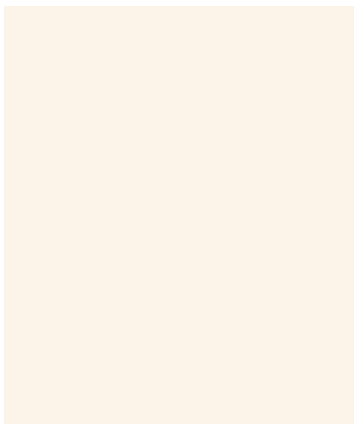
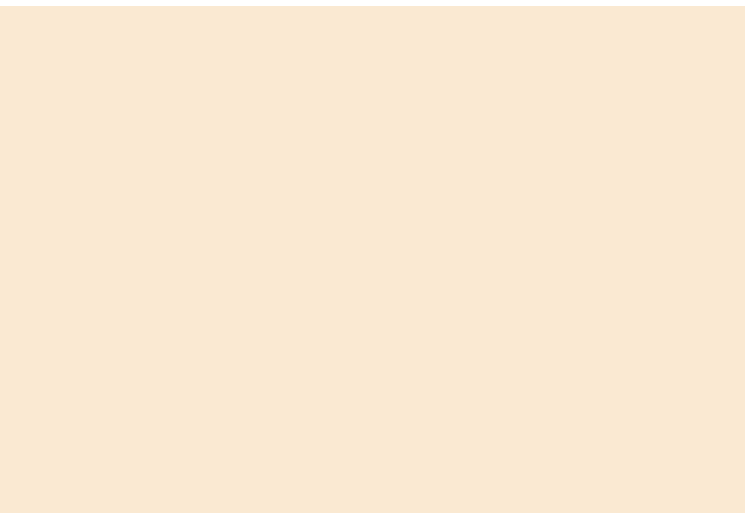
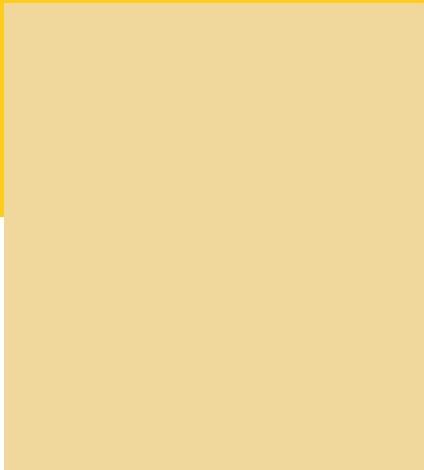


3. aislamiento térmico en la climatización





EL PRIMER FACTOR DE GRAN INFLUENCIA QUE DEBE CONSIDERARSE PARA REDUCIR el **consumo energético** de una instalación es el **aislamiento térmico del local a acondicionar**. Es preciso conocer las cargas térmicas del edificio, y que éste haya sido proyectado según la normativa vigente, cumpliendo con los valores mínimos de aislamiento exigido.

Por otra parte, las condiciones térmicas del aire que circula por el interior de los conductos en las instalaciones son diferentes a las del aire exterior, lo que se traduce en una transferencia de calor entre las dos masas de aire. Si esta transferencia es elevada, se producirá una pérdida de eficiencia de la instalación y un aumento de su coste energético.

Otro posible efecto es el riesgo de condensaciones en las paredes de los conductos, debido al enfriamiento localizado del aire y al aumento de su humedad relativa. Es por esto que el RITE incide en los espesores mínimos de aislamiento necesario en conductos para evitar condensaciones. Podemos encontrar cómo calcular estos espesores en la IT.2.4.2.2.

En el presente capítulo desarrollaremos los conceptos teóricos y prácticos para el cálculo de los espesores mínimos de aislamiento necesarios para minimizar las pérdidas energéticas en una red de conductos. Todos los cálculos se realizan de acuerdo con la norma UNE-EN 12241 “Aislamiento térmico para equipos de edificación e instalaciones industriales”.

