

# Estimación de Cargas de Refrigeración

- Objetivo: Relevar todas las fuentes que aportan calor para diseñar adecuadamente los componentes del sistema.
- Se aplica en el diseño de instalaciones nuevas, en ampliaciones de las existentes, o para evaluar posibles mejoras de eficiencia energética.

# Estimación de Cargas de Refrigeración

## 1ª Etapa: Relevamiento.

### Comprende:

- Características operativas (congelación, enfriamiento, movimiento de cargas, tiempos, etc.);
- Características de los productos (propiedades físicas, envases, cantidades, formas de almacenamiento, etc.);
- Características edilicias (distribución de áreas, volúmenes necesarios, tipo de construcción, orientación).

# Estimación de Cargas de Refrigeración

2ª Etapa: Evaluación de cargas térmicas.

Las fuentes principales de calor son:

- Transmisión a través de las estructuras;
- Efecto solar.
- Infiltración de aire exterior;
- Fuentes de calor internas;
- Carga de enfriamiento del producto;

## Transmisión a través de las estructuras

- Es el calor transferido desde el exterior a través de paredes, techo y piso.
- Está directamente vinculado a las características aislantes del material de construcción, al salto térmico y a las dimensiones del espacio refrigerado.
- El mecanismo que gobierna la transferencia de calor es el de conducción:

$$q = k (A/x) (t_o - t_i)$$

$q$  = calor transferido (W);  $k$  = conductividad (W/m.K);

$A$  = área de transferencia (m<sup>2</sup>);  $x$  = espesor (m);

$t_o$  y  $t_i$  = temperaturas de pared.

# Transmisión a través de las estructuras

## Conductividad de Materiales Aislantes

Material	Conductividad	
	W/m.K	Btu.in/hr.ft <sup>2</sup> .°F
Espuma de vidrio	0.050	0.35
Fibra de vidrio	0.036	0.25
<b>Espuma de poliuretano (**)</b>	<b>0.028</b>	0.19
<b>Poliestireno expandido (**)</b>	<b>0.035</b>	0.24

# Transmisión a través de las estructuras

Para determinados materiales de construcción resulta mas conveniente emplear valores de Conductancia (C), con unidades  $W/m^2.K$ .

Especialmente cuando se trata de materiales no homogéneos, p.ej.: ladrillos huecos.

La ecuación queda:

$$q = C.A. (t_o - t_i)$$

$C = k/x$  para materiales homogéneos.

# Transmisión a través de las estructuras

## Conductancia de Materiales

Material	Conductancia	
	W/m <sup>2</sup> .K	Btu/hr.ft <sup>2</sup> .°F
Bloque hormigón 20cm espesor	3.30	0.58
Ladrillo hueco	3.75	0.66
Hormigón (10 cm)	17.75	3.13
Ladrillo (7,5 cm)	17.21	3.03

# Transmisión a través de las estructuras

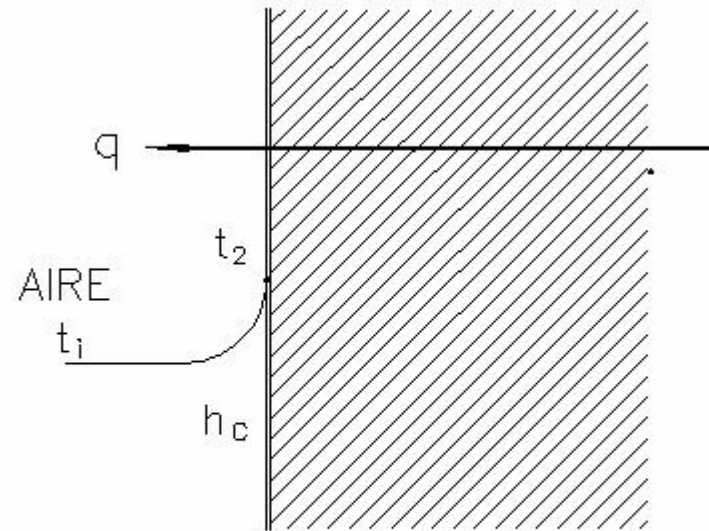
- Las ecuaciones anteriores se aplican cuando se tienen las temperaturas de pared pero, en la práctica, lo que se tiene son temperaturas de aire, interno y externo.
- En este caso se debe introducir el coeficiente de convección  $h_c$  (W/m<sup>2</sup>.K), que es el que gobierna la transferencia en la interfase.

$$q = h_c A (t_1 - t_2)$$

- El coeficiente de convección es función de la velocidad de aire sobre la superficie y, en menor medida, del tipo de superficie.



