

VISTA FRONTAL DE LA CALDERA DE VAPOR DE 40 BHP  
LOCALIZACION LABORATORIO DE PLANTAS TERMICAS



## PRACTICA 8

# EVAPORACION CON DOBLE EFECTO

### OBJETIVOS

- A) En papel milimetrado construir un gráfico para cada una de las evaporaciones, de la masa de condensado de vapor vivo, de la masa de condensado del primer efecto y de la masa de condensado del vapor producido en el segundo efecto, en función del tiempo.
- B) Realizar el balance de energía para todo el sistema de evaporación, cuando se trabaja en paralelo y en contracorriente y establecer las pérdidas de calor en el equipo en cada caso
- C) Determinar la economía de la evaporación para evaporación en paralelo y en contracorriente.
- D) Determinar el coeficiente global aparente de transferencia de calor para cada efecto.

### PROCEDIMIENTO

- 1) Revisar el equipo para cumplir con los objetivos propuestos. Inicialmente se trabaja con alimentación de agua en paralelo.
- 2) Colocar las dos canecas para recolectar el condensado proveniente de cada uno de los evaporadores.



- 3) Abrir la válvula que da paso de agua a la bomba de vacío y conectar la bomba hasta obtener la presión de vacío deseada.
- 4) Alimentar vapor de agua al primer evaporador a presión de 15 psig constante.
- 5) Cuando la temperatura del agua del segundo efecto se aproxima al valor de su punto de ebullición a la presión **seleccionada**, **abrir la válvula de agua de refrigeración del condensador hasta obtener la temperatura adecuada de condensado. Inferior a la temperatura de saturación a la presión del evaporador.**
- 6) Cuando el sistema está estable, anotar los datos de la tabla.
- 7) Sin suspender el suministro de vapor, cambiar la posición de las válvulas de alimentación de agua con el fin de obtener alimentación de agua en contracorriente.
- 8) Estabilizar de nuevo el equipo y anotar los datos de la tabla.
- 9) Suprimir la alimentación de vapor cerrando la válvula que corresponde.
- 10) Llevar el equipo hasta la presión atmosférica apagando la bomba de vacío y abriendo muy lentamente la válvula que comunica el tanque de condensado con la atmósfera. Cerrar la válvula de agua de la bomba.
- 11) Luego de algunos minutos cerrar la válvula de entrada de agua al condensador.
- 12) Tarar el tanque de condensado.

## EQUIPO

- 1) Primer efecto .

Evaporador de tubos horizontales. El área de transferencia de calor está formada por 22 tubos de cobre de 48 cm de longitud útil y cuyos diámetros interno y externo son respectivamente 35 y 39.5 mm.

2) Segundo efecto .

Evaporador de calandria con 24 tubos verticales de cobre cuyo diámetro interno es 1.125 pulg y espesor de pared de 1.5 mm. La calandria posee un tubo central de 3.75 pulg de diámetro interno y 2 mm de espesor. La longitud es de 48 cm.

3) Condensador.

4) Bomba de vacío.

5) 2 canecas, 2 balanzas y tanque de recolección de condensado.

6) Instrumentos de medida.

### NOMENCLATURA DE DATOS

$P_6$  : presión de vacío en el tanque de recolección (pulg Hg).

$P_3$  : presión en el primer efecto (psig).

$P_4$  : presión de vacío en el segundo efecto (pulg Hg).

$P_2$  : presión del vapor de agua alimentado al evaporador (psig).

$T_6$  : temperatura de los vapores de cima, primer efecto ( $^{\circ}\text{F}$ ).

$T_7$  : temperatura de los vapores de cima, segundo efecto ( $^{\circ}\text{F}$ ).

$m_{S1}$  : masa de vapor vivo alimentado (kg).

$m_{E1}$  : masa de vapor de agua producido en el primer efecto (kg).

$m_{E2}$  : masa de vapor de agua producido en el segundo efecto (kg).

$T_4$  : temperatura de condensado  $m_{S2}$  ( $^{\circ}\text{F}$ )

$T_5$  : temperatura agua primer efecto ( $^{\circ}\text{F}$ ).

