



Cálculo del área de intercambio del rehervidor y del condensador.

Rehervidor.

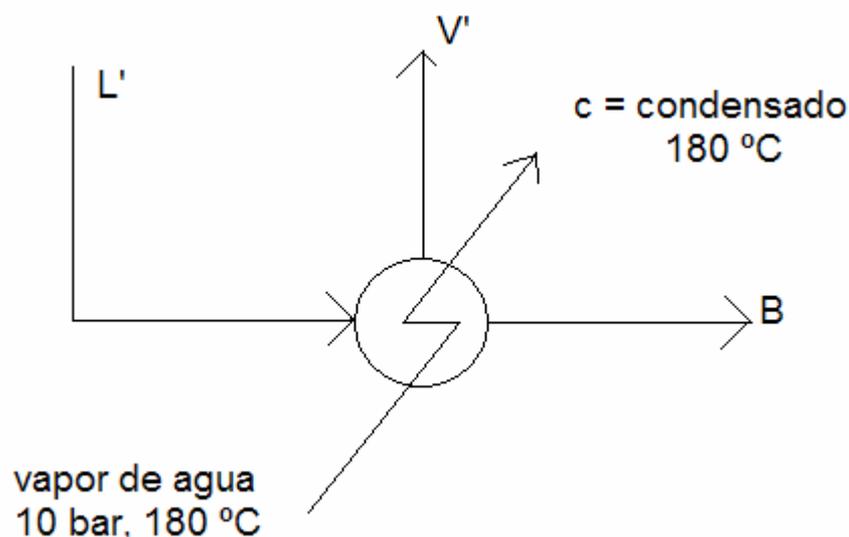
- Procedimiento de diseño:

En este trabajo se pretende proporcionar un procedimiento sencillo, para el diseño térmico de rehervidores, es decir, que no se toman en cuenta consideraciones mecánicas y costos. A continuación se describe la secuencia de pasos que se deben seguir para el diseño de estos equipos:

1. Especificar las condiciones operacionales del rehervidor (composiciones, flujos, temperaturas, presiones, calor transferido, fracción vaporizada, etc).
2. Obtener las propiedades físicas que se requieren, de todas las corrientes que entran o salen del rehervidor, sobre los intervalos de temperaturas y presiones que interesan.
3. Seleccionar el tipo de rehervidor que se va a emplear.
4. Seleccionar el fluido de calefacción.
5. Hacer una estimación preliminar del tamaño del rehervidor, utilizando las tablas, que existen en la bibliografía, de las dimensiones estándar de los intercambiadores de calor.
6. Se realiza un primer diseño completo, con todos los detalles referentes a los cálculos.
7. Se evalúa el diseño obtenido en la etapa 6, en cuanto a su capacidad para satisfacer las especificaciones del proceso, con respecto a la transferencia de calor, caída de presión, etc.
8. Sobre la base de los resultados obtenidos en la etapa 7, se escoge una nueva configuración, si es necesario, y se repite la etapa 7.

- Estimaciones previas para los cálculos del área necesaria para el Rehervidor:

- Balance de Energía.





DATOS: $L' = 307.3 \text{ Kmol/h}$
 $B = 197.97 \text{ Kmol/h}$
 $\lambda_{\text{metal+agua}} = 3.4599 \cdot 10^7 \text{ J/Kmol}$
 $\lambda_{\text{vapor}} = 3.63643 \cdot 10^7 \text{ J/Kmol}$

La expresión del balance de energía es el siguiente:

$$(L' - B) * \lambda_{\text{metal+agua}} = C * \lambda_{\text{vapor}}$$

donde $\lambda_{\text{metal+agua}}$ y λ_{vapor} , son el calor latente de la mezcla metanol + agua y el calor latente del vapor, ambas calculadas de las tablas (anexo n° 8).

$$(L' - B) * \lambda_{\text{metal+agua}} = C * \lambda_{\text{vapor}} \rightarrow (307.3 - 197.97) * 3.4599 \cdot 10^7 = C * 3.63643 \cdot 10^7$$

$$C = 104.060648 \text{ Kmol / h}$$

Ahora procedemos al cálculo de Q, flujo de calor del Rehervidor, obteniendo el siguiente resultado:

$$Q = C * \lambda_{\text{vapor}} \rightarrow Q = 104.060648 \times 3.63643 \times 10^7 = 3.78409 \times 10^9 \text{ J/h}$$

