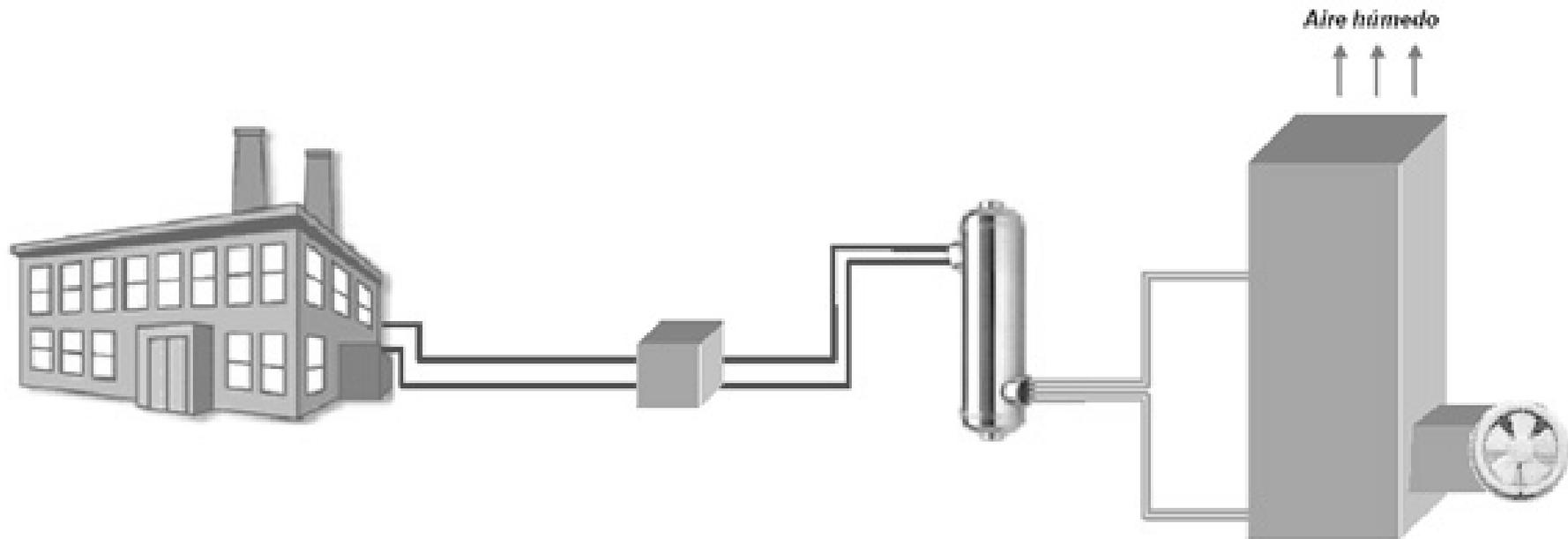


Laboratorio de Termotècnia
E. T. S. E. I. B.

Universitat Politècnica de Catalunya

Profesor José M^a Nacenta,
Dr. Ingeniero Industrial

Instalación típica:



EcoTermIn

Máquina de frío:

- **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**
- **Solo se paga la energía necesaria para el transporte.**

Instalaciones frigoríficas:

- **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

Instalaciones frigoríficas

Aire acondicionado:

- **En verano traslada calor del interior del local al exterior**

Refrigeración:

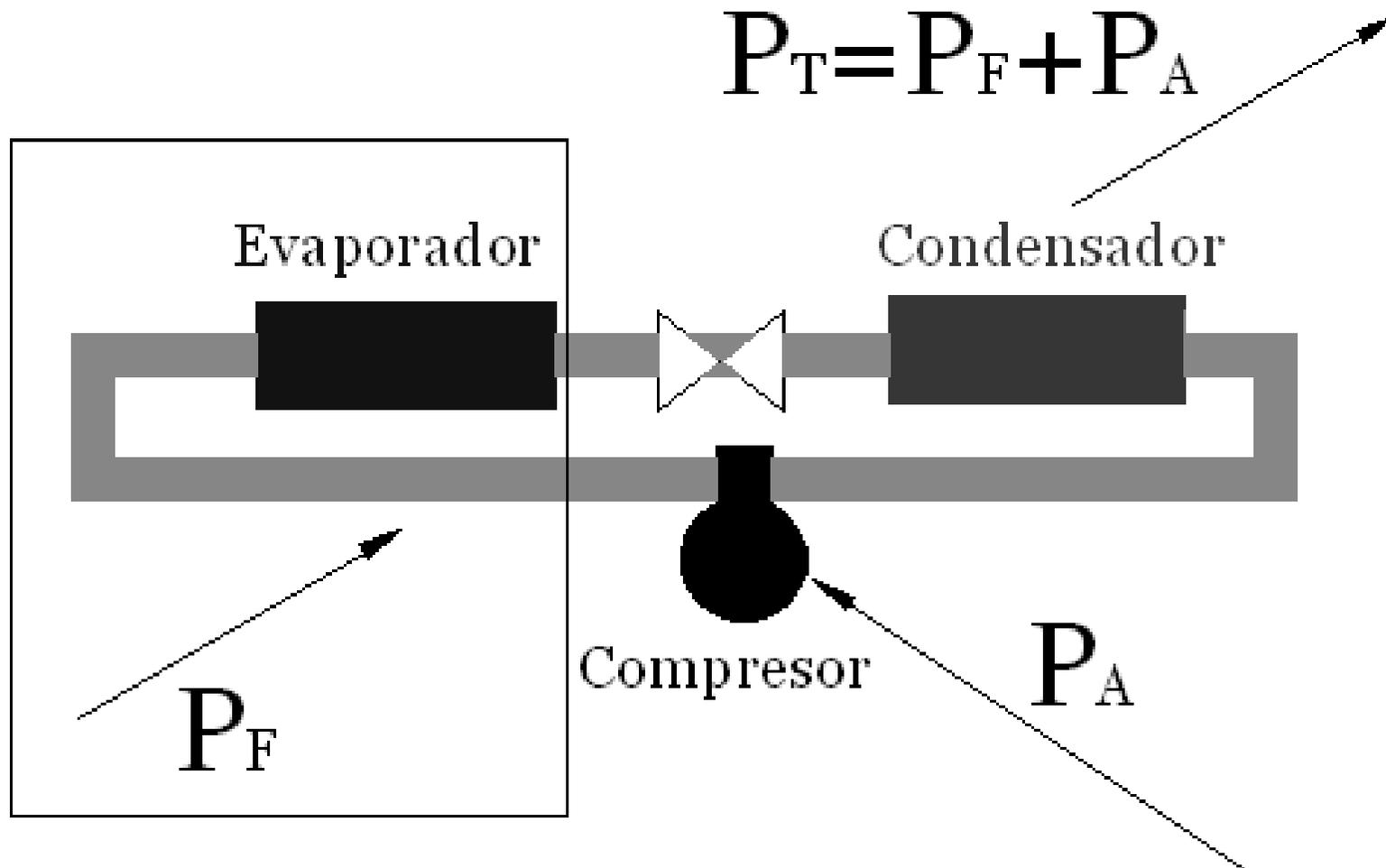
- **La cámara frigorífica roba calor del interior de la cámara y lo disipa al exterior**

Económicamente se traslada más energía que la se consume en el transporte

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

**Dilema:
¿Cómo disipar este calor?
¿Aire? o ¿Agua?**

Instalaciones frigoríficas:



Aclarando conceptos:

Diferencias entre P_F , P_A y 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.

$$P_T \sim P_F + P_A$$

CALOR ~ FRÍO + ENERGÍA CONSUMIDA

Tipos de disipadores:

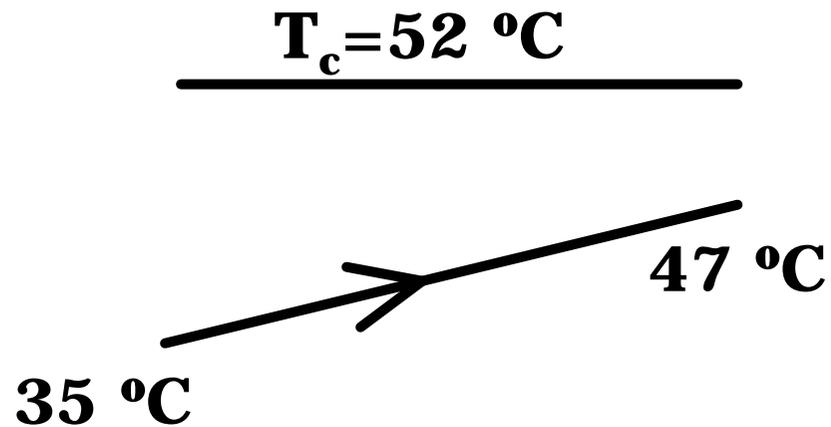
- **Condensador por Aire**
- **Torres de Refrigeración**
- **Condensadores Evaporativos**

Cada uno de ellos tiene un comportamiento diferente

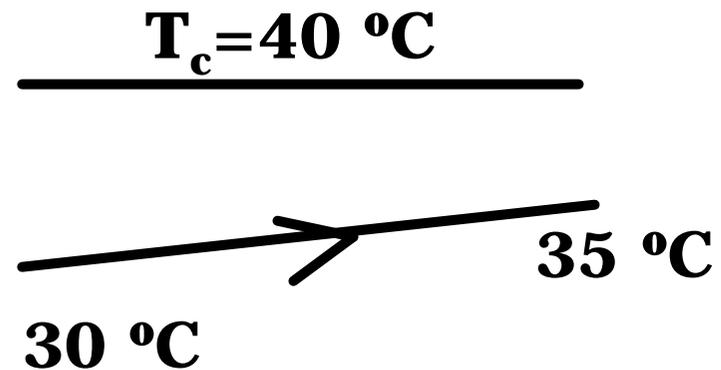
En función de la T_c de cada uno de ellos, el compresor trabaja más o menos forzado, consumiendo más o menos energía

Aclarando conceptos:

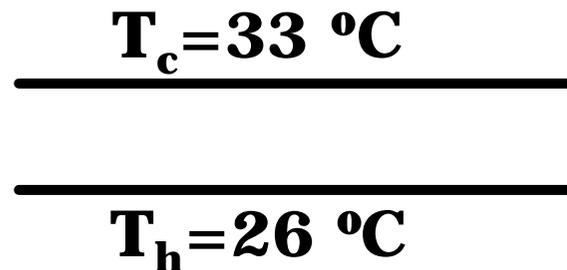
- *Condensador de aire*



- *?Torre de refrigeración*



- *Condensador evaporativo*



Ejemplo:

Supongamos que se quiere disipar el calor de una cámara frigorífica con una PF 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 Tc de 40° C.

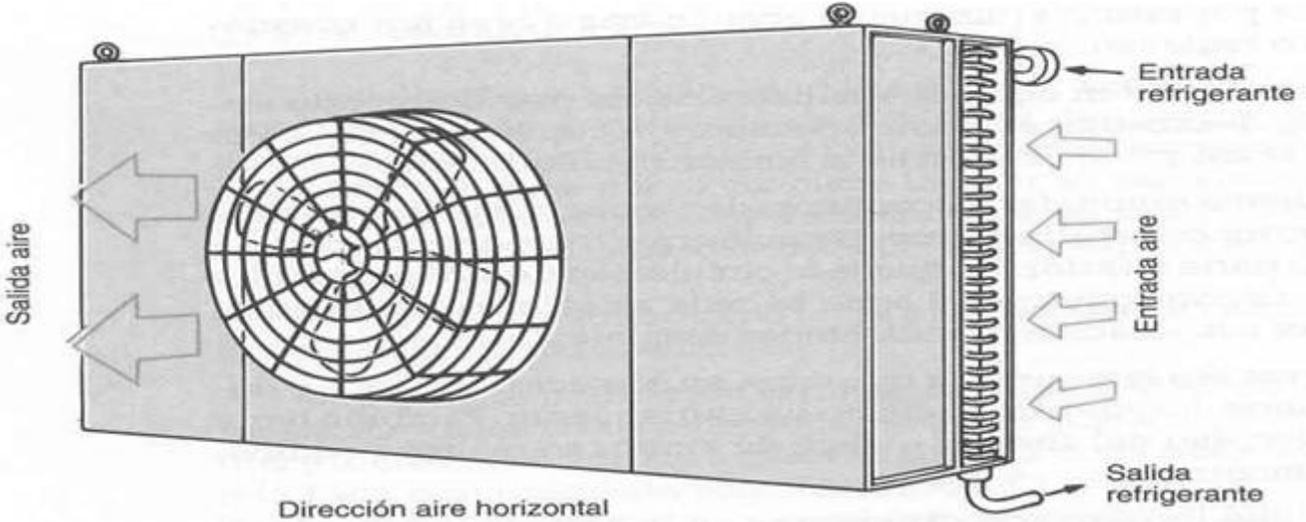
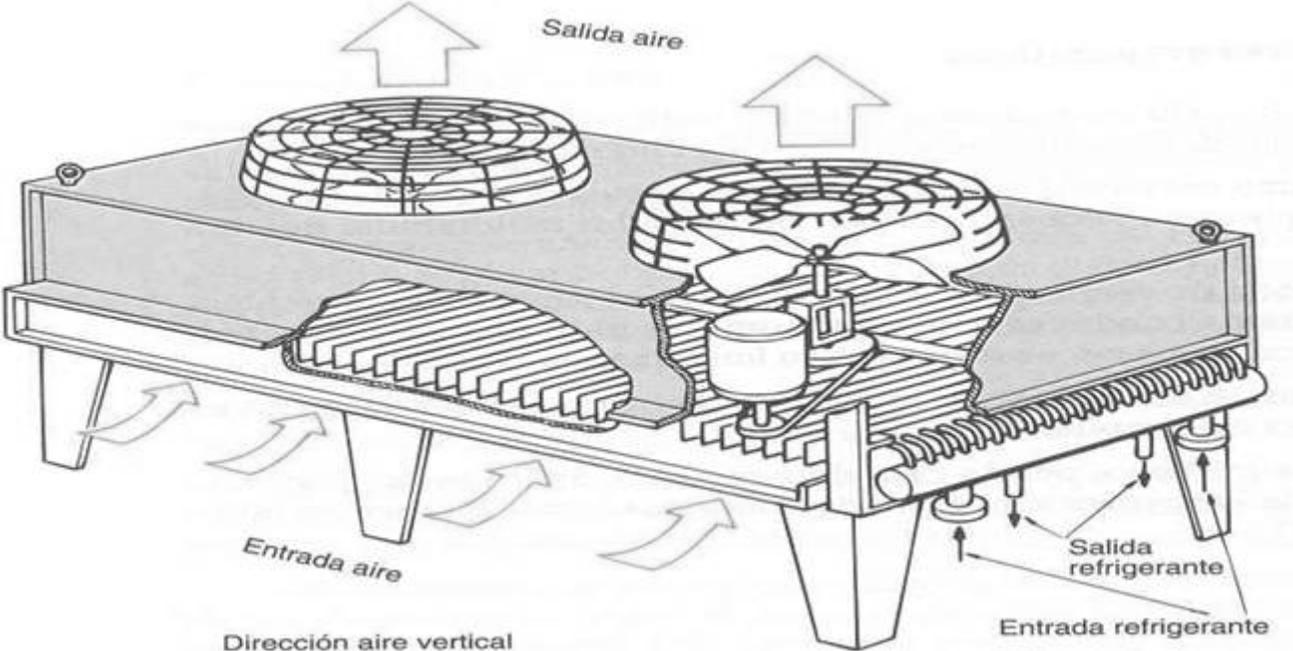
Nota muy importante: Según los fabricantes de compresores, por cada grado que se rebaja Tc:

- El compresor consume el 1,5% de energía menos**
- Creciendo además la capacidad de PF en un 1,5%, o sea que se puede disipar un poco más de calor**
- Lo mismo sucede, pero al revés si se incrementa Tc**

Condensador por Aire (1)

- **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.**

Condensador por aire:



Condensador por Aire (2)

Día Punta

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

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

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

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

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

$$PA1m = 496 \times 1.000.000 / 834.132 = 594 \text{ kW} = 510.840 \text{ kcal/h}$$

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

$$PT1m = PF + PA1m = 1.000.000 + 510.840 = 1.510.840 \text{ kcal/h}$$

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

Condensador por Aire (3)

Día Baja Temperatura

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

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

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

El compresor en lugar de consumir los 415 kW consume 385 kW debido a que TC 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:

$$PA1m = 385 \times 1.000.000 / 1.077.284 = 357 \text{ kW} = 331.100 \text{ kcal/h}$$

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

$$PT1m = PF + PA1m = 1.000.000 + 331.100 = 1.331.100 \text{ kcal/h}$$

Tabla

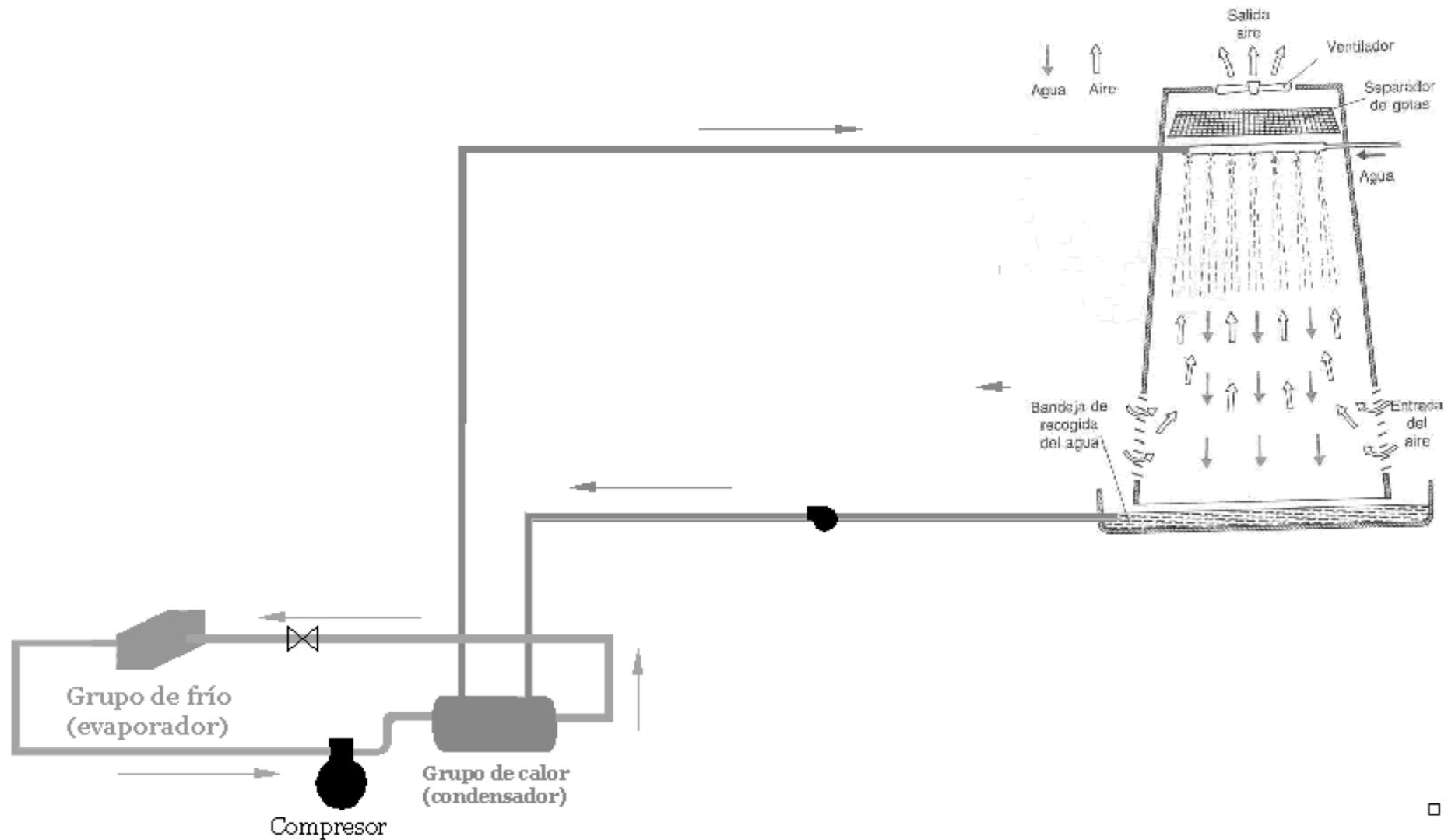
T _c (°C)		t ₀ (°C)					
		+10	+5	0	-5	-10	-15
30	Q ₀	206291	176363	149530	125604	104392	85707
	P _e	39,30	35,60	32,20	29,20	26.40	23.80
40	Q ₀	181527	157894	131086	109914	91186	74714
	P _e	44.80	40.60	36.80	33.20	29.90	26.80
50	Q ₀	152463	129476	109044	90976	75082	61173
	P _e	50.50	45.80	41.40	37.20	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

Torres de Refrigeración (1)

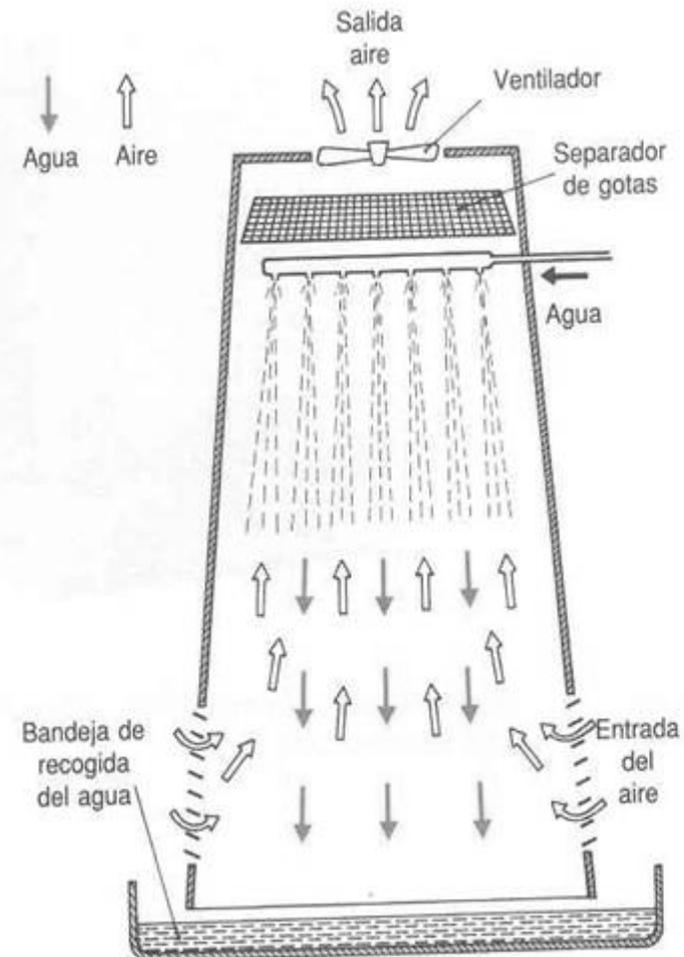
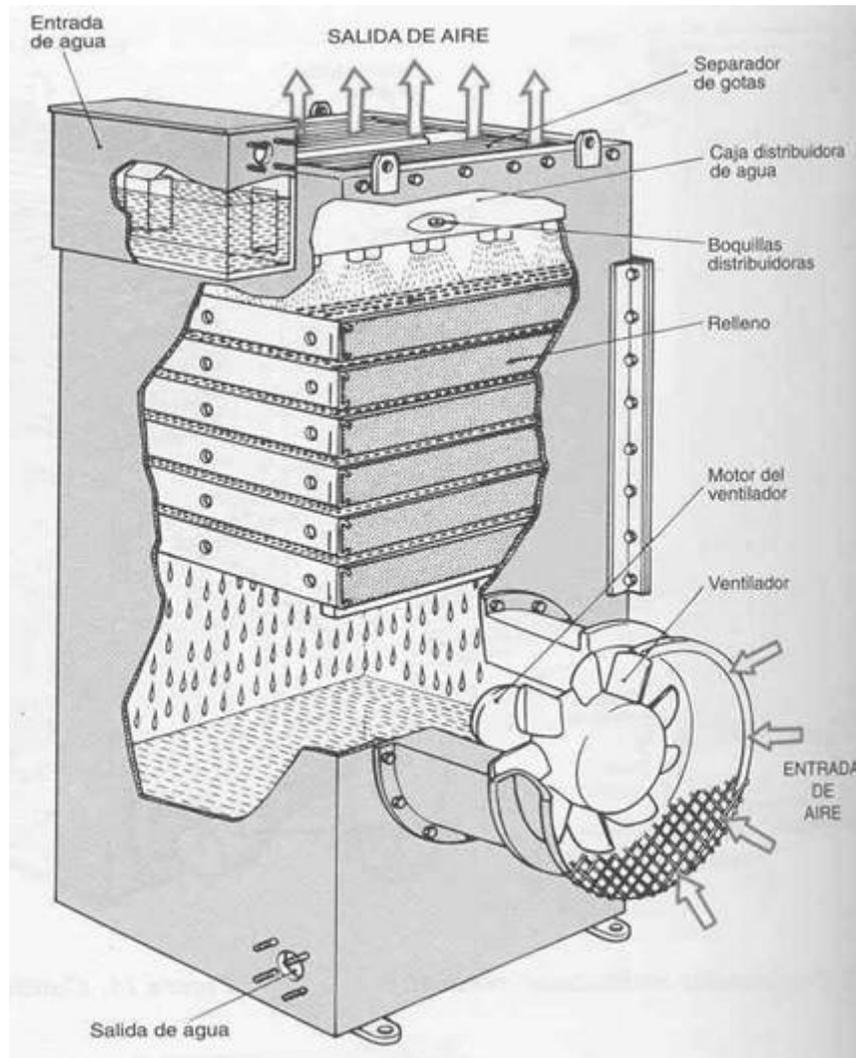
- **Días Punta (verano)**
 - **Temperatura de condensación $T_c = 40^\circ \text{C}$**
 - **Temperatura húmeda $T_h = 26^\circ \text{C}$**
 - **Temperatura media salida de agua de la torre unos 30°C**
 - **Temperatura media de entrada del agua de la torre unos 35°C**

- **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 $20\text{-}21^\circ \text{C}$**

Torres de refrigeración (2)



Torres de refrigeración (3)



Torres de Refrigeración (4)

Día Punta

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

$P_A = 415 \text{ kW} = 356.900 \text{ kcal/h}$, 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.

¡Un 30 % más de energía eléctrica!

¡Más efecto invernadero!

Torres de Refrigeración (5)

Día Medio

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

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

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

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

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

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

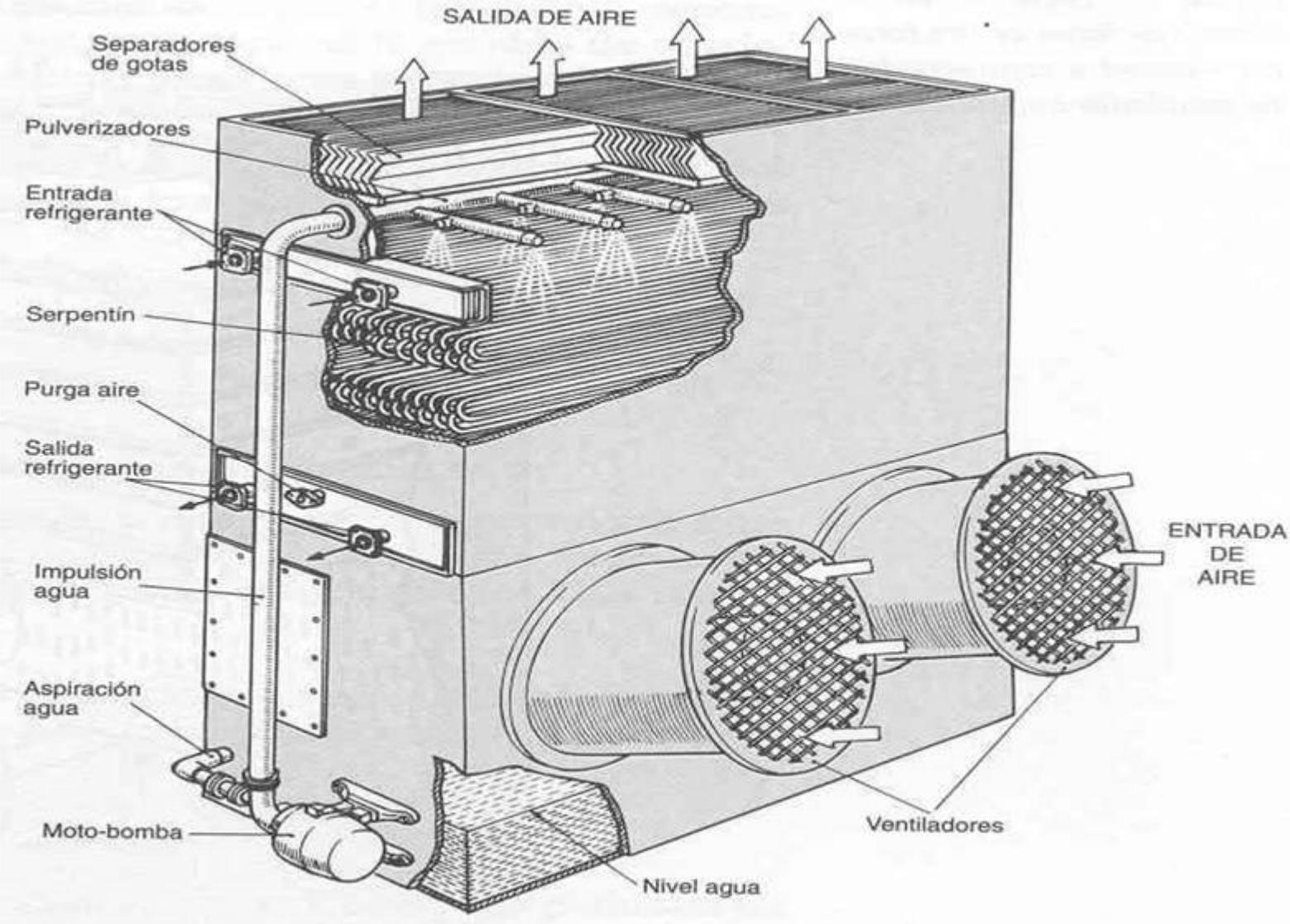
Con lo que en total la energía a disipar en la Torre de Refrigeración será:

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

Condensador Evaporativo (1)

- **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 $T_h = 13^\circ \text{ C}$**

Condensador evaporativo (2)



Condensador Evaporativo (3)

Día Punta

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

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

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

El compresor en lugar de consumir los 415 kW consume 373 kW debido a que TC 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:

$$PA_{1m} = 373 \times 1.000.000 / 1.109.845 = 336 \text{ kW} = 288.960 \text{ kcal/h}$$

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

$$PF_{1m} = PF + PA_{1m} = 1.000.000 + 288.960 = 1.288.960 \text{ kcal/h}$$

Condensador Evaporativo (4)

Día Medio

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

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

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

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

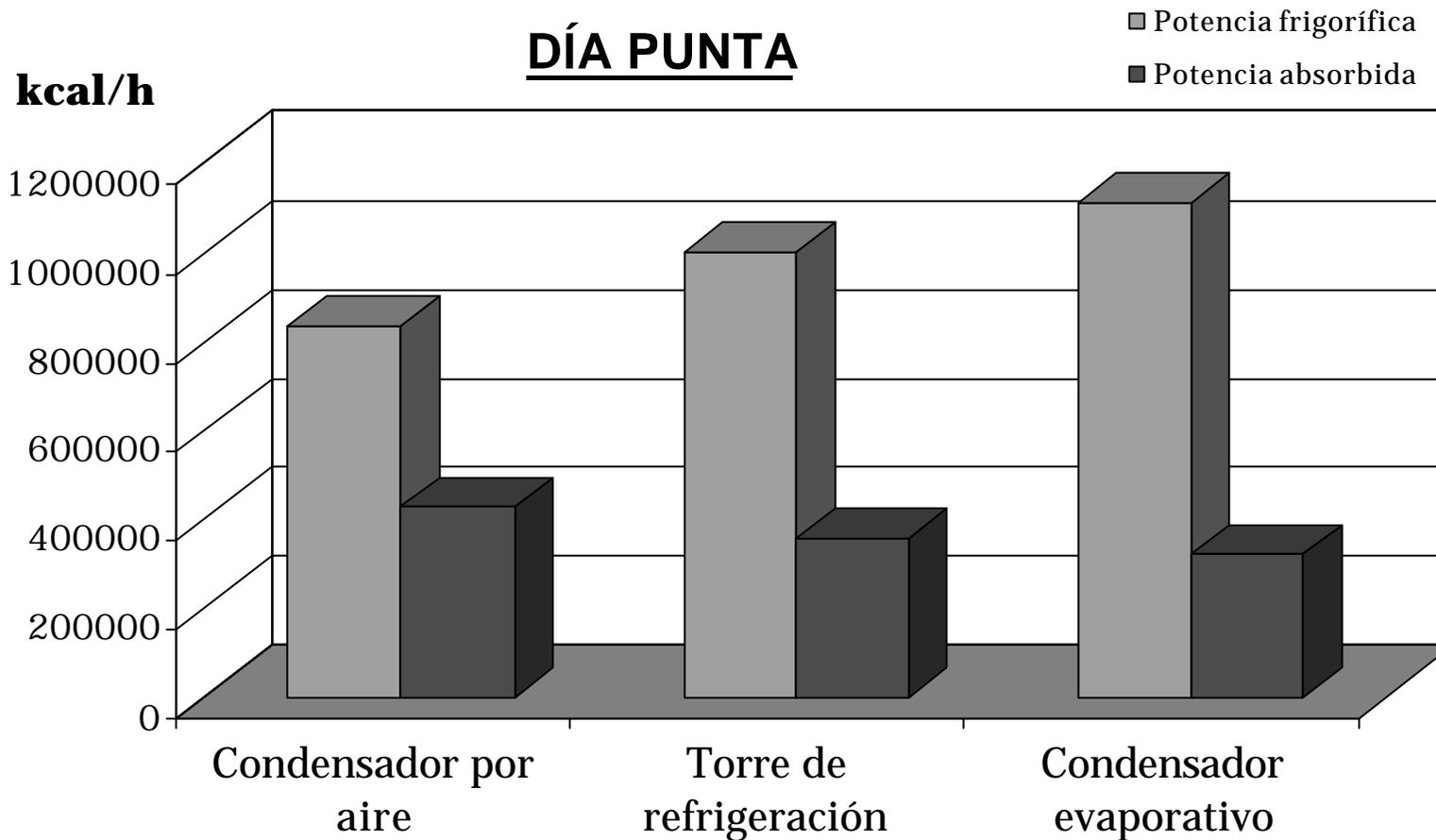
Pero si debo disipar 1 millón de kcal/h necesitará menos potencia:

$$PA1m = 307 \times 1.000.000 / 1.346.855 = 228 \text{ kW} = 196.080 \text{ kcal/h}$$

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

$$PF1m = PF + PA1m = 1.000.000 + 196.080 = 1.196.080 \text{ kcal/h}$$

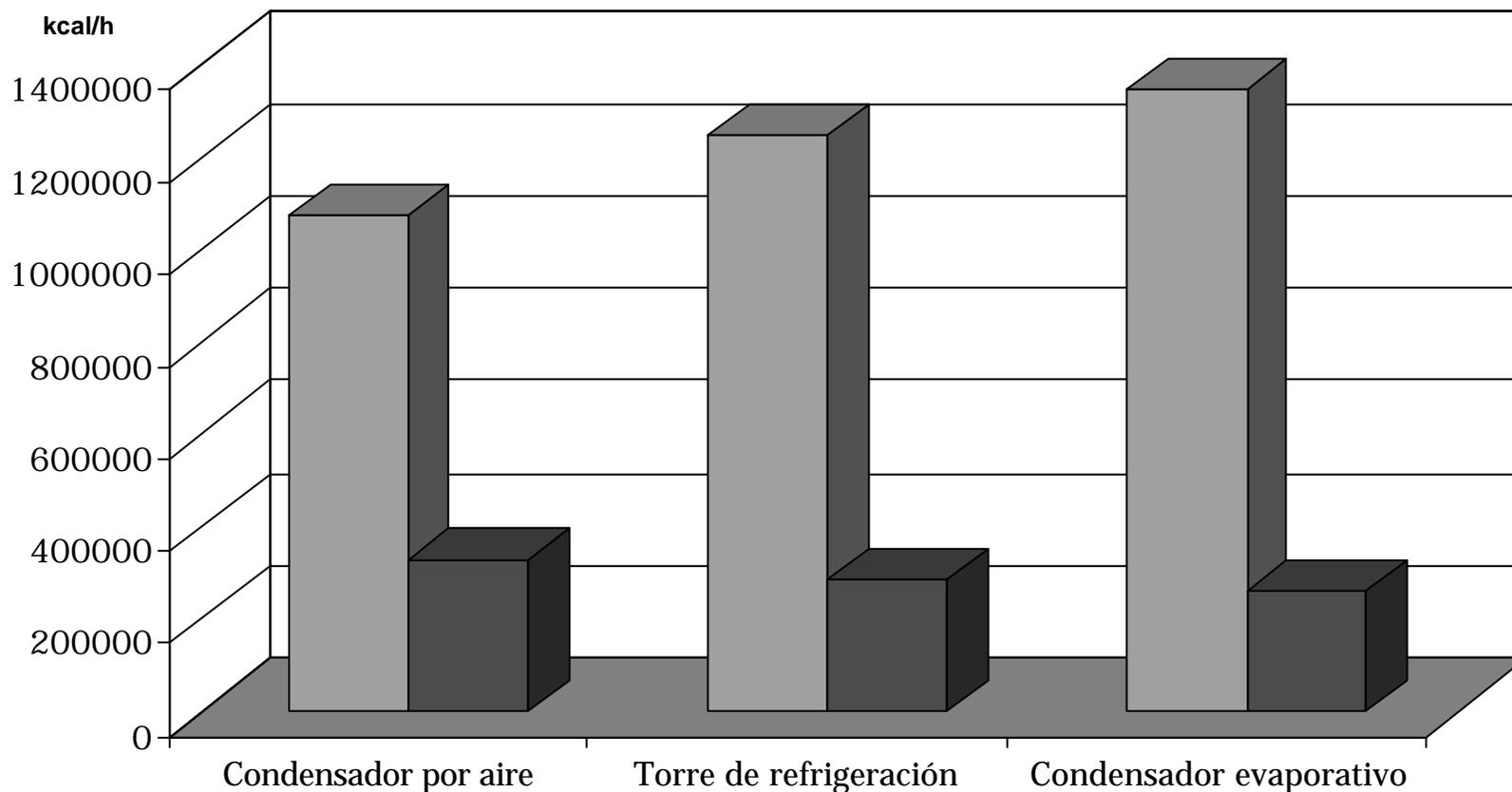
Comparativa entre tipos disipadores



Comparativa entre tipos disipadores

DÍA MEDIO

■ Potencia frigorífica
■ Potencia absorbida



Resumen consumo Compresor (1)

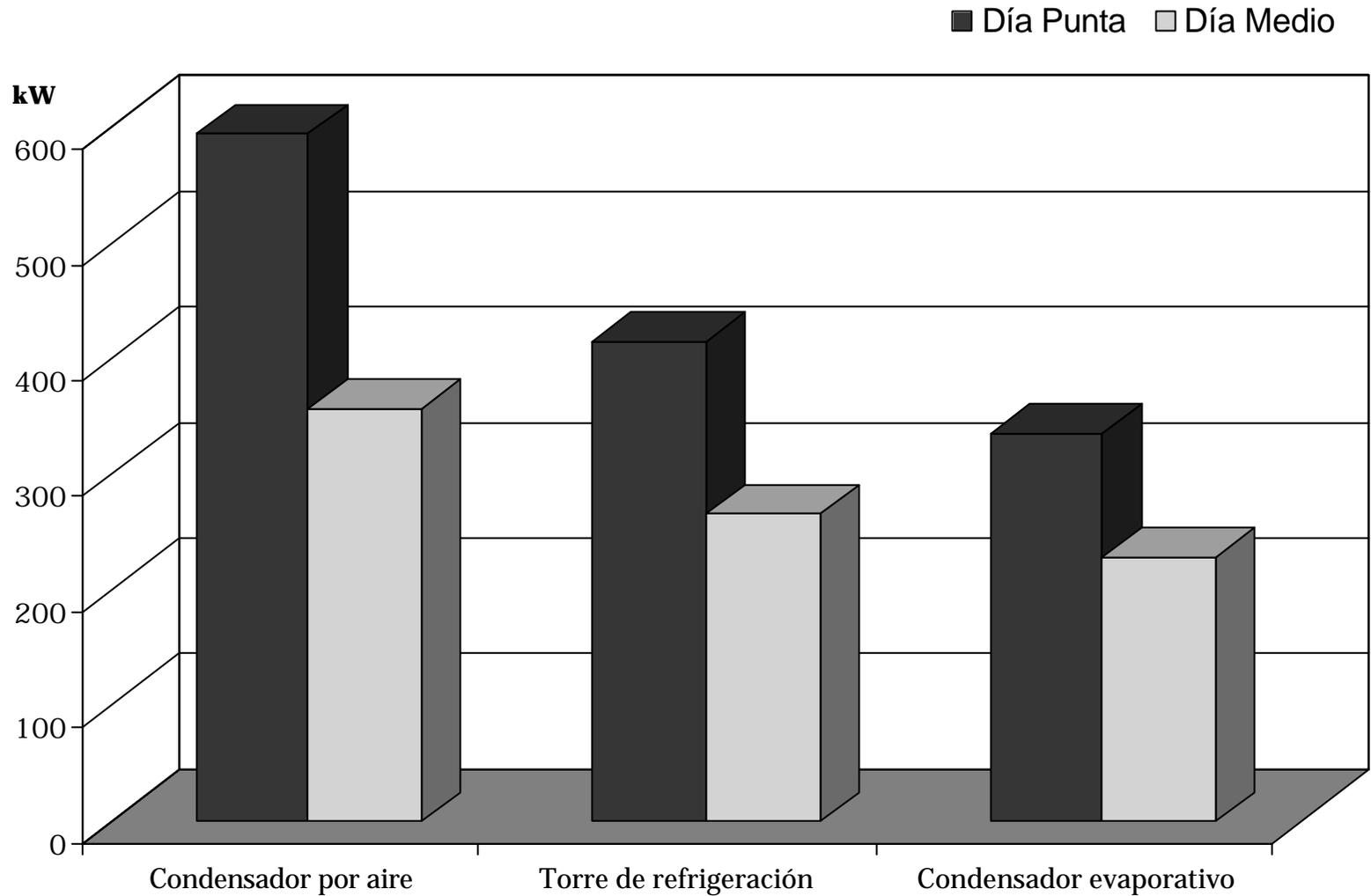
Para disipar el mismo calor en todos los casos

	<i>Consumo eléctrico</i>	
	<i>Día punta</i>	<i>Día medio</i>
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

Resumen del consumo Compresor (2)



Resumen consumo Compresor (3)

- **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.**

UPC ETSEIB

Dept. de Màquines y Motores Tèrmics

**Les agradece su atención,
quedamos a su disposición
para cualquier consulta.**

Muchas gracias

Profesor José M^a Nacenta,

Dr. Ingeniero Industrial

Av. Diagonal 647-7^a planta.

Dep. Màquines i Motors Tèrmics

08028 Barcelona

93 401 65 82 / 617 36 90 44

e-mail: nacenta@mmt.upc.es