Tecnología Frigorífica (I.I.)

T2.- Carga Térmica Refrigeración

Las trasparencias son el material de apoyo del profesor para impartir la clase. No son apuntes de la asignatura. Al alumno le pueden servir como guía para recopilar información (libros, …) y elaborar sus propios apuntes

Departamento:	**Ingeniería Eléctrica y Energética**
Area:	**Máquinas y Motores Térmicos**

CARLOS J RENEDO **renedoc@unican.es**
Despachos: ETSN 236 / ETSIIT S-3 28
http://personales.unican.es/renedoc/index.htm
Tlfn: ETSN 942 20 13 44 / ETSIIT 942 20 13 82

T2.- Carga Térmica de Refrigeración

1.- Introducción

2.- Espacios Refrigerados

3.- Transmisión de Calor

4.- Cargas Térmicas

5.- Aislantes

6.- Ejemplos de Cálculo

1.- Introducción (I)

CAMPOS DE UTILIZACIÓN DEL FRÍO

- **Productos perecederos**
  - Pequeñas máquinas domésticas
  - Refrigeración
  - Congelación
  - Almacenamiento
  - Transporte
  - Instalaciones Industriales (cerveza, leche…)
- **Climatización**
  - De “confort”
  - Climas industriales
- **Baja temperatura**
  - Superconductividad
  - Criogenia
  - Metalurgia
  - Biomédicas
  - Liofilización (también en otros usos)
  - Usos clínicos
- **Aplicaciones industriales**
  - Industria Química
  - Construcción (Fraguado)
  - Fábricas hielo
  - Pistas patinaje

1.- Introducción (II)

Métodos de cálculo de cargas térmicas:

- Cargas instantáneas
- Funciones de transferencia
- Métodos numéricos

En el caso de las cargas térmicas de refrigeración el proceso es bastante más sencillo.

Para equipos de pequeñas dimensiones basta normalmente la utilización de tablas. Sin embargo, para la utilización de tablas han de conocerse los fundamentos teóricos.

2.- Espacios Refrigerados (I)

Requisitos que deben cumplir los espacios refrigerados:

- Aislamiento frente a la transmisión de calor.
- Barrera de vapor contra la humedad – Sellado de juntas
- Puertas de acceso de dimensiones adecuadas Pero herméticas.
- Protección frente a focos de calor (pinturas, revestimientos…)

2.- Espacios Refrigerados (II)

Aislamiento frente a la transmisión de calor

Un buen aislante debe satisfacer ciertos requisitos:

- Resistencia máxima al flujo de calor
- Estabilidad: no se debe pudrir
- No debe ser inflamable
- No debe absorber humedad, ya que puede perder sus propiedades
- Debe ser a prueba de roedores e insectos
- Debe ser manejable y fácil de instalar
- Debe tener un precio razonable
- De fácil disposición

2.- Espacios Refrigerados (III)

Barrera de vapor frente a la humedad

La mayor parte de los aislantes térmicos pierden sus características aislantes por la presencia de humedad en su interior

El agua acumulada puede apelmazar el aislante y hacer que éste pierda parte de sus propiedades (desplaza el aire)

Si el agua se llega a congelar, puede destruir las paredes del espacio refrigerado al dilatarse

Es habitual sellar la pared exterior, dejando juntas en la pared interior para evacuar la humedad, que se convertirá en escarcha en el evaporador

T2.- Carga Térmica de Refrigeración

2.- E

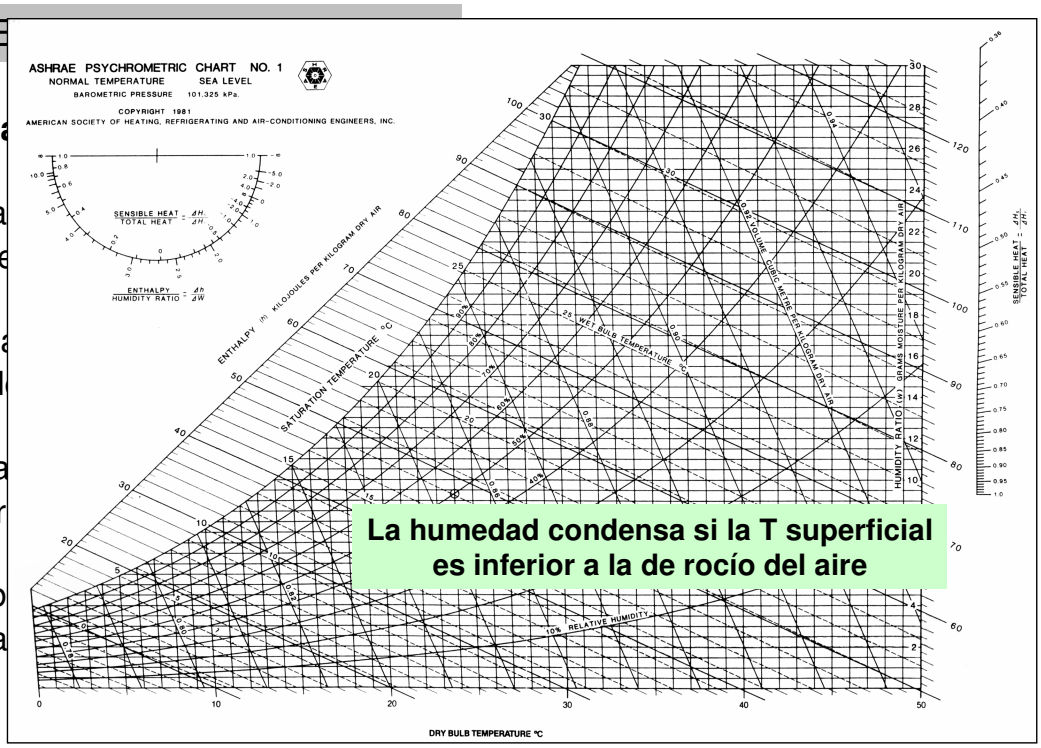
Barrera

La ma
aislante

El agua
parte d

Si el a
refriger

Es hab
evacua



2.- Espacios Refrigerados (IV)

Puertas de acceso

Deben asegurar la continuidad del aislante. Por ello, a veces su peso es excesivo y necesitan sólidos sistemas de anclaje

Otros casos, como las vitrinas expositoras, no se deben empañar

El cristal es un aislante pobre, por lo que la solución pasa por varias capas con cámara de aire, nitrógeno, argón u otros gases nobles

T2.- Carga Térmica de Refrigeración

2.- Espacios Refrigerados (IV)

Puertas de acceso

Deben asegurar la continu o es
excesivo y necesitan sólido

Otros casos, como las vitrin

El cristal es un aislante pob pas
con cámara de aire, nitróge

2.- Espacios Refrigerados (V)

Protección frente a focos de calor

Por puro sentido común, no se debe situar maquinaria productora de calor cerca de los espacios refrigerados (calderas, etc.)

Si es posible, evitar el emplazamiento con el exterior expuesto al sol

Si no es posible, provocar sombras, pintar la superficie de color blanco o revestirla de aluminio

3.- Transmisión de Calor (I)

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

La Termodinámica estudia los procesos de transferencia de energía en sistemas en equilibrio

La Transmisión de Calor complementa los principios de la Termodinámica, de manera que puedan determinarse aspectos tales como:

– Velocidad de la transferencia de calor
– Estados intermedios

Los 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

3.- Transmisión de Calor (II)

CONDUCCION: en el interior de los sólidos

Conductividad térmica, λ (W / m ºC), (tablas)
es función de la temperatura del material

Cobre	λ (W / m ºC)
200 K	413
273 K	401
400 K	392

Material	λ (W / m ºC)	Material	λ (W / m ºC)
Aluminio	204	Corcho	0,04
Cartón	0,14-0,35	Granito	3
Cemento	1	Hormigón (seco)	0,128
Cobre	386	Ladrillo	0,3-5

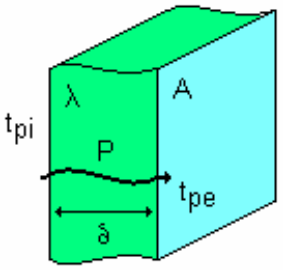
Conductores (λ ↑)
Aislantes térmicos (λ ↓)

Casos típicos de conducción térmica (I)

1.- Para una pared de conductividad térmica λ

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

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



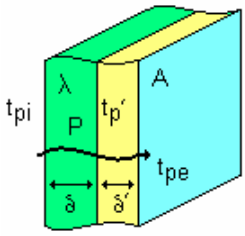
3.- Transmisión de Calor (III)

Casos típicos de conducción térmica (II)

2.- Para una pared plana recubierta de un aislante de conductividad λ´

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

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

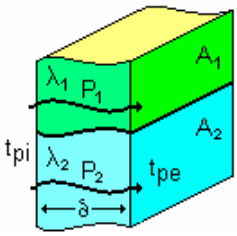


***3.- Para dos paredes en paralelo* de áreas A_1 y A_2 de material diferente, de igual espesor, δ, cada una de ellas con conductividad térmica, λ_1, λ_2**

Siendo R_k la resistencia térmica equivalente de las dos paredes

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

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



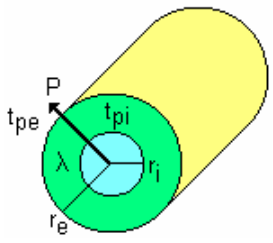
3.- Transmisión de Calor (IV)

Casos típicos de conducción térmica (III)

