Edificios

Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización

Guía técnica

Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos

Incluye CD-ROM con programa AISLAM

MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO

IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: Guía técnica. Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: Guía técnica. Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos

Edificios

Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización

Guía técnica

Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos

Incluye CD-ROM con programa AISLAM

MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO
IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: Guía técnica. Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos

TÍTULO

Guía técnica para el diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos

CONTENIDO

Esta publicación ha sido redactada por la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), con el objetivo de promocionar la eficiencia en el uso final de la energía en los edificios (contiene un CD con programa informático de cálculo).

Esta publicación está incluida en el fondo editorial del IDAE, en la serie "Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización".

Cualquier reproducción, parcial o total, de la presente publicación debe contar con la aprobación por escrito del IDAE.

Depósito Legal: M-8044-2007

ISBN: 978-84-96680-08-1

IDAE
Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
C/ Madera, 8
E-28004-Madrid
comunicacion@idae.es
www.idae.es

Madrid, febrero de 2007

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: Guía técnica. Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos

ÍNDICE

Presentación 5

1 Objeto y campo de aplicación 7

2 Transmisión de calor 9

2.1 Introducción 9
2.2 Resistencias térmicas por conducción 9
2.3 Resistencias térmicas por convección 10
2.4 Resistencias térmicas por radiación 12
2.5 Resistencias térmicas por convección-radiación 12
2.6 Calor intercambiado en un elemento compuesto por diferentes capas 13
2.7 Resistencia térmica global. Coeficiente global de transferencia de calor 16
2.8 Existencia de elementos singulares 17

3 Estimación del espesor de aislante 23

3.1 Para intercambiar un flujo de calor dado 23
3.2 Para perder un porcentaje de calor con respecto al elemento no aislado 23
3.3 Para limitar una resistencia térmica o un coeficiente global de intercambio de calor 23
3.4 Para mantener una temperatura superficial exterior 24
3.5 Evitar condensaciones superficiales 25
3.6 En función del espesor económico 25
3.7 En función de un tiempo de congelación para tuberías 27
3.8 En función de presentar una diferencia de temperaturas a lo largo de una tubería o conducto 29

4 Estudio de condensaciones interiores 31

5 Ejemplos 33

5.1 Paredes. Espesor de aislamiento para tener un Coeficiente global de transferencia de calor 33
5.2 Paredes. Distribución de temperaturas y flujo de calor en estado estacionario 34

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: Guía técnica. Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos

5.3 Paredes. Observar la posibilidad de condensaciones interiores 35
5.4 Paredes. Cálculo del espesor de aislamiento para transferir un flujo de calor dado 36
5.5 Paredes. Cálculo del espesor económico de aislamiento 38
5.6 Tuberías. Espesor para perder un tanto por cien respecto a tubería desnuda 41
5.7 Tuberías. Cálculo espesor para que no existan condensaciones sobre una tubería 43
5.8 Tuberías. Cálculo espesor aislamiento en tubería enterrada, para perder un flujo de calor 45
5.9 Tuberías. Cálculo espesor aislamiento tubería para que congele un tanto por cien del agua contenida en un determinado tiempo 46
5.10 Esferas. Cálculo de pérdida de calor 47
5.11 Conductos. Cálculo de pérdida de calor y temperatura final en un tramo 48
5.12 Depósito. Cálculo del flujo de calor perdido 50

Apéndice I: Coeficientes de convención más usuales 53

Apéndice II: Coeficientes de convección + radiación en elementos constructivos 55

Apéndice III: Temperatura de rocío 56

Apéndice IV: Normas y documentos para consulta 57

Apéndice V: Símbolos y unidades 58

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: Guía técnica. Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos

PRESENTACIÓN

El nuevo Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) transpone parcialmente la Directiva 2002/91/CE, de 16 de diciembre, relativa a la eficiencia energética de los edificios, fijando los requisitos mínimos de eficiencia energética que deben cumplir las instalaciones térmicas de los edificios nuevos y existentes, y un procedimiento de inspección periódica de calderas y de los sistemas de aire acondicionado.

El Reglamento se desarrolla con un enfoque basado en prestaciones u objetivos, es decir, expresando los requisitos que deben satisfacer las instalaciones térmicas sin obligar al uso de una determinada técnica o material ni impidiendo la introducción de nuevas tecnologías y conceptos en cuanto al diseño, frente al enfoque tradicional de reglamentos prescriptivos que consisten en un conjunto de especificaciones técnicas detalladas que presentan el inconveniente de limitar la gama de soluciones aceptables e impiden el uso de nuevos productos y de técnicas innovadoras.

