

(Unidade de traballo)

CALCULO

DE

CARGA

TÉRMICA

Índice:

1. Cálculo de carga térmica	3
1.1. Método de cálculo da carga térmica	3
1.1.3. Cambios de aire	5
1.1.4. Gananzas de calor de fontes internas	6
1.1.5. Factor de seguridade	7
1.1.6. Densidade de almacenamento	7
1.2. Cálculo da carga térmica na cámara obxecto de estudo	8
1.2.1. Carga por paredes	8
1.2.2. Carga por produto	9
1.2.3. Carga por aire	9
1.2.4. Carga interna	10
1.2.5. Carga total	10
2. Exercicios relacionados con esta unidade de traballo	11
3. Módulos relacionados con esta unidade de traballo	12

1. Cálculo de carga térmica

Imos estimar unhas condicións de partida para realizar o cálculo das necesidades frigoríficas dunha cámara frigorífica:

1.1. Método de cálculo da carga térmica

Este método está baseado na experiencia ao longo destes anos nestes mesteres así como na súa maior parte no método Interclisa; sempre convén cotexar resultados con programas informáticos dispoñibles hoxe en día para estes mesteres.

As ganancias de calor que forman a carga térmica total, poden catalogarse en catro procedencias principais:

- Transmisión ou transferencia a través dos paramentos exteriores.
- Calor asociada ao aire que entra no espazo refrixerado.
- Ganancias da calor contida no produto refrixerado e almacenado.
- Carga correspondente á calor desprendida polos empregados que traballan no interior da cámara, pola iluminación, motores eléctricos ou por calquera outra fonte interna de enerxía calorífica.

A carga total nas condicións de deseño, é a suma destes catro compoñentes.

$$Q = Q_{\text{paredes}} + Q_{\text{produto}} + Q_{\text{aire}} + Q_{\text{interna}}$$

O equipo de refrixeración está deseñado para traballo continuo, sen efectos negativos; é o problema do desxeo o que determina o tempo de funcionamento do compresor. Para temperaturas mantidas por debaixo de 1,7° C, é preciso dotar ao sistema dalgún tipo de desxeo. Calquera dos utilizados normalmente engaden calor ao espazo refrixerado. As cantidades de calor achegadas varían considerablemente segundo o método empregado. En todo caso, o funcionamento intermitente do compresor, para permitir o desxeo, require incrementar a capacidade daquel, co fin de extraer a ganancia total de calor en 24 horas.

1.1.1. Cálculo da carga por transmisión.

A ganancia de calor a través dos muros, chan e teito, varía segundo os seguintes factores: tipo de illamento, espesor deste, clase de construción, superficie de muros exteriores e diferenza de temperatura entre o espazo refrixerado e o aire ambiente.

O coeficiente global de transferencia térmica (Transmitancia), U do paramento, obtense mediante a seguinte fórmula:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{e_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_e}}$$

Onde:

U = Coeficiente global de transferencia térmica en W/m² °C.

e = Espesor do paramento en m.

λ = Condutividade térmica do material do paramento en W/m°C.

h_i = Condutancia do revestimento interior da cámara en W/m² °C.

h_e = Condutancia do revestimento exterior da cámara en W/m² °C.

Frecuentemente utilízase o valor de 9,37 W/m² °C para h_i e h_e con aire en calma. Si a superficie exterior está exposta a un vento de 6,1 m/seg o valor de h_e se incrementa ata 34,1 W/m² °C. Con paramentos moi grosos h_e e h_i ten un valor desprezable no resultado, e poden ser eliminados do cálculo.

A maioría de illamentos de cámaras, consisten nunha espuma de plástico laminada entre dúas follas metálicas. Cando se usan estes paneis, o efecto do revestimento nas características térmicas globais do «sándwich» é desprezable e non é preciso consideralo no cálculo do valor de "U" sendo tamén desprezables os valores de h.

Co que podemos dicir,

$$U = \frac{\lambda}{e}$$

Unha vez establecido o coeficiente de transferencia térmica global “U”, a ganancia de calor ven dada pola ecuación básica:

$$Q_{\text{paredes-día}} = U \times S \times \Delta t$$

onde:

U = Coeficiente global de transferencia térmica en W/m² °C.