# Transmisión a través de las estructuras



$$q = h_c A (t_2 - t_i)$$

# Transmisión a través de las estructuras

Coeficientes de convección de algunas superficies.

Superficie	Coeficiente	
	W/m <sup>2</sup> .K	Btu/hr.ft <sup>2</sup> .°F
Lisa; velocidad de aire: 6.7 m/s, invierno	34.00	6.00
Idem; 3.4 m/s, verano	23.00	4.00
Aire quieto:		
Sup. Vertical	8.30	1.46
Sup horizontal, calor asc. (Piso)	9.30	1.36
Sup horizontal, calor des. (Techo)	6.10	1.08

# Transmisión a través de las estructuras

Considerando la sumatoria de resistencias gobernadas por coeficientes de transferencia individuales, y por similitud con el análisis de las resistencias en serie en los circuitos eléctricos, se llega a la expresión

$$q/A = (t_o - t_i) / R; \text{ donde } R = \sum R_i;$$

En conducción:  $R_i = x/k$ ; Convección:  $R_i = 1/h_c$ .

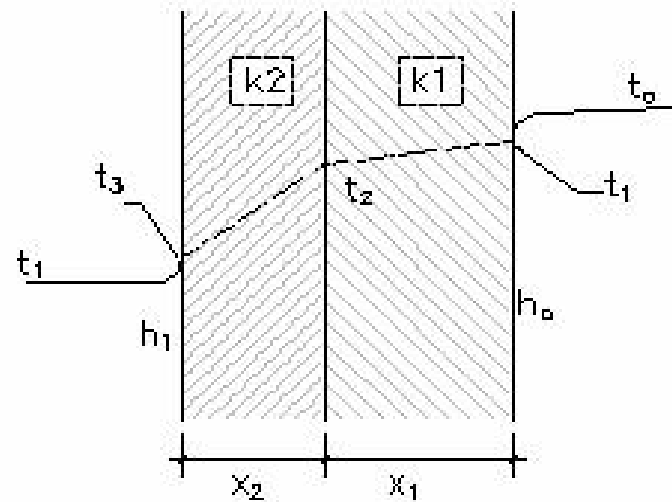
De aquí se llega al concepto de coeficiente global  $U = 1/R$  (W/m<sup>2</sup>.K),

$$q/A = U (t_o - t_i)$$

Cuando hay varios materiales:

$$R_T = 1/h_o + \sum (x_i/k_i) + 1/h_i$$

# Transmisión a través de las estructuras



$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{h_0} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{1}{h_1}$$

Cálculo de Calor vs. Espesor Aislante:					
To = 29° C		Ti = 0°C			
Determinar flujo de calor por m2 de pared.					
Pared: Isopanel con poliestireno expandido (k=0.035)					
Datos:					
1/ho =	1/23 =	0.044	m2.K/W		
Espesor 10cm	0.1/0.035	2.857	m2.K/W		
1/hi=	1/8.3=	0.120	m2.K/W		
Rt =	$\sum Ri =$	3.021	m2.K/W		
q=	(To-Ti)/Rt=	9.599	W	<=>	8.255 kcal/h
Espesor 15cm	0.15/0.035	4.286	m2.K/W		
Rt=	$\sum Ri =$	4.450	m2.K/W		
q=	(To-Ti)/Rt=	6.517	W	<=>	5.605 kcal/h

# Transmisión a través de las estructuras

Materiales:

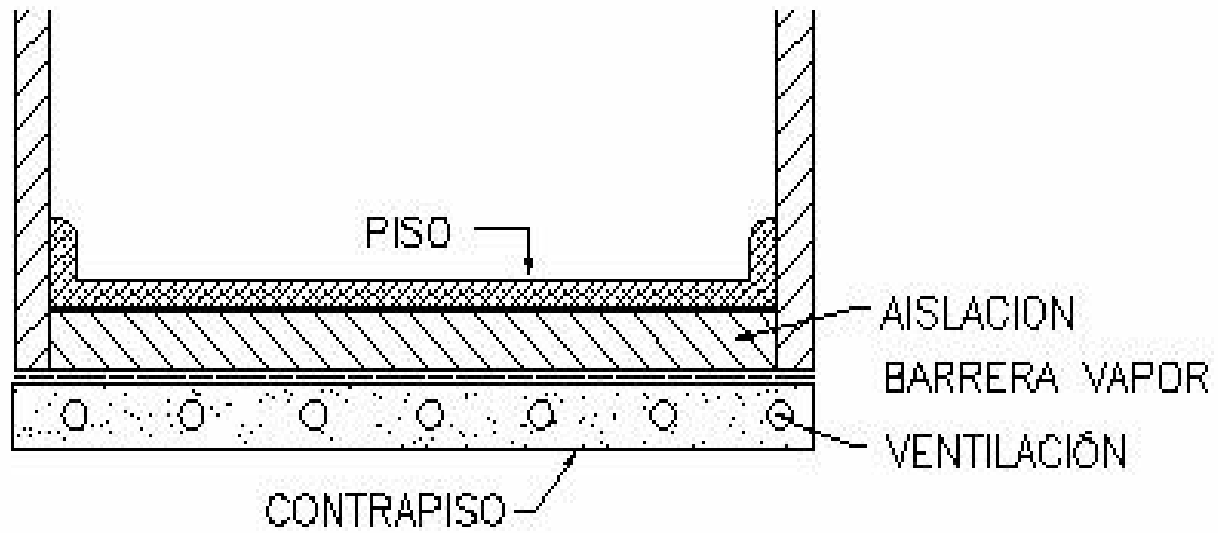
PAREDES Y TECHOS:

- Paneles aislantes, autoportantes. Planchas de espuma de PE expandido, o de espuma de PU, entre dos láminas de metal galvanizado y pintado.
- Dimensiones normales: ancho 1,14m, largo hasta 12m, espesores desde 100mm.

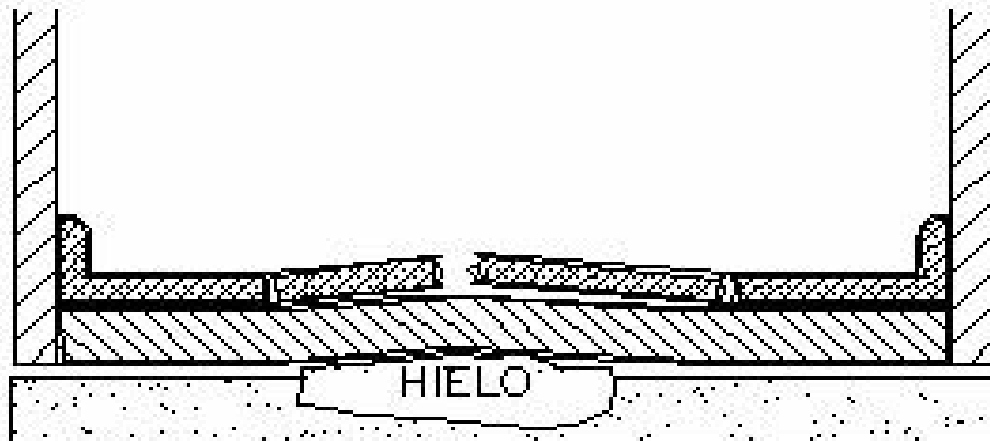
PISOS:

- Losa de hormigón sobre placas aislantes, barrera de vapor y contrapiso. En cámaras de congelación el Subsuelo puede requerir calefacción.

# AISLACION PISOS



# AISLACION PISOS





# Condiciones de Diseño

Datos de Clima      Fuente: D.N.M.