Así, para justificar que una instalación cumple las exigencias que se establecen en el RITE podrá optarse por una de las siguientes opciones:

— adoptar soluciones basadas en las Instrucciones Técnicas, cuya correcta aplicación en el diseño y dimensionado, ejecución, mantenimiento y utilización de la instalación, es suficiente para acreditar el cumplimiento de las exigencias; o

— adoptar soluciones alternativas, entendidas como aquellas que se apartan parcial o totalmente de las Instrucciones Técnicas. El proyectista o el director de la instalación, bajo su responsabilidad y previa conformidad de la propiedad, pueden adoptar soluciones alternativas, siempre que justifiquen documentalmente que la instalación diseñada satisface las exigencias del RITE porque sus prestaciones son, al menos, equivalentes a las que se obtendrían por la aplicación de las soluciones basadas en las Instrucciones Técnicas.

Por esta razón, el IDAE con el fin de facilitar a los agentes que participan en el diseño y dimensionado, ejecución, mantenimiento e inspección de estas instalaciones, ha promovido la elaboración de una serie de guías técnicas de ahorro y eficiencia energética en climatización, que desarrollen soluciones alternativas.

En concreto, la que nos ocupa, titulada “Guía técnica. Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos”, junto con el programa informático AISLAM, pretende ser un procedimiento alternativo, de acuerdo con lo establecido en la IT 1.2.4.2, para el cálculo de los espesores de aislamiento.

NOTA: En este documento, todas las menciones al Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios se refieren al último borrador disponible.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: Guía técnica. Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: Guía técnica. Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos

1 Objeto y campo de aplicación

Este documento facilita los métodos de cálculo y los criterios normales de dimensionamiento, para la estimación del espesor de aislamiento a utilizar en equipos y elementos de la edificación e instalaciones industriales. Estos cálculos se realizan en estado estacionario y flujo unidimensional.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: Guía técnica. Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: Guía técnica. Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos

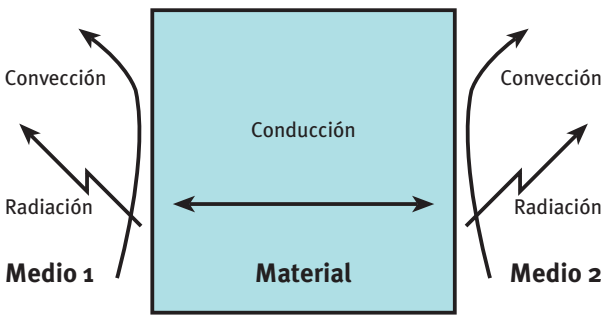
2 Transmisión de calor

2.1 Introducción

En la transferencia de calor existente a través de un equipo o elemento entre dos entornos (interior y exterior) tienen lugar los tres mecanismos típicos de conducción, convección y radiación.

- El mecanismo de conducción (transferencia de calor a través de un material sin movimiento macroscópico) se realiza a través de los materiales sólidos.
- El mecanismo de convección (transferencia de calor por conducción con existencia de un movimiento macroscópico de los materiales) se realiza a través de los gases o líquidos, pudiendo ser el movimiento provocado o natural (por diferencia de densidades).
- El mecanismo de radiación (transferencia de calor entre superficies sin la necesidad de la presencia de un medio material entre ambas) se realiza a través del vacío o de medios transparentes o semitransparentes.

Formas genéricas de intercambio de calor



En el campo de materiales y temperaturas que consideramos podemos afirmar:

- En materiales sólidos sólo consideraremos el mecanismo de conducción, ya que se suponen materiales opacos. (No se consideran vidrios o materiales plásticos transparentes. Realmente no consideramos el intercambio de calor que se produce en éstos por radiación).
- En líquidos sólo se considerará la convección (respecto al mecanismo de radiación se supondrá que son opacos, y por tanto el posible flujo de calor mediante este mecanismo se desprecia).
- En gases (principalmente aire) se deberá considerar la convección y la radiación (se producen ambos mecanismos a la vez).

Dependiendo de la configuración geométrica básica de las capas (planas, cilíndricas, esféricas) se expresa de forma práctica el flujo de calor como:

- Placas planas: Flujo de calor por unidad de área q/A (W/m²).
- Placa cilíndrica: Flujo de calor por unidad de longitud q/H (W/m).
- Placa esférica: Flujo de calor q (W).

