



ENE 20181

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE**  
**INGENIERÍA QUÍMICA**



**INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**  
**“DISEÑO DE UN CONDENSADOR**  
**MULTITUBULAR DE VAPOR DE AGUA”**

**AUTOR: ALBERTO EMILIO PANANA GIRIO**

**Callao, 2017**



I	INDICE	Pág.	1
II	RESUMEN Y ABSTRACT		6
	Resumen		6
	Astract		7
III	INTRODUCCIÓN		8
	3.1 Exposición del tema de investigación		8
	3.1.2 Objetivos		9
	3.1.2.1 Objetivos General		9
	3.1.2.2 Objetivos Específicos		9
	3.2 Importancia y Justificación de la Investigación		11
	3.2.1 Importancia		11
	3.2.1.1 Alcance		11
	3.2.1.2 Tipo de investigación		12
	3.2.1.3 Código de Unesco		12
	3.2.2 Justificación		12
IV	MARCO TEORICO		13
	4.1 Antecedentes Técnicos y datos vinculados a la investigación		13
	4.2 Marco teórico		15
	4.2.1 Condensación		15
	4.2.2 Condensación en el exterior de un tubo horizontal		15
	4.2.3 Condensación en el exterior de un tubo verticales		17



## RELACION DE FIGURAS

	Pág.
Figura N° 1 Factor de corrección de temperaturas	36
Figura N° 2 Grafica determinar el coeficiente de película para los Tubos	39
Figura N° 3 Factor para velocidad promedio de vapor para caída de presión	60
Figura N° 4 Para determinar espaciado entre el casco – haz de tubos.	63
Figura N° 5 Factor de fricción de la coraza	64
Figura N° 6 Factor de fricción para lado de los tubos	65

## RELACION DE TABLAS

Tabla N° 5.1 Constantes para la ecuación N° 5.3	38
Tabla N° 7.1 Resumen de los resultados	63
Tabla N° 10 Datos de tubos para condensador e intercambiador de calor	66



## II. RESUMEN y ABSTRACT

### RESUMEN

El presente trabajo de investigación, "Diseño de un condensador multitubular de vapor de agua", está enfocado a la realización de los cálculos de cantidad de calor transferido en el condensador, determinación del coeficiente total de transferencia, el área, la caída de presión, el rendimiento, estos cálculos se realizan cuando el condensador ha alcanzado su funcionamiento en estado estacionario. El objetivo de la investigación es realizar el diseño de un condensador multitubular de vapor de agua

Con el fin de alcanzar los objetivos y metas trabajos en esta investigación se plantea y se realiza un método de cálculo de las variables implicados en el condensador. Estas determinaciones se hacen en forma iterativa y las variables obtenidas servirán para la realización del dimensionamiento del condensador de vapor de agua.

Con los datos considerados para la realización del diseño del condensador, se han obtenidos los siguientes resultados:

- Cantidad de calor transferido,  $Q = 3361.61 \text{ KW}$
- Coeficiente de Totas de transferencia, calor,  $U = 1971.21 \text{ W/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$
- Área de transferencia calor,  $A = 178,015 \text{ m}^2$
- Número total tubos,  $N_t = 580$  tubos
- Caída de presión en la coraza  $\Delta P_c = 1.3 \text{ KPa}$
- Caída de presión por los tubos.  $\Delta P_t = 53 \text{ KPa}$
- Eficiencia,  $\eta = 75 \%$
- 

Con los datos obtenidos concluimos, que el condensador diseñado, operara satisfactoriamente.

**PALABRAS CLAVES:** Condensador, energía, coeficiente total de transferencia, Rendimiento, caída de presión.



## ABSTRACT

The present research work, "Design of a multitubular water vapor condenser", is focused on calculations of amount of heat transferred in the condenser, determination of the total transfer coefficient, area, pressure, Performance, these calculations are performed when the capacitor has reached its steady state operation. The objective of the research is to design a multitubular water vapor condenser

In order to reach the objectives and goals work in this research, a method of calculating the variables involved in the capacitor is proposed and performed. These determinations are done in an iterative way and the variables obtained will be used to carry out the dimensioning of the water vapor condenser.

With the data considered for the design of the capacitor, the following results were obtained:

- Amount of heat transferred,  $Q = 3361.61 \text{ KW}$
- Coefficient of Transference Total, Heat,  $U = 1971.21 \text{ W / m}^2\text{-}^\circ\text{C}$
- Heat transfer area,  $A = 178,015 \text{ m}^2$
- Total number of tubes,  $N_t = 580 \text{ tubes}$
- Pressure drop, shell,  $\Delta P_c = 1.3 \text{ KPa}$
- Pressure drop across the tubes,  $\Delta P_t = 53 \text{ KPa}$
- Efficiency,  $\eta = 75\%$

With the data obtained we conclude that the designed capacitor will operate satisfactorily.

**KEYWORDS:** Condenser, energy, total transfer coefficient, yield, pressure drop



### III. INTRODUCCION

#### 3.1 Exposición del problema de la investigación

El proyecto de investigación desarrollado, "Diseño de un condensador multitubular de vapor de agua", se debe a que los condensadores son equipos térmicos bastante empleados en la condensación del agua ya sea vapor saturado o vapor recalentado, de una u otra forma este vapor es utilizado en las diferentes industrias químicas, como en las plantas petroquímica, plantas para la fabricación de papel, industrias metalúrgicas, fertilizantes, entre otros tipos de actividad industrial.

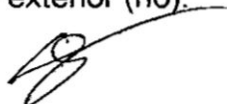
Este proceso de enfriamiento y/o condensación generalmente ocurre con el vapor de agua, donde este vapor utilizado tiene temperatura bien alta, el cual no se puede desechar directamente a la atmósfera, por lo que se debe aprovechar su energía calorífica que todavía posee, ya sea para calentar otro fluido cuya temperatura es baja.

Otro aspecto importante es que el vapor de agua tiene un costo en su producción, y además al condensarse el vapor de agua este tiene buenas características puesto que ya ha sido tratado y se puede reutilizar mezclándola con el agua de alimentación tratada y hacerla ingresar nuevamente al equipo de generación de vapor, (caldera).

Para poder definir la posición de un condensador debe tenerse en cuenta varios aspectos tales como:

- La facilidad de mantenimientos.
- El tipo de soportes estructurales.
- El costo que implica la instalación, generalmente es más costoso instalar un condensador de tipo vertical que un condensador de forma horizontal.

La posición del condensador afecta considerablemente el valor de los coeficientes de película por convección, tanto del fluido interior ( $h_i$ ), como del fluido exterior ( $h_o$ ).



El presente trabajo se realiza los cálculos de balance térmico al condensador ya sea tipo vertical o horizontal, en estos equipos por interior de los tubos, fluye el agua de enfriamiento y el vapor de agua que se encuentra por la parte exterior es decir en la coraza, produciéndose la condensación del vapor de agua en la superficie exterior de los tubos, primero se enfría y luego se condensa el vapor. .

Por lo que nos planteamos como problema de investigación:

**¿Cómo se diseñará un condensador multitubular de vapor de agua de una planta química?**

Para la realización este trabajo se ha desarrollado una metodología para la realización de los cálculos de diseño del condensador donde los resultados obtenidos, como la capacidad de energía calorífica de vapor, el rendimiento, la caída de presión, tienen relación con la característica reportados por los fabricantes.


Teniendo estas consideraciones en este proyecto de investigación se diseñara un condensador de haz de tubos, de coraza y tubos, ya sea en forma horizontal y vertical.

### **3.1.2 OBJETIVO**

#### **3.1.2.1 Objetivo General**

Realizar el diseño de un condensador multitubular de vapor de agua

#### **3.1.2.2 Objetivos específicos**

 Analizar el proceso de condensación



Desarrollar las ecuaciones de diseño del condensador multitubular horizontal y vertical

Calcular y analizar las variables de diseño del condensador multitubular de vapor de agua, tales como: los coeficientes de transferencia de calor por convección: interior, exterior y total, el área de transferencia de calor, número de tubos, calor o energía intercambiado, caída de presión, rendimiento y seleccionar el condensador de mejor característica.



## **3.2 Importancia y la Justificación de la investigación**

### **3.2.1 Importancia**

La importancia del trabajo de investigación radica en los siguientes aspectos:

- Proporcionar la información técnica requerida para el diseño de condensador a nivel industrial.
- El diseño del condensador permitirá aprovechar la masa vapor de agua utilizado en los equipos de una planta química, para esto se recolecta el vapor utilizado y luego condensarlo, mediante enfriamiento y condensación y posteriormente reutilizarlo nuevamente, esta agua se puede mezclar con el agua líquida que se alimenta por primera vez al generador de vapor (agua que se le ha realizado previamente un tratamiento químico), esta operación permite un ahorro económico a la empresa industrial.

#### **3.2.1.1 Alcance**

El condensador a diseñar es de tubos y coraza, con tubos colocados en forma vertical o de forma horizontal.

Con el desarrollo de este trabajo de investigación, Diseño de un condensador multitubular de vapor de agua, servirá como complemento, de los conocimientos adquiridos en el curso de Balance de Materia y Energía, de Transferencia de calor en los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao, así como también a otros estudiantes afines de ingeniería, e inclusive a profesionales interesados en el diseño de un condensador-.



### **3.2.1.2 Tipo de Investigación**

El proyecto de investigación: Diseño de un condensador multitubular de vapor de agua, es una investigación aplicada, descriptiva.

### **3.2.1.3 Código UNESCO**

De acuerdo a la codificación de la UNESCO, el proyecto de investigación, "Diseño de un condensador multitubular de vapor de agua", es el siguiente:

3310        TECNOLOGIA INDUSTRIAL  
3310.01    EQUIPO INDUSTRIAL.

### **3.2.2 JUSTIFICACIÓN**

El diseño adecuado del condensador, radica en que el vapor de agua generado y utilizado en las plantas de procesos químicos o para la generación de energía eléctrica, tiene un contenido energético alto, que se puede utilizar para intercambiar calor con otro fluido

El vapor de agua al condensarse, está libre de contaminantes, y además es blanda por lo que puede reutilizar.



## IV. MARCO TEÓRICO

### 4.1 ANTECEDENTES TÉCNICOS Y DATOS VINCULADOS A LA INVESTIGACIÓN

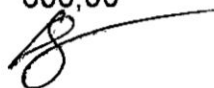
En la industria química así como en la generación eléctrica, utiliza en gran proporción el vapor de agua. Este vapor una vez utilizado es enfriado y condensado, el cual posee mejores características y propiedades que el agua líquida no tratada. Esto se consigue en los equipos térmicos denominados condensadores, que tienen como función recuperar la materia prima (caso del agua,) como otros vapores utilizados en la industria de procesos químicos. Es por eso que se realiza este proyecto de investigación. Respecto a la información consultada se menciona:

Orona Salas Fausto J, (México 2009), "Evaluación térmica del condensador principal de una unidad de 160 MW de la central termoeléctrica, Tesis. En esta evaluación térmica se aplica una metodología basada en la norma para condensadores de vapor en superficie, a fin de elegir o evaluar el comportamiento del condensador. El estudio dio como resultado:

- Coeficiente de transferencia de calor,  $U = 485,54 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- Área de transferencia del condensador,  $A = 4478,66 \text{ m}^2$
- Flujo de agua de enfriamiento,  $Q_v = 6,77 \text{ m}^3/\text{s}$

Entre otros cálculos realizados, son bastantes cercanos a lo reportado en la placa del fabricante.

Aguirre Chinchullo Carlota, (Guatemala 2010), Diseño de un condensador barométrico tipo bandeja perforada sencilla para un sistema de evaporación. En este trabajo realizó el diseño integral de un equipo de condensación en el sistema de evaporación para un ingenio azucarero, .Para esto realizo estudio de campo obteniendo los planos necesarios para diseñar el condensador barométrico, de los cálculos obtenidos, determino una eficiencia teórica de,  $\eta = 85,98\%$ . Un costo de inversión inicial de Q 450 000,00



Turiel Casado Vanesa, Madrid 2011, "diseño y montaje de un condensador de vapor Down Flow para una central térmica de ciclo combinado".

Para el diseño de este condensador parte de condiciones iniciales requeridas, realizando los cálculos necesarios para obtener las dimensiones del condensador Para esto realiza el siguiente procedimiento:

- Balance térmico y de masa a partir de datos especificados,
- Comprobación y análisis de los resultados obtenidos del balance
- Selección del material de los tubos
- Diseño preliminar y final del condensador.

Rules Martínez Pedro, España 2000, Condensadores, Departamento de mecánica de fluidos, Termotecnia y Física de la Escuela Universitario de Ingeniería Técnica Industrial Barcelona. En este texto da información del proceso de condensación, sobre condensadores, tipos fórmulas para determinar los coeficientes individuales de transferencia de calor,  $h_i$ ,  $h_o$ .



## 4.2 MARCO TEÓRICO

En este proyecto, diseño de un condensador multitubular de vapor de agua de forma horizontal y vertical, para lo cual se desarrollara los siguientes fundamentos:

### 4.2.1 CONDENSACIÓN

Es el cambio de estado de la fase vapor a la fase líquido del vapor de agua, la condensación del vapor se realiza al estar en contacto con una superficie fría, por ejemplo cuando por la parte exterior de los tubos fluye en vapor de agua y el agua de refrigeración por el interior del tubo. (Çengel Yunus A., Transferencia de calor, 2004).

La condensación puede realizarse:

- **En forma de gotas**, el vapor se condensa en forma de pequeñas gotas sobre la superficie fría, se origina el desprendimiento de estas y son ocupadas por nuevas gotas formadas
- **En forma de película**, el vapor que se condensa forma una película que cubre la superficie fría, y prosigue la formación de nuevas películas continuamente

La condensación por gotas es mejor que la de película.

### 4.2.2 Condensación en el exterior de un tubo horizontal

Si se tiene un tubo horizontal a temperatura constante con un fluido frigorífico que condensa en régimen laminar sobre la superficie exterior del tubo. El coeficiente de condensación se puede obtener a partir de la siguiente ecuación para superficies horizontales tubulares:



$$h = 0.725 \left[ \frac{k_1^3 \rho_l (\rho_l - \rho_v) g h_{fg}}{\mu_l D_e (T_s - T_w)} \right]^{1/4} \quad (4,1)$$

Dónde:

$h$  = es el coeficiente de condensación, (W/m<sup>2</sup>.K)

$k_1$  = Conductividad térmica del líquido, (W/m.K)

$\rho_l$  = densidad del líquido, (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_v$  = densidad del vapor, (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = aceleración de gravedad, (m/s<sup>2</sup>)

$h_{fg}$  = calor latente de vaporización, (j/kg)

$\mu_l$  = viscosidad del líquido, (kg/m.s)

$D_e$  = diámetro exterior del tubo, (m)

$T_s$  = temperatura de saturación, (K)


$T_w$  = temperatura de la superficie exterior del tubo, (K)

Las propiedades del condensado,  $\mu_l$ ,  $\rho_l$ ,  $\rho_v$ , deben calcularse a la temperatura media de la película,  $(T_s - T_w)/2$ . Pedro Rules, Condensadores, Grupo editorial Ceac, 2000 Barcelona, España

La ecuación anterior, puede expresarse en función del Número de Reynolds, tomado para la película del condensado, tal como se muestra en la siguiente relación:

$$\frac{h}{k_l} \left( \frac{\mu_l^2}{\rho_l (\rho_l - \rho_v) g} \right)^{1/3} = 1.51 (\text{Re}_\Gamma)^{1/3} \quad (4.2)$$

Siendo el número de Reynolds:



$$\text{Re}_\Gamma = \frac{4\Gamma}{\mu_l} \quad (4.3)$$

Dónde:  $\Gamma =$  es el caudal másico de condensado por longitud de tubo, (kg/m.s)

El coeficiente de condensación no es constante en todo el tubo, en la parte superior del tubo el espesor de película de condensado es mínima por tanto el coeficiente de condensación es máximo, cosa que no ocurre en la parte opuesta del tubo, el zona inferior el condensado se acumula y empieza a drenar, por lo el espesor de condensado tiende a infinito, por lo el coeficiente de condensación tiende a (0), con las ecuaciones (4.1) y (4.2), permite calcular el coeficiente de condensación medio.

#### 4.2.3 Condensación en el exterior de tubos verticales

Si la velocidad del flujo de vapor es pequeña, se considera que el condensado drena en régimen laminar, para determinar el coeficiente de condensación para superficies verticales, se realiza mediante la siguiente expresión:

$$h = 0.943 \left[ \frac{k_l^3 \rho_l (\rho_l - \rho_v) g h_{fg}}{\mu_l L (T_s - T_w)} \right]^{1/4} \quad (4.4)$$

Donde:  $L =$  longitud del tubo, (m)

La ecuación (4,4), puede expresarse en función del número de Reynolds

$$\frac{h}{k_l} \left( \frac{\mu_l^2}{\rho_l (\rho_l - \rho_v) g} \right)^{1/3} = 1.47 \text{Re}_{\text{inf}}^{-1/3} \quad (4.5)$$



Siendo el número de Reynolds:

$$Re_{inf} = \frac{4\Gamma_{inf}}{\mu_l} \quad (4.6)$$

Dónde:

$\Gamma_{inf}$  = es la relación caudal másico de condensado/ perímetro exterior del tubo, calculado en la zona inferior del tubo. Con la ecuación (4.4) se utiliza para Numero de Reynolds,  $Re < 30$ . Pero para  $30 < Re < 1300$ , donde en la superficie del condensado se forma ondulaciones, se calcula mediante la siguiente ecuación.

*Pedro Rules Martínez, España, (2000), "Condensadores",*


$$\frac{h}{k_l} \left( \frac{\mu_l^2}{\rho_l(\rho_l - \rho_v)g} \right)^{\frac{1}{3}} = \frac{Re_{inf}}{1.08 Re_{inf}^{1.22} - 5.2} \quad (4.7)$$

Para  $Re_{inf} > 1.600$

$$\frac{h}{k_l} \left( \frac{\mu_l^2}{\rho_l(\rho_l - \rho_v)g} \right)^{\frac{1}{3}} = \frac{Re_{inf}}{8750 + 58 Pr^{-0.5} (Re_{inf}^{0.75} - 253)} \quad (4.8)$$

### 4.3 Aumento de la transferencia de calor en la condensación

Cuando un tubo horizontal con aletas entra en contacto con un fluido líquido, este pasa a llenar los espacios entre aletas en toda la superficie exterior de los tubos. De los modelos que permitan predecir el coeficiente de condensación en tubos con aletas para el diseño de condensadores es el propuesto por: Beatty Katz (19)



$$h = 0.689 \left[ \frac{k_i^3 \rho_i^2 g h_{fg}}{\mu_i D_e (T_s - T_w)} \right]^{1/4}$$

. Donde :=  $D_e$  diámetro equivalente (m), cuyo valor se determina mediante la siguiente relación (4.9)

$$\left( \frac{1}{D_e} \right) = 1.30 \eta \frac{A_{ac}}{A_{ef}} L_{mc}^{-1/4} + \frac{A_{ae}}{A_{ef}} D_e^{-1/4} + \frac{A_{ae}}{A_{ef}} D_{bs}^{-1/4}$$

(4.10)

Dónde:

- $\eta$  = eficiencia de la aleta
- $A_{ac}$  = superficie de las caras de las aleta, ( m<sup>2</sup> )
- $A_{ae}$  = superficie de los extremos de las aletas, (m<sup>2</sup>)
- $A_{ad}$  = superficie de tubo desnudo, (m<sup>2</sup>)
- $D_{bs}$  = diámetro del tubo en base de la aleta, (m)
- $D_e$  = diámetro exterior del tubo, (m)
- $L_{mc}$  = longitud media del condensador,(m)
- $A_{ef}$  = area eficaz,(m<sup>2</sup>)

## 4.4 CONDENSADORES

Son equipos en donde se realiza la condensación del vapor, en estos equipos se produce el cambio de fase, donde el fluido en donde el vapor de agua pasa a estado líquido, al producirse un intercambio de transferencia de calor con el fluido frío que se encuentra a una temperatura baja.

### 4.4.1 TIPOS DE CONDENSADORES

Existen diversas formas de clasificar los condensadores, atendiendo a varios aspectos, tal como:

- Su configuración
- La función que realiza
- De acuerdo al flujo de los fluido.