Considerando que no hay pérdidas de calor, el calor cedido tiene que ser igual que al calor absorbido, por lo tanto:

$$Q = U \cdot A \cdot \text{LMTD}$$

Siendo LMTD, la media logarítmica de las temperaturas del intercambiador, que tiene el siguiente valor:

$$\text{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \rightarrow \text{LMTD} = 30$$

Es 30 porque esa es la diferencia de temperatura en la entrada y también en la salida del rehervidor, esto quiere decir que solo hay un cambio de fase pero no de temperatura (esta permanece constante).

Conocidos todos los datos necesarios, calculamos pues, el valor de U, coeficiente global de transmisión de calor, para poder conocer el área necesaria para el rehervidor. La expresión que utilizaremos en nuestro diseño, es la siguiente:

$$U = \frac{1}{\frac{D_e}{h_i D_i} + \frac{D_o}{2K} \ln \frac{D_o}{D_i} + \frac{1}{h_o}}$$



Pero despreciamos la resistencia por conducción y además consideramos que $D_o \cong D_i$, quedando:

$$U = \frac{h_i h_e}{h_i + h_e}$$

- Cálculo del Área aproximada, para un valor de $U_{aproximado}$.

El U_{aprox} lo obtenemos de tablas, el valor de U del metanol + agua y del vapor de agua se encuentra en un intervalo de 1000-3000 Kcal/hm²°C.

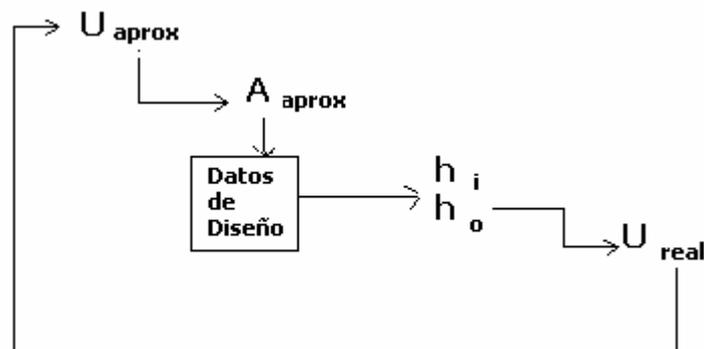
Para los cálculos hemos considerado que U_{aprox} vale 1500 Kcal/hm²°C . Los resultados obtenidos son:

$$U_{aprox} = 552.4126 \text{ Btu/kft}^2\text{°F} \rightarrow 627 \cdot 10^4 \text{ J/hm}^2\text{°C}$$

$$Q = U \cdot A \cdot \text{LMTD} \rightarrow 3.78409 \cdot 10^9 = 627 \cdot 10^4 \cdot A \cdot 30$$

$$A_{aprox} = 20.117437 \text{ m}^2$$

Se trata de seguir el siguiente esquema:



Calculamos la $U_{teórica}$, para ver si se aproxima a la U_{aprox} , y así saber si el área aproximada que habíamos propuesto, es la correcta.

Configuración de los Tubos

Arreglo triangular

DE = 1 inch
DWG = 16
 $a_t' = 0.594 \text{ inch}^2$
Pasos = 1
N = 21 tubos
DI = 0.87 inch
Pitch = 1.25 inch

Configuración de la Coraza

DI = 8 inch
Pasos = 1
B = 1.6 inch (espacio entre los Deflectores) $\rightarrow B = 1/5DI_{coraza}$



- Cálculos de la aproximación a la Ureal con la configuración de tubos y coraza anterior:

Datos, (obtenidos de tablas):

$$K_{\text{metanol+agua}} = 0.341054506 \text{ Btu/hft}^2\text{°F}$$

$$K_{\text{vapor de agua}(108^\circ\text{C})} = 0.483 \text{ Btu/hft}^2\text{°F}$$

$$L \text{ (caudal metanol + agua a } 150^\circ\text{C)} = 7556.4454 \text{ Kg/h}$$

$$C \text{ (caudal del vapor a } 180^\circ\text{C)} = 1873.091664 \text{ Kg/h}$$

$$Q_{\text{Rehervidor}} = 905284.689 \text{ Kcal/h}$$

$$C_{p\text{methanol + agua}} = 0.98608405 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$$

$$C_{p\text{vapor de agua}(180^\circ\text{C})} = 0.97184845 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$$

$$\mu_{\text{metanol + agua}} = 0.11585 \text{ cP} \rightarrow 0.127119883 \text{ Kg/ft h}$$

$$\mu_{\text{vapor de agua}(180^\circ\text{C})} = 0.0155 \text{ cP} \rightarrow 0.0374658 \text{ lb/ft h}$$

$T_1, T_2 \rightarrow$ Temperaturas a la entrada y salida del fluido caliente (Vapor de H_2O).

$$T_1 = 180^\circ\text{C} \rightarrow 356^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 180^\circ\text{C} \rightarrow 356^\circ\text{F}$$

$t_1, t_2 \rightarrow$ Temperaturas a la entrada y salida del fluido frío (mezcla de metanol + agua).

$$t_1 = 150^\circ\text{C} \rightarrow 302^\circ\text{F}$$

$$t_2 = 150^\circ\text{C} \rightarrow 302^\circ\text{F}$$

- Balance de Calor.

$$t_m = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{302 + 302}{2} = 302^\circ\text{F}$$

$$Q_{\text{Rehervidor}} = 905284.689 \text{ Kcal/h}$$

- Fluido Frío (fluido exterior \rightarrow mezcla metanol + agua):

$$C_{p\text{methanol + agua}} = 0.98608405 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$$

- Fluido Caliente (fluido interno \rightarrow Vapor de H_2O a 180°C y 10 bar):

$$C_{p\text{agua}(180^\circ\text{C})} = 0.97184845 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$$



$$- \quad \underline{\Delta t = LMTD} \quad ;$$

FLUIDO CALIENTE		FLUIDO FRIO	DIFERENCIA
180	Alta Temperatura	150	30
180	Baja Temperatura	150	30
0	Diferencia	0	0

$$LMTD = 30$$

- Fluido Caliente: Tubos.

El área de flujo por tubo (in²)

$$a_t' = 0.594 \text{ inch}^2 = 3.83225 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ (tablas, anexo n}^\circ \text{ 8)}$$

El área de flujo en todos los tubos, se obtiene:

$$a_t = \frac{N_t \cdot a_t'}{144 \cdot n} = \frac{21 \cdot 0.594}{144 \cdot 1} = 0.086625 \text{ ft}^2$$

$$G_t = \frac{C}{a_t} = \frac{1873.091664 \text{ Kg} / h}{0.086625 \text{ ft}^2} = 21622.99179 \text{ Kg} / \text{ft}^2 h \longrightarrow 47678.6969 \text{ lb} / \text{ft}^2 h$$

La viscosidad del fluido a la temperatura μ_{tc} :

$$\mu_{\text{vapor de agua}(180^\circ\text{C})} = 0.0155 \text{ cP} \rightarrow 0.0374658 \text{ lb/ft}^2 h$$

En las tablas del anexo n° 8 se encuentra el diámetro de los tubos del intercambiador:

$$DI = 0.87 \text{ in} = 0.022 \text{ m} = 0.072499 \text{ ft}$$

Por lo que podremos calcular el n° de Reynolds:

$$Re = \frac{D \cdot G_t}{\mu} = \frac{0.072499 \cdot 47678.6969}{0.0374958} = 92187.8676$$



Para el valor de $Re = 92187.8676$, se obtiene de la gráfica (ver anexo n° 8), un valor del factor de transferencia de calor de jH , suponiendo $L/D = 24$. El valor de jH asociado a ese valor de Re es 250.