2.2 Resistencias térmicas por conducción

La ecuación que rige el intercambio de calor por conducción es la conocida ecuación de Fourier, la cual considera que la densidad de flujo de calor por unidad

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: Guía técnica. Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos

de área es proporcional al gradiente de temperaturas en la dirección perpendicular al área considerada:

$$q / A = -k \frac{dT}{dn} \qquad [1]$$

La constante de proporcionalidad se conoce como conductividad térmica del material, tomándose en general de forma práctica como constante. En realidad, puede presentar cierta dependencia con la temperatura del mismo. En esos casos se toma el valor medio dentro del campo de temperaturas en el que se desarrolla la aplicación.

Los valores de dicha variable pueden ser muy diferentes, desde aislantes con conductividades del orden de varias centésimas (0,04 W/m K para Lana de vidrio; 0,024 para Poliuretano tipo II; 0,029 para Poliestireno tipo V) a metales puros con valores del orden de varias decenas (40 W/m K para el acero, 100 W/m K para el cobre). Esta variación tan grande hace que la resistencia térmica al paso de calor de materiales con mucha conductividad (metales) sea en la práctica despreciable.

Los valores de materiales típicos de construcción son del orden de la unidad. Es el caso del ladrillo macizo (0,87 W/m K), enfoscado de cemento (1,4 W/m K) o enlucido de yeso (0,3 W/m K).

Cuando la composición de un material no es homogénea se define una conductividad aparente, en función del tipo constructivo (o distribución y porcentaje de diferentes elementos). Así se define una conductividad aparente diferente para el ladrillo perforado (0,76 W/m K) y para el ladrillo hueco (0,49 W/m K) respecto al ladrillo macizo (0,87 W/m K).

2.2.1 Resistencias térmicas conductivas en caso de placas planas

Particularizada la anterior ecuación al caso de una placa plana en que sus superficies tengan una diferencia de temperaturas ΔT, tenemos:

$$q / A = \frac{\Delta T}{esp / k} \qquad [2]$$

Donde se define la resistencia térmica por conducción de una placa plana como:

$$R_{cond_plana} = \frac{esp}{k} \qquad [3]$$

2.2.2 Resistencias térmicas conductivas en caso de capa cilíndrica

Particularizada la anterior ecuación al caso de una capa cilíndrica en que sus superficies tengan una diferencia de temperaturas ΔT, tenemos:

$$q/H = \frac{\Delta T}{\ln(r_{ext}/r_{int}) \Big/ 2\pi k} \qquad [4]$$

Donde se define la resistencia térmica por conducción de una capa cilíndrica como:

$$R_{cond_cilíndrica} = \ln(r_{ext}/r_{int}) \Big/ 2\pi k \qquad [5]$$

2.2.3 Resistencias térmicas conductivas en caso de capa esférica

Particularizada la anterior ecuación al caso de una capa esférica en que sus superficies tengan una diferencia de temperaturas ΔT, tenemos:

$$q = \frac{\Delta T}{\left(\frac{1}{r_{int}} - \frac{1}{r_{ext}}\right) \Big/ 4\pi k} \qquad [6]$$

Se define la resistencia térmica por conducción de una capa esférica como:

$$R_{cond_esférica} = \left(\frac{1}{r_{int}} - \frac{1}{r_{ext}}\right) \Big/ 4\pi k \qquad [7]$$

2.3 Resistencias térmicas por convección

La ecuación que rige el intercambio de calor por convección es la conocida ecuación de Newton, la cual considera que la densidad de flujo de calor por unidad de área es proporcional a la diferencia de temperaturas entre la superficie y la temperatura del fluido (líquido o sólido).

$$q / A = h_{conv}(\Delta T) \qquad [8]$$

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: Guía técnica. Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos

En este caso la constante de proporcionalidad se conoce como coeficiente de convección o coeficiente de película (y en la realidad es lo menos parecido a una constante).

Dicho coeficiente de convección presenta gran variación en función del tipo y cantidad de movimiento que presente el fluido, así como de su estado, e incluso del mismo gradiente de temperaturas (pared-fluido).