S = Superficie exterior da cámara, en m².

Δt = Diferenza entre as temperaturas do exterior e o interior da cámara, en °C.

Polo tanto,

$$Q_{\text{paredes}} = Q_{\text{paredes-día}} \frac{24\text{h}}{n^{\circ}\text{h} - \text{compresor}}$$

1.1.2. Carga térmica do produto

As fontes primarias de carga de refrixeración debidas ao propio produto introducido e almacenado no espazo interior da cámara son:

1. Extracción de calor requirida para levar ao produto á temperatura do espazo refrixerado.
2. A continua xeración de calor por parte dos produtos xa almacenados e refrixerados, principalmente froitas e hortalizas.

Un produto almacenado nunha cámara frigorífica a temperatura máis alta que a do recinto, perderá calor ata que alcance esta última. A cantidade de calor a extraer pode ser calculada mediante o coñecemento do produto, incluíndo o seu estado ao entrar na cámara, o seu estado final, a súa masa, a súa calor específica antes e despois da conxelación, a súa temperatura de conxelación e a súa calor latente. Estes datos encóntranse en táboas para os distintos produtos.

Cando unha masa definida, dun produto, ha de ser arrefriado dende un estado e temperatura a outro distinto, algún ou todos os seguintes pasos deberán ser realizados:

1. Extracción de calor, para arrefriar o produto, dende a súa temperatura inicial ata outra máis baixa, pero nunca por debaixo da de conxelación:

$$Q = M \cdot C_1 \cdot (t_1 - t_2)$$

2. Extracción de calor, para conxelar o produto:

$$Q = M \cdot C_L$$

3. Extracción de calor, para arrefriar o produto, dende o seu punto de conxelación ata outra máis baixa:

$$Q = M \cdot C_2 \cdot (t_c - t_3)$$

Onde:

Q = Calor extraído.

M = Masa do produto.

C₁ = Calor específico do produto antes da súa conxelación.

C_2 = Calor específico do produto por debaixo da súa conxelación.

C_L = Calor latente de conxelación.

t_1 = Temperatura inicial do produto antes da súa conxelación.

t_2 = Temperatura final do produto antes da súa conxelación.

t_C = Temperatura de conxelación do produto.

t_3 = Temperatura final do produto despois da súa conxelación.

As froitas frescas e hortalizas desprenden calor durante a súa almacenaxe refrixerada. Ao permanecer aínda vivas, continúan experimentando cambios ao longo do devandito período, os máis importantes dos cales se produce por respiración, un proceso que combina o osíxeno do aire co carbono do tecido da planta. Durante este proceso prodúcese un desprendemento de enerxía en forma de calor. A súa cantidade varía segundo o tipo de produto e a súa temperatura; canto máis frío está, menor é a calor de respiración ($Q_{\text{respiración}} = M \times C_{\text{respiración-día}}$).

Cando as embalaxes, caixas ou outro tipo calquera de materiais de protección ou transporte representan unha parte significativa da masa total introducida, esta ganancia hai que tela en conta ($Q_{\text{embalaxes}}$). Teremos polo tanto que a calor debido á carga por produto será:

$$Q_{\text{carga-prod-total}} \text{ (kJ/24h)} = Q_{\text{arrefriamento}} + Q_{\text{respiración}} + Q_{\text{embalaxes}}$$

Este valor se non nos vén dado en kJ, debemos realizar o correspondente cambio de unidades.

É necesario extraer a calor do produto nun número dado de horas. A carga equivalente é:

$$Q_{\text{producto}} = \frac{Q_{\text{producto-total}}}{n^{\circ}h - \text{arrefriamento}}$$

1.1.3. Cambios de aire

Cada vez que a porta da cámara é aberta, o aire exterior penetra na zona refrixerada. A temperatura e humidade relativa deste aire cálido deben ser integradas nas condicións interiores da cámara, co subseguinte incremento da carga de refrixeración. É difícil determinar esta con certo grao de exactitude. A cantidade de veces que a porta ha de abrirse, depende máis do volume da cámara que do número de portas. Existen táboas que indican o número de cambios de aire (renovacións) en 24 horas, para distintos volumes de cámaras, baseado en experiencias prácticas.