La conductividad térmica del fluido, se obtiene de la tabla (ver anexo n° 8).

$$K_{\text{vapor de agua}(108^{\circ}\text{C})} = 0.483 \text{ Btu/hft}^2\text{ }^{\circ}\text{F}$$

Ahora se calcula el siguiente término (numero de Prandtl):

$$\left(\frac{C_p \cdot \mu}{\kappa}\right)^{1/3} = \left(\frac{0.97184845 \text{ Btu} / \text{lb}^{\circ}\text{F} \cdot 0.0374958 \text{ lb} / \text{ft}^3}{0.483 \text{ Btu} / \text{ft}^2\text{ }^{\circ}\text{F}}\right)^{1/3} = 0.4225499$$

Para la obtención del coeficiente de transferencia de calor del fluido interior sustituiremos en la fórmula:

$$h_i = jH \frac{K}{DI} \left(\frac{C_p \cdot \mu}{\kappa}\right)^{1/3} \phi \quad \text{donde } \phi = 1$$

$$h_i = 250 \frac{0.483}{0.072499} \cdot 0.4225499 \cdot 1 = 703.773851 \text{ Btu} / \text{ft}^2\text{ }^{\circ}\text{F}$$

- Fluido Caliente: Coraza.

El área transversal del flujo para el lado de la coraza esta dada por:

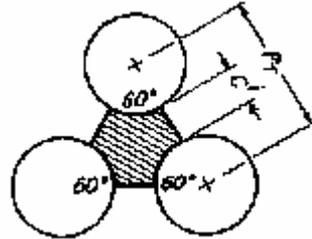
$$a_s = \frac{DI \cdot C \cdot B}{144 \cdot \text{Pitch}}$$

Por lo que si sustituimos nuestros datos tendremos que

$$a_s = \frac{8 \cdot 0.25 \cdot 1.6}{144 \cdot 1.25} = 0.017777777 \text{ ft}^2$$



siendo la configuración estándar de la coraza:



“Arreglo triangular”

Por lo que C' será:

$$C' = \text{Pitch} - DE = 1.25 - 1 = 0.25 \text{ inch}$$

La velocidad másica es:

$$G_s = \frac{L}{a_s} = \frac{7556.4454 \text{ Kg} / h}{0.01777777 \text{ ft}^2} = 425050.0538 \text{ Kg} / \text{ft}^2 h$$

A 150 °C la viscosidad del fluido que circula por la coraza vale:

$$\mu_{\text{metanol} + \text{agua}} = 0.11585 \text{ cP} \rightarrow 0.127119883 \text{ Kg} / \text{ft} h$$

EL diámetro equivalente es cuatro veces el radio hidráulico, y el radio hidráulico es, a su vez, el radio de un tubo equivalente a la sección del anulo. Cuando un fluido fluye por un conducto que tiene sección diferente a la circular, debemos expresar los coeficientes de transferencia de calor y factores de fricción mediante las mismas ecuaciones, para esto utilizaremos el diámetro equivalente, para poder representar.

$$D_e = \frac{4(\text{Pitch}^2 - \pi \cdot DE_{\text{tubos}} / 4)}{\pi \cdot DE_{\text{tubos}}} = \frac{4(1.25^2 - \pi \cdot 1 / 4)}{\pi \cdot 1} = 0.989436788 \text{ pu lg} \rightarrow 0.082452735 \text{ ft}$$

El número de Reynolds se obtendría de la siguiente expresión:

$$\text{Re} = \frac{D \cdot G_t}{\mu} = \frac{0.082452735 \text{ ft} \cdot 425050.0538 \text{ Kg} / \text{ft}^2 h}{0.127119883 \text{ Kg} / \text{ft} h} = 275696.7566$$

Para el valor de $\text{Re} = 275696.7566$, el valor de j_H asociado (mirar en las tablas) es 590.



El valor de la conductividad térmica es:

$$K_{\text{vapor de agua}(108^{\circ}\text{C})} = 0.483 \text{ Btu/hft}^2\text{F}$$

Ahora se calcula el siguiente término (numero de Prandtl):

$$\left(\frac{C_p \cdot \mu}{\kappa}\right)^{1/3} = \left(\frac{0.98608405 \text{ Btu/lb}^{\circ}\text{F} \cdot 0.127119883 \text{ lb/ft}^3}{0.341054506 \text{ Btu/ft}^{\circ}\text{F}}\right)^{1/3} = 0.93227876$$