Respecto al movimiento se debe diferenciar entre movimiento provocado (forzado) por un elemento (bomba, ventilador) o por el ambiente (velocidad viento), y movimiento natural (debido a la diferencia de temperaturas dentro del fluido que a su vez provoca diferencia de densidades y por tanto desplazamiento).

Respecto a su estado, cabe diferenciar el caso de gases, líquidos o fluidos que en las condiciones de trabajo presenten cambios de fases (tuberías bifásicas).

Como órdenes de magnitud se pueden señalar:

Caso de gases:

- Con movimiento natural del orden de varias unidades (1-10 W/m² K).
- Con movimiento forzado del orden de varias decenas (10-100 W/m² K).

Caso de líquidos:

- Con movimiento natural del orden de algunas centenas (100 W/m² K).
- Con movimiento forzado del orden de algunos millares (1000 W/m² K).

Caso de fluidos en cambio de fase:

- Del orden de algunos millares (1000 W/m² K)

Esta gran variedad de coeficientes de convección hace que el comportamiento al paso de calor en el caso de gases sea muy diferente con respecto a los demás. En otras palabras, la resistencia térmica que ofrece un líquido o un fluido en cambio de fase es despreciable frente a la que ofrece un gas. En el apéndice I se dan las correlaciones más usuales.

2.3.1 Resistencias térmicas convectivas en caso de placas planas

Particularizada la anterior ecuación al caso de una placa plana en que tengamos una diferencia de temperaturas ΔT entre la superficie y el fluido:

$$q / A = \frac{\Delta T}{1 / h_{conv}} \qquad [9]$$

Donde se define la resistencia térmica por convección de una placa plana como:

$$R_{conv_plana} = \frac{1}{h_{conv}} \qquad [10]$$

2.3.2 Resistencias térmicas convectivas en caso de capa cilíndrica

Particularizada la anterior ecuación al caso de una capa cilíndrica en que tengamos una diferencia de temperaturas ΔT entre la superficie y el fluido:

$$q / H = \frac{\Delta T}{1 / (2 \pi \ r \ h_{conv})} \qquad [11]$$

Donde se define la resistencia térmica por convección de una capa cilíndrica como:

$$R_{conv_cilíndrica} = \frac{1}{2 \pi \ r \ h_{conv}} \qquad [12]$$

2.3.3 Resistencias térmicas convectivas en caso de capa esférica

Particularizada la anterior ecuación al caso de una capa esférica en que tengamos una diferencia de temperaturas ΔT entre la superficie y el fluido:

$$q = \frac{\Delta T}{1 / (\pi \ r^2 \ h_{conv})} \qquad [13]$$

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: Guía técnica. Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos

Donde se define la resistencia térmica por convección de una capa esférica como:

$$R_{conv_esférica} = \frac{1}{\pi\, r^2\, h_{conv}} \qquad [14]$$

2.4 Resistencias térmicas por radiación

La ecuación que rige el intercambio de calor por radiación es la conocida ecuación de Stefan-Boltzman, la cual considera que la densidad de flujo de calor por unidad de área es proporcional a la diferencia a la cuarta potencia de temperaturas (en Kelvin) entre superficies. (Recordemos que únicamente se tiene en cuenta este tipo de mecanismo de intercambio de calor en presencia de gases, y en nuestro caso práctico, en aire).

$$q / A = C(TK^4_{\text{sup}1} - TK^4_{\text{sup}2}) \qquad [15]$$

En este caso la constante de proporcionalidad C presenta diferentes valores en función de las propiedades radiantes de las superficies (coeficiente de emisión), y de la forma del recinto (distancias y ángulos entre superficies), siendo en general difícil su determinación exacta.

En el caso de que la superficie en estudio sea de menor tamaño que las de su entorno (caso típico de la superficie de una tubería respecto a la habitación en que se encuentra, o de forma más aproximada el de una pared respecto al conjunto de todas las demás), la anterior ecuación se reduce a:

$$q / A = \varepsilon\sigma\,(TK^4_{\text{sup}1} - TK^4_{\text{sup}2}) \qquad [16]$$

En donde, σ es la constante de Stefan-Boltzman (5,67 10-8 W/m² K⁴) y ε es el coeficiente de emisión de la superficie en estudio.

Los valores del coeficiente de emisión (a longitudes de onda largas del entorno de 9 micras para temperaturas del orden de 50 ºC) dependen del tipo de superficie, siendo claramente diferentes el caso de superficies metálicas (0,05 para metálica brillante; 0,25 para metálica opaca; 0,5 para pinturas metálicas) y el resto de superficies (0,88 para pinturas, plásticos, ladrillos; 0,90 para pinturas no metálicas de color oscuro). Como valor medio se toma en general 0,9.