4.- Para una tubería cilíndrica de conductividad térmica λ

La resistencia de conducción del tubo $R_{kTubo} = \frac{Ln(r_e / r_i)}{2\pi\lambda L}$;

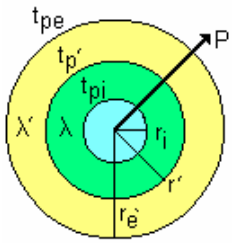
$$P = 2\pi\lambda L \frac{t_{pi} - t_{pe}}{Ln(r_e / r_i)} = \frac{t_{pi} - t_{pe}}{\frac{Ln(r_e / r_i)}{2\pi\lambda L}} = \frac{t_{pi} - t_{pe}}{R_k};$$



5.- Tubería cilíndrica rodeada de una vaina aislante de conductividad λ´,

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

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



3.- Transmisión de Calor (V)

CONVECCION: entre ***sólidos y fluidos***

Coeficiente de transmisión de calor sólido-fluido o coeficiente de convección, α (W / m² ºC); es variable con geometría del sólido, la orientación, la naturaleza del fluido y del tipo de convección

Existen dos tipos de convección:

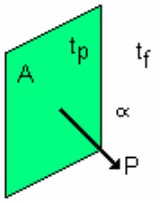
- ***Forzada;*** el fluido en movimiento, una bomba, un ventilador, viento, corriente de agua, etc; α *elevado*
- ***Natural***, el fluido está en reposo, α bajo

Dos tipos de fluidos:

- ***Gases*** tienen un *bajo* α
- ***Líquidos*** poseen un α *elevado*
- ***Evaporaciones*** y ***condensaciones***, α más elevado

3.- Transmisión de Calor (VI)

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



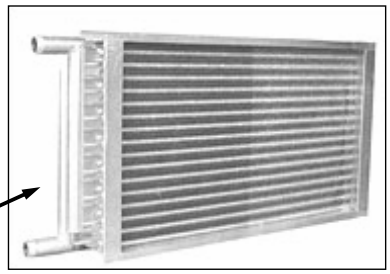
$$P = A\alpha\left(t_p - t_f\right) = \frac{t_p - t_f}{\frac{1}{A\alpha}} = \frac{t_p - t_f}{R_c};$$

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

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

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

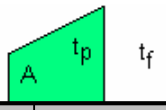
(batería)



T2.- Carga Térmica de Refrigeración

3.- Transmisión de Calor (VI)

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



$$P = A\alpha\left(t_p - t_f\right) = \frac{t_p -}{\frac{1}{A\alpha}}$$

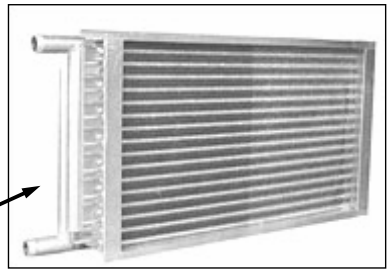
Pudiéndose expresar el calor
convección (R_c) entre el sólid

Tipo de convección	α (W/m2ºC)
Natural para aire	5 a 25
Natural para agua	20 a 100
Forzada para aire	10 a 200
Forzada para agua	50 a 10.000

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

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

(batería)



3.- Transmisión de Calor (VII)

Dificultad en calcular α, 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)

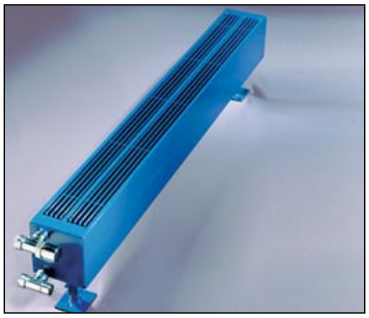
- Posición vertical: $\alpha = 1{,}42 \left[\Delta t / D\right]^{0{,}25}$
- Posición horizontal: $\alpha = 1{,}32 \left[\Delta t / D\right]^{0{,}25}$

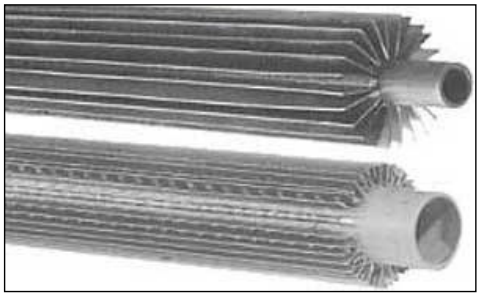
¿Unidades?

Superficies planas;
(Si L ó $H < 0{,}1$ m se toma L ó $H = 0{,}1$ m)

- Vert, altura H: $\alpha = 1{,}42 \left[\Delta t / H\right]^{0{,}25}$
- Hor. anchura L:
  - Calor hacia abajo: $\alpha = 0{,}59 \left[\Delta t / L\right]^{0{,}25}$
  - Calor hacia arriba: $\alpha = 1{,}32 \left[\Delta t / L\right]^{0{,}25}$

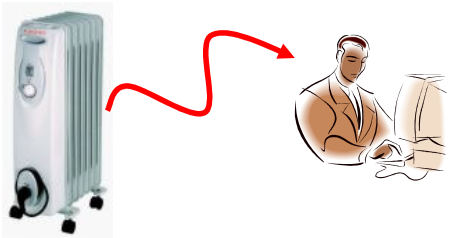
3.- Transmisión de Calor (VIII)





3.- Transmisión de Calor (IX)

RADIACION: transmite el calor incluso en el vacío



La cantidad de calor que abandona un cuerpo:

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

σ = 5,67 10^{-8} (W / m^2 K^4)
ε emisividad superficial, depende del color

Cuerpo negro: radiador perfecto, $\varepsilon = 1$
Cuerpo gris, $0 < \varepsilon < 1$

Material	Acero oxidado	Acero inox. oxidado	Aluminio oxidado	Plomo áspero	Agua	Hielo	Nieve
Emisividad	0,05	0,55	0,26	0,43	0,95	0,97	0,88
Material	Acero pulido	Acero inox. pulido	Aluminio pulido	Plomo pulido	Ladrillo	Tierra	Madera
Emisividad	0,11	0,23	0,05	0,07	0,94	0,9	0,92

3.- Transmisión de Calor (X)

La energía recibida puede ser:
- Absorbida (α), en equilibrio es igual a ε
- Reflejada (ρ_R)
- Trasmitida (ζ), [en los cuerpos opacos es nula]

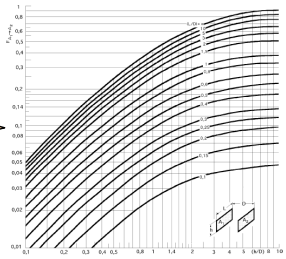
$$\alpha + \rho_R + \tau = 1$$

Factor de forma *F* marca la posición relativa de los cuerpos

$$P_{emitido\ por\ 1\ einterceptado\ por\ 2} = \sigma\ A_1\ F_{1-2}\left(t_1^4 - t_2^4\right)$$

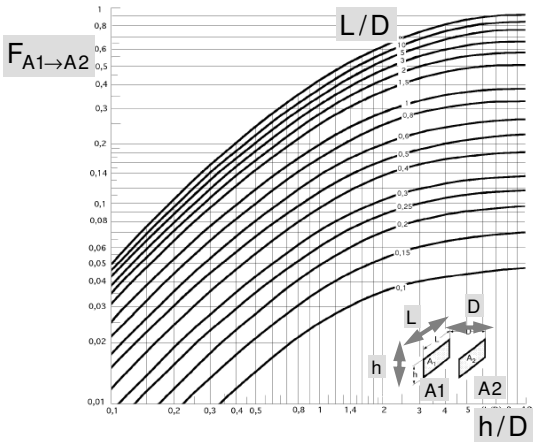
F_{1-2} engloba ε_1, ε_2, *y* la forma geométrica y su posición de los cuerpos

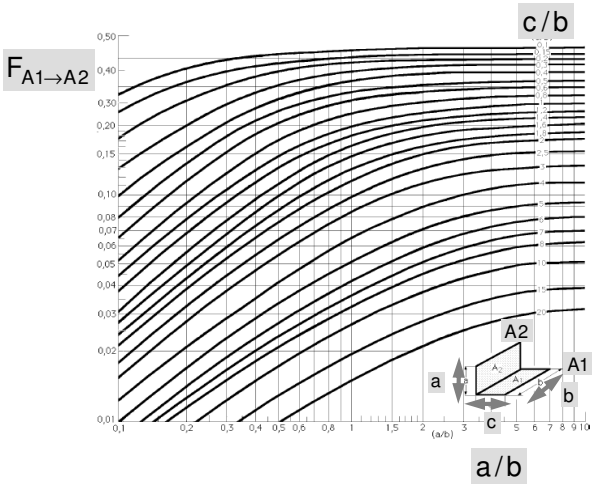
F_{1-2} en gráficos



3.- Transmisión de Calor (XI)

$F_{1\text{-}2}$ en gráficos en función de la geometría de las superficies





…

3.- Transmisión de Calor (XII)

$F_{A1 \Rightarrow A2}$ en el interior de locales (20 a 30 m^2, 2,5 a 3 m de altura)

Techo-Suelo y 0,4

Techo-Pared y 0,15

Coeficiente superficial de radiación (α_r)

De esta forma: $P_{1a2} = \alpha_r \, \varepsilon \, A_1 \left(t_1 - t_2\right)$

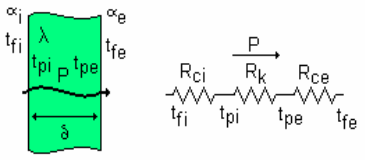
3.- Transmisión de Calor (XIII)

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): $\alpha = A + 0{,}05\,\Delta t$

¿Unidades?

