta, en m<sup>2</sup>.

$\sum S_S$  Suma de las superficies de los cerramientos de separación con el terreno, en m<sup>2</sup>.

Estas superficies se medirán exteriormente sin deducir gruesos de forjados o elementos estructurales que no constituyendo propiamente el cerramiento estén en contacto con el exterior.

### 3.4 Cálculo del volumen del edificio

Es el volumen encerrado por las superficies de los elementos de separación del edificio anteriormente definidas,  $V$ , en m<sup>3</sup>.

### 3.5 Cálculo del factor de forma

El factor de forma de un edificio  $f$ , es la relación entre la suma de las superficies de los elementos de separación del edificio y el volumen encerrado por las mismas.

$$f = \frac{S}{V}$$

donde:

$f$  factor de forma, en  $m^{-1}$ .

### 3.6 Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor de un edificio $K_G$

Es la media ponderada de los coeficientes de transmisión de calor de los distintos elementos de separación del edificio definidos anteriormente. Se calcula por medio de la expresión siguiente:

$$K_G = \frac{\sum K_E S_E + 0,5 \sum K_N S_N + 0,8 \sum K_O S_O + 0,5 \sum K_S S_S}{\sum S_E + \sum S_N + \sum S_O + \sum S_S}$$

donde:

$K_G$  Coeficiente global de transmisión de calor de un edificio, en  $kcal/m^2 \text{ h } ^\circ C (W/m^2 \text{ } ^\circ C)$ .

Como se indicó anteriormente en el apartado 3.2 el producto  $K_S \cdot S_S$  puede ser sustituido por el producto  $K_S \cdot L_S$  cuando se empleen los coeficientes lineales de transmisión de calor.

### 3.7 Ficha de cálculo

Para facilitar los cálculos y la verificación del cumplimiento de la exigencia del  $K_G$ , se da a continuación un cuadro tipo en el que se expresan en cada uno de los apartados E, N, Q y S los distintos tipos de cerramientos que puedan existir en el proyecto del edificio, consignando sus superficies parciales, así como sus coeficientes de transmisión térmica  $K$ . Los distintos tipos de cerramientos deberán ser fácilmente identificables en el resto de la Documentación Técnica del Proyecto.

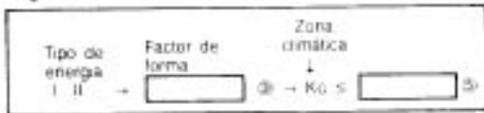
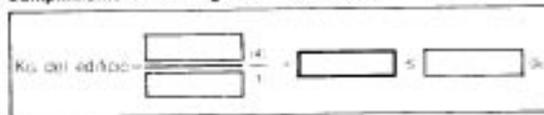
#### Ficha justificativa del cálculo del $K_G$ del edificio

El presente cuadro expresa que los valores de  $K$  especificados para los distintos elementos constructivos del edificio cumplen los requisitos exigidos en los artículos 4.º y 5.º de la Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79 "Condiciones Térmicas en los Edificios".

| Elemento constructivo  |  | S              | kcal/h m <sup>2</sup> °C<br>(W/m <sup>2</sup> °C) (1) | kcal/h °C<br>(W/°C) | correct.<br>n | kcal/h<br>(W/°C) |
|--|--|----------------|---|---------------------|---------------|------------------|
| <b>Apartado E</b>  |  | <b>Tipo</b>    | <b>Se</b>   | <b>Ke</b>           | <b>SeKe</b>   | <b>1</b>         |
| Cerramientos en contacto con el ambiente exterior                            | Huecos exteriores verticales, puertas, ventanas                                  |                |   |                     |               | 1                |
|  | Cerramientos verticales o inclinados más de 60° con la horizontal                |                |   |                     |               |                  |
|  | Forjados sobre espacios exteriores   |                |   |                     |               |                  |
| <b>Apartado N</b>  |  | <b>Tipo</b>    | <b>Sn</b>   | <b>Kn</b>           | <b>SnKn</b>   | <b>0,5</b>       |
| Cerramientos de separación con otros edificios o con locales no calefactados | Cerramientos verticales de separación con locales no calefactados, o medianerías |                |   |                     |               | 0,5              |
|  | Forjados sobre espacios cerrados no calefactados de altura > 1 m                 |                |   |                     |               |                  |
|  | Huecos, puertas, ventanas  |                |   |                     |               |                  |
| <b>Apartado Q</b>  |  | <b>Tipo</b>    | <b>So</b>   | <b>Ko</b>           | <b>SoKo</b>   | <b>0,8</b>       |
| Cerramientos de techo o cubierta   | Huecos, lucernarios, claraboyas  |                |   |                     |               | 0,8              |
|  | Azoteas (3)  |                |   |                     |               |                  |
|  | Cubiertas inclinadas menos de 60° con la horizontal                              |                |   |                     |               |                  |
| <b>Apartado S</b>  |  | <b>Tipo</b>    | <b>Ss</b>   | <b>Ks</b>           | <b>SsKs</b>   | <b>0,5</b>       |
| Cerramientos de separación con el terreno<br>(2)                             | Soleras  |                |   |                     |               | 0,5              |
|  | Forjados sobre cámara de aire de altura ≤ 1 m                                    |                |   |                     |               |                  |
|  | Muros enterrados o sementerrados   |                |   |                     |               |                  |
|  |  | <b>Σ Total</b> |   |                     |               | <b>Σ Total</b>   |

Factor de forma f en m<sup>-1</sup> =  $\frac{\text{Superficie total } S}{\text{Volumen total } V} = \frac{\boxed{\phantom{0000}}}{\boxed{\phantom{0000}}} \text{ (1)} = \boxed{\phantom{0000}} \text{ (2)}$



**Exigencia de la Norma (Art. 4.º)****Cumplimiento de la exigencia de la Norma**

- (1) Estos coeficientes deben cumplir los requisitos exigidos en el artículo 5.º de la Norma. Para los edificios situados en las Islas Canarias será suficiente cumplimentar esta columna.
- (2) Como se indica en 3.2, pueden emplearse coeficientes lineales de transmisión de calor K<sub>S</sub> en vez de K<sub>S</sub> siempre que se cumpla la condición de que:  $K_S \cdot L_S = K_S \cdot S_S$ , en kcal/h °C (W/°C)
- (3) Se pueden incluir en este apartado las azoteas ajardinadas y forjados enterrados.

# Anexo 4: Temperaturas y condensaciones en cerramientos

## 4.1 Principios generales

El aire atmosférico contiene cierta cantidad de vapor de agua que varía de una manera cíclica con los cambios estacionales o circunstancial, dependiendo de la producción esporádica de vapor de agua.

A una temperatura dada el aire no puede contener en estado de vapor más que una cantidad de agua inferior a un nivel máximo denominado de saturación (13 g/kg a 18°C, por ejemplo). Cuando el contenido de vapor de agua es menor (10,4 g/kg, por ejemplo), el aire no está saturado y se caracteriza por su humedad relativa o relación entre el peso o presión de vapor de agua existente y el vapor de agua saturante (10,4/13 = 80 %).

La presión de saturación será más elevada a medida que la temperatura de aire sea más alta, como se ve en el ábaco psicrométrico adjunto al final del anexo. Una masa de aire inicialmente no saturada (80 % a 18°C, por ejemplo) llevada a una temperatura más baja puede alcanzar el nivel de saturación sin necesidad de ver modificada su presión de vapor de agua. A partir de este punto parte del vapor de agua se condensará en estado líquido. La temperatura a partir de la cual se produce esta condensación se denomina punto de rocío del ambiente considerado (14°C, en este ejemplo).

Así, pues, se producirá siempre el fenómeno de la condensación cuando el aire descienda su temperatura hasta un nivel igual o inferior a su punto de rocío, o cuando el vapor contenido en el aire se encuentre en contacto con un cerramiento u objeto cuya temperatura sea inferior al punto de rocío.

## 4.2 Gradiente de temperaturas en los cerramientos

Debido a la diferencia de temperaturas del aire a ambos lados de los cerramientos, se produce un movimiento o flujo de calor desde el lado más caliente al más frío. La magnitud de este intercambio depende directamente de la resistencia térmica que ofrezca dicho cerramiento.

En estado estacionario, este flujo de calor producirá un gradiente de temperatura en el cerramiento que nos permitirá conocer la temperatura de cualquier punto del mismo.

Para realizar este cálculo pueden seguirse dos procedimientos: uno analítico y otro gráfico, resultando éste generalmente más cómodo.

Analíticamente puede establecerse que:

$$\frac{T_i - T_e}{T_i - t_i} = \frac{R_t}{1 / h_i}$$

donde:

$T_i$  es la temperatura del ambiente interior, en °C.

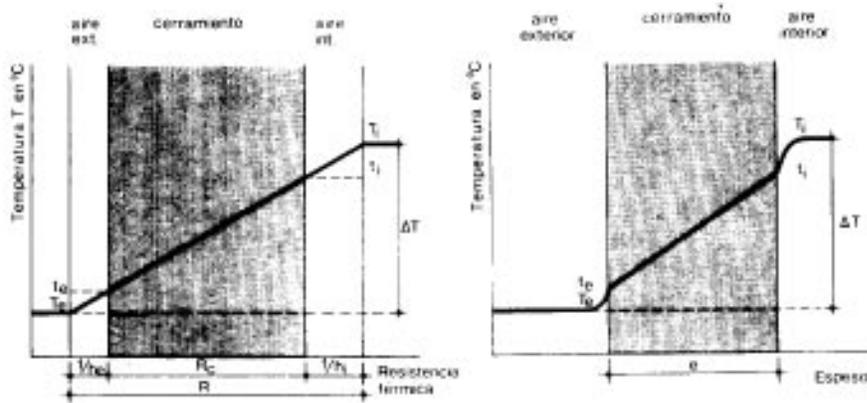
$T_e$  es la temperatura del ambiente exterior, en °C

$t_i$  es la temperatura superficial interior del cerramiento, en °C.

$R_t$  es la resistencia térmica total del cerramiento en  $h \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/kcal (m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W)}$ .

$1/h_i$  es la resistencia térmica superficial interior del cerramiento, en  $h \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/kcal (m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W)}$ .

Lo que gráficamente se expresa en las figuras en diagramas de temperaturas-resistencias térmicas y temperaturas-espesor.