Una clasificación de los condensadores utilizados en la refrigeración o en acondicionamiento de aire, se tienen:

- Condensadores multitubulares, vertical o horizontal
- Condensadores de doble tubos
- Condensadores enfriados por aire.

#### **a. CONDENSADOR MULTITUBULAR**

Estos condensadores son similares a los intercambiadores de calor de tubos y coraza. Son utilizados en sistemas de refrigeración, en la industria química, En estos condensadores generalmente el fluido caliente o vapor fluye por el lado de la coraza y fluido frío o refrigerante por el interior de los tubos. En ciertos casos se puede tomar en forma inversa a lo señalado, pero debido si el fluido presenta mayor suciedad, o es más corrosivo, o que tenga alta presión debe fluir por los tubos.

Se tiene condensadores multitubulares horizontales y verticales, En estos tipos de condensadores, el condensado no drena correctamente, causando una disminución del coeficiente de condensación. (pag.19, 4)

#### **b. CONDENSADORES DE DOBLE TUBOS.**

Estos condensadores están constituidos por dos tubos concéntricos, en estos condensadores el fluido frío fluye por el interior de los tubos y el vapor por la parte anular, estos pueden fluir en la misma dirección o en corriente opuesta, el intercambio de calor de estos condensadores es menor que los multitubulares, son de fácil limpieza Estos condensadores requieren de un recipiente para la recolección del fluido condensado. Presentan un coeficiente de transferencia de calor alto.



### c. CONDENSADORES DE AIRE

En estos condensadores se utiliza al aire como fluido frío, el cual es bajo su costo económico, pero en lo que respecta al aspecto técnico el aire presenta grandes inconvenientes, por presentar un calor específico y un coeficiente de transferencia de calor, bastante bajo por lo que se requiere una gran superficie de transferencia de calor y gran volumen de este fluido. Pueden ocupar un espacio pequeño, poco peso, y generalmente se utilizan en sistemas frigoríficos domésticos.

En estos tipos de condensadores a diseñar se debe determinar:

- Los coeficientes de transferencia de calor total ( $U$ ), de película por convección individuales, ( $h_i$ ), interior y ( $h_o$ ) exterior.
- Área de transmisión de calor
- Número y arreglo de los tubos.
- Factor de suciedad de los tubos
- Caída de presión tanto en la coraza y en los tubos
- Cantidad de calor transferido
- Rendimiento del condensador.



## V. MATERIALES Y METODOS

### 5.1 Materiales

#### a. Manómetros Bourbon

Estos se instalan en el condensador, a la entrada del vapor de agua, y en la salida (agua condensada), con una precisión de  $0.1 \text{ kgf/cm}^2$ .

#### b. Termocuplas

Las termocuplas, tipo J, colocados en la entrada y salidas de los fluidos, (vapor de agua y agua de enfriamiento)

#### c. Cronometro

Los cronómetros deben tener una precisión 0.1segundos.

#### d. Flujo metro Ultrasónico,

**Puede ser del tipo Portaflow 300, o de otra marca**

#### e. Los medidores de nivel (rotámetros)

Estos son colocados para medir el nivel a agua en el condensador, su determinación se puede realizar por métodos matemáticos de integración.



f. **Cinta métrica**, precisión 1mm.

g. **Pie de rey**, precisión 0.01mm.

h. **Vatímetro**, precisión 0.1 kW.

## **5.2 Población y muestra de investigación**

La investigación o línea de trabajo es el vapor de agua la Empresa Química del Pacífico, QUIMPAC, en su complejo Químico – Papelero que se encuentra en la Ciudad de Paromonga, específicamente la Planta de fabricación de papel higiénico,

### **5.2.1 Determinación de la Muestra de la Investigación.-**

La muestra de la investigación es el vapor de agua que se requiere en la planta para la fabricación de papel, (Producción de papel higiénico).

## **5.3 Técnicas, procedimiento e instrumentos de recolección de datos**

Las técnicas del procedimiento lógico que se utilizara para la contratación de la hipótesis planteada será:

- Método o modelo para determinar tipo de condensador de vapor de agua.
- Métodos y procedimiento de diseño de condensadores multitubulares de vapor de agua.
- Método comparativo y descriptivo para la determinación de los parámetros del condensador multitubular horizontal y vertical.
- Método de evaluación de condensadores multitubular seleccionado

Los datos que se tomaran son:

Producción de vapor de agua de la caldera, (kg de vapor/h),  
Temperatura y presión del vapor de agua.



Cantidad de vapor que se utiliza en el secado de la hoja de papel en máquina para la producción de papel higiénico.

Determinación de la cantidad de vapor, temperatura, presión de la líneas de retorno del vapor al equipo de condensación.

#### **5.4 Técnicas y análisis estadístico de datos**

Se utilizaran las técnicas estadísticas descriptiva, permitirá presentar los datos cuantitativos de manera resumida las características, (promedio, en el caso de temperatura, presión, cantidad de vapor, cantidad de calor.

Con el fin de calcular las variables de diseño se realizara por medio de iteraciones sucesivas.

#### **5.5 Métodos de la Investigación**

Descriptivo

Deductivo

Inductivo

Analítico

- En general para el diseño del condensador de vapor se debe elegir la configuración a diseñar, el tipo de superficie de condensación del vapor, en este caso el tipo de película ya sea vertical u horizontal.
- Las dimensiones características de la superficie y para una caída de presión baja se requiere una sección transversal de flujo de gran área, aunque también es importante seleccionar de manera adecuada la configuración y la superficie de transferencia de calor.



La metodología a seguir en el diseño del condensador multitubular de vapor de agua, se propone los siguientes pasos:

1. Seleccionar una configuración, seleccionar un tipo de superficie de transferencia de calor.
2. Seleccionar las dimensiones de la superficie.
3. Calcular las dimensiones resultantes de la unidad
4. Especificar la eficacia de transferencia de calor requerida.
5. Especificar la caída de presión permisible de una corriente o de ambas.
6. Evaluar el diseño del condensador.

El desarrollo del trabajo de investigación comprende las siguientes etapas:

- A. Selección de la Información y datos experimentales
- B. Desarrollo del Fundamento teórico
- C. Ecuaciones para el diseño del condensador
- D. Cálculos las variables de diseño para el condensador
- E. Resultados y Discusión
- F. Elaboración y presentación del informe final

#### **5.5.1 Método de diseño de un condensador multitubular de vapor de agua**

Para la realización del diseño de un condensador de vapor de agua, primeramente se determinaran los datos principales mediante tablas gráficas. Luego para el cálculo de las variables serán hallados en forma iterativa. A continuación se plantea una metodología para la realización de los cálculos respectivos.





## Determinación de datos

Se ha de determinar las siguientes propiedades del agua de enfriamiento (agua de río)

- Temperatura de entrada,  $T_{ent} = \text{°C}$
- Temperatura de salida,  $T_{sal} = \text{°C}$
- Calor específico,  $C_{p_{\text{agua de río}}} = \text{Kcal/kg} \cdot \text{°C}$
- Velocidad,  $V_{\text{agua de río}} = \text{m/s}$
- Viscosidad,  $\nu_{\text{agua de río}} = \text{m}^2/\text{s}$
- Densidad,  $\rho_{\text{agua de río}} = \text{kg/m}^3$ .
- 

## Propiedades del Vapor de agua

- Flujo másico de vapor de agua,  $m_{\text{vapor}} = \text{kg/s}$
- Temperatura de saturación del vapor,  $T_{\text{sat}} = \text{°C}$
- Entalpía del vapor de mezcla,  $h_{fg} = \text{Kj/kg}$
- Entalpía de vapor saturado,  $h_f = \text{Kj/kg}$
- Velocidad del vapor,  $v_{\text{vapor}} = \text{m/s}$
- Viscosidad,  $\nu_{\text{vapor}} = \text{m}^2/\text{s}$
- Densidad del vapor,  $\rho_{\text{vapor}} = \text{kg/m}^3$

## Calculo del flujo másico del agua de río, $m_{\text{agua río}} = \text{kg/s}$

Para la determinación del flujo másico del agua de agua, se realiza mediante el balance de energía.



$$Q_{cedido\ vapor} = Q_{absorbido\ agua\ rio} \quad (5.1).$$

$$\Delta h_{vapor} \times m_{vapor} = m_{agua} \times C p_{agua} \times \Delta T_{agua\ rio}$$

Mediante la ecuación (5.1), se obtiene el flujo másico de agua de fría:

$$m_{agua} = kg / s$$

**Calculo del calor rechazado en el condensador, (Q = Kj/s)**

$$Q = m_{vapor} \times (h_{fg} - h_f) \quad (5.2)$$

**Determinación de las dimensiones de los tubos.**

Las dimensiones de los tubos se toma de la norma ASTM B111, donde se encuentra la tabla de materiales utilizados en condensadores de superficie e intercambiadores de calor, donde se escoge el Aluminio - bronce, en donde tiene las siguientes características. En el anexo N° 6 se presenta la tabla N° 10, datos para las dimensiones de tubos para condensadores e intercambiadores de calor. Donald Kern, Procesos con Transferencia de Calor, pagina 948.

**Calculo del coeficiente pelicular por convección interno, (hi = W/m<sup>2</sup>. pc)**

El coeficiente de convección pelicular interno, se ha de proceder de la forma siguiente:

a. Calculo del N° Reynolds, (Re)

$$Re = \frac{D_{int} \times v_{aguario}}{\nu_{aguario}} \quad (5.3)$$

Dónde:

$D_{ina}$  = diámetro interior, (m)

$V_{agua\ rio}$  = velocidad agua, (m/s)

$\nu_{agua\ rio}$  = Viscosidad cinemática, (m<sup>2</sup>/s)



**b. Calculo del factor de transferencia de calor para los tubos,**

**$J_{h_{tubo}}$**

El factor de transferencia de calor para tubos,  $J_{h_{tubos}}$ , se halla en la fig. N° 24, página 939, del libro Donald Q. Kern, Procesos de transferencia de calor.

Interceptando en la curva los parámetros: N° Re (vs) L/D, se obtiene  $J_h$ , y luego despejar ( $h_i$ ), de la ecuación (5.4)

$$J_H = \frac{h_i D}{k} \times \left( \frac{c\mu}{k} \right)^{-1/3} \times \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0.14} \quad (5.4)$$

Dónde:

$K$  = Conductividad térmica, W/m.°C, del agua de río, tomada de la tabla N° 4, pág. 906, libro Donald Kern.

$\mu, \mu_w$  = viscosidad dinámica del agua de río, kg/m.s.

$c$  = calor específico, KJ/kg.°C, tomada de la fig. N° 2, pág. 909, libro Donald Kern.

$D$  = diámetro interno del tubo, m

**c. Calculo de la resistencia por convección interna de transferencia de calor,  $R_i = (m^2.s.^{\circ}C/W)$**

$$R_i = 1 / h_i \quad (5.5)$$

**d. Calculo de la resistencia por conducción,  $R_{cond.} = (m^2.s.^{\circ}C/W)$**

$$R_{cond.} = \frac{Ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)}{2\pi.e.k_m} \quad (5.6)$$

Dónde:

$r_e, r_i$  = radio externo e interno del tubo, m

$e$  = espesor del tubo, m

$k_m$  = conductividad térmica del material, W/m. °C



**Calculo del coeficiente pelicular por convección externa, ( $h_o = W/m^2 \cdot ^\circ C$ )**

**a. Calculo del N° Reynolds,**

$$N^\circ Re = \frac{V_{vapor} \times De}{\nu_{vapor}}$$

Dónde:

$V_{vapor}$  = velocidad del vapor, m/s

$De$  = diámetro externo del tubo, m

$\nu_{vapor}$  = viscosidad cinemática del vapor =  $m^2/s$

**b. El factor de transferencia de calor para la carcasa, ( $J_h$ ).**

Se halla en la fig. N° 28, página 943, del libro Donald Q. Kern, Procesos de transferencia de calor. Interceptando el número de Reynolds en la curva.

**c. Mediante la relación: de  $J_h$  se despeja ( $h_o$ )**

$$J_H = \frac{h_o D_e}{k_v} \times \left( \frac{c\mu}{k_v} \right)^{-1/3} \times \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0.14} \quad (5.7)$$

Dónde:

$De$  = diámetro externo del tubo, m

$K_v$  = conductividad térmica del vapor,  $W/m \cdot ^\circ C$

$C_p$  = calor específico del vapor.  $W/kg \cdot ^\circ C$

$\mu, \mu_w$  = viscosidad dinámica del vapor,  $kg/m \cdot h$

**d. Determinación de la resistencia térmica por convección externa,  $Re = m^2 \cdot s \cdot ^\circ C/W$**

$$Re = 1 / h_o$$

(5.8)



### Calculo de la diferencia media logarítmica de temperatura, ( $\Delta T_{ML} = ^\circ C$ )

Para el cálculo de la diferencia media logarítmica de temperatura para el condensador, utilizaremos la siguiente expresión

$$\Delta T_{ML} = \frac{TR}{Ln\left(\frac{ITD}{TTD}\right)} \quad (5.9)$$

Dónde:

$$TR = T_2 - T_1$$

$$ITD = T_s - T_1$$

$$TTD = T_s - T_2$$

TR = Incremento de la temperatura del agua de rio, en  $^\circ C$

ITD = Diferencia de temperatura inicial, es la diferencia entre la temperatura de saturación del vapor y la temperatura de entrada del agua de rio,  $^\circ C$

TTD = Diferencia de temperatura de salida, es la diferencia entre la temperatura de saturación del vapor y la temperatura de salida del agua de rio,  $^\circ C$

### Cálculos en el condensador limpio

a. Calculo del coeficiente total de transferencia de calor limpio.

( $U_{limpio}$ )

$$\frac{1}{U_{limpio}} = R_{conv.int} + R_{cond.} + R_{conv.ext} \quad (5.10)$$


Dónde:

$$U_{limpio} = W / m^2 \cdot ^\circ C$$

$$R_{(resistencia\ termica)} = h.m^2 \cdot ^\circ C / W$$

b. Determinación del área de transferencia de calor limpio, ( $Atc_{limpio} = m^2$ )

Para hallar el área, se realiza mediante la relación:


$$Atc_{limpio} = \frac{Q}{U_{limpio} \times \Delta T_{ML}} = m^2 \quad (5.11)$$

c. Cálculo del número de tubos para el condensador limpio, ( $Nt_{limpio}$ )

$$Nt_{limpio} = \frac{Atc_{limpio} \times N_{pasos}}{\pi \times D_{ext} \times L} \quad (5.12)$$

### Cálculos en el condensador sucio o de funcionamiento

a. Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor sucio.

( $U_{sucio}$ )

Para el diseño del condensador sucio, se deben estimar los factores de ensuciamiento,  $R_{ensuciamiento}$ , (Alan Chapman, Fundamental of Heat Transfer, 1974), cual se debe agregar a las otras resistencias térmicas, cuando se determina el coeficiente global de transferencia sucio, ( $U_{sucio}$ ). Este coeficiente global se halla mediante la siguiente relación:

$$\frac{1}{U_{limpio}} = R_{conv.int} + R_{cond.} + R_{conv.ext} + R_{ensuciamiento} \quad (5.13)$$

b. Determinación del área de transferencia de calor sucio,

( $Atc_{limpio} = m^2$ )

Para hallar el área,  $Atc_{sucio}$  se realiza mediante la relación:

$$Atc_{sucio} = \frac{Q}{U_{sucio} \times \Delta T_{ML}} = \pi e^2 \quad (5.14)$$

c. Cálculo del número de tubos para el condensador sucio,

( $Nt_{sucio}$ )

$$Nt_{sucio} = \frac{Atc_{sucio} \times N_{pasos}}{\pi \times D_{ext} \times L} \quad (5.15)$$



## VI. RESULTADOS

### 6,1 Condensador a diseñar

Se propone diseñar un condensador multitubular de vapor de agua, para un flujo de 5000 kg/h de vapor de agua saturado, el condensador operara a una presión de 10 bares. El vapor entrará al condensador como vapor saturado a la temperatura de 60 °C y la condensación será completa a la temperatura de 45 °C El peso molecular promedio del vapor es 18 g/gmol. La entalpía del vapor saturado es,  $h_g = 2608.8$  kJ/kg y del condensado,  $h_f = 188.44$  kJ/kg. Yunus Cengel., Termodinámica.

El agua de enfriamiento es agua líquida de rio, de peso molecular = 18 g/mol y está disponible a la temperatura de  $T_r = 30$  °C y puede calentarse en un rango máximo de 10 °C. Los estándares de la planta requieren que el condensador contenga tubos de 20 mm de diámetro, (3/4") o.d., 16,8 mm i.d., de 4,8 m (16 pies, BWG) longitud, los tubos son han de latón almirante, los tubos están dispuestos en forma triangular. Los vapores deben condensarse totalmente y no se requiere un sistema de su enfriamiento.

El condensador será de tubos y carcasa de forma horizontal, un paso por el casco y 4 pasos por los tubos, donde el vapor circula por el casco y el vapor se condensara en la superficie exterior de los tubos, por los tubos fluirá el agua de enfriamiento. Solamente se realizara el diseño térmico. Las propiedades físicas del vapor de agua serán tomadas a la temperatura promedio. .

### 6.2 Diseño del condensador, Cálculos

#### 6.2.1 Calculo del calor transferido desde el vapor, ( $Q = W$ ):



$$Q = m_v(kg/h) \times (h_g - h_f)(Kj/kg)$$

$$Q = \frac{5000kg/h}{3600s/h} \times (2608.8 - 188.44) Kj/kg = 3361,61Kw$$

### 6.2.2 Determinación del flujo másico agua de enfriamiento, (mf)

$$m_f = \frac{Q (Kj/s)}{C_p(kj/kg \cdot ^\circ C) \times (T_{fs} - T_{fe})^\circ C} = \frac{3361,61}{4,180 \times (40 - 30)}$$

$$m_f = 80,42 kg/s$$

### 6.2.3 Calculo del coeficiente total de transferencia de calor, (U)

En la determinación del coeficiente de transferencia de calor primeramente se asumirá un valor, y luego por el método de ensayo y error (método iterativo), se calculara el valor verdadero, Para este caso se asumirá el valor,  $U = 1500 W/m^2 \cdot ^\circ C$

### 6.2.4 Calculo de la Diferencia media de temperatura, $\Delta T_T$

Siendo la condensación del vapor un valor pequeño y además el cambio en la temperatura de saturación debe ser lineal, se puede usarse la diferencia de temperatura media logarítmica y el factor de corrección de temperaturas, para determinar la  $\Delta T_T$  de temperaturas. Alan Chaman, Fundamento de Transferencia de Calor.





$$\Delta T_T = \Delta T_{ML} \times F_T$$

Donde:

$\Delta T_{ML}$  = diferencia media logarit. de temperatura

$F_T$  = factor de correccion de temperatura

$$\Delta T_{ML} = \frac{(T_{c1} - T_{f2}) - (T_{c2} - T_{f1})}{\text{Ln} \frac{(T_{c1} - T_{f2})}{(T_{c2} - T_{f1})}} = \frac{(60 - 40) - (45 - 30)}{\text{Ln} \frac{(60 - 40)}{(45 - 30)}} =$$

$$\Delta T_{ML} = 17,4^\circ C$$

El factor de corrección de temperaturas, ( $F_t$ ) se determina gráficamente en función de la razón de efectividad ( $P$ ) y la razón de capacidad, ( $R$ ) en la figura N° 10.13.pag 597, Alan Chapman, Fundamentals of Heat Transfer, 1987.