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

Superficie	A	B
Aluminio brillante	2,5	2,7
Acero galvanizado sucio	5,3	5,5

3.- Transmisión de Calor (XIV)

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.(series y paralelo)

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:

$$P = K\,A\,\Delta t$$

Se puede hablar de la K de un edificio (los cerramientos ponderados por su área)

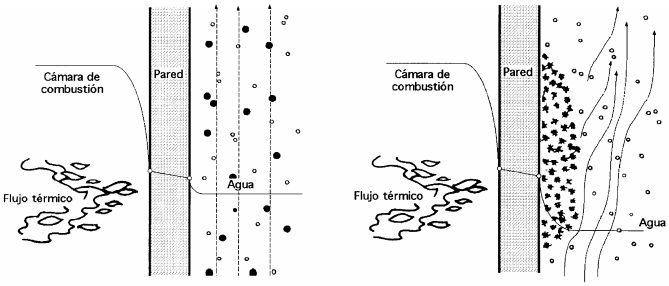
3.- Transmisión de Calor (XV)

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, esto es un aislante térmico y dificulta la transferencia de calor

Su valor se determina con ensayos



Hay que minimizar y eliminar las causas (filtración y tratamiento del agua)

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

3.- Transmisión de Calor (XVI)

INTERCAMBIADORES DE CALOR

Transferir calor entre dos fluidos, con separación física por medio de una pared intermedia, o una masa acumuladora

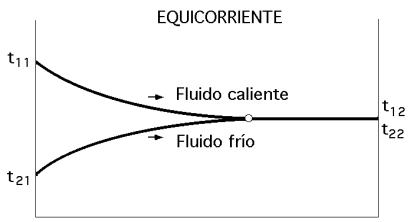
Fluido primario el caliente $_1$, y ***fluido secundario*** el frío $_2$

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

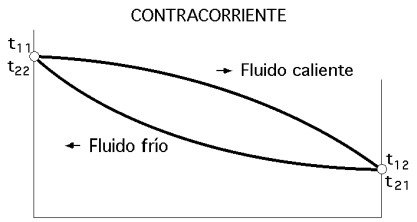
Se llama ***fluido monofásico,*** contiene sólo una fase, ***fluido bifásico*** el que contiene materia y gaseosa

3.- Transmisión de Calor (XVII)

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



A partir de este punto es imposible realizar más intercambio térmico, $t_{11} = t_{22}$



Teóricamente la temperatura de salida de un fluido puede igualar con la de entrada del otro, $t_{11} = t_{22}$ y/o $t_{12} = t_{21}$

Temperaturas características, limitan la posibilidad de intercambio térmico:

– La temperatura de entrada del fluido caliente, t_{11} en ºC
– La temperatura de salida del fluido caliente, t_{12} en ºC
– La temperatura de entrada del fluido frío, t_{21} en ºC
– La temperatura de salida del fluido frío, t_{22} en ºC

3.- Transmisión de Calor (XVIII)

Caudales caliente y ***frío,*** q_1 y q_2 en m³/s

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

La densidad de los fluidos, ρ_1 y ρ_2 en kg/m³

El ***calor específico de los fluidos*** caliente y frío, c_{p1} y c_{p2} en W/kg ºC

La ***capacidad calorífica de los fluidos*** caliente y frío, C_1 y C_2 en W/ºC, es el producto de masas por el calor específico

La transferencia de calor por unidad de tiempo se utilizan las expresiones:
(sin pérdidas térmicas)

$$P_T = q_{m1}\, c_{p1}\, (t_{11} - t_{12}) = q_{m2}\, c_{p2}\, (t_{22} - t_{21}) = k\, A\, \Delta t$$

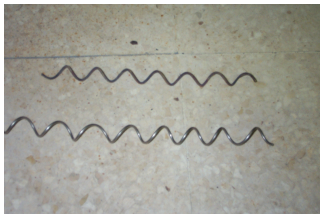
Δt la diferencia de T entre el fluido caliente y el frío a lo largo de la pared

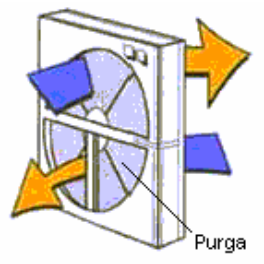
Pérdida de presión

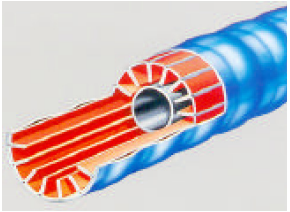
3.- Transmisión de Calor (XIX)

Tipos básicos de intercambiadores de calor (I)

Norma UNE-EN 247
Medios que intercambian
- Líquidos
- Gases (gran superficie, aletas, turbuladores)
- Líquido – Gas (aletas, turbuladores)



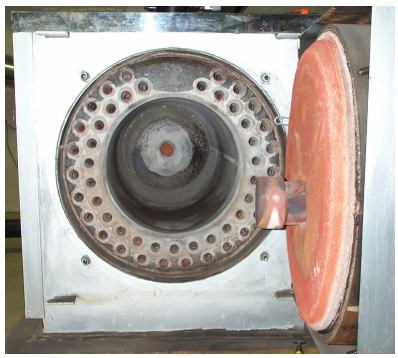




Disposición de la transferencia de calor
- Transferencia directa
- Con acumulación o regeneración (masa acumuladora)
- Lecho fluidizado

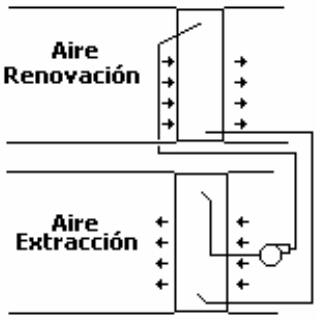
3.- Transmisión de Calor (XX)

Tipos básicos de intercambiadores de calor (II)



Método de transferencia de calor
- Radiación
- Convección
- Mixto

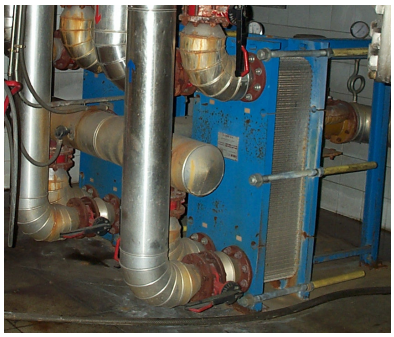
Tipo de fluidos
- Monofásicos
- Bifásicos
- Monofásico-bifásico
- Con fluido intermedio



Posibilidades de limpieza

Posibilidad de dilatación

3.- Transmisión de Calor (XXI)

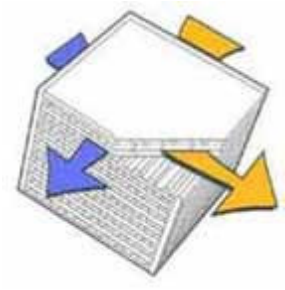


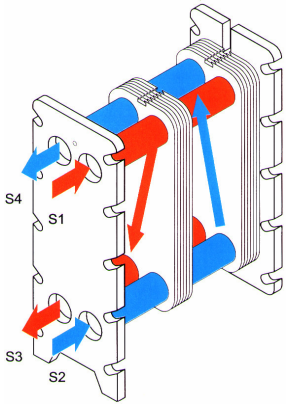
Tipos básicos de intercambiadores de calor (III)

Tipo de diseño
- Carcasa y tubo
- Placas
- Flujo cruzado

<u>Intercambiador de placas</u>

Las placas (no son planas) →Cavidades
Cavidades alternadas por fluido caliente y frío
Flujo cruzado
Modulares y desmontables
(si no son soldadas)
Alta eficiencia
Serie o paralelo





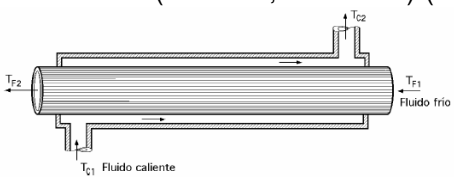
3.- Transmisión de Calor (XXII)

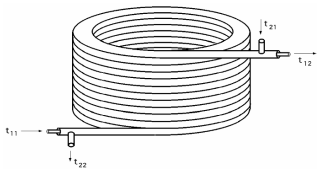
Tipos básicos de intercambiadores de calor (IV)

<u>Intercambiador de carcasa y tubos</u> (I)

Normas TEMA (TUBULAR EXCHANGER MANUFACTURERS ASSOCIATION)

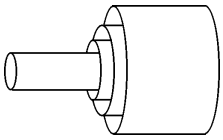
Tubo dentro de otro tubo (curvado, enrollado) (1-1)