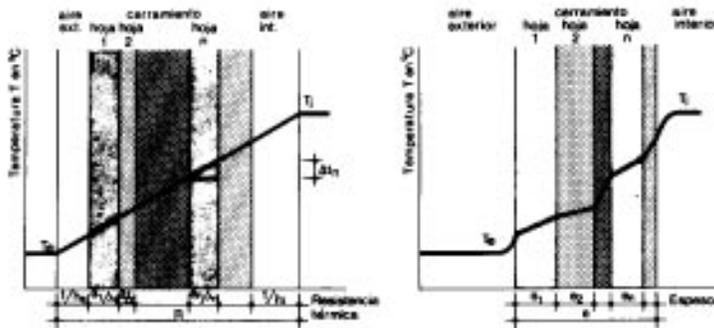


En un cerramiento formado por varias hojas la caída de temperatura de cada una de las hojas puede calcularse:

$$\Delta t_n = (T_i - T_e) \frac{e_n \lambda_n}{R_T} = \Delta T \frac{r_n}{R_T}$$

- Donde:
- $\Delta t_n$  caída de temperatura en la hoja n, en °C.
  - $T_i$  y  $T_e$  definidos anteriormente.
  - $e_n$  espesor de la hoja n, en m.
  - $\lambda_n$  conductividad térmica de la hoja n, en kcal/h m °C (W/m °C).
  - $R_T$  definido anteriormente.
  - $r_n$  resistencia térmica de la hoja n.
  - $\Delta T$  diferencia de temperaturas exterior e interior,  $t_e - e_i$ .

La expresión gráfica se da en las figuras adjuntas que permiten calcular gráficamente la temperatura estructural del cerramiento.



### 4.3 Cálculo de condensaciones superficiales -

Los factores que intervienen en la posibilidad de que se produzcan condensaciones superficiales interiores en un cerramiento son:

- Coeficiente de transmisión térmica K del cerramiento.
- Temperatura  $T_i$  y humedad relativa HR del ambiente interior (factores que determinan la temperatura o punto de rocío  $t_r$ ) y
- Temperatura del aire exterior  $T_e$ .

Como se vio en el apartado 4.2 la diferencia de temperaturas entre el aire interno de un local y los cerramientos que lo delimitan es proporcional al poder aislante de éstas y a la diferencia de temperaturas entre los ambientes interior y exterior. De aquí se deduce que, en un régimen estable de paso de calor, la temperatura superficial interna de una pared se obtiene de la expresión:

$$t = T_i - \frac{K}{h_i} (T_i - T_e)$$

donde las notaciones tienen el mismo significado que en 4.2.

Para la resistencia térmica superficial interior  $1/h_i$  se tomarán los siguientes valores, tomados de la Tabla 2.1 del Anexo 2.

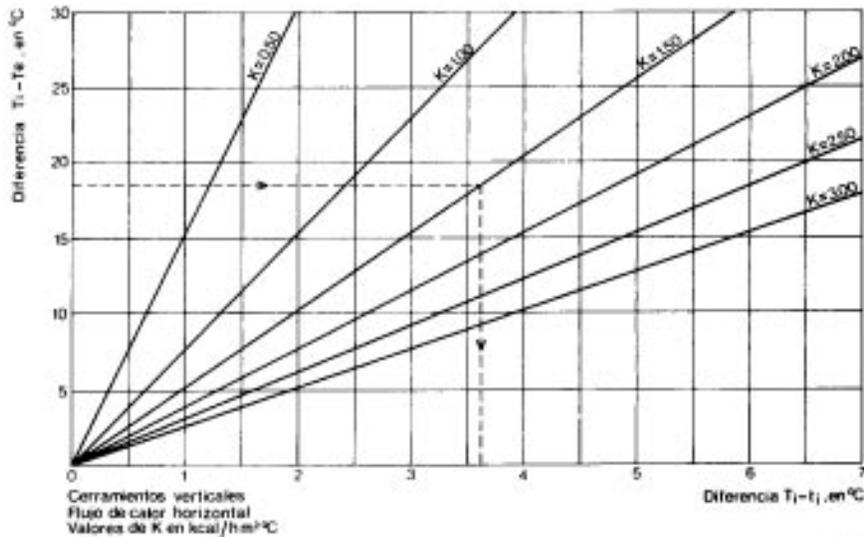
$0,13 \text{ h m}^2 \text{ }^\circ\text{C/kcal}$ , para cerramientos verticales con flujo de calor horizontal.

$(0,11) \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$

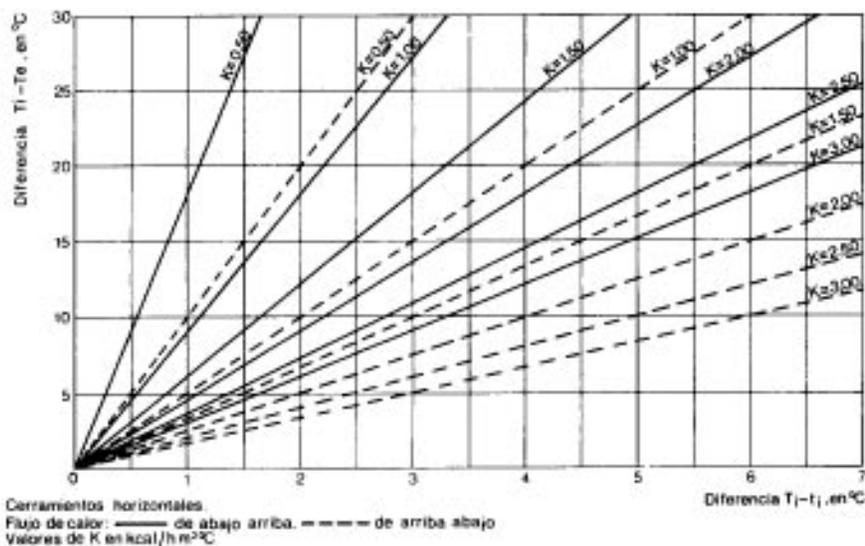
$0,11 \text{ h m}^2 \text{ }^\circ\text{C/kcal}$ , para cerramientos horizontales con flujo de calor de abajo(0,09)  $\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$  arriba.

$0,20 \text{ h m}^2 \text{ }^\circ\text{C/kcal}$ , para cerramientos horizontales con flujo de calor de arriba(0,17)  $\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$  abajo.

Con los ábacos siguientes puede obtenerse gráficamente el valor de la diferencia entre la temperatura del aire interior  $T_i$  y la temperatura superficial interior  $t_i$  del cerramiento. Entrando para cada ábaco con la diferencia de temperaturas interior y exterior  $T_i - T_e$ , se corta horizontalmente a la recta correspondiente al valor de  $K$  del cerramiento y en la vertical se obtiene el valor de la diferencia  $T_i - t_i$ .



Por ejemplo, para una temperatura interior de  $18^\circ\text{C}$ , exterior de  $0^\circ\text{C}$  y un cerramiento vertical con  $K=1,50 \text{ kcal/h m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ , la diferencia entre la temperatura del ambiente interior y la de la superficie interior del cerramiento será de  $3,6^\circ\text{C}$ .



De este valor podremos deducir el de  $t_i$ , que nos permite saber que no habrá condensaciones superficiales mientras se cumpla la condición:

$$t_i > t_r$$

Siendo  $t_r$  la temperatura o punto de rocío del ambiente interior a una temperatura  $T_i$  y humedad relativa HR dadas.

El valor de  $t_r$  puede obtenerse en el ábaco psicrométrico adjunto. Análogamente, para unos valores dados de  $t_i$  y  $T_i$  puede determinarse cuál es el valor de la humedad relativa HR interior con la que se producirán condensaciones superficiales.

#### 4.4 Eliminación del riesgo de condensación superficial por renovación de aire

La elevación de la humedad relativa en un local está limitada por la renovación del aire interior por aire con menor presión de vapor procedente del ambiente exterior o de otro local próximo. Si  $P_{vi}$  y  $P_{ve}$  son, respectivamente, las presiones de vapor de agua interior y exterior,  $N$  el número de renovaciones horarias de aire, el producto  $(P_{vi} - P_{ve})N$  la cantidad de vapor eliminada, en gramos por hora y por metro cúbico de local y  $V$  la cantidad de vapor de agua producida de una manera continua en el tiempo y en el espacio, es decir, en  $g/m^3 h$ , el riesgo de condensación se evitará cuando:

$$N > \frac{V}{P_{vi} - P_{ve}} \text{ Renovaciones/hora}$$

Siendo  $P_{vi}$  menor o igual a la presión de vapor de saturación a la temperatura superficial interior  $t_i$ .

La presión de vapor exterior  $P_{ve}$  debe estimarse para los cálculos como la correspondiente a la temperatura mínima media del mes más frío con una humedad relativa del 95 %.

La presión de vapor interior  $P_{vi}$  será la correspondiente a la temperatura interior de uso del local con una humedad relativa interior que no podrá ser superior al 75 %, excepto los locales húmedos como cocinas o baños donde eventualmente se admite que sea del 85 %.

Cuando en el local exista un sistema de calefacción seca será suficiente para los cálculos estimar que la humedad relativa interior es del 60 %.

Como orientación a la producción típica de vapor de agua, en una vivienda de tres dormitorios pueden darse 7 kg/día, correspondientes a las siguientes fuentes de emisión:

| Fuente regular de emisión de vapor | Cantidad de vapor en kg/día |
|------------------------------------|-----------------------------|
| Cocinado                           | 3                           |
| Baños y lavado                     | 1                           |
| Actividad diurna                   | 1,5                         |
| Sueño                              | 1,5                         |
| Total:                             | 7                           |

A estas fuentes regulares de emisión de vapor de agua pueden añadirse otras eventuales.

#### 4.5 Eliminación del riesgo de condensación superficial por mejora del aislamiento térmico del cerramiento

Otra de las vías posibles para evitar la condensación de agua sobre las superficies interiores de un cerramiento exterior es el aumento del aislamiento térmico del cerramiento mediante el suplemento de un material aislante o incremento del espesor del que inicialmente se ha proyectado. A continuación se expone el procedimiento de cálculo del espesor mínimo de este aislamiento suplementario. Sustituyendo en la expresión del apartado 4.3 la temperatura superficial interior  $t_i$  por la temperatura de rocío del aire interior  $t_r$  y operando, el coeficiente de transmisión de calor queda:

$$K = \frac{T_i - t}{T_i - T_e} \cdot h_i$$

en la que  $t$  es el valor de la temperatura exterior. Si se considera que la resistencia térmica total del muro aislado  $1/K$  es la suma de la resistencia térmica de éste sin aislar  $1/K_0$  más la del aislamiento  $e/\lambda$ , se tiene que:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_0} + \frac{e}{\lambda}$$

donde:

$e$  espesor del material aislante suplementario, en m.