En la práctica se desconoce normalmente el valor de las temperaturas superficiales del resto de superficies, por lo que una buena aproximación será suponerla igual a la temperatura del aire. Por tanto, la expresión del flujo de calor se puede expresar (linealizando la ecuación) como un coeficiente de convección equivalente de radiación mediante:

$$q / A = h_{rad}(\Delta T) \qquad [17]$$

Donde ΔT representa la diferencia de temperaturas entre la pared y el medio (aire) dicha diferencia se contabiliza en ºC ya que es lo mismo que en Kelvin.

Evidentemente el valor del coeficiente de convección equivalente en radiación será (suponiendo la temperatura del resto de superficies igual a la del aire):

$$h_{rad} = \varepsilon\sigma(TK_{\text{sup}} + TK_{aire})(TK^2_{\text{sup}} + TK^2_{aire}) \qquad [18]$$

Finalmente al haber expresado el intercambio radiante con la misma ecuación formal que la convección, la resistencia térmica para placa plana, capa cilíndrica o esférica serán del mismo tipo que las convectivas, sin más que sustituir el coeficiente de película en convección por el correspondiente en radiación.

2.5 Resistencias térmicas por convección-radiación

Cuando ambos mecanismos de intercambio son significativos (caso de gases y más concretamente presencia de aire), el calor intercambiado desde la superficie del elemento a su entorno tendrá dos contribuciones, una convectiva y otra radiante, es decir:

$$q / A = h_{conv}(\Delta T) + h_{rad}(\Delta T) = h_{conv_rad}(\Delta T) \qquad [19]$$

Por lo que podremos resumir ambos fenómenos en un coeficiente global de película (que contabilice ambos mecanismos) y que no es más que la suma de ambos coeficientes de forma individualizada.

$$h_{conv_rad} = h_{conv} + h_{rad} \qquad [20]$$

Análogamente podremos establecer las diferentes resistencias convectivas-radiantes para las distintas configuraciones sin más que sustituir el coeficiente de convección inicialmente propuesto por el coeficiente de convección-radiación ahora señalado, por tanto:

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: Guía técnica. Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos

- Resistencia convectiva-radiante para placa plana

$$R_{conv-rad_plana} = \frac{1}{h_{conv_rad}} \quad [21]$$

- Resistencia convectiva-radiante para capa cilíndrica

$$R_{conv_rad_cilíndrica} = \frac{1}{2\,\pi\,r\,h_{conv_rad}} \quad [22]$$

- Resistencia convectiva-radiante para capa esférica

$$R_{conv_rad_esférica} = \frac{1}{\pi\,r^2\,h_{conv_rad}} \quad [23]$$

Recordemos que en el caso de líquidos (o fluidos en cambio de fase) el calor intercambiado por radiación es despreciable y, por tanto, siguen siendo válidas las anteriores expresiones sin más que asignar un valor nulo al coeficiente de película equivalente de radiación (h_{rad} = o).

2.6 Calor intercambiado en un elemento compuesto por diferentes capas

Es evidente que en estado estacionario (constancia de temperaturas a ambas partes de un elemento con el tiempo), la cantidad de calor que atraviesa cada una de las capas es constante (evidentemente se supone que no existe cambio de fase en ninguna capa).

Resaltemos que asumimos el estado estacionario, y no presencia de radiación de longitud de onda corta (exposición solar), por lo tanto, mediante el uso de estas expresiones no obtendremos el calor real transferido por los muros exteriores de un edificio, ya que no consideramos ni inercia térmica, ni radiación solar.

De forma general se deberá contar la posibilidad de existencia de intercambio convectivo y radiante a ambas partes del elemento.