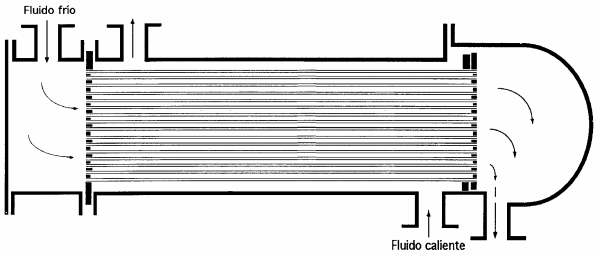




Equi o contracorriente

No apto para grades caudales
- Tubos concéntricos
- Haces de tubos





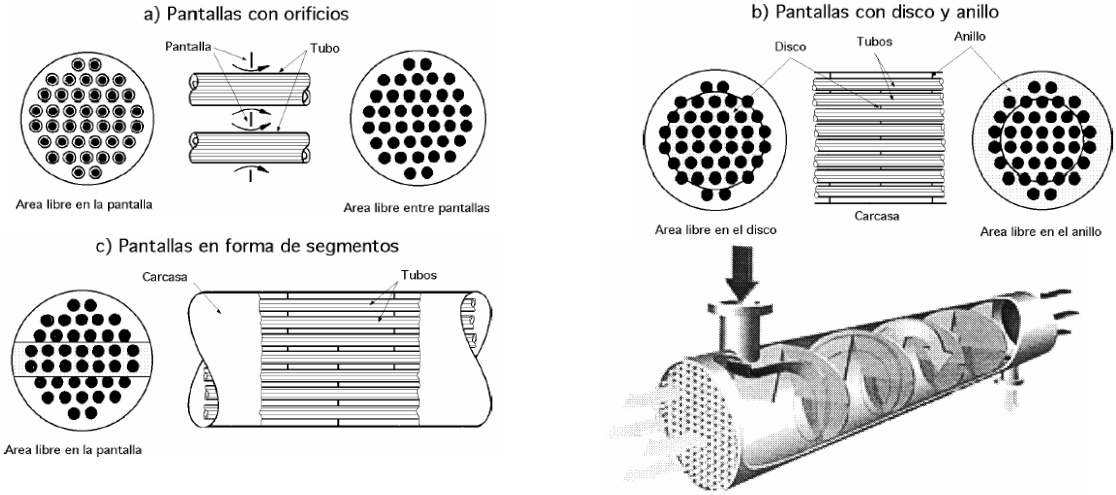
3.- Transmisión de Calor (XXIII)

Tipos básicos de intercambiadores de calor (V)

<u>Intercambiador de carcasa y tubos</u> (II)

Para incrementar la transmisión de calor:

– Lado de la carcasa: pantallas deflectoras, aumentar Nº pasos



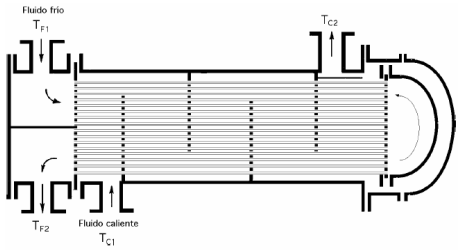
3.- Transmisión de Calor (XXIV)

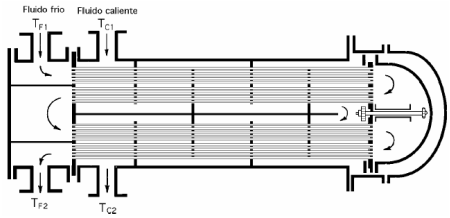
Tipos básicos de intercambiadores de calor (VI)

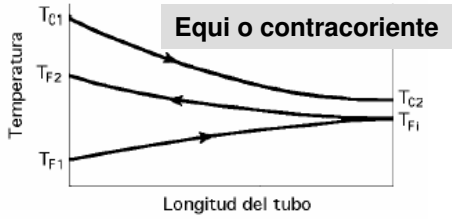
<u>Intercambiador de carcasa y tubos</u> (III)

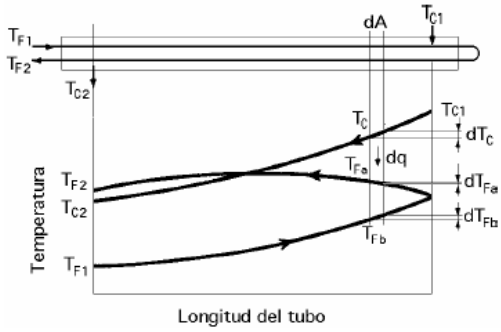
Para incrementar la transmisión de calor:

– Lado de los tubos; incrementar el nº de pasos







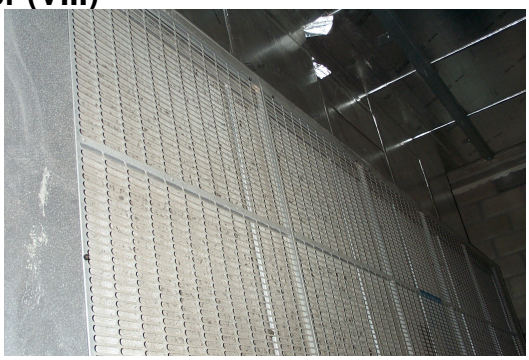


3.- Transmisión de Calor (XXV)

Tipos básicos de intercambiadores de calor (VIII)

Intercambiador de flujos cruzados

Típico en líquido, condensador o evaporador, y gas

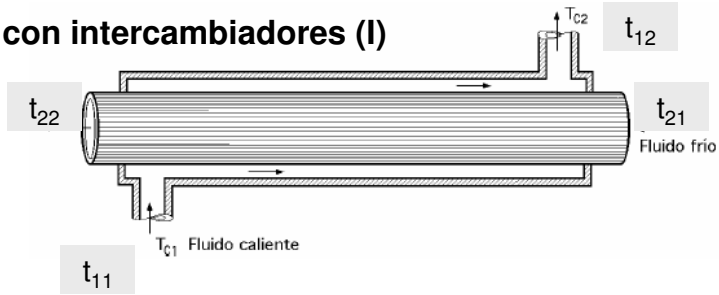


α depende de la forma de la aleta (lisa, ondulada, …)

Se aproxima por la de la batería de tubos liso

3.- Transmisión de Calor (XXVI)

Cálculos con intercambiadores (I)

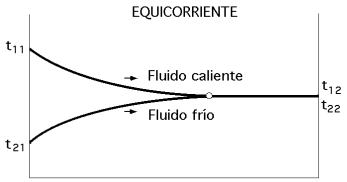


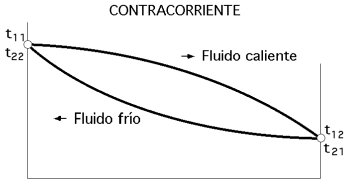
La diferencia de T a lo largo de la pared, Δt, es variable, se llama LMTD

$$\Delta t = \frac{\Delta t_i - \Delta t_o}{\mathrm{Ln}\left(\frac{\Delta t_i}{\Delta t_o}\right)}$$

la diferencia de T de ambos fluidos a la entrada y salida del fluido caliente

$$\begin{cases} \Delta t_i = t_{11} - t_{22} & [\text{eq. } t_{21}] \\ \Delta t_o = t_{12} - t_{21} & [\text{eq. } t_{21}] \end{cases}$$



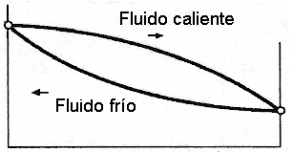


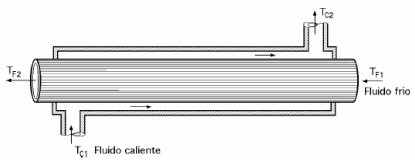
$$P_T = k\ A\ LMTD$$

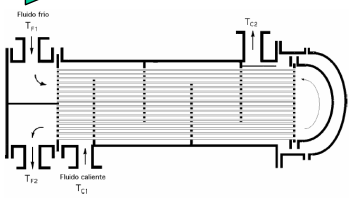
3.- Transmisión de Calor (XXVII)

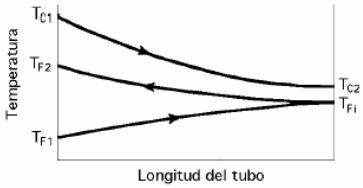
Cálculos con intercambiadores (II)

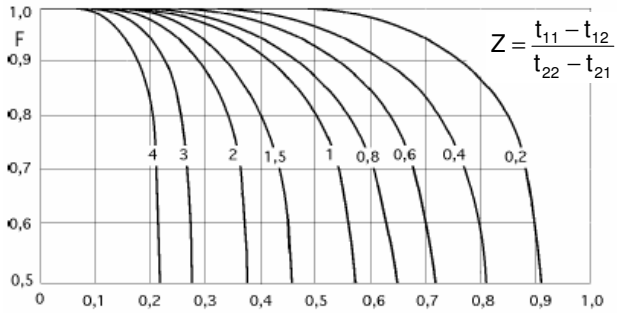
$P_T = k\ A\ LMTD$ → Geometría compleja → $P_T = k\ A\ F\ LMTD$



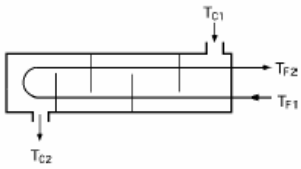








$$Z = \frac{t_{11} - t_{12}}{t_{22} - t_{21}}$$



$$P = \frac{t_{22} - t_{21}}{t_{11} - t_{22}}$$

3.- Transmisión de Calor (XXVIII)

Cálculos con intercambiadores (III)

Cuando se conoce es la descripción física del intercambiador y t_{11} y t_{21} se puede hacer uso del concepto de eficacia térmica del intercambiador, η_t

$$\eta_t = \frac{\text{potencia térmica tranferencia en el intercambiador}}{\text{potencia térmica máxima posible de tranferir}}$$

$$P_T = q_{m1}\, c_{p1}\, (t_{11} - t_{12}) = q_{m2}\, c_{p2}\, (t_{22} - t_{21}) \Rightarrow P_{máx} = (q_m\, c_p)_{mín}\, (t_{11} - t_{21})$$

$$\eta_t = \frac{q_{m1}\, c_{p1}\, (t_{11} - t_{12})}{(q_m\, c_p)_{mín}\, (t_{11} - t_{21})} = \frac{q_{m2}\, c_{p2}\, (t_{22} - t_{21})}{(q_m\, c_p)_{mín}\, (t_{11} - t_{21})}$$