Verano: Diciembre, Enero y Febrero

Período:            1971-2000

TXM (°C):	29.0	Todo el país
TXM (°C):	31.2	Artigas
TXM (°C):	27.0	Carrasco y Colonia
H.R. (%):	68	Todo el país
Viento (m/s):	4.2	

# Condiciones de Diseño

## Radiación Solar:

- El efecto debe ser tenido en cuenta porque genera elevación de temperatura, especialmente en techo y paredes expuestas a la insolación.
- Se debe relevar la orientación y el entorno de los espacios refrigerados a efectos de evaluar la incidencia solar.
- Existen tablas (ASHRAE; Fundamentals) con datos de incidencia solar para distintas latitudes.
- Para cálculos aproximados se pueden tomar incrementos de temperatura promedio para las superficies expuestas.

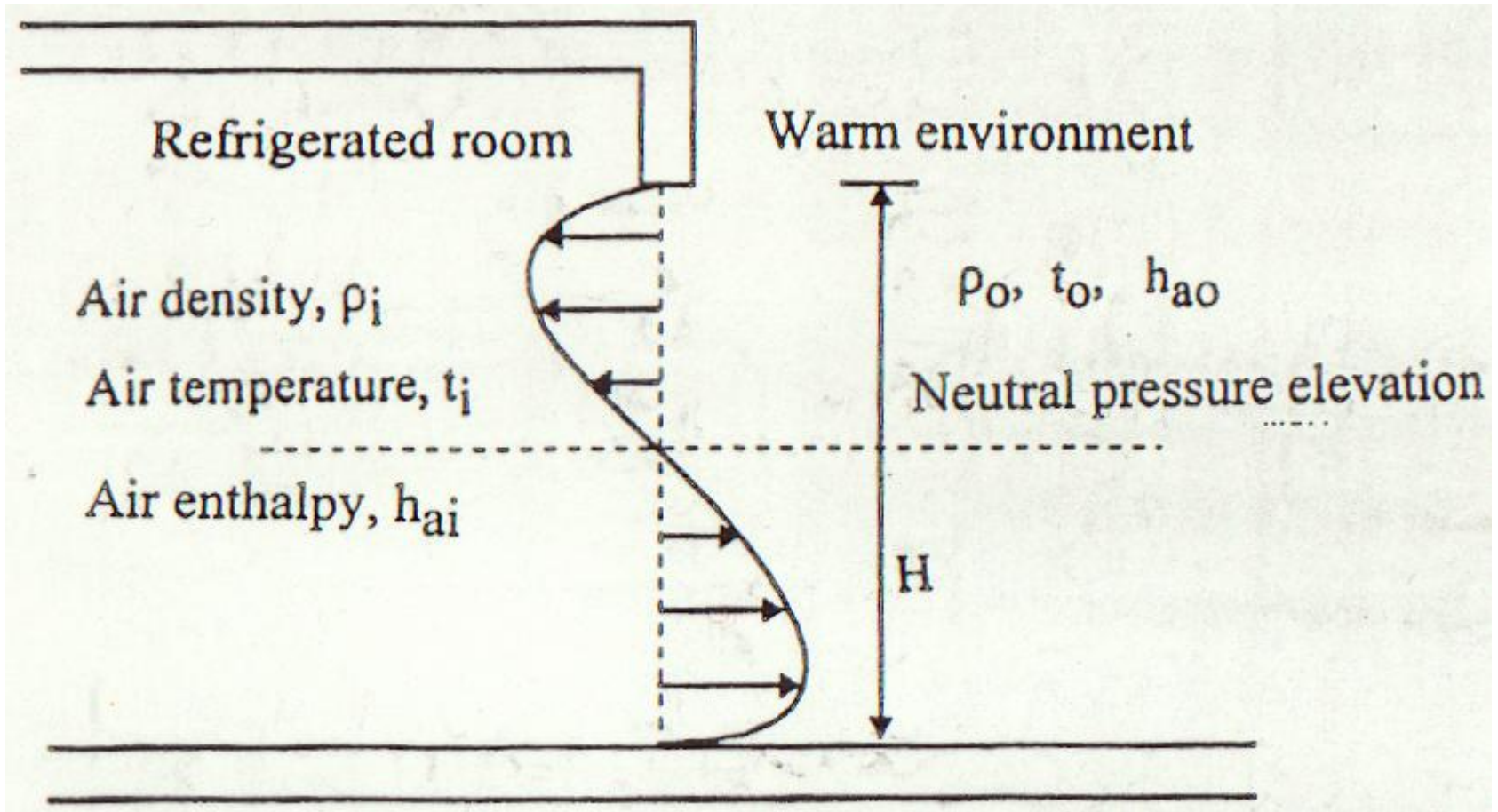
# Condiciones de Diseño

Incidencia de Radiación Solar				
	Incremento de $\Delta t$ , ( $^{\circ}\text{C}$ )			
Superficie	Este	Norte	Oeste	Techo plano
Colores oscuros	5.0	3.0	5.0	11.0
Colores grises	3.5	2.0	3.5	8.5
Colores claros y blancos	2.5	1.5	2.5	5.0

# Infiltración de Aire

- Aporte de calor a los espacios refrigerados a través de puertas que se abren para el movimiento de cargas y personas.
- Se genera una circulación de aire frío del espacio refrigerado, que tiende a salir por la parte inferior de la abertura, y es reemplazado por aire exterior. Esto genera cambios de aire que son función del tiempo de apertura de puertas a lo largo del día.
- Se computan como cambios de aire cada 24 hs.
- El aporte de calor está dado por el cambio de entalpía entre el aire exterior y el interior.

# Infiltración de Aire



# Infiltración de Aire

El volúmen de aire infiltrado puede calcularse mediante la fórmula:

$$Q = C_{in} A H^{1/2} [(\rho_i - \rho_o) \rho_i]^{1/2} [2 / (1 + (\rho_i / \rho_o)^{1/3})]^{3/2}$$

- $Q$  = caudal volumétrico,  $m^3/s$
- $C_{in}$  = coef. de infiltración,  $(m/s)^{1/2}$