$T_8$  : temperatura agua segundo efecto ( $^{\circ}\text{F}$ ).

$T_9$  : temperatura condensado  $m_{E2}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$T_{10}$  : temperatura condensado  $m_{S3}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ).



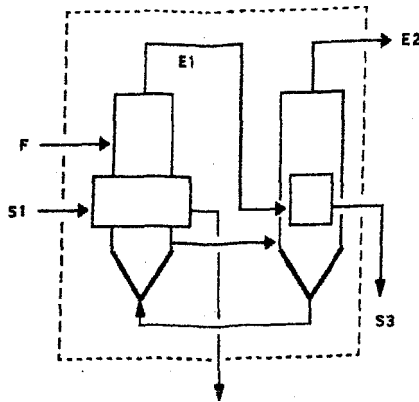
$\theta$  : tiempo (mi)

$Z$  : altura en el tanque de condensado (cm)

(m/Z) : tara del tanque de condensado (kg/cm).

## CALCULOS

Para cada uno de los cálculos, se hace referencia al siguiente diagrama de flujo .



A) A partir de los gráficos se determina el flujo de condensado de vapor vivo ( $m_s$ ), el flujo de condensado del vapor producido en el primer efecto ( $m_{E1}$ ) y el flujo de condensado de vapor producido en el segundo efecto ( $m_{E2}$ ).

Para determinar el flujo de vapor ( $m_{E2}$ ) producido se multiplica la tara del tanque (m/Z) por la diferencia de alturas ( $\Delta z$ ) en el tanque, durante un intervalo de tiempo ( $\Delta \theta$ ).

B) El balance de energía se determina por la siguiente ecuación tanto para operación en paralelo como para operación e contracorriente.

$$H_F + H_{S1} = H_{E2} + H_{S2} + H_{S3} + Q_p$$

donde:

$$H_F = \text{entalpía total del agua alimentada} = m_F \cdot h_F$$

La entalpía específica  $h_F$  para el agua alimentada se evalúa conociendo la temperatura del agua y tomando la entalpía de líquido saturado ( $h_f$ ) a ésta temperatura.

$$H_{S1} = \text{entalpía total del vapor vivo alimentado al evaporador.} \\ = m_s \cdot h_{S1}$$

La entalpía específica del vapor vivo ( $h_{S1}$ ) se determina suponiendo vapor saturado seco ( $h_g$ ) en función de la presión absoluta de alimentación.

La presión atmosférica ( $P_{atm}$ ) en Santafé de Bogotá es 10.83 psi.

La presión absoluta ( $P_{abs}$ ) se calcula:

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{man}$$

$P_{man}$  = presión indicada por el manómetro.

$$H_{E2} = \text{entalpía total del vapor producido en el segundo efecto.} \\ = m_{E2} \cdot h_{E2}$$

La entalpía específica  $h_{E2}$  se calcula suponiendo vapor saturado seco ( $h_g$ ) a la presión absoluta en la cámara de evaporación del segundo efecto. Si se está trabajando al vacío la presión absoluta se determina:

$$P_{abs} = P_{atm} - P_v$$

$P_v$  = presión de vacío indicada por el vacuómetro.

$$H_{s2} = \text{entalpía total del condensado de vapor vivo} = m_s \cdot h_{s2}$$

La entalpía específica  $h_{s2}$  se calcula suponiendo líquido sub-enfriado a la temperatura medida con el termómetro de la línea de condensado a la salida del intercambiador. Puede suponerse la entalpía de líquido saturado ( $h_f$ ) a ésta temperatura.

$$\begin{aligned} H_{s3} &= \text{entalpía total del condensado de vapor producido en el} \\ &\quad \text{segundo efecto.} \\ &= m_{E1} \cdot h_{s3} \end{aligned}$$

La entalpía específica  $h_{s3}$  se toma como la entalpía de líquido saturado a la presión absoluta del primer efecto. Despejando  $Q_p$  se determina el flujo de calor perdido.