Equicorriente

$$\eta_T = \frac{1 - e^{-NTU\left(1 + \frac{C_{mín}}{C_{máx}}\right)}}{\left(1 + \frac{C_{min}}{C_{máx}}\right)}$$

Contracorriente

$$\eta_T = \frac{1 - e^{-NTU\left(1 - \frac{C_{mín}}{C_{máx}}\right)}}{1 + \frac{C_{min}}{C_{máx}}\, e^{-NTU\left(1 - \frac{C_{mín}}{C_{máx}}\right)}}$$

$$NTU = \frac{k\ A}{(q_m\, c_p)_{mín}} = \frac{k\ A}{C_{mín}}$$

3.- Transmisión de Calor (XIX)

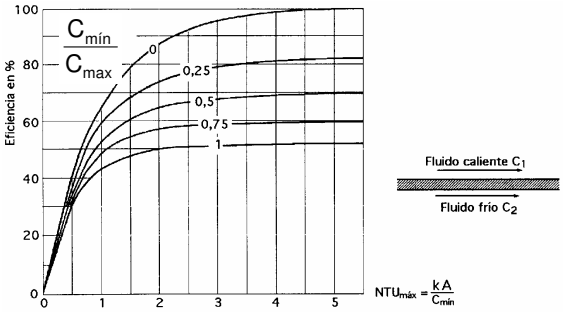
Cálculos con intercambiadores (IV)

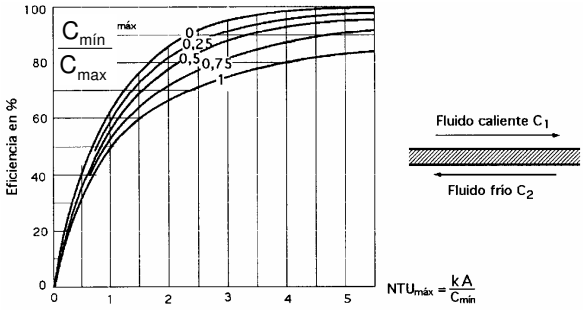
Equicorriente

$$\eta_T = \frac{1 - e^{-NTU\left(1 + \frac{C_{mín}}{C_{máx}}\right)}}{\left(1 + \frac{C_{min}}{C_{máx}}\right)}$$

Contracorriente

$$\eta_T = \frac{1 - e^{-NTU\left(1 - \frac{C_{mín}}{C_{máx}}\right)}}{1 + \frac{C_{min}}{C_{máx}} e^{-NTU\left(1 - \frac{C_{mín}}{C_{máx}}\right)}}$$





$$NTU = \frac{k\,A}{(q_m\ c_p)_{mín}} = \frac{k\,A}{C_{mín}}$$

4.- Cargas Térmicas (I)

CARGA TÉRMICA

Cargas Interiores

- Por el producto a refrigerar/congelar
- Por cualquier equipo productor de calor
- Por iluminación
- Por personas
- Otras cargas

Cargas Exteriores

- A través de las paredes/techo/suelo
- A través de superficies acristaladas
- Por infiltración de aire exterior por las puertas
- Por entradas de aire exterior por las puertas

4.- Cargas Térmicas (II)

Cargas Interiores por el Producto

Como es natural, la carga debida al producto depende de:

- Las condiciones en las que éste entre al espacio refrigerado (T_i)
- El calor específico en refrigeración (T > 0ºC), $c_{T>o}$
- El calor latente (de congelación, T = 0ºC), λ_{cong}
- El calor específico en congelación (T < 0ºC), $c_{T<o}$

Tablas

$$Q = m \cdot \left[c_{T>0} \cdot (T_i - T_c) + \lambda_{congelación} + c_{T<0}' \cdot (T_c - T_a) \right]$$

T2.- Carga Térmica de Refrigeración

4.- Cargas Térmicas (II)

Cargas Interiores por el Producto

Como es natural, la carga debida al producto depende de:

- Las condiciones en las que éste entre al espacio refrigerado (T_i)

PRODUCTO	T. [ºC]	H. REL. [%]	DURACIÓN
Ternera fresca	0 ÷ +1	85 ÷ 90	5 ÷ 10 días
Ave fresca	0	85 ÷ 90	1 semana
Lechuga	0	95	2 ÷ 3 semanas
Tomate verde	13 ÷ 21	85 ÷ 90	1 ÷ 3 semanas
Alcachofa	0 ÷ -1	90 ÷ 95	1 ÷ 2 semanas
Cebolla	0	65 ÷ 70	1 ÷ 8 meses
Manzana	-1 ÷ -3	90	1 ÷ 6 meses
Limón	14 ÷ 16	86 ÷ 88	1 ÷ 6 meses
Mantequilla fresca	0 ÷ 4	80 ÷ 85	2 meses

4.- Cargas Térmicas (II)

Cargas Interiores por el Producto

Como

- La
- El
- El
- El

PRODUCTO	"c_p" antes congelación [kJ/kgºC]	"c_p" después congelación [kJ/kgºC]	Calor latente congelación [kJ/kg]
Aves/Pájaros	3,56	1,97	242,78
Salmón	3,26	1,93	213,48
Lenguado	3,56	1,67	251,15
Truchas	3,56	1,67	251,15
Arenque	3,14	1,93	192,55
Huevos	3,18	1,67	234,40
Leche	3,93	1,97	297,19
Frutas en general	0,91	0,48	313,94 ÷ 368,35
Espárrago	0,96	0,50	313,94
Zanahoria, col, espinaca, judías verdes, champiñón	0,94	0,49	301,38

4.- Cargas Térmicas (II)

Cargas Interiores por el Producto

Como es natural, la carga debida al producto depende de:

- Las condiciones en las que éste entre al espacio refrigerado (T_i)
- El calor específico en refrigeración (T > 0ºC), c_T>o
- El calor latente (de congelación, T = 0ºC), λ_{cong}
- El calor específico en congelación (T < 0ºC), $c_{T<o}$

Tablas

$$Q = m \cdot \left[c_{T>0} \cdot (T_i - T_c) + \lambda_{congelación} + c_{T<0}' \cdot (T_c - T_a) \right]$$

En algunos casos, como primera aproximación se puede suponer que el producto es agua (p.ej. el 95% de un tomate es agua)

- Calor específico del agua: 4,18 kJ/kg/ºC
- Calor específico del hielo: 2,09 kJ/kg/ºC
- Calor latente de fusión: 335 kJ/kg

¡Ojo con frutos secos!

4.- Cargas Térmicas (III)

Cargas Interiores por el Producto

Hay que tener en cuenta los kg de producto almacenado, y los del envoltorio

Material	% peso del envoltorio
Genérico	10 ÷ 30
Vegetales (cajas de madera)	8 ÷ 16
Huevos frescos (cartones con alvéolos)	15 ÷ 20
Mantequilla congelada (cajas)	5
Carnes frescas	0
Productos congelados en general	≈ 0
Palets	4 ÷ 5

4.- Cargas Térmicas (IV)

En el caso de pequeños espacios refrigerados ($V < 42\ m^3$), se puede aplicar un método de cálculo simplificado

$$Q = V \cdot f \cdot \Delta T$$

V es el volumen del espacio refrigerado

f es un factor de uso (tablas)

ΔT es la diferencia de temperaturas

Uso	Compartimento compacto	Cámara
Bajo	2,92	0,97
Medio	3,57	1,30
Alto	4,86	1,95

4.- Cargas Térmicas (V)

Cargas Interiores por los equipos

Normalmente, ventiladores y sistemas de desescarche

Ojo con los sistemas de desescarche (resistencias eléctricas)

T2.- Carga

4.- Cargas Térmicas (V)

Cargas Interiores por los e

Normalmente, ventiladores

Ojo con los sistemas de de

$$q_c = P_{absorbida} = \frac{P_{nominal}}{\eta_{motor}}$$

ASHRAE

Table 4 Heat Gain from Typical Electric Motors

Motor Rated, kW	Motor Type	Nominal rpm	Full Load Motor Efficiency, %	Location of Motor and Driven Equipment with Respect to Conditioned Space or Airstream: A — Motor in, Driven Equipment in, W	B — Motor out, Driven Equipment in, W	C — Motor in, Driven Equipment out, W
0.04	Shaded pole	1500	35	105	35	70
0.06	Shaded pole	1500	35	170	59	110
0.09	Shaded pole	1500	35	264	94	173
0.12	Shaded pole	1500	35	340	117	223
0.19	Split phase	1750	54	346	188	158
0.25	Split phase	1750	56	439	246	194
0.37	Split phase	1750	60	621	372	249
0.56	3-Phase	1750	72	776	557	217
0.75	3-Phase	1750	75	993	747	249
1.1	3-Phase	1750	77	1453	1119	334
1.5	3-Phase	1750	79	1887	1491	396
2.2	3-Phase	1750	81	2763	2238	525
3.7	3-Phase	1750	82	4541	3721	817
5.6	3-Phase	1750	84	6651	5596	1066
7.5	3-Phase	1750	85	8760	7178	1315
11.2	3-Phase	1750	86	13 009	11 192	1820
14.9	3-Phase	1750	87	17 140	14 913	2230
18.6	3-Phase	1750	88	21 184	18 635	2545
22.4	3-Phase	1750	89	25 110	22 370	2765
30	3-Phase	1750	89	33 401	29 885	3690
37	3-Phase	1750	89	41 900	37 210	4600
45	3-Phase	1750	89	50 395	44 829	5538
56	3-Phase	1750	90	62 115	55 962	6210
75	3-Phase	1750	90	82 918	74 719	8290
93	3-Phase	1750	90	103 430	93 172	10 342
110	3-Phase	1750	91	123 060	111 925	11 075
150	3-Phase	1750	91	163 785	149 135	14 738
190	3-Phase	1750	91	204 805	186 346	18 430