3.1. Generalidades

Conducción del calor

Entre dos zonas a diferente temperatura, se produce un flujo de calor desde la que se encuentra a mayor temperatura hacia la de menor temperatura.

La existencia de un elemento físico separador de ambos ambientes, establece unas condiciones de flujo de calor que dependen de las características geométricas del elemento físico y del grado de facilidad que ofrece al paso del calor (concepto de resistencia térmica).

El flujo de calor a través de este elemento físico, viene dado por la ley de Fourier:

$$q = -\lambda \cdot \text{grad}(T)$$

Siendo:

q: Flujo de calor perpendicular a las caras del elemento separador (W/m²).

λ: Conductividad térmica del material (W/m · K).

grad T: Variación de temperatura con el espesor del material (K/m).

Según la geometría del elemento separador (elemento aislante), la ley de Fourier resulta en distintos tipos de expresiones:

a) Paredes planas

La ley de Fourier adopta la forma:

$$q = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R} \text{ (W/m}^2\text{)}$$

Siendo:

θ_{si} : Temperatura superficial del lado caliente (K).

θ_{se} : Temperatura superficial del lado frío (K).

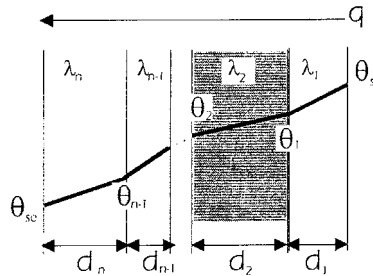
R: Resistencia térmica total ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$), con

$$R = \sum \frac{d_j}{\lambda_j}$$

Donde:

d_j : Espesor de cada capa (m).

λ_j : Conductividad de cada capa ($\text{W/m} \cdot \text{K}$).



b) Superficies cilíndricas huecas

La ley de Fourier adopta la forma:

$$q = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R} \text{ (W/m)}$$

Con R: Resistencia térmica total ($\text{m} \cdot \text{K/W}$).

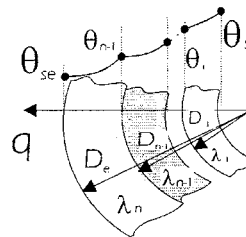
Siendo

$$R = \frac{1}{2\pi} \sum \frac{1}{\lambda_j} \ln \frac{D_{ej}}{D_{ij}}$$

Donde:

D_i : Diámetro interior.

D_e : Diámetro exterior.



c) Superficies rectangulares huecas

El flujo lineal de calor a través de la pared de un elemento con sección rectangular (aplicable a un conducto de sección rectangular) viene dado por la expresión:

$$q = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R_d} \text{ (W/m)}$$

R_d es la resistencia térmica lineal de la pared de este elemento, la cual puede calcularse mediante la aproximación:

$$R_d = \frac{2 \cdot d}{\lambda \cdot (P_e + P_i)}$$

Siendo:

P_i : Perímetro interior del conducto (m).

P_e : Perímetro exterior del conducto (m).

D : Espesor de la capa aislante (m).

Transferencia superficial de calor

De la misma manera que existe una transferencia de calor por conducción a través del elemento separador entre dos medios a distinta temperatura, existe una transferencia de calor en las superficies que delimitan este elemento separador.

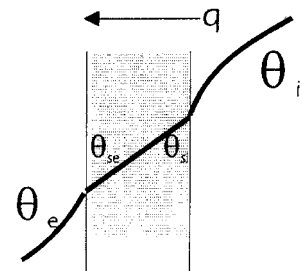
El flujo de calor que atraviesa el elemento debe ser igual al que le cede el medio más caliente e igual al flujo de calor cedido al medio más frío.