- $A$  = área de puerta,  $m^2$
- $H$  = altura de puerta,  $m$
- $\rho_i$  ,  $\rho_o$  = densidades aire interior y exterior,  $kg/m^3$

# Infiltración de Aire

- El flujo másico de aire,  $w$ , se obtiene del producto entre el caudal volumétrico y la densidad media.

$$w = Q (\rho_i + \rho_o)/2, [\text{kg/s}]$$

- Luego, la carga térmica de refrigeración se obtiene del producto entre el flujo másico por la diferencia de entalpías:

$$q = w (h_{a,o} - h_{a,i}), [\text{kW}]$$

# Infiltración de Aire

**TABLE 4A** AVERAGE AIR CHANGES PER 24 HRS FOR MED. TEMPERATURE (ABOVE 32°F) ROOMS DUE TO INFILTRATION AND DOOR OPENINGS

VOLUME CU FT	AIR CHANGES PER 24 HR	VOLUME CU FT	AIR CHANGES PER 24 HR	VOLUME CU FT	AIR CHANGES PER 24 HR	VOLUME CU FT	AIR CHANGES PER 24 HR
200	44.0	1000	17.5	6000	6.5	30000	2.7
300	34.5	1500	14.0	8000	5.5	40000	2.3
400	29.5	2000	12.0	10000	4.9	50000	2.0
500	26.0	3000	9.5	15000	3.9	75000	1.6
600	23.0	4000	8.2	20000	3.5	100000	1.4
800	20.0	5000	7.2	25000	3.0	200000	0.9

Note: For heavy usage, multiply above values by 2. For long storage, multiply the above values by 0.60. Not valid if ventilating ducts or grilles are used.



# Infiltración de Aire

**TABLE 4B** AVERAGE AIR CHANGES PER 24 HRS FOR LOW TEMPERATURE (BELOW 32°F) ROOMS DUE TO INFILTRATION AND DOOR OPENINGS

VOLUME CU FT	AIR CHANGES PER 24 HR	VOLUME CU FT	AIR CHANGES PER 24 HR	VOLUME CU FT	AIR CHANGES PER 24 HR	VOLUME CÚ FT	AIR CHANGES PER 24 HR
250	29.0	1000	13.5	5000	5.6	25000	2.3
300	26.2	1500	11.0	6000	5.0	30000	2.1
400	22.5	2000	9.3	8000	4.3	40000	1.8
500	20.0	2500	8.1	10000	3.8	50000	1.6
600	18.0	3000	7.4	15000	3.0	75000	1.3
800	15.3	4000	6.3	20000	2.6	100000	1.1

Note: For heavy usage, multiply above values by 2. For long storage, multiply the above values by 0.6. Not valid if ventilating ducts or grilles are used.