4.- Cargas Térmicas (VI)

Cargas Interiores por la iluminación

Depende del tipo de lámparas

Es habitual considerar que toda la potencia se convierte en carga sensible

- Incandescencia: x 1
- Fluorescencia convencional: x 1,25
- Fluorescencia electrónica: x 1,05

Luminarias especiales para bajas temperaturas (estancas)

T2.- Carga Térmica de Refrigeración

4.- Cargas Térmicas (VI)

Cargas Interiores por la iluminación

Depende del tipo d

Es habitual conside

- Incandescen
- Fluorescenci
- Fluorescenci

Luminarias especia

4.- Cargas Térmicas (VII)

Cargas Interiores por personas trabajando

Las personas desprende calor (sensible) y humedad (latente)

$$Q_P = q_p N_p \ [W]$$

$$q_p = 272 - 6T_{cámara}(^{o}C) \ [W]$$

ASHRAE	
T cámara	**Q pers (W)**
10	210
5	240
0	270
-5	300
-10	330
-15	360
-20	390

ACTIVIDAD		Q SENSIBLE W	Q LATENTE W
Sentado, sin trabajar		65	35
De pie, relajado		75	55
Paseando		75	70
Andando	1,6 km/h	50	110
	3,2 km/h	80	130
	4,8 km/h	110	180
	6,4 km/h	150	270
Sedentario		80	80
Ligero de pie		70	90
Medio de pie		80	120
Manual		80	140
Ligero (en fábrica)		110	185
Pesado (en fábrica)		170	255

4.- Cargas Térmicas (VIII)

Otras cargas térmicas interiores

A modo de coeficiente de seguridad se puede considerar un valor típico del 10%

4.- Cargas Térmicas (IX)

Cargas térmicas exteriores por cerramientos

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

U (W/m²ºC) es la transmitancia térmica $U = \frac{1}{\sum R_T}$

R_T es la resistencia térmica total (m²ºC/W) $\sum R_T = R_{con\ ext} + R_1 + ... + R_n + R_{con\ int}$

R_1 a R_n son las resistencias térmicas de los diferentes elementos que componen el cerramiento

$R_{con\ ext}$ y $R_{con\ ext}$ son las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire exterior e interior respectivamente

Cerramiento	$R_{con\ est}$	$R_{con\ int}$
Pared vertical	0,04	0,13
Suelo	0,04	0,10
Techo	0,04	0,17

4.- Cargas Térmicas (X)

Cargas térmicas exteriores por cerramientos expuestos al Sol

En este caso es necesario efectuar una corrección de la T de diseño

Se deben sumar los siguientes valores a la ΔT, teniendo en cuenta que el sol no puede incidir al mismo tiempo desde el este y desde el oeste

	Acabado de la pared		
	Oscura	**Media**	**Reflectante**
Techo	14	11	5,5
Pared este u oeste	6,6	5,5	3
Pared sur	3,3	3	1,6

4.- Cargas Térmicas (X)

Cargas térmicas exteriores por cerramientos expuestos al Sol

En este caso es necesario efectuar una corrección de la T de diseño

Se deben sumar los siguientes el sol no puede incidir al mismo ti

Techo
Pared este u oeste
Pared sur

Table 3 Allowance for Sun Effect

ASHRAE

Typical Surface Types	East Wall °C	South Wall °C	West Wall °C	Flat Roof °C
Dark-colored surfaces				
Slate roofing	5	3	5	11
Tar roofing				
Black paint				
Medium-colored surfaces				
Unpainted wood	4	3	4	9
Brick				
Red tile				
Dark cement				
Red, gray, or green paint				
Light-colored surfaces				
White stone	3	2	3	5
Light colored cement				
White paint				

Note: Add °C to the normal temperature difference for heat leakage calculations to compensate for sun effect—do not use for air-conditioning design.

4.- Cargas Térmicas (XI)

Cargas térmicas exteriores por superficies acristaladas

En vitrinas, botelleros y expositores comerciales

Entra calor por conducción a través del cristal (doble y triple vidrio con cámaras de aire), y directamente por radiación (evitar radiación directa de iluminación)

4.- Cargas Térmicas (XII)

Aperturas - cierres

Cargas térmicas exteriores por infiltraciones de aire exterior

$$Q = Q_A \cdot D_t \cdot D_f \cdot (1 - E)\ [kW/24h]$$

Q_A es el calor en kW entrante con la puerta totalmente abierta

$$Q_A = 0{,}221 \cdot A \cdot (h_{ext} - h_{int}) \cdot \rho_{int} \cdot \left(1 - \frac{\rho_{ext}}{\rho_{int}}\right)^{0,5} \cdot (g \cdot H)^{0,5} \cdot F_m\ [kW/24h]$$

A	área de la puerta (m^2)
h_{int}	entalpía del aire interior (kJ/kg)
h_{ext}	entalpía del aire exterior (kJ/kg)
ρ_{int}	densidad del aire interior (kg/m^3)
ρ_{ext}	densidad del aire exterior (kg/m^3)
g	gravedad (9,8 m/s^2)
H	altura de la puerta (m)

$$F_m = \left(\frac{2}{1 + (\rho_{int}/\rho_{ext})^{0,33}}\right)^{1,5}$$

4.- Cargas Térmicas (XII)

Cargas térmicas exteriores por infi

$$Q = Q_A \cdot D_t \cdot D_f \cdot (1 - E)\ [kW/24h]$$

Q_A es el calor en kW entrante con la puerta totalmente abierta

$$Q_A = 0{,}577 \cdot \text{Ancho (m)} \cdot \text{Alto (m)} \cdot \frac{Q_s}{A} \cdot \frac{1}{R_s}$$

ASHRAE

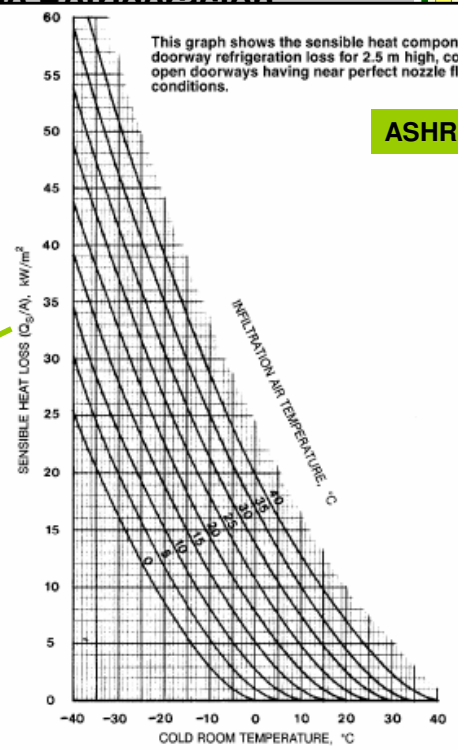


Fig. 3 Sensible Heat Gain by Air Exchange for Continuously Open Door with Fully Established Flow

4.- Cargas Térmicas (XII)

Cargas térmicas exteriores por infiltr

$$Q = Q_A \cdot D_t \cdot D_f \cdot (1 - E)\ [kW/24h]$$

Q_A es el calor en kW entrante con la puerta totalmente abierta

$$Q_A = 0{,}577 \cdot \text{Ancho (m)} \cdot \text{Alto (m)} \cdot \frac{Q_s}{A} \cdot \frac{1}{R_s}$$

Table 6 Sensible Heat Ratio *Rs* for Infiltration from Outdoors to Refrigerated Spaces

Outdoor Cond.			Cold Space at 90% rh Dry-Bulb Temperature, °C									
DB °C	WB °C	rh, %	–30	–25	–20	–15	–10	–5	0	5	10	15
30	19.7	30	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.72	0.73	0.77	0.87	—
	21.8	40	0.71	0.69	0.68	0.66	0.65	0.63	0.63	0.64	0.68	0.83
	23.9	50	0.66	0.64	0.62	0.60	0.59	0.57	0.56	0.55	0.56	0.62
	25.8	60	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.50	0.48	0.48	0.49
35	19.0	20	0.80	0.79	0.78	0.77	0.77	0.77	0.79	0.84	0.96	—
	21.6	30	0.72	0.71	0.69	0.68	0.67	0.66	0.67	0.68	0.72	0.86
	24.0	40	0.66	0.64	0.63	0.61	0.59	0.58	0.57	0.57	0.58	0.63
	26.3	50	0.61	0.59	0.57	0.55	0.53	0.52	0.50	0.49	0.48	0.50
	28.3	60	0.56	0.54	0.53	0.51	0.49	0.47	0.45	0.43	0.42	0.41
40	20.7	20	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.72	0.73	0.75	0.82	0.98
	23.6	30	0.68	0.66	0.65	0.63	0.62	0.61	0.60	0.61	0.62	0.68
	26.2	40	0.61	0.59	0.58	0.56	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.52
	28.6	50	0.55	0.54	0.52	0.50	0.48	0.47	0.45	0.43	0.42	0.42