$$P = \frac{T_{f2} - T_{f1}}{T_{c1} - T_{f1}} = \frac{40 - 30}{60 - 30} = 0,33$$

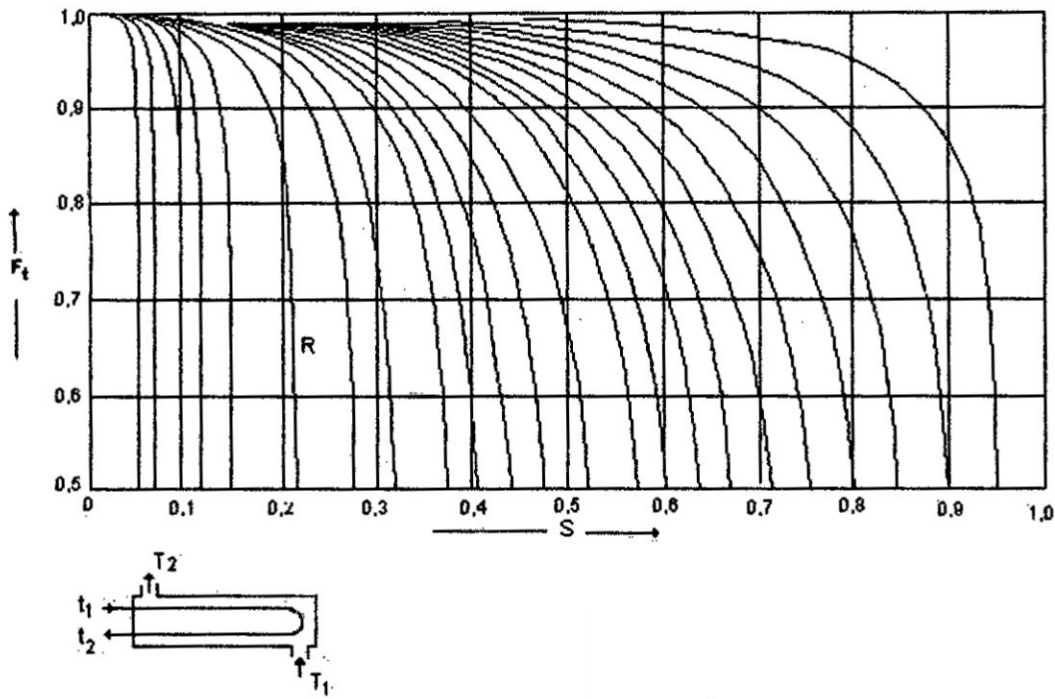
$$R = \frac{T_{c1} - T_{c2}}{T_{f2} - T_{f1}} = \frac{60 - 45}{40 - 30} = 1,5$$

$$F_T = 0,92$$



Figura N° 1

Factor de corrección de temperatura: 1 paso en el lado del casco y  
2 o más pasos en el lado de los tubos



Fuente: Alan J. Chapman, Fundamentals of Heat Transfer.

$$\text{Por lo tanto: } \Delta T_T = \Delta T_{ML} \times F_T$$
$$\Delta T_T = 17,4 \times 0,92 = 16 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### 6.2.5 Cálculo del Área de transferencia de calor (supuesta)

$$Q = U \times A \times \Delta T_{ML} \times F_T \rightarrow A = \frac{Q}{U \times \Delta T_{ML} \times F_T}$$
$$A = \frac{3361,61 \text{ Kw}}{1,500 \times 16} = 140,067 \text{ m}^2$$

### 6.2.6 Características de los tubos, de ¾"OD

$$\text{Área superficial de un tubo} = 20 \times 10^{-3} \pi \times 4,88 = 0,305 \text{ m}^2$$

### 6.2.7 Número de tubos

$$N_t = 140,067 / 0.305 = 459.25 \text{ asumiendo} = 460 \text{ tubos}$$

### 6.2.8 Condensador supuesto

Condensador de carcasa y tubos, con  $N_t = 460$  tubos

Se usara arreglo en línea (cuadrado), con  $P_t = 1,25 \times 20 \text{ mm} = 25 \text{ mm}$

### 6.2.9 Calculo del diámetro del haz de tubos, $D_b$

Generalmente el diámetro del haz de tubos depende del número de tubos, y de la distribución. Una forma de calcular el diámetro del haz de tubos ( $D_b$ ), se puede obtener con la ecuación (5.3b), la cual es una ecuación empírica basada en distribuciones estándar de tubos. Las constantes para usarlas en esta ecuación, para arreglos triangular y cuadrado están dadas en la tabla N° 5.3.

$$D_b = OD \left( \frac{N_t}{kl} \right)^{1/\alpha} \quad (5.3b)$$
$$D_b = 20 \times \left( \frac{460}{0.158} \right)^{1/2,263} = 678.86 \rightarrow 679 \text{ mm}$$

Dónde:



$N_t$  = número de tubos

Db = diámetro del haz de tubos  
 OD = diámetro exterior de los tubos, mm.  
 KI y  $\alpha$ , se determinan en la tabla 5.3

**TABLA N° 5.1**

Constantes para uso en ecuación N° 5.3

Arreglo triangular,  $P_t = 1,25 OD$

No. De pasos	1	2	4	6	8
$K_I$	0,319	0,249	0,175	0,0743	0,0365
$\alpha$	2,142	2,207	2,285	2,499	2,675

Arreglo cuadrado,  $P_t = 1,25 OD$

No. De pasos	1	2	4	6	8
$K_I$	0,215	0,156	0,158	0,0402	0,0331
$\alpha$	2,207	2,291	2,263	2,617	2,643

Fuente: Luis Moncada Albites, Diseño de Plantas de procesos Químicos

### 6.2.10 Numero de tubos en la fila central, (Nr)

$$Nr = \frac{Db}{P_t} = \frac{679}{25} = 27 - 16 \rightarrow 27$$

### 6.2.11 Calculo del coeficiente de película de transferencia de transferencia de calor por convección, en el lado del tubo interior, ( $h_i = W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

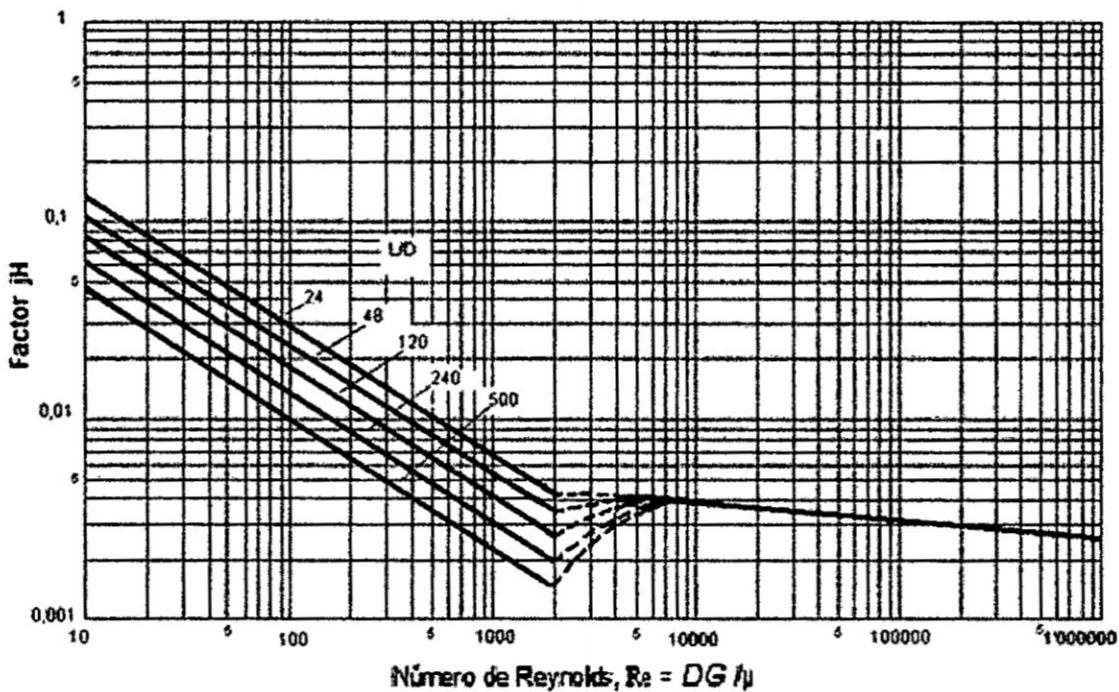


- a. Para el fluido que circula por el tubo interior, el coeficiente de película ( $h_i$ ), ha sido estudiado por Sieder y Tate, y está representado en la Fig. 5.16, en la cual se determina el coeficiente de película a partir del factor  $J_H$  de Colburn el mismo que es función del número de Reynolds  $Re$  para el fluido y  $L/D$ .

$$h = J_H \times \left( \frac{k}{D_i} \right) \times Re \times \left( \frac{C_p \times \mu}{k} \right)^{1/3} \times \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

Figura N° 2

Grafica para determinar el coeficiente de película para los tubos



Fuente: Donald Q. Kern, Procesos de Transferencia de Calor

Este coeficiente pelicular interior realizado mediante la Fig. 5.16, también puede realizarse con la ecuación siguiente que ha sido adaptada a partir de datos dados por Eagle y Ferguson (1930).

$$hi = 4200 \times (1,35 + 0,02T) \times \left( \frac{v_t^{0,8}}{d_i^{0,2}} \right) \quad (5.13)$$

Dónde:

T = temperatura media del agua, ° C.

$v_t$  = velocidad del agua, m/s.

$d_i$  = diámetro del tubo interior

- b. Determinación del área de sección transversal del tubo, ( $A_t = m^2$ )

$$A_t = \frac{\pi}{4} \times (16,8 \times 10^{-3})^2 \times \left( \frac{460}{4} \right) = 0.02549$$

- c. Calculo de la velocidad del agua en el tubo. ( $v_t = m/s$ )

$$v_t = \frac{m}{\rho \times A_t} = \frac{80.42}{993 \times 0.02549} = 3.177 m/s$$

- d. Densidad del agua a 35 °C,

$$\rho = 993 \text{ kg/m}^3$$

- e. Reemplazando valores en la ecuación. 5.13, se tiene ,  $hi$

f.

$$hi = 4200 \times (1,35 + 0,02 \times 35) \times \left( \frac{3.177^{0,8}}{16,8_i^{0,2}} \right)$$

$$hi = 12345.81 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

### 6.2.12 Calculo del coeficiente de transferencia de calor por convección, en el lado de la carcasa, fluido caliente exterior, ( $hc = W/m^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )

- a. Para el cálculo del coeficiente promedio en un haz de tubos se puede utilizar el método de Donald Kern, mediante la ecuación

$$hc = 0.95 \times k_L \times \left( \frac{\rho_L \times (\rho_L - \rho_v) \times g}{\mu_L \times \Gamma_h} \right)^{1/3} \times Nr^{-1/6} \quad (5.47).$$



- b. Para el uso de la ecuación se debe determinar:  $T_w$ , las propiedades del condensado, tal como procedemos a continuación
- c. Determinación de la Temperatura de la pared del tubo, ( $T_w = ^\circ C$ ), el fluido caliente, que fluye por el exterior de los tubos, mediante la (ecuación:

$$T_w = t + \frac{h_o}{h_i \left( \frac{A_i}{A_o} \right) + h_o} \times (T - t) \quad (5.56)$$

- d. Calculo de la temperatura media del fluido caliente, ( $T_m = ^\circ C$ ), y temperatura media del fluido frio. ( $t_m = ^\circ C$ )

$$T_m = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{60 + 45}{2} = 52,5 \text{ } ^\circ C$$

$$t_m = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{40 + 30}{2} = 35 \text{ } ^\circ C$$

- e. Asumiendo un coeficiente de condensación,  $U_c = 1500 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ C$
- f. Para una relación de áreas en función de los diámetros, se tiene:

$$\frac{A_i}{A_o} = \frac{(D_i)^2}{(D_o)^2} = \frac{(16,8)^2}{(20)^2} = 0.7056$$

- g. Reemplazando en la ecuación N° 5,56, para determinar la Temperatura de la pared del tubo, ( $T_w$ )

$$T_w = 35 + \frac{1500}{12346.81 \times \left( \frac{(16,8)^2}{(20)^2} \right) + 1500} \times (52.5 - 35) =$$

$$T_w = 37.57^\circ C$$

- h. Calculo de la temperatura media del condensado, ( $t_f = ^\circ C$ )

$$t_f = \frac{T + t}{2} = \frac{52,5 + 35,441}{2} = 43,97 \text{ } ^\circ C \rightarrow 45^\circ C$$

A esta temperatura se determina las propiedades del condensado:



$$\mu_l = 0,596 \times 10^{-3} \text{ kg / m} \times \text{s}$$

$$\rho_l = 990,1 \text{ kg / m}^3$$

$$k_l = 0,637 \text{ kw / m} \times \text{K}$$

- i. Cálculo de la densidad del vapor a la temperatura media

$$\rho_l = \frac{PM \times T_o \times P_1}{V_o \times T_1 \times P_o} = \frac{18 \times 273 \times 10}{22,4 \times (273 + 52,5) \times 1} = 6,7396 \text{ kg / m}^3$$

- j. Carga de condensación lineal

$$\Gamma_b = \frac{W_c}{L \times N_t} = \frac{5000}{3600 \times 4,8 \times 460} = 6,29 \times 10^{-4} \text{ kg / s} \times \text{m}$$

- k. Cálculo de Nr, número de tubos en una fila vertical

$$Nr = \frac{2}{3} \times 27 = 18 \text{ tubos}$$

- i. Reemplazando los datos en la ecuación N° 5.47, ha es:

$$hc = 0,95 \times 0,637 \times \left( \frac{990,1 \times (990,1 - 6,7396) \times 9,8}{0,596 \times 74,28 \times 10^{-3} \times 6,29 \times 10^{-4}} \right)^{1/3} \times 18^{-1/6} =$$

$$hc = 2615,77 \text{ w / m}^2 \cdot \text{°C}$$

### 6.2.13 Cálculo del coeficiente total de transferencia de calor, U = W/m<sup>2</sup>.°C, mediante la ecuación N° 5.13

La resistencia a la incrustación, como los dos fluidos son limpios se puede usar el valor de Rd = (0,000167 W/m<sup>2</sup>.°C)<sup>-1</sup>, tanto interno como externo.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{2615,77} + 0,000167 + \frac{20 \times 10^{-3} \times \ln\left(\frac{20}{16,8}\right)}{2 \times 50} + \frac{20}{16,8} \times 0,000167 + \frac{20 \times 1}{16,8 \times 12345,81}$$

$$U = 1137,27 \text{ W / m}^2 \cdot \text{°C}$$

Como el coeficiente total de transferencia de calor es diferente al valor supuesto, de U = 1500 W/m<sup>2</sup>.°C, se tiene que hacer cálculos iterativos, hasta encontrar que la diferencia sea por lo menos casi igual.





### 6.3 Primera iteración.

#### 6.3.1 Coeficiente de transferencia de calor (U)

$$U = 1350 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

#### 6.3.2 Cálculo del área supuesta, $A = \text{m}^2$

$$Q = m_v (\text{kg/h}) \times (h_g - h_f) (\text{Kj/kg})$$

$$Q = U \times A \times \Delta T_{ML} \times F_T \rightarrow A = \frac{Q}{U \times \Delta T_{ML} \times F_T}$$

$$A = \frac{3361,61 \text{ Kw}}{1350 \times 16} = 155.63 \text{ m}^2$$

#### 6.3.3 Cálculo del número de tubos ( $N_t$ )

$$\text{Número de tubos, } N_t = 155.63 / 0.305 = 510.3$$

Asumiendo  $N_t = 510$  tubos

#### 6.3.4 Determinación del diámetro del haz de tubos, ( $Db$ )

$$Db = OD \left( \frac{N_t}{kl} \right)^{1/\alpha}$$

$$Db = 20 \times \left( \frac{510}{0.158} \right)^{1/2.263} = 710.5 \rightarrow 711 \text{ mm}$$

#### 6.3.5 Cálculo de tubos en la fila central

$$Nr = \frac{Db}{Pt} = \frac{711}{25} = 28.4$$

#### 6.3.6 Cálculo de la velocidad en el tubo ( $V_t$ )

$$v_t = \frac{v_i \times N_{ti}}{N_t} =$$

$$v_t = \frac{3.177 \times 510}{460} = 3.522$$

$$v_t = 3.522 \text{ m/s}$$

#### 6.3.7 Cálculo del coeficiente para agua puede realizarse mediante la Fig. N° 5.16, también puede realizarse mediante la ecuación siguiente que ha sido adaptada a partir de datos dados por Eagle y Ferguson

(1930).



$$hi = 4200 \times (1,35 + 0,02T) \times \left( \frac{v_t^{0,8}}{d_i^{0,2}} \right)$$

$$hi = 4200 \times (1,35 + 0,02 \times 35) \times \left( \frac{3,522^{0,8}}{16,8_i^{0,2}} \right)$$

$$hi = 9190.43 \text{ W/}$$

### 6.3.8 Carga de condensación lineal $\Gamma_b$

$$\Gamma_b = \frac{W_c}{L \times Nr} = \frac{5000}{3600 \times 4,8 \times 510} = 5.673 \times 10^{-4} \text{ kg / s} \times \text{m}$$

### 6.3.9 Calculo de Nr, numero de tubos en una fila vertical

$$Nr = \frac{2}{3} \times 28 = 18.66 \text{ tubos} \rightarrow 19 \text{ tubos}$$

### 6.3.10 Calculo de coeficiente de película de condensación ( $hc$ )

$$hc = 0.95 \times 0,637 \times \left( \frac{990,1 \times (990,1 - 6,7396) \times 9.8}{0,596 \times 74.28 \times 10^{-3} \times 5.673 \times 10^{-4}} \right)^{1/3} \times 19^{-1/6} =$$

$$hc = 2683.076 \text{ w / m}^2 \cdot \text{°C}$$

### 6.3.11 Determinación del coeficiente Total de transferencia de calor, ( $U = \text{W/m}^2 \cdot \text{°C}$ )

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{2683.076} + 0,000167 + \frac{20 \times 10^{-3} \times \ln\left(\frac{20}{16,8}\right)}{2 \times 50} + \frac{20}{16.8} \times 0,000167 + \frac{20 \times 1}{16,8 \times 9190.43} 11$$

$$U = 1106.79 \text{ W / m}^2 \cdot \text{°C}$$

El coeficiente total de transferencia de calor calculado es diferente al valor supuesto, de  $U = 1600 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$ , se tiene que hacer otro cálculo iterativos, hasta encontrar que la diferencia sea por lo menos casi igual.



## 6.4 Segunda Iteración

6.4.1 Repitiendo los cálculos usando un nuevo valor supuesto del valor del coeficiente total de transferencia de calor,  $U = 1250 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

6.4.2 Cálculo del área supuesta, ( $A = \text{m}^2$ )

$$Q = U \times A \times \Delta T_{ML} \times F_T \rightarrow A = \frac{Q}{U \times \Delta T_{ML} \times F_T}$$
$$A = \frac{3361,61 \text{ Kw}}{1250 \times 16} = 168 \text{ m}^2$$

6.4.3 Cálculo del número de tubos, ( $N_t$ )

$$\text{Número de tubos, } N_t = 168 / 0.305 = 550$$

Asumiendo = 550 tubos

6.4.4 Determinación del diámetro del haz de tubos, ( $Db$ )

$$Db = OD \left( \frac{N_t}{kl} \right)^{1/4}$$
$$Db = 20 \times \left( \frac{550}{0.158} \right)^{1/4,263} = 735.13 \rightarrow 735 \text{ m}$$

6.4.5 Cálculo de la velocidad en el tubo ( $V_t$ )

$$v_t = \frac{v_i \times N_{ti}}{N_t} =$$
$$v_t = \frac{3.177 \times 550}{460} = 3.679$$
$$v_t = 3.679 \text{ m/s}$$

6.4.6 Cálculo del coeficiente de película de transferencia de calor ( $hi$ )

Puede realizarse mediante la Fig. N° 5.16, también puede realizarse mediante la ecuación siguiente que ha sido adaptada a partir de datos dados por Eagle y Ferguson (1930).

$$hi = 4200 \times (1,35 + 0,02T) \times \left( \frac{v_t^{0,8}}{d_i^{0,2}} \right)$$

$$h_i = 4200 \times (1,35 + 0,02 \times 35) \times \left( \frac{3.679^{0,8}}{16,8_i^{0,2}} \right)$$

$$h_i = 13884.33 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

6.4.7 Numero de tubos en la fila central. (Nr)

$$Nr = \frac{Db}{Pt} = \frac{735}{25} = 29.4$$

6.4.8. Carga de condensación lineal  $\Gamma_b$

$$\Gamma_b = \frac{W_c}{L \times N_t} = \frac{5000}{3600 \times 4,8 \times 550} = 5.2609 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \times \text{m}$$

6.4.9. Calculo de Nr, numero de tubos en una fila vertical

$$Nr = \frac{2}{3} \times 29 = 19.33 \text{ tubos} \rightarrow 19 \text{ tubos}$$

6.4.10 Calculo de coeficiente de película de condensación (hc)

$$hc = 0.95 \times 0,637 \times \left( \frac{990,1 \times (990,1 - 6,7396) \times 9.8}{0,596 \times 74.28 \times 10^{-3} \times 5.2609 \times 10^{-4}} \right)^{1/3} \times 19^{-1/6} =$$

$$hc = 2746.32 \text{ w/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

6.4.11. Determinación del coeficiente Total de transferencia de calor, (U = W/m<sup>2</sup>·°C)

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{2481.38} + 0,000167 + \frac{20 \times 10^{-3} \times \ln\left(\frac{20}{16,8}\right)}{2 \times 50} + \frac{20}{16.8} \times 0,000167 + \frac{20 \times 1}{16,8 \times 11651.64}$$

$$U = 936.1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Como el coeficiente total de transferencia de calor es diferente al valor supuesto, de  $U = 1250 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , se tiene que hacer otros cálculos iterativos, hasta encontrar que la diferencia sea por lo menos casi igual.