2.6.1 Caso de capa plana

Las anteriores afirmaciones se resumen para placas planas en la constancia del flujo de calor por unidad de área, es decir:

$$q / A = \frac{\Delta T_{\text{int}}}{R_{conv-rad_plana,\text{int}}} = \frac{\Delta T_i}{R_{cond_plana,i}} = \frac{\Delta T_{ext}}{R_{conv-rad_plana,ext}} \quad [24]$$

De donde se obtiene, simplemente sumando numeradores y denominadores (propiedad de las fracciones), y contabilizando todas las capas):

$$q / A = \frac{T_{\text{int}} - T_{ext}}{R_{conv-rad_plana,\text{int}} + \sum_{\substack{capas \\ material}} R_{cond_plana,i} + R_{conv-rad_plana,ext}} \quad [25]$$

Documents
Document Sharing Hub

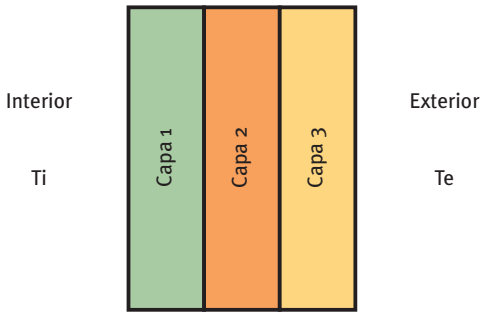
Full document details: Guía técnica. Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos

Y que en general se expresa como:

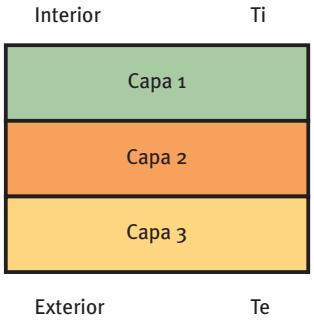
$$q / A = \frac{T_{\text{int}} - T_{ext}}{\frac{1}{h_{conv_rad,\text{int}}} + \sum_{\substack{capas \\ matrial}} \frac{esp_i}{k_i} + \frac{1}{h_{conv_rad,ext}}} = \frac{T_{\text{int}} - T_{ext}}{R_{total,plana}}$$

[26]

Placas planas verticales



Placas planas horizontales



2.6.2 Caso de capa cilíndrica

Para capa cilíndrica tenemos la constancia del flujo de calor por unidad de longitud, es decir:

$$q/H = \frac{\Delta T_{\text{int}}}{R_{conv-rad_cilíndrica,\text{int}}} = \frac{\Delta T_i}{R_{cond_cilíndrica,i}} = \frac{\Delta T_{ext}}{R_{conv-rad_cilíndrica,ext}}$$

[27]

De donde se obtiene, simplemente sumando numeradores y denominadores (propiedad de las fracciones), y contabilizando todas las capas:

$$q/H = \frac{T_{\text{int}} - T_{ext}}{R_{conv-rad_cilíndrica,\text{int}} + \sum_{\substack{capas \\ material}} R_{cond_cilíndrica,i} + R_{conv-rad_cilíndrica,ext}}$$

[28]

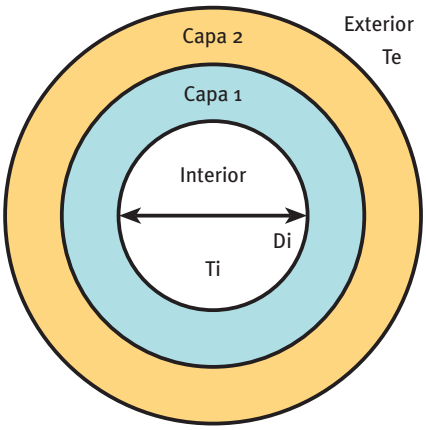
Las superficies interiores de la tubería están a la misma temperatura y, por tanto, aunque el fluido sea un gas el intercambio de calor por radiación es despreciable (o nulo). Consecuentemente, en el interior sólo se considerará el intercambio de calor por convección.
Y que en general se expresa como:

$$q/H = \frac{T_{\text{int}} - T_{ext}}{\frac{1}{2\pi r_{\text{int}} h_{conv,\text{int}}} + \sum_{\substack{capas \\ material}} \frac{\ln\left(r_{i+1} / r_i\right)}{2\pi k_i} + \frac{1}{2\pi r_{ext} h_{conv_rad,ext}}} = \frac{T_{\text{int}} - T_{ext}}{R_{total,cilíndricas}}$$

[29]

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: Guía técnica. Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos

Tuberías



2.6.3 Caso de capa esférica

Finalmente, para capa esférica tenemos la constancia del flujo de calor, es decir:

$$q = \frac{\Delta T_{\text{int}}}{R_{conv-rad_esférica,\text{int}}} = \frac{\Delta T_i}{R_{cond_esférica,i}} = \frac{\Delta T_{ext}}{R_{conv-rad_esférica,ext}} \qquad [30]$$