$\lambda$  conductividad térmica del aislamiento en kcal/m h °C (W/m °C).

$k_0$  coeficiente de transmisión de calor del cerramiento sin aislamiento, en kcal/m<sup>2</sup> h °C (W/m<sup>2</sup> °C).

Sustituyendo en la segunda fórmula el valor de  $K$  dado en la primera, y operándose obtiene:

$$e = \lambda \left( \frac{T_i - T_e}{h_i(T_i - T_j)} - \frac{1}{K_0} \right)$$

que da el espesor de un aislamiento suplementario de conductividad térmica  $\lambda$  para el cual no se producen condensaciones superficiales en un cerramiento de resistencia térmica  $1/K_0$  para unas condiciones higrométricas del aire ambiente dadas.

#### 4.6 Otras recomendaciones para evitar condensaciones superficiales interiores

En climas fríos e incluso templados, no se puede garantizar la ausencia de condensaciones superficiales interiores, especialmente en viviendas, en tanto en cuanto éstas no dispongan de un sistema de calefacción uniforme, y de una correcta ventilación.

En edificios que carezcan de calefacción, el revestimiento interior, preferiblemente será de un material absorbente que no se deteriore con la humedad y se recomienda colocar una pintura fungicida. La calefacción de que estén dotadas algunas de las habitaciones, será preferiblemente seca, y en el caso de que así no lo sea, se recomienda evacuar directamente al exterior los productos de la combustión. En los locales con mayor humedad ambiente, cocinas, aseos y baños, el revestimiento es aconsejable que sea impermeable y deben estar dotados de una extracción de aire permanente, extracción que, en la cocina, es aconsejable que esté localizada en la zona de mayor producción de vapor y dotada de la campana correspondiente.

En los cerramientos con puentes térmicos, se recomienda que la diferencia de temperaturas entre el ambiente interior y las diversas partes del cerramiento cumpla la relación:

$$\frac{T_i - t_{\min}}{T_i - t_{\text{normal}}} \leq \begin{matrix} 1,5 & \text{en fachadas ligeras,} \\ 2 & \text{en fachadas pesadas} \end{matrix}$$

siendo:

$T_i$  temperatura ambiente interior.

$t_i$  temperatura superficial interior, que será mínima en el puente térmico y normal en la parte normal del muro.

A estos efectos se consideran fachadas ligeras aquellas cuyo peso por metro cuadrado es inferior a 200 kg, y fachadas pesadas al resto.

#### 4.7 Cálculo de condensaciones en el interior de los cerramientos -

El vapor de agua producido en el interior de un local aumenta la presión de vapor del aire ambiente y esto ocasiona una diferencia de presión de vapor entre los ambientes interno y

externo en virtud de la cual se produce un proceso de difusión de vapor a través del elemento separador de los dos ambientes, desde el ambiente con más presión de vapor, generalmente el interior, hacia el ambiente con menos presión de vapor, generalmente el exterior. En este fenómeno de transporte de vapor a través del cerramiento, si en algún punto de su interior la presión de vapor es superior a la de saturación en ese punto, o dicho de otra forma, si la temperatura en ese punto es inferior a la de rocío del vapor en el mismo se producirá condensación de vapor de agua.

Al producirse el fenómeno de condensación existe un desprendimiento de calor. Esto, junto a la influencia de la capilaridad del material, hace que la difusión sea un problema de bastante complejidad, no siempre gobernado por las leyes simples de la difusión de gases, lo que obliga, a efectos prácticos, a la introducción de ciertas hipótesis simplificadoras. Así, el fenómeno de la difusión del vapor de agua en este campo se estudia de una manera análoga al de la transmisión de calor en régimen permanente, es decir, en el proceso inicial de la condensación, cuando la cantidad de agua condensada sea tal que se considere que no ha habido lugar a fenómenos secundarios.

El cálculo para predecir si existirán o no condensaciones en el interior del cerramiento puede abordarse de la siguiente manera:

- 1.º Calculando, analítica o gráficamente, la temperatura estructural del cerramiento según el método propuesto en el apartado 4.2.
- 2.º Calculando, analítica o gráficamente, la temperatura de rocío correspondiente a todos los puntos del cerramiento desde sus superficies interior a la exterior.
- 3.º Comparando ambas temperaturas, en aquellos puntos en que la temperatura del cerramiento sea igual o inferior a la de rocío podrán producirse condensaciones intersticiales.

Planteado anteriormente el cálculo de la temperatura estructural del cerramiento, se plantea en el 2.º punto el cálculo de la temperatura de rocío a través del cerramiento. Para ello necesitaremos conocer la resistencia al vapor  $R_v$  de los materiales que constituyen el cerramiento.

Esta resistencia es el resultado de multiplicar su resistividad al vapor  $r_v$  por su espesor. Los valores de resistividades al vapor  $r_v$ , o sus inversos: las permeabilidades al vapor  $d_v$ , se dan en la Tabla 4.2.

Conocida la diferencia de presiones de vapor entre los ambientes interior y exterior  $P_{vi} - P_{ve}$ , la caída de dicha presión a través del cerramiento es directamente proporcional a la resistencia al vapor del mismo. En un cerramiento formado por varias hojas o capas con distintos valores de resistencia al vapor, la caída de presión en cada hoja es análogamente proporcional a la resistencia de dicha hoja.

Puede establecerse así que:

$$\Delta P_{vn} = (P_{vi} - P_{ve}) \frac{R_{vn}}{R_{vT}} = (P_{vi} - P_{ve}) \frac{e_n r_{vn}}{R_{vT}}$$

siendo:

$\Delta P_{vn}$  caída de presión de vapor en la hoja n, en mbar.

$P_{vi}$  presión de vapor del aire interior, en mbar.

$P_{ve}$  presión de vapor del aire exterior, en mbar.

$R_{vn}$  resistencia al vapor de la hoja n, en MN s/g o mmHg m<sup>2</sup> día/g.

$e_n$  espesor de la capa n, en m.

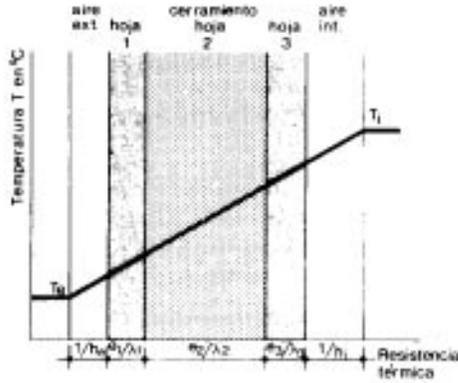
$r_{vn}$  resistividad al vapor de la capa n, en MN s/g m o mmHg m<sup>2</sup> día/g cm.

$R_{vT}$  resistencia al vapor total del cerramiento en MN s/g o mmHg m<sup>2</sup> día/g.

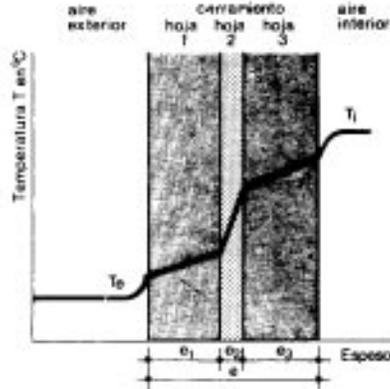
Conocidos punto a punto las presiones de vapor correspondientes al cerramiento es posible por medio del ábaco psicrométrico o de la tabla de presiones de saturación conocer la temperatura de rocío de cada punto.

Esta temperatura de rocío comparada con la estructural nos permitirá conocer punto a punto, de modo analítico o gráfico si es en todo momento inferior a la estructural, con lo cual no existirá riesgo de condensaciones. En caso contrario podremos determinar en qué parte del cerramiento pueden producirse éstas. Este cálculo permite tomar las decisiones que tiendan a evitarlo como inclusión de barreras de vapor, nueva ordenación de las hojas, aumento del espesor del aislamiento, etc.

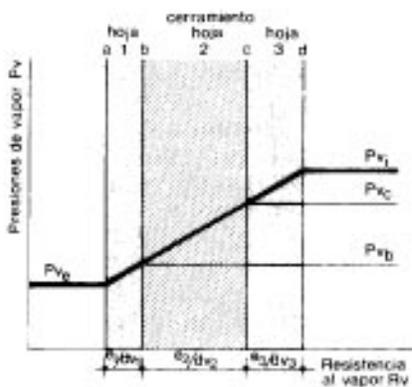
Gráficamente, este cálculo puede llevarse a las figuras siguientes en las que a título de ejemplo se ha dispuesto un cerramiento con tres hojas de materiales y espesores diferentes.



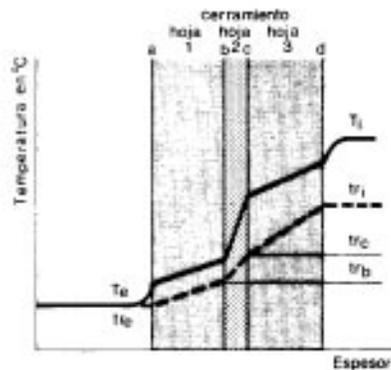
Perfil de temperaturas en coordenadas Temperatura-Resistencia térmica



Perfil de temperaturas en coordenadas: Temperatura-Espesor



Perfil de presiones de vapor en coordenadas: Presiones de vapor-Resistencia al vapor



Perfil de temperaturas y de temperaturas de rocío en coordenadas: Temperatura-Espesor

#### 4.8 Prevención de condensaciones en el interior de los cerramientos

En los cerramientos en los que se incluya un material aislante debe comprobarse que no existen condensaciones en el aislamiento. En el caso de que el cerramiento sea una cubierta, se comprobará que no existe condensación en la misma, si bien se podrán admitir condensaciones cuando éstas no perjudiquen al material donde se forman y además puedan ser evacuadas al exterior sin que mojen por transmisión o goteo al material aislante o pueda penetrar en el interior de los locales

En cerramientos verticales de dos hojas en los que la cámara pueda ir rellena total o parcialmente con el aislamiento se tomarán medidas para lograr que el aislamiento no absorba humedad, como no poner en contacto con la pared exterior el aislamiento, cuando exista la posibilidad de que el agua de lluvia pueda llegar hasta él. Para ello existirá al menos un centímetro de distancia entre el aislamiento y la hoja exterior, y ésta tendrá los dispositivos de evacuación necesarios para evitar embolsamientos de agua. A título de recomendación

pueden existir orificios de evacuación con pendiente hacia el exterior, con un diámetro no inferior a 10 mm, y protegidos suficientemente para que no dejen penetrar en el interior de la cámara el agua de lluvia acompañada de presión de viento.