FACTORES DE RENOVACIÓN DE AIRE EN CÁMARAS FRIGORÍFICAS (FONTE INTERCLISA)

Volume inferior en m ³	T. superior a 0°C	T. inferior a 0°C	Volume inferior en m ³	T superior a 0°C	T inferior a 0°C
5	50,1	38,0	500	3,7	2,8
10	31,1	24,2	625	3,3	2,5
15	25,3	19,6	750	2,9	2,3
20	21,2	16,9	1000	2,5	1,9
25	18,7	14,9	1250	2,2	1,7
30	16,7	13,5	1800	1,66	1,42
40	14,3	11,7	2400	1,43	1,22
50	12,8	10,2	3000	1,35	1,11
75	10,1	8,0	4000	1,23	0,99

100	8,7	6,7	5000	1,17	0,93
125	7,7	6,0	6000	1,11	0,86
150	7,0	5,4	8000	1,05	0,85
200	5,9	4,6	10000	0,97	0,83
250	5,3	4,1	12000	0,91	0,81
375	4,2	3,2	14000	0,87	0,80

En caso de tráfico intenso de persoal ou mercadorías, multiplíquese o valor da táboa por 2.

Si os períodos de almacenamento son moi longos multiplíquese por 0,6.

Para reducir a infiltración a través as portas poden utilizarse varios sistemas, entre os que se encontran as cortinas de aire ou de bandas elásticas, as antecámaras e as portas automáticas.

$$Q_{\text{aire-día}} \text{ (kJ/24h)} = m^3_{\text{cámara}} \times f \times \Delta H_{\text{aire-ren}} \text{ (kJ / kg)} \times 1,2 \text{ kg / m}^3$$

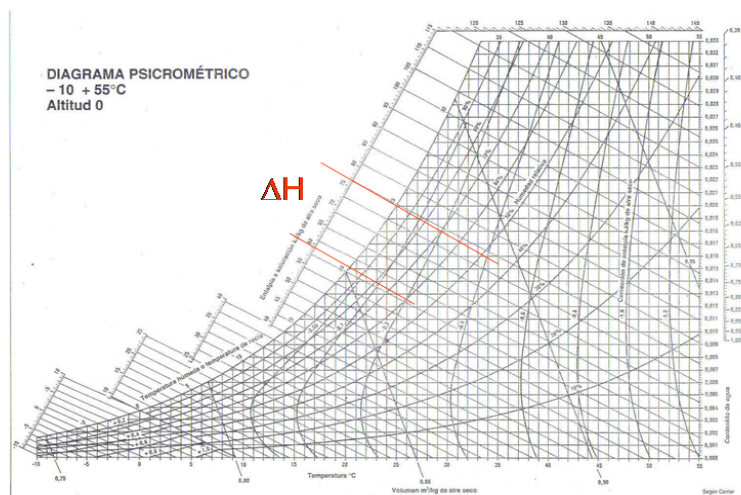


DIAGRAMA PSICOMÉTRICO CÁLCULO DA DIFERENZA DE ENTALPÍAS

$\Delta H_{\text{aire-ren}} = \text{Sacado do diagrama psicrométrico}$

$$Q_{\text{renovación}} = \frac{Q_{\text{aire-día}}}{3600 \times h - \text{compresor}}$$

1.1.4. Ganancia de calor de fontes internas

Toda enerxía eléctrica disipada no interior do espazo refrixerado (iluminación, motores, quentadores, etcétera) debe ser incluída na carga térmica; no caso de ventiladores que van provocar aumento de temperatura do aire por rozamento de aletas con este, é conveniente aumentar polo menos nun 50% a enerxía disipada con respecto á potencia do motor para ventiladores de menos de 2 KW.

As persoas desprenden calor en distintas proporciones, dependendo de la temperatura, tipo de traballo, vestimenta, corpulencia, etc.