De donde se obtiene, como en los casos anteriores:

$$q = \frac{T_{\text{int}} - T_{ext}}{R_{conv-rad_esférica,\text{int}} + \sum_{\substack{capas \\ material}} R_{cond_esférica,i} + R_{conv-rad_esférica,ext}} \qquad [31]$$

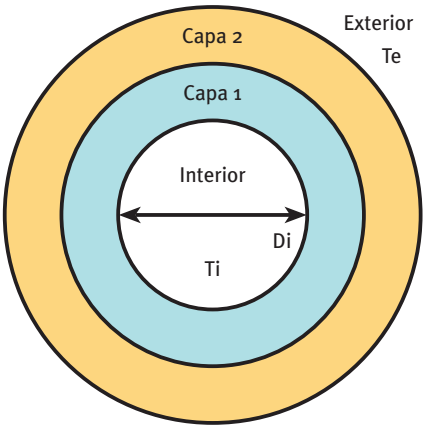
Igualmente al caso de tuberías, las superficies interiores de las esferas están a la misma temperatura y, por tanto, aunque el fluido sea un gas el intercambio de calor por radiación es despreciable (o nulo). Consecuentemente, en el interior sólo se considerará el intercambio de calor por convección.

Y que en general se expresa como:

$$q = \frac{T_{\text{int}} - T_{ext}}{\frac{1}{\pi r_{\text{int}}^2 h_{conv,\text{int}}} + \sum_{\substack{capas \\ material}} \frac{\left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_{i+1}}\right)}{4\pi k_i} + \frac{1}{\pi r_{ext}^2 h_{conv_rad,ext}}} = \frac{T_{\text{int}} - T_{ext}}{R_{total,esféricas}} \qquad [32]$$

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: Guía técnica. Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos

Esferas



2.7 Resistencia térmica global. Coeficiente global de transferencia de calor

En cada una de las configuraciones analizadas se puede resumir la contribución de las diferentes capas de material y la existencia de convección y radiación en una resistencia térmica global del sistema, y con su inversa definir el coeficiente global de transferencia de calor, así:

- **Paredes**

$$q / A = \frac{T_{\text{int}} - T_{ext}}{R_{total\,,placas}} = U_{plana}\left(T_{\text{int}} - T_{ext}\right) \qquad [33]$$

$$U_{plana} = \frac{1}{R_{total\,,planas}} = \frac{1}{\frac{1}{h_{conv,\text{int}}} + \sum_{\substack{capas\\material}} \frac{esp_i}{k_i} + \frac{1}{h_{conv_rad,ext}}} \qquad [34]$$

- **Tuberías**

$$q/H = \frac{T_{\text{int}} - T_{ext}}{R_{total,cilíndricas}} = U_{cilíndrica}\, 2\pi r\left(T_{\text{int}} - T_{ext}\right) \qquad [35]$$

$$U_{cilíndrica} = \frac{1}{2\pi r\, R_{total,cilíndricas}} = \frac{1/2\pi r}{\frac{1}{2\pi r_{\text{int}} h_{conv,\text{int}}} + \sum_{\substack{capas\\material}} \frac{\ln\left(r_{i+1}/r_i\right)}{2\pi k_i} + \frac{1}{2\pi r_{ext} h_{conv_rad,ext}}} \qquad [36]$$

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: Guía técnica. Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos

- **Esferas**

$$q = \frac{T_{\text{int}} - T_{ext}}{R_{total,esféricas}} = U_{esférica}\,\pi\, r^2 \left(T_{\text{int}} - T_{ext}\right) \qquad [37$$

$$U_{esférica} = \frac{1}{\pi\, r^2 R_{total,esféricas}} \frac{1/\pi\, r^2}{\frac{1}{\pi\, r_{\text{int}}^2 h_{conv,\text{int}}} + \sum_{\substack{capas \\ material}} \frac{\left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_{i+1}}\right)}{4\pi\, k_i} + \frac{1}{\pi\, r_{ext}^2 h_{conv_rad,ext}}} \qquad [38]$$

Observemos que tanto para tuberías como para esferas el coeficiente global de transferencia de calor no es constante, y depende de la superficie de referencia (radio *r*).

2.8 Existencia de elementos singulares

2.8.1 Cámaras de aire sin ventilar

Realmente, las cámaras de aire sólo son utilizables en configuraciones planas (raramente se utilizan en algún caso en tuberías).

