

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ

Facultad De Ciencias Aplicadas
EAP de Ingeniería Agroindustrial

OPERACIONES UNITARIAS II



DISEÑO DE CAMARAS FRIGORIFICAS

FACILITADOR : MSc. Miguel Angel QUISPE SOLANO

TARMA – PERÚ

DISEÑO DE CAMARAS DE FRIO

DISEÑO

Se divide en 3 etapas:

- a) Layout
- b) Carga de enfriamiento
- c) Selección de equipos

LAYOUT

- Define los espacios, la distribución de espacio y la distribución de equipos.
- Se debe establecer como será la cámara (geometría)
- Determinar la posición de los equipos, se determina la posición de puertas (entrada y salida),
- Determinar dimensiones de la cámara (físicas) y espacio físico para apilar y como se va a pilar
- Se determina espacio de los pasillos, pre-cámara o cortinas de aire, iluminación

CARGA DE ENFRIAMIENTO

- Se define composición y espesores de paredes de la cámara, techo y piso.
- Se calcula carga térmica de enfriamiento.
- **Selección** vía catalogo los equipos (evaporador, compresor, condensador y válvula de expansión).

AIRE ACONDICIONADO

- El acondicionamiento del aire es el proceso que enfría, limpia y circula el aire, controlando, además, su contenido de humedad. En condiciones ideales se logra todo esto de manera simultánea.
- Como enfriar significa eliminar calor, otro termino utilizado para decir refrigeración, es el aire acondicionado

CARACTERISTICAS DEL ALMACEN

- Capacidad : 4 ton
- Recipientes : cajas de plástico de 10 kg
- Ingreso por día del producto: 1 ton
- Dimensiones de la caja de plástico:
 - l = 0,50 m
 - a = 0,30 m
 - h = 0,40 m
- T° Camara : 0°C, HR = > 95% (Almacenamiento óptimo por 2 semanas)
- T° exterior : 20°C

CALCULOS

a. VOLUMEN DE CAJAS

- Nº DE CAJAS = $4000/10 = 400$ Cajas
- Volumen de una caja = $0,5 \times 0,3 \times 0,4 = 0,06 \text{ m}^3$
- S=Volumen total = $0,06 \text{ m}^3 \times 400 = 24 \text{ m}^3$

b. INGRESO POR DIA

- 1 ton de Alcachofa
- Se requiere de 100 cajas
- $C = 100 \times 0,06 \text{ m}^3 = 6 \text{ m}^3$

Dimensiones de la caja de plástico:

- $l = 0,50 \text{ m}$
- $a = 0,30 \text{ m}$
- $h = 0,40 \text{ m}$



CALCULOS

VOLUMEN DE LA CAMARA

$$V = 2,5 \times (C + S)$$

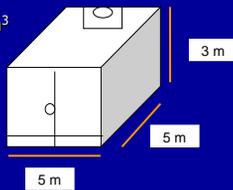
$$V = 2,5 \times (6 + 24) = 75,0 \text{ m}^3$$

ALTURA DE LA CAMARA

$$h = 3,00$$

DIMENSIONES DE LA CAMARA

- Largo = 5 m
- Ancho = 5 m
- Altura = 3 m



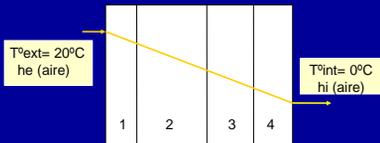
1. CARGA DE FUGA (Q_f)

Calor que entra a través de las paredes, techo y piso

a. A TRAVÉS DE PAREDES Y TECHO

- Área paredes = 60 m^2
- Área techo = 25 m^2
- T° Cámara = 0°C
- T° Exterior = 20°C

Las paredes y el techo estará conformado de **4 capas de afuera hacia adentro**: Enlucido exterior, Ladrillo, Poliuretano Expandido, Enlucido interior.



Material	Espesor (pulg)	K BTU/h-pie-°F	h BTU/h-pie²-°F
1 Enlucido exterior	1	12	
2 Ladrillo	10	5	
3 Poliuretano expandido	0,5	0,17	
4 Enlucido interior pared	1	0,58	
Enlucido interior techo	1	3	
Aire en movimiento (he)			6
Aire tranquilo (hi)			1,65

CALCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR (U)

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \frac{L_1}{K_1} + \frac{L_2}{K_2} + \frac{L_3}{K_3} + \frac{L_4}{K_4} + \frac{1}{h_i}$$

PAREDES

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{6} + \frac{0,083}{12} + \frac{0,83}{5} + \frac{0,041}{0,17} + \frac{0,083}{0,58} + \frac{1}{1,65}$$

$$1/U = 1,344$$

$$U = 0,74 \text{ BTU/h-pie}^2\text{-}^\circ\text{F}$$

$$1 \text{ BTU/h-pie}^2\text{-}^\circ\text{F} = 1,3571 \text{ cal/s-m}^2\text{-}^\circ\text{C}$$

$$U = 3,635 \text{ Kcal/h-m}^2\text{-}^\circ\text{C}$$

Multiplíquese por para obtener
BTU/h-pie²-°F 4.8825 Kcal/h-m²-°C

CALOR EN PAREDES (Q_p)

$$Q_p = A_p \times U_p \times (T_{ex} - T_{cam})$$

$$Q_p = (60)(3,635)(20 - 0)(24) = 104688 \text{ Kcal/24 h}$$

TECHO

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{6} + \frac{0,083}{12_1} + \frac{0,83}{5} + \frac{0,041}{0,17_3} + \frac{0,083}{3} + \frac{1}{1,65}$$

$$1/U = 1,21$$

$$U = 0,83 \text{ BTU/h-pie}^2\text{-}^\circ\text{F} = 4,0 \text{ Kcal/h-m}^2\text{-}^\circ\text{C}$$