CALOR DESPRENDIDO POR PERSOAS EN CÁMARAS FRIGORÍFICAS

Temperatura da cámara en °C	Calor equiv. Por persoa en Kw
10,0	0,211
4,4	0,246
-1,1	0,278
-6,7	0,308
-12,2	0,352
-17,8	0,381
-23,3	0,410

Cando o ocupante penetre na cámara por curtos espazos de tempo, arrastrará consigo grandes cantidades de calor, moi por enriba das indicadas na táboa; por iso, estas deben aumentarse se o tránsito deste tipo de carga é importante.

$$Q_{\text{interno}} = \frac{Q_{\text{interno}} - \text{dia}}{n^{\circ} h - \text{compresor}} \times 24h$$

1.1.5. Factor de seguridade

As cargas de refrixeración calculadas para unha cámara dada, poden variar por unha serie de necesidades reais como variacións na temperatura de ingreso do produto, maior frecuencia da prevista na apertura de portas, mestura de produtos, variación dos procedementos de embalaxe e/ou almacenamento, frecuencia das entradas, etc. O factor de seguridade, como produto da experiencia, demostrou que cobre estas variacións imprevistas. Case todos os cálculos inclúen un 10% como seguridade. Este factor pode ou non estar xustificado nun caso determinado, no que pode ser excesivo ou demasiado baixo. Á hora de calcular débese utilizar o devandito factor da forma máis oportuna para cubrir as necesidades frigoríficas sen quedar escaso.

$$Q = Q_{\text{paredes}} + Q_{\text{produto}} + Q_{\text{aire}} + Q_{\text{interna}}$$

$$Q_T = Q + 10\% Q$$

1.1.6. Densidade de almacenamento

Para poder estimar a cantidade de produto que entra nunha cámara hai que partir de datos da experiencia en función do tipo de produto.

DENSIDADE DE ALMACENAMENTO DE PRODUTO EN CÁMARAS FRIGORÍFICAS

PRODUTO	DENSIDADE DE ALMACENAMENTO
Carne de boi colgada	300-350 Kg por m ²
Carne de cordeiro colgada	150-200 Kg por m ²
Carne de porcino colgada	300-350 Kg por m ²
Polo fresco ou conxelado	165 Kg por m ³
Queixos	200 Kg por m ³

Froitas	200-250 Kg por m ³
Pescado	350-400 Kg por m ³
Ovos	300 dúcias por m ³
Boi conxelado	400-500 Kg por m ³
Cordeiro conxelado	400-500 Kg por m ³
Porcino conxelado	350-500 por m ³

1.2. Cálculo da carga térmica na cámara obxecto de estudo

Partimos dunha cámara de panel sándwich de poliuretano inxectado cun espesor de illante de 100 mm. As súas medidas exteriores son 2,8m de ancho por 4,6m de longo por unha altura de 2,52m. O chan esta fabricado co mesmo grosor de illante pero con chapa reforzada; e a cámara está colocada sobre listóns para permitir o tránsito de aire e impedir a conxelación do terreo (baleiro sanitario con canles de ventilación). A temperatura exterior da cámara é de 35°C cun 50% de humidade relativa. As condicións exteriores do chan estimanse en 30°C 60% Hr. A cámara é para unha capacidade de almacenamento de 10.000 kg de carne conxelada de porcino; entrando ao día a -9°C unha cantidade diaria de 1200 kg de carne querendo arrefriar o produto en 5 horas á súa temperatura de conservación conxelado de -18°C 80% Hr. Se Previsé un tempo de funcionamento máximo ao día do equipo de 19h.

$$Q = Q_{\text{paredes}} + Q_{\text{produto}} + Q_{\text{aire}} + Q_{\text{interna}}$$

1.2.1. Carga por paredes

O coeficiente global de transferencia térmica (transmitancia), U, do paramento é o primeiro que calcularemos:

Desprezando h e a chapa de aceiro quedamos só co illante que presenta un grosor de 105mm, e o coeficiente de condutividade térmica é $\lambda = 0,024 \text{ W/m}^\circ\text{K}$.