Otra recomendación para evitar la condensación intersticial en cerramientos puede ser el empleo de barreras de vapor que aumentarán la resistencia al paso del vapor en la parte caliente de los cerramientos. En ningún caso deberán colocarse en la parte fría. También puede conseguirse este efecto disminuyendo la resistencia al vapor en la parte fría del cerramiento, que en el caso de muros puede conseguirse, como se dijo anteriormente, con la pequeña ventilación por medio de orificios en el caso de muros o cubiertas con cámara.

En muros con cámara de aire suelen presentarse condensaciones de vapor de agua preferentemente en el lado frío de la cámara.

En cuanto a los acabados interiores absorbentes, estos hacen posible la absorción del agua de condensación que eventualmente se pueda tolerar, evaporándola al medio ambiente en los momentos de sequedad.

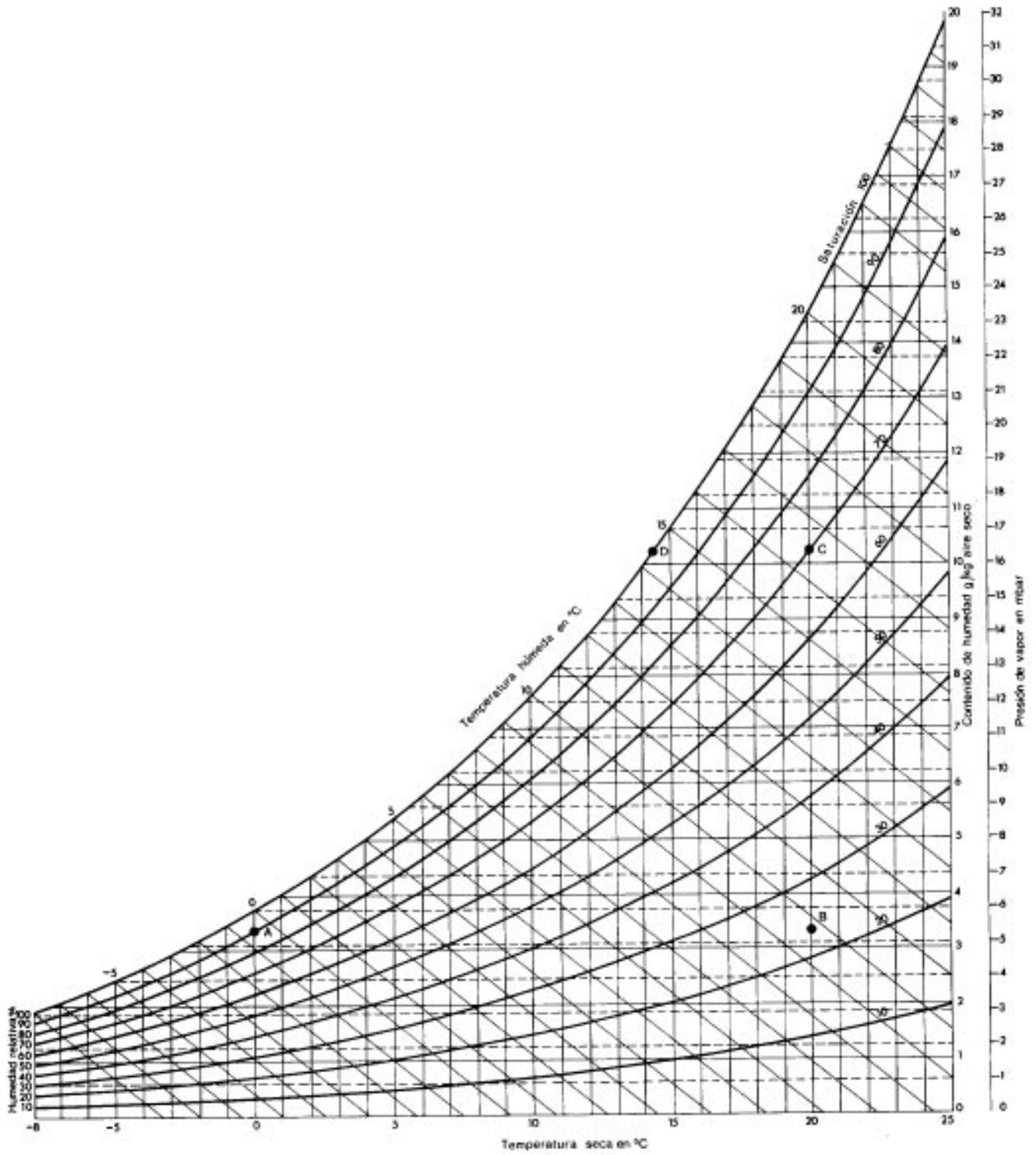
#### **4.9 Ábaco psicrométrico y tabla de presiones de vapor**

En el ábaco psicrométrico adjunto se muestra la interdependencia de la humedad relativa, en la escala a la izquierda, la temperatura seca en la escala horizontal, y la masa de vapor de agua por masa de aire seco con su equivalencia en presión de vapor, en mbar, en la escala de la derecha.

A título de ejemplo, para aclarar su utilización, puede decirse que si la temperatura seca exterior del aire es 0°C y el aire contiene 3,4 g/kg de aire seco, la humedad relativa es del 90 %, y existe una presión de vapor de 5,4 mbar. Esta puede ser una típica condición del aire en invierno. En el diagrama es el punto A. Este mismo aire, con la misma cantidad de agua por masa de aire seco, calentado a 20°C pasa a tener una humedad relativa del 23 %, lo cual nos demuestra lo que sucede cuando introducimos este aire exterior para ventilación y lo calentamos.

En el diagrama es el punto B. Si a este aire le aportamos 7 g/kg como resultados de actividades normales en un edificio, a la misma temperatura, su humedad relativa ascenderá al 70 % con una presión de vapor de 16,5 mbar, y un contenido de 10,4 g/kg. En el diagrama es el punto C.

Finalmente, podemos ver que este mismo aire para alcanzar la saturación tendrá que bajar al menos su temperatura a 14,5°C.



En la Tabla 4.1 se dan, a efectos de facilitar los cálculos, las presiones de saturación de vapor de agua en el aire, en mbar, para temperaturas secas comprendidas entre + 25 y -10°C.

Tabla 4.1

| Temperatura |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| °C          | .0    | .1    | .2     | .3    | .4    | .5    | .6    | .7    | .8    | .9    |
| +25         | 31,68 | 31,86 | 32,05  | 32,24 | 32,44 | 32,62 | 32,82 | 33,01 | 33,21 | 33,41 |
| +24         | 29,84 | 30,01 | 30,20  | 30,38 | 30,56 | 30,74 | 30,93 | 31,12 | 31,30 | 31,49 |
| +23         | 28,09 | 28,26 | 28,42  | 28,60 | 28,77 | 28,94 | 29,13 | 29,30 | 29,48 | 29,65 |
| +22         | 26,57 | 26,60 | 26,76  | 26,92 | 27,09 | 27,25 | 27,42 | 27,58 | 27,76 | 27,92 |
| +21         | 24,86 | 25,02 | 25,17  | 25,33 | 25,48 | 25,64 | 25,80 | 25,96 | 26,12 | 26,28 |
| +20         | 23,38 | 23,52 | 23,66  | 23,81 | 23,96 | 24,10 | 24,26 | 24,41 | 24,56 | 24,72 |
| +19         | 21,97 | 22,10 | 22,24  | 22,38 | 22,52 | 22,66 | 22,80 | 22,94 | 23,09 | 23,24 |
| +18         | 20,64 | 20,76 | 20,89  | 21,02 | 21,16 | 21,29 | 21,42 | 21,56 | 21,69 | 21,82 |
| +17         | 19,37 | 19,49 | 19,61  | 19,74 | 19,86 | 20,00 | 20,13 | 20,25 | 20,37 | 20,50 |
| +16         | 18,17 | 18,29 | 18,41  | 18,53 | 18,65 | 18,77 | 18,89 | 19,01 | 19,13 | 19,25 |
| +15         | 17,05 | 17,16 | 17,27* | 17,39 | 17,49 | 17,60 | 17,72 | 17,83 | 17,95 | 18,07 |
| +14         | 15,99 | 16,08 | 16,19  | 16,29 | 16,40 | 16,51 | 16,61 | 16,72 | 16,83 | 16,95 |
| +13         | 14,97 | 15,07 | 15,17  | 15,27 | 15,37 | 15,47 | 15,57 | 15,68 | 15,77 | 15,88 |
| +12         | 14,03 | 14,12 | 14,21  | 14,31 | 14,40 | 14,49 | 14,59 | 14,68 | 14,77 | 14,88 |
| +11         | 13,12 | 13,21 | 13,31  | 13,39 | 13,48 | 13,57 | 13,66 | 13,75 | 13,84 | 13,93 |
| +10         | 12,28 | 12,46 | 12,44  | 12,52 | 12,61 | 12,69 | 12,77 | 12,87 | 12,95 | 13,04 |
| +9          | 11,48 | 11,56 | 11,64  | 11,72 | 11,79 | 11,87 | 11,95 | 12,03 | 12,12 | 12,20 |
| +8          | 10,72 | 10,80 | 10,87  | 10,95 | 11,03 | 11,09 | 11,17 | 11,25 | 11,32 | 11,40 |
| +7          | 10,01 | 10,08 | 10,16  | 10,23 | 10,29 | 10,36 | 10,44 | 10,51 | 10,59 | 10,65 |
| +6          | 9,35  | 9,41  | 9,48   | 9,55  | 9,61  | 9,68  | 9,75  | 9,81  | 9,88  | 9,95  |
| +5          | 8,72  | 8,79  | 8,84   | 8,91  | 8,97  | 9,03  | 9,02  | 9,16  | 9,23  | 9,28  |
| +4          | 8,13  | 8,19  | 8,25   | 8,31  | 8,36  | 8,43  | 8,48  | 8,55  | 8,60  | 8,67  |
| +3          | 7,57  | 7,63  | 7,68   | 7,75  | 7,80  | 7,85  | 7,91  | 7,96  | 8,01  | 8,08  |
| +2          | 7,05  | 7,11  | 7,16   | 7,21  | 7,27  | 7,32  | 7,36  | 7,41  | 7,47  | 7,52  |
| +1          | 6,57  | 6,61  | 6,67   | 6,71  | 6,76  | 6,81  | 6,85  | 6,81  | 6,96  | 7,01  |
| +0          | 6,11  | 6,15  | 6,20   | 6,24  | 6,28  | 6,33  | 6,37  | 6,43  | 6,47  | 6,52  |
| -0          | 6,11  | 6,05  | 6,00   | 5,96  | 5,91  | 5,87  | 5,81  | 5,76  | 5,72  | 5,67  |
| -1          | 5,63  | 5,57  | 5,53   | 5,48  | 5,44  | 5,39  | 5,35  | 5,31  | 5,25  | 5,21  |
| -2          | 5,17  | 5,13  | 5,08   | 5,04  | 5,00  | 4,96  | 4,92  | 4,88  | 4,84  | 4,80  |
| -3          | 4,76  | 4,72  | 4,68   | 4,64  | 4,60  | 4,56  | 4,52  | 4,48  | 4,44  | 4,40  |
| -4          | 4,37  | 4,33  | 4,29   | 4,25  | 4,23  | 4,19  | 4,15  | 4,12  | 4,08  | 4,04  |
| -5          | 4,01  | 3,97  | 3,95   | 3,91  | 3,88  | 3,84  | 3,81  | 3,77  | 3,75  | 3,71  |
| -6          | 3,68  | 3,65  | 3,61   | 3,59  | 3,56  | 3,52  | 3,49  | 3,47  | 3,44  | 3,40  |
| -7          | 3,37  | 3,35  | 3,32   | 3,29  | 3,27  | 3,23  | 3,20  | 3,17  | 3,15  | 3,12  |
| -8          | 3,09  | 3,07  | 3,04   | 3,01  | 2,99  | 2,96  | 2,93  | 2,91  | 2,88  | 2,85  |
| -9          | 2,83  | 2,81  | 2,79   | 2,76  | 2,73  | 2,71  | 2,69  | 2,67  | 2,64  | 2,61  |
| -10         | 2,60  | 2,57  | 2,55   | 2,52  | 2,51  | 2,48  | 2,45  | 2,44  | 2,41  | 2,40  |

