

CARGAS TÉRMICAS DE REFRIGERACIÓN

INTRODUCCIÓN

Por cálculo de cargas se entiende el proceso de determinar la cantidad de calor que hay que extraer o aportar a un local de unas determinadas características, y situado en una zona determinada, para mantener su interior en unas condiciones de confort para las personas.

CARGA TÉRMICA DE REFRIGERACIÓN

Si un local no dispone de climatización, su temperatura se adaptará a la del ambiente, si hace frío estará helado, y cuando haga calor será caluroso. En la mayoría de los casos estará más caliente que el ambiente, debido la radiación solar sobre techo, paredes y ventanas, o por el calor desprendido por sus ocupantes e instalaciones interiores. En el momento que queremos que su temperatura se mantenga en un valor distinto al del exterior, y a voluntad de sus ocupantes, hay que sacar o meter calorías del local al exterior.

Recordemos que el calor fluye del cuerpo más caliente al más frío, y por ello, al crear una diferencia de temperatura entre el local y el exterior, se inicia una transferencia de calor por las paredes, suelos, ventanas, y aire de ventilación, que tiende de nuevo a igualar su temperatura con el exterior. En verano para enfriar el local con un climatizador, hay que extraer calorías, y la transmisión de calor por las paredes es hacia el interior. En invierno hay que introducir calorías, y las pérdidas de calor son hacia el exterior. Al final se alcanza un equilibrio entre la potencia del equipo acondicionador, y las transmisiones que por las paredes, techo, etc., tienden a restablecer la temperatura inicial. En ambos casos las calorías que entran o salen del local las llamamos "**pérdidas de calor**", y hay que calcularlas para determinar la potencia del aparato climatizador a instalar. El total de calor necesario a meter o sacar del local lo denominaremos "**demanda térmica**" del local.

Vemos que hay al menos tres datos necesarios:

- **Temperatura interior**, que dependen del uso del local.
- **Temperatura exterior**, que dependen de la zona en la que se ubique, si es más fría o calurosa.
- **Condiciones de las paredes y techos del local**, si está más o menos aislado térmicamente.

Criterios generales

Para mantener fría una cámara y todo lo que está en el interior de ella, es necesario extraer el calor inicial y después el que pueda ir entrando en la cámara, por bien aislada que esté.

El requerimiento total de refrigeración P_{total} , puede establecerse como sigue:

$$P_{total} = P_{productos} + P_{otras fuentes} \quad (\text{kcal/h o Watios.})$$

$P_{\text{productos}}$ representa la potencia calorífica necesaria para mantener los productos a la temperatura deseada.

$P_{\text{otras fuentes}}$ incluye en entre otros los flujos de calor a través de los cerramientos de la cámara por transmisión de paredes, suelo y techo, la entrada de aire interior que se produce, la ventilación, las cargas térmicas por ventiladores, bombas, iluminación, personas en el interior, etc...

Como el calor generado en las 24 horas de un día se ha de extraer en un número de horas menor, en las t horas de funcionamiento diario, la potencia frigorífica de la máquina N_r habrá de ser superior a la potencia P_{total} calculada para extraer en las 24 horas. Su valor será:

$$N_r = P_{\text{total}} \cdot 24/t$$

CÁLCULO DE LAS CARGAS TÉRMICAS DE UNA CÁMARA

Para optimizar las dimensiones y características técnicas de un evaporador y de una instalación frigorífica en general, es necesario considerar, como ya se ha apuntado, los siguientes factores de calor por otras fuentes:

- Flujo de calor a través de los cerramientos
- Entrada de aire exterior en la cámara.
- Calor liberado por la iluminación interior
- Calor liberado por las personas
- Calor de los ventiladores del evaporador, si los hay, para la circulación forzada del aire.

Además tendríamos:

- Refrigeración de alimentos en distintas etapas.
- Calor de respiración de frutas y verduras.
- Calor de mercancía y su embalaje

Transmisión de calor a través de paredes y cerramientos

La tasa de calor que entra en la cámara a través de las paredes y techo viene dada por la expresión:

$$P_t = K A \Delta t$$

Siendo la tasa de calor en W, K el coeficiente de transmisión de calor en $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$, A la superficie del cerramiento en m^2 y Δt el salto térmico de la cámara en $^\circ C$.

El salto térmico de la cámara se obtiene a partir de:

$$\Delta t = t_e - t_i + t'$$

Donde t_e es la temperatura exterior, t_i la temperatura interior y t' el suplemento de temperatura por radiación solar.

TABLA 1. Suplementos de temperatura por radiación solar en $^\circ C$.

	Este	Sur	Oeste	Techo
Colores claros	2,2	1,0	2,2	5,0
Colores medios	3,3	2,2	3,3	8,3
Colores oscuros	4,4	2,8	4,4	11,0

TABLA 2. Coeficiente de transmisión calórica K para materiales usuales, en $W/(m^2 \cdot K)$.

Materiales aislantes	Masa Volúmica (kg/m^3)	Espesor del aislante mm									
		20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Placas de corcho aglomerado	112	1,8	0,92	0,62	0,48	0,37	0,31	0,26	0,23	0,2	0,
	144	2,1	1,05	0,70	0,52	0,42	0,35	0,30	0,26	0,23	0,2
Placas de corcho aglomerado húmedo	192	2,45	1,22	0,82	0,61	0,49	0,41	0,35	0,31	0,27	0,2
Corcho granulado con granulación gruesa	80-112	2,45	1,22	0,82	0,61	0,49	0,41	0,35	0,31	0,27	0,2
Placas de corcho expandido	80-96	1,95	0,97	0,65	0,49	0,39	0,32	0,28	0,24	0,22	0,1
Lana de vidrio	80	1,65	0,82	0,55	0,41	0,33	0,27	0,24	0,21	0,18	0,1
Lana de vidrio con capa bituminosa	48-80	1,65	0,82	0,55	0,41	0,33	0,27	0,24	0,21	0,18	0,1
Poliestireno	24	1,65	0,82	0,55	0,41	0,33	0,27	0,24	0,21	0,18	0,1
	32	1,50	0,75	0,50	0,37	0,30	0,25	0,21	0,19	0,17	0,1
	64	1,65	0,82	0,53	0,41	0,33	0,27	0,24	0,21	0,18	0,18
	88	1,75	0,87	0,58	0,44	0,35	0,29	0,25	0,22	0,19	0,17
Espuma de poliestireno	40	0,95	0,47	0,32	0,24	0,19	0,16	0,14	0,12	0,10	0,10
Placas de poliestireno	48	1,90	0,95	0,63	0,47	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19
Lana de escoria	136	1,68	0,84	0,56	0,42	0,34	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17
Lana de escoria a granel	176	1,82	0,91	0,61	0,45	0,36	0,30	0,26	0,23	0,20	0,18

Aire exterior entrante en la cámara

Siempre es necesario airear en mayor o menor medida la cámara frigorífica. En ocasiones esta ventilación se produce por la apertura de las puertas para entrar o sacar el género, pero si esto no fuera suficiente, sería necesario un sistema de ventilación forzada suplementario.

$$P_a = V \Delta h n / 86.4$$

Siendo P_a la potencia calorífica aportada por el aire en W

V el volumen de la cámara en m^3

Δh el calor del aire en Kj/m^3 obtenido por el diagrama psicrométrico o

tablas

N el número de renovaciones de aire al día.

TABLA 4. Renovación del aire diario por las aberturas de puertas para las condiciones normales de explotación «cámaras negativas» y «cámaras por encima de 0 °C».

Volumen de la cámara (m³)	Renovación de aire diario n/d		Volumen de la cámara (m³)	Renovación de aire diario n/d		Volumen de la cámara (m³)	Renovación de aire diario n/d		Volumen de la cámara (m³)	Renovación de aire diario n/d	
	-	+		-	+		+	-		-	+
2,5	52	70	20	16,5	22	100	6,8	9	600	2,5	3,2
3,0	47	63	25	14,5	19,5	150	5,4	7	800	2,1	2,8
4,0	40	53	30	13,0	17,5	200	4,6	6	1.000	1,9	2,4
5,0	35	47	40	11,5	15,0	250	4,1	5,3	1.500	1,5	1,95
7,5	28	38	50	10,0	13,0	300	3,7	4,8	2.000	1,3	1,65
10,0	24	32	60	9,0	12,0	400	3,1	4,1	2.500	1,1	1,45
15,0	19	26	80	7,7	10,0	500	2,8	3,6	3.000	1,05	1,30

TABLA 5. Color del aire (en kJ/m³) para el aire exterior que penetra en la cámara fría.

t _i \ t _e	+5 °C		+10 °C		+15 °C		+20 °C		+25 °C		+30 °C		+35 °C		+40 °C	
	70% H.R	80% H.R	70% H.R	80% H.R	70% H.R	80% H.R	50% H.R	60% H.R								
15 °C	—	—	—	—	—	—	2,77	7,0	16,8	23,3	34,5	42,7	56,4	66,4	81,4	96,5
10 °C	—	—	—	—	105,5	13,8	16,6	20,9	30,9	37,5	48,8	57,2	70,1	81,3	96,5	112
5 °C	—	—	9,6	12,0	22,8	26,2	29,0	33,5	43,7	50,5	62,1	70,6	83,9	95,4	111	127
0 °C	9,1	10,9	20,8	23,3	34,4	37,9	40,8	45,4	55,9	62,9	74,9	83,7	97,4	109	125	141
-5 °C	19,2	20,9	31,0	33,5	44,6	48,2	51,2	55,8	66,4	73,5	85,5	94,4	108	120	136	153
-10 °C	28,7	30,5	40,8	43,4	54,8	58,4	61,4	66,1	77,0	84,2	96,6	106	120	132	148	165
-15 °C	37,8	39,7	50,2	52,8	64,5	68,2	71,3	76,1	87,2	94,6	107	116	131	143	160	177
-20 °C	46,1	48,0	58,8	61,5	73,4	77,1	80,4	85,3	96,6	104	117	127	141	154	171	189
-25 °C	55,1	57,1	68,0	70,8	82,9	86,8	90,1	95,1	107	114	127	137	152	165	183	201
-30 °C	64,2	66,2	77,5	80,1	92,6	96,5	99,8	105	117	125	138	148	163	177	195	215
-35 °C	73,3	75,3	86,7	89,6	102	106	110	115	127	135	149	159	174	188	207	225
-40 °C	83,3	85,4	97,1	100	113	117	121	126	138	147	161	171	187	201	220	231

Calor liberado por la iluminación interior

Las lámparas existentes en el interior de la cámara liberan un calor equivalente a:

$$P_a = p T/24$$

Siendo p la potencia total de todas las lámparas en W

T la duración o tiempo de funcionamiento en horas al día

P_a la potencia ocasionada que debe anotarse en el cálculo de la carga

térmica en W

Si las lámparas son del tipo fluorescente, se multiplica la potencia total de todas las lámparas por 1,25 para considerar el consumo complementario de las reactancias.

Si no se conoce la potencia de las lámparas, puede estimarse un valor comprendido entre 5 y 15 W/m² de planta de la cámara.

Calor liberado por las personas

También las personas que entran en una cámara liberan calor a razón de:

$$P_p = q N T/24$$

Siendo q el calor por persona en W según la tabla

N es el número de personas en la cámara
 T es el tiempo de permanencia en horas al día

Temperatura de la cámara (°C)	Potencia liberada por persona (W)
10	210
5	240
-5	270
-10	300
-15	360
-20	390
-25	420

Calor liberado por los motores

En el interior de una cámara frigorífica existen aportaciones de calor debidas al funcionamiento de los ventiladores del evaporador. Asimismo, cualquier máquina que realice un trabajo dentro de una cámara frigorífica desprenderá calor.

$$P_m = 0,2 \sum p T / 24$$

Siendo p la potencia de cada motor en W y T el tiempo de funcionamiento del motor en horas

Refrigeración de los productos

La carga térmica correspondiente a la conservación de los alimentos se divide en: 1.- refrigeración de alimentos; 2.- congelación de alimentos; 3.- calor de respiración de los alimentos; 4.- calor del embalaje

Refrigeración de alimentos

Cuando las condiciones de conservación del producto precisen temperaturas superiores a las de congelación, la carga calorífica de refrigeración en kW se obtendrá a partir de:

$$P_m = C_p m (T_e - T_f)$$

Siendo C_p el calor específico másico del producto antes de la congelación en kJ/kg°K, m la masa de producto que se debe enfriar en kg, T_e temperatura del producto al entrar en la cámara en °C y T_f temperatura del producto al final del enfriamiento en °C (será superior a la de congelación).

Alimentos	Temperatura de almacenamiento (°C)	Humedad relativa (%)	Duración de almacenamiento	Punto de congelación (°C)	Calor másico antes de la solidificación (kJ/kg K)	Calor másico después de la solidificación (kJ/kg K)	Calor de congelación kJ/kg	Calor de respiración kJ/kg/día	Observaciones
Carne y productos cárnicos									
Tocino- fresco	+ 1 / -4	85	2-6 sem.	-2	1,53	1,1	68		
• congel.	-18	90-95	4-6 meses						
Filete • fresco	0 / -1	88-92	1-6 sem.	-2	3,2	1,67	231		
• congel.	-18	90-95	9-12 meses						
Jamón • fresco	0 / +1	85-90	7-12 días	-2	2,53	1,46	167		
• congel.	-18	90-95	6-8 meses						
Cordero • fresco	0 / +1	85-90	5-12 días	-2	3,0	1,66	216		
• congel.	-18	90-95	8-10 meses						
Manteca de cerdo • fresca	+ 7	90-95	4-8 meses		2,09	1,42	210		
• congel.	-18	90-95	12-14 meses						
Hígado • congel.	-18	90-95	3-4 meses	-2					
Carne de cerdo • fresca	0 / +1	85-90	3-7 días		2,13	1,3	128		
• congel.	-18	90-95	4-6 meses						
Aves frescas	0	85-90	1 sem.	-2,7	3,3	1,76	246		
• congel.	-18	90-95	8-12 meses						
Conejo fresco	0 / +1	90-95	1-5 días	-2,7	3,1	1,67	228		
• congel.	-18	90-95	0-6 meses						
Salchicha • fresca	0 / +1	85-90	3-12 días	-2	3,73	2,34	216		
• congel.	-18		2-6 meses						
Vaca • fresca	0 / +1	90-95	5-10 días	-2	3,08	1,67	223		
• congel.	-18 / +1	90-95	8-10 meses						

Alimentos	Temperatura de almacenamiento (°C)	Humedad relativa (%)	Duración de almacenamiento	Punto de congelación (°C)	Calor másico antes de la solidificación (kJ/kg K)	Calor másico después de la solidificación (kJ/kg K)	Calor de congelación kJ/kg	Calor de respiración kJ/kg/día	Observaciones
Guisante	0	90-95	1-3 sem.	-0,6	3,31	1,76	246	9,6	Poco sensible
Pimienta	+ 7 / +10	90-95	2-3 sem.	-0,7	3,94	1,97	307	3,14	Muy sensible
Planta nueva	+ 10 / +13	90	2-4 sem.	-0,6	3,56	1,84	270	3,0	
Planta tardía	+ 3 / +10	90		-0,6	3,43	1,80	258	1,8	Muy sensible
Ruibarbo	0	95		-0,9	4,02	2,0	312		
Espinaca	0	90-95	10-14 días	-0,3	3,94	2,0	307	11,1	
Tomate- verde	+ 13 / +21	85-90	1-3 sem.	-0,5	3,98	2,0	312	7,2	
• morado	+ 7 / 0	85-90	4-7 días	-0,5	3,94	2,0	312	4,3	Muy sensible
Nabo	0	90-95	4-5 meses	-1,0	3,89	1,97	302	2,2	

Frutas									
Manzanas	- 1 / -4	90	2-6 sem.	-1,5	3,64	1,88	281	1,92	
Albaricoques	-0,6 / 0	90	1-2 sem.	-1,0	3,68	1,92	284		
Aguacates	+ 7 / +13	85-90	2-4 sem.	-0,3	3,01	1,67	219	25,6	Muy sensible
Pitáanos	+ 13 / +15	90	5-10 días	-0,8	3,35	1,76	251		Muy sensible
	-0,6 / 0	95	3 días	-0,8	3,68	1,92	284		
Cereza	-0,6 / 0	90-95	2-3 sem.	-1,8	3,64	1,88	280	1,8	
Nuez de coca	0 / + 2	80-85	1-2 meses	-0,8	2,43	1,42	156		
	+ 2 / + 4	90-95	2-4 meses	-0,8	3,77	1,93	288	1,1	Poco sensible
Grosellas	-0,6 / 0	90-95	10-14 días	-1,0	3,68	1,88	280		
Dátiles	• secos -18 / 0	<75	6-12 meses	-15,7	1,51	1,08	67		
Higos	• secos 0 / + 4	50-60	9-12 meses		1,63	1,13	80		
Grosellas	-0,5 / 0	90-95	2-4 sem	-1,1	3,77	2,93	293		
Pomelos	+ 10 / +16	85-90	4-6 sem	-1,1	3,81	1,93	293	3,6	Poco sensible
Uvas	- 1 / 0	80-85	1-6 meses	-2,2	3,60	1,84	270	0,4	Poco sensible
Limonas	+ 14 / +16	86-88	1-6 meses	-1,4	3,81	1,93	295	4,24	Muy sensible
Naranjas	0 / +9	85-90	3+12 sem	-0,8	3,77	1,92	288	1,68	Poco sensible
Melocotón	-0,5 / 0	90	2-4 sem	-0,9	3,77	1,92	288	1,34	Poco sensible
Peras	-1,7 / -1	90-95	2-7 sem.	-1,5	3,60	1,88	274	0,93	Poco sensible
Ananás	• verdes +10 / +13	85-90	3-4 sem.	-1,0	3,68	1,81	283		
	• maduras +7,2	85-90	2-4 sem.	-1,1	3,68	1,88	283		
Ciruelas	-0,5 / 0	90-95	2-4 sem.	-0,8	3,68	1,88	274	0,64	Poco sensible
Granadas	0	90	2-4 sem.	-3,0					
Frambuesas	-0,5 / 0	90-95	2-3 días	-0,6	3,56	1,86	284		
Fresas	-0,5 / 0	90-95	5-7 días	-0,8	3,85	1,76	300	5,47	
Mandarinas	0 / + 3	90-95	2-4 sem.	-1,0	3,77	1,93	290	3,78	
Pescados									
Pescados	• frescos +0,6 / + 2	90-95	5-15 días	-2,2	3,26	1,74	245		
	• ahum. + 4 / +10	50-60	6-8 meses	-2,2	2,93	1,63	213		
Pescados	+ 4 / +10	90-95	10-12 meses	-2,2	3,18	1,72	232		
Pescados	• salados - 2 / -1	75-90	4-8 meses	-2,2	3,18	1,72	232		
	• congel. -18	90-95	6-12 meses	-2,2		1,74	245		
Mejillón	• fresco - 1 / -0,5	85-95	3-7 días	-2,2	3,62		277		
	• congel. -18 / -29	90-95	3-8 meses	-2,2		1,88	277		
Productos lácteos									
Mantequilla	0 / + 4	80-85	2 meses	-5,6	1,38	1,05	53		
	• congel. -18	70-85	8-12 meses	-5,6	1,38	1,05	53		
Queso	- 1 / -2	65-70		-1,7	2,10	1,30	126		
Crema	-18	-	2-3 meses		3,27	1,76	242		

Congelación de alimentos

En el proceso de congelación de los alimentos se distinguen tres etapas:

- enfriamiento del producto hasta alcanzar la temperatura de congelación
- congelación del producto
- enfriamiento del producto por debajo de la temperatura de congelación

Enfriamiento del producto hasta alcanzar la temperatura de congelación: en ésta etapa el producto se enfría desde la temperatura de entrada hasta la de congelación

$$P_{c1} = C_p m (T_e - T_c)$$

Siendo C_p el calor específico másico del producto antes de la congelación en $\text{kJ}/(\text{kgK})$

Congelación del producto: en ésta etapa el producto se congela y realiza un cambio de estado a temperatura constante. El calor generado en Kw es el siguiente:

$$P_{c2} = L m$$

Siendo L el calor latente de congelación en kJ/kg y m la masa del producto en kg

Enfriamiento del producto por debajo de la temperatura de congelación:

$$P_{c3} = C_p m (T_c - T_f)$$

Siendo C_p el calor específico másico del producto después de la congelación en $\text{kJ}/(\text{kgK})$

Calor de respiración de los alimentos

En las frutas y las verduras, el género continúa madurando en el interior de la cámara frigorífica, liberando un calor de respiración que será en KW

$$P_s = C_s m / 86.4$$

Siendo C_s el calor de respiración en $\text{kJ}/(\text{kgdía})$

Calor del embalaje

En las mercancías embaladas, no debe despreciarse el calor generado por el envoltorio del producto. En Kw, sera:

$$P_e = C_e m (T_e - T_f)$$

Siendo C_e el calor específico del material de embalaje en $\text{kJ}/(\text{kgK})$

Suele estimarse en un 10% del calor de refrigeración del producto

LA SUMA DE TODOS ESTOS CALORES ES LA CARGA FRIGORÍFICA DE LA CÁMARA