Polo que podemos dicir que coeficiente global de transferencia térmica es :

$$U = \frac{\lambda}{e} = \frac{0,024}{0,100} = 0,24 (\text{W} / \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K})$$

Calculamos a superficie exterior de paredes e teito e a superficie do chan:

$$S_{\text{paredes+teito}} = 4 \times ((1,41 + (2 \times 0,105)) \times (2,22 + (2 \times 0,105))) + (1,41 \times 1,41) = 17,72 \text{m}^2.$$

$$S_{\text{chan}} = 1,41 \times 1,41 = 1,98 \text{m}^2.$$

A temperatura interior da cámara é -18°C. A diferenza de temperaturas entre a interior e a exterior da cámara será:

$$\Delta t_{\text{paredes}} = 35 - (-18) = 53^\circ\text{C}.$$

$$\Delta t_{\text{chan}} = 30 - (-18) = 48^\circ\text{C}.$$

Polo tanto,

$$Q_{\text{paredes-dia}} = U \times S \times \Delta t$$

$$Q_{\text{paredes-dia paredes+teito}} = 0,24 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}} \times 16,07 \text{m}^2 \times 53^\circ\text{C} = 204,41 \text{ W}$$

$$Q_{\text{paredes-dia chan}} = 0,24 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}} \times 1,98 \text{m}^2 \times 48^\circ\text{C} = 22,81 \text{ W}$$

$$Q_{\text{paredes-dia}} = Q_{\text{paredes-dia paredes+teito}} + Q_{\text{paredes-dia chan}}$$

$$Q_{\text{paredes-día}} = 204,41 + 22,81 = 227,22 \text{ W}$$

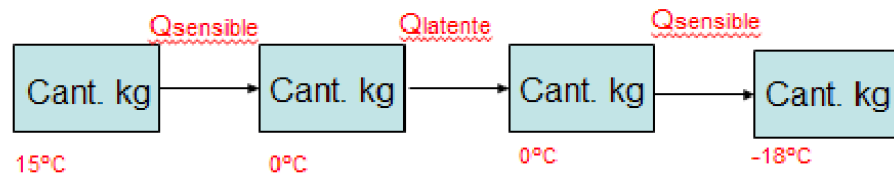
Como se prevé un tempo de funcionamento máximo o día do equipo de 19 horas.

$$Q_{\text{paredes}} = Q_{\text{paredes-día}} \frac{24h}{n^{\circ} h - \text{compresor}} = 227,22 \frac{24}{19} = 287,01 \text{ W} \approx 0,287 \text{ Kw}$$

1.2.2. Carga por produto

Consideraremos 40,66 litros de auga que entra a unha temperatura de 15°C e temos que arrefriar a -18°C en 6 horas.

A potencia necesaria será:



$$Q_{\text{enfriamiento producto-día}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_1 = M \times C_e \times \Delta t = 380 \text{ kg} \times 1 \text{ kcal/(h} \times \text{kg} \times ^{\circ}\text{C)} \times 15^{\circ}\text{C} = 5.700 \text{ kcal}$$

$$Q_2 = M \times C_l = 380 \text{ kg} \times 80 \text{ kcal/(kg)} = 30.400 \text{ kcal}$$

$$Q_3 = M \times C_e \times \Delta t = 380 \text{ kg} \times 0,45 \text{ kcal/(h} \times \text{kg} \times ^{\circ}\text{C)} \times 18^{\circ}\text{C} = 3.078 \text{ kcal}$$

$$Q_{\text{enfriamiento producto-día}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 5.700 \text{ kcal} + 30.400 \text{ kcal} + 3.078 \text{ kcal} = 39.178 \text{ kcal}$$