Esto supone que:

$$\theta_i > \theta_{si} > \theta_{se} > \theta_e$$

Debe existir un coeficiente de transmisión de calor superficial que permita:

$$q = h_e \cdot (\theta_i - \theta_{si}) = h_i \cdot (\theta_{se} - \theta_e)$$



En el que:

h_i : Coeficiente superficial de transmisión de calor del medio “i” ($W/m^2 \cdot K$)

h_e : Coeficiente superficial de transmisión de calor del medio “e” ($W/m^2 \cdot K$)

Cualquier coeficiente superficial de calor, es una combinación de un término debido a la radiación y otro debido a la convección de calor:

$$h = h_{cv} + h_r$$

Donde:

h_{cv} Parte del coeficiente superficial debido a la convección.

h_r Parte del coeficiente superficial debido a la radiación.

Para la estimación de estos coeficientes existen diversos algoritmos, que varían en función de factores tales como la posición y geometría de la superficie, el tipo de flujo (laminar o turbulento), el material que constituye la superficie, la temperatura, etc. Estos algoritmos pueden encontrarse en la norma UNE-EN ISO 12241 “Aislamiento térmico para equipos de edificación e instalaciones industriales”.

3.2. Aislamiento térmico en los conductos

Las **transferencias de calor** a través de la red de conductos de distribución de aire, representan una **pérdida de la energía** aportada en el tratamiento del aire, lo cual supone un **coste económico** de funcionamiento.

Además, el aire circulante está cambiando sus características físicas como consecuencia de la pérdida de energía, lo cual deriva en que el aire proporcionado a los locales no está necesariamente en las mismas condiciones para todos ellos. En consecuencia es necesario conocer la relación entre las transferencias caloríficas y la variación de las temperaturas del aire, según las características geométricas de la red de conductos y los caudales circulantes.

Transmisión térmica en conductos

La transmitancia térmica entre dos ambientes, se define como la cantidad de calor que pasa de un medio a otro por unidad de área, dividida por la diferencia de temperaturas. La transmitancia U es la **inversa de la resistencia térmica total del sistema**, incluyendo las resistencias superficiales h.

En paredes planas (conductos de sección rectangular), se indica en forma de pérdidas por unidad de superficie:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum R_j + \frac{1}{h_e}} \text{ W/m}^2\cdot\text{K} \quad (5.1)$$

Mientras que en elementos cilíndricos (tuberías) suele darse en forma de pérdida por unidad de longitud:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i \pi D_i} + \sum R_j + \frac{1}{h_e \pi D_e}} \text{ W/m}\cdot\text{K} \quad (5.2)$$

Por lo tanto, para conductos de sección rectangular utilizaremos la fórmula 5.1, en la que:

- Los valores de h_e pueden considerarse constantes, dado el ambiente exterior en calma que rodeará los conductos.
- $\sum e_j / \lambda_j$ depende de los materiales de la pared del conducto y está muy ligado al aislamiento térmico: si no existe, los λ_j suelen ser elevados y el término $\sum e_j / \lambda_j$ tiene un valor muy bajo. Por el contrario, la presencia de aislamiento térmico supone λ_j de esta capa muy bajo y por tanto, el término $\sum e_j / \lambda_j$ tiene un valor relativamente alto.
- El coeficiente que presenta mayores variaciones es h_i , ya que su valor crece fuertemente con la velocidad del aire en el conducto.

La influencia de estos términos en el valor global de U se resume en:

- Conductos sin material aislante térmico: valores elevados de U, que se incrementan con la velocidad del aire en el conducto.
- Conducto con material aislante térmico: valores bajos de U, con incremento muy moderado con la velocidad del aire en el conducto. Esto es debido a que, en este caso, los valores que presenta el término $\sum e_j / \lambda_j$ son siempre superiores a $1/h_i$ para las velocidades habituales del aire ($v < 18$ m/s).

Observemos ahora el gráfico de ASHRAE (Fig. 6), donde se indican los valores de U experimentales, en función de la velocidad del aire y de los diversos materiales para conductos. Podemos ver que los valores de U son relativamente independientes de la velocidad del aire, cuando se utilizan conductos autoportantes de lana de vidrio, o bien cuando se aísla por el exterior de un conducto de chapa metálica.

