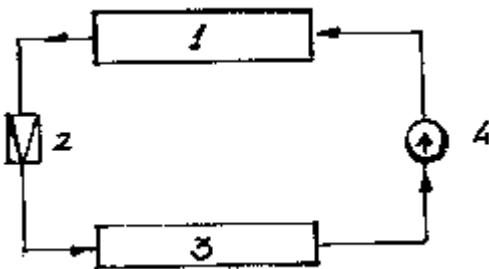


## ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UN CICLO.

En el tema anterior se describió el Ciclo de Refrigeración en esta ocasión se describirán los elementos que están destinados a efectuar las transformaciones que allí se enunciaron.

Básicamente está constituido por :



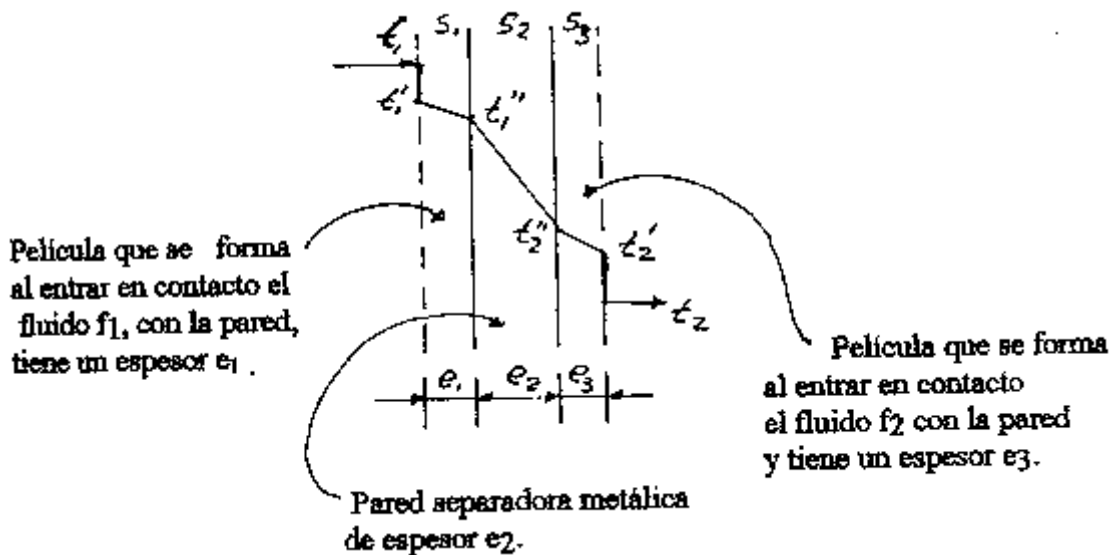
1. Condensador.
2. Válvula de expansión.
3. Evaporador.
4. Compresor y otros accesorios que complementan el Ciclo para mejorarlo

### CONDENSADORES.

El condensador está destinado a enfriar y condensar el fluido refrigerante utilizado en una instalación frigorífica. Para que esta operación se realice, se deberá contar con una fuente fría de manera tal que absorba el calor cedido por el fluido a enfriar. Esta fuente fría, podría ser agua, aire, aire-agua, que son las más económicas. Para explicar el funcionamiento de un condensador, hacemos un repaso de "Intercambio de Calor".

Como sabemos, tenemos dos fluidos: "gas para condensarse"  $f_1$  y "enfriador",  $f_2$  que circula por el exterior; ambos están separados por una pared.

Podemos representar la superficie de intercambio como una pared plana "pared desarrollada" de acuerdo a la siguiente figura :



La cantidad que se quiere transferir desde el fluido (más caliente) al  $f_2$  (más frío) será de acuerdo con una expresión matemática de la transmisión de calor :

$$Q = k \cdot s \cdot Dtm \quad (1)$$

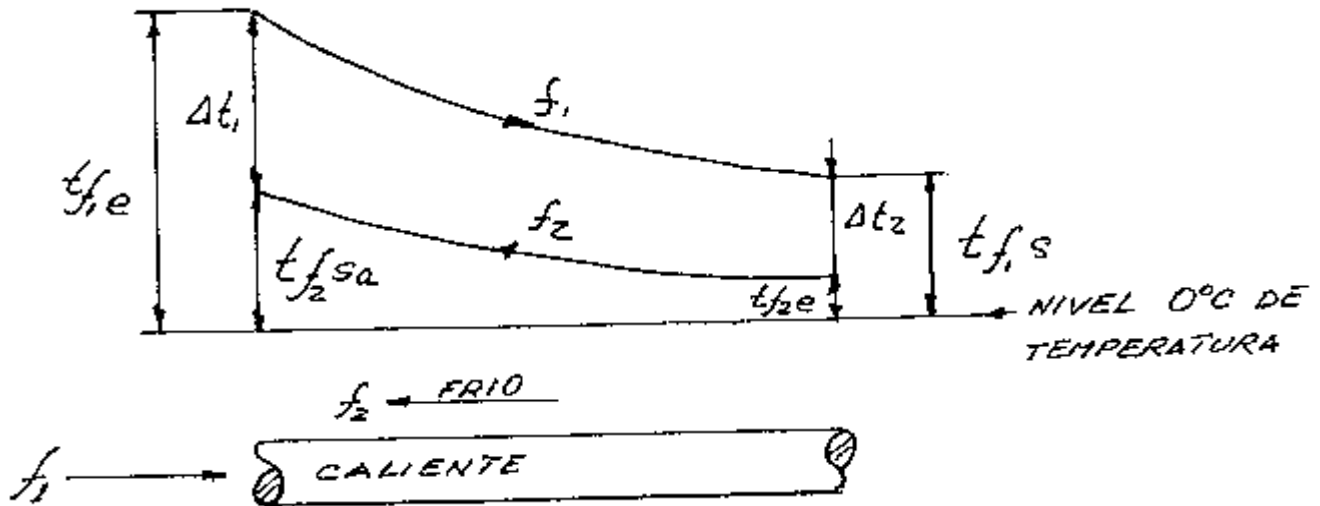
donde:

**k** = es el coeficiente de transmisión total del calor, que varía de acuerdo con los tipos de fluidos, velocidades y materiales del tubo o pared (cada uno tiene su coeficiente de conductividad y película). Se expresa en [kcal, m/h . m<sup>2</sup> °C].

**s** = superficie de intercambio en [ m<sup>2</sup> ].

**Dtm** = es la diferencia media logarítmica que se puede determinar de la siguiente manera :

Supongamos que tenemos una circulación de fluido en contra corriente, es decir, el fluido caliente



entra en contacto con la salida caliente del fluido enfriador.

$$Dtm = \frac{Dt_1 - Dt_2}{\ln \frac{Dt_1}{Dt_2}} \quad (2)$$

Analizando la expresión (1) :

**Q** = Se calcula para el máximo posible. Varía con la carga de refrigeración. (Peso del fluido caliente en circulación).

**k** = Para el cálculo se elige convenientemente y se fija. Durante el funcionamiento es susceptible de variar con las condiciones de los fluidos y con el ensuciamiento.

**s** = Fijo. Esto es lo que se calcula cuando se va a hacer un intercambiador.

**Dtm** = Es la variable principal de las condiciones ambientales. Temp b<sub>s</sub>; Temp b<sub>h</sub> ; Temp agua enfriamiento.

Analizamos ahora nuestro caso particular, donde nuestro fluido a condensar deberá cumplir con las condiciones impuestas por el ciclo, es decir :

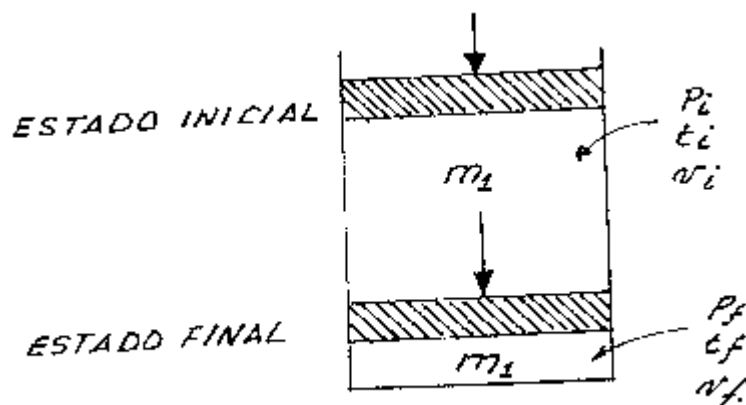
#### Condiciones de Ingreso

Peso carga refrig m 1.  
Presión Pf  
cte.  
Temperatura tf  
Vol. esp. vf

#### Condiciones de Salida

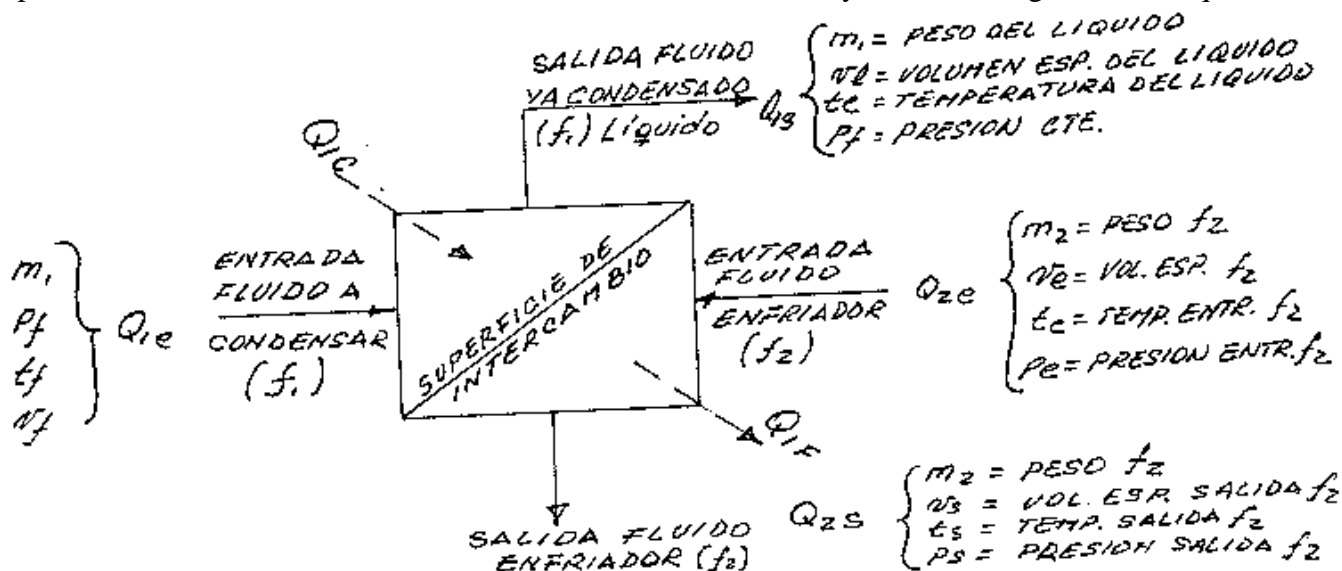
Peso m1 no varía en el proceso  
Presión Pf no varía por ser una transformación a p =  
Temp. t1 Será la del líquido  
Vol. esp. ve Será la del líquido

El gas comprimido por el compresor sufre una disminución del volumen específico con un aumento de temperatura que llega a sobre calentar el gas, provocando las condiciones de ingreso al condensador. Ahora bien, a partir de este estado debemos condensar el gas (hacerlo líquido), para ello primero hay que enfriarlo a presión constante hasta la temperatura donde comienza la condensación y luego quitarle el calor latente de vaporización hasta lograr convertirlo totalmente en líquido.



Este proceso se realiza en un condensador que no es otra cosa que un intercambiador de calor.

Para este caso, entonces debemos calcular el calor que tenemos que quitar y ¿cuánto y con que lo podemos hacer? Para esto hacemos un balance de calor con la ayuda de un diagrama en bloque.



Realizando el balance térmico, el calor cedido por la fuente caliente será igual al absorbido por la fuente fría, esto en el caso ideal. Pero en el caso real y estando de por medio una superficie de intercambio y un coeficiente de transmisión los valores de intercambio calórico no serán iguales sino que estarán afectados de un rendimiento llamado "Rendimiento de Intercambio".

Teóricamente :  $Q_{1cal} = Q_{1frío}$

Para el caso real :  $Q_{1cal} < Q_{1frío}$

$$\frac{Q_{1cal}}{Q_{1frío}} = \eta \quad (3)$$

En consecuencia, analizando siempre el caso de un condensador de refrigeración el calor que tenemos que disipar es el señalado en el ciclo, y que se determina en el gráfico o diagrama o tabla para cada kg de fluido que circula, o sea :

$$Q_{1 \text{ cal}} = Q_{1e} - Q_{1s} \quad (4)$$

Cada uno de estos calores serán para cada kg de fluido las entalpías correspondientes, o sea :

$$Q_{1 \text{ cal}} = h_{1e} - h_{1s} \quad (5)$$

Si multiplicamos por el peso, tendremos el calor total que se debe disipar.

$$Q_{1 \text{ cal}} = m_1 (h_{1e} - h_{1s}) \quad (6)$$

en fluido enfriador ocurrirá :

$$Q_{2 \text{ frío}} = m_2 (h_{2s} - h_{2e}) \quad (7)$$

el rendimiento será, reemplazando (6) y (7) en (3) :

$$h_I = \frac{Q_{1 \text{ cal}}}{Q_{2 \text{ frío}}} = \frac{m_1 (h_{1e} - h_{1s})}{m_2 (h_{2s} - h_{2e})} \quad (8)$$

De esta expresión (8), vemos que :

$$m_1 (h_{1e} - h_{1s}) = h m_2 (h_{2s} - h_{1e})$$

$(h_{2s} - h_{1e})$  = varía con las condiciones ambientales.

$m_2$  = cantidad calculada de aire ( o refrigerante ) y fija debido a la velocidad de los forzadores o ventiladores.

$h$  = rendimiento del intercambio que varía con las condiciones de los fluidos y de las superficies interna y externa.

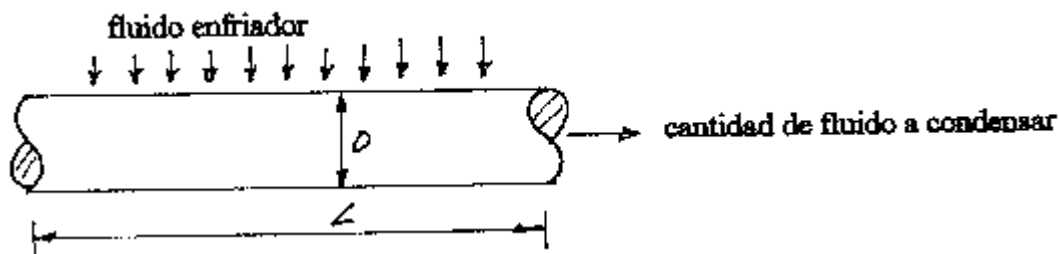
$m_1 (h_{1e} - h_{1s})$  = carga del equipo.

En consecuencia : la expresión (1) es igual a la (8) :

$$h m_2 (h_{2s} - h_{1e}) = k \cdot s \cdot \Delta t_m \quad (9)$$

De esta expresión calculamos algunas de las variables..

#### OTRAS CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO.



Si tenemos un conductor por donde circula el gas, observamos que si este tiene un diámetro D y longitud L, la sección del conductor es :

$$S_1 = \frac{\pi D^2}{4} \quad (10)$$

y la superficie de intercambio será para una superficie cilíndrica :

$$S_2 = \frac{P \cdot D \cdot L}{4} \quad (11)$$

para nuestro caso, la cantidad de calor :

$$Q = k \cdot s_2 \cdot \Delta T_m \quad (12)$$

Como el caudal de gas que debe pasar por dentro del conducto es ( $m_1$ ) y lo tiene que realizar en un “tiempo determinado” no olvidar que tiene que entregar una cantidad de “FRIGORÍAS / HORAS”

$$\text{Caudal} \quad Ca = m_1 [\text{kg/h}] \cdot v_e [\text{m}^3/\text{kg}] \quad (13)$$

Además, por la ecuación de continuidad, el caudal que circula por un condensado es :

$$Ca [ \text{m}^3/\text{h} ] = \text{Veloc} [\text{m/h}] \cdot s_1 [\text{m}^2] \quad (14)$$

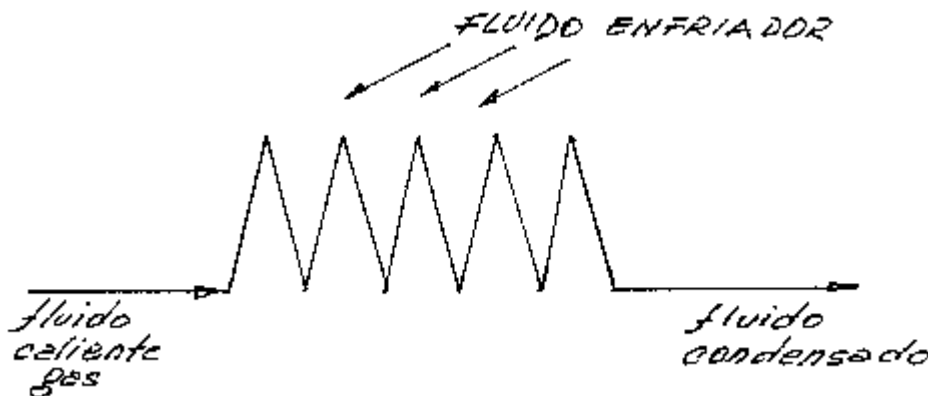
Si no hay rozamiento o sea un caso ideal, las ecuaciones (13) y (14) serán iguales :

$$m_1 \cdot v_e = V \cdot S_1 \quad (15)$$

la velocidad del fluido será

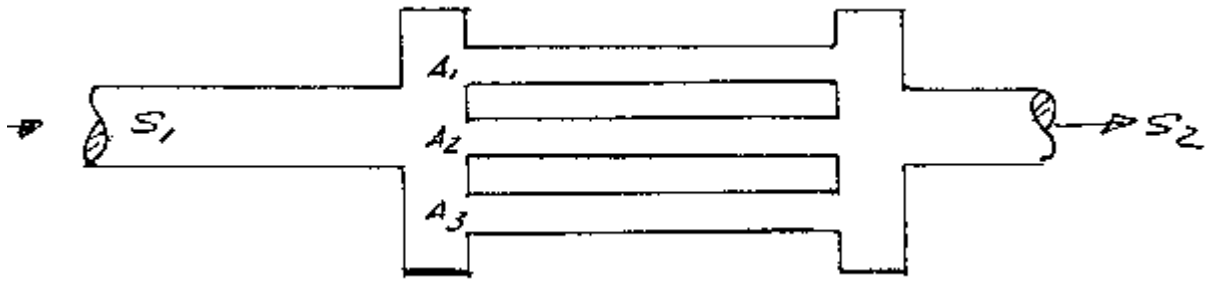
$$V = \frac{m_1 \cdot v_e}{S_1} \quad (16)$$

O sea, que para una carga determinada, un volumen específico correspondiente al fluido considerado y una sección del conducto fijo, la velocidad del fluido es lo que nos da el tiempo de permanencia en contacto de ambos fluidos con la superficie de intercambio, por lo tanto, si la superficie de intercambio es grande y el  $D$  del tubo y la  $V$  del fluido son adecuados, se debe enrollar el tubo. Si la  $V$  es elevada, se la tiene que bajar o sea, aumentar la sección de pasaje.



Para ello se construye un haz de tubos cuya sumatoria de las áreas correspondientes a cada uno de ellos, sea superior a  $S_1$  y nos permita una velocidad adecuada. Estos son los que se conocen con el nombre de intercambiadores de calor tipo casco-tubo.

De lo visto anteriormente podemos observar que cuando existen limitaciones con la velocidad y tamaño de los tubos y se ve imposible mejorar la superficie de intercambio se recurren a los tubos aletados o a paneles intercambiadores.



## CONDENSADOR EVAPORATIVO.

### PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

Con lo visto anteriormente sabemos que para mejorar el intercambio tenemos que trabajar sobre las variables que intervienen en este proceso.

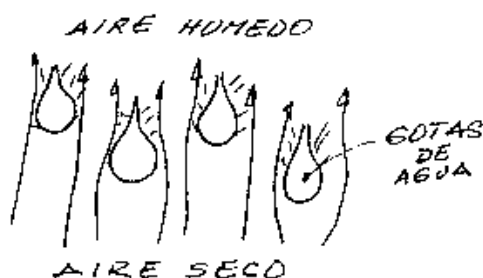
Ahora, analizamos el fluido que se utiliza como enfriador en el condensador evaporativo, que es una de las variables que se puede tocar y mejorar, es una mezcla de aire y agua en circuito cerrado.

El aire se puede hacer circular en gran cantidad con ventiladores a una temperatura variable con las condiciones climáticas extremas (verano-invierno) y con las condiciones de humedad relativa del 0 al 100 % , siendo la peor condición la del verano, con temperatura alta y humedad relativa baja.

Entonces la mejora consiste en mantener las condiciones del aire más constante, por eso se le inyecta agua, haciendo que la temperatura se mantenga baja aún en condiciones extremas y su humedad relativa en el 100 % , lo que ayuda a mejorar el “coeficiente pelicular” de la superficie externa.

### V A R I A B L E S

Fluido caliente	Superficie de intercambio	Fluido enfriador
Calidad del gas en cuanto a pureza y limpieza. Sus características responden bien a las condiciones impuestas para el ciclo de refrigeración.	Es metálica y tiene gran influencia sobre el coeficiente de transmisión. Los materiales tienen que ver con la resistencia mecánica, química y costos.	La variable que no se analizó es esta : <u>Si es aire solo :</u> <i>Ventaja:</i> es barato y se utiliza para instalaciones pequeñas con un ciclo con muy poca variación de cargas. <i>Desventajas:</i> su capacidad calorífica varía con la humedad; el coeficiente pelicular es muy deficiente cuando está seco. <u>Agua sola :</u> <i>Ventaja :</i> es muy buena. <i>Desventaja:</i> se necesita gran cantidad y sin contaminantes y cuando se calienta debemos enfriarla.



Con la ayuda de la siguiente figura se puede observar este proceso

El contacto produce evaporación (toda evaporación produce un enfriamiento. El calor producido en esta evaporación se mezcla con el aire seco, saturándolo o sea, con 100 % de humedad relativa, a su vez lo enfría, por este motivo un día seco de verano, se mantienen bien los valores de temperatura, no ocurre lo mismo cuando el aire tiene una

humedad relativa alta de entrada y una temperatura elevada. A continuación se esquematiza un condensador evaporativo con pre enfriador. El pre enfriador se utiliza para bajar la temperatura de sobrecalentamiento y a su vez colaborar con la condensación del aceite que pudiera arrastrar el refrigerante, sobre todo cuando se trata de un sistema con compresor alternativo. Cuenta con los siguientes elementos:

**V1 y V2** son los ventiladores encargados de hacer circular el aire

**PE** es el pre-enfriador

**SA** es el separador de aceite

**S** es el separador de agua

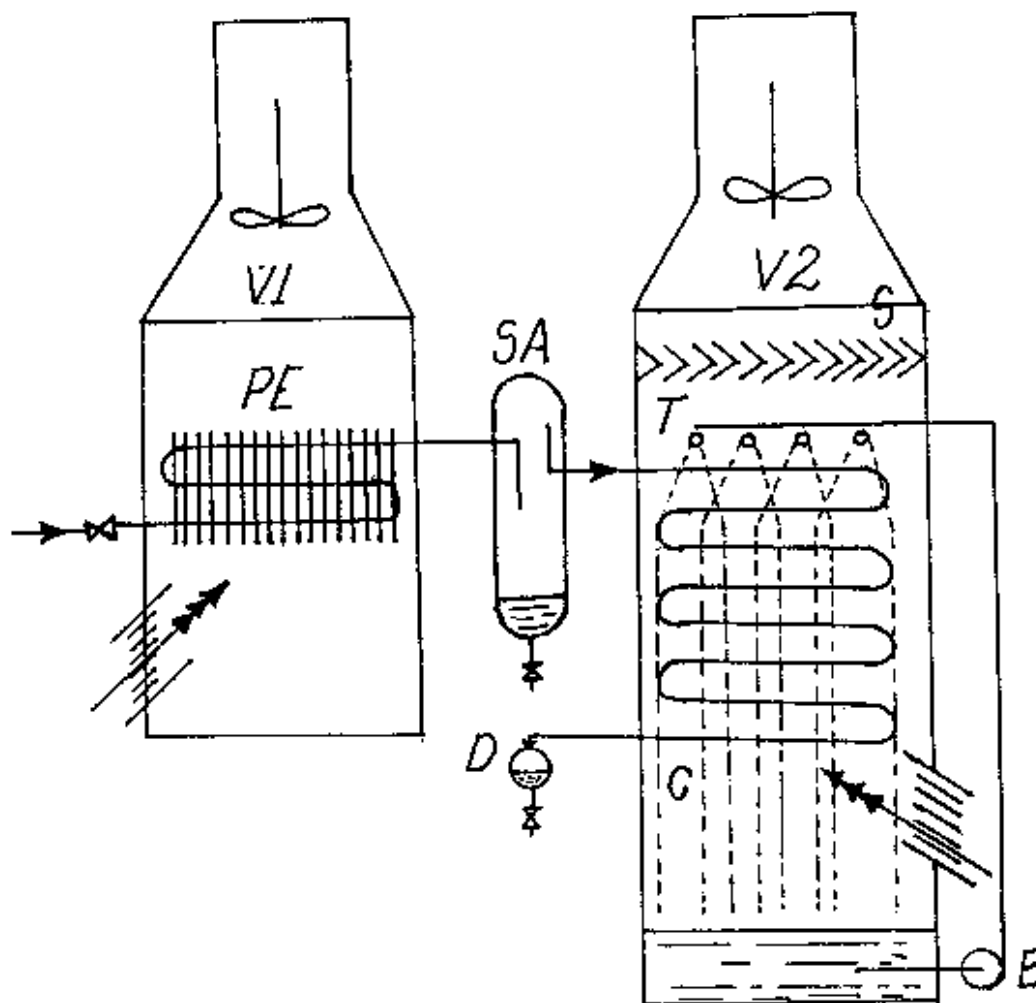
**T** son las toberas que rocían el agua sobre el condensador

**C** condensador

**B** bomba que aspira de la pileta y le da presión y caudal a las toberas

**R** pileta de agua

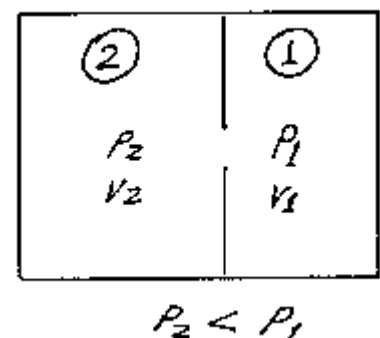
**D** colector de líquido refrigerante



### VALVULAS DE EXPANSIÓN

Este elemento es uno de los encargados de alimentar correctamente el evaporador, suministrando la cantidad de fluido refrigerante necesario para satisfacer la demanda de frío.

El principio de funcionamiento está basado en un fenómeno termodinámico llamado proceso de estrangulación, donde se hace pasar un fluido por un pequeño orificio o tabique

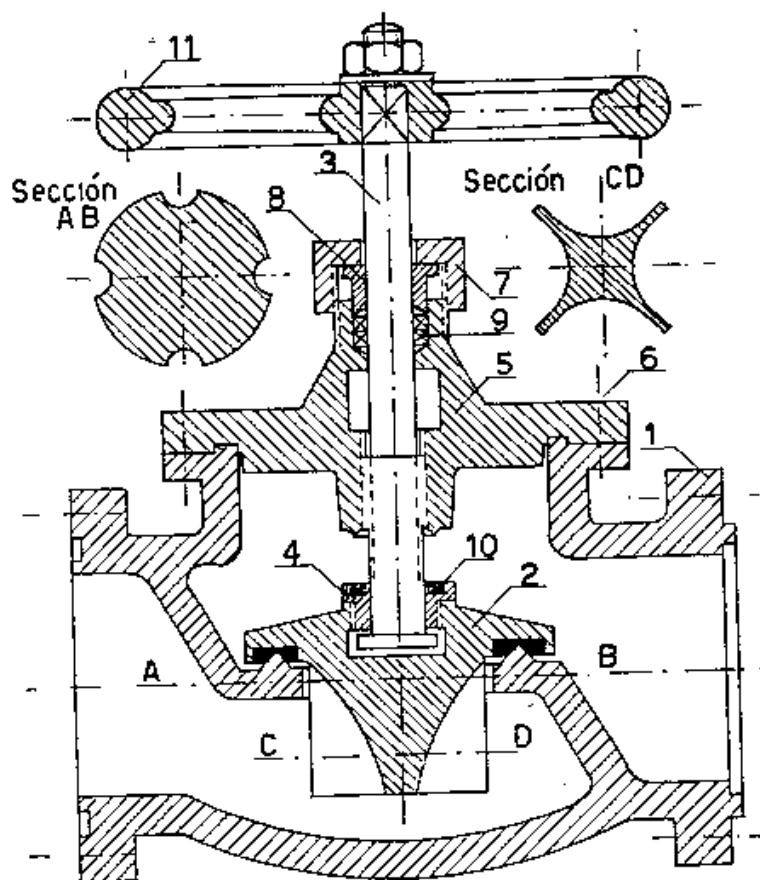


poroso, desde una cámara de mayor presión a otra de menor, suponiendo que ambas presiones son constantes, y luego se comprueba que la entalpía del estado final es igual a la del estado inicial.

En el esquema que se representa podemos observar que en el estado (1) se encuentra el fluido en estado líquido a alta presión y se lo hace fluir por el orificio a la zona de baja presión (2) produciéndose una evaporación con la consecuente absorción de calor.

Como en la realidad las consideraciones impuestas en el caso ideal no existen, ya que, las presiones en ambos puntos no son constantes, sino que sufren fluctuaciones, propias del estado de carga, el elemento que se interpone en ese lugar debe ser un aparato que permita la regulación del caudal cuando varían la carga y las presiones.

El aparato de mayor utilización en las plantas frigoríficas de tamaño importante son las válvulas tipo globo o tipo aguja. Existen otros tipos de válvulas que efectúan la operación de regulación en forma automática y como ilustración se acompaña al presente apunte, mayor información de estos elementos.



*Válvula de laminación para amoníaco.*

## **EVAPORADOR:**

El evaporador es el encargado de recibir el calor del sistema a enfriar, por lo tanto su funcionamiento se basa en principio en la evaporación del líquido que contiene el fluido al ingresar al aparato (como sabemos entra vapor húmedo) con el título que le corresponde a las presiones en que está trabajando el equipo, y que luego de atravesar totalmente la cañería del evaporador, este debe salir sobrecalentado o seco para poder ingresar al compresor y no causar daños al mismo.

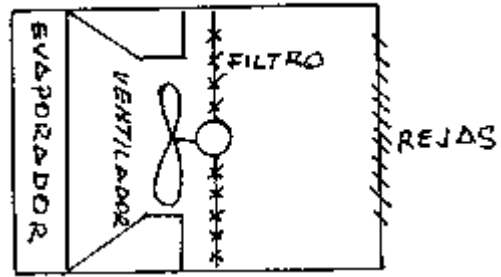
El funcionamiento no difiere mucho al de un intercambiador de calor descripto para el caso del condensador por lo tanto solamente nos detendremos en la clasificación. solamente:



- 1) Enfriadores de : \* De circulación natural  
\* De circulación forzada

2) Enfriadores de líquido:

- \* De serpentines
- \* De tubos transversales
- \* De haz tubular



CARACTERÍSTICAS A TENER EN CUENTA EN LOS EVAPORADORES

- a) La mayor parte de la superficie del evaporador tiene que estar en contacto con el fluido en estado de vapor saturado húmedo (favorese el intercambio de calor).
- b) La vaporización debe hacerse en lo posible por ebullición.
- c) El fluido debe circular fácilmente por el vaporizador, ocasionando la menor resistencia posible.
- d) En la salida el vapor debe estar completamente seco.
- e) El fluido que circula por el interior tiene que estar libre de impurezas.