Para la obtención del coeficiente de transferencia de calor del fluido exterior sustituiremos en la fórmula:

$$h_o = jH \frac{K}{DE} \left(\frac{C_p \cdot \mu}{\kappa}\right)^{1/3} \phi \quad \text{donde } \phi = 1$$

$$h_o = 590 \frac{0.341054506}{0.082452735} \cdot 0.93227876 \cdot 1 = 2275.184012 \text{ Btu/ft}^2\text{h}^{\circ}\text{F}$$

○ Coeficiente total de transferencia, U_{real} :

$$U_{real} = \frac{h_i \cdot h_o}{h_i + h_o} = \frac{703.773851 \cdot 2275.184012}{703.773851 + 2275.184012} = 537.50845 \text{ Btu/ft}^2\text{h}^{\circ}\text{F}$$

Como el $U_{real} \cong U_{aprox}$, eso quiere decir que la configuración escogida para los tubos y la coraza son los correctos para el diseño del Rehervidor. Considerando que el área será un poco más grande que la obtenida en nuestra configuración de tubos y coraza escogida, ya que la U_{aprox} se aproxima bastante pero por debajo del valor real, por eso consideraremos un poco más de área.



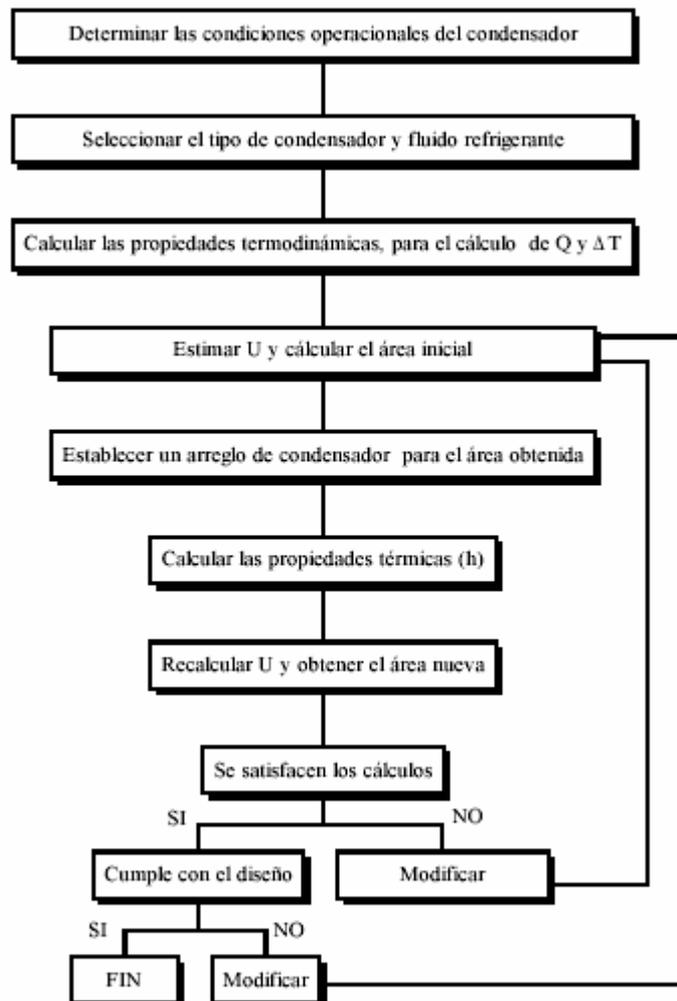
Condensador.

▪ Procedimiento de diseño :

Para el cálculo del diseño de los condensadores se sugiere la siguiente metodología de cálculo:

1. Especificar las condiciones operacionales del condensador (datos de entrada).
2. Seleccionar el tipo de condensador.
3. Seleccionar el fluido refrigerante.
4. Determinar la carga de calor que debe ser retirada en el condensador.
5. Calcular la diferencia de temperatura.
6. Calcular el área del condensador, evaluando el coeficiente global de transferencia de calor.
7. Verificar que se satisfacen las condiciones operacionales establecidas (caída de presión, esbeltez, entre otras).