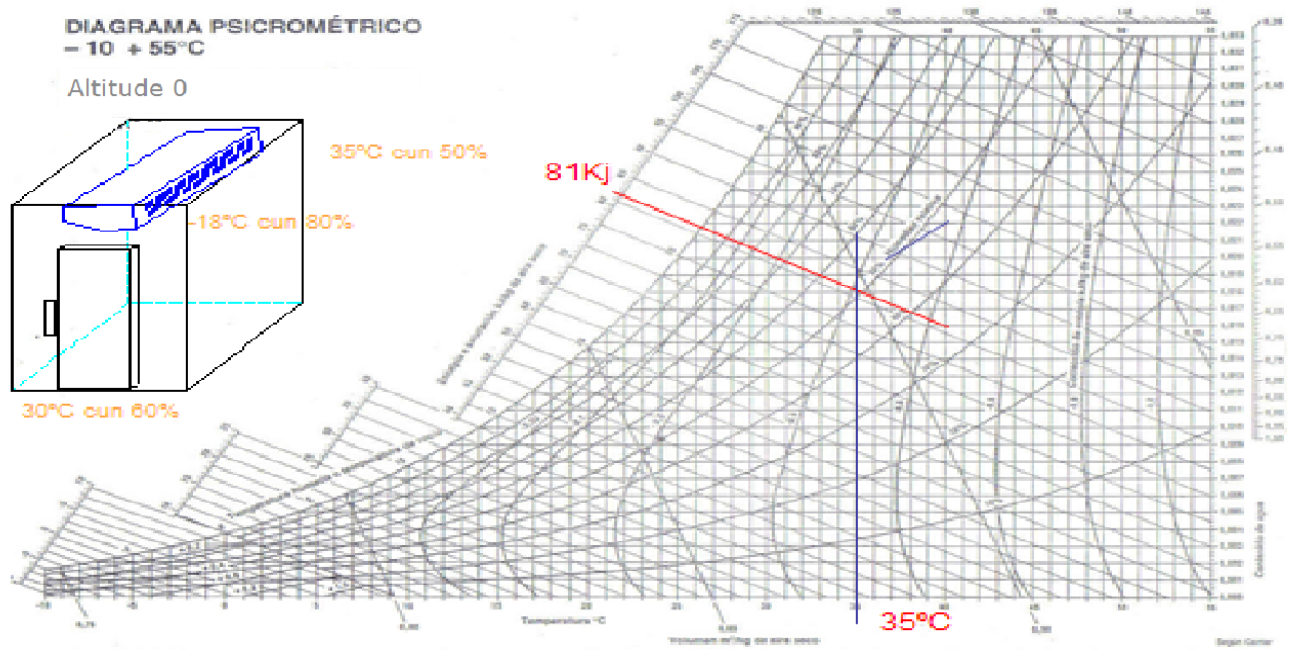
$$Q_{\text{producto}} = \frac{Q_{\text{enfriamiento-producto-día}}}{n} = \frac{39.178 \text{ kcal}}{5 \times 3600} = 2,18 \text{ kW}$$

1.2.3. Carga por aire

Comezamos calculando o volume interior da cámara, para elo, as medidas exteriores da cámara restámoslle o grosor das paredes.

$$V_{\text{cámara interior}} = (1,41 - (2 \times 0,105)) \times (1,41 - (2 \times 0,105)) \times (2,22 - (2 \times 0,105)) = 2,89 \text{ m}^3$$

CONDICIÓNS DE ENTALPÍA DO AIRE (FONTE CARRIER)



Como a nosa cámara é menor que o volume mínimo, seleccionamos o valor da táboa para a cámara de menor tamaño, polo que $f=36$.

No diagrama psicrométrico achamos a entalpía do aire para as condicións exteriores.

Para as condicións interiores -18°C 80%RH estimamos -18kJ.

$$\Delta H_{\text{aire-ren}} = 81 - (-18) = 99 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{aire-día}} (\text{kJ}/24\text{h}) = m^3 \text{ cámara} \times f \times \Delta H_{\text{aire-ren}} (\text{kJ} / \text{kg}) \times 1,2 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$Q_{\text{aire-día}} = 2,89 \text{ m}^3 \times 36 \times 99 \text{ kJ} \times 1,2 \text{ m}^3/\text{kg} = 12.359,95 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{aire}} = \frac{Q_{\text{aire-día}}}{3600 \times n^{\circ} h - \text{compresor}} = \frac{12.359,95 \text{ kJ}}{3600 \text{ seg} / h \times 19 h} = 0,180 \text{ Kw}$$

1.2.4. Carga interna

Como non hai ningunha causa puntual de achega interna de calor nesta cámara salvo o funcionamento dos ventiladores de evaporador; estimaremos un 10% da suma de $Q_{\text{paredes}} + Q_{\text{produto}} + Q_{\text{aire}}$ que englobase as perdas polo funcionamento de ventiladores, iluminación puntual e persoas en cámara puntualmente.

$$Q_{\text{interna}} = 0,1 \times (Q_{\text{paredes}} + Q_{\text{produto}} + Q_{\text{aire}}) = 0,1(0,287 + 2,18 + 0,180) = 0,265 \text{ Kw}$$