## 6.5 Tercera iteración

6.5.1 Asumiendo un coeficiente total de transferencia de calor,  $U = 1090$   $W/m^2 \cdot ^\circ C$

6.5.2 Cálculo del área supuesta,  $A = m^2$

$$Q = U \times A \times \Delta T_{ML} \times F_T \rightarrow A = \frac{Q}{U \times \Delta T_{ML} \times F_T}$$

$$A = \frac{3361,61 Kw}{1090 \times 16} = 192,75 m^2$$

6.5.3 Número de tubos,  $N_t = 192,75 / 0,305 = 631,97$

Asumiendo = 632 tubos

6.5.4 Determinación del diámetro del haz de tubos, (Db)

$$Db = OD \left( \frac{N_t}{kl} \right)^{1/\alpha}$$

$$Db = 20 \times \left( \frac{632}{0,158} \right)^{1/2,263} = 781,17 \rightarrow 782 \text{ mm}$$

6.5.5 Cálculo de la velocidad en el tubo (vt)

$$vt = \frac{vi \times N_{ti}}{N_t} =$$

$$vt = \frac{3,177 \times 632}{460} = 4,364$$

$$vt = 4,364 \text{ m/s}$$

6.5.6 Cálculo del coeficiente para agua puede realizarse mediante la Fig. 5.16, también puede realizarse mediante la ecuación siguiente que ha sido adaptada a partir de datos dados por Eagle y Ferguson (1930).



$$h_i = 4200 \times (1,35 + 0,02 \times 35) \times \left( \frac{4.364^{0,8}}{16,8_i^{0,2}} \right)$$

$$h_i = 10239.18 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

### 6.6.7 Numero de tubos en la fila central. (Nr)

$$Nr = \frac{Db}{Pt} = \frac{782}{25} = 31.28$$

### 6.5.8 Carga de condensación lineal $\Gamma_b$

$$\Gamma_b = \frac{W_c}{L \times Nt} = \frac{5000}{3600 \times 4,8 \times 632} = 4.578 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \times m$$

### 6.5.9 Calculo de Nr, numero de tubos en una fila vertical

$$Nr = \frac{2}{3} \times 31 = 20.66 \text{ tubos} \rightarrow 21 \text{ tubos}$$

### 6.5.10 Calculo de coeficiente de película de condensación (hc)2

$$hc = 0.95 \times 0,637 \times \left( \frac{990,1 \times (990,1 - 6,7396) \times 9.8}{0,596 \times 74.28 \times 10^{-3} \times 4.578 \times 10^{-4}} \right)^{1/3} \times 21^{-1/6} =$$

$$hc = 2834.22 \text{ w/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

### 6.5.11 Determinación del coeficiente Total de transferencia de calor, (U = W/m2.°C)

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{2834.22} + 0,000167 + \frac{20 \times 10^{-3} \times \ln\left(\frac{20}{16,8}\right)}{2 \times 50} + \frac{20}{16.8} \times 0,000167 + \frac{20 \times 1}{16,8 \times 10239.18}$$

$$U = 1149.64 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$



Como el coeficiente total de transferencia de calor,  $U$  la variación no es mucha se puede considerar en valor de  $U = 1149.64 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , como el valor adecuado para el condensador diseñado.

## 6.6 Calculo de la Caída de presión en el condensador

**Se calculara la caída de presión por el método de fases simples y aplicar un factor de corrección por el cambio de velocidad del vapor en el condensador. Esta caída de presión que se determina usando la velocidad promedio del vapor ya sea en el lado de la carcasa o en los tubos y también en consideración a los perfiles de temperatura.**

### 6.6.1 Calculo de la caída de presión en la carcasa.

En el cálculo de la caída de presión para el lado de la carcasa, se considera que las juntas son de cabeza flotante, también se usara que la entradas entre pantallas es igual al diámetro de la carcasa.

En la determinación de la caída de presión se usara el método propuesto por Donald Kern, Libro de Procesos de Transferencia de Calor, Decima novena impresión, año 1965. Compañía Editorial Continental México.

Para determinar la caída de presión se procede de la siguiente forma:

- a. De la figura N° 8, se determina el espaciado (luz) es de = 95 mm.
- b. Diámetro de la carcasa =  $752 + 95 = 748 \text{ mm}$

Según TEMA, para intercambiadores de dimensiones, el área de sección transversal de flujo, (as) se determina mediante la ecuación:



$$a_s = \frac{D_s \times C \times B}{P_s}$$

5.38

**Dónde:**

$D_s$  = diametro del casco, mm

$P_t$  = distancia entre centro de tubos, mm

$C$  = distancia entre tubos: mm.

Referencia, Tabla N° 4, Apendice

$B$  = distancia entre , pantalla, mm

$$D_s = 752 + 90 = 814 \text{ mm}$$

$$a_s = \frac{D_s \times C \times B}{P_s} = \frac{(25 - 20)}{25} \times 814 \times 814 \times 10^{-6}$$

$$a_s = 0.1325 \text{ m}^2$$

**c. Calculo de la velocidad másica,  $G_s$**

$$G_s = \frac{mv}{as} = \frac{5000 \text{ kg} / \text{h} \times 1 \text{ h} / 3600 \text{ s}}{0.1325 \text{ m}^2} = 10.4821 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

**d. Determinación del diámetro equivalente.  $De = m$**

$$De = \frac{1.27}{do} \times (Pt^2 - 0.785 \times do^2) = \frac{1.27}{20} \times (25^2 - 0.785 \times 20^2)$$

$$De = 19.8 \text{ mm}$$

**e. La viscosidad del vapor de agua a la temperatura de 60 °C es: 0.01 cent poise. Tomado de la Fig. N° 15. Libro de Donald Kern, p. 930.**

**f. Hallando la velocidad másica,  $G_s = \text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$**





$$G_s = \frac{mv}{as} = \frac{5000 \text{ kg/h} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}}{0.1325 \text{ m}^2} = 10.4821 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

g. Hallando el Número de Reynolds.

$$Re_s = \frac{De \times G_s}{\mu} = \frac{19.8 \times 10^{-3} \text{ m} \times 10.4821 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}{0.001 \text{ cp} \times \frac{1 \text{ poise}}{100 \text{ cp}} \times \frac{0.1 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}{1 \text{ poise}}} = 207545.58$$

h. Calculo del factor de fricción para el lado de la carcasa, ver la figura N° 29, libro de Donald kern, procesos de Transferencia de calor, p 944. Ver anexo N°

$$f = 0.0012$$

i. Determinación del número de cruces

$$N+1 = 3$$

j. Peso molecular del vapor de agua. PM = 18 g/mol

k. Densidad del vapor de agua,  $\rho = \text{kg/m}^3$

$$\rho = \frac{1 \text{ Kmol} \times (18 \text{ Kg} / \text{Kmol}) \times 10 \text{ bar} \times 0.9869 \text{ atm}}{22.4 \text{ m}^3 \times (333 \text{ K} / 273 \text{ K}) \times 1 \text{ atm} \times 1 \text{ bar}} =$$

$$\rho = 6.50 \text{ kg} / \text{m}^3$$

j. Calculo de la velocidad del vapor.  $V = \text{m/s}$  (fluido que fluye por la carcasa)

$$v_s = \frac{G_s \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}}{\rho_s \text{ kg/m}^3} = \frac{10.4821}{6.50} = 1.612 \text{ m/s}$$

k. La caída de presión para el lado de la carcasa se puede determinar mediante la siguiente ecuación: N° 5.44, Donald Kern, Procesos de Transferencia de Calor, o mediante la fig. N°

29

$$\Delta P_s = 8f(D_s / de)(L / B)(\mu / \mu_{\frac{\delta y}{\delta x}})^{-0.14} \times \frac{\rho v_s^2}{2}$$

$$\Delta P_s = \left[ 8 \times 0.0012 \times \left( \frac{748}{19.8} \right) \times \left( \frac{4.88}{0.748} \right) \times \left( \frac{6.5 \times (1.612)^2}{2} \right) \right] =$$

$$\Delta P_s = 19.98 Pa$$

### 6.6.2 Determinación de la caída de presión para el lado de los tubos, $\Delta P_t$

La caída de presión por el lado de los tubos se puede determinar mediante la siguiente ecuación, Donald Kern, Procesos de transferencia de Calor:

$$\Delta P_t = N_p \times \left[ 8f \times \left( \frac{L}{D_t} \right) \times \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-m} + 2.5 \right] \times \frac{\rho \times v_t^2}{2} \quad 5.43$$

Dónde:

$\Delta P_t$  = caída de presión por el lado de los tubos, N/m<sup>2</sup>

$N_p$  = número de pasos por los tubos

$L$  = longitud de los tubos, m

$V_t$  = velocidad del fluido en los tubos, m/s

#### a. Viscosidad del agua

$$\mu = 0.6 \times 10^{-3} N \times s / m^2$$

#### b. Cálculo del número de Reynolds, N°Re

$$N^\circ Re = \frac{v \times \rho \times Dt}{\nu} = \frac{4.364 \times 993 \times 16.8 \times 10^{-3}}{0.6 \times 10^{-3}} = 121334.656$$

*18*

- c. De la figura N° 26, se determina el factor de fricción, (f), Donald Kern, Procesos de Transferencia de Calor. Ver figura del anexo N°

$$f = 0.0028$$

- d. Reemplazando en la ecuación N° 5.43

$$\Delta P_f = 4 \left[ 8 \times 0.0028 \times \left( \frac{4.88}{16.8 \times 10^{-3}} \right) + 2.5 \right] \times \frac{993 \times 4.364^2}{2}$$

$$\Delta P_f = 340653.47 Pa = 340.65 KPa$$

## 6.7 Cálculo de la eficiencia del condensador.

Mediante la fórmula:

$$\eta = 1 - \exp^{-NTU}$$

$$NTU = \frac{U \times A}{m_{agua} \times C_{p_{agua}}} = \frac{1149.64 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \times 192.75 m^2}{80.42 \frac{kg}{s} \times 4180 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}}$$

$$NTU = 0.659$$

$$\eta = 1 - \exp^{-0.659} = 0.482$$

*B*

## VI. DISCUSION DE RESULTADOS

De los cálculos realizados en el Capítulo N° VI, se tienen los siguientes resultados de las variables del diseño del condensador multitubular de vapor de agua, tal como se muestra en la Tabla N° 6.1

Tabla N° 7.1

**Resumen de los resultados obtenidos de las variables del diseño del condensador multitubular de vapor de agua.**

Cantidad de calor transferido, Q	3361.61 KW
Coefficiente de película transferencia. calor , para el fluido interior, $h_i$	10239.18 W/m <sup>2</sup> -°C
Coefficiente de transferencia. calor para el vapor $h_c$ ,	2834.22 W/m <sup>2</sup> .°C
Coefficiente de Total de transferencia de calor, U	1149.64 W/m <sup>2</sup> -°C
Área de transferencia calor, A	192.75 m <sup>2</sup>
Numero tubos, Nt	682 tubos
Caída de presión , coraza , $\Delta P_c$	0.019.98 KPa
Caída de presión por los tubos, $\Delta P_t$	340.65 KPa
Eficiencia, $\eta$	0.482 %



- De acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar que las cantidades de calor que se transfieren no son altas.
- Los coeficientes de transferencia de calor por convección tanto interno, ( $h_i$ ), como el exterior, ( $h_c$ ), y el coeficiente global, ( $U$ ), de los tubos son valores un poco altos.
- El área de transferencia de calor, ( $A = 178 \text{ m}^2$ ), es un valor aceptable para las dimensiones de este condensador.
- Las caídas de presión tanto para los tubos, ( $\Delta P_t = 53 \text{ KPa}$ ), y el lado de carcasa, ( $\Delta P_c = 1,3 \text{ KPa}$ ), son valores aceptables de acuerdo a los valores permisibles.



## VIII. REFERENCIALES

1. Aguarán Duarte, Omar C. y Martínez Barrios Diana Milena, Diseño y construcción de una mini caldera piro tubular, para el Laboratorio de Transferencia de Calor, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga 2008.
2. Aguirre Chinchullo Kresly Carlota, Diseño de un condensador barométrico tipo bandeja perforada sencilla para un sistema de evaporación.
3. Çengel Yunus A., Transferencia de calor. Editorial McGraw – Hill/ Interamericana. Segunda edición. Impreso en México, 2004.
4. Chapman Alan J., Fundamentals de Heat Transfer. Editorial Macmillan Publishing Company. Printed in the United Status of America, 1987.
5. Espinoza José y Gómez Augusto, Proceso y manufactura de una caldera piro tubular, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 1984
6. Holman J. P., Transferencia de calor. Editorial McGraw – Hill / Interamericana de España S. A. U. Octava Edición, Impreso en España, 1998
7. Kern Donald Q., Procesos de transferencia de calor. CIA. Editorial Continental. S.A. de C. V. Edición Décimo Novena, México, 1986.
8. Kreith Frank, Mark S. Bohn, Principios de transferencia de calor. Editorial Thomson Learning. Sexta edición. Impreso en México, 2001
9. Lienhard John H and John H. Lienhard Published by Phlogiston Press, Cambridge, Massachetts, U. S. A. Third Edition. 2002.



10. Manrique Valadez José Ángel, Transferencia de calor. Editorial Oxford University Press, Segunda edición. Impreso en México, 2002.
11. Mills Anthony F, Transferencia de calor, Editorial McGraw – Hill / Irwin. Impreso en Colombia 1994.
12. Orona Salas Fausto J. "Evaluación térmica del condensador principal de una unidad de 160 MW de la central termoeléctrica, Tesis
13. Rules Martínez Pedro, España, 2000, Condensadores, Departamento de Mecánica de fluidos, Termotecnia y Física de la Escuela Universitaria de ingeniería Técnica Industrial Barcelona.
14. Shield Carl, Calderas, tipos, características y sus funciones, Compañía Editorial Continental S.A. México 1978.
15. Spigel Murria R., Fórmulas y tablas de Matemática Aplicada. Editorial McGraw – Hill / Interamericana de España S. A. U. Segunda Edición, Impreso en España, 2005
16. Turiel Casado Vanesa, Madrid 2011, "diseño y montaje de un condensador de vapor Down Flow para una central térmica de ciclo combinado".
17. Welty J.R, C.E. Wicks, R.E. Wilson, Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa. Editorial Limusa S. A. de C.V. Primera Edición Impreso en México 1982



## IX. APÉNCIDE

### 9.1 DEFINICIONES DE LA TERMINOLOGÍA

Diseño, consiste en forma a un objeto, sus características o cualidades, su volumen capacidad cualidades, su volumen, capacidad.

**Condensador**, sistema de refrigeración, se utiliza para ceder al medio ambiente exterior todo el calor absorbido por el sistema.

**Fluidos frigoríficos**, Son fluidos encargados de transportar y ceder en el condensador todo el calor que previamente ha tomado del sistema.

**Condensación**, es el cambio de estado de la fase vapor a la fase líquido de un vapor puro.

**Adiabático**, sistema que no gana ni cede energía a los alrededores.

**Bomba**, equipo mecánico que eleva, transporta fluidos,

**Calor**, Manifestación de la energía que los sistemas o cuerpos poseen.

**Calor latente**, cantidad de energía que un sistema posee mientras cambia de estado.

**Eficacia**, capacidad de un equipo al realizar la función para las cual fue diseñado.

**Eficiencia**, Relación entre los insumos consumidos por el condensador, agua, vapor y el producto obtenido.

**Refrigerante**, fluido utilizado para disminuir la temperatura de otro sistema o fluido.

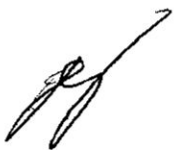




## **X. ANEXOS**

### **Anexo 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**: "DISEÑO DE UN CONDENSADOR MULTITUBULAR DEL VAPOR DE AGUA"**

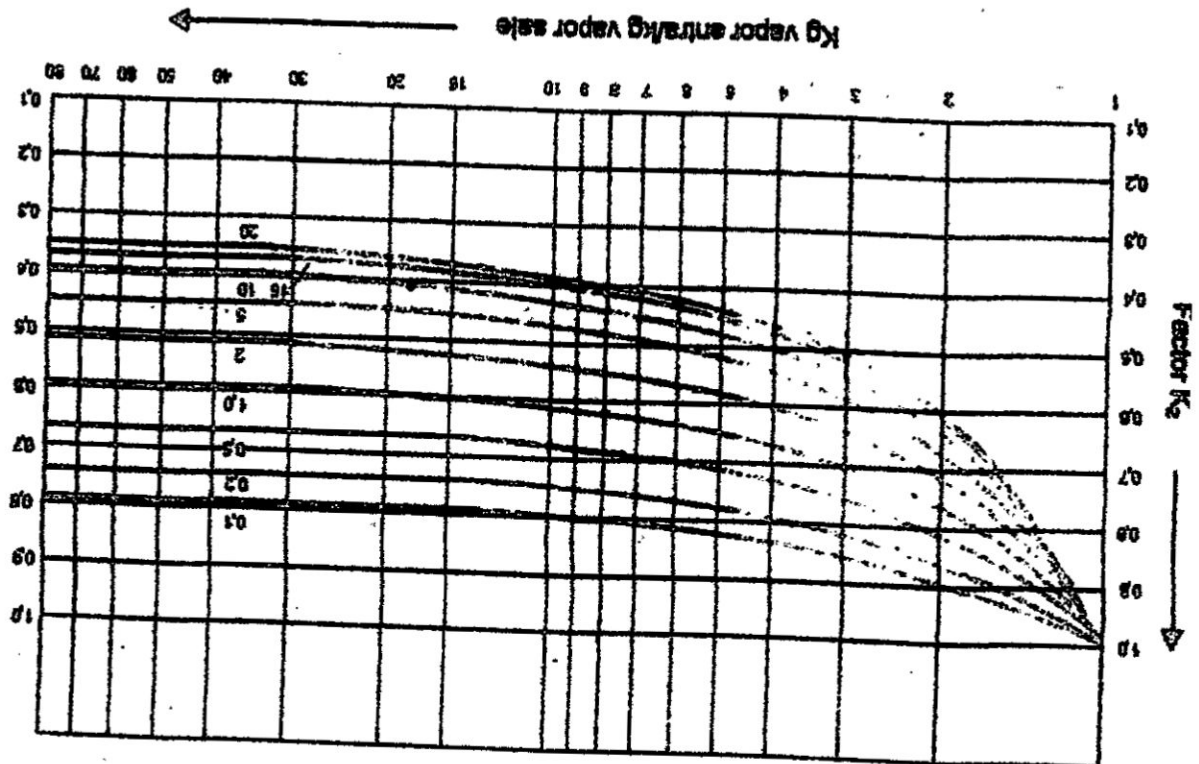


PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	METODOLOGÍA
<p>¿Cómo se diseñará un condensador multitubular de vapor de agua de una planta química</p>	<p>Diseñar un condensador multitubular de vapor de agua.</p>	<p>Es posible diseñar un condensador multitubular de vapor de agua de forma horizontal o vertical afín de seleccionar el de mejores características</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Seleccionar el condensador multitubular, Determinar las variables de diseño.</li> <li>- Se utilizara información científica relevante, para cuantificar los indicadores de las principales variables,</li> <li>- Para diseñar el condensador multitubular se aplicara los fundamentos de intercambiadores de calor de tubos y carcasa.</li> </ul>
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	Variable dependiente
<p>¿Cuáles son las informaciones o fuentes disponibles para analizar del proceso de condensación del vapor de agua)?</p> <p>¿Cómo y con qué ecuaciones se aplicará en el diseño del condensador multitubular, de vapor de agua, de forma horizontal y vertical?</p> <p>¿Qué parámetros se han de calcular y analizar de los condensadores multitubulares de vapor de agua de forma horizontal y vertical a fin de seleccionar el más adecuado?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analizar el proceso de condensación</li> <li>- Analizar las ecuaciones de diseño del condensador multitubular horizontal y vertical</li> <li>- Calcular y analizar las variables de diseño del condensador multitubular de vapor de agua, horizontal y vertical, tales como: los coeficientes de transferencia de calor por convección, interior, exterior y total, el área de transferencia de calor, número de tubos, calor o energía intercambiado, caída de presión, y rendimiento y seleccionar el más adecuado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La información seleccionada permitirá conocer el proceso de condensación.</li> <li>- Con las ecuaciones formuladas permitirá diseñar, el condensador multitubular de vapor tipo horizontal o vertical.</li> <li>- Las variables calculadas como la masa de agua, la energía, el área de transferencia, la caída de presión, y el rendimiento permiten seleccionar el condensador de mejores características.</li> </ul>	<p>Y = Diseño del condensador multitubular de vapor de agua</p> <p><b>Variables independientes</b></p> <p>X1 = Ecuaciones de diseño para determinar los parámetros del condensador multitubular.</p> <p>X2 = Calculo de las variables de diseño,</p> <p>Operacionalización de las variables</p> $Y = f(X1, X2)$ <p><b>INDICADORES:</b></p> <p>masa de agua,( kg/h), calor transferido (kcal/h)</p> <p>Caída de presión, (Pa); área de transferencia (m<sup>2</sup>),</p> <p>Rendimiento, (η).</p>