C) La economía de la evaporación para todo el sistema tanto para operación en paralelo como en contracorriente se calcula:

$$\text{Economía} = m_{E2}/m_{S1}$$

D) Para calcular el coeficiente global aparente del primer efecto se procede así:

$$U_D = \frac{Q}{A (\Delta t)_a}$$

$Q$  = Flujo de calor entregado por el vapor vivo =  $m_s (h_{s1} - h_{s2})$

$A$  = área total de transferencia de calor.

$A = N_t \times L \times DE \times \pi$

$N_t$  = número de tubos.

$L$  = longitud de los tubos.

$DE$  = diámetro exterior de cada tubo.

$(\Delta t)_a$  = diferencia aparente de temperatura =  $(T_{S1} - T_{E1})$

$T_{S1}$  = temperatura de saturación del vapor vivo.

$T_{E1}$  = temperatura de saturación a la presión de la cámara de evaporación.

Para calcular el coeficiente global aparente en el segundo efecto se procede así:

$$U_D = \frac{Q}{A (\Delta t)_a}$$

$Q$  = Flujo de calor entregado por el vapor producido en el primer efecto.

$$= m_{E1} (h_{E1} - h_{S3})$$

$A$  = área total de transferencia de calor.

$$A = \pi L ( N_t \times DE + DE' )$$

$N_t$  = número de tubos.

$L$  = longitud de los tubos.

$DE$  = diámetro exterior de cada tubo.

$DE'$  = diámetro exterior del tubo central.

$(\Delta t)_a$  = diferencia aparente de temperatura =  $(T_{E1} - T_{E2})$

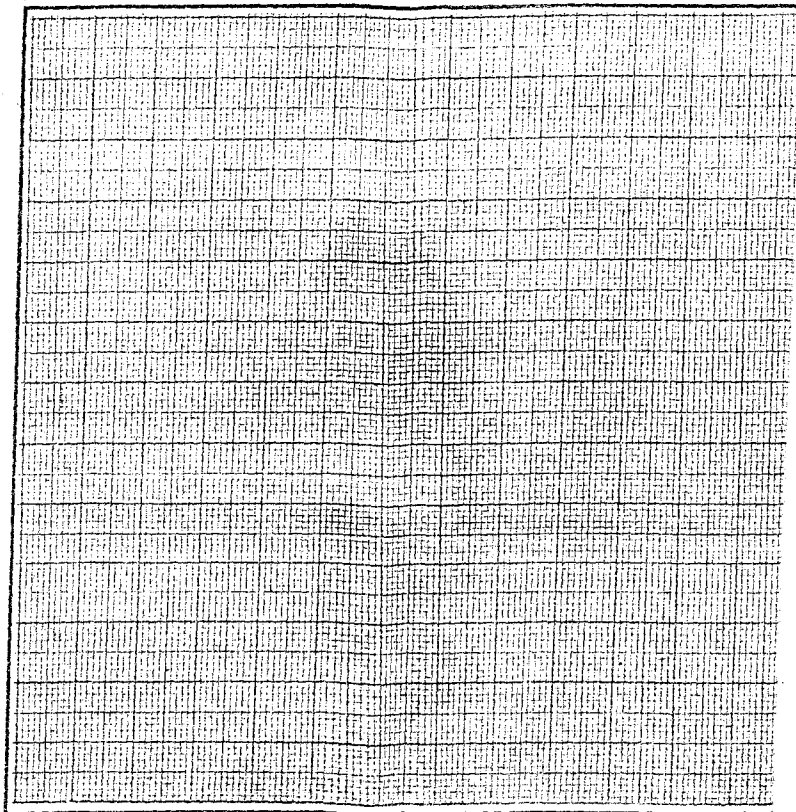
$T_{E1}$  = temperatura de saturación del vapor a la presión absoluta del primer efecto.

$T_{E2}$  = temperatura de saturación a la presión absoluta del segundo efecto.