En la Fig. 1, se presenta un flujograma con esta metodología de diseño para un condensador:



“Fig. 1. Flujograma de diseño de un condensador”



○ Balace de Energía:

Para estimar el calor necesario, se utiliza un balance de energía:

$$\text{DATOS: } V = 183.4 \text{ Kmol/h}$$

$$\lambda_{\text{DME}} = 1.7105909 \cdot 10^7 \text{ J/Kmol}$$

La expresión del balance de energía es el siguiente:

$$Q = V \cdot \lambda_{\text{DME}}$$

donde λ_{DME} , es el calor latente del DME, calculado de las tablas (anexo n° 8).

$$Q = V \cdot \lambda_{\text{DME}} \rightarrow Q = 183.4 \cdot 1.7105909 \cdot 10^7$$

$$Q = 3137223722 \text{ J / h}$$

$$Q = 3137223.722 \text{ Kj / h}$$

Para el agua refrigerante, el caudal que necesitamos es el siguiente, considerando que no hay pérdida de calor, es decir que el calor absorbido es igual al calor cedido, los resultados obtenidos son:

$$Q = C \cdot \lambda_{\text{agua}} \rightarrow 3137223722 = C \cdot 44228026.77$$

$$C = 70.9329 \text{ Kmol/h}$$

Considerando que no hay pérdidas de calor, el calor cedido tiene que ser igual que al calor absorbido, por lo tanto:

$$Q = U \cdot A \cdot \text{LMTD}$$

Siendo LMTD, la media logarítmica de las temperaturas del intercambiador, que tiene el siguiente valor.

$$\text{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\text{Ln} \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \rightarrow \text{LMTD} = 30$$

- Calcular el valor del coeficiente global de transferencia de calor (U) y del area de transferencia de calor (A):

Para el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor, se utiliza la siguiente relación.

$$U = \frac{h_i h_e}{h_i + h_e}$$



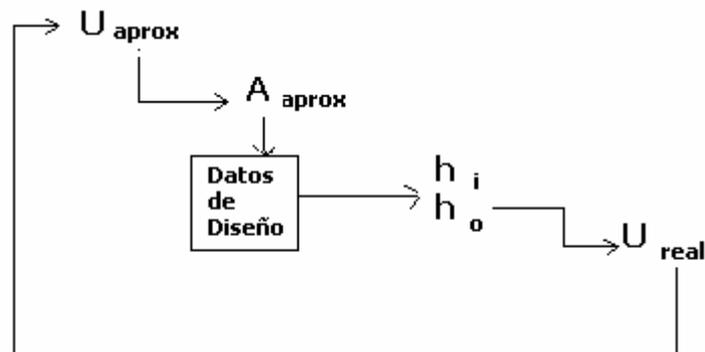
- Calculamos al área aproximada, para un valor de U_{aprox} .

El U_{aprox} lo obtenemos de tablas, el valor de U del DME es $20 \text{ Btu} / \text{ft}^2\text{h}^\circ\text{F} = 408.816 \text{ Kj}/\text{hm}^2\text{K}$. Los cálculos obtenidos son los siguientes:

$$Q = U \cdot A \cdot \text{LMTD} \rightarrow 3137223.722 = 408.816 \cdot A_{aprox} \cdot 30$$

$$A_{aprox} = 255.7975 \text{ m}^2$$

Los cálculos realizados en el condensador se realizan partiendo de la misma idea que para el rehervidor, es decir siguiendo el siguiente esquema comentado en el apartado anterior.



En el momento en el que la $U_{teórica}$ se acerque a la U_{aprox} , la configuración escogida en los cálculos será la correcta para su diseño, cumpliendo así nuestras expectativas.

Configuración de los Tubos

Arreglo triangular

DE = 1 inch
DWG = 16
 $a_t' = 0.594 \text{ inch}^2$
Pasos = 1
N = 21 tubos
DI = 0.87 inch
Pitch = 1.25 inch

Configuración de la Coraza

DI = 8 inch
Pasos = 1
B = 1.6 inch (espacio entre los Deflectores) $\rightarrow B = 1/5 \text{ DI coraza}$



- Cálculos de la aproximación a la U_{real} con la configuración de tubos y coraza anterior:

Datos (obtenidos de tablas):

$$K_{DME} = 0.4716 \text{ Kj/hmK} = 0.0757 \text{ Btu/ft}^2\text{h}^{\circ}\text{F}$$

$$K_{\text{agua}(15^{\circ}\text{C})} = 0.34667 \text{ Btu/hft}^2\text{h}^{\circ}\text{F}$$

$$Cp_{DME} = 584.9 \text{ Btu/lb}^{\circ}\text{F}$$

$$Cp_{\text{agua}(15^{\circ}\text{C})} = 1.1 \text{ Btu/lb}^{\circ}\text{F}$$

$$\mu_{DME} = 0.0104326 \text{ Kg/ft}^2\text{h}$$

$$\mu_{\text{agua}(15^{\circ}\text{C})} = 1.41909 \text{ lb/ft}^2\text{h}$$

$$V = 183.4 \text{ Kmol/h} = 8436.4 \text{ Kg/h}$$

$$C = 70.9329 \text{ Kmol/h} = 1276.7922 \text{ Kg/h}$$

$T_1, T_2 \rightarrow$ Temperaturas a la entrada y salida del fluido caliente (DME).

$$T_1 = 45^{\circ}\text{C} \rightarrow 113^{\circ}\text{F}$$

$$T_2 = 45^{\circ}\text{C} \rightarrow 113^{\circ}\text{F}$$

$t_1, t_2 \rightarrow$ Temperaturas a la entrada y salida del fluido frío (mezcla de metanol + agua).

$$t_1 = 15^{\circ}\text{C} \rightarrow 59^{\circ}\text{F}$$

$$t_2 = 15^{\circ}\text{C} \rightarrow 59^{\circ}\text{F}$$

- Balance de Calor:

$$t_m = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{59 + 59}{2} = 59^{\circ}\text{F}$$

$$Q_{\text{Condensador}} = 3137223.722 \text{ Kj/h}$$

- Fluido Frío (fluido interior \rightarrow agua):

$$Cp_{\text{agua}(15^{\circ}\text{C})} = 1.1 \text{ Btu/lb}^{\circ}\text{F}$$

- Fluido Caliente (fluido exterior \rightarrow DME):

$$Cp_{DME} = 584.9 \text{ Btu/lb}^{\circ}\text{F}$$



$$- \quad \underline{\Delta t = LMTD} :$$

FLUIDO CALIENTE		FLUIDO FRIO	DIFERENCIA
45	Alta Temperatura	15	30
45	Baja Temperatura	15	30
0	Diferencia	0	0

$$LMTD = 30$$

- Fluido Frio: Tubos.

El área de flujo por tubo (in²)

$$a_t' = 0.594 \text{ inch}^2 = 3.83225 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ (tablas, anexo n}^\circ \text{ 8)}$$

El área de flujo en todos los tubos, se obtiene:

$$a_t = \frac{N_t \cdot a_t'}{144 \cdot n} = \frac{21 \cdot 0.594}{144 \cdot 1} = 0.086625 \text{ ft}^2$$

$$G_t = \frac{C}{a_t} = \frac{1276.7922}{0.086625} = 14739.3039 \text{ Kg} / \text{ft}^2 \text{ h} \longrightarrow 32494.5642 \text{ lb} / \text{ft}^2 \text{ h}$$

En las tablas del anexo n° 8 se encuentra el diámetro de los tubos del condensador:

$$DI = 0.87 \text{ in} = 0.022 \text{ m} = 0.072499 \text{ ft}$$

Por lo que podremos calcular el n° de Reynolds:

$$Re = \frac{D \cdot G_t}{\mu} = \frac{0.072499 \cdot 32494.5642}{1.41909} = 1660.094431$$

Para el valor de $Re = 1660.094431$, se obtiene de la grafica (ver anexo n° 8), un valor del factor de transferencia de calor de jH , suponiendo $L/D = 24$. El valor de jH asociado a ese valor de Re es 9.