Anexo N° 2

Figura N° 3

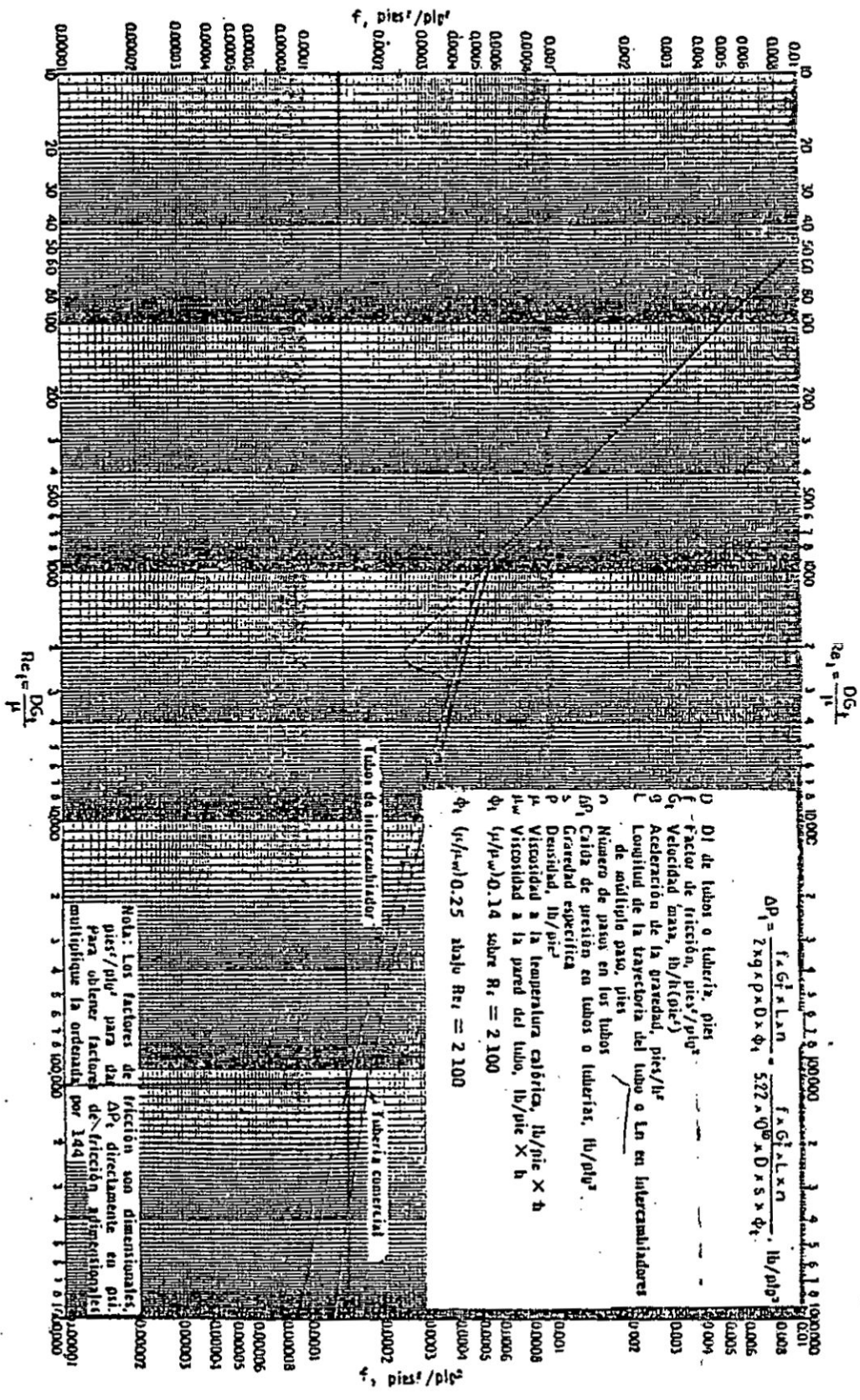
Factor para la velocidad promedio del vapor para calcular la caída de Presión



Fuente: Luis Moncada Albites, Diseño de Plantas de procesos



Figura N° 5  
Factor de fricción lado de los tubos



Fuente: Donald Q. Kern, Procesos de Transferencia de Calor

**TABLA 10. DATOS DE TUBOS PARA CONDENSADORES E INTERCAMBIADORES DE CALOR**

Tubo DE, plg	BWG	Espesor de la pared,	DI, plg	Area de flujo por tubo, plg <sup>2</sup>	Superficie por pie lin. pies <sup>2</sup>		Peso por pie lineal, lb, de acero
					Exterior	Interior	
1/2	12	0.109	0.282	0.0625	0.1309	0.0748	0.493
	14	0.083	0.334	0.0876		0.0874	0.403
	16	0.065	0.370	0.1076		0.0969	0.329
	18	0.049	0.402	0.127		0.1052	0.258
	20	0.035	0.430	0.145		0.1125	0.190
3/4	10	0.134	0.482	0.182	0.1963	0.1263	0.965
	11	0.120	0.510	0.204		0.1335	0.884
	12	0.109	0.532	0.223		0.1393	0.817
	13	0.095	0.560	0.247		0.1466	0.727
	14	0.083	0.584	0.268		0.1529	0.647
	15	0.072	0.606	0.289		0.1587	0.571
	16	0.065	0.620	0.302		0.1623	0.520
	17	0.058	0.634	0.314		0.1660	0.469
	18	0.049	0.652	0.334		0.1707	0.401
	1	8	0.165	0.670		0.355	0.2618
9		0.148	0.704	0.389	0.1843	1.47	
10		0.134	0.732	0.421	0.1916	1.36	
11		0.120	0.760	0.455	0.1990	1.23	
12		0.109	0.782	0.479	0.2048	1.14	
13		0.095	0.810	0.515	0.2121	1.00	
14		0.083	0.834	0.546	0.2183	0.890	
15		0.072	0.856	0.576	0.2241	0.781	
16		0.065	0.870	0.594	0.2277	0.710	
17		0.058	0.884	0.613	0.2314	0.639	
18		0.049	0.902	0.639	0.2361	0.545	
1 1/4	8	0.165	0.920	0.665	0.3271	0.2409	2.09
	9	0.148	0.954	0.714		0.2498	1.91
	10	0.134	0.982	0.757		0.2572	1.75
	11	0.120	1.01	0.800		0.2644	1.58
	12	0.109	1.03	0.836		0.2701	1.45
	13	0.095	1.06	0.884		0.2775	1.28
	14	0.083	1.08	0.923		0.2839	1.13
	15	0.072	1.11	0.960		0.2896	0.991
	16	0.065	1.12	0.985		0.2932	0.900
	17	0.058	1.13	1.01		0.2969	0.808
18	0.049	1.15	1.04	0.3015	0.688		
1 1/2	8	0.165	1.17	1.075	0.3925	0.3063	2.57
	9	0.148	1.20	1.14		0.3152	2.34
	10	0.134	1.23	1.19		0.3225	2.14
	11	0.120	1.26	1.25		0.3299	1.98
	12	0.109	1.28	1.29		0.3356	1.77
	13	0.095	1.31	1.35		0.3430	1.56
	14	0.083	1.33	1.40		0.3492	1.37
	15	0.072	1.36	1.44		0.3555	1.20
	16	0.065	1.37	1.47		0.3587	1.09
	17	0.058	1.38	1.50		0.3623	0.978
	18	0.049	1.40	1.54		0.3670	0.831

Fuente: Donald Q. Kern, Procesos de Transferencia de Calor



ENE 20181

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE**  
**INGENIERÍA QUÍMICA**



**INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**  
**“DISEÑO DE UN CONDENSADOR**  
**MULTITUBULAR DE VAPOR DE AGUA”**

**AUTOR: ALBERTO EMILIO PANANA GIRIO**

Callao, 2017





I	INDICE	Pág.	1
II	RESUMEN Y ABSTRACT		6
	Resumen		6
	Astract		7
III	INTRODUCCIÓN		8
	3.1 Exposición del tema de investigación		8
	3.1.2 Objetivos		9
	3.1.2.1 Objetivos General		9
	3.1.2.2 Objetivos Específicos		9
	3.2 Importancia y Justificación de la Investigación		11
	3.2.1 Importancia		11
	3.2.1.1 Alcance		11
	3.2.1.2 Tipo de investigación		12
	3.2.1.3 Código de Unesco		12
	3.2.2 Justificación		12
IV	MARCO TEORICO		13
	4.1 Antecedentes Técnicos y datos vinculados a la investigación		13
	4.2 Marco teórico		15
	4.2.1 Condensación		15
	4.2.2 Condensación en el exterior de un tubo horizontal		15
	4.2.3 Condensación en el exterior de un tubo verticales		17



## RELACION DE FIGURAS

	Pág.
Figura N° 1 Factor de corrección de temperaturas	36
Figura N° 2 Grafica determinar el coeficiente de película para los Tubos	39
Figura N° 3 Factor para velocidad promedio de vapor para caída de presión	60
Figura N° 4 Para determinar espaciado entre el casco – haz de tubos.	63
Figura N° 5 Factor de fricción de la coraza	64
Figura N° 6 Factor de fricción para lado de los tubos	65

## RELACION DE TABLAS

Tabla N° 5.1 Constantes para la ecuación N° 5.3	38
Tabla N° 7.1 Resumen de los resultados	63
Tabla N° 10 Datos de tubos para condensador e intercambiador de calor	66



## II. RESUMEN y ABSTRACT

### RESUMEN

El presente trabajo de investigación, "Diseño de un condensador multitubular de vapor de agua", está enfocado a la realización de los cálculos de cantidad de calor transferido en el condensador, determinación del coeficiente total de transferencia, el área, la caída de presión, el rendimiento, estos cálculos se realizan cuando el condensador ha alcanzado su funcionamiento en estado estacionario. El objetivo de la investigación es realizar el diseño de un condensador multitubular de vapor de agua

Con el fin de alcanzar los objetivos y metas trabajos en esta investigación se plantea y se realiza un método de cálculo de las variables implicados en el condensador. Estas determinaciones se hacen en forma iterativa y las variables obtenidas servirán para la realización del dimensionamiento del condensador de vapor de agua.

Con los datos considerados para la realización del diseño del condensador, se han obtenidos los siguientes resultados:

- Cantidad de calor transferido,  $Q = 3361.61 \text{ KW}$
- Coeficiente de Totas de transferencia, calor,  $U = 1971.21 \text{ W/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$
- Área de transferencia calor,  $A = 178,015 \text{ m}^2$
- Número total tubos,  $N_t = 580$  tubos
- Caída de presión en la coraza  $\Delta P_c = 1.3 \text{ KPa}$
- Caída de presión por los tubos.  $\Delta P_t = 53 \text{ KPa}$
- Eficiencia,  $\eta = 75 \%$
- 

Con los datos obtenidos concluimos, que el condensador diseñado, operara satisfactoriamente.

**PALABRAS CLAVES:** Condensador, energía, coeficiente total de transferencia, Rendimiento, caída de presión.



## ABSTRACT

The present research work, "Design of a multitubular water vapor condenser", is focused on calculations of amount of heat transferred in the condenser, determination of the total transfer coefficient, area, pressure, Performance, these calculations are performed when the capacitor has reached its steady state operation. The objective of the research is to design a multitubular water vapor condenser

In order to reach the objectives and goals work in this research, a method of calculating the variables involved in the capacitor is proposed and performed. These determinations are done in an iterative way and the variables obtained will be used to carry out the dimensioning of the water vapor condenser.

With the data considered for the design of the capacitor, the following results were obtained:

- Amount of heat transferred,  $Q = 3361.61 \text{ KW}$
- Coefficient of Transference Total, Heat,  $U = 1971.21 \text{ W / m}^2\text{-}^\circ\text{C}$
- Heat transfer area,  $A = 178,015 \text{ m}^2$
- Total number of tubes,  $N_t = 580 \text{ tubes}$
- Pressure drop, shell,  $\Delta P_c = 1.3 \text{ KPa}$
- Pressure drop across the tubes,  $\Delta P_t = 53 \text{ KPa}$
- Efficiency,  $\eta = 75\%$

With the data obtained we conclude that the designed capacitor will operate satisfactorily.

**KEYWORDS:** Condenser, energy, total transfer coefficient, yield, pressure drop



### III. INTRODUCCION

#### 3.1 Exposición del problema de la investigación

El proyecto de investigación desarrollado, "Diseño de un condensador multitubular de vapor de agua", se debe a que los condensadores son equipos térmicos bastante empleados en la condensación del agua ya sea vapor saturado o vapor recalentado, de una u otra forma este vapor es utilizado en las diferentes industrias químicas, como en las plantas petroquímica, plantas para la fabricación de papel, industrias metalúrgicas, fertilizantes, entre otros tipos de actividad industrial.

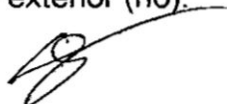
Este proceso de enfriamiento y/o condensación generalmente ocurre con el vapor de agua, donde este vapor utilizado tiene temperatura bien alta, el cual no se puede desechar directamente a la atmósfera, por lo que se debe aprovechar su energía calorífica que todavía posee, ya sea para calentar otro fluido cuya temperatura es baja.

Otro aspecto importante es que el vapor de agua tiene un costo en su producción, y además al condensarse el vapor de agua este tiene buenas características puesto que ya ha sido tratado y se puede reutilizar mezclándola con el agua de alimentación tratada y hacerla ingresar nuevamente al equipo de generación de vapor, (caldera).

Para poder definir la posición de un condensador debe tenerse en cuenta varios aspectos tales como:

- La facilidad de mantenimientos.
- El tipo de soportes estructurales.
- El costo que implica la instalación, generalmente es más costoso instalar un condensador de tipo vertical que un condensador de forma horizontal.

La posición del condensador afecta considerablemente el valor de los coeficientes de película por convección, tanto del fluido interior ( $h_i$ ), como del fluido exterior ( $h_o$ ).



El presente trabajo se realiza los cálculos de balance térmico al condensador ya sea tipo vertical o horizontal, en estos equipos por interior de los tubos, fluye el agua de enfriamiento y el vapor de agua que se encuentra por la parte exterior es decir en la coraza, produciéndose la condensación del vapor de agua en la superficie exterior de los tubos, primero se enfría y luego se condensa el vapor. .

Por lo que nos planteamos como problema de investigación:

**¿Cómo se diseñará un condensador multitubular de vapor de agua de una planta química?**

Para la realización este trabajo se ha desarrollado una metodología para la realización de los cálculos de diseño del condensador donde los resultados obtenidos, como la capacidad de energía calorífica de vapor, el rendimiento, la caída de presión, tienen relación con la característica reportados por los fabricantes.


Teniendo estas consideraciones en este proyecto de investigación se diseñara un condensador de haz de tubos, de coraza y tubos, ya sea en forma horizontal y vertical.

### **3.1.2 OBJETIVO**

#### **3.1.2.1 Objetivo General**

Realizar el diseño de un condensador multitubular de vapor de agua

#### **3.1.2.2 Objetivos específicos**

 Analizar el proceso de condensación

Desarrollar las ecuaciones de diseño del condensador multitubular horizontal y vertical

Calcular y analizar las variables de diseño del condensador multitubular de vapor de agua, tales como: los coeficientes de transferencia de calor por convección: interior, exterior y total, el área de transferencia de calor, número de tubos, calor o energía intercambiado, caída de presión, rendimiento y seleccionar el condensador de mejor característica.



## **3.2 Importancia y la Justificación de la investigación**

### **3.2.1 Importancia**

La importancia del trabajo de investigación radica en los siguientes aspectos:

- Proporcionar la información técnica requerida para el diseño de condensador a nivel industrial.
- El diseño del condensador permitirá aprovechar la masa vapor de agua utilizado en los equipos de una planta química, para esto se recolecta el vapor utilizado y luego condensarlo, mediante enfriamiento y condensación y posteriormente reutilizarlo nuevamente, esta agua se puede mezclar con el agua líquida que se alimenta por primera vez al generador de vapor (agua que se le ha realizado previamente un tratamiento químico), esta operación permite un ahorro económico a la empresa industrial.

#### **3.2.1.1 Alcance**

El condensador a diseñar es de tubos y coraza, con tubos colocados en forma vertical o de forma horizontal.

Con el desarrollo de este trabajo de investigación, Diseño de un condensador multitubular de vapor de agua, servirá como complemento, de los conocimientos adquiridos en el curso de Balance de Materia y Energía, de Transferencia de calor en los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao, así como también a otros estudiantes afines de ingeniería, e inclusive a profesionales interesados en el diseño de un condensador-.





### **3.2.1.2 Tipo de Investigación**

El proyecto de investigación: Diseño de un condensador multitubular de vapor de agua, es una investigación aplicada, descriptiva.

### **3.2.1.3 Código UNESCO**

De acuerdo a la codificación de la UNESCO, el proyecto de investigación, "Diseño de un condensador multitubular de vapor de agua", es el siguiente:

3310        TECNOLOGIA INDUSTRIAL  
3310.01    EQUIPO INDUSTRIAL.

### **3.2.2 JUSTIFICACIÓN**

El diseño adecuado del condensador, radica en que el vapor de agua generado y utilizado en las plantas de procesos químicos o para la generación de energía eléctrica, tiene un contenido energético alto, que se puede utilizar para intercambiar calor con otro fluido

El vapor de agua al condensarse, está libre de contaminantes, y además es blanda por lo que puede reutilizar.



## IV. MARCO TEÓRICO

### 4.1 ANTECEDENTES TÉCNICOS Y DATOS VINCULADOS A LA INVESTIGACIÓN

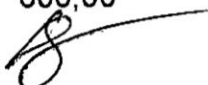
En la industria química así como en la generación eléctrica, utiliza en gran proporción el vapor de agua. Este vapor una vez utilizado es enfriado y condensado, el cual posee mejores características y propiedades que el agua líquida no tratada. Esto se consigue en los equipos térmicos denominados condensadores, que tienen como función recuperar la materia prima (caso del agua,) como otros vapores utilizados en la industria de procesos químicos. Es por eso que se realiza este proyecto de investigación. Respecto a la información consultada se menciona:

Orona Salas Fausto J, (México 2009), "Evaluación térmica del condensador principal de una unidad de 160 MW de la central termoeléctrica, Tesis. En esta evaluación térmica se aplica una metodología basada en la norma para condensadores de vapor en superficie, a fin de elegir o evaluar el comportamiento del condensador. El estudio dio como resultado:

- Coeficiente de transferencia de calor,  $U = 485,54 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- Área de transferencia del condensador,  $A = 4478,66 \text{ m}^2$
- Flujo de agua de enfriamiento,  $Q_v = 6,77 \text{ m}^3/\text{s}$

Entre otros cálculos realizados, son bastantes cercanos a lo reportado en la placa del fabricante.