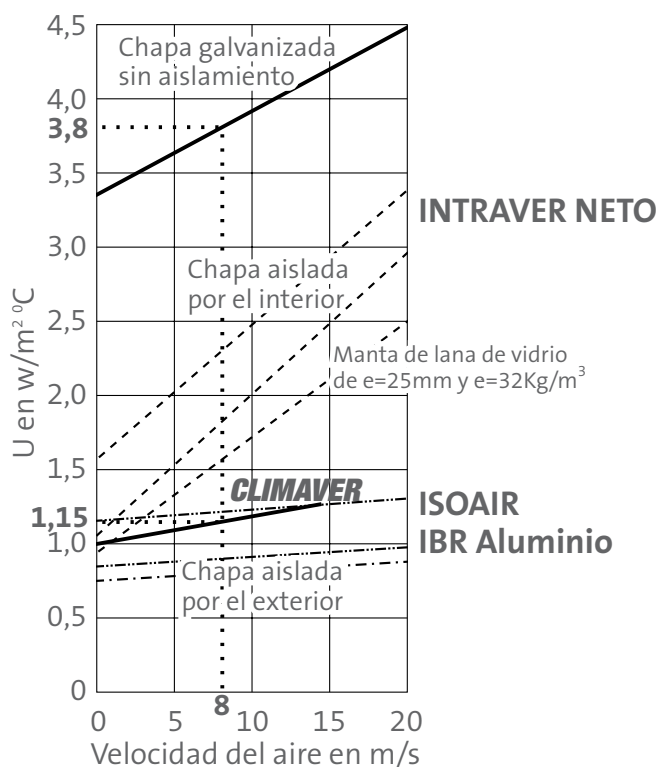


Figura 6. Valores experimentales de U en función de la velocidad del aire (Fuente: ASHRAE).

Esto es debido a que el aire circulante induce a una cierta movilidad del aire contenido en la lana de vidrio, lo que supone un aumento del valor de λ del material. Este efecto disminuye con el aumento de la densidad del material, de modo que en los conductos autoportantes de paneles rígidos de lana de vidrio (gama **CLIMAVER**), este factor presenta muy poca influencia, como ocurre con los revestimientos exteriores de lana de vidrio para conductos metálicos.

Transferencia de calor en un sistema de conductos

El valor de transmitancia U calculado, nos permite conocer las transferencias globales por unidad de superficie de conducto y por cada grado °C de diferencia de temperatura entre el aire en el interior y el ambiente.

Sin embargo, como hemos comentado antes, las transferencias de calor a lo largo de todo el circuito de conductos suponen una variación de la temperatura del aire interior, y éstas pueden ser importantes según el valor de U, el caudal de aire, la geometría del conducto y las diferencias iniciales de temperatura interior y ambiente.

La solución a este problema está en la aplicación del cálculo de acuerdo con la Norma 90 A de ANSI/ASHRAE/IES, que permite el cálculo para cada tramo de igual sección:

$$Q_e = \frac{U \cdot P \cdot L}{1000} \left(\frac{t_e + t_i}{2} - t_a \right)$$

$$t_e = \frac{t_i (y + 1) - 2t_a}{y - 1} \quad y \quad t_i = \frac{t_e (y + 1) - 2t_a}{y + 1}$$

Donde:

$y = (2 \cdot A \cdot V \cdot \rho / U \cdot P \cdot L)$ para conductos rectangulares;

$y = (0,5 \cdot D \cdot L \cdot \rho / U \cdot L)$ para conductos circulares;

A = área de la sección transversal del conducto, en mm².

V = velocidad media, en m/s.

D = diámetro del conducto, en mm.

L = longitud del conducto, en m.

Q_e = pérdida/ganancia de calor a través de las paredes del conducto, en W (negativa para ganancia de calor).

U = coeficiente de transferencia de calor total de la pared del conducto, en W/(m² · °C).

P = perímetro del conducto, en mm.

ρ = densidad del aire, en Kg/m³.

t_e = temperatura del aire de entrada del conducto.

t_i = temperatura del aire de salida del conducto.

t_a = temperatura del aire que rodea el conducto.