Ahora se calcula el siguiente término (número de Prandtl):

$$\left(\frac{C_p \cdot \mu}{\kappa}\right)^{1/3} = \left(\frac{1.1 \text{ Btu/lb}^\circ \text{F} \cdot 1.41909 \text{ lb/ft}^3}{0.34667 \text{ Btu/ft}^\circ \text{F}}\right)^{1/3} = 1.6513$$

Para la obtención del coeficiente de transferencia de calor del fluido interior sustuiremos en la formula:

$$h_i = jH \frac{K}{DI} \left(\frac{C_p \cdot \mu}{\kappa}\right)^{1/3} \phi \quad \text{donde } \phi = 1$$

$$h_i = 9 \frac{0.34667}{0.072499} \cdot 1.6513 \cdot 1 = 71.0645 \text{ Btu/ft}^2 \text{h}^\circ \text{F}$$

- Fluido Caliente: Coraza.

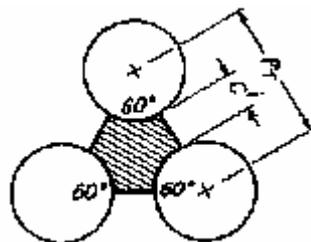
El área transversal del flujo para el lado de la coraza esta dada por:

$$a_s = \frac{DI \cdot C' \cdot B}{144 \cdot Pitch.}$$

Por lo que si sustituimos nuestros datos tendremos que:

$$a_s = \frac{8 \cdot 0.25 \cdot 1.6}{144 \cdot 1.25} = 0.017777777 \text{ ft}^2$$

siendo la configuración estándar de la coraza:



“Arreglo triangular”



Por lo que C' será:

$$C' = \text{Pitch} - DE = 1.25 - 1 = 0.25 \text{ inch}$$

La velocidad másica es:

$$G_s = \frac{V}{a_s} = \frac{8436.4 \text{ Kg} / h}{0.017777777 \text{ ft}^2} = 474547.7076 \text{ Kg} / \text{ft}^2 h$$

EL diámetro equivalente es cuatro veces el radio hidráulico, y el radio hidráulico es, a su vez, el radio de un tubo equivalente a la sección del anulo. Cuando un fluido fluye por un conducto que tiene sección diferente a la circular, debemos expresar los coeficientes de transferencia de calor y factores de fricción mediante las mismas ecuaciones, para esto utilizaremos el diámetro equivalente, para poder representar.

$$D_e = \frac{4(\text{Pitch}^2 - \pi \cdot DE_{\text{tubos}} / 4)}{\pi \cdot DE_{\text{tubos}}} = \frac{4(1.25^2 - \pi \cdot 1 / 4)}{\pi \cdot 1} = 0.989436788 \text{ pu lg} \longrightarrow 0.082452735 \text{ ft}$$

En las tablas del anexo n° 8 se encuentra el diámetro de los tubos del condensador:

$$DI = 0.87 \text{ in} = 0.022 \text{ m} = 0.072499 \text{ ft}$$

El número de Reynolds se obtendría de la siguiente expresión:

$$\text{Re} = \frac{D \cdot G_t}{\mu} = \frac{0.082452735 \text{ ft} \cdot 474547.7076 \text{ Kg} / \text{ft}^2 h}{0.0104326 \text{ Kg} / \text{ft} h} = 37505.27805$$

Ahora se calcula el siguiente término (número de Prandtl):

$$\left(\frac{C_p \cdot \mu}{\kappa} \right)^{1/3} = \left(\frac{584.9 \text{ Btu} / \text{lb}^\circ \text{F} \cdot 0.023 \text{ lb} / \text{ft} h}{0.0757 \text{ Btu} / \text{ft} h^\circ \text{F}} \right)^{1/3} = 5.6222$$

Para la obtención del coeficiente de transferencia de calor del fluido exterior sustituiremos en la fórmula:

$$h_o = jH \frac{K}{DE} \left(\frac{C_p \cdot \mu}{\kappa} \right)^{1/3} \phi \quad \text{donde } \phi = 1$$

$$h_o = 46.45 \text{ Btu} / \text{ft}^2 h^\circ \text{F}$$



- Coeficiente total de transferencia U_{real} :

$$U_{real} = \frac{h_i \cdot h_o}{h_i + h_o} \cong 30 \text{ Btu} / \text{ft}^2 \text{ h}^\circ \text{ F}$$

Como el $U_{real} \cong U_{aprox}$, eso quiere decir que la configuración escogida para los tubos y la coraza son los correctos para el diseño del Condensador.