

# Prácticas de Ingeniería Térmica y de Fluidos

## 4º Curso Ingeniero Industrial

- Las prácticas se desarrollarán en el Laboratorio de Energética, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética. (S3-65)
- Realizada la misma se deberá entregar una memoria **individual**.
- Para entregar la memoria es obligatoria la asistencia a la totalidad de las prácticas
- La memoria deberá contener:
  - Datos de los ensayos realizados
  - Resultados de los ensayos realizados
  - Comentario de los resultados (para comparar resultados se pueden pedir los de otros grupos)
  - **Conclusión general** de la práctica en la que se hará referencia a posibles mejoras para la realización de las prácticas, ampliación de las instalaciones actuales, nuevas instalaciones que podrían resultar interesantes para las prácticas, posibles proyectos fin de carrera a realizar en el laboratorio con estos equipos (o los sugeridos), etc. **Este apartado es el que más puntuará.**
- El orden de entrega de la memoria debe seguir el del guión entregado
- Todas las hojas entregadas han de estar numeradas
- La extensión máxima es de 15 páginas, los textos han de estar escritos a ordenador (letra arial 10 u 11), pero las figuras, esquemas, ... pueden en dibujarse a mano, escanearse, ...
- Fecha límite de entrega: lunes 17 de enero de 2005, hasta las 13:00 h
- Las memorias se entregarán al profesor de prácticas, despacho S3-26
- Quedarse con una copia de las prácticas (no se devuelven)
- Se recuerda que toda materia impartida en la asignatura (incluida la de las prácticas) puede ser preguntada en el examen de la asignatura

### 1.- Intercambiadores de Calor

- 1.1.-Descripción general de un intercambiador. Utilidades.
- 1.2.-Modos de funcionamiento de un intercambiador (equi o contracorriente).
- 1.3.-Descripción de los intercambiadores del laboratorio (tubos, espiral, placas, de tres fluidos).
- 1.4.-Instalación del laboratorio (intercambiadores, válvulas, llaves, fluido caliente, caldera, fluido frío, aislamientos,..., problemas de esta instalación).
- 1.5.-Control de la instalación (manual, con ordenador, tipos de programas,...).
- 1.6.-Resultados y comentarios.

## **2.- Refrigeración Industrial**

- 2.1.-Ciclo del frío.
- 2.2.-Elementos básicos de una instalación frigorífica, descripción (compresor, condensador, tuberías, válvula expansión, evaporador, cámara, filtro deshidratador, aislamientos, ...).
- 2.3.-Características particulares de las máquinas vistas en el laboratorio:
  - 1ª: máquina elemental.
  - 2ª: un compresor, un condensador, dos cámaras a diferentes T, dos V.E., válvula equilibradora de P, intercambiador de calor, válvulas solenoides,....
- 2.4.-Tipos y funcionamiento de la válvula de expansión.
- 2.5.-Medidas, resultados y comentarios (ordenes de magnitud de Tª y P).

## **3.- Bomba de Calor**

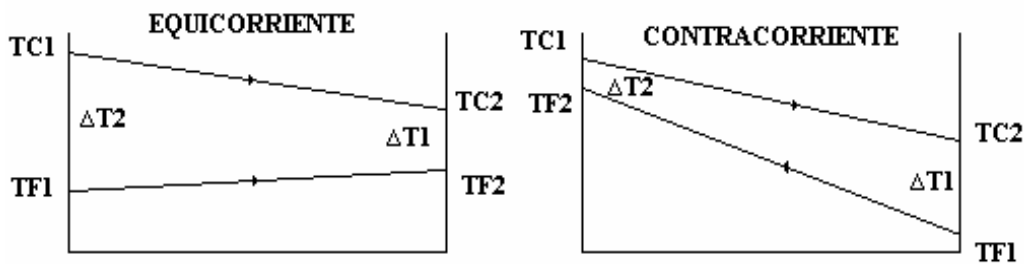
- 3.1.-Descripción del funcionamiento de una B.C.
  - Funcionamiento en verano.
  - Funcionamiento en invierno.
- 3.2.-Válvula de 4 vías o inversora de ciclo.
- 3.3.-Particularidades (filtro de retención de líquido, filtro de retención de vapor, cámara climatizada, tanque de agua, efectos del tanque , bulbo de la V.E,...)
- 3.4.-Medidas, resultados y comentarios.

## **4.- Otros aparatos**

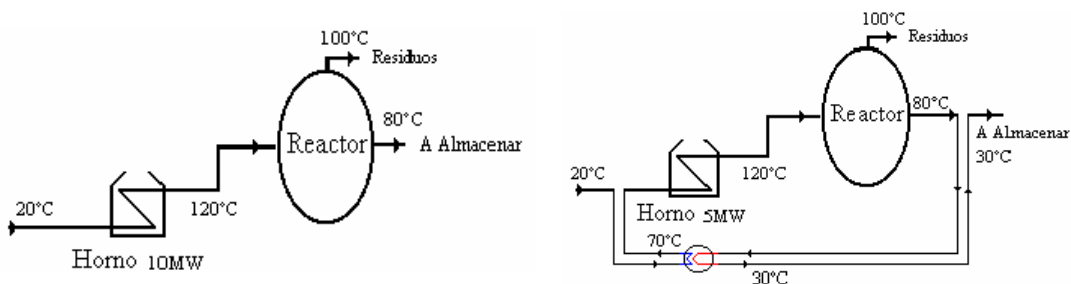
A continuación se incluye el guión de las prácticas, que puede servir para la toma de datos, apuntes y preparación de la memoria.

# 1.- INTERCAMBIADORES DE CALOR

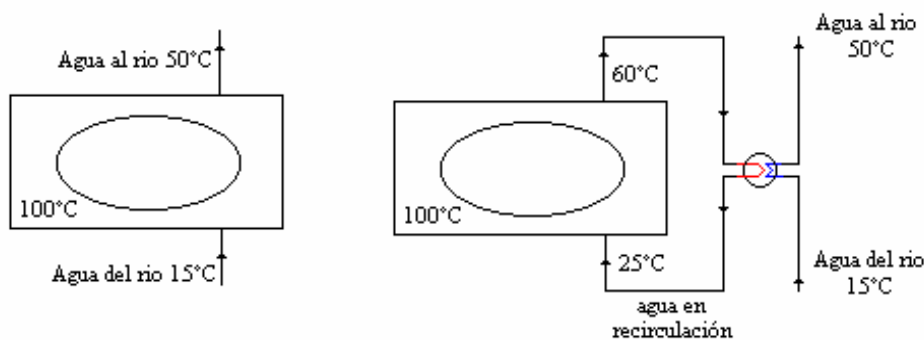
## Definición de los $\Delta T$



## Recuperador de calor



## Aislamiento de circuitos



## Descripción de las instalaciones

Problemas de la instalación:

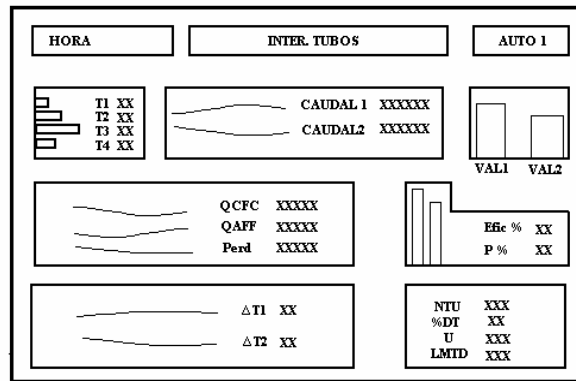
- Respecto al fluido frío, que circula en circuito abierto con agua de la red urbana, el origen del problema radica en la presión variable en la red
- El fluido caliente circula en circuito cerrado, y debido a que la temperatura de retorno a la caldera es baja, y el tamaño de la caldera es reducido, ésta no es capaz de mantener constante la temperatura del fluido caliente
- La posición de alguno de los sensores de temperatura es errónea, ya que están colocados en vertical, lo que favorece la estratificación de temperaturas, y por tanto puede hacer que el tiempo de respuesta de los mismos sea elevado.

Otros aspectos a destacar son:

- El aislante térmico de la caldera tiene dos funciones: por un lado evitar las pérdidas térmicas, y por otro rebajar la temperatura superficial para evitar los accidentes por quemaduras ante contactos accidentales.
- En el laboratorio existen otros intercambiadores: de placas soldadas, de tubos concéntricos, bitérmicos de calderas, de placas de calderas, ...

Dentro de los programas del laboratorio para controlar mediante ordenador los intercambiadores, podemos destacar:

Programa **“TUBOS”** se fijan los caudales de entrada de los fluidos caliente y frío, el ordenador intentará controlarlos, y se obtienen como resultados los parámetros del intercambio.



Un esquema de la pantalla es el siguiente:

Donde las T indican las temperaturas instantáneas del agua a la entrada y salida del intercambiador (cual de ellas es cada una depende si los flujos están en equi o en contra corriente).

Los caudales de las válvulas indican los de los fluidos caliente y frío. En la siguiente pantallita se observa el % de apertura de las mismas.

QCFC (calor cedido por el fluido caliente), QAFF (calor adquirido por el fluido frío), Pérdidas (diferencia de los anteriores calores) se indican en kcal/h, y son calores instantáneos.

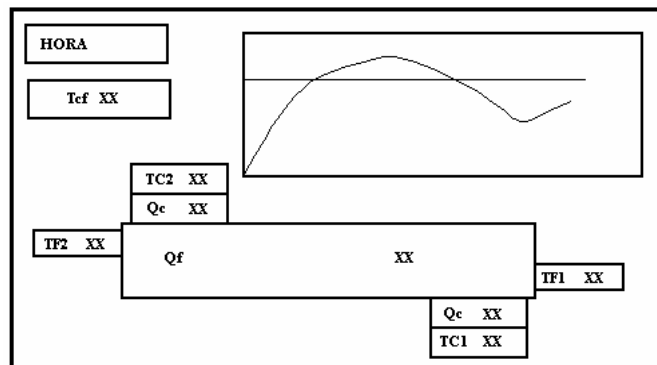
También se indican la eficacia ( $QAFF / C_{\min} \times (T_{C1} - T_{F1})$  ó  $C_{\text{frío}} \times p / C_{\min}$ ) y el parámetro p (coeficiente de efectividad  $(T_{F2} - T_{F1}) / (T_{C1} - T_{F1})$ ) en %.

Se representan los  $\Delta T$  en valor numérico y gráficamente.

Finalmente se indican los parámetros del intercambiador NTU ( $(U \times A) / C_{\min}$ ), %DT (perdidas/QAFF), U (coeficiente global de transmisión de calor) y LMTD ( $(\Delta T_2 - \Delta T_1) / \ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)$ ).

Programa **“CALOR”**: en el se fijan la temperatura deseada a la salida del fluido caliente así como su caudal requerido, que el ordenador intentará controlar fijando la apertura del agua caliente, y abriendo y cerrando el caudal del agua fría en función de que Tc2 sea mayor o menor que la deseada.

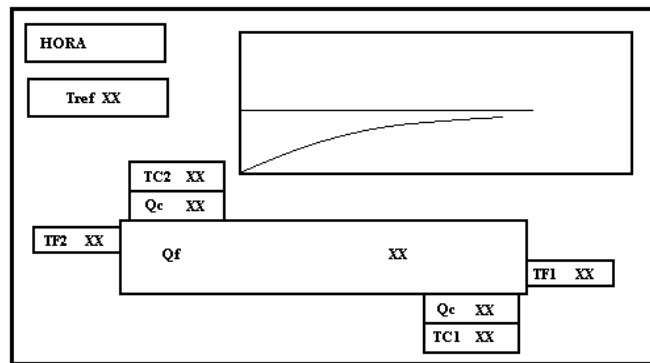
Un esquema de la pantalla que se obtiene mediante su ejecución es la siguiente:



Donde Tcf es la temperatura de salida del agua caliente que el sistema intenta alcanzar.

Programa **“FRIO”**: en el se fijan la temperatura deseada a la salida del fluido frío así como su caudal requerido que el ordenador intentará controlar fijando la apertura del agua fría, y abriendo y cerrando el caudal del agua caliente en función de que Tf2 sea mayor o menor que la deseada.

Un esquema de la pantalla que se obtiene mediante su ejecución es la siguiente:

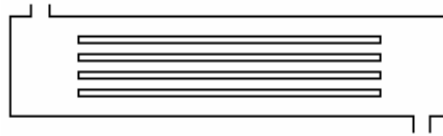


Donde Tref es la temperatura de salida del agua fría que el sistema intenta alcanzar.

En estos dos últimos programas la temperatura de referencia se logrará alcanzar con un transitorio, cuyas condiciones variarán en función de los valores deseados y de las entradas al sistema; no siempre la instalación permite conseguirla.

## Toma de datos y resultados:

### TUBOS



Sentido del flujo: CONTRACORRIENTE

Temperaturas:

Tc1: (entrada del fluido caliente):

Tc2: (salida del fluido caliente):

Tf1: (entrada del fluido frío):

Tf2: (salida del fluido frío):

Caudales:

Caliente:

Frío:

Qcedido por el fluido caliente:

Qcaptado por el fluido frío:

Pérdidas térmicas al exterior:

Eficacia del intercambiador ( $\epsilon$  %) =

Efectividad ( $p$  %) =

$\Delta T1$  =

$\Delta T2$  =

NTU =

%Dispersión Térmica =

U (coef. global de trans. de calor) =

LMTD =

Sentido del flujo: EQUICORRIENTE

Temperaturas:

Tc1: (entrada del fluido caliente):

Tc2: (salida del fluido caliente):

Tf1: (entrada del fluido frío):

Tf2: (salida del fluido frío):

Caudales:

Caliente:

Frío:

Qcedido por el fluido caliente:

Qcaptado por el fluido frío:

Pérdidas térmicas al exterior:

Eficacia del intercambiador ( $\epsilon$  %) =

Efectividad ( $p$  %) =

$\Delta T1$  =

$\Delta T2$  =

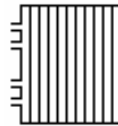
NTU =

%Dispersión Térmica =

U (coef. global de trans. de calor) =

LMTD =

### PLACAS



Sentido del flujo: CONTRACORRIENTE

Temperaturas:

Tc1: (entrada del fluido caliente):

Tc2: (salida del fluido caliente):

Tf1: (entrada del fluido frío):

Tf2: (salida del fluido frío):

Caudales:

Caliente:

Frío:

Qcedido por el fluido caliente:

Qcaptado por el fluido frío:

Pérdidas térmicas al exterior:

Eficacia del intercambiador ( $\epsilon$  %) =

Efectividad ( $p$  %) =

$\Delta T1$  =

$\Delta T2$  =

NTU =

%Dispersión Térmica =

U (coef. global de trans. de calor) =

LMTD =

Sentido del flujo: EQUICORRIENTE

Temperaturas:

Tc1: (entrada del fluido caliente):

Tc2: (salida del fluido caliente):

Tf1: (entrada del fluido frío):

Tf2: (salida del fluido frío):

Caudales:

Caliente:

Frío:

Qcedido por el fluido caliente:

Qcaptado por el fluido frío:

Pérdidas térmicas al exterior:

Eficacia del intercambiador ( $\epsilon$  %) =

Efectividad ( $p$  %) =

$\Delta T1$  =

$\Delta T2$  =

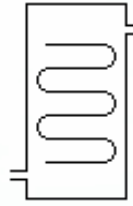
NTU =

%Dispersión Térmica =

U (coef. global de trans. de calor) =

LMTD =

## ESPIRAL



Sentido del flujo: CONTRACORRIENTE

Temperaturas:

Tc1: (entrada del fluido caliente):

Tc2: (salida del fluido caliente):

Tf1: (entrada del fluido frío):

Tf2: (salida del fluido frío):

Caudales:

Caliente:

Frío:

Qcedido por el fluido caliente:

Qcaptado por el fluido frío:

Pérdidas térmicas al exterior:

Eficacia del intercambiador ( $\epsilon$  %) =

Efectividad ( $p$  %) =

$\Delta T1$  =

$\Delta T2$  =

NTU =

%Dispersión Térmica =

U (coef. global de trans. de calor) =

LMTD =

Sentido del flujo: EQUICORRIENTE

Temperaturas:

Tc1: (entrada del fluido caliente):

Tc2: (salida del fluido caliente):

Tf1: (entrada del fluido frío):

Tf2: (salida del fluido frío):

Caudales:

Caliente:

Frío:

Qcedido por el fluido caliente:

Qcaptado por el fluido frío:

Pérdidas térmicas al exterior:

Eficacia del intercambiador ( $\epsilon$  %) =

Efectividad ( $p$  %) =

$\Delta T1$  =

$\Delta T2$  =

NTU =

%Dispersión Térmica =

U (coef. global de trans. de calor) =

LMTD =

## CALOR

Sentido del flujo: CONTRACORRIENTE

Caudal deseado del fluido caliente:

Temperatura deseada de salida del fluido caliente:

Tf1 = Tf2 = Caudal frío =

Tc1 = Tc2 = Caudal caliente =

Tiempo transcurrido:

QCFC: QAFF: Pérdidas térmicas :

Eficacia del intercambiador ( $\epsilon$  %) = Efectividad ( $p$  %) =

$\Delta T1$  =  $\Delta T2$  = NTU = %Dispersión Térmica = U = LMTD =

## FRIO

Sentido del flujo: CONTRACORRIENTE

Caudal deseado del fluido frío:

Temperatura deseada de salida del fluido frío:

Tf1 = Tf2 = Caudal frío =

Tc1 = Tc2 = Caudal caliente =

Tiempo transcurrido:

QCFC: QAFF: Pérdidas térmicas :

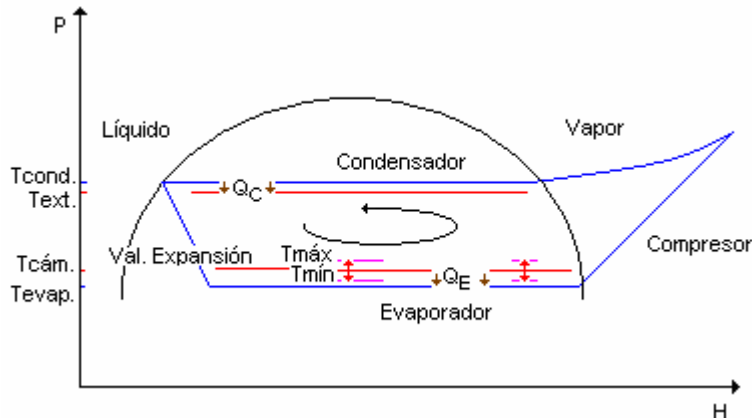
Eficacia del intercambiador ( $\epsilon$  %) = Efectividad ( $p$  %) =

$\Delta T1$  =  $\Delta T2$  = NTU = %Dispersión Térmica = U = LMTD =

## 2.- REFRIGERACION INDUSTRIAL

Las máquinas de refrigeración por compresión emplean como fluido refrigerante el freón. Cada freón tiene un diagrama característico P-Entalpía de la forma representada en la figura siguiente. El modo de obtener la refrigeración es el siguiente:

- El freón en estado vapor se comprime en un **compresor**, alcanzando “altos” valores de presión y  $T^a$ .
- El freón vapor a alta  $T^a$  es fácilmente licuable, se la pasa por un **condensador**, de manera que se licúa, cediendo calor al ambiente. Para que el condensador funcione adecuadamente, el ambiente que le rodea ha de ser capaz de absorber el calor que desprende el condensador.
- El freón líquido se pasa por una etapa de expansión en una **válvula de expansión** (orificio muy pequeño), de manera que pierde gran parte de su presión y  $T^a$ .
- Freón líquido a baja  $T^a$  se evapora fácilmente, se pasa por un **evaporador**, de manera que para evaporarse absorbe calor, produciendo frío. El evaporador está colocado en la **cámara frigorífica** donde se hace el frío. Aquí se reinicia el ciclo.



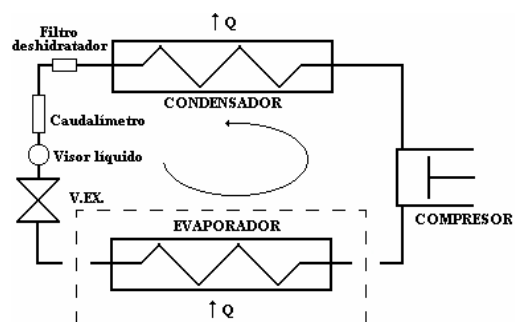
El rendimiento de estas máquinas o COP, es el calor extraído en el evaporador entre el trabajo empleado para ello (trabajo del compresor), se calcula por las entalpías en cada uno de estos elementos.

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{evaporador}}}{\tau_{\text{compresor}}}$$

Vista la forma del rendimiento, se observa que cuanto más “alto” es un ciclo menor es su rendimiento.

Los elementos fundamentales de estas instalaciones se pueden ver en la primera máquina vista en el laboratorio (simuladora de averías):

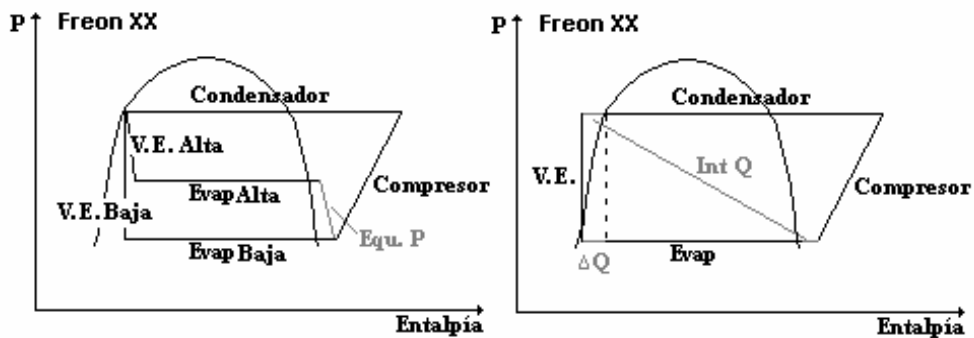
- Compresor,
- Condensador refrigerado por aire, es tubo con aletas y un ventilador (convección forzada y flujos cruzados),
- Válvula de Expansión.
- Evaporador, tubo con aletas (convección natural, tamaño térmico inferior al condensador).
- Cámara frigorífica aislada térmicamente.
- Tuberías de conexión: aspiración [gruesa], descarga y tubería de líquido [fina].
- Filtro deshidratador: eliminar humedades residuales dentro de la instalación ( $P >$  atmosférica)



El otro equipo presente en el laboratorio presenta dos cámaras frigoríficas a diferentes  $T^a$  alimentadas por un solo compresor y con un solo condensador. Cada cámara tiene asociada una V.E. con el orificio regulado a diferente tamaño, de modo que el freón sale de ellas a diferente  $P$  y  $T^a$ . Se hace necesario una válvula equilibradora de presiones para evitar recirculaciones de freón de la cámara de alta a la de baja.



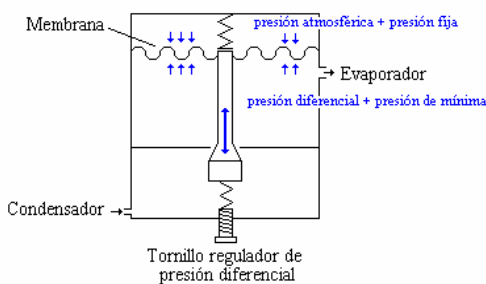
Este equipo además tiene un intercambiador de calor entre las salidas del evaporador (fluido frío) y del condensador (fluido caliente), el cual mejora el funcionamiento de la máquina al evitar que le entre líquido al compresor, vapor a la válvula, y aumentar el calor que se puede extraer en la cámara. Esto supone un pequeño aumento del  $\tau_{\text{compresor}}$ .



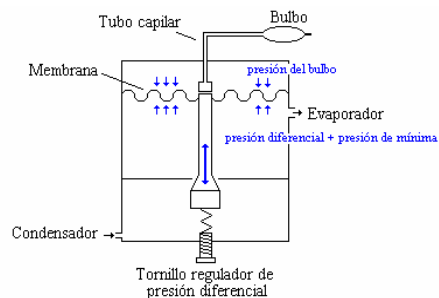
Las válvulas de expansión son orificios muy pequeños en los cuales el freón líquido pierde gran parte de su presión y temperatura (a la salida una pequeña fracción del freón se evapora por efecto de la gran pérdida de presión). Constan de dos cavidades, una con la alta presión y la otra con la baja, separadas por el orificio. Funcionan buscando un equilibrio de presiones en una membrana.

Existen varios tipos, entre los que se pueden destacar las V.E. automáticas, cuya presión de salida es fija, y las V.E. termostática, de presión de salida variable; tienen un bulbo con refrigerante que se ha de colocar en la cámara; la presión ejercida por el bulbo va disminuyendo a medida que la cámara está más fría, con lo cual a la salida de la V.E. se va teniendo cada vez menos cantidad de freón pero a medida que la cámara se enfría, este freón está a menor presión y temperatura.

#### Válvula de expansión automática



#### Válvula de expansión termostática



Los aislantes frigoríficos han de evitar pérdidas térmicas, condensaciones superficiales y tener barrera de vapor para evitar congelaciones internas.

El condensador de la máquina ha de tener buen intercambio térmico con el medio exterior, de otro modo sube la presión de máxima y disminuye el rendimiento del ciclo.

### Toma de datos y resultados:

|                    |         |         |                                 |            |
|--------------------|---------|---------|---------------------------------|------------|
| Compresor:         | $T_e$ : | $T_s$ : | $P_{\text{max}}$ :              |            |
| Condensador:       | $T_e$ : | $T_s$ : | $P_{\text{min1}}$ :             |            |
|                    |         |         | $P_{\text{min2}}$ :             |            |
| V.E1.:             | $T_e$ : | $T_s$ : |                                 |            |
| Evaporador1:       | $T_e$ : | $T_s$ : | Intercambiador:                 |            |
| Cámara1:           | $T$ :   |         | $T_{c1}$ :                      | $T_{c2}$ : |
|                    |         |         | $T_{f1}$ :                      | $T_{f2}$ : |
| V.E2.:             | $T_e$ : | $T_s$ : | Caudal de freón $\dot{m}$ :     |            |
| Evaporador2:       | $T_e$ : | $T_s$ : |                                 |            |
| Cámara2:           | $T$ :   |         | $W_{\text{compresor}}$ :        |            |
|                    |         |         | $W_{\text{ventilador cond.}}$ : |            |
| Equilibrador de P: | $T_s$ : |         | Rendimiento de la instalación:  |            |

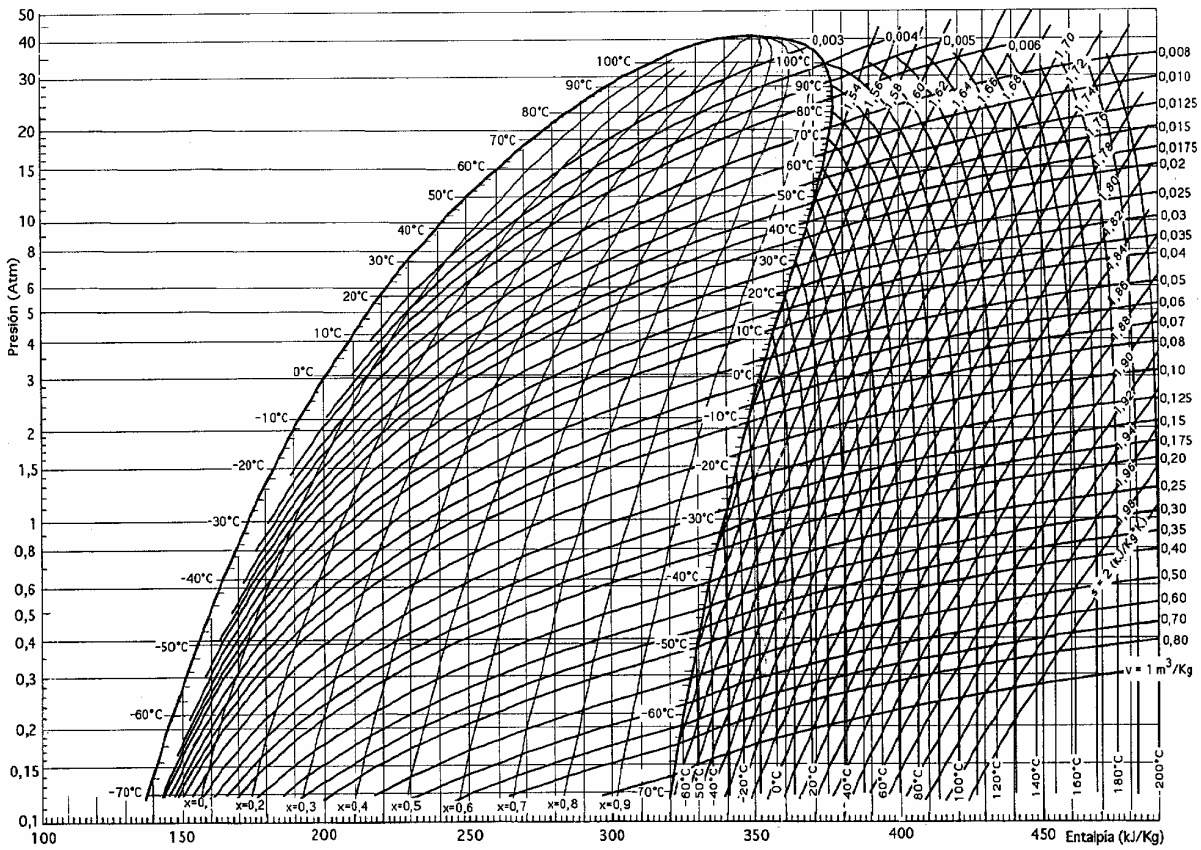
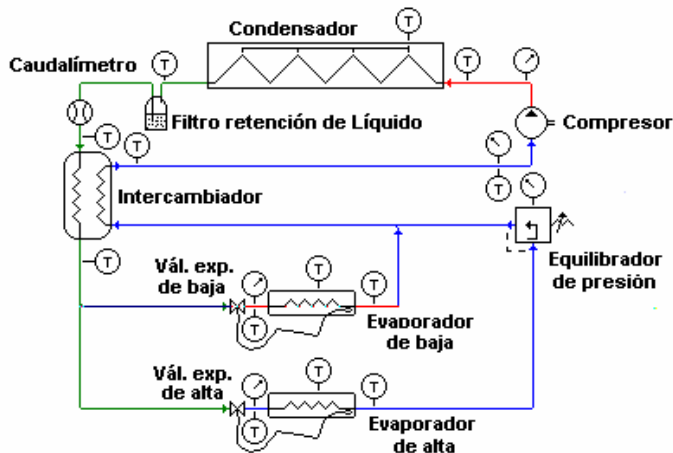
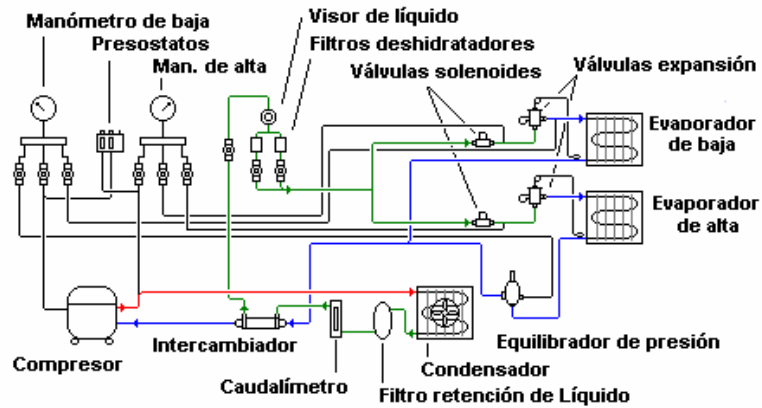


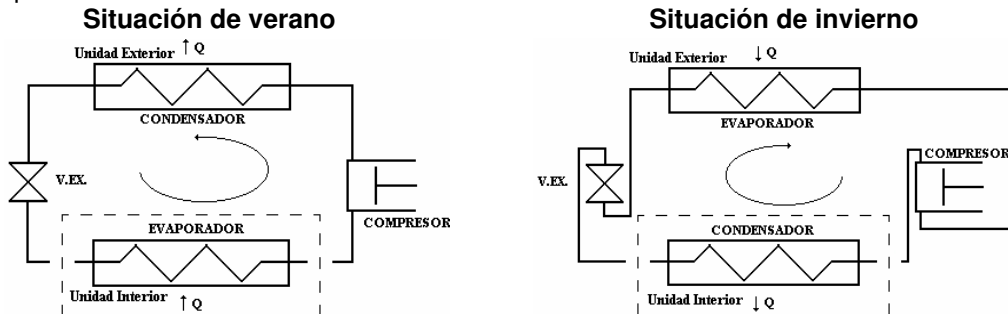
Diagrama (ln p,i) del Freón 12

### REFRIGERACION INDUSTRIAL



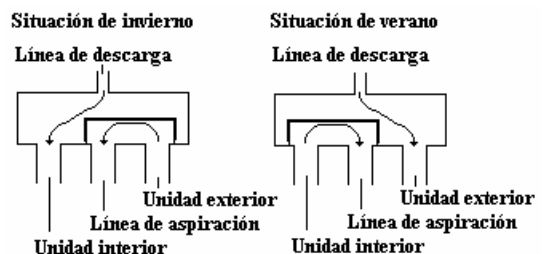
### 3.- BOMBA DE CALOR

La bomba de calor trata de aprovechar en verano el frío hecho en el evaporador, y en invierno el calor desprendido en el condensador. Esto lo hace “*invirtiendo el sentido del freón por las tuberías*”. Esto puede hacerse porque el condensador y el evaporador son intercambiadores de calor, y no tienen limitación para calentar o enfriar.



El elemento indispensable para que un equipo sea una bomba de calor es una válvula de 4 vías o inversora de ciclo. Además es muy recomendable tener una botella antigolpe o filtro de retención de líquido a la entrada del compresor, y es interesante un filtro de retención de vapor a la entrada de la válvula de expansión; con estos elementos se asegura el correcto funcionamiento al invertir el ciclo.

En la instalación del laboratorio la unidad interior es un tanque de agua, en el cual se calienta o enfría agua (dependiendo de la situación verano o invierno), y este agua se emplea para climatizar un local. El efecto del tanque es doble, por un lado sirve de acumulador térmico, y por otro de aislamiento entre la máquina frigorífica y el local a climatizar.



El bulbo de la válvula de expansión termostática se debe colocar en el punto más cercano al evaporador, en este caso es la aspiración del compresor, además al ir fuera del espacio refrigerado deben ir aislados tanto el bulbo como el capilar.

Por otro lado, el serpentín del tanque acumulador no tiene aletas, ya que el coeficiente de convección del líquido se considera que es mucho mayor que el del aire.

La bomba de calor describe ciclos distintos en verano y en invierno, esto es debido a que en verano debe evaporar en el interior, aproximadamente a 24°C y condensar en el exterior,  $T_{ext} > 35^\circ\text{C}$ , mientras que en invierno en la unidad interior debe condensar, alrededor de 24°C, mientras que debe evaporar en el exterior,  $T_{ext} < 0^\circ\text{C}$ .

#### Toma de datos y resultados:

##### Funcionamiento en verano:

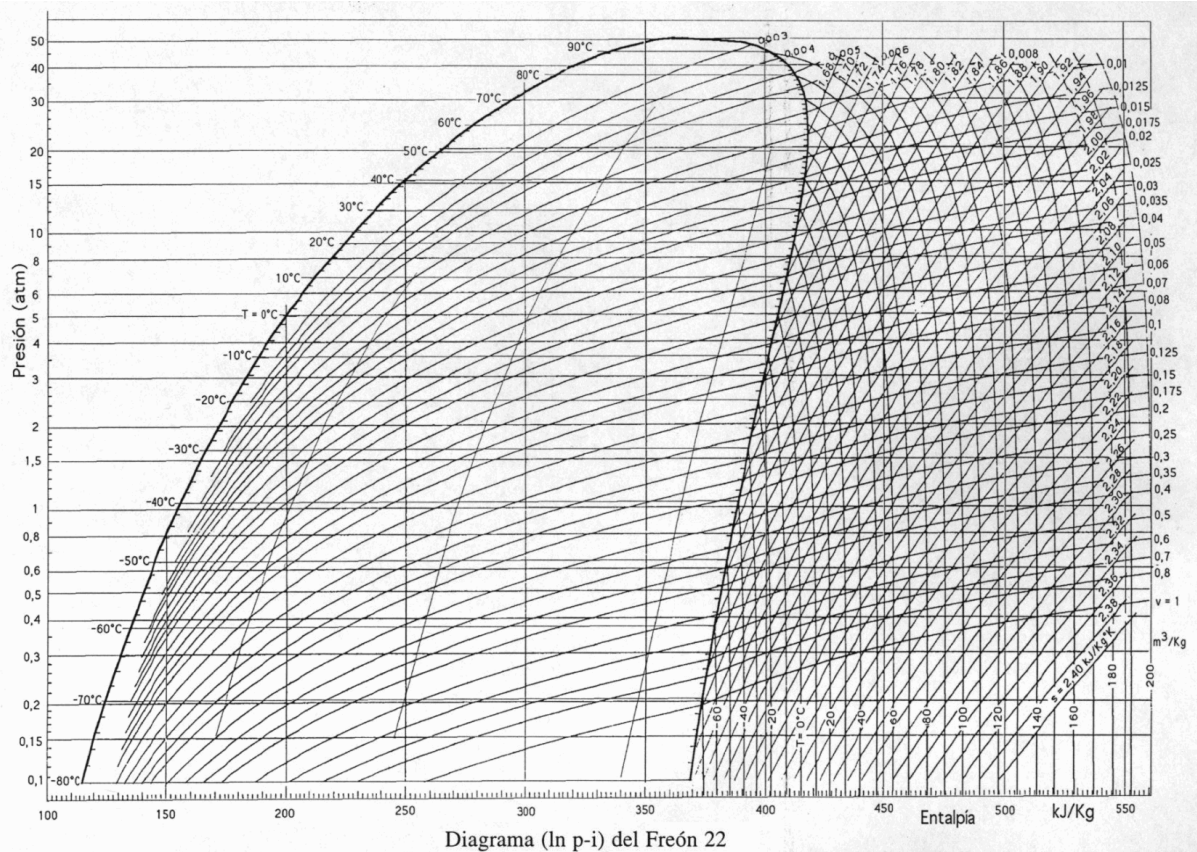
(unidad interior como evaporador)

Compresor:  $T_e$ :  $T_s$ :  
 Condensador:  $T_e$ :  $T_s$ :  
 V.E.:  $T_e$ :  $T_s$ :  
 Evaporador:  $T_e$ :  $T_s$ :  
 $P_{max}$ :  $P_{min}$ :  
 Caudal de freón 22:  
 Agua hacia el interior: Caudal agua:  
 $T_e$ :  $T_s$ :  
 $T_{aire}$  impulsado en la cámara:  
 $W_{compresor}$ :  
 $W_{ventilador\ exterior}$ :  
 $W_{bomba+vent.cámara}$ :  
 Rendimiento de la instalación:

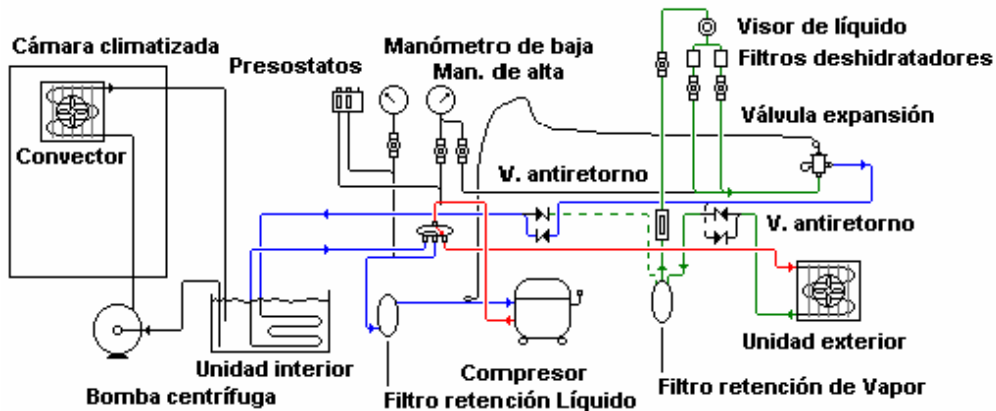
##### Funcionamiento en invierno:

(unidad interior como condensador)

Compresor:  $T_e$ :  $T_s$ :  
 Condensador:  $T_e$ :  $T_s$ :  
 V.E.:  $T_e$ :  $T_s$ :  
 Evaporador:  $T_e$ :  $T_s$ :  
 $P_{max}$ :  $P_{min}$ :  
 Caudal de freón 22:  
 Agua hacia el interior: Caudal agua:  
 $T_e$ :  $T_s$ :  
 $T_{aire}$  impulsado en la cámara:  
 $W_{compresor}$ :  
 $W_{ventilador\ exterior}$ :  
 $W_{bomba+vent.cámara}$ :  
 Rendimiento de la instalación:



### Ciclo de verano



### Ciclo de invierno