Aguirre Chinchullo Carlota, (Guatemala 2010), Diseño de un condensador barométrico tipo bandeja perforada sencilla para un sistema de evaporación. En este trabajo realizó el diseño integral de un equipo de condensación en el sistema de evaporación para un ingenio azucarero. Para esto realizó estudio de campo obteniendo los planos necesarios para diseñar el condensador barométrico, de los cálculos obtenidos, determino una eficiencia teórica de,  $\eta = 85,98\%$ . Un costo de inversión inicial de Q 450 000,00



Turiel Casado Vanesa, Madrid 2011, "diseño y montaje de un condensador de vapor Down Flow para una central térmica de ciclo combinado".

Para el diseño de este condensador parte de condiciones iniciales requeridas, realizando los cálculos necesarios para obtener las dimensiones del condensador Para esto realiza el siguiente procedimiento:

- Balance térmico y de masa a partir de datos especificados,
- Comprobación y análisis de los resultados obtenidos del balance
- Selección del material de los tubos
- Diseño preliminar y final del condensador.

Rules Martínez Pedro, España 2000, Condensadores, Departamento de mecánica de fluidos, Termotecnia y Física de la Escuela Universitario de Ingeniería Técnica Industrial Barcelona. En este texto da información del proceso de condensación, sobre condensadores, tipos fórmulas para determinar los coeficientes individuales de transferencia de calor,  $h_i$ ,  $h_o$ .



## 4.2 MARCO TEÓRICO

En este proyecto, diseño de un condensador multitubular de vapor de agua de forma horizontal y vertical, para lo cual se desarrollara los siguientes fundamentos:

### 4.2.1 CONDENSACIÓN

Es el cambio de estado de la fase vapor a la fase líquido del vapor de agua, la condensación del vapor se realiza al estar en contacto con una superficie fría, por ejemplo cuando por la parte exterior de los tubos fluye en vapor de agua y el agua de refrigeración por el interior del tubo. (Çengel Yunus A., Transferencia de calor, 2004).

La condensación puede realizarse:

- **En forma de gotas**, el vapor se condensa en forma de pequeñas gotas sobre la superficie fría, se origina el desprendimiento de estas y son ocupadas por nuevas gotas formadas
- **En forma de película**, el vapor que se condensa forma una película que cubre la superficie fría, y prosigue la formación de nuevas películas continuamente

La condensación por gotas es mejor que la de película.

### 4.2.2 Condensación en el exterior de un tubo horizontal

Si se tiene un tubo horizontal a temperatura constante con un fluido frigorífico que condensa en régimen laminar sobre la superficie exterior del tubo. El coeficiente de condensación se puede obtener a partir de la siguiente ecuación para superficies horizontales tubulares:



$$h = 0.725 \left[ \frac{k_1^3 \rho_l (\rho_l - \rho_v) g h_{fg}}{\mu_l D_e (T_s - T_w)} \right]^{1/4} \quad (4,1)$$

Dónde:

$h$  = es el coeficiente de condensación, (W/m<sup>2</sup>.K)

$k_1$  = Conductividad térmica del líquido, (W/m.K)

$\rho_l$  = densidad del líquido, (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_v$  = densidad del vapor, (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = aceleración de gravedad, (m/s<sup>2</sup>)

$h_{fg}$  = calor latente de vaporización, (j/kg)

$\mu_l$  = viscosidad del líquido, (kg/m.s)

$D_e$  = diámetro exterior del tubo, (m)

$T_s$  = temperatura de saturación, (K)

$T_w$  = temperatura de la superficie exterior del tubo, (K)

Las propiedades del condensado,  $\mu_l$ ,  $\rho_l$ ,  $\rho_v$ ,  $g$ , deben calcularse a la temperatura media de la película,  $(T_s - T_w)/2$ . Pedro Rules, Condensadores, Grupo editorial Ceac, 2000 Barcelona, España

La ecuación anterior, puede expresarse en función del Número de Reynolds, tomado para la película del condensado, tal como se muestra en la siguiente relación:

$$\frac{h}{k_l} \left( \frac{\mu_l^2}{\rho_l (\rho_l - \rho_v) g} \right)^{1/3} = 1.51 (\text{Re}_\Gamma)^{1/3} \quad (4.2)$$

Siendo el número de Reynolds:



$$\text{Re}_\Gamma = \frac{4\Gamma}{\mu_l} \quad (4.3)$$

Dónde:  $\Gamma =$  es el caudal másico de condensado por longitud de tubo, (kg/m.s)

El coeficiente de condensación no es constante en todo el tubo, en la parte superior del tubo el espesor de película de condensado es mínima por tanto el coeficiente de condensación es máximo, cosa que no ocurre en la parte opuesta del tubo, el zona inferior el condensado se acumula y empieza a drenar, por lo el espesor de condensado tiende a infinito, por lo el coeficiente de condensación tiende a (0), con las ecuaciones (4.1) y (4.2), permite calcular el coeficiente de condensación medio.

#### 4.2.3 Condensación en el exterior de tubos verticales

Si la velocidad del flujo de vapor es pequeña, se considera que el condensado drena en régimen laminar, para determinar el coeficiente de condensación para superficies verticales, se realiza mediante la siguiente expresión:

$$h = 0.943 \left[ \frac{k_l^3 \rho_l (\rho_l - \rho_v) g h_{fg}}{\mu_l L (T_s - T_w)} \right]^{1/4} \quad (4.4)$$

Donde:  $L =$  longitud del tubo, (m)

La ecuación (4,4), puede expresarse en función del número de Reynolds

$$\frac{h}{k_l} \left( \frac{\mu_l^2}{\rho_l (\rho_l - \rho_v) g} \right)^{1/3} = 1.47 \text{Re}_{\text{inf}}^{-1/3} \quad (4.5)$$

Siendo el número de Reynolds:

$$Re_{inf} = \frac{4\Gamma_{inf}}{\mu_l} \quad (4.6)$$

Dónde:

$\Gamma_{inf}$  = es la relación caudal másico de condensado/ perímetro exterior del tubo, calculado en la zona inferior del tubo. Con la ecuación (4.4) se utiliza para Numero de Reynolds,  $Re < 30$ . Pero para  $30 < Re < 1300$ , donde en la superficie del condensado se forma ondulaciones, se calcula mediante la siguiente ecuación.

*Pedro Rules Martínez, España, (2000), "Condensadores",*

$$\frac{h}{k_l} \left( \frac{\mu_l^2}{\rho_l(\rho_l - \rho_v)g} \right)^{\frac{1}{3}} = \frac{Re_{inf}}{1.08 Re_{inf}^{1.22} - 5.2} \quad (4.7)$$

Para  $Re_{inf} > 1.600$

$$\frac{h}{k_l} \left( \frac{\mu_l^2}{\rho_l(\rho_l - \rho_v)g} \right)^{\frac{1}{3}} = \frac{Re_{inf}}{8750 + 58 Pr^{-0.5} (Re_{inf}^{0.75} - 253)} \quad (4.8)$$

### 4.3 Aumento de la transferencia de calor en la condensación

Cuando un tubo horizontal con aletas entra en contacto con un fluido líquido, este pasa a llenar los espacios entre aletas en toda la superficie exterior de los tubos. De los modelos que permitan predecir el coeficiente de condensación en tubos con aletas para el diseño de condensadores es el propuesto por: Beatty Katz (19)



$$h = 0.689 \left[ \frac{k_i^3 \rho_i^2 g h_{fg}}{\mu_i D_e (T_s - T_w)} \right]^{1/4}$$

. Donde :=  $D_e$  diámetro equivalente (m), cuyo valor se determina mediante la siguiente relación (4.9)

$$\left( \frac{1}{D_e} \right) = 1.30 \eta \frac{A_{ac}}{A_{ef}} L_{mc}^{-1/4} + \frac{A_{ae}}{A_{ef}} D_e^{-1/4} + \frac{A_{ae}}{A_{ef}} D_{bs}^{-1/4}$$

(4.10)

Dónde:

- $\eta$  = eficiencia de la aleta
- $A_{ac}$  = superficie de las caras de las aleta, ( m<sup>2</sup> )
- $A_{ae}$  = superficie de los extremos de las aletas, (m<sup>2</sup>)
- $A_{ad}$  = superficie de tubo desnudo, (m<sup>2</sup>)
- $D_{bs}$  = diámetro del tubo en base de la aleta, (m)
- $D_e$  = diámetro exterior del tubo, (m)
- $L_{mc}$  = longitud media del condensador,(m)
- $A_{ef}$  = area eficaz,(m<sup>2</sup>)

## 4.4 CONDENSADORES

Son equipos en donde se realiza la condensación del vapor, en estos equipos se produce el cambio de fase, donde el fluido en donde el vapor de agua pasa a estado líquido, al producirse un intercambio de transferencia de calor con el fluido frío que se encuentra a una temperatura baja.

### 4.4.1 TIPOS DE CONDENSADORES

Existen diversas formas de clasificar los condensadores, atendiendo a varios aspectos, tal como:

- Su configuración
- La función que realiza
- De acuerdo al flujo de los fluido.





Una clasificación de los condensadores utilizados en la refrigeración o en acondicionamiento de aire, se tienen:

- Condensadores multitubulares, vertical o horizontal
- Condensadores de doble tubos
- Condensadores enfriados por aire.

#### **a. CONDENSADOR MULTITUBULAR**

Estos condensadores son similares a los intercambiadores de calor de tubos y coraza. Son utilizados en sistemas de refrigeración, en la industria química, En estos condensadores generalmente el fluido caliente o vapor fluye por el lado de la coraza y fluido frío o refrigerante por el interior de los tubos. En ciertos casos se puede tomar en forma inversa a lo señalado, pero debido si el fluido presenta mayor suciedad, o es más corrosivo, o que tenga alta presión debe fluir por los tubos.

Se tiene condensadores multitubulares horizontales y verticales, En estos tipos de condensadores, el condensado no drena correctamente, causando una disminución del coeficiente de condensación. (pag.19, 4)

#### **b. CONDENSADORES DE DOBLE TUBOS.**

Estos condensadores están constituidos por dos tubos concéntricos, en estos condensadores el fluido frío fluye por el interior de los tubos y el vapor por la parte anular, estos pueden fluir en la misma dirección o en corriente opuesta, el intercambio de calor de estos condensadores es menor que los multitubulares, son de fácil limpieza Estos condensadores requieren de un recipiente para la recolección del fluido condensado. Presentan un coeficiente de transferencia de calor alto.



### c. CONDENSADORES DE AIRE

En estos condensadores se utiliza al aire como fluido frío, el cual es bajo su costo económico, pero en lo que respecta al aspecto técnico el aire presenta grandes inconvenientes, por presentar un calor específico y un coeficiente de transferencia de calor, bastante bajo por lo que se requiere una gran superficie de transferencia de calor y gran volumen de este fluido. Pueden ocupar un espacio pequeño, poco peso, y generalmente se utilizan en sistemas frigoríficos domésticos.

En estos tipos de condensadores a diseñar se debe determinar:

- Los coeficientes de transferencia de calor total ( $U$ ), de película por convección individuales, ( $h_i$ ), interior y ( $h_o$ ) exterior.
- Área de transmisión de calor
- Número y arreglo de los tubos.
- Factor de suciedad de los tubos
- Caída de presión tanto en la coraza y en los tubos
- Cantidad de calor transferido
- Rendimiento del condensador.



## V. MATERIALES Y METODOS

### 5.1 Materiales

#### a. Manómetros Bourbon

Estos se instalan en el condensador, a la entrada del vapor de agua, y en la salida (agua condensada), con una precisión de  $0.1 \text{ kgf/cm}^2$ .

#### b. Termocuplas

Las termocuplas, tipo J, colocados en la entrada y salidas de los fluidos, (vapor de agua y agua de enfriamiento)

#### c. Cronometro

Los cronómetros deben tener una precisión 0.1segundos.

#### d. Flujo metro Ultrasónico,

**Puede ser del tipo Portaflow 300, o de otra marca**

#### e. Los medidores de nivel (rotámetros)

Estos son colocados para medir el nivel a agua en el condensador, su determinación se puede realizar por métodos matemáticos de integración.



f. **Cinta métrica**, precisión 1mm.

g. **Pie de rey**, precisión 0.01mm.

h. **Vatímetro**, precisión 0.1 kW.

## **5.2 Población y muestra de investigación**

La investigación o línea de trabajo es el vapor de agua la Empresa Química del Pacífico, QUIMPAC, en su complejo Químico – Papelero que se encuentra en la Ciudad de Para monga, específicamente la Planta de fabricación de papel higiénico,

### **5.2.1 Determinación de la Muestra de la Investigación.-**

La muestra de la investigación es el vapor de agua que se requiere en la planta para la fabricación de papel, (Producción de papel higiénico).

## **5.3 Técnicas, procedimiento e instrumentos de recolección de datos**

Las técnicas del procedimiento lógico que se utilizara para la contratación de la hipótesis planteada será:

- Método o modelo para determinar tipo de condensador de vapor de agua.
- Métodos y procedimiento de diseño de condensadores multitubulares de vapor de agua.
- Método comparativo y descriptivo para la determinación de los parámetros del condensador multitubular horizontal y vertical.
- Método de evaluación de condensadores multitubular seleccionado

Los datos que se tomaran son:

Producción de vapor de agua de la caldera, (kg de vapor/h),  
Temperatura y presión del vapor de agua.



Cantidad de vapor que se utiliza en el secado de la hoja de papel en máquina para la producción de papel higiénico.

Determinación de la cantidad de vapor, temperatura, presión de la líneas de retorno del vapor al equipo de condensación.

#### **5.4 Técnicas y análisis estadístico de datos**

Se utilizaran las técnicas estadísticas descriptiva, permitirá presentar los datos cuantitativos de manera resumida las características, (promedio, en el caso de temperatura, presión, cantidad de vapor, cantidad de calor.

Con el fin de calcular las variables de diseño se realizara por medio de iteraciones sucesivas.

#### **5.5 Métodos de la Investigación**

Descriptivo

Deductivo

Inductivo

Analítico

- En general para el diseño del condensador de vapor se debe elegir la configuración a diseñar, el tipo de superficie de condensación del vapor, en este caso el tipo de película ya sea vertical u horizontal.
- Las dimensiones características de la superficie y para una caída de presión baja se requiere una sección transversal de flujo de gran área, aunque también es importante seleccionar de manera adecuada la configuración y la superficie de transferencia de calor.



La metodología a seguir en el diseño del condensador multitubular de vapor de agua, se propone los siguientes pasos:

1. Seleccionar una configuración, seleccionar un tipo de superficie de transferencia de calor.
2. Seleccionar las dimensiones de la superficie.
3. Calcular las dimensiones resultantes de la unidad
4. Especificar la eficacia de transferencia de calor requerida.
5. Especificar la caída de presión permisible de una corriente o de ambas.
6. Evaluar el diseño del condensador.

El desarrollo del trabajo de investigación comprende las siguientes etapas:

- A. Selección de la Información y datos experimentales
- B. Desarrollo del Fundamento teórico
- C. Ecuaciones para el diseño del condensador
- D. Cálculos las variables de diseño para el condensador
- E. Resultados y Discusión
- F. Elaboración y presentación del informe final

### **5.5.1 Método de diseño de un condensador multitubular de vapor de agua**

Para la realización del diseño de un condensador de vapor de agua, primeramente se determinaran los datos principales mediante tablas gráficas. Luego para el cálculo de las variables serán hallados en forma iterativa. A continuación se plantea una metodología para la realización de los cálculos respectivos.



## Determinación de datos

Se ha de determinar las siguientes propiedades del agua de enfriamiento (agua de río)

- Temperatura de entrada,  $T_{ent} = \text{°C}$
- Temperatura de salida,  $T_{sal} = \text{°C}$
- Calor específico,  $C_{p_{\text{agua de río}}} = \text{Kcal/kg} \cdot \text{°C}$
- Velocidad,  $V_{\text{agua de río}} = \text{m/s}$
- Viscosidad,  $\nu_{\text{agua de río}} = \text{m}^2/\text{s}$
- Densidad,  $\rho_{\text{agua de río}} = \text{kg/m}^3$ .
- 

## Propiedades del Vapor de agua

- Flujo másico de vapor de agua,  $m_{\text{vapor}} = \text{kg/s}$
- Temperatura de saturación del vapor,  $T_{\text{sat}} = \text{°C}$
- Entalpía del vapor de mezcla,  $h_{fg} = \text{Kj/kg}$
- Entalpía de vapor saturado,  $h_f = \text{Kj/kg}$
- Velocidad del vapor,  $v_{\text{vapor}} = \text{m/s}$
- Viscosidad,  $\nu_{\text{vapor}} = \text{m}^2/\text{s}$
- Densidad del vapor,  $\rho_{\text{vapor}} = \text{kg/m}^3$

## Calculo del flujo másico del agua de río, $m_{\text{agua río}} = \text{kg/s}$

Para la determinación del flujo másico del agua de agua, se realiza mediante el balance de energía.



$$Q_{cedido\ vapor} = Q_{absorbido\ agua\ rio} \quad (5.1).$$

$$\Delta h_{vapor} \times m_{vapor} = m_{agua} \times C p_{agua} \times \Delta T_{agua\ rio}$$

Mediante la ecuación (5.1), se obtiene el flujo másico de agua de fría:

$$m_{agua} = kg / s$$

**Calculo del calor rechazado en el condensador, (Q = Kj/s)**

$$Q = m_{vapor} \times (h_{fg} - h_f) \quad (5.2)$$

**Determinación de las dimensiones de los tubos.**

Las dimensiones de los tubos se toma de la norma ASTM B111, donde se encuentra la tabla de materiales utilizados en condensadores de superficie e intercambiadores de calor, donde se escoge el Aluminio - bronce, en donde tiene las siguientes características. En el anexo N° 6 se presenta la tabla N° 10, datos para las dimensiones de tubos para condensadores e intercambiadores de calor. Donald Kern, Procesos con Transferencia de Calor, pagina 948.

**Calculo del coeficiente pelicular por convección interno, (hi = W/m<sup>2</sup>. pc)**

El coeficiente de convección pelicular interno, se ha de proceder de la forma siguiente:

a. Calculo del N° Reynolds, (Re)

$$Re = \frac{D_{int} \times v_{aguario}}{\nu_{aguario}} \quad (5.3)$$

Dónde:

$D_{ina}$  = diámetro interior, (m)

$V_{agua\ rio}$  = velocidad agua, (m/s)

$\nu_{agua\ rio}$  = Viscosidad cinemática, (m<sup>2</sup>/s)





**b. Calculo del factor de transferencia de calor para los tubos,**

**$J_{h_{tubo}}$**

El factor de transferencia de calor para tubos,  $J_{h_{tubos}}$ , se halla en la fig. N° 24, página 939, del libro Donald Q. Kern, Procesos de transferencia de calor.

Interceptando en la curva los parámetros: N° Re (vs) L/D, se obtiene  $J_h$ , y luego despejar ( $h_i$ ), de la ecuación (5.4)

$$J_H = \frac{h_i D}{k} \times \left( \frac{c \mu}{k} \right)^{-1/3} \times \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0.14} \quad (5.4)$$

Dónde:

$K$  = Conductividad térmica, W/m.°C, del agua de río, tomada de la tabla N° 4, pág. 906, libro Donald Kern.

$\mu, \mu_w$  = viscosidad dinámica del agua de río, kg/m.s.

$c$  = calor específico, KJ/kg.°C, tomada de la fig. N° 2, pág. 909, libro Donald Kern.

$D$  = diámetro interno del tubo, m

**c. Calculo de la resistencia por convección interna de transferencia de calor,  $R_i = (m^2.s.^{\circ}C/W)$**

$$R_i = 1 / h_i \quad (5.5)$$

**d. Calculo de la resistencia por conducción,  $R_{cond.} = (m^2.s.^{\circ}C/W)$**

$$R_{cond.} = \frac{Ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)}{2\pi.e.k_m} \quad (5.6)$$

Dónde:

$r_e, r_i$  = radio externo e interno del tubo, m

$e$  = espesor del tubo, m

$k_m$  = conductividad térmica del material, W/m. °C

**Calculo del coeficiente pelicular por convección externa, ( $h_o = W/m^2 \cdot ^\circ C$ )**

**a. Calculo del N° Reynolds,**

$$N^\circ Re = \frac{V_{vapor} \times De}{\nu_{vapor}}$$

Dónde:

$V_{vapor}$  = velocidad del vapor, m/s

$De$  = diámetro externo del tubo, m

$\nu_{vapor}$  = viscosidad cinemática del vapor =  $m^2/s$

**b. El factor de transferencia de calor para la carcasa, ( $J_h$ ).**

Se halla en la fig. N° 28, página 943, del libro Donald Q. Kern, Procesos de transferencia de calor. Interceptando el número de Reynolds en la curva.

**c. Mediante la relación: de  $J_h$  se despeja ( $h_o$ )**

$$J_H = \frac{h_o D_e}{k_v} \times \left( \frac{c\mu}{k_v} \right)^{-1/3} \times \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0.14} \quad (5.7)$$

Dónde:


$De$  = diámetro externo del tubo, m

$K_v$  = conductividad térmica del vapor,  $W/m \cdot ^\circ C$

$C_p$  = calor específico del vapor.  $W/kg \cdot ^\circ C$

$\mu, \mu_w$  = viscosidad dinámica del vapor,  $kg/m \cdot h$

**d. Determinación de la resistencia térmica por convección externa,  $Re = m^2 \cdot s \cdot ^\circ C/W$**


$$Re = 1 / h_o$$

(5.8)

### Calculo de la diferencia media logarítmica de temperatura, ( $\Delta T_{ML} = ^\circ C$ )

Para el cálculo de la diferencia media logarítmica de temperatura para el condensador, utilizaremos la siguiente expresión

$$\Delta T_{ML} = \frac{TR}{Ln\left(\frac{ITD}{TTD}\right)} \quad (5.9)$$

Dónde:

$$TR = T_2 - T_1$$

$$ITD = T_s - T_1$$

$$TTD = T_s - T_2$$

TR = Incremento de la temperatura del agua de rio, en  $^\circ C$

ITD = Diferencia de temperatura inicial, es la diferencia entre la temperatura de saturación del vapor y la temperatura de entrada del agua de rio,  $^\circ C$

TTD = Diferencia de temperatura de salida, es la diferencia entre la temperatura de saturación del vapor y la temperatura de salida del agua de rio,  $^\circ C$

### Cálculos en el condensador limpio

a. Calculo del coeficiente total de transferencia de calor limpio.

( $U_{limpio}$ )

$$\frac{1}{U_{limpio}} = R_{conv.int} + R_{cond.} + R_{conv.ext} \quad (5.10)$$


Dónde:

$$U_{limpio} = W / m^2 \cdot ^\circ C$$

$$R_{(resistencia\ termica)} = h.m^2 \cdot ^\circ C / W$$

b. Determinación del área de transferencia de calor limpio, ( $Atc_{limpio} = m^2$ )

Para hallar el área, se realiza mediante la relación:


$$Atc_{limpio} = \frac{Q}{U_{limpio} \times \Delta T_{ML}} = m^2 \quad (5.11)$$

c. Cálculo del número de tubos para el condensador limpio, ( $Nt_{limpio}$ )

$$Nt_{limpio} = \frac{Atc_{limpio} \times N_{pasos}}{\pi \times D_{ext} \times L} \quad (5.12)$$

### Cálculos en el condensador sucio o de funcionamiento

a. Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor sucio.

( $U_{sucio}$ )

Para el diseño del condensador sucio, se deben estimar los factores de ensuciamiento,  $R_{ensuciamiento}$ , (Alan Chapman, Fundamental of Heat Transfer, 1974), cual se debe agregar a las otras resistencias térmicas, cuando se determina el coeficiente global de transferencia sucio, ( $U_{sucio}$ ). Este coeficiente global se halla mediante la siguiente relación:

$$\frac{1}{U_{limpio}} = R_{conv.int} + R_{cond.} + R_{conv.ext} + R_{ensuciamiento} \quad (5.13)$$

b. Determinación del área de transferencia de calor sucio,

( $Atc_{limpio} = m^2$ )

Para hallar el área,  $Atc_{sucio}$  se realiza mediante la relación:

$$Atc_{sucio} = \frac{Q}{U_{sucio} \times \Delta T_{ML}} = \pi e^2 \quad (5.14)$$

c. Cálculo del número de tubos para el condensador sucio,

( $Nt_{sucio}$ )

$$Nt_{sucio} = \frac{Atc_{sucio} \times N_{pasos}}{\pi \times D_{ext} \times L} \quad (5.15)$$



## VI. RESULTADOS

### 6,1 Condensador a diseñar

Se propone diseñar un condensador multitubular de vapor de agua, para un flujo de 5000 kg/h de vapor de agua saturado, el condensador operara a una presión de 10 bares. El vapor entrará al condensador como vapor saturado a la temperatura de 60 °C y la condensación será completa a la temperatura de 45 °C El peso molecular promedio del vapor es 18 g/gmol. La entalpía del vapor saturado es,  $h_g = 2608.8$  kJ/kg y del condensado,  $h_f = 188.44$  kJ/kg. Yunus Cengel., Termodinámica.

El agua de enfriamiento es agua líquida de rio, de peso molecular = 18 g/mol y está disponible a la temperatura de  $T_r = 30$  °C y puede calentarse en un rango máximo de 10 °C. Los estándares de la planta requieren que el condensador contenga tubos de 20 mm de diámetro, (3/4") o.d., 16,8 mm i.d., de 4,8 m (16 pies, BWG) longitud, los tubos son han de latón almirante, los tubos están dispuestos en forma triangular. Los vapores deben condensarse totalmente y no se requiere un sistema de su enfriamiento.

El condensador será de tubos y carcasa de forma horizontal, un paso por el casco y 4 pasos por los tubos, donde el vapor circula por el casco y el vapor se condensara en la superficie exterior de los tubos, por los tubos fluirá el agua de enfriamiento. Solamente se realizara el diseño térmico. Las propiedades físicas del vapor de agua serán tomadas a la temperatura promedio. .

### 6.2 Diseño del condensador, Cálculos

#### 6.2.1 Calculo del calor transferido desde el vapor, ( $Q = W$ ):



$$Q = m_v(kg/h) \times (h_g - h_f)(Kj/kg)$$

$$Q = \frac{5000kg/h}{3600s/h} \times (2608.8 - 188.44) Kj/kg = 3361,61Kw$$

### 6.2.2 Determinación del flujo másico agua de enfriamiento, (mf)

$$m_f = \frac{Q (Kj/s)}{C_p(kj/kg \cdot ^\circ C) \times (T_{fs} - T_{fe})^\circ C} = \frac{3361,61}{4,180 \times (40 - 30)}$$

$$m_f = 80,42 kg/s$$

### 6.2.3 Calculo del coeficiente total de transferencia de calor, (U)

En la determinación del coeficiente de transferencia de calor primeramente se asumirá un valor, y luego por el método de ensayo y error (método iterativo), se calculara el valor verdadero, Para este caso se asumirá el valor,  $U = 1500 W/m^2 \cdot ^\circ C$

### 6.2.4 Calculo de la Diferencia media de temperatura, $\Delta T_T$

Siendo la condensación del vapor un valor pequeño y además el cambio en la temperatura de saturación debe ser lineal, se puede usarse la diferencia de temperatura media logarítmica y el factor de corrección de temperaturas, para determinar la  $\Delta T_T$  de temperaturas. Alan Chaman, Fundamento de Transferencia de Calor.



$$\Delta T_T = \Delta T_{ML} \times F_T$$

Donde:

$\Delta T_{ML}$  = diferencia media logarit. de temperatura

$F_T$  = factor de correccion de temperatura

$$\Delta T_{ML} = \frac{(T_{c1} - T_{f2}) - (T_{c2} - T_{f1})}{\ln \frac{(T_{c1} - T_{f2})}{(T_{c2} - T_{f1})}} = \frac{(60 - 40) - (45 - 30)}{\ln \frac{(60 - 40)}{(45 - 30)}} =$$

$$\Delta T_{ML} = 17,4^\circ C$$

El factor de corrección de temperaturas, ( $F_t$ ) se determina gráficamente en función de la razón de efectividad ( $P$ ) y la razón de capacidad, ( $R$ ) en la figura N° 10.13.pag 597, Alan Chapman, Fundamentals of Heat Transfer, 1987.

$$P = \frac{T_{f2} - T_{f1}}{T_{c1} - T_{f1}} = \frac{40 - 30}{60 - 30} = 0,33$$

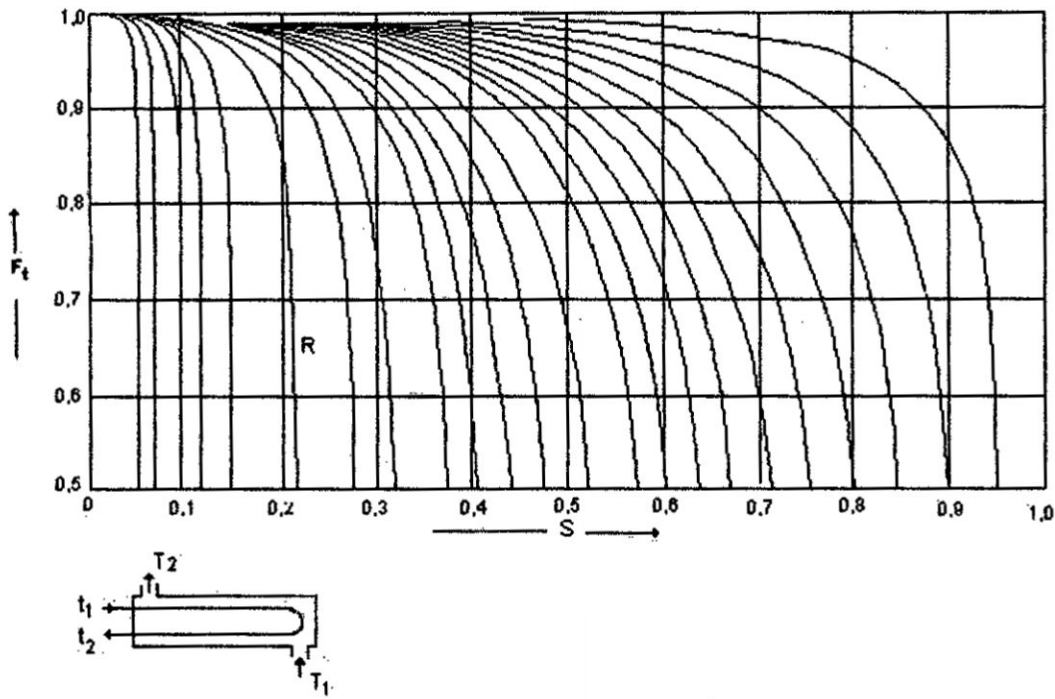
$$R = \frac{T_{c1} - T_{c2}}{T_{f2} - T_{f1}} = \frac{60 - 45}{40 - 30} = 1,5$$

$$F_T = 0,92$$



Figura N° 1

Factor de corrección de temperatura: 1 paso en el lado del casco y  
2 o más pasos en el lado de los tubos



Fuente: Alan J. Chapman, Fundamentals of Heat Transfer.

$$\text{Por lo tanto: } \Delta T_T = \Delta T_{ML} \times F_T$$
$$\Delta T_T = 17,4 \times 0,92 = 16 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### 6.2.5 Cálculo del Área de transferencia de calor (supuesta)

$$Q = U \times A \times \Delta T_{ML} \times F_T \rightarrow A = \frac{Q}{U \times \Delta T_{ML} \times F_T}$$
$$A = \frac{3361,61 \text{ Kw}}{1,500 \times 16} = 140,067 \text{ m}^2$$



### 6.2.6 Características de los tubos, de ¾"OD

$$\text{Área superficial de un tubo} = 20 \times 10^{-3} \pi \times 4,88 = 0,305 \text{ m}^2$$

### 6.2.7 Número de tubos

$$N_t = 140,067 / 0.305 = 459.25 \text{ asumiendo} = 460 \text{ tubos}$$

### 6.2.8 Condensador supuesto

Condensador de carcasa y tubos, con  $N_t = 460$  tubos

Se usara arreglo en línea (cuadrado), con  $P_t = 1,25 \times 20 \text{ mm} = 25 \text{ mm}$

### 6.2.9 Calculo del diámetro del haz de tubos, $D_b$

Generalmente el diámetro del haz de tubos depende del número de tubos, y de la distribución. Una forma de calcular el diámetro del haz de tubos ( $D_b$ ), se puede obtener con la ecuación (5.3b), la cual es una ecuación empírica basada en distribuciones estándar de tubos. Las constantes para usarlas en esta ecuación, para arreglos triangular y cuadrado están dadas en la tabla N° 5.3.

$$D_b = OD \left( \frac{N_t}{kl} \right)^{1/\alpha} \quad (5.3b)$$
$$D_b = 20 \times \left( \frac{460}{0.158} \right)^{1/2,263} = 678.86 \rightarrow 679 \text{ mm}$$

Dónde:



$N_t$  = número de tubos

Db = diámetro del haz de tubos  
 OD = diámetro exterior de los tubos, mm.  
 KI y  $\alpha$ , se determinan en la tabla 5.3

**TABLA N° 5.1**

Constantes para uso en ecuación N° 5.3

Arreglo triangular,  $P_t = 1,25 OD$

No. De pasos	1	2	4	6	8
$K_I$	0,319	0,249	0,175	0,0743	0,0365
$\alpha$	2,142	2,207	2,285	2,499	2,675

Arreglo cuadrado,  $P_t = 1,25 OD$

No. De pasos	1	2	4	6	8
$K_I$	0,215	0,156	0,158	0,0402	0,0331
$\alpha$	2,207	2,291	2,263	2,617	2,643

Fuente: Luis Moncada Albites, Diseño de Plantas de procesos Químicos

### 6.2.10 Numero de tubos en la fila central, (Nr)

$$Nr = \frac{Db}{P_t} = \frac{679}{25} = 27 - 16 \rightarrow 27$$

### 6.2.11 Calculo del coeficiente de película de transferencia de transferencia de calor por convección, en el lado del tubo interior, ( $h_i = W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

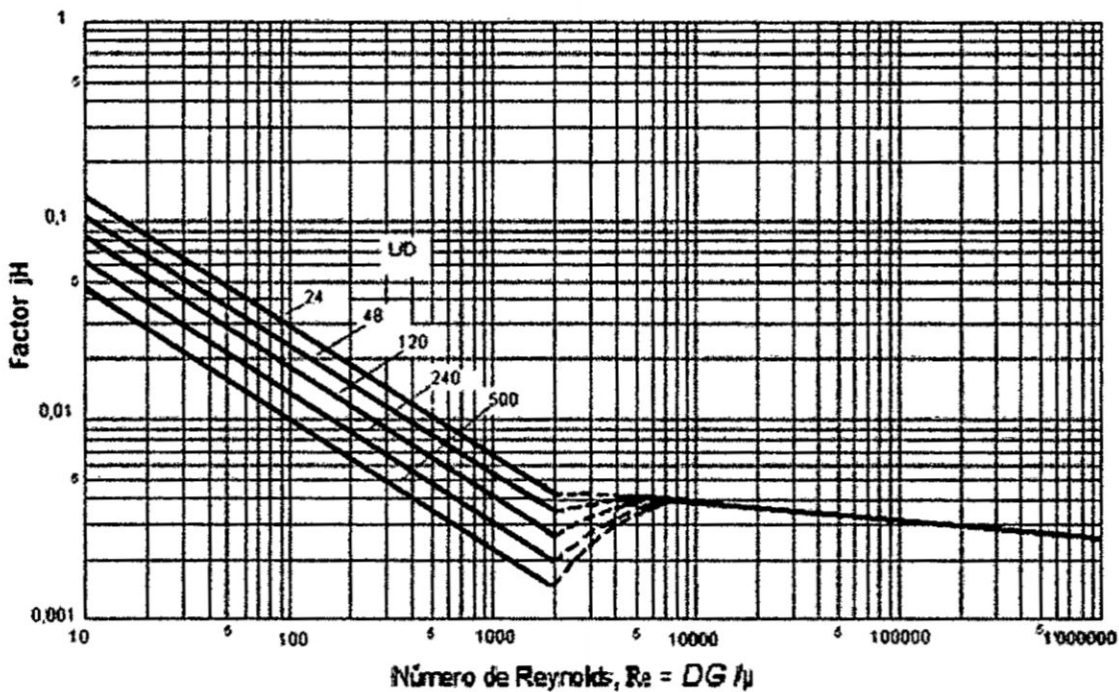


- a. Para el fluido que circula por el tubo interior, el coeficiente de película ( $h_i$ ), ha sido estudiado por Sieder y Tate, y está representado en la Fig. 5.16, en la cual se determina el coeficiente de película a partir del factor  $J_H$  de Colburn el mismo que es función del número de Reynolds  $Re$  para el fluido y  $L/D$ .

$$h = J_H \times \left( \frac{k}{D_i} \right) \times Re \times \left( \frac{C_p \times \mu}{k} \right)^{1/3} \times \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

Figura N° 2

Grafica para determinar el coeficiente de película para los tubos



Fuente: Donald Q. Kern, Procesos de Transferencia de Calor

Este coeficiente pelicular interior realizado mediante la Fig. 5.16, también puede realizarse con la ecuación siguiente que ha sido adaptada a partir de datos dados por Eagle y Ferguson (1930).

$$hi = 4200 \times (1,35 + 0,02T) \times \left( \frac{v_t^{0,8}}{d_i^{0,2}} \right) \quad (5.13)$$

Dónde:

T = temperatura media del agua, ° C.

$v_t$  = velocidad del agua, m/s.

$d_i$  = diámetro del tubo interior

- b. Determinación del área de sección transversal del tubo, ( $A_t = m^2$ )

$$A_t = \frac{\pi}{4} \times (16,8 \times 10^{-3})^2 \times \left( \frac{460}{4} \right) = 0.02549$$

- c. Calculo de la velocidad del agua en el tubo. ( $v_t = m/s$ )

$$v_t = \frac{m}{\rho \times A_t} = \frac{80.42}{993 \times 0.02549} = 3.177 m/s$$

- d. Densidad del agua a 35 °C,

$$\rho = 993 \text{ kg/m}^3$$

- e. Reemplazando valores en la ecuación. 5.13, se tiene ,  $hi$

f.

$$hi = 4200 \times (1,35 + 0,02 \times 35) \times \left( \frac{3.177^{0,8}}{16,8_i^{0,2}} \right)$$

$$hi = 12345.81 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

### 6.2.12 Calculo del coeficiente de transferencia de calor por convección, en el lado de la carcasa, fluido caliente exterior, ( $hc = W/m^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )

- a. Para el cálculo del coeficiente promedio en un haz de tubos se puede utilizar el método de Donald Kern, mediante la ecuación

$$hc = 0.95 \times k_L \times \left( \frac{\rho_L \times (\rho_L - \rho_v) \times g}{\mu_L \times \Gamma_h} \right)^{1/3} \times Nr^{-1/6} \quad (5.47).$$



- b. Para el uso de la ecuación se debe determinar:  $T_w$ , las propiedades del condensado, tal como procedemos a continuación
- c. Determinación de la Temperatura de la pared del tubo, ( $T_w = ^\circ C$ ), el fluido caliente, que fluye por el exterior de los tubos, mediante la (ecuación:

$$T_w = t + \frac{h_o}{h_i \left( \frac{A_i}{A_o} \right) + h_o} \times (T - t) \quad (5.56)$$

- d. Calculo de la temperatura media del fluido caliente, ( $T_m = ^\circ C$ ), y temperatura media del fluido frio. ( $t_m = ^\circ C$ )

$$T_m = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{60 + 45}{2} = 52,5 \text{ } ^\circ C$$

$$t_m = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{40 + 30}{2} = 35 \text{ } ^\circ C$$

- e. Asumiendo un coeficiente de condensación,  $U_c = 1500 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ C$
- f. Para una relación de áreas en función de los diámetros, se tiene:

$$\frac{A_i}{A_o} = \frac{(D_i)^2}{(D_o)^2} = \frac{(16,8)^2}{(20)^2} = 0.7056$$

- g. Reemplazando en la ecuación N° 5,56, para determinar la Temperatura de la pared del tubo, ( $T_w$ )

$$T_w = 35 + \frac{1500}{12346.81 \times \left( \frac{(16,8)^2}{(20)^2} \right) + 1500} \times (52.5 - 35) =$$

$$T_w = 37.57^\circ C$$

- h. Calculo de la temperatura media del condensado, ( $t_f = ^\circ C$ )

$$t_f = \frac{T + t}{2} = \frac{52,5 + 35,441}{2} = 43,97 \text{ } ^\circ C \rightarrow 45^\circ C$$

A esta temperatura se determina las propiedades del condensado:



$$\mu_l = 0,596 \times 10^{-3} \text{ kg / m} \times \text{s}$$

$$\rho_l = 990,1 \text{ kg / m}^3$$

$$k_l = 0,637 \text{ kw / m} \times \text{K}$$

- i. Cálculo de la densidad del vapor a la temperatura media

$$\rho_l = \frac{PM \times T_o \times P_1}{V_o \times T_1 \times P_o} = \frac{18 \times 273 \times 10}{22,4 \times (273 + 52,5) \times 1} = 6,7396 \text{ kg / m}^3$$

- j. Carga de condensación lineal

$$\Gamma_b = \frac{W_c}{L \times N_t} = \frac{5000}{3600 \times 4,8 \times 460} = 6,29 \times 10^{-4} \text{ kg / s} \times \text{m}$$

- k. Cálculo de Nr, número de tubos en una fila vertical

$$Nr = \frac{2}{3} \times 27 = 18 \text{ tubos}$$

- i. Reemplazando los datos en la ecuación N° 5.47, ha es:

$$hc = 0,95 \times 0,637 \times \left( \frac{990,1 \times (990,1 - 6,7396) \times 9,8}{0,596 \times 74,28 \times 10^{-3} \times 6,29 \times 10^{-4}} \right)^{1/3} \times 18^{-1/6} =$$

$$hc = 2615,77 \text{ w / m}^2 \cdot \text{°C}$$

### 6.2.13 Cálculo del coeficiente total de transferencia de calor, U = W/m<sup>2</sup>.°C, mediante la ecuación N° 5.13

La resistencia a la incrustación, como los dos fluidos son limpios se puede usar el valor de Rd = (0,000167 W/m<sup>2</sup>.°C)<sup>-1</sup>, tanto interno como externo.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{2615,77} + 0,000167 + \frac{20 \times 10^{-3} \times \ln\left(\frac{20}{16,8}\right)}{2 \times 50} + \frac{20}{16,8} \times 0,000167 + \frac{20 \times 1}{16,8 \times 12345,81}$$

$$U = 1137,27 \text{ W / m}^2 \cdot \text{°C}$$

Como el coeficiente total de transferencia de calor es diferente al valor supuesto, de U = 1500 W/m<sup>2</sup>.°C, se tiene que hacer cálculos iterativos, hasta encontrar que la diferencia sea por lo menos casi igual.



### 6.3 Primera iteración.

#### 6.3.1 Coeficiente de transferencia de calor (U)

$$U = 1350 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

#### 6.3.2 Cálculo del área supuesta, $A = \text{m}^2$

$$Q = m_v (\text{kg/h}) \times (h_g - h_f) (\text{Kj/kg})$$

$$Q = U \times A \times \Delta T_{ML} \times F_T \rightarrow A = \frac{Q}{U \times \Delta T_{ML} \times F_T}$$

$$A = \frac{3361,61 \text{ Kw}}{1350 \times 16} = 155.63 \text{ m}^2$$

#### 6.3.3 Cálculo del número de tubos ( $N_t$ )

$$\text{Número de tubos, } N_t = 155.63 / 0.305 = 510.3$$

Asumiendo  $N_t = 510$  tubos

#### 6.3.4 Determinación del diámetro del haz de tubos, ( $Db$ )

$$Db = OD \left( \frac{N_t}{kl} \right)^{1/\alpha}$$

$$Db = 20 \times \left( \frac{510}{0.158} \right)^{1/2.263} = 710.5 \rightarrow 711 \text{ mm}$$

#### 6.3.5 Cálculo de tubos en la fila central

$$Nr = \frac{Db}{Pt} = \frac{711}{25} = 28.4$$

#### 6.3.6 Cálculo de la velocidad en el tubo ( $V_t$ )

$$v_t = \frac{v_i \times N_{ti}}{N_t} =$$

$$v_t = \frac{3.177 \times 510}{460} = 3.522$$

$$v_t = 3.522 \text{ m/s}$$

#### 6.3.7 Cálculo del coeficiente para agua puede realizarse mediante la Fig. N° 5.16, también puede realizarse mediante la ecuación siguiente que ha sido adaptada a partir de datos dados por Eagle y Ferguson

(1930).



$$hi = 4200 \times (1,35 + 0,02T) \times \left( \frac{v_t^{0,8}}{d_i^{0,2}} \right)$$

$$hi = 4200 \times (1,35 + 0,02 \times 35) \times \left( \frac{3,522^{0,8}}{16,8^{0,2}} \right)$$

$$hi = 9190.43 \text{ W/}$$

### 6.3.8 Carga de condensación lineal $\Gamma_b$

$$\Gamma_b = \frac{W_c}{L \times Nr} = \frac{5000}{3600 \times 4,8 \times 510} = 5.673 \times 10^{-4} \text{ kg / s} \times \text{m}$$

### 6.3.9 Calculo de Nr, numero de tubos en una fila vertical

$$Nr = \frac{2}{3} \times 28 = 18.66 \text{ tubos} \rightarrow 19 \text{ tubos}$$

### 6.3.10 Calculo de coeficiente de película de condensación ( $hc$ )

$$hc = 0.95 \times 0,637 \times \left( \frac{990,1 \times (990,1 - 6,7396) \times 9.8}{0,596 \times 74.28 \times 10^{-3} \times 5.673 \times 10^{-4}} \right)^{1/3} \times 19^{-1/6} =$$

$$hc = 2683.076 \text{ w / m}^2 \cdot \text{°C}$$

### 6.3.11 Determinación del coeficiente Total de transferencia de calor, ( $U = \text{W/m}^2 \cdot \text{°C}$ )

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{2683.076} + 0,000167 + \frac{20 \times 10^{-3} \times \ln\left(\frac{20}{16,8}\right)}{2 \times 50} + \frac{20}{16.8} \times 0,000167 + \frac{20 \times 1}{16,8 \times 9190.43} 11$$

$$U = 1106.79 \text{ W / m}^2 \cdot \text{°C}$$

El coeficiente total de transferencia de calor calculado es diferente al valor supuesto, de  $U = 1600 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$ , se tiene que hacer otro cálculo iterativos, hasta encontrar que la diferencia sea por lo menos casi igual.





## 6.4 Segunda Iteración

6.4.1 Repitiendo los cálculos usando un nuevo valor supuesto del valor del coeficiente total de transferencia de calor,  $U = 1250 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

6.4.2 Cálculo del área supuesta, ( $A = \text{m}^2$ )

$$Q = U \times A \times \Delta T_{ML} \times F_T \rightarrow A = \frac{Q}{U \times \Delta T_{ML} \times F_T}$$
$$A = \frac{3361,61 \text{ Kw}}{1250 \times 16} = 168 \text{ m}^2$$

6.4.3 Cálculo del número de tubos, ( $N_t$ )

$$\text{Número de tubos, } N_t = 168 / 0.305 = 550$$

Asumiendo = 550 tubos

6.4.4 Determinación del diámetro del haz de tubos, ( $Db$ )

$$Db = OD \left( \frac{N_t}{kl} \right)^{1/4}$$
$$Db = 20 \times \left( \frac{550}{0.158} \right)^{1/4,263} = 735.13 \rightarrow 735 \text{ m}$$

6.4.5 Cálculo de la velocidad en el tubo ( $V_t$ )

$$v_t = \frac{v_i \times N_{ti}}{N_t} =$$
$$v_t = \frac{3.177 \times 550}{460} = 3.679$$
$$v_t = 3.679 \text{ m/s}$$

6.4.6 Cálculo del coeficiente de película de transferencia de calor ( $h_i$ )

Puede realizarse mediante la Fig. N° 5.16, también puede realizarse mediante la ecuación siguiente que ha sido adaptada a partir de datos dados por Eagle y Ferguson (1930).

$$h_i = 4200 \times (1,35 + 0,02T) \times \left( \frac{v_t^{0,8}}{d_i^{0,2}} \right)$$

$$h_i = 4200 \times (1,35 + 0,02 \times 35) \times \left( \frac{3.679^{0,8}}{16,8_i^{0,2}} \right)$$

$$h_i = 13884.33 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

6.4.7 Numero de tubos en la fila central. (Nr)

$$Nr = \frac{Db}{Pt} = \frac{735}{25} = 29.4$$

6.4.8. Carga de condensación lineal  $\Gamma_b$

$$\Gamma_b = \frac{W_c}{L \times N_t} = \frac{5000}{3600 \times 4,8 \times 550} = 5.2609 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \times \text{m}$$

6.4.9. Calculo de Nr, numero de tubos en una fila vertical

$$Nr = \frac{2}{3} \times 29 = 19.33 \text{ tubos} \rightarrow 19 \text{ tubos}$$

6.4.10 Calculo de coeficiente de película de condensación (hc)

$$hc = 0.95 \times 0,637 \times \left( \frac{990,1 \times (990,1 - 6,7396) \times 9.8}{0,596 \times 74.28 \times 10^{-3} \times 5.2609 \times 10^{-4}} \right)^{1/3} \times 19^{-1/6} =$$

$$hc = 2746.32 \text{ w/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

6.4.11. Determinación del coeficiente Total de transferencia de calor, (U = W/m<sup>2</sup>·°C)

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{2481.38} + 0,000167 + \frac{20 \times 10^{-3} \times \ln\left(\frac{20}{16,8}\right)}{2 \times 50} + \frac{20}{16.8} \times 0,000167 + \frac{20 \times 1}{16,8 \times 11651.64}$$

$$U = 936.1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Como el coeficiente total de transferencia de calor es diferente al valor supuesto, de  $U = 1250 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , se tiene que hacer otros cálculos iterativos, hasta encontrar que la diferencia sea por lo menos casi igual.



## 6.5 Tercera iteración

6.5.1 Asumiendo un coeficiente total de transferencia de calor,  $U = 1090$   $W/m^2 \cdot ^\circ C$

6.5.2 Cálculo del área supuesta,  $A = m^2$

$$Q = U \times A \times \Delta T_{ML} \times F_T \rightarrow A = \frac{Q}{U \times \Delta T_{ML} \times F_T}$$

$$A = \frac{3361,61 Kw}{1090 \times 16} = 192,75 m^2$$

6.5.3 Número de tubos,  $N_t = 192,75 / 0,305 = 631,97$

Asumiendo = 632 tubos

6.5.4 Determinación del diámetro del haz de tubos, (Db)

$$Db = OD \left( \frac{N_t}{kl} \right)^{1/\alpha}$$

$$Db = 20 \times \left( \frac{632}{0,158} \right)^{1/2,263} = 781,17 \rightarrow 782 \text{ mm}$$

6.5.5 Cálculo de la velocidad en el tubo (vt)

$$vt = \frac{vi \times N_{ti}}{N_t} =$$

$$vt = \frac{3,177 \times 632}{460} = 4,364$$

$$vt = 4,364 \text{ m/s}$$

6.5.6 Cálculo del coeficiente para agua puede realizarse mediante la Fig. 5.16, también puede realizarse mediante la ecuación siguiente que ha sido adaptada a partir de datos dados por Eagle y Ferguson (1930).



$$h_i = 4200 \times (1,35 + 0,02 \times 35) \times \left( \frac{4.364^{0,8}}{16,8_i^{0,2}} \right)$$

$$h_i = 10239.18 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

### 6.6.7 Numero de tubos en la fila central. (Nr)

$$Nr = \frac{Db}{Pt} = \frac{782}{25} = 31.28$$

### 6.5.8 Carga de condensación lineal $\Gamma_b$

$$\Gamma_b = \frac{W_c}{L \times Nt} = \frac{5000}{3600 \times 4,8 \times 632} = 4.578 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \times m$$

### 6.5.9 Calculo de Nr, numero de tubos en una fila vertical

$$Nr = \frac{2}{3} \times 31 = 20.66 \text{ tubos} \rightarrow 21 \text{ tubos}$$

### 6.5.10 Calculo de coeficiente de película de condensación (hc)2

$$hc = 0.95 \times 0,637 \times \left( \frac{990,1 \times (990,1 - 6,7396) \times 9.8}{0,596 \times 74.28 \times 10^{-3} \times 4.578 \times 10^{-4}} \right)^{1/3} \times 21^{-1/6} =$$

$$hc = 2834.22 \text{ w/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

### 6.5.11 Determinación del coeficiente Total de transferencia de calor, (U = W/m2.°C)

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{2834.22} + 0,000167 + \frac{20 \times 10^{-3} \times \ln\left(\frac{20}{16,8}\right)}{2 \times 50} + \frac{20}{16.8} \times 0,000167 + \frac{20 \times 1}{16,8 \times 10239.18}$$

$$U = 1149.64 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$



Como el coeficiente total de transferencia de calor,  $U$  la variación no es mucha se puede considerar en valor de  $U = 1149.64 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , como el valor adecuado para el condensador diseñado.

## 6.6 Calculo de la Caída de presión en el condensador

**Se calculara la caída de presión por el método de fases simples y aplicar un factor de corrección por el cambio de velocidad del vapor en el condensador. Esta caída de presión que se determina usando la velocidad promedio del vapor ya sea en el lado de la carcasa o en los tubos y también en consideración a los perfiles de temperatura.**

### 6.6.1 Calculo de la caída de presión en la carcasa.

En el cálculo de la caída de presión para el lado de la carcasa, se considera que las juntas son de cabeza flotante, también se usara que la entradas entre pantallas es igual al diámetro de la carcasa.

En la determinación de la caída de presión se usara el método propuesto por Donald Kern, Libro de Procesos de Transferencia de Calor, Decima novena impresión, año 1965. Compañía Editorial Continental México.

Para determinar la caída de presión se procede de la siguiente forma:

- a. De la figura N° 8, se determina el espaciado (luz) es de = 95 mm.
- b. Diámetro de la carcasa =  $752 + 95 = 748 \text{ mm}$

Según TEMA, para intercambiadores de dimensiones, el área de sección transversal de flujo, (as) se determina mediante la ecuación:



$$a_s = \frac{D_s \times C \times B}{P_s}$$

5.38

**Dónde:**

$D_s$  = diametro del casco, mm

$P_t$  = distancia entre centro de tubos, mm

$C$  = distancia entre tubos: mm.

Referencia, Tabla N° 4, Apendice

$B$  = distancia entre , pantalla, mm

$$D_s = 752 + 90 = 814 \text{ mm}$$

$$a_s = \frac{D_s \times C \times B}{P_s} = \frac{(25 - 20)}{25} \times 814 \times 814 \times 10^{-6}$$

$$a_s = 0.1325 \text{ m}^2$$

**c. Calculo de la velocidad másica, Gs**

$$G_s = \frac{mv}{a_s} = \frac{5000 \text{ kg} / \text{h} \times 1 \text{ h} / 3600 \text{ s}}{0.1325 \text{ m}^2} = 10.4821 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

**d. Determinación del diámetro equivalente.  $D_e = m$**

$$D_e = \frac{1.27}{d_o} \times (P_t^2 - 0.785 \times d_o^2) = \frac{1.27}{20} \times (25^2 - 0.785 \times 20^2)$$

$$D_e = 19.8 \text{ mm}$$

**e. La viscosidad del vapor de agua a la temperatura de 60 °C es: 0.01 cent poise. Tomado de la Fig. N° 15. Libro de Donald Kern, p. 930.**

**f. Hallando la velocidad másica,  $G_s = \text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$**



$$G_s = \frac{mv}{as} = \frac{5000 \text{ kg/h} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}}{0.1325 \text{ m}^2} = 10.4821 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

g. Hallando el Número de Reynolds.

$$Re_s = \frac{De \times G_s}{\mu} = \frac{19.8 \times 10^{-3} \text{ m} \times 10.4821 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}{0.001 \text{ cp} \times \frac{1 \text{ poise}}{100 \text{ cp}} \times \frac{0.1 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}{1 \text{ poise}}} = 207545.58$$

h. Calculo del factor de fricción para el lado de la carcasa, ver la figura N° 29, libro de Donald kern, procesos de Transferencia de calor, p 944. Ver anexo N°

$$f = 0.0012$$

i. Determinación del número de cruces

$$N+1 = 3$$

j. Peso molecular del vapor de agua. PM = 18 g/mol

k. Densidad del vapor de agua,  $\rho = \text{kg/m}^3$

$$\rho = \frac{1 \text{ Kmol} \times (18 \text{ Kg} / \text{Kmol}) \times 10 \text{ bar} \times 0.9869 \text{ atm}}{22.4 \text{ m}^3 \times (333 \text{ K} / 273 \text{ K}) \times 1 \text{ atm} \times 1 \text{ bar}} =$$

$$\rho = 6.50 \text{ kg} / \text{m}^3$$

j. Calculo de la velocidad del vapor.  $V = \text{m/s}$  (fluido que fluye por la carcasa)

$$v_s = \frac{G_s \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}}{\rho_s \text{ kg/m}^3} = \frac{10.4821}{6.50} = 1.612 \text{ m} / \text{s}$$

k. La caída de presión para el lado de la carcasa se puede determinar mediante la siguiente ecuación: N° 5.44, Donald Kern, Procesos de Transferencia de Calor, o mediante la fig. N°

29



$$\Delta P_s = 8f(D_s / de)(L / B)(\mu / \mu_{\frac{\delta y}{\delta x}})^{-0.14} \times \frac{\rho v_s^2}{2}$$

$$\Delta P_s = \left[ 8 \times 0.0012 \times \left( \frac{748}{19.8} \right) \times \left( \frac{4.88}{0.748} \right) \times \left( \frac{6.5 \times (1.612)^2}{2} \right) \right] =$$

$$\Delta P_s = 19.98 Pa$$

### 6.6.2 Determinación de la caída de presión para el lado de los tubos, $\Delta P_t$

La caída de presión por el lado de los tubos se puede determinar mediante la siguiente ecuación, Donald Kern, Procesos de transferencia de Calor:

$$\Delta P_t = N_p \times \left[ 8f \times \left( \frac{L}{D_t} \right) \times \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-m} + 2.5 \right] \times \frac{\rho \times v_t^2}{2} \quad 5.43$$

Dónde:

$\Delta P_t$  = caída de presión por el lado de los tubos, N/m<sup>2</sup>

$N_p$  = número de pasos por los tubos

$L$  = longitud de los tubos, m

$V_t$  = velocidad del fluido en los tubos, m/s

#### a. Viscosidad del agua

$$\mu = 0.6 \times 10^{-3} N \times s / m^2$$

#### b. Cálculo del número de Reynolds, N°Re

$$N^\circ Re = \frac{v \times \rho \times Dt}{\nu} = \frac{4.364 \times 993 \times 16.8 \times 10^{-3}}{0.6 \times 10^{-3}} = 121334.656$$

*18*



- c. De la figura N° 26, se determina el factor de fricción, (f), Donald Kern, Procesos de Transferencia de Calor. Ver figura del anexo N°

$$f = 0.0028$$

- d. Reemplazando en la ecuación N° 5.43

$$\Delta P_f = 4 \left[ 8 \times 0.0028 \times \left( \frac{4.88}{16.8 \times 10^{-3}} \right) + 2.5 \right] \times \frac{993 \times 4.364^2}{2}$$

$$\Delta P_f = 340653.47 Pa = 340.65 KPa$$

## 6.7 Cálculo de la eficiencia del condensador.

Mediante la fórmula:

$$\eta = 1 - \exp^{-NTU}$$

$$NTU = \frac{U \times A}{m_{agua} \times C_{p_{agua}}} = \frac{1149.64 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \times 192.75 m^2}{80.42 \frac{kg}{s} \times 4180 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}}$$

$$NTU = 0.659$$

$$\eta = 1 - \exp^{-0.659} = 0.482$$

*B*

## VI. DISCUSION DE RESULTADOS

De los cálculos realizados en el Capítulo N° VI, se tienen los siguientes resultados de las variables del diseño del condensador multitubular de vapor de agua, tal como se muestra en la Tabla N° 6.1

