

Problemática de los sistemas de refrigeración

Josep M^a Nacenta Anmella

Dr. Ingeniero Industrial
Profesor U.P.C. (Barcelona)
Av. Diagonal, 647-7^a
Dep. Màquines i Motors Tèrmics
Barcelona 08028
nacenta@mmt.upc.es
Tel/Fax:934016582
Mòvil: 617369044

ÍNDICE

ÍNDICE.....	2
ÍNDICE DE FIGURAS	3
1. Introducción.....	4
2. Instalaciones frigoríficas.....	4
2.1. Dilema: ¿Cómo disipar este calor? ¿Aire? o ¿Agua?	5
3. Tipos de disipadores y su forma de trabajar.....	6
3.1. Tipos de disipadores	6
3.2. Condensador por Aire.....	8
3.2.1. Día Punta	9
3.2.2. Día Baja Temperatura.....	10
3.2.3. Comentarios	10
3.3. Torres de Refrigeración.....	13
3.3.1. Día Punta	14
3.3.2. Día Medio	15
3.4. Condensador evaporativo	15
3.4.1. Día Punta	16
3.4.2. Día Medio	17
4. Conclusiones.....	17
4.1. Resumen consumo Compresor	17
4.2. Importante recordar.....	19

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1. Instalación típica.....	4
Fig. 1.2. Instalación típica.....	6
Fig.3.1. Condensador de aire	
Fig.3.2. Condensador por agua y torre de refrigeración	7
Fig.3.4. Condensador por aire.....	8
Fig.3.5. Condensador por aire.....	9
Fig.3.6.	11
Fig.3.7. Instalación típica con torre de refrigeración	13
Fig.3.8. Sección transversal de la Torre de refrigeración.....	14
Fig.3.10. Esquema de flujos de aire y agua en una Torre de refrigeración.....	16
Figura 4.1. Comparativa entre los distintos tipos de disipadores	18

1. Introducción.

Existen diferentes definiciones de **máquina de frío**, que pueden ser:

- Es una máquina de trasladar el calor de un lugar que molesta a un lugar que no molesta.
- Es una máquina de trasladar el calor de un nivel bajo de temperatura a un nivel más alto de temperatura.

Cabe resaltar que sólo se paga la energía necesaria para realizar el transporte.

2. Instalaciones frigoríficas

Las instalaciones frigoríficas se utilizan sobretodo en el campo de aire acondicionado (en verano, traslada calor del interior del local al exterior) y en el de refrigeración (la cámara frigorífica roba calor del interior de la cámara y lo disipa al exterior).

Económicamente se tiene que considerar que se traslada más energía que la que se consume en el transporte.

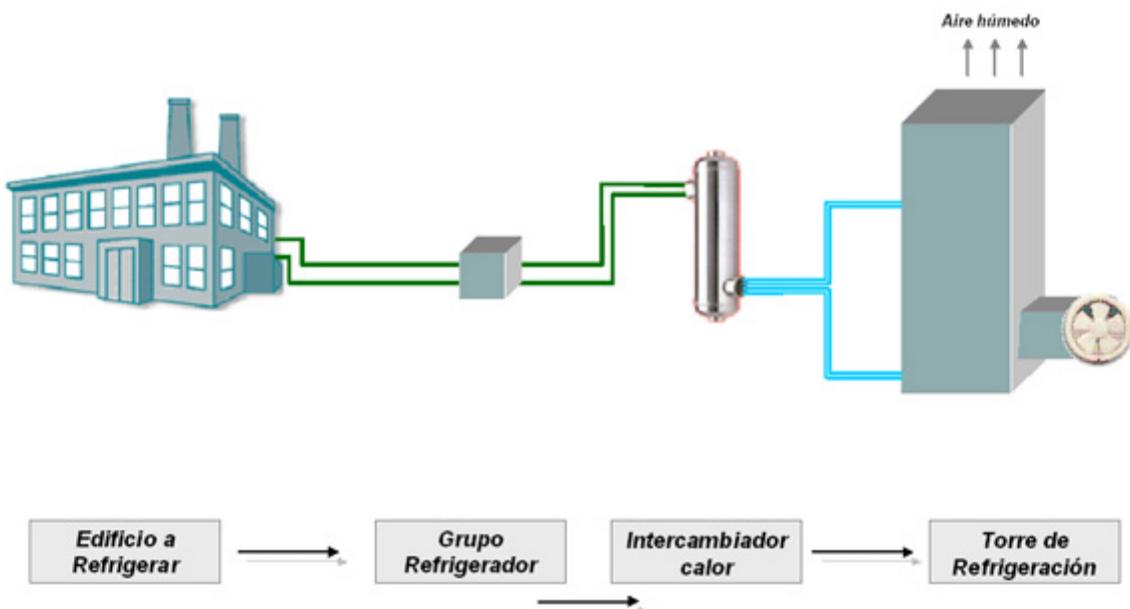


Fig. 1.1. Instalación típica

Algunos ejemplos de instalaciones frigoríficas son:

- Aire Acondicionado
- Cámaras a 0° C con rotación de productos (p. e. carne, pescado,..)
- Cámaras a 0° C sin rotación de productos (p. e. fruta, verdura, ...)
- Cámaras para Congelados
- Túneles de Congelación...

En todas ellas se toma calor del recinto, y hay que disiparlo en el exterior.

El calor se traslada del interior del local o de la cámara o del túnel y se lanza al exterior para que no moleste.

2.1. Dilema: ¿Cómo disipar este calor? ¿Aire? o ¿Agua?

Esta pregunta no es fácil de responder como se verá a continuación. Depende de las necesidades de cada instalación, del tiempo de servicio...

Como se observa en la figura siguiente (Fig. 2.1.), los componentes mínimos de una instalación frigorífica son los siguientes:

- *Evaporador*: es el que al evaporar el refrigerante roba el calor a baja temperatura y baja presión.
- *Condensador*: es el que condensa el refrigerante cediendo el calor a alta temperatura y alta presión.
- *Compresor*: es el que traslada el refrigerante en forma de gas o vapor de la baja presión a la alta presión, por lo cual consume una energía considerable.

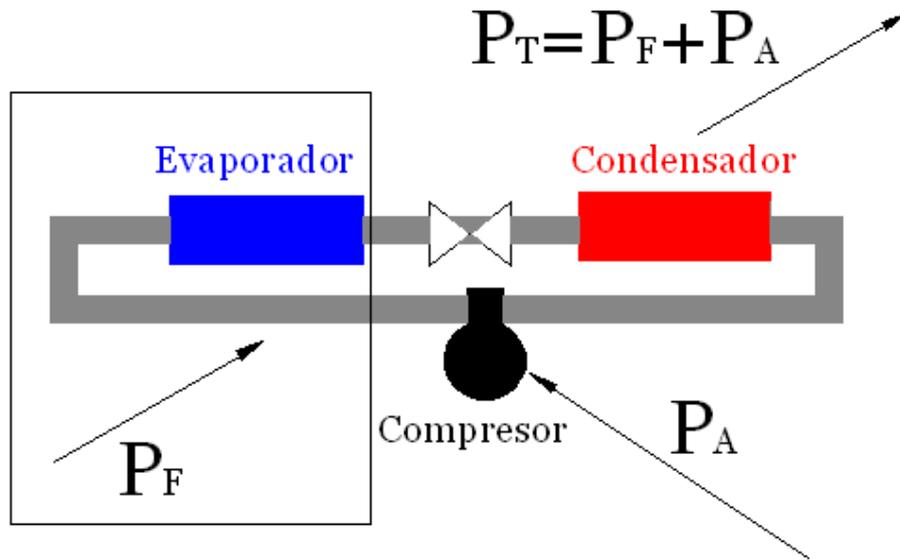


Fig. 1.2. Instalación típica

Es conveniente aclarar antes que todo las diferencias entre potencia frigorífica (P_F), potencia absorbida (P_A) y potencia térmica (P_T):

- **P_F (Potencia frigorífica):** es la cantidad de calor que debemos eliminar del interior de la cámara o del local mediante la instalación frigorífica.
- **P_A (Potencia absorbida):** es la energía que consumimos para trasladar P_F . En otras palabras es la energía consumida por el compresor de la cámara frigorífica y elementos auxiliares.
- **P_T (Potencia térmica):** es la energía o cantidad de calor que hemos de disipar al exterior utilizando aire o agua.

Se sabe que toda la energía que entra es igual a la que sale:

$$P_T \approx P_F + P_A$$

CALOR \approx FRÍO + ENERGÍA CONSUMIDA

3. Tipos de disipadores y su forma de trabajar.

3.1. Tipos de disipadores

Existen tres tipos de disipadores bien diferenciados en el que cada uno de ellos tiene un comportamiento diferente:

- Condensador por Aire
- Condensador por agua y Torre de Refrigeración

- Condensadores Evaporativos

En función de la temperatura de condensación (T_c) o presión de alta en cada uno de ellos, el compresor trabaja más o menos forzado, consumiendo así más o menos energía

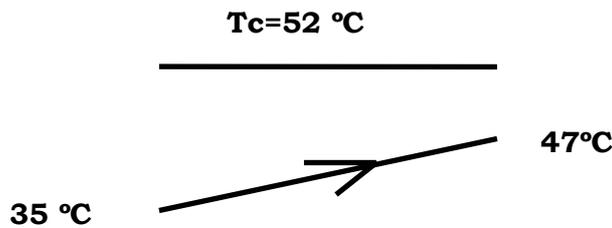


Fig.3.1. Condensador de aire

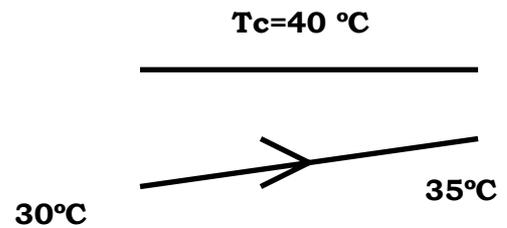


Fig.3.2. Condensador por agua y torre de refrigeración

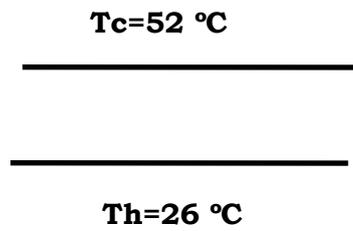


Fig.3.3. Condensador evaporativo

Mediante el siguiente ejemplo enunciado a continuación, se explicarán las diferencias existentes entre los distintos disipadores y cuál conviene utilizar en cada caso.

Ejemplo:

Supongamos que se quiere disipar el calor de una cámara frigorífica con una P_F de 1.000.000 kilocalorías por hora.

El motor del compresor, cuando se absorbe 1 millón de kilocalorías para una Torre de Refrigeración, consume 415 kW en Día Punta con una T_c de 40° C.

Nota muy importante: Según los fabricantes de compresores, por cada grado que se rebaja T_c :

El compresor consume el 1,5% de energía menos

Creciendo además la capacidad de P_F en un 1,5%, o sea que se puede disipar un poco más de calor

Lo mismo sucede, pero al revés si se incrementa T_c

3.2. Condensador por Aire

Para resolver el problema anteriormente enunciado, se parte de las temperaturas típicas de la zona de Barcelona.

Datos de partida

Días Punta (verano)

- Temperatura seca $T_s = 35^\circ \text{C}$
- Temperatura con salida del aire unos 47°C
- Temperatura de condensación $T_c = 52^\circ \text{C}$

Día Medio

- Temperatura seca $T_s = 30^\circ \text{C}$
- Temperatura salida del aire unos 42°C
- Temperatura de condensación $T_c = 47^\circ \text{C}$

Día Bajo

- Temperatura seca $T_s = 15^\circ \text{C}$
- Temperatura salida del aire unos 27°C
- Temperatura de condensación $T_c = 35^\circ \text{C}$ en vez de 32.

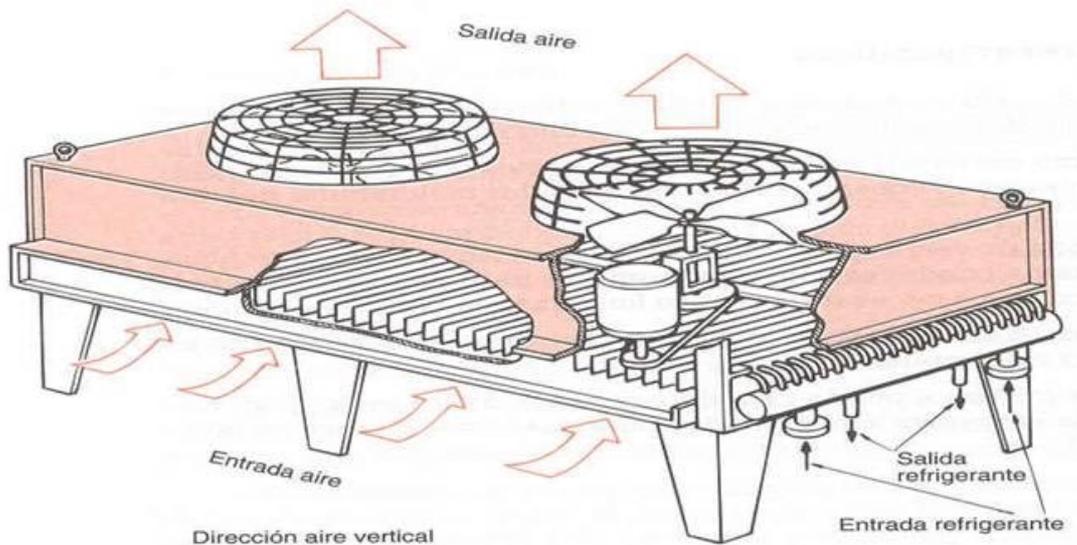


Fig.3.4. Condensador por aire

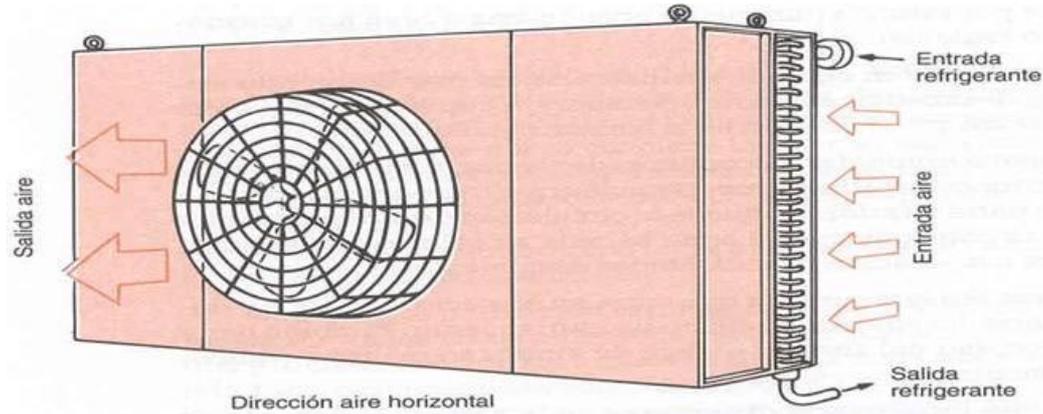


Fig.3.5. Condensador por aire

3.2.1. Día Punta

Utilizando los datos de un día punta se obtiene que la potencia frigorífica es:

$$P_F = 1.000.000 \times (1 - 0,015) \times (52 - 40) = 834.132 \text{ kcal/h}$$

En lugar de disipar el millón disipa 834.132 a causa de que T_c en un Condensador por Aire es 52°C en lugar de 40°C como en una Torre.

$$P_A = 415 \times (1 + 0,015) \times (52 - 40) = 496 \text{ kW}$$

El compresor en lugar de consumir los 415 kW consume 496 kW debido a que T_c en un Condensador por Aire es 52°C en lugar de 40°C como en una Torre.

Pero si debo disipar 1 millón de kcal/h se necesitará más potencia o más horas de trabajo:

$$P_{A1m} = 496 \times 1.000.000 / 834.132 = 594 \text{ kW} = 510.840 \text{ kcal/h}$$

Con lo que en total la energía a disipar en el Condensador de Aire será:

$$P_{T1m} = P_F + P_{A1m} = 1.000.000 + 510.840 = 1.510.840 \text{ kcal/h}$$

O sea hay que disipar un 51% más de que lo que precisa el edificio sólo, debido a la energía que consume el compresor

3.2.2. *Día Baja Temperatura*

Utilizando los datos de un día que tiene una baja temperatura se obtiene que la potencia frigorífica es:

$$P_F = 1.000.000 \times (1 + 0,015) \times (40 - 35) = 1.077.284 \text{ kcal/h}$$

En lugar de disipar el millón disipa a causa de que T_C en 1.077.284 un Condensador por Aire es 35° en lugar de 40° como en una Torre.

$$P_A = 415 \times (1 - 0,015) \times (40 - 35) = 385 \text{ kW}$$

El compresor en lugar de consumir los 415 kW consume 385 kW debido a que T_C en un Condensador por Aire es 35° en lugar de 40° como en una Torre.

Pero si debo disipar 1 millón de kcal/h necesitará menos potencia:

$$P_{A1m} = 385 \times 1.000.000 / 1.077.284 = 357 \text{ kW} = 331.100 \text{ kcal/h}$$

Con lo que en total la energía a disipar en el Condensador de Aire será:

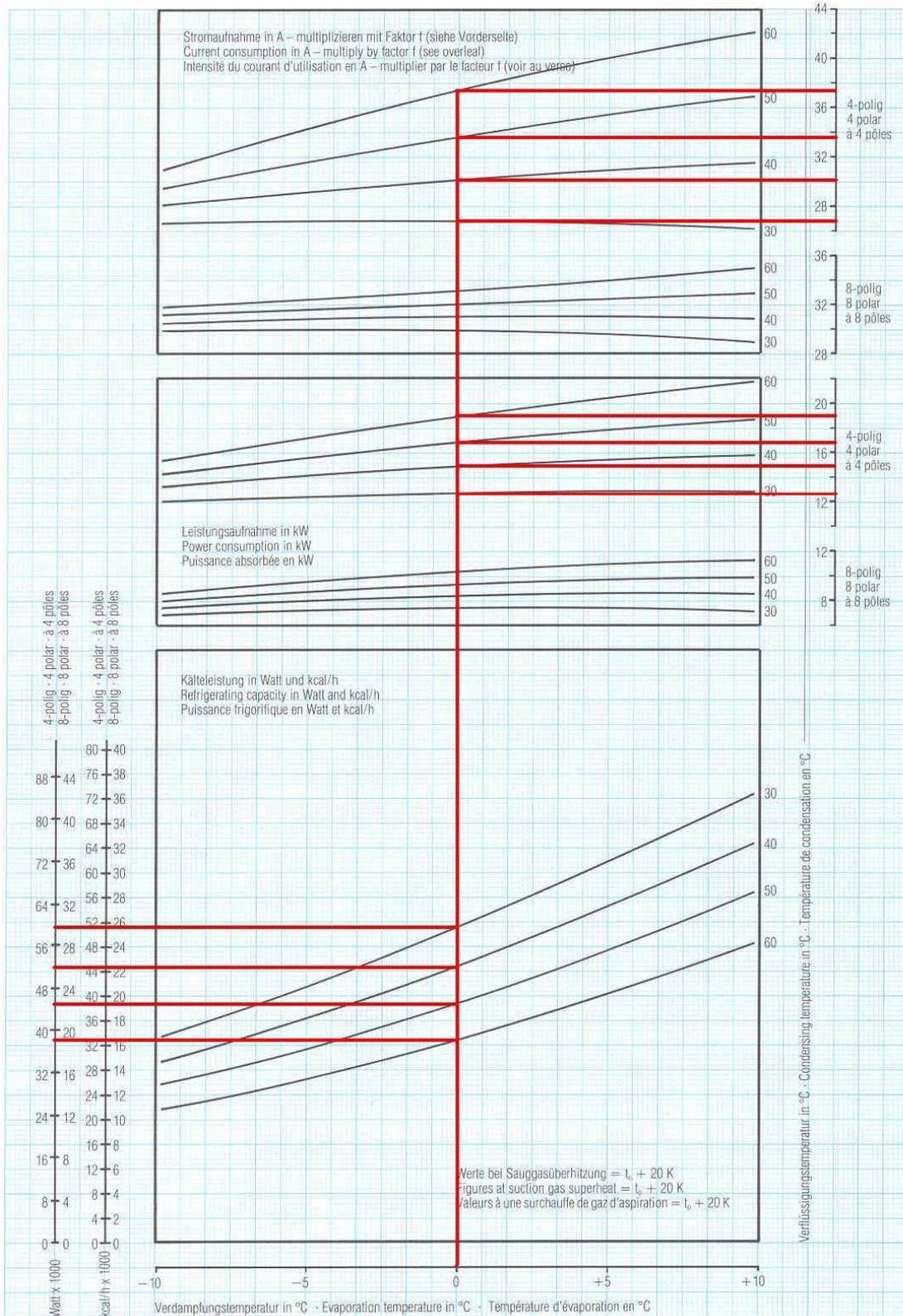
$$P_{T1m} = P_F + P_{A1m} = 1.000.000 + 331.100 = 1.331.100 \text{ kcal/h}$$

3.2.3. *Comentarios*

En las dos figuras siguientes se observa que por cada grado que se baja la temperatura de condensación el compresor consume el 1,5% menos de energía y aumenta un 1,5% la potencia frigorífica, es decir, que puede disipar un poco más de calor.

Lo mismo sucede, pero al revés si se incrementa la temperatura de condensación.

Esta información se ha obtenido de 2 catálogos de fabricantes de compresores.



DFE-2, Pt. 07.89 – 2.0 - Änderungen vorbehalten - Subject to change without notice - Sous réserve de toutes modifications

Fig.3.6.

T _c (°C)		t ₀ (°C)					
		+10	+5	0	-5	-10	-15
30	Q ₀	206291	176363	149530	125604	104392	85707
	P _e	39,30	35,60	32,20	29,20	26.40	23.80
40	Q ₀	181527	157894	131086	109914	91186	74714
	P _e	44.80	40.60	36.80	33.20	29.90	26.80
50	Q ₀	152463	129476	109044	90976	75082	61173
	P _e	50.50	45.80	41.40	37.20	33.30	29.60
30	Q ₀	241656	206597	175164	147139	122288	100399
	P _e	46.00	41.70	37.80	34.20	30.90	27.80
40	Q ₀	212646	181448	153558	128756	106818	87522
	P _e	52.50	47.60	43.10	38.90	35.10	31.40
50	Q ₀	178600	151672	127737	106571	87953	71660
	P _e	59.10	53.60	48.50	43.60	39.10	34.70

3.3. Torres de Refrigeración

Días Punta (verano)

- Temperatura de condensación $T_c = 40^\circ \text{C}$
- Temperatura húmeda $T_h = 26^\circ \text{C}$
- Temperatura media salida de agua de la torre unos 30°C
- Temperatura media de entrada del agua de la torre unos 35°C

Día Medio

- Temperatura de condensación $T_c = 25^\circ \text{C}$
- Temperatura húmeda $T_h = 14^\circ \text{C}$
- Temperatura media salida de agua de la torre unos 17°C
- Temperatura media entrada del agua de la torre unos $20\text{-}21^\circ \text{C}$

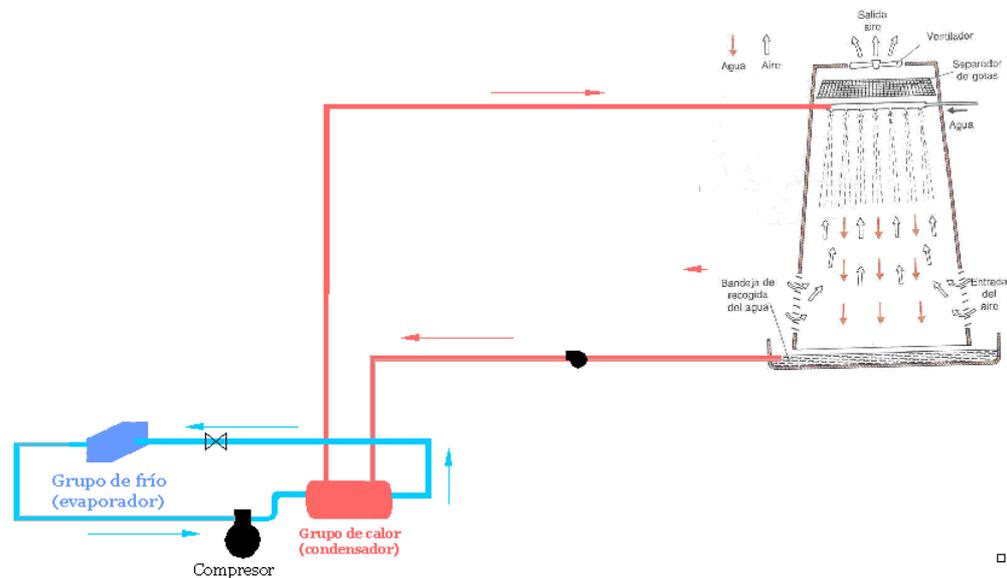


Fig.3.7. Instalación típica con torre de refrigeración

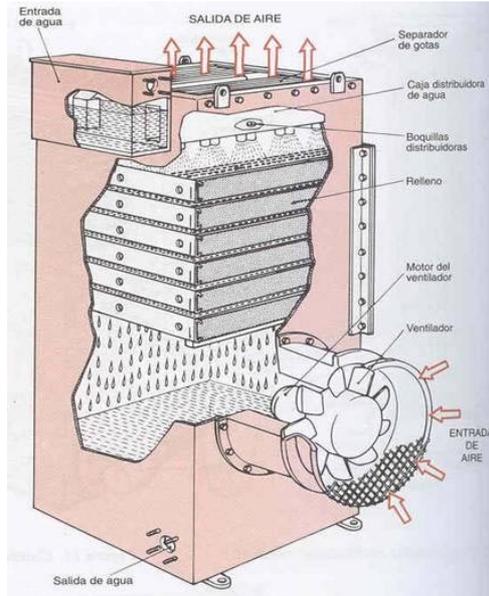


Fig.3.8. Sección transversal de la Torre de refrigeración

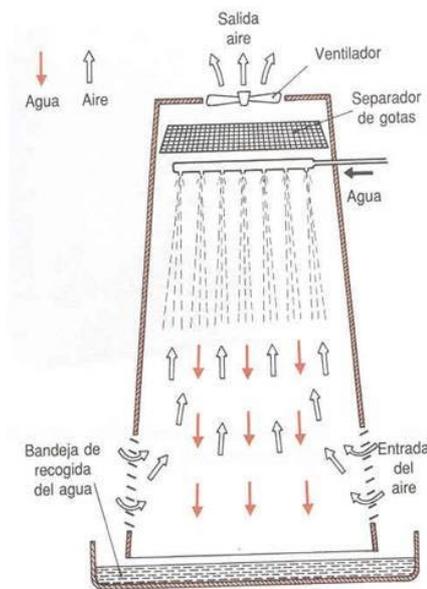


Fig.3.9. Esquema de flujos de aire y agua en una Torre de refrigeración

3.3.1. Día Punta

Utilizando los datos de un día punta se obtiene que la potencia frigorífica es:

$$P_F = 1.000.000 \text{ kcal/h}$$

$$P_A = 415 \text{ kW} = 356.900 \text{ kcal/h, según la experiencia}$$

Con lo que en total la energía a disipar en la Torre de Refrigeración será:

$$P_{T1m} = P_{FE} + P_{A1m} = 1.000.000 + 356.900 = 1.396.900 \text{ kcal/h}$$

O sea, hay que disipar un 40% más de que lo que precisa el edificio sólo, debido a la energía que consume el compresor.

Un compresor consume 415 kW, si utiliza una Torre, para disipar el 1.000.000 de kcal/h de un edificio.

El mismo compresor consume 594 kW, si utiliza un Condensador por Aire, para disipar lo mismo.

Esto quiere decir que se consume un 30 % más de energía eléctrica, provocando más efecto invernadero.

3.3.2. Día Medio

Utilizando los datos de un día punta se obtiene que la potencia frigorífica es:

$$P_F = 1.000.000 \times (1 + 0,015) \times (40 - 25) = 1.250.232 \text{ kcal/h}$$

En lugar de disipar el millón disipa 1.250.232 a causa de que T_c en una Torre de refrigeración es 25° en lugar de 40°.

$$P_A = 415 \times (1 - 0,015) \times (40 - 25) = 331 \text{ kW}$$

El compresor en lugar de consumir los 415 kW consume 331 kW debido a que T_c en una Torre de Refrigeración es 25° en lugar de 40°C.

Pero si debo disipar 1 millón de kcal/h necesitará menos potencia:

$$P_{A1m} = 331 \times 1.000.000 / 1.250.232 = 265 \text{ kW} = 227.900 \text{ kcal/h}$$

Con lo que en total la energía a disipar en la Torre de Refrigeración será:

$$P_{F1m} = P_F + P_{A1m} = 1.000.000 + 227.900 = 1.227.900 \text{ kcal/h}$$

3.4. Condensador evaporativo

- Días Punta (verano)
 - Temperatura de condensación $T_c = 33^\circ \text{ C}$

- Temperatura de húmeda $T_h = 26^\circ \text{C}$
- Día Medio
 - Temperatura de condensación $T_c = 20^\circ \text{C}$
 - Temperatura de húmeda $T_h = 13^\circ \text{C}$

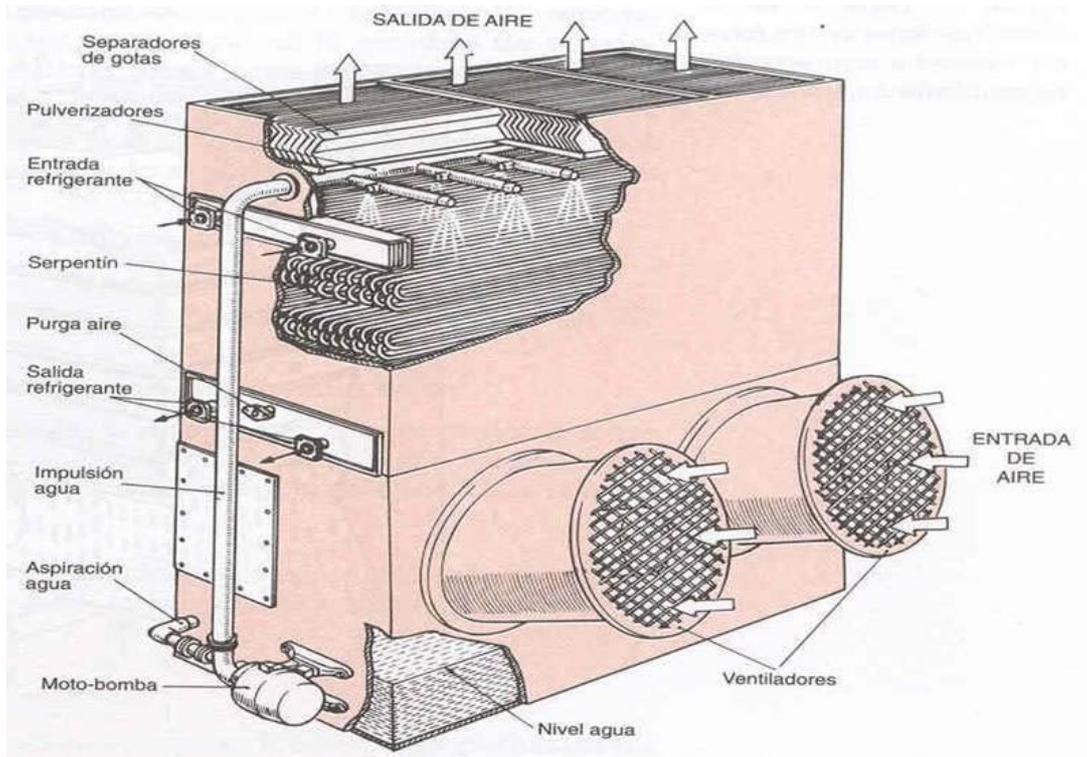


Fig.3.10. Esquema de flujos de aire y agua en una Torre de refrigeración

3.4.1. *Día Punta*

Utilizando los datos de un día punta se obtiene que la potencia frigorífica es:

$$P_F = 1.000.000 \times (1 + 0,015) \times (40 - 33) = 1.109.845 \text{ kcal/h}$$

En lugar de disipar el millón disipa 1.109.845, a causa de que T_c en un Condensador Evaporativo es 33°C en lugar de 40°C , como en una Torre.

$$P_A = 415 \times (1 - 0,015) \times (40 - 33) = 373 \text{ kW}$$

El compresor en lugar de consumir los 415 kW consume 373 kW debido a que T_c en un Condensador Evaporativo es 33°C en lugar de 40°C como en una Torre.

Pero si debo disipar 1 millón de kcal/h necesitará menos potencia:

$$P_{A1m} = 373 \times 1.000.000 / 1.109.845 = 336 \text{ kW} = 288.960 \text{ kcal/h}$$

Con lo que en total la energía a disipar en el Condensador Evaporativo será:

$$P_{F1m} = P_F + P_{A1m} = 1.000.000 + 288.960 = 1.288.960 \text{ kcal/h}$$

3.4.2. *Día Medio*

Utilizando los datos de un día medio se obtiene que la potencia frigorífica es:

$$P_F = 1.000.000 \times (1 + 0,015) \times (40 - 20) = 1.346.855 \text{ kcal/h}$$

En lugar de disipar el millón disipa 1.346.855 a causa de que T_c en un Condensador Evaporativo es 20°C en lugar de 40°C como en una Torre.

$$P_A = 415 \times (1 - 0,015) \times (40 - 20) = 307 \text{ kW}$$

El compresor en lugar de consumir los 415 kW consume 307 kW debido a que T_c en un Condensador Evaporativo es 20°C en lugar de 40°C como en una Torre.

Pero si debo disipar 1 millón de kcal/h necesitará menos potencia:

$$P_{A1m} = 307 \times 1.000.000 / 1.346.855 = 228 \text{ kW} = 196.080 \text{ kcal/h}$$

Con lo que en total la energía a disipar en el Condensador Evaporativo será:

$$P_{F1m} = P_F + P_{A1m} = 1.000.000 + 196.080 = 1.196.080 \text{ kcal/h}$$

4. Conclusiones

4.1. *Resumen consumo Compresor*

Para disipar el mismo calor en todos los casos

	Consumo eléctrico	
	Día punta	Día medio
Condensador por Aire	594 kW (258 kW 177 %)	357 kW (129 kW 157 %)
Torre Refrigeración	415 kW (79 kW 124 %)	265 kW (37 kW 116 %)
Condensador Evaporativo	336 kW (0 kW 100 %)	228 kW (0 kW 100 %)

- **Torre Refrigeración:** Al cabo del año: 14.541 € (2.419.419 ptas.) de más en electricidad que con un Condensador Evaporativo
- **Condensador por Aire:** Al cabo del año: 49.040 € (8.159.569 ptas.) de más en electricidad que con un Condensador Evaporativo

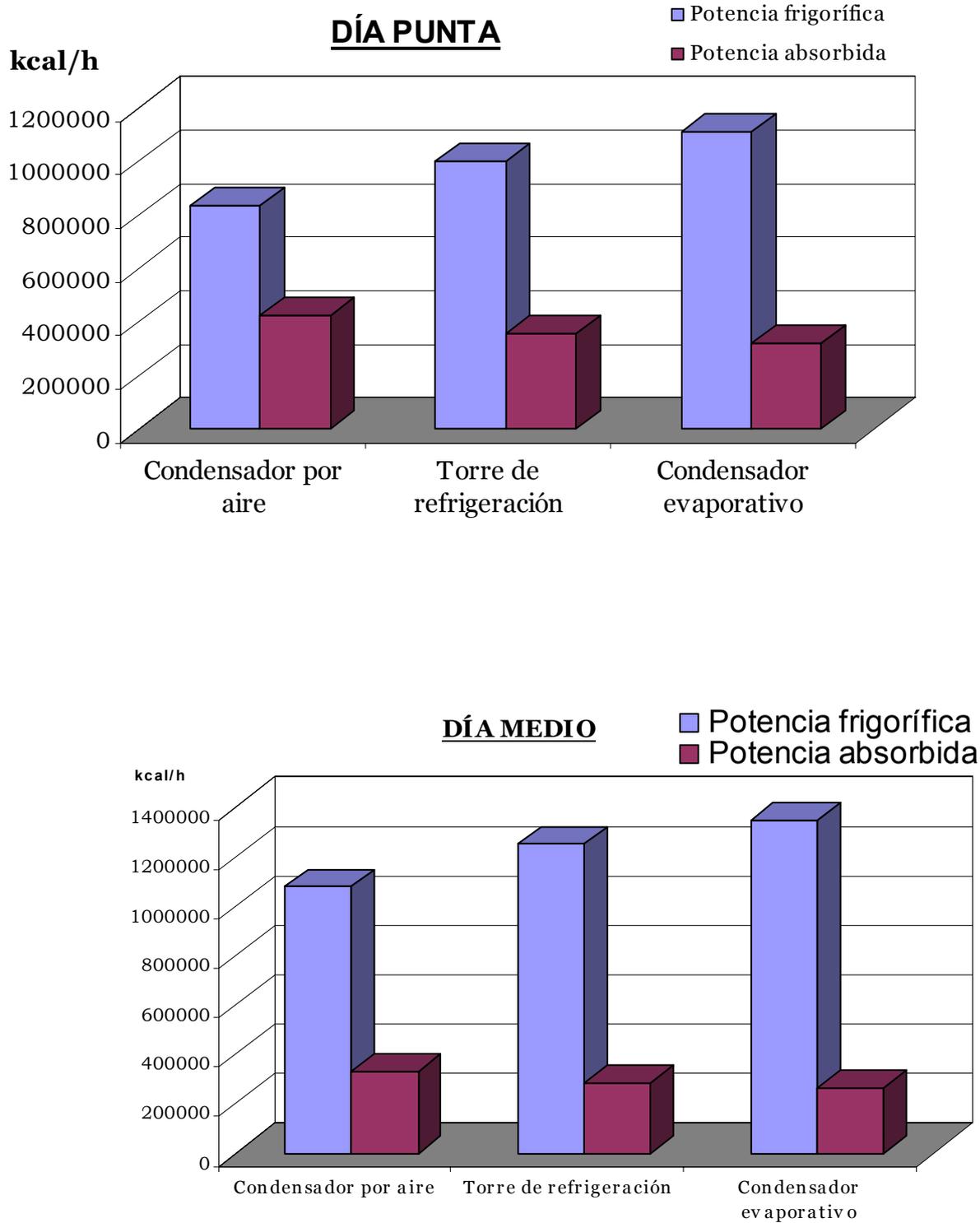
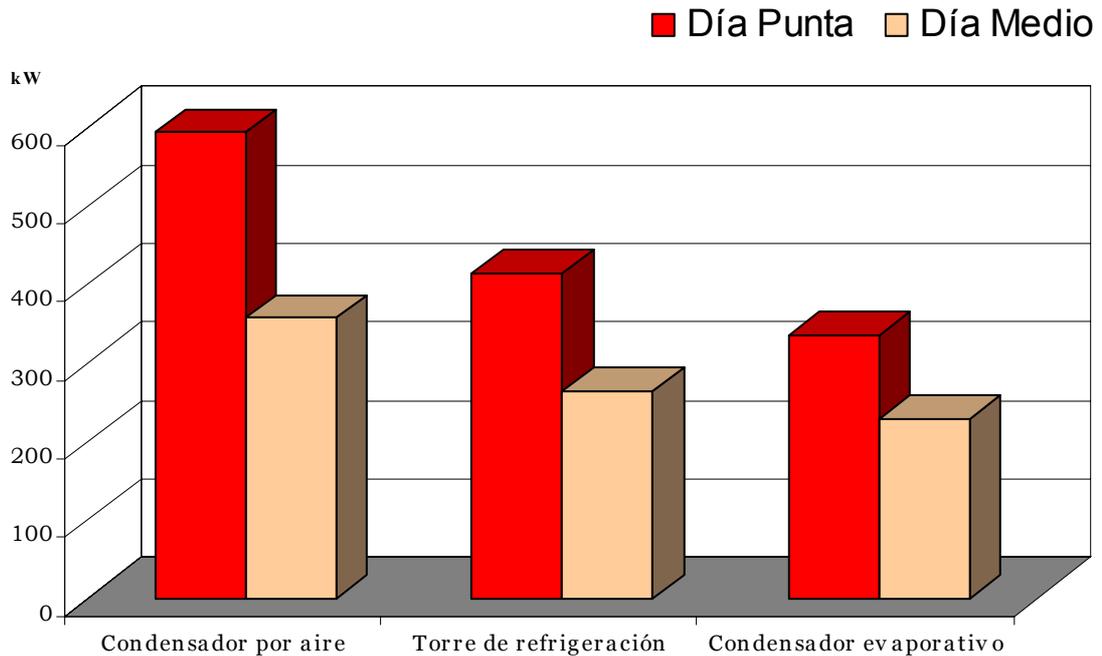


Figura 4.1. Comparativa entre los distintos tipos de disipadores



4.2. *Importante recordar*

- El consumo eléctrico anual del Compresor con un Condensador Evaporativo para disipar 1.000.000 de kcal/h en una cámara frigorífica es de 75.272 € en electricidad.
- Si empleamos una Torre de Refrigeración se gastan 89.813 €, un 19 % más de electricidad.
- Si empleamos un Condensador por Aire se gastan 124.312 €, un 65 % más de electricidad.
- Este despilfarro se transforma en más CO₂ en la atmósfera, más efecto invernadero, y en menos dinero en la caja de la Empresa a cambio de nada.