Presión de saturación  $P_s$  en mbar del vapor de agua a temperaturas secas entre +25°C y -10°C.

#### 4.10 Permeabilidad al vapor de materiales empleados en cerramientos

Los datos que aparecen en estas tablas de algunos materiales utilizables en cerramientos, son valores típicos indicativos para los cálculos que se precisan en esta Norma. Pueden tomarse valores más estrictos cuando el material disponga de datos avalados por Marca o Sello de Calidad y en su defecto se disponga de ensayos realizados en los últimos dos años por laboratorios oficiales.

Los valores aparecen en unidades tradicionales y entre paréntesis en el Sistema Internacional S.I.

Los valores de las tablas se dan, a efectos de facilitar los cálculos, en forma de resistividades y resistencias al vapor, es decir, los valores inversos de la permeabilidad y permanencia respectivamente, que suelen ser los datos ofrecidos por los fabricantes.

Tabla 4.2 Resistividades al vapor de agua

| Material   | Resistividad al vapor $\nu_v$ (1) |                              |
|--|-----------------------------------|------------------------------|
|  | MN s/g m                          | mmHg m <sup>2</sup> día/g cm |
| Aire en reposo (cámaras)                         | 5,5                               | 0,004                        |
| Aire en movimiento (cámaras ventiladas)          | 0                                 | 0                            |
| Fábrica de ladrillo macizo                       | 55                                | 0,048                        |
| Fábrica de ladrillo perforado                    | 36                                | 0,031                        |
| Fábrica de ladrillo hueco                        | 30                                | 0,026                        |
| Fábrica de piedra natural                        | 150-450                           | 0,13-0,39                    |
| Enfoscados y revocos                             | 100                               | 0,087                        |
| Enlucidos de yeso                                | 60                                | 0,052                        |
| Placas de amianto-cemento                        | 1,6-3,5                           | 0,001-0,003                  |
| Hormigón con áridos normales o ligeros           | 30-100                            | 0,026-0,086                  |
| Hormigón aireado con espumantes                  | 20                                | 0,017                        |
| Hormigón celular curado al vapor                 | 77                                | 0,06                         |
| Madera   | 45-75                             | 0,039-0,065                  |
| Tablero aglomerado de partículas                 | 15-60                             | 0,013-0,052                  |
| Contrachapado de madera                          | 1500-6000                         | 1,30-5,20                    |
| Hormigón con fibra de madera                     | 15-40                             | 0,013-0,035                  |
| Cartón-yeso, en placas                           | 45-60                             | 0,039-0,052                  |
| <b>AISLANTES TERMICOS</b>                        |                                   |                              |
| Aglomerado de corcho UNE 56.904                  | 92                                | 0,08                         |
| Espuma elastomérica                              | 48000                             | 41,6                         |
| Fibra de vidrio (2)                              | 9                                 | 0,007                        |
| Lana mineral: Tipos I y II                       | 9,6                               | 0,008                        |
| Tipos III, IV y V                                | 10,5                              | 0,009                        |
| Perlite expandida                                | 0                                 | 0                            |
| Poliestireno expandido UNE 53.310:               |                                   |                              |
| Tipo I   | 138                               | 0,12                         |
| Tipo II  | 161                               | 0,14                         |
| Tipo III   | 173                               | 0,15                         |
| Tipo IV  | 207                               | 0,18                         |
| Tipo V   | 253                               | 0,22                         |
| Poliestireno extrusionado                        | 523-1047                          | 0,45-0,90                    |
| Polietileno reticulado                           | 9600                              | 8,33                         |
| Poliisocianurato, espuma de                      | 77                                | 0,06                         |
| Poliuretano aplicado <i>in situ</i> , espuma de: |                                   |                              |
| Tipo I   | 96                                | 0,083                        |
| Tipo II  | 127                               | 0,111                        |
| Tipo III   | 161                               | 0,142                        |
| Tipo IV  | 184                               | 0,166                        |
| Poliuretano aplicado <i>in situ</i> , espuma de: |                                   |                              |
| Tipo I   | 76                                | 0,066                        |
| Tipo II  | 82                                | 0,071                        |
| Urea formaldehído, espuma de                     | 20-30                             | 0,017-0,026                  |

(1) Es el inverso de la permeabilidad al vapor  $\delta_v$ .

(2) Cualquier tipo sin incluir protecciones adicionales que pudieran constituir barrera de vapor.

**Tabla 4.3 Resistencia al vapor de agua**

| <b>Materiales en forma de lámina (1)</b> | <b>Resistencia al vapor (2)</b> |                                    |
|--|---------------------------------|------------------------------------|
|  | <b>MN s/g</b>                   | <b>mmHg m<sup>2</sup> dia/g cm</b> |
| Hoja de aluminio de 8 micras             | 4000                            | 347                                |
| Lámina de polietileno de 0,05 mm         | 103                             | 9                                  |
| Lámina de polietileno de 0,10 mm         | 230                             | 20                                 |
| Lámina de poliéster de 25 micras         | 24                              | 2,08                               |
| Papel Kraft con oxiasfalto               | 9,7                             | 0,84                               |
| Papel Kraft                              | 0,43                            | 0,037                              |
| Pintura al esmalte                       | 7,5-40                          | 0,65-3,48                          |
| Papel vinílico de revestimiento          | 5-10                            | 0,43-0,86                          |

- (1) Pueden considerarse como barreras de vapor aquellos materiales laminares cuya resistencia al vapor está comprendida entre 10 y 230 MN s/g (0,86 y 20 mmHg m<sup>2</sup> dia/g).
- (2) Es el inverso de la permeancia al vapor.

## **Anexo 5: Condiciones de los materiales**

Este apartado se refiere a los materiales cuyo empleo básico es contribuir al aislamiento térmico de los cerramientos, que se exige en esta Norma. El fabricante dará los valores de las características higrotérmicas que a continuación se señalan en el Sistema Internacional de Medidas, y en el sistema tradicional.

### **5.1 Condiciones básicas exigibles a los materiales empleados para aislamiento térmico**

#### **5.1.1 Conductividad térmica**

Propiedad ya definida en el Anexo 1. Es la principal característica que se debe dar de un material aislante, y debe darse con el procedimiento o método de ensayo que en cada caso establezca la Comisión de Normas UNE correspondiente

Para materiales aislantes comercializados en espesores fijos y determinados, además de su conductividad térmica podrá indicarse la resistencia térmica correspondiente a tales espesores

#### **5.1.2 Densidad aparente**

Es la relación entre el peso de la muestra en gramos y su volumen aparente en centímetros cúbicos, o bien en  $\text{kg/m}^3$ . El fabricante indicará la densidad aparente de cada uno de los tipos de productos fabricados, relacionándolos con la conductividad térmica en cada tipo diferente, y con su resistencia térmica en materiales comercializados en espesores determinados.

#### **5.1.3 Permeabilidad al vapor de agua**

Es la cantidad de vapor de agua que se transmite a través de un material de espesor dado por unidad de área, unidad de tiempo y de diferencia de presión parcial de vapor de agua. Normalmente se expresa en  $\text{g cm/m}^2 \text{ mmHg día}$  o  $\text{g m/MN s}$  en el S.I.

Teniendo en cuenta la importancia que el contenido de humedad de un material aislante tiene en otras propiedades como la conductividad térmica y la densidad, esta propiedad deberá indicarse en los materiales aislantes, para cada tipo, con indicación del método de ensayo que para cada tipo de material establezca la Comisión de Normas UNE correspondiente.