1.2.5. Carga total

Engadimos a porcentaxe de seguridade do 10%

$$Q = 1,1(Q_{\text{paredes}} + Q_{\text{produto}} + Q_{\text{aire}} + Q_{\text{interna}})$$

$$Q_T = 1,1(0,287 + 2,18 + 0,180 + 0,265) = 3,21 \text{ Kw}$$

2. Exercicios relacionados con esta unidade de traballo

1. Calcular a carga térmica para unha cámara frigorífica das seguintes características:

- Fronte: 4 m.
- Profundidade: 3 m.
- Altura: 2,5 m.
- Material dos paneis: Espuma de poliuretano de $40 \frac{\text{Kgr}}{\text{m}^3}$ de densidade.
- Espesor dos paneis: 140 mm.
- Entrada de xénero o día: 5000Kgr.
- Temperatura de entrada de xénero: -8°C
- Xénero a conservar: Carne de vaca
- Temperatura de conservación: -18°C
- Humidade relativa no interior da cámara: 80%
- Uso da cámara: detallista
- Temperatura ambiente: 25°C
- Refrixerante: R404A

2. Consideremos unha cámara para conxelar pescado, preenfriado a 4°C , a razón de 25000Kg/día. O embalaxe consiste en caixas de madeira (10% da masa total, 2500Kg/día). As dimensións exteriores da cámara son (6m.x9m.) x 3 m., illadas con poliuretano ($\lambda=0,020 \text{ W/mxk}$). As condicións exteriores son 32°C (zona climática A) y 70% de humidade relativa ($h_e=86,43 \text{ Kj/Kg}$, $\rho_e=1,14 \text{ Kg/m}^3$). A temperatura no interior da cámara é de -23°C con humidade relativa del 95% ($h_i=-21,98 \text{ Kj/kg}$, $\rho_i=1,41 \text{ Kg/m}^3$). A temperatura do chan se considera de 15°C . Os evaporadores teñen 4 ventiladores accionados por motores de 150W, funcionando 18h/día. Na cámara traballan catro persoas durante 3 h/día. Os datos do produto son:

- Temperatura de almacenamento: $-18^\circ\text{C}/-29^\circ\text{C}$
- Humidade relativa: 90% - 95%
- Duración en almacenamento: 6 meses/12 meses
- Punto de conxelación: $-2,2^\circ\text{C}$

3. Calcular a carga térmica para unha cámara frigorífica das seguintes características:

- Cámara de conservación de carne a 0°C 85%
- Medidas interiores: 10 m. largo x 5 m de ancho x 3 m. de alto
- Volume interior: 150 m^3
- Situada en Barcelona (temperatura exterior de cálculo de 31°C e humidade relativa 68%)
- Illante: Poliuretano. Teito e paredes: 10 cm. Chan: 8 cm.
- Entrada de 4500 Kg/día de carne a $+30^\circ\text{C}$
- Calor específico da carne sobre conxelación: $0,75 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$
- Horario de funcionamento: 16 horas ao día.
- Refrixerante: R404A

3. Módulos relacionados con esta unidade de traballo

Ciclo superior de mantemento de instalacións térmicas e de fluídos

- 0121-Equipos e instalacións térmicas
- 0134-Configuración de Instalacións térmicas e de fluídos
- 0135-Mantemento de instalacións frigoríficas e de climatización

Ciclo superior de desenvolvemento de proxectos de instalacións térmicas e de fluídos

- 0121-Equipos e instalacións térmicas
- 0126-Configuración de instalacións frigoríficas
- 0127-Configuración de instalacións de fluídos

Ciclo superior en eficiencia enerxética e enerxía solar térmica

- 0121-Equipos e instalacións térmicas
- 0349-Eficiencia enerxética de instalacións

Ciclo medio instalacións frigoríficas e de climatización

- 0036- Máquinas e equipamentos térmicos
- 0039- Configuración de instalacións de frío e climatización.
- 0040- Montaxe e mantemento de equipamentos de refrixeración comercial.
- 0041- Montaxe e mantemento de instalacións frigoríficas industriais.

Ciclo medio de produción de calor

- 0036- Máquinas e equipamentos térmicos