# Cargas por iluminación, motores, personal y otras fuentes internas.

## Iluminación:

- En cámaras frigoríficas de almacenamiento la carga eléctrica de iluminación suele estar entre 10 y 20 W/m<sup>2</sup>. En espacios donde trabaja personal en forma permanente la potencia de iluminación sube bastante dependiendo del tipo de tareas.

El aporte de las luces a la carga de refrigeración se evalúa tomando directamente el dato de la potencia instalada y multiplicando por el número de horas diarias de utilización.

## Motores:

La presencia de motores eléctricos se debe principalmente a los motores de los evaporadores. La potencia de los motores termina convirtiéndose en calor que será necesario retirar del espacio refrigerado.

# Cargas por iluminación, motores, personal y otras fuentes internas.

- El aporte de calor de los motores se toma de tablas de equivalencia térmica:

TABLE 3			
MOTOR EQUIVALENCIES			
BTU PER HORSEPOWER-HOUR			
HORSE-POWER	Connected Load And Motor In Refrigerated Space (Note 1)	Connected Load Only In Refrigerated Space	Motor Only In Refrigerated Space
1/8 to 1/2	4250	2545	1700
3/4 - 3	3700	2545	1150
5-20	2950	2545	400

Note 1: Use for forced circulation unit coolers.

# Cargas por iluminación, motores, personal y otras fuentes internas.

- Otros motores que puedan aportar calor, tales como ciertas máquinas de proceso que están dentro del espacio refrigerado, vehículos montacargas, etc., deben ser evaluados por su potencia nominal, a la cual se le suele aplicar un factor de uso de 0.7 a 0.8 para tener en cuenta que esos equipos no operan siempre al 100% de su potencia.

# Cargas por iluminación, motores, personal y otras fuentes internas.

## Personal:

- Las personas aportan calor al espacio refrigerado en función del grado de actividad y de la temperatura del ambiente. Cuanto mayor es el grado de actividad y menor es la temperatura, mayor es la liberación de calor. En cámaras de almacenamiento no es un aporte significativo, pero puede ser importante en salas de trabajo.

Temperatura	Aporte de calor
°C	W
10	210
0	270
-10	330
-20	390

# Carga por enfriamiento de productos.

Suele ser la carga mas importante en aplicaciones industriales. En aplicaciones de enfriamiento, congelación y mantenimiento de productos refrigerados, como en muchas industrias de alimentos, puede significar mas del 90% del total (ej.: túnel de congelado).

La evaluación comprende:

- cálculo de calores sensibles y latentes dependientes de las propiedades de los productos;
- cálculo de la transferencia entre el producto y el medio (normalmente aire).

# Carga por enfriamiento de productos.

- El primer grupo de cálculo se resuelve fácilmente por una relación del tipo:  $q = m (C_p \Delta t + \Delta h)$ .
- $q_1 = m C_{p1} (t_i - t_c)$
- $q_2 = m \Delta h_{\text{cong}}$
- $q_3 = m C_{p2} (t_c - t_f)$

La dificultad radica en asignar un tiempo para los procesos, lo que se resuelve en base a datos disponibles o a experimentación.

En el caso de enfriamiento de frutas y hortalizas se debe considerar la carga aportada por la respiración en base a datos que están tabulados.

# Estimación de Cargas de Refrigeración

- Es recomendable que la evaluación de cada una de las cargas consideradas se hagan con base de 24 hs.
- De este modo, luego de contabilizadas, se puede aplicar un factor de utilización que contemple las paradas del equipo en el día.
- P.ej.: es usual que para tener la carga horaria, el total calculado se divida por 18 horas en lugar de 24.
- Esto da equipos de mayor potencia, pero permite margen para paradas de mantenimiento.
- Se debe tener en cuenta que este procedimiento de cálculo es inexacto y que se usan muchas aproximaciones.
- **El uso de factores de seguridad y de tablas de estimación rápida, debe hacerse con mucho criterio a fin de no sobredimensionar instalaciones.**