También podrá darse su valor inverso, que es la resistividad al vapor. Para materiales aislantes comercializados en espesores fijos y determinados se podrá dar asimismo su resistencia a la difusión al vapor en  $\text{g/m}^2 \text{ mmHg día}$  o  $\text{g/MN s}$  en el S.I., o su inversa la permeancia.

En materiales compuestos que llevan incorporada una lámina o barrera contra el vapor se deberá dar el valor de la resistencia al vapor o permeancia del conjunto, debiendo tenerse en cuenta que tal resistencia es la propia del material sin incluir las juntas que eventualmente pueda tener el aislamiento.

#### **5.1.4 Absorción de agua por volumen**

Esta propiedad, íntimamente ligada a la conductividad térmica y densidad, se define por el peso de agua que absorbe una probeta de un material aislante sumergido en agua, durante un tiempo determinado y a una temperatura especificada. También podrá indicarse en peso o en porcentaje sobre el peso de la probeta tipo.

### **5.1.5 Otras propiedades**

El fabricante indicará además otras propiedades que puedan interesar en función del empleo y condiciones en que se vaya a colocar el material aislante, como:

- Resistencia a la compresión.
- Resistencia a la flexión.
- Envejecimiento ante la humedad, el calor y las radiaciones.
- Deformación bajo carga (módulo de elasticidad)
- Coeficiente de dilatación lineal.
- Comportamiento frente a parásitos.
- Comportamiento frente a agentes químicos.
- Comportamiento frente al fuego.

### **5.1.6 Presentación, medidas y tolerancias**

Los materiales aislantes, en sus distintas formas de presentación, se expedirán en embalajes que garanticen su transporte sin deterioro hasta su destino, debiendo

indicarse en el etiquetado las características señaladas en los apartados 5.1.1 al 5.1.4, incluidos ambos.

Asimismo, el fabricante indicará en la documentación técnica de sus productos las dimensiones y tolerancias de los mismos.

Para los materiales fabricados «in situ», se darán las instrucciones correspondientes para su correcta ejecución, que deberá correr a cargo de personal especializado, de modo que se garanticen las propiedades enunciadas por el fabricante.

### **5.1.7 Garantía de las características**

El fabricante garantizará las características térmicas básicas señaladas anteriormente.

Esta garantía se materializará mediante las etiquetas o marcas que preceptivamente deben llevar los productos según el epígrafe anterior.

El consumidor puede, a costa suya, encargar a un laboratorio que realice ensayos o análisis de comprobación y extienda el correspondiente certificado de los resultados obtenidos.

## **5.2 Control, recepción y ensayos de materiales aislantes**

### **5.2.1 Suministro de los materiales aislantes**

Las condiciones de suministro de los productos serán objeto de convenio entre el consumidor y el fabricante, ajustado a las condiciones particulares que figuren en el proyecto de ejecución.

Los fabricantes, para ofrecer la garantía de las características mínimas exigidas anteriormente de sus productos, realizarán los ensayos y controles que aseguren el autocontrol de su producción.

Los ensayos de recepción, que según indica el apartado 5.1.7 el consumidor puede encargar de cada partida, se realizarán dividiendo la partida en unidades de inspección, de acuerdo con los apartados 5.2.2 y siguientes.

### **5.2.2 Materiales con Sello o Marca de Calidad**

Los materiales que vengan avalados por Sellos o Marcas de Calidad deberán tener la garantía por parte del fabricante del cumplimiento de los requisitos y características mínimas exigidas en esta Norma, por lo que podrá realizarse su recepción sin necesidad de efectuar comprobaciones o ensayos.

### **5.2.3 Composición de las unidades de inspección**

Las unidades de inspección estarán formadas por materiales aislantes del mismo tipo y proceso de fabricación, con el mismo espesor en el caso de los que tengan forma de placa o manta. La superficie de cada unidad de inspección, salvo acuerdo en contrario, la fijará el consumidor.

### **5.2.4 Toma de muestras**

Las muestras para preparación de las probetas utilizadas en los ensayos se tomarán de productos de la unidad de inspección sacados al azar.

La forma y dimensiones de las probetas serán las que señale para cada tipo de material la Norma de ensayo correspondiente.

### **5.2.5 Normas de ensayo**

Las Normas UNE que a continuación se indican se emplearán para la realización de los ensayos correspondientes. Asimismo, se emplearán en su caso las normas UNE que la Comisión Técnica de Aislamiento Térmico del IRANOR redacte con posterioridad a la publicación de esta NBE.

#### *Ensayo de conductividad térmica*

UNE 53-037-76 Materiales plásticos. Determinación de la conductividad térmica de materiales celulares, con el aparato de placas.

#### *Ensayo de densidad aparente*

UNE 53.144 Materiales plásticos. Espumas flexibles de poliuretano. Determinación de la densidad aparente.

UNE 53.215 Materiales plásticos. Determinación de la densidad aparente.

UNE 56-906-74 Aglomerado expandido puro de corcho para aislamiento térmico. Placas. Determinación de la densidad aparente.

#### *Ensayo de permeabilidad al vapor de agua*

UNE 53.312 Materiales plásticos. Materiales celulares rígidos. Permeabilidad al vapor de agua de materiales aislantes térmicos.

#### *Ensayo de permeabilidad al aire de ventanas*

UNE 7-405-76 Métodos de ensayo de ventanas. Ensayo de permeabilidad al aire (concuerta con la EN 42).

UNE 85-205-78 Métodos de ensayo de ventanas. Presentación del informe de ensayo (concuerta con la EN 78).

#### *Ensayo de absorción de agua por volumen*

UNE 53.028 Materiales plásticos. Determinación de la absorción de agua.

*Otras Normas de ensayo para materiales aislantes térmicos*

UNE 53.029 Materiales plásticos. Determinación de la resistencia química.

UNE 53.126 Materiales plásticos. Coeficiente de dilatación lineal.

UNE 53.127 Inflamabilidad de las espumas y láminas de plástico.

UNE 53.181 Materiales plásticos. Espumas flexibles de poliuretano. Determinación de la deformación remanente.

UNE 53.182 Materiales plásticos. Espumas flexibles de poliuretano. Determinación de la resistencia a la compresión.

UNE 53.205 Materiales plásticos. Materiales celulares rígidos. Determinación de la resistencia a la compresión.

UNE 53-310-78 Materiales plásticos. Espumas de poliestireno expandido utilizadas como aislantes térmicos en habitáculos y en instalaciones isotérmicas y frigoríficas. Características y ensayos.

UNE 53-351-78 Plásticos. Espumas rígidas de poliuretano utilizadas como aislantes térmicos en habitáculos y en instalaciones isotérmicas y frigoríficas. Características y métodos de ensayo

UNE 56-904-76 Aglomerado expandido puro de corcho para aislamiento térmico. Placas. Características, muestreo y embalado.

UNE 56-905-74 Aglomerado expandido puro de corcho para aislamiento térmico. Placas. Determinación de dimensiones.

UNE 56-906-74 Aglomerado expandido puro de corcho para aislamiento térmico. Placas. Determinación de la densidad aparente.

UNE 56-907-74 Aglomerado expandido puro de corcho para aislamiento térmico. Placas. Determinación de la resistencia a la rotura por flexión.

UNE 56-908-74 Aglomerado expandido puro de corcho para aislamiento térmico. Placas. Determinación del comportamiento en agua hirviendo.

UNE 56-909-74 Aglomerado expandido puro de corcho para aislamiento térmico. Placas. Determinación del contenido de humedad.

UNE 56-910-74 Aglomerado expandido puro de corcho para aislamiento térmico. Placas. Determinación de la deformación bajo presión constante.

## Anexo 6: Recomendaciones

### 6.1 Condiciones térmicas de verano para edificios con aire acondicionado

#### 6.1.1 Ámbito de aplicación

Esta recomendación se establece para los edificios cuya potencia total instalada de refrigeración sea superior a 50 kW. y exclusivamente para el cerramiento de la zona o parte del edificio que esté climatizada.

#### 6.1.2 Ganancias de calor permitidas en cubiertas

Para cualquier latitud el coeficiente máximo de transmisión de las cubiertas será el que se indica en la siguiente tabla:

Tabla 6.1

| Tipo de cubierta    | Valor máximo de K en kcal/h m <sup>2</sup> °C (W/m <sup>2</sup> °C) |
|---------------------|---|
| Ventilada           | 1   |
| Ligera no ventilada | 0,6   |
| Pesada no ventilada | 0,8   |

El cumplimiento de esta recomendación no exime del cumplimiento de los requisitos obligatorios que se establecen en el articulado de la Norma cuando éstos sean más estrictos.

#### 6.1.3 Ganancia total de calor permitida en cerramientos verticales

Los valores máximos admisibles de la ganancia de calor  $Q$  por unidad de superficie no serán superiores a los señalados en la fórmula siguiente dada en función de la latitud norte  $L$  en grados del lugar donde se ubique el edificio.

$$Q_{max} = 0,76 L + 60,4 \text{ en kcal/h m}^2 \\ (Q_{max} = 0,88 L + 70,2 \text{ en W/m}^2)$$

Por ejemplo, un edificio con latitud 40°N no deberá tener unas ganancias totales de calor superiores a 90,8 kcal/h m<sup>2</sup> (105,6 W/m<sup>2</sup>).

La ganancia total de calor de un edificio se calculará con la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{\sum K_M \cdot S_M \cdot \Delta T_{eq} + \sum K_V \cdot S_V \cdot \Delta T + \sum S_{i,j} \cdot I \cdot F_{s,j} \cdot F_{p,j}}{\sum (S_M + S_V)}$$

Donde:

$K_M$  es el coeficiente de transmisión de calor del muro opaco. en kcal/h m<sup>2</sup> °C (W/m<sup>2</sup> °C)

$K_V$  es el coeficiente de transmisión de calor de los huecos acristalados, ventanas y puertas, en kcal/h m<sup>2</sup> °C (W/m<sup>2</sup> °C).

$S_M$  es la superficie de muro opaco, en m<sup>2</sup>.

$S_V$  es la superficie de huecos acristalados en m<sup>2</sup>.

$\Delta T_{eq}$  es la diferencia equivalente de temperatura que toma el valor 24°C para fachadas ligeras de  $< 200 \text{ kg/m}^2$  y el valor de 15°C para fachadas pesadas de  $\geq 200 \text{ kg/m}^2$ .