Reducción del consumo energético (ejemplo)

En el punto anterior, hemos visto que las pérdidas de energía, para unas condiciones fijas de aire de entrada y de ambiente y una geometría determinada de los conductos, dependen en gran medida del valor de U de éstos.

Con carácter aproximado, puede tomarse el valor de U para cada tipo de material de conducto, como elemento proporcional de pérdidas.

Veamos un ejemplo:

Se considera un conducto de climatización situado en una cámara de aire, entre forjado y falso techo, con las siguientes características:

- Conducto de sección 400x400 mm y longitud 20 m.
- Velocidad del aire circulante = 8 m/s.
- Temperatura del aire de entrada: 14 °C.
- Temperatura del ambiente: 26 °C.

Se trata de comparar el intercambio térmico en un conducto según el material utilizado su constitución: chapa sin aislar o conductos **CLIMAVER**.

Los coeficientes de transferencia utilizados de acuerdo con la fig. 6 son:

- Chapa galvanizada: $U = 3,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
- Conductos **CLIMAVER**: $U = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

Con estos datos, resultaría una pérdida total de calor de:

- Q (chapa galvanizada) = 1.403,2 W.
- Q (conducto **CLIMAVER**) = 415 W.

Esto representa que las pérdidas con un sistema de conductos **CLIMAVER** son un 70,4% menores que si utilizamos conductos de chapa galvanizada.



LA INSTALACIÓN DE CONDUCTOS CLIMAVER PERMITE REDUCIR LAS PÉRDIDAS EN UN 70% RESPECTO A UN CONDUCTO DE CHAPA SIN AISLAR.

3.3. Aislamiento térmico en equipos

La aplicación en cada caso de las fórmulas indicadas en el apartado 1, permitirá analizar las diversas pérdidas caloríficas con diferentes aislamientos.

Este caso general admite algunas simplificaciones sin errores apreciables; por ejemplo, las instalaciones con líquidos en su interior presentan un valor de $1/h_i$ muy bajo, que puede despreciarse comparativamente a otros términos de U .

Para **instalaciones en el interior del edificio**, pueden aplicarse con las fórmulas aproximadas:

$$\text{Tuberías horizontales: } h_e = C_A + 0,05 \Delta\theta \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$$

$$\text{Tuberías verticales y paredes planas: } h_e = C_B + 0,09 \Delta\theta \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$$

Usando los coeficientes de la siguiente tabla:

| Superficie | C_A | C_B |
|------------------------------------|-------|-------|
| Aluminio brillante | 2,5 | 2,7 |
| Aluminio oxidado | 3,1 | 3,3 |
| Chapa de metal galvanizado, limpio | 4,0 | 4,2 |
| Chapa de metal galvanizado, sucio | 5,3 | 5,5 |
| Acero Austenítico | 3,2 | 3,4 |
| Plancha aluminio-zinc | 3,4 | 3,6 |
| Superficies no metálicas | 8,5 | 8,7 |

Las anteriores ecuaciones son aplicables para tuberías horizontales en el rango de $D_e = 0,25$ m hasta 1 m, y para tuberías verticales, de todos los diámetros.

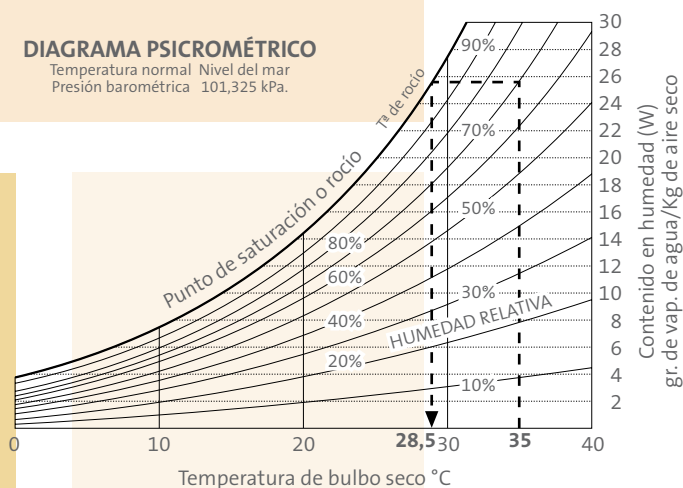
Los valores de C_A y C_B son coeficientes aproximados. Sólo son aplicables para valores de $\Delta\theta < 100^\circ$ C y donde la radiación sea poco apreciable por no ser significativa la diferencia de temperatura entre la superficie externa del equipo y la del ambiente.