CALOR EN EL TECHO (Q_T)

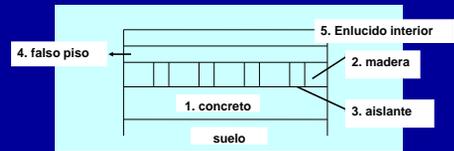
$$Q_T = A_T \times U_T \times (T_{ex} - T_{cam})$$

$$Q_T = (25)(4)(20 - 0)(24) = 48000 \text{ Kcal/24 h}$$

b. A TRAVÉS DEL PISO

$$\begin{aligned} \text{Área piso} &= 25 \text{ m}^2 \\ T^\circ \text{ Cámara} &= 0^\circ\text{C} \\ T^\circ \text{ promedio del suelo} &= 7^\circ\text{C} \end{aligned}$$

- El piso estará conformado de 4 capas del suelo a la cámara: Concreto, aislante y madera contrachapada en serie, falso piso, enlucido interior



Material	Espesor (pulg)	K BTU/h-pie ² -°F	h BTU/h-pie ² -°F
1 Concreto	15	12	
2 Madera	0,5	1,6	
3 Poliuretano expandido	0,5	0,17	
4 Falso piso	3	5	
5 Enlucido interior	2	0,58	
Aire tranquilo (hi)			1,65

PISO

$$\frac{1}{U} = \frac{1,25}{12_1} + \frac{0,0416}{1,6} + \frac{0,0416}{0,17} + \frac{0,25}{5} + \frac{0,167}{0,58} + \frac{1}{1,65}$$

$$1/U = 1,143$$

$$U = 0,874 \text{ BTU/h-pie}^2\text{-}^\circ\text{F} = 4,27 \text{ Kcal/h-m}^2\text{-}^\circ\text{C}$$

CALOR EN EL PISO (Q_{piso})

$$Q_{piso} = A_{piso} \times U_{piso} \times (T_{suelo} - T_{cam})$$

$$Q_p = (25)(4,27)(7 - 0)(24) = 17934 \text{ Kcal/24 h}$$

CARGA DE FUGA (Q_f)

$$Q_{fuga} = Q_{pared} + Q_{techo} + Q_{piso}$$

$$Q_{fuga} = 104688 + 48000 + 17934$$

$$Q_{fuga} = 170622 \text{ Kcal / 24h}$$

2. CARGA POR RENOVACIONES (Q_{ren})

$$Q_{ren} = (V)x(N^\circ_{renov})x(f)$$

f = Factor de cambio de aire
 N° = Número de renovaciones de aire

a. N° de Renovaciones de aire.

VOLUMEN DE LA CAMARA (m³)	CAMBIOS DE AIRE EN 24 HORAS
28	17,5
57	12,0
75	10,39
85	9,5
113	8,2

Para un Volumen de 75 m³ se realiza una interpolación simple

$$\frac{85 - 57}{85 - 75} = \frac{9,5 - 12}{9,5 - x}$$

$$x = 10,39$$

b. Factor de Cambio de aire (f)

TEMPERATURA DE CAMARA (°C)	FACTOR (f)
0	26,17
4,4	23,32
10,0	19,76

$$Q_{ren} = (75)x(10,39)x(26,17) = 20392,97 \text{ Kcal/24h}$$

3. CARGA DEL PRODUCTO

CALOR DE CAMPO

- $Q_c = m \times C_p \times (T_{ini} - T_{cam})$
 m = masa de producto que ingresa por día a la cámara = 1000 kg
 C_p = capacidad calorífica de la Alcachofa = 0,87 Kcal/°C-kg
- T_{ini} = Temperatura externa = 20°C
- T_{cam} = temperatura de cámara = 0°C

$$Q_c = (1000kg) \times (0,87 Kcal / ^\circ C - kg) \times (20 - 0)^\circ C$$

$$Q_c = 17400 Kcal / 24h$$

CALOR DE RESPIRACION

$$Q_{RESP} = (M) \times (H_{RESP}) \times (24)$$

HRESP = Calor de Respiración de la alcachofa

PRODUCTO	H _{RES} (Kcal/kg-h)	
	0°C	15,5°C
Alcachofa	0,05	0,1965

$$Q_{RESP} = (4000)(0,05)(24) + (1000)(0,1965)(24) = 9516 Kcal / 24h$$

CARGA TOTAL

$$Q_{TOTAL} = \frac{Q_f + Q_{REN} + Q_p \times 1,1}{16}$$

$$Q_{TOTAL} = \frac{170622 + 20392,97 + 17400 + 9516}{16} \times 1,1$$

$$Q_{TOTAL} = 14982,7542 Kcal / 24h$$

$$Q_{TOTAL} = 4,9515 ton$$

1 ton = 200 BTU/min
 1 BTU/min = 15,1296 Kcal/h
 1 ton de refrigeración = 3025,92 Kcal/h

Porcentajes Relativos

Q	Kcal/24 h	%
Renovaciones	170622	78.29
Fuga	20392.97	9.36
Campo	17400	7.98
Respiración	9516	4.37
QTotal	217930.97	100