$\Delta T$  es la diferencia de temperaturas secas, exterior e interior, estimadas en el cálculo del acondicionamiento, en °C.

$I$  es la intensidad de la radiación directa que incide en la fachada, según la fórmula siguiente:

$$I = 5,8 L + 112 \text{ en kcal/h m}^2$$
$$(I = 6,7 L + 130 \text{ en W/m}^2)$$

donde  $L$  es la latitud norte en grados del lugar donde esté el edificio.

$F_s$  es el factor de reducción solar debido al tipo de vidrio empleado en el acristalamiento y que puede tomarse de la Tabla 6.2.

$F_{ps}$  es el factor de protección solar debido al tipo de protección solar utilizado y que puede tomarse de la Tabla 6.3.

Tabla 6.2

| Tipo de acristalamiento       | Esesor en mm      | Factor de transmisión energética | Factor solar $F_s$ |             |
|-------------------------------|-------------------|----------------------------------|--------------------|-------------|
| Sencillo:                     | Vidrio sencillo   | 3                                | 0,87               | 0,88        |
|                               | Luna incolora     | 6                                | 0,82               | 0,85        |
|                               |                   | 8                                | 0,78               | 0,83        |
|                               |                   | 10                               | 0,76               | 0,82        |
|                               |                   | Luna color rosa                  | 6                  | 0,74        |
|                               | Luna color gris   | 8                                | 0,64               | 0,73        |
|                               |                   | 6                                | 0,49               | 0,64        |
|                               | Luna color verde  | 10                               | 0,33               | 0,54        |
|                               |                   | 6                                | 0,44               | 0,62        |
|                               | Luna color bronce | 10                               | 0,32               | 0,53        |
|                               |                   | 6                                | 0,47               | 0,64        |
|                               | Luna reflectante  | 10                               | 0,31               | 0,52        |
|                               |                   | —                                | 0,21 a 0,59        | 0,38 a 0,63 |
|                               | Doble:            | Lunas incoloras                  | 6 + 6              | 0,67        |
| 8 + 8                         |                   |                                  | 0,63               | 0,70        |
| 10 + 8                        |                   |                                  | 0,61               | 0,68        |
| Lunas color bronce + incolora |                   | 6 + 6                            | 0,39               | 0,51        |
|                               |                   | 10 + 8                           | 0,24               | 0,37        |
| Lunas color gris + incolora   |                   | 6 + 6                            | 0,40               | 0,52        |
|                               |                   | 10 + 8                           | 0,26               | 0,41        |
| Lunas color verde + incolora  |                   | 6 + 6                            | 0,38               | 0,50        |
|                               |                   | 10 + 8                           | 0,28               | 0,39        |
| Reflectante                   |                   | —                                | 0,17 a 0,49        | 0,27 a 0,55 |

Tabla 6.3

| Tipo de protección solar                           | Acabado                                    | Factor de protección solar $F_{ps}$ |
|--|--|-------------------------------------|
| Toldo exterior móvil                               | Oscuro                                     | 0,35                                |
| Persiana interior enrollable completamente cerrada | Claro                                      | 0,40                                |
|  | Medio                                      | 0,60                                |
|  | Oscuro                                     | 0,80                                |
|  | Persiana interior enrollable medio cerrada | Claro                               |
| Persiana Veneciana interior con láminas a 45°      | Medio                                      | 0,80                                |
|  | Oscuro                                     | 0,90                                |
|  | Reflector                                  | 0,45                                |
| Persiana exterior                                  | Medio                                      | 0,65                                |
|  | Oscuro                                     | 0,75                                |
|  | Oscuro                                     | 0,50-0,35                           |

## 6.2 Aislamiento entre viviendas de un mismo edificio

Es recomendable, que los elementos horizontales o verticales de separación entre viviendas o locales de un mismo edificio cuando estén calefactados por unidades móviles, por instalaciones unitarias, individuales y centralizadas con contadores individuales de calor, tengan el valor máximo de coeficiente de transmisión de calor K que se indica en la Tabla 2 del artículo 5.º de la Norma para cerramientos con locales no calefactados.

Este es el caso frecuente de edificios de viviendas con locales comerciales o de servicios en planta baja que disponen de diferente sistema de calefacción que el resto del edificio.

### **6.3 Aislamiento térmico en edificaciones existentes**

El aislamiento térmico en edificación existente puede cumplir los objetivos de ahorro de energía, de aumento del confort térmico y de corrección o supresión de problemas de puentes térmicos o de condensaciones.

No pudiendo darse unas reglas fijas sobre los sistemas de aislamiento térmico óptimos en elementos constructivos diversos, se dan a continuación, sin embargo, algunas soluciones constructivas sobre los elementos más frecuentes de la edificación indicando sus ventajas e inconvenientes, lo que en cada caso servirá para elegir la solución técnico-económica más adecuada.

No puede olvidarse que el ahorro de energía del cual el aislamiento térmico es parte muy importante, no puede tratarse únicamente desde este punto de vista, olvidando que los sistemas de calefacción, incluida su regulación, deben ser equilibrados a las nuevas condiciones térmicas del edificio. Algunas de estas soluciones además pueden servir para el diseño del aislamiento en proyectos de nueva planta.

## Cerramientos horizontales o inclinados menos de 60° con la horizontal

| Elemento   | Solución   | Ventajas e inconvenientes   |
|--|--|---|
| Forjado de cubierta horizontal.  | <p><i>Solución A:</i> Aislamiento con placas de material aislante rígido resistente a compresión encima de la impermeabilización existente, con protección mecánica como grava. Es la denominada cubierta invertida.</p> | <p><i>Ventajas:</i> Se mejora el aislamiento térmico sin tener que hacer una nueva impermeabilización. La impermeabilización sufre menos choques térmicos.</p> <p><i>Inconvenientes:</i> El agua de lluvia puede infiltrarse bajo el aislamiento con riesgo de disminución de su eficacia si éste es absorbente de la humedad. Aumenta la carga sobre la cubierta al precisarse protección pesada que impida flotar al aislante, más ligero que el agua.</p>                            |
|  | <p><i>Solución B:</i> Aislamiento con placas de aislante rígidas y no compresibles y nueva impermeabilización.</p>   | <p><i>Ventajas:</i> Esta operación puede realizarse cuando se precise reparar totalmente una impermeabilización.</p>  |
| Cubierta inclinada formada por forjado horizontal, cámaras y tabiquillos, con tablero y elemento de cobertura. | Colocación de mantas o material a granel sobre el forjado en el espacio entre tabiquillos.   | <p><i>Ventajas:</i> Economía y facilidad de colocación. Puede realizarse la operación cuando vaya a repararse el tejado.</p> <p><i>Inconvenientes:</i> No siempre hay posibilidades de acceder a esta cámara.</p>   |
| Cubierta inclinada sobre forjado inclinado.  | <p><i>Solución A:</i> Colocación de paneles rígidos adheridos por el interior, o fijados sobre rastreles o perfiles.</p>   | <p><i>Ventajas:</i> Economía y mejora del confort apreciables, permitiendo hacer habitables desvanes.</p> <p><i>Inconvenientes:</i> Pérdida del volumen y altura habitable, y en desvanes ya habitados trabajos importantes de reposición de acabados y de instalaciones, además de las eventuales molestias a los ocupantes.</p>   |
|  | <p><i>Solución B:</i> Colocación de paneles rígidos o mantas sobre el forjado bajo los elementos de cobertura (normalmente de piezas solapadas como tejas, pizarras, etc.).</p>  | <p><i>Ventajas:</i> No existen estorbos en el interior al realizarse todos los trabajos al exterior, suprimiéndose además los puentes térmicos. Puede realizarse cuando se precise reparar gran parte de la cubierta.</p> <p><i>Inconvenientes:</i> Se precisa desmontar totalmente la cubierta y volver a montarla con necesidad de fijar rastreles o elementos que encuadren el aislante y algún elemento para reparto del peso del material de cobertura y de las cargas de uso.</p> |

**Cerramientos  
verticales o in-  
clinados más de 60°  
con la  
horizontal**

| <b>Elemento</b>                                     | <b>Solución</b>  | <b>Ventajas e inconvenientes</b>   |
|---|--|--|
| Forjado sobre cámara.                               | Reducción del número y superficie de los orificios de ventilación, sin eliminar totalmente la ventilación. | <i>Ventajas:</i> Solución fácil.<br><i>Inconvenientes:</i> Limitación de las posibilidades de eliminación de la humedad, pudiendo ocasionarse problemas de condensaciones, si la ventilación se disminuye demasiado. |
| Forjado sobre intemperie o espacios muy ventilados. | Fijación de panel aislante rígido adherido por la cara exterior con o sin acabado incorporado.             | <i>Ventajas:</i> Supresión de puentes térmicos.<br><i>Inconvenientes:</i> Precisa nuevo acabado si no lo lleva el aislante.  |

| <b>Elemento</b>  | <b>Solución</b>   | <b>Ventajas e inconvenientes</b>   |
|--|---|--|
| Fachada opaca formada por muro, cámara y tabique.                                  | <i>Solución A:</i> Aislamiento por el interior con placas rígidas de aislante.                              | <i>Ventajas:</i> No se precisan andamiajes.<br>No se modifica el aspecto exterior del edificio. Puede realizarse en todos los edificios independientemente de los detalles de fachada.<br><i>Inconvenientes:</i> Molestias a los ocupantes del edificio y eventual desalojo de los mismos. Trabajos importantes de reposición, como falsos techos, suelo, revestimientos, instalaciones eléctricas y de calefacción. |
|  | <i>Solución B:</i> Relleno de la cámara con aislante en espuma inyectable.                                  | <i>Ventajas:</i> Facilidad de ejecución sin andamiaje.<br>Conservación del aspecto exterior de la fachada. Trabajos mínimos de reposición al estado original.<br><i>Inconvenientes:</i> Imposibilidad de controlar eficazmente la expansión de la espuma debido a la frecuencia con que las cámaras tienen interrupciones.<br>No utilizable cuando la cámara tenga como fin la ventilación del muro.                 |
|  | <i>Solución C:</i> Aislamiento exterior con placas de aislante rígido y posterior revestimiento de acabado. | <i>Ventajas:</i> Supresión de puentes térmicos y de fisuras en revocos antiguos.<br>Protección eficaz de las estructuras de la intemperie.<br>Cooperación en la estanquidad de la fachada.<br><i>Inconvenientes:</i> Precisa andamiajes completos.<br>Puede modificar el aspecto exterior de la fachada.<br>De difícil ejecución según la importancia de los entrantes y salientes de la fachada.                    |
| Fachada opaca formada por un muro de una hoja de ladrillo, bloques, hormigón, etc. |   | Pueden emplearse las soluciones A y C del caso anterior con idénticas ventajas e inconvenientes.   |