3.4. Riesgo de condensaciones

Si una masa de aire con temperatura y humedad relativa (H_R) dadas tiende a enfriarse, se producirán condensaciones si se alcanza la “temperatura de rocío” (t_r), en la cual la H_R es 100%.

Este hecho es importante cuando la temperatura interior de los equipos o de las instalaciones es inferior a la ambiental: el aire exterior próximo a las superficies disminuye su temperatura, aumentando la HR, con el riesgo de condensaciones indicado.

En general, si el elemento separador es metálico o de otro material buen conductor del calor, el riesgo de condensaciones es alto, aún con bajas diferencias de temperatura en los ambientes exterior e interior, considerando ambientes de alta HR.



La utilización de elementos separadores tipo sándwich con aislamiento térmico incluido, como es el caso de la gama **CLIMAVER**, elimina los riesgos de condensaciones, incluso con diferencias notables de temperaturas.

No obstante, en cualquier caso es imprescindible estudiar el **nivel de aislamiento térmico necesario** en los equipos e instalaciones, teniendo en cuenta las condiciones más desfavorables que puedan presentarse.

El cálculo de las temperaturas superficiales que pueden dar lugar a condensaciones, puede establecerse mediante los valores de U y h_e , determinando la temperatura en la superficie exterior θ_{se} y verificando el aumento de HR en el aire ambiental a esa temperatura.

El cálculo es laborioso, por lo que es más cómoda la aplicación del método gráfico simplificado que la norma VDI 2055, que permite calcular el espesor de aislante necesario en cada caso para evitar las condensaciones.

La utilización de aislantes de lana de vidrio exige la utilización de un barrera de vapor que evite la condensación intersticial en el interior de la masa de aislante. A este respecto, los conductos **CLIMAVER** disponen de un revestimiento exterior que actúa como barrera de vapor,

Ejemplo de aplicación

Se considera un conducto de chapa galvanizada, con una dimensión de 400x400 mm, con las siguientes condiciones:

- El aire ambiente está a 35 °C con un 70% de HR.
- El aire que circula por el conducto está a 10 °C.

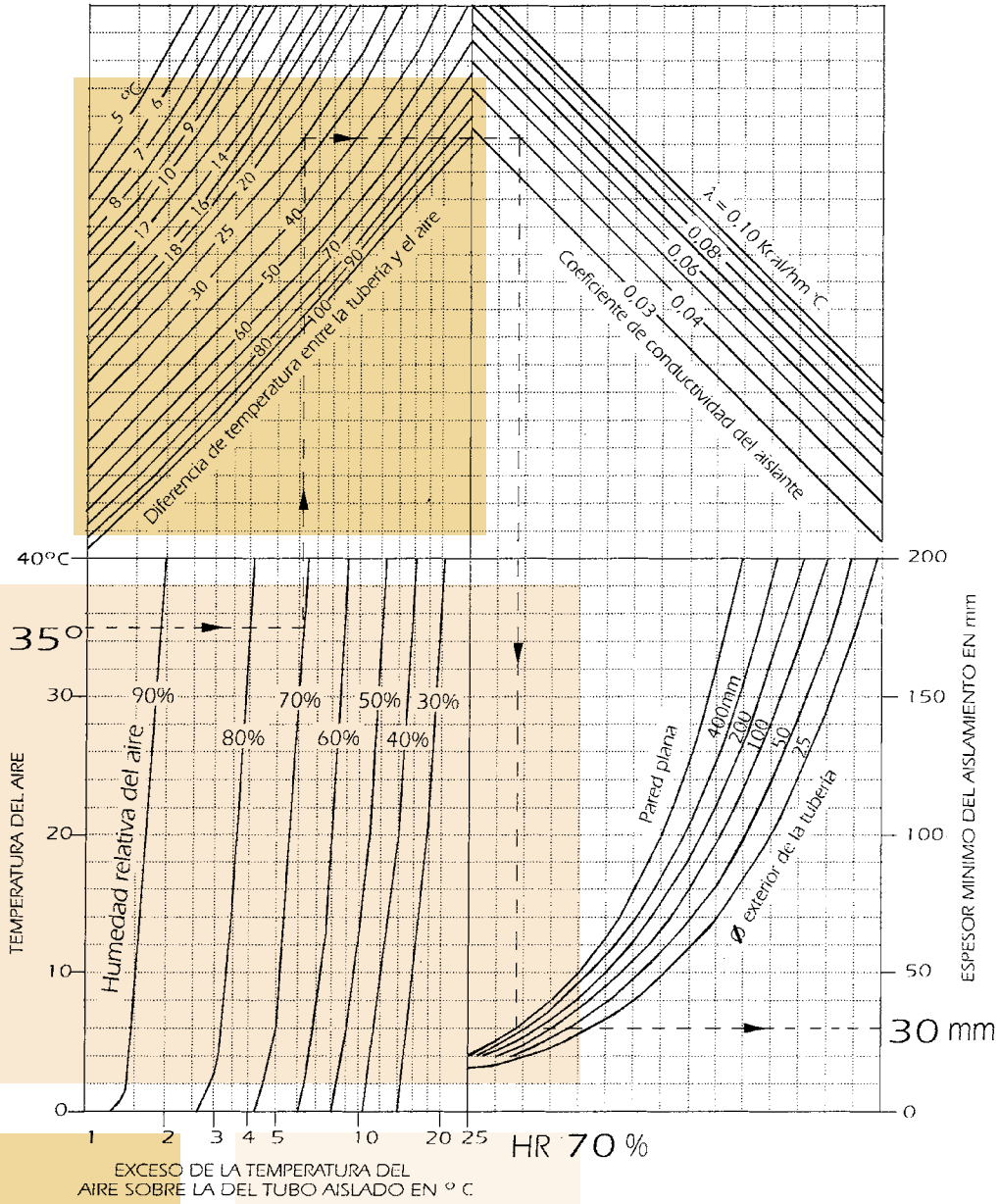
Se desea conocer si habrá condensaciones, y el aislamiento térmico necesario para que no las haya, utilizando un producto de $\lambda = 0,046 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

Solución: El diagrama psicométrico de la página anterior nos indica que la t_r sería del orden de 28,5 °C, lo que supone la aparición de condensaciones.

Utilizando el siguiente gráfico de la VDI 2055, encontramos que serán necesarios al menos 30 mm del material citado para evitar las condensaciones.

Si el conducto utilizado fuese Climaver Plus R o Neto, con una $\lambda = 0,032 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, el espesor mínimo de producto necesario será de 20 mm. No existirán condensaciones, ya que el producto tiene 25 mm de espesor.

$\Delta t = 25$ $\lambda = 0,04$



Resumen.

El consumo energético en una instalación de aire puede reducirse mediante un aislamiento térmico adecuado, tanto del local a acondicionar como de los conductos y tuberías de distribución de fluidos (aire y agua).

En lo que respecta al aislamiento térmico en las redes de conductos, éste depende del producto utilizado para aislamiento, de su espesor, y de las fugas de aire en el sistema de conductos. Estos tres efectos se resumen en: resistencia térmica elevada y correcta estanqueidad de las redes de conductos.

Los conductos CLIMAVER presentan la mayor eficiencia en lo referente a aislamiento térmico.