En dicha cámara de aire existe convección y radiación, tal como hemos visto. No obstante, en la práctica se le asigna a dicha capa una cierta resistencia térmica global en función de su espesor y disposición. Es de destacar que la resistencia térmica que se asigna no es proporcional al espesor, e incluso a partir de un cierto espesor el aumento del mismo no conlleva una mayor resistencia, sino que disminuye (pensemos que en esos casos el movimiento del aire dentro de la cámara es más libre).

En la siguiente tabla se facilitan los valores típicos (extraídos del código técnico de la edificación):

Espesor (mm)	10	20	30	40	50	100	150
Vertical	0,15	0,17	0,17	0,18	0,18	0,17	0,16
Horizontal	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16

Resistencia térmica para cámaras de aire (m^2 K/W)

2.8.2 Cámaras de aire ligeramente ventiladas

Son aquellas que cumplen:

- **Horizontales**
  500 mm^2 < $A_{apertura}$ < 1500 mm^2 por m^2 de superficie
- **Verticales**
  500 mm^2 < $A_{apertura}$ < 1500 mm^2 por m de longitud horizontal

Se toma la mitad de la resistencia de cámaras no ventiladas.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: Guía técnica. Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos

2.8.3 Cámaras de aire ventiladas

Se considera la cámara de aire como un ambiente interior. Se toma el coeficiente de convección correspondiente y se desprecia el resto de cerramiento al exterior.

2.8.4 Puentes térmicos

Se trata de la existencia de elementos no homogéneos dentro de las capas analizadas, y que en general favorecen el intercambio de calor por poseer mayor conductividad. Como caso típico podemos observar existencia de pilares en paredes, o existencia de bridas o válvulas en tuberías.

Contabilizar estos elementos para el cálculo del flujo de calor es realmente complejo, ya que se trata de configuraciones en donde existe flujo de calor bidimensional o tridimensional.

En general se suelen contabilizar de varias formas:

- Aumentar una cierta cantidad de calor (disminuyendo la resistencia térmica global o directamente con un porcentaje).
- Aumentar la conductividad de la capa aislante (suponer un incremento ficticio).
- Aumentar la longitud de tubería (suponer una longitud ficticia).

Todos estos procedimientos son muy difíciles de cuantificar y asignar correctamente a un caso, por lo que se debe recurrir a la experiencia del calculista.

2.8.5 Existencia de resistencias superficiales

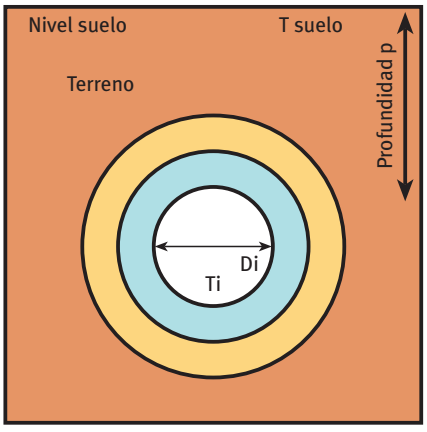
En la práctica pueden existir dos tipos de resistencias térmicas aún no consideradas, las resistencias térmicas de contacto entre capas de diferente material y la resistencia térmica por depósitos de materiales en las superficies exteriores o interiores.

Las primeras son debidas a que algunas combinaciones (chapa metálica sobre superficie constructiva rugosa, por ejemplo) dejan pequeñas oquedades (en general de aire) que presentan resistencia térmica al paso de calor.

Las segundas son debidas a depósitos de material (caso típico de carbonatos cálcicos dentro de tuberías con circulación de agua caliente).

El estimar objetivamente la contribución real de dichas resistencias es muy complicado, y en general se presentan con el paso del tiempo (en el instante inicial no existen estos depósitos de materiales). Finalmente, teniendo en cuenta que el hecho de no considerarlas mayora las expectativas de pérdida de calor, se llega a la conclusión de que en general es mejor no contabilizarlas, en caso de querer hacerlo debe ser la experiencia la que fije estas resistencias.

Tuberías enterradas



2.8.6 Caso de tuberías enterradas

En esta configuración la transmisión de calor es bidimensional, y su cálculo complejo; como cálculos aproximados (con la consideración de unidimensionalidad), se puede resumir la presencia del

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: Guía técnica. Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos