

# INTRODUCCION A LA TRANSMISION DE CALOR

## 1.- Introducción

Para la transmisión de calor es necesario diferencia de temperatura, transmitiéndose el calor de los cuerpos de mayor temperatura a los de menor.

Mecanismos de transmisión de calor:

- **Conducción**, en el interior de los cuerpos.
- **Convección**, entre sólidos y fluidos.
- **Radiación**, a través de un fluido, o el vacío.
  
- **Transferencia de masa**; (psicometría).

## 2.- Conducción (I)

Interior de los sólidos.

Conductividad térmica,  $\lambda$  (W / m °C), (tablas)

marca los conductores y aintes térmicos, es función de la temperatura del material

Material	$\lambda$ (W / m °C)	Material	$\lambda$ (W / m °C)
Aluminio	204	Corcho	0,04
Cartón	0,14-0,35	Granito	3
Cemento	1	Hormigón (seco)	0,128
Cobre	386	Ladrillo	0,3-5

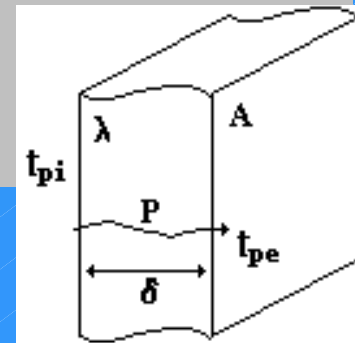
Cobre	$\lambda$ (W / m °C)
200 K	413
273 K	401
400 K	392

Diferentes **casos típicos** en refrigeración y aire acondicionado

1.- Para una pared de conductividad térmica  $\lambda$

La resistencia de conducción de la pared  $R_k = \delta / \lambda A$ .

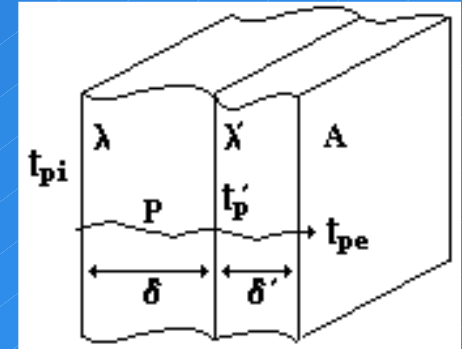
$$P = \lambda \frac{A}{\delta} (t_{pi} - t_{pe}) = \frac{(t_{pi} - t_{pe})}{\frac{\delta}{\lambda A}} = \frac{(t_{pi} - t_{pe})}{R_k}$$



2.- Para una pared plana recubierta de un aislante de conductividad  $\lambda'$ ,

$$P = \lambda \frac{A}{\delta} (t_{pi} - t_{p'}) = \lambda' \frac{A}{\delta'} (t_{p'} - t_{pe}) = \frac{(t_{pi} - t_{p'})}{\frac{\delta}{\lambda A}} = \frac{(t_{p'} - t_{pe})}{\frac{\delta'}{\lambda' A}} =$$

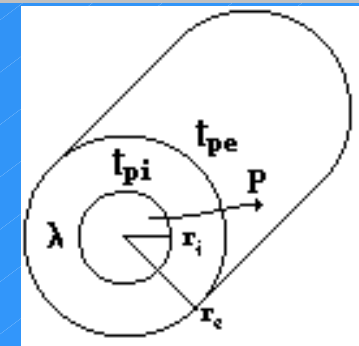
$$= \frac{(t_{pi} - t_{p'})}{R_k} = \frac{(t_{p'} - t_{pe})}{R_{k'}} = \frac{(t_{pi} - t_{pe})}{\frac{\delta}{\lambda A} + \frac{\delta'}{\lambda' A}} = \frac{(t_{pi} - t_{pe})}{R_k + R_{k'}};$$



3.- Para una tubería cilíndrica de conductividad térmica  $\lambda$

La resistencia de conducción del tubo  $R_k = \text{Ln}(r_e/r_i) / 2\pi\lambda L$ .

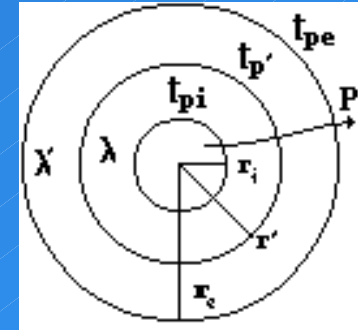
$$P = 2\pi\lambda L \frac{t_{pi} - t_{pe}}{\text{Ln}(r_e/r_i)} = \frac{t_{pi} - t_{pe}}{\frac{\text{Ln}(r_e/r_i)}{2\pi\lambda L}} = \frac{t_{pi} - t_{pe}}{R_k};$$



4.- Para una tubería cilíndrica rodeada de una vaina aislante de conductividad  $\lambda'$ ,

$$P = 2 \pi \lambda L \frac{t_{pi} - t_{p'}}{\ln(r' / r_i)} = 2 \pi \lambda' L \frac{t_{p'} - t_{pe}}{\ln(r_e / r')} = \frac{t_{pi} - t_{pe}}{\frac{\ln(r' / r_i)}{2 \pi \lambda} + \frac{\ln(r_e / r')}{2 \pi \lambda'}} =$$

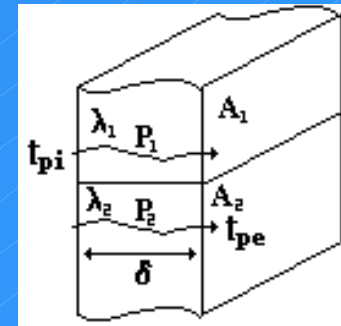
$$= \frac{t_{p'} - t_{pe}}{\frac{\ln(r_e / r_i)}{2 \pi \lambda'}} = \frac{t_{pi} - t_{pe}}{R_k} = \frac{t_{p'} - t_{pe}}{R_{k'}} = \frac{t_{pi} - t_{pe}}{R_k + R_{k'}};$$



5.- Para dos paredes en paralelo de áreas  $A_1$  y  $A_2$  de material diferente, de igual espesor,  $\delta$ , cada una de ellas de diferente conductividad térmica,  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  
Siendo  $R_k$  la resistencia térmica equivalente de las dos paredes.

$$P = P_1 + P_2 = \frac{t_{pi} - t_{pe}}{R_{k1}} + \frac{t_{pi} - t_{pe}}{R_{k2}} = \frac{t_{pi} - t_{pe}}{R_k};$$

$$\frac{1}{R_k} = \frac{1}{R_{k1}} + \frac{1}{R_{k2}}$$



### 3.- Convección (I)

Entre sólidos y fluidos.

Coeficiente de transmisión de calor sólido-fluido o coeficiente de convección,  $\alpha$  (W / m<sup>2</sup> °C); es variable con geometría del sólido, la orientación, la naturaleza del fluido y del tipo de convección.

Existen dos tipos de convección:

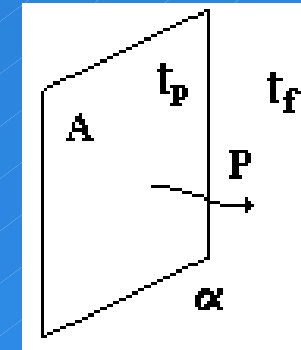
- **Forzada**; el fluido en movimiento, una bomba, un ventilador, viento, corriente de agua, etc;  $\alpha$  *elevado*.
- **Natural**, el fluido está en reposo,  $\alpha$  bajo.

Dos tipos de fluidos:

- **Gases** tienen un *bajo*  $\alpha$ .
- **Líquidos** poseen un  $\alpha$  *elevado*.
- **Evaporaciones y condensaciones**,  $\alpha$  más elevado,

La transmisión de calor para una pared o una tubería rodeada por un fluido.

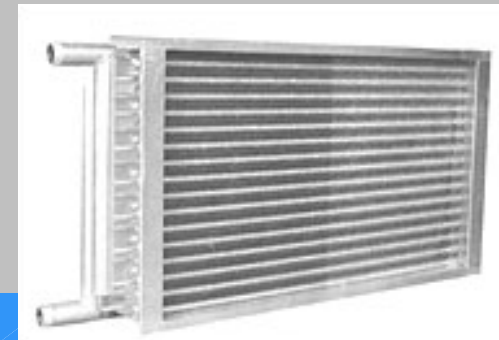
$$P = A \alpha (t_p - t_f) = \frac{t_p - t_f}{\frac{1}{A \alpha}} = \frac{t_p - t_f}{R_c};$$



Pudiéndose expresar el calor transmitido en función de la resistencia de convección ( $R_c$ ) entre el sólido y el fluido:  $R_c = 1 / \alpha A$

Entre una superficie y un fluido, **para aumentar la transmisión de calor**

- Pasar de conv. natural a forzada, incrementando el coeficiente  $\alpha$ .
- Si el fluido es **gas**, se colocan **aletas**.



Dificultad en calcular el coeficiente  $\alpha$ , para ello existe formulación de carácter experimental.

**Correlaciones** de **ASHRAE** convección natural aire:

- Superficies cilíndricas de diámetro exterior  $D$

(Si  $D < 0,1$  m se toma  $D = 0,1$  m)

Posición vertical:

$$\alpha = 1,42 \left[ \frac{\Delta t}{D} \right]^{0,25}$$

Posición horizontal:

$$\alpha = 1,32 \left[ \frac{\Delta t}{D} \right]^{0,25}$$

- Superficies planas;

(Si  $L$  ó  $H < 0,1$  m se toma  $L$  ó  $H = 0,1$  m)

Vert, altura  $H$ :

$$\alpha = 1,42 \left[ \frac{\Delta t}{H} \right]^{0,25}$$

Hor. anchura  $L$ : Calor hacia abajo:  $\alpha = 0,59 \left[ \frac{\Delta t}{L} \right]^{0,25}$

Calor hacia arriba:  $\alpha = 1,32 \left[ \frac{\Delta t}{L} \right]^{0,25}$

## 4.- Radiación

Transmisión de calor incluso en el vacío.

La cantidad de calor que abandona un cuerpo:

$$P_{\text{emitido por 1}} = \sigma \varepsilon A t_1^4$$

- $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ (W / m}^2 \text{ K}^4\text{)}$
- $\varepsilon$  es la emisividad superficial depende del color

Factor de forma  $F$  marca la posición relativa de los cuerpos.

$$P_{\text{emitido por 1 e interceptado por 2}} = \sigma \times A_1 \times F_{1-2} \times (t_1^4 - t_2^4)$$

- $F_{1-2}$  engloba  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ , y la forma geométrica y su posición de los cuerpos.

La radiación se “desprecia” a temperaturas bajas, pero no cuando un cuerpo tiene una temperatura elevada.

Hay que tener en cuenta que el cuerpo humano es muy sensible a las pérdidas/ganancias de calor por radiación.

Coeficiente superficial de radiación ( $\alpha_r$ ).

De esta forma:  $P_{1 \text{ a } 2} = \alpha_r \times A_1 \times (t_1 - t_2)$



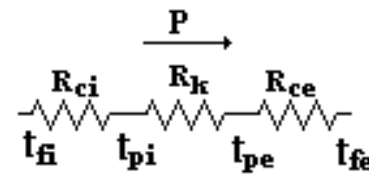
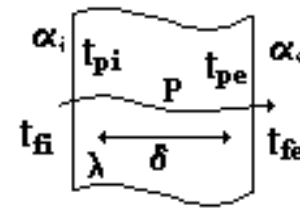
## 5.- Mecanismos combinados de transmisión de calor

Normalmente existe una combinación de conducción, convección y radiación.

Alguno de los mecanismos puede ser despreciable.

**Para una pared plana que separa dos fluidos** (radiación despreciable).

$$P = \frac{t_{fi} - t_{pi}}{R_{ci}} = \frac{t_{pi} - t_{pe}}{R_k} = \frac{t_{fi} - t_{fe}}{R_{ce}} = \frac{t_{fi} - t_{fe}}{R_{ci} + R_k + R_{ce}};$$



Para aire acondicionado los efectos de la **convección y** los de la **radiación** de forma conjunta, la norma ISO

Para tuberías horizontales ( $0,25 < D < 1$  m):  $\alpha = A + 0,05 \Delta t$

Para tuberías y paredes verticales:  $\alpha = B + 0,09 \Delta t$

<b>Superficie</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
Aluminio brillante	2,5	2,7
Acero galvanizado sucio	5,3	5,5

## 6.- Coeficiente global de transmisión de calor, $K$

El coeficiente global de transmisión de calor,  $K$ , es el inverso de la suma de resistencias térmicas considerando un área de transmisión unidad:

$$K = \frac{1}{\sum R}$$

$R$  engloba todas las resistencias térmicas existentes.

Cuando se trata de un tubo, hay que hacer referencia si  $K$  está referido al área interior ( $K_i$ ) o al área exterior del tubo ( $K_e$ ).

El calor transmitido queda en forma más simplificada:

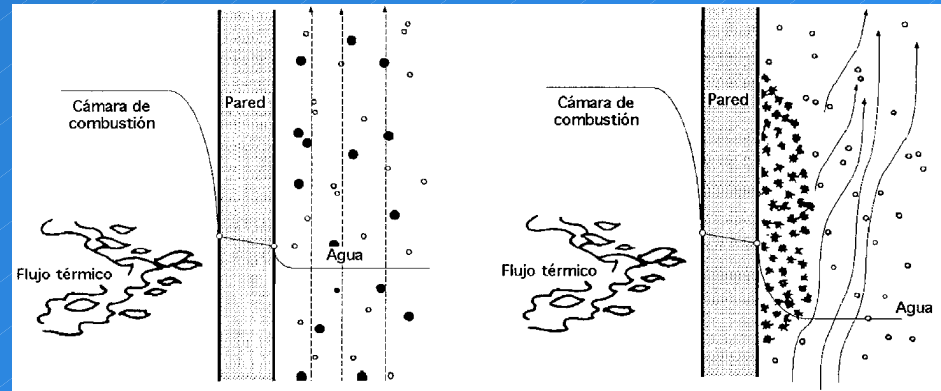
$$P = K A \Delta T$$

## 7.- Resistencia de contacto y suciedad

Dificulta la transmisión de calor.

La **resistencia de contacto** es por la mala unión de dos superficies sólidas.

Con el tiempo se deposita **suciedad (incrustaciones)** sobre las superficies afectando la transferencia de calor.



La resistencia térmica se determina con ensayos

Hay que minimizar y eliminar las causas.

La oxidación y la **corrosión** son un problema que hay que evitar eliminando materiales que tiendan a provocarlas.

## 8.- Aislantes

Materiales con un coef. Conduc. Tér.  $\lambda$  bajo

Los efectos de su instalación son:

- Disminuir las pérdidas térmicas.
- Evitar temperaturas de contacto peligrosas, calderas, chimeneas, tuberías de agua caliente,...
- Evitar la condensación sobre las superficies frías.

## 9.- Intercambiadores de calor (I)

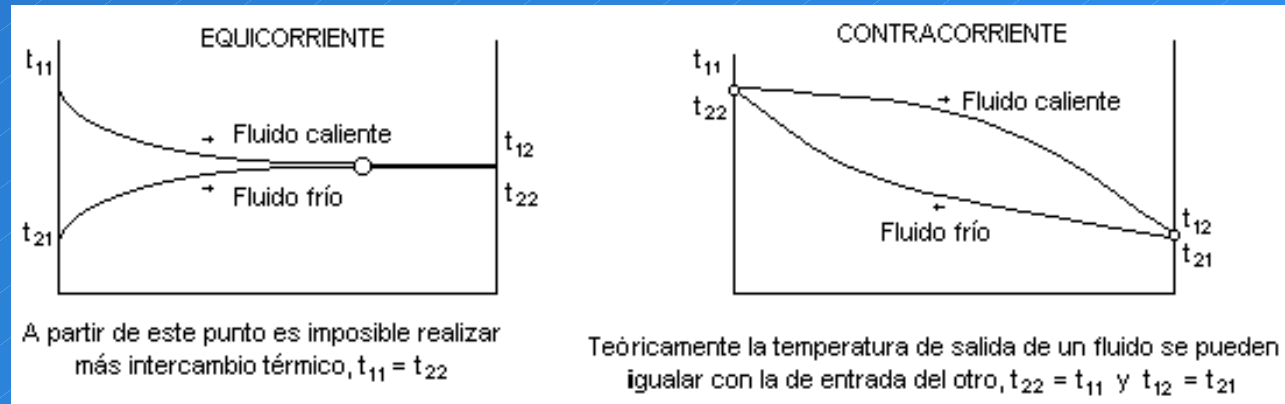
**Transferir calor entre dos fluidos**, con separación física por medio de una pared.

**Fluido primario** el caliente  $_1$ , y **fluido secundario** el frío  $_2$ .

El parámetro principal es el calor intercambiado o **potencia térmica** del intercambiador,  $P_T$ ; se corresponde con el calor que cede el fluido caliente.

Se llama **fluido monofásico**, contiene sólo una fase, **fluido bifásico** el que contiene materia y gaseosa.

**Flujos paralelos o en equicorriente; y contracorriente.**



**Caudales caliente y frío,  $q_1$  y  $q_2$  en  $m^3/s$**

**Masas caliente y fría,  $m_1$  y  $m_2$  en  $kg/s$**

**La densidad de los fluidos,  $\rho_1$  y  $\rho_2$  en  $kg/m^3$**

El **calor específico de los fluidos** caliente y frío,  $c_{p1}$  y  $c_{p2}$  en  $W/kg \text{ } ^\circ C$

La **capacidad calorífica de los fluidos** caliente y frío,  $C_1$  y  $C_2$  en  $W/^\circ C$ , es el producto de masas por el calor específico

***Temperaturas características***, limitan la posibilidad de intercambio térmico:

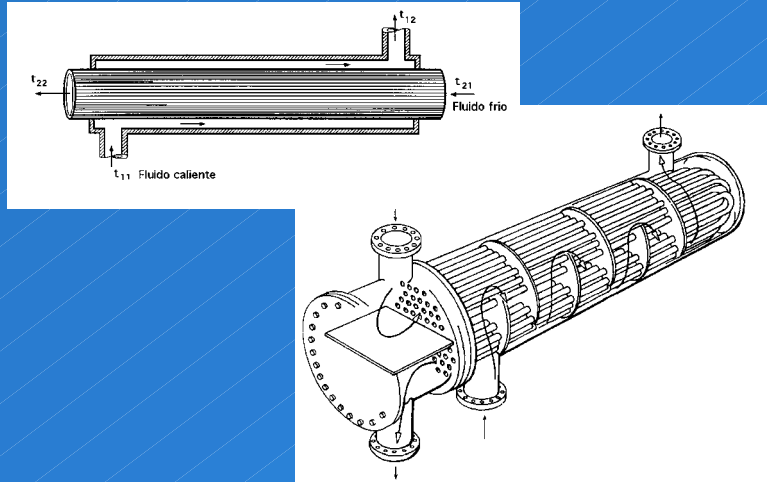
- La temperatura de entrada del fluido caliente,  $t_{11}$  en °C
- La temperatura de salida del fluido caliente,  $t_{12}$  en °C
- La temperatura de entrada del fluido frío,  $t_{21}$  en °C
- La temperatura de salida del fluido frío,  $t_{22}$  en °C

***Perdida de presión***

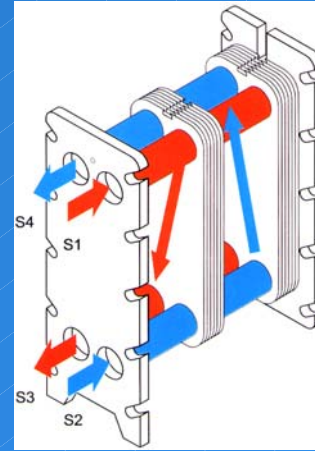
***Tipos de intercambiadores de calor en A.A.:***

- Carcasa y tubos
- Placas
- Rotativos
- Flujos cruzados

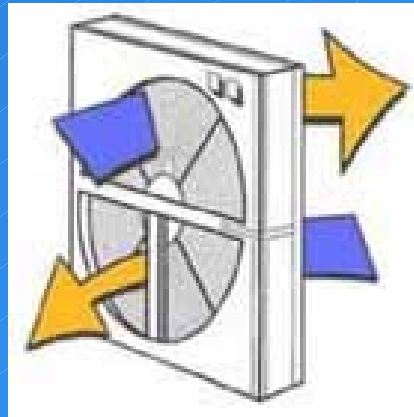
## •Carcasa y tubos



## •Placas



## •Rotativos



## •Flujos cruzados