| Elemento  | Solución  | Ventajas e inconvenientes  |
|-----------|---|--|
| Ventanas. | <i>Solución A:</i> Sustitución del vidrio simple por doble acristalamiento con cámara.                            | <i>Ventajas:</i> Aumenta el aislamiento acústico además del térmico.<br>Limpieza idéntica al simple acristalamiento.<br><i>Inconvenientes:</i> Las carpinterías no siempre pueden soportar el peso adicional del nuevo acristalamiento, o bien no pueden instalarse en galces pequeños.<br>Inutilización de los acristalamientos anteriores. |
|           | <i>Solución B:</i> Instalación de dobles ventanas al interior o exterior con cámara sin influencia de su espesor. | <i>Ventajas:</i> Mejor aislamiento térmico y acústico que en la solución anterior.<br><i>Inconvenientes:</i> Gastos importantes en la adquisición de las nuevas ventanas y en su colocación, que precisa trabajos de albañilería y acabados.<br>Molestias eventuales a los ocupantes del edificio si la colocación es por el interior.       |

#### 6.4 Recomendaciones para el empleo de materiales aislantes en los elementos constructivos

Se dan en este apartado unas recomendaciones generales sobre la adecuación a algunas soluciones constructivas de determinados materiales aislantes, acabados, o bien producidos *in situ*; por su naturaleza física, entendiéndose como aislantes básicos aquellos cuya función primordial es la del aislamiento térmico, y como aislantes constructivos aquellos otros que forman parte de elementos con otras funciones, o que ellos mismos las tienen, y finalmente por su forma de presentación, en forma de material rígido, semirrígido y flexible, granuloso y pulverulento, y pastoso.

A estos efectos se consideran materiales aislantes rígidos a los que tienen características mecánicas iguales a las exigibles a un material de construcción normal considerado como rígido, o bien a los que al menos son autosustentados; semirrígidos y flexibles a los que no son autosustentados; granulados y pulverulentos a los que con presentación amorfa están compuestos por partículas granuladas o pulverulentas no aglomeradas; y, finalmente, se consideran pastosos a los que procedentes de componentes químicos se conforman en obra, adoptando en primer lugar este aspecto para pasar posteriormente a tener las características de rígido o semirrígido.

En el cuadro, el asterisco indica que el material aislante de ese tipo es el utilizable en esa solución constructiva, y el círculo indica que ese material puede emplearse cuando por medio de materiales auxiliares se le den las características de rígido.

| <b>Cubiertas</b>             |                    |                                     | <b>Sistema de fabricación</b> |                  | <b>Naturaleza física</b> |                              |               | <b>Forma de presentación</b> |                                 |                |
|------------------------------|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------|------------------|--------------------------|------------------------------|---------------|------------------------------|---------------------------------|----------------|
| <b>Elemento constructivo</b> |                    |                                     | <b>Prefabricado</b>           | <b>«in situ»</b> | <b>Aislante básico</b>   | <b>Aislante Constructivo</b> | <b>Rígido</b> | <b>Semirígido y flexible</b> | <b>Granulado y pulverulento</b> | <b>Pastoso</b> |
| Cubierta plana               | Con cámara de aire | Aislamiento sobre faldón            | *                             |                  | *                        |                              | *             | o                            | o                               |                |
|                              |                    | Faldón aislante                     | *                             |                  |                          | *                            | *             |                              |                                 | *              |
|                              |                    | Aislamiento en la cámara            | *                             | *                | *                        |                              | *             | *                            | *                               | *              |
|                              |                    | Forjado aislante                    | *                             | *                | *                        | *                            | *             |                              | *                               | *              |
|                              |                    | Aislamiento bajo forjado            | *                             | *                | *                        | *                            | *             | o                            | o                               | o              |
|                              | Sin cámara de aire | Aislamiento sobre faldón            | *                             |                  | *                        |                              | *             | o                            | o                               |                |
|                              |                    | Faldón aislante de espesor uniforme | *                             |                  | *                        |                              | *             | o                            | o                               |                |
|                              |                    | Faldón aislante de espesor variable | *                             | *                | *                        | *                            | *             |                              | *                               | *              |
|                              |                    | Aislamiento sobre el forjado        | *                             |                  | *                        |                              | *             | o                            | o                               |                |
|                              |                    | Forjado aislante                    | *                             | *                | *                        | *                            | *             |                              | *                               | *              |
|                              |                    | Aislamiento bajo forjado            | *                             | *                | *                        |                              | o             | o                            | o                               |                |
|                              |                    | Cubierta invertida                  | *                             |                  | *                        |                              | *             |                              |                                 |                |
| Cubierta inclinada           | Con cámara de aire | Aislamiento sobre faldón            | *                             |                  | *                        |                              | *             | o                            | o                               |                |
|                              |                    | Aislamiento en la cámara            | *                             | *                | *                        |                              | *             | *                            | *                               | *              |
|                              |                    | Forjado aislante                    | *                             | *                | *                        | *                            | *             |                              | *                               | *              |
|                              |                    | Aislamiento bajo forjado            | *                             | *                | *                        | *                            | *             | o                            | o                               | o              |
|                              | Sin cámara de aire | Aislamiento sobre el forjado        | *                             |                  | *                        |                              | *             | o                            | o                               |                |
|                              |                    | Forjado aislante                    | *                             |                  |                          | *                            | *             |                              |                                 | *              |
|                              |                    | Aislamiento bajo forjado            | *                             | *                | *                        | *                            | *             | o                            | o                               | o              |

| <b>Cerramientos horizontales</b>        |          |                              | <b>Sistema de fabricación</b> |                  | <b>Naturaleza física</b> |                           |               | <b>Forma de presentación</b>  |                           |                |
|---|----------|------------------------------|-------------------------------|------------------|--------------------------|---------------------------|---------------|-------------------------------|---------------------------|----------------|
| <b>Elemento constructivo</b>            |          |                              | <b>Prefabri-</b>              | <b>-in situ-</b> | <b>Aislante básico</b>   | <b>Aislante construc-</b> | <b>Rigido</b> | <b>Semirrigido y flexible</b> | <b>Granulado y pulve-</b> | <b>Pastoso</b> |
|   |          |                              | <b>cado</b>                   |                  |                          | <b>tivo</b>               |               | <b>ruento</b>                 |                           |                |
| Sobre el terreno                        | Forjados | Aislamiento sobre el forjado | *                             |                  | *                        |                           | *             | o                             | o                         |                |
|   |          | Forjado aislante             | *                             |                  |                          | *                         | *             |                               |                           | *              |
|   | Soleras  | Aislamiento sobre solera     | *                             |                  | *                        |                           | *             | o                             | o                         |                |
|   |          | Solera aislante              | *                             |                  |                          | *                         | *             |                               |                           | *              |
| Sobre espacios abiertos no calefactados |          | Aislamiento sobre el forjado | *                             |                  | *                        |                           | *             | o                             | o                         |                |
|   |          | Forjado aislante             | *                             | *                | *                        | *                         | *             |                               | *                         | *              |
|   |          | Aislamiento bajo forjado     | *                             | *                | *                        | *                         | *             | *                             | *                         | *              |
| Falso techo                             |          |                              | *                             |                  | *                        |                           | *             | o                             | o                         | o              |

| <b>Cerramientos verticales</b>   |                    |   | <b>Sistema de fabricación</b> |                  | <b>Naturaleza física</b> |                           |               | <b>Forma de presentación</b>  |                           |                |
|----------------------------------|--------------------|---|-------------------------------|------------------|--------------------------|---------------------------|---------------|-------------------------------|---------------------------|----------------|
| <b>Elemento constructivo</b>     |                    |   | <b>Prefabri-</b>              | <b>-in situ-</b> | <b>Aislante básico</b>   | <b>Aislante construc-</b> | <b>Rigido</b> | <b>Semirrigido y flexible</b> | <b>Granulado y pulve-</b> | <b>Pastoso</b> |
|                                  |                    |   | <b>cado</b>                   |                  |                          | <b>tivo</b>               |               | <b>ruento</b>                 |                           |                |
| Cerramiento opaco (muros)        | Con cámara de aire | Aislamiento por el exterior               | *                             | *                | *                        |                           | *             | o                             | *                         | *              |
|                                  |                    | Aislamiento en cámara con relleno total   | *                             | *                | *                        |                           | *             | *                             | *                         | *              |
|                                  |                    | Aislamiento en cámara con relleno parcial | *                             | *                | *                        |                           | *             | o                             | *                         | *              |
|                                  | Sin cámara de aire | Aislamiento por el exterior               | *                             | *                | *                        |                           | *             | o                             | *                         | *              |
|                                  |                    | Aislamiento por el interior               | *                             | *                | *                        |                           | *             | o                             | *                         | *              |
|                                  |                    | Elementos de cerramiento aislantes        | *                             |                  |                          | *                         | *             |                               | *                         | *              |
| Cerramiento no opaco             |                    | Doble acristalamiento                     | *                             |                  | *                        | *                         | *             |                               |                           |                |
|                                  |                    | Hormigón translúcido                      | *                             |                  | *                        | *                         | *             | *                             | *                         | *              |
| Puentes térmicos en cerramientos |                    | Vigas                                     | *                             |                  | *                        | *                         | *             | *                             | *                         | *              |
|                                  |                    | Soportes                                  | *                             | *                | *                        | *                         | *             | *                             | *                         | *              |
|                                  |                    | Forjados                                  | *                             |                  | *                        | *                         | *             | *                             | *                         | *              |
|                                  |                    | Hornacinas                                | *                             |                  | *                        | *                         | *             | *                             | *                         | *              |
|                                  |                    | Cajas de persianas                        | *                             |                  | *                        | *                         | *             | *                             | *                         | *              |