GRAFICA A - 1

m

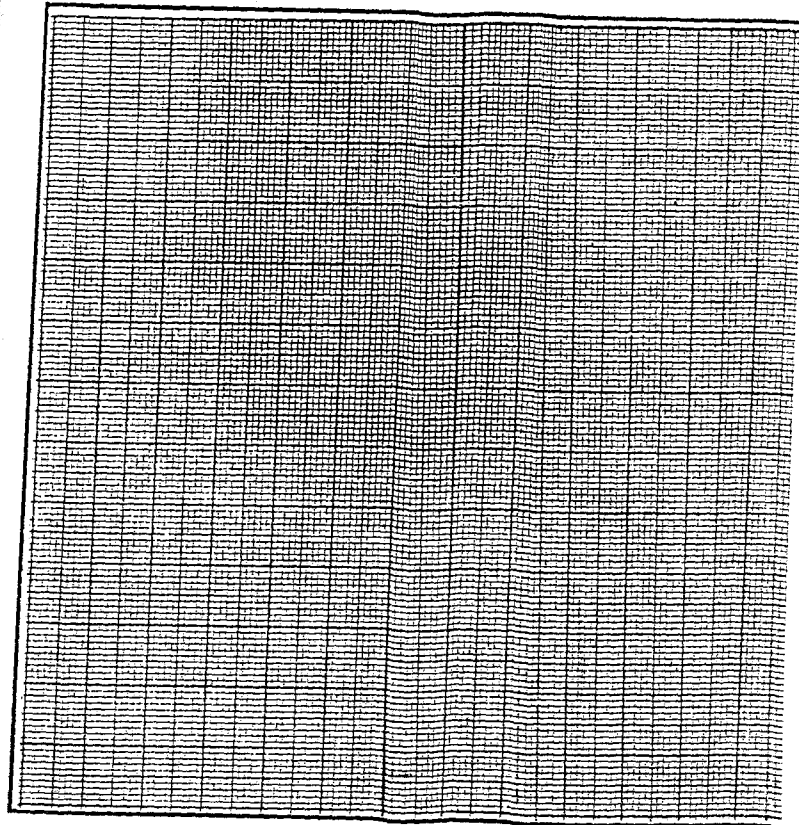


TIEMPO (m)



GRAFICA A - 2

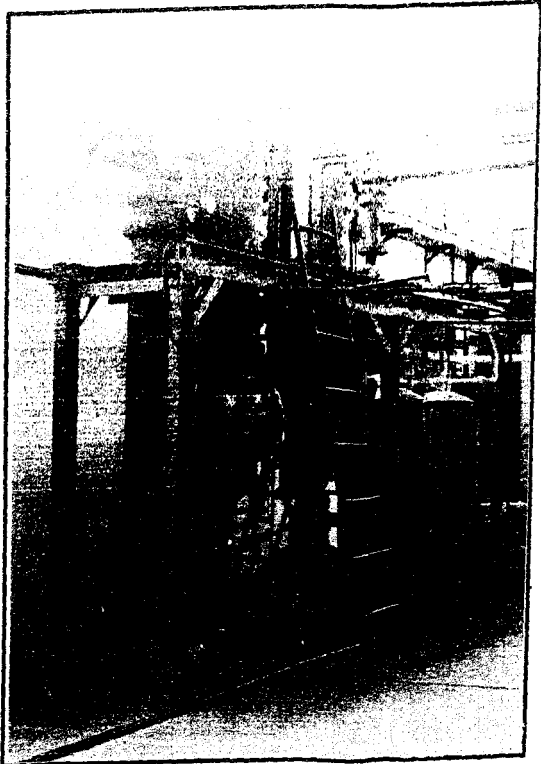
m



TIEMPO (m)







VISTA LATERAL DEL EQUIPO DE EVAPORACION EN LA CUAL SE APRECIA EL  
INTERCAMBIADOR DE CALOR Y LA BOMBA PARA TRABAJAR CON CIRCULACION FORZADA  
LOCALIZACION : LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA

# DIAGRAMA DE FLUJO

## EQUIPO DE EVAPORACION