Table 7 Sensible Heat Ratio *Rs* for Infiltration from Warmer to Colder Refrigerated Spaces

Warm Space		Cold Space at 90% rh Dry-Bulb Temperature, °C								
Temp. °C	rh, %	–40	–35	–30	–25	–20	–15	–10	–5	0
20	100	0.62	0.60	0.57	0.55	0.53	0.50	0.44	0.44	0.41
	80	0.67	0.65	0.63	0.61	0.58	0.56	0.53	0.51	0.48
	60	0.73	0.71	0.69	0.68	0.65	0.63	0.61	0.60	0.59
	40	0.80	0.79	0.78	0.76	0.75	0.73	0.73	0.73	0.76
	20	0.89	0.88	0.88	0.87	0.87	0.87	0.80	0.93	—
15	100	0.67	0.65	0.63	0.60	0.58	0.55	0.51	0.48	0.45
	80	0.72	0.70	0.68	0.66	0.63	0.61	0.58	0.55	0.53
	60	0.77	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68	0.66	0.65	0.66
	40	0.84	0.83	0.81	0.80	0.79	0.78	0.78	0.79	0.87
	20	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90	0.91	0.93	—	—
10	100	0.72	0.70	0.68	0.65	0.62	0.59	0.56	0.52	0.48
	80	0.76	0.75	0.73	0.70	0.68	0.65	0.63	0.60	0.59
	60	0.81	0.80	0.78	0.76	0.75	0.73	0.71	0.71	0.77
	40	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	0.83	0.88	—
	20	0.93	0.93	0.92	0.92	0.92	0.94	0.99	—	—
5	100	0.77	0.75	0.73	0.70	0.67	0.64	0.60	0.55	0.49
	80	0.81	0.79	0.77	0.75	0.72	0.70	0.67	0.65	0.68
	60	0.85	0.83	0.82	0.80	0.79	0.77	0.77	0.79	—
	40	0.89	0.88	0.88	0.87	0.86	0.86	0.89	—	—
	20	0.95	0.94	0.94	0.94	0.95	0.98	—	—	—
0	100	0.81	0.79	0.77	0.74	0.71	0.67	0.63	0.56	—
	80	0.84	0.83	0.81	0.79	0.76	0.74	0.71	0.71	—
	60	0.88	0.86	0.85	0.84	0.82	0.81	0.83	0.98	—
	40	0.92	0.91	0.90	0.89	0.89	0.91	0.98	—	—
		0.96	0.96	0.96	0.96	0.98	—	—	—	—
-5	100	0.85	0.83	0.81	0.79	0.75	0.71	0.65	—	—
	80	0.88	0.86	0.85	0.83	0.81	0.78	0.78	—	—
	60	0.91	0.90	0.88	0.87	0.87	0.87	0.98	—	—
	40	0.94	0.93	0.93	0.92	0.93	0.98	—	—	—
	20	0.97	0.97	0.97	0.98	—	—	—	—	—
-10	100	0.88	0.87	0.85	0.82	0.79	0.74	—	—	—
	80	0.91	0.89	0.88	0.86	0.85	0.84	—	—	—
	60	0.93	0.92	0.91	0.91	0.91	0.97	—	—	—
	40	0.95	0.95	0.95	0.95	0.98	—	—	—	—
	20	0.98	0.98	0.99	—	—	—	—	—	—
-15	100	0.91	0.90	0.88	0.85	0.81	—	—	—	—
	80	0.93	0.92	0.91	0.89	0.89	—	—	—	—
	60	0.95	0.94	0.94	0.94	0.98	—	—	—	—
	40	0.97	0.97	0.97	0.99	—	—	—	—	—
	20	0.99	0.99	1.00	—	—	—	—	—	—

ASHRAE

4.- Cargas Térmicas (XII)

Aperturas - cierres

Cargas térmicas exteriores por infiltraciones de aire exterior

$$Q = Q_A \cdot D_t \cdot D_f \cdot (1 - E)\ [kW/24h]$$

Q_A es el calor en kW entrante con la puerta totalmente abierta

D_t es el tiempo de permanencia de la puerta abierta

$$D_t = \frac{P \cdot t_{apertura} + 60 \cdot t_{abierta}}{3.600 \cdot t}$$

P nº de pasos por la puerta en el tiempo t
$T_{apertura}$ puertas normales de 15 a 25 s
$T_{apertura}$ puertas rápidas 5 a 10 s

D_f es el factor de flujo de aire por la puerta comparado con apertura total

para flujo sin obstruir 1
para 1 entrada por min en puertas rápidas
0,8 para saltos térmicos mayores de 11ºC
1,1 para saltos térmicos menores de 11ºC

E es la efectividad de cierre la protección (cortina, cortina de aire, …)

Entre 0,7 y 0,95, y 0 si no hay sistema

4.- Cargas Térmicas (XIII)

Puerta directamente abierta

Cargas térmicas exteriores por entrada directa de aire por las puertas

$$Q_{inf}\ (kW) = V\ (m/s) \cdot Area\ (m^2) \cdot (h_{ext} - h_{int})(kJ/kg)\ .\ \rho_{int}(kg/m^3 g) \cdot F_{apertura}$$

$F_{Apertura}$ es la fracción decimal del tiempo en que la puerta está abierta

T2.- Carga Térmica de Refrigeración

5.- Aislantes Térmicos (I)

Son materiales con un coef. Conduc. Tér. λ bajo (depende de la T)

Los efectos de su instalación son:

- Disminuir las pérdidas térmicas
- Evitar temperaturas de contacto peligrosas
- Evitar la condensación sobre las superficies frías
- Impedir “emisiones” de calor incontroladas

Material	λ (W/mºC)
Acero	50
Acero inoxidable	17
Aluminio	230
Aleaciones de Al	160
Bronce	65

Material	λ (W/mºC)
Cobre	380
Azulejo	1,3
Plaqueta o baldosa	1
Madera > 870 kg/m^3	0,29
Madera < 870 kg/m^3	0,23

5.- Aislantes Térmicos (II)

Material	λ (W/mºC)	Densidad (kg/m²)	Resistencia al vapor de agua
Poliestireno expandido	0,029	30	20
	0,038	22	20
	0,046	10	20
XPS expandido con CO_2	0,034	37,5	100
XPS expandido con HFC	0,025	37,5	100
MW Lana mineral	0,031	40	1
	0,041	40	1
	0,050	40	1
Arcilla	0,148	537,5	1
Perlita expandida	0,062	190	5
Panel de vidrio celular	0,050	125	10^{30}

5.- Aislantes Térmicos (III)

Material	λ (W/mºC)	Densidad (kg/m²)	Resistencia al vapor de agua
Poliuretano, PUR proyectado con HFC	0,028	45	60
PUR proyectado con CO_2	0,032	50	100
	0,035	50	100
PUR, Plancha con HFC o Pentano y revestimiento permeable a gases	0,027	45	60
	0,030	45	60
PUR, Plancha con HFC o Pentano y revestimiento impermeable a gases	0,025	45	10^{30}
PUR inyectado en tabique con CO_2	0,040	17,5	20

5.- Aislantes Térmicos (IV)

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MATERIALES AISLANTES ARTIFICIALES

Interponer capas intermedias en las que exista el vacío (el mejor aislante, pero es difícil de lograr y mantener); es decir, se interponen capas entre las que el calor se trasmite únicamente por radiación

Normalmente se "sustituye" el vacío por aire, entre las capas de material se produce transmisión de calor por radiación y por convección

Importante que el aire esté en reposo, y que no exista humedad dentro del aislante

También se utilizan agentes espumantes, como el CO_2

T2.- Carga Térmica de Refrigeración

5.- Aislantes Térmicos (V)

Aislantes más utilizados:

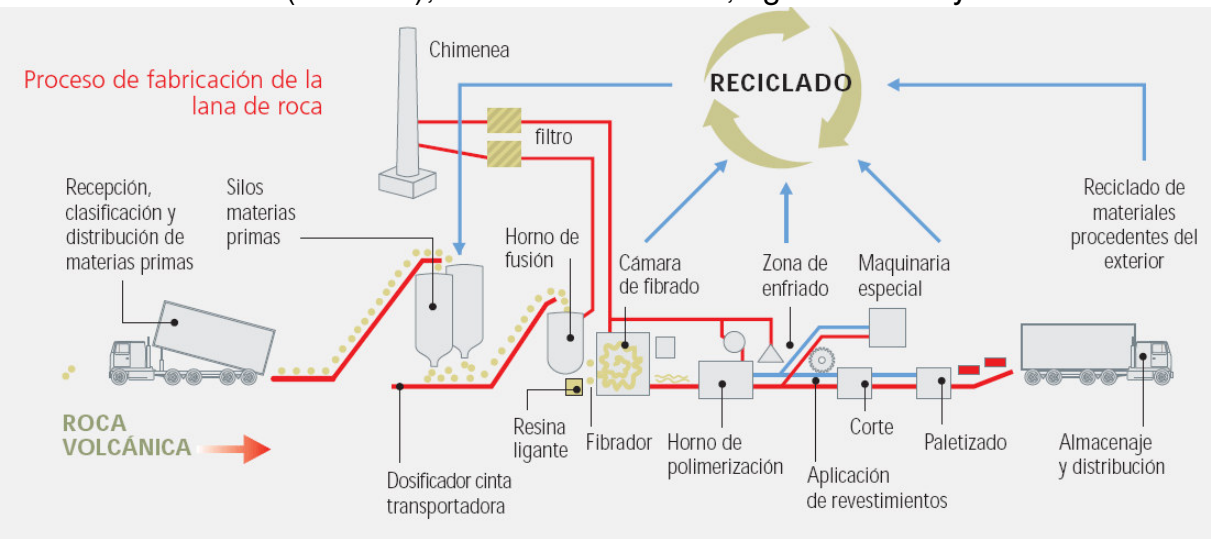
- Lana de roca
- Lana de vidrio
- Poliestireno expandido
- Poliestireno extruido
- Espuma de poliuretano
- Espuma elastómera

5.- Aislantes Térmicos (VI)

Lana de Roca

Producto obtenido a partir de roca volcánica (roca basáltica)

Fabricación: fusión (1.600ºC), formación de fibras, aglomeración y conformado



T2.- Carga Térmica de Refrigeración

5.- Aislantes Térmicos (VI)

Lana de Roca

Producto obtenido a partir de roca volcánica (roca basáltica)

Fabricación: fusión (1.600ºC), formación de fibras, aglomeración y conformado

Se presenta en forma de mantas, paneles de diferente rigidez, coquillas, a granel e incluso mezclada con mortero para proyectar

Se caracteriza por su gran resistencia al fuego

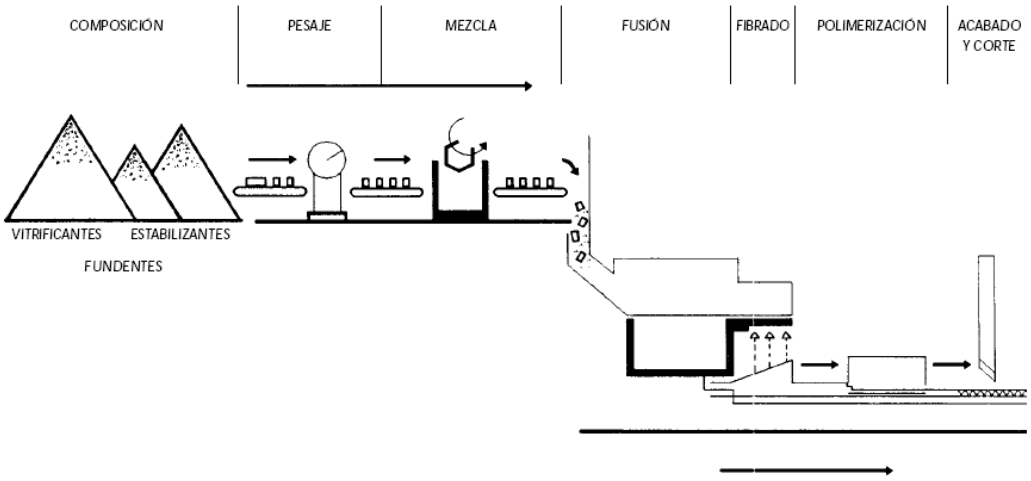
Conductividad: 0,030 a 0,050 W/(m·K)

5.- Aislantes Térmicos (VII)

Lana de Vidrio

Producto obtenido a partir de la sílice (vitrificante) y el carbonato sódico (fundente)

Fabricación: fusión, formación de fibras, aglomeración y conformado



T2.- Carga Térmica de Refrigeración

5.- Aislantes Térmicos (VII)

Lana de Vidrio

Producto obtenido a partir de la sílice (vitrificante) y el carbonato sódico (fundente)

Fabricación: fusión, formación de fibras, aglomeración y conformado

Se presenta en forma de mantas, paneles de diferente rigidez, coquillas y a granel

Se caracteriza por su buen comportamiento frente a la humedad

Conductividad: 0,040 a 0,060 W/(m·K)

5.- Aislantes Térmicos (VIII)

Poliestireno Expandido (EPS)

Producto derivado del petróleo y del gas natural, del cual se obtiene el polímero plástico estireno en forma de gránulos

Se introduce en un molde y se inyecta vapor de agua, expandiéndose los gránulos y adoptando la forma del molde

T2.- Carga Térmica de Refrigeración

5.- Aislantes Térmicos (VIII)

Poliestireno Expandido (EPS)

Producto derivado del petróleo y del gas natural, del cual se obtiene el polímero plástico estireno en forma de gránulos

Se introduce en un molde y se inyecta vapor de agua, expandiéndose los gránulos y adoptando la forma del molde

Se presenta en forma de paneles de diferente rigidez y en formas varias mediante la utilización de moldes (bovedillas, etc. etc.)

OJO: Es inflamable. Además, es atacable por los rayos UV. Además, tiene el inconveniente de absorber la humedad

Además de cómo aislante térmico, se utiliza en el embalaje de objetos frágiles

Conductividad: 0,030 a 0,045 W/(m·K)

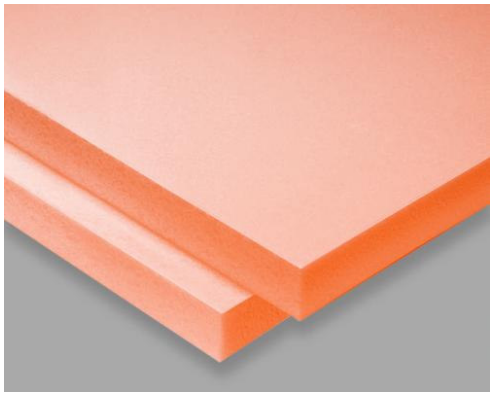
5.- Aislantes Térmicos (IX)

Poliestireno Extrusionado (XPS)

Composición similar al EPS, se diferencia en el proceso de conformado.

La extrusión da lugar a una estructura de celda cerrada, lo cual supone que este aislante puede mojarse sin perder sus propiedades térmicas

Conductividad: 0,025 a 0,035 W/(m·K)



5.- Aislantes Térmicos (X)

Espuma De Poliuretano (PUR)

Producto obtenido mediante la reacción química de un poliol y un isocianato, la cual produce CO_2, que va formando las burbujas

Sus aplicaciones son muchas (gomaespuma en colchones, muebles, automoción, etc)

Conductividad: 0,030 a 0,040 W/(m·K)

5.- Aislantes Térmicos (XI)

Espuma Elastómera

Producto de celda cerrada obtenido a partir de caucho sintético flexible

Se emplea para el aislamiento térmico de tuberías y depósitos

Conductividad: 0,030 a 0,040 W/(m·K)

T2.- Carga Térmica de Refrigeración

6.- Ejemplos de Cálculo (I)

¿Qué capacidad de refrigeración hace falta para producir diariamente 68 kg de hielo a -9ºC partiendo de agua a 21 ºC?

6.- Ejemplos de Cálculo (II)

¿Cuánto calor entra por la paredes de un refrigerador doméstico de 1,5 m de altura, 0,9 m de ancho y 0,75 m de fondo, aislado con poliestireno expandido de 4 cm de espesor, λ = 0,037 W/mK, si la temperatura en el interior es de 4ºC y en el exterior de 24ºC?

6.- Ejemplos de Cálculo (III)

Calcular el coeficiente de transmisión térmica de una pared compuesta de:

- Tablero contrachapado de alta densidad de espesor 2 cm
- Poliestireno extrusionado con CO_2 de espesor 8 cm
- Revestimiento de PVC de espesor 0,2 cm

6.- Ejemplos de Cálculo (IV)

Una pared está formada por un tabicón de LHD de 7 cm y una plancha de poliestireno expandido de media densidad y espesor 3 cm

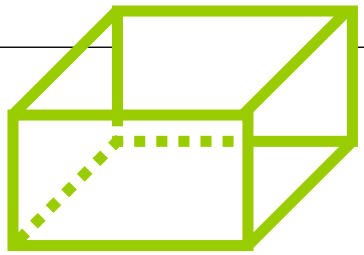
Calcular el espesor de poliestireno equivalente

6.- Ejemplos de Cálculo (V)

Calcular la carga de refrigeración de una cámara de 6x6 m de planta y 2,5 m de altura que se utilizará para refrigerar 12.000 kg de albaricoques diariamente, desde la temperatura ambiente (26ºC) hasta 1,5ºC. Los cerramientos de la cámara tienen 10 cm de EPS de media densidad.

Considerar que la cámara es de color blanco y su uso esporádico

c_p = 3,85 kJ/kg/ºC



T2.- Carga Térmica de Refrigeración

Bibliografía del Tema

Cámaras Frigoríficas y Túneles de Enfriamiento Rápido
P. Melgarejo

Revista:
Coxemar

Guía del Transporte Frigorífico
Instituto Internacional del Frío

T2.- Carga Térmica de Refrigeración

Bibliografía del Tema

Ingeniería Térmica
P. Fernández, UC

Guía Técnica: Diseño y Cálculo del Aislamiento Térmico de Conducciones, Aparatos y Equipos
IDAE

DTIE 12.01. Cálculo del Aislamiento Térmico de Conducciones y Equipos
A. Viti

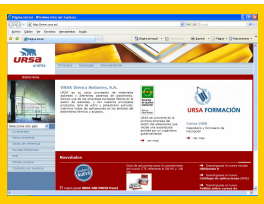
Bibliografía del Tema

Revistas nacionales:

- **El Instalador**
- **Montajes e Instalaciones**

Catálogos Sedical

http://www.armaflex.es/
http://www.isover.net/
http://www.rockwool.com/
http://www.ursa.es/



http://www.lym.com.mx/index.html
http://www.hoval.es/default.htm
http://www.sedical.com/web/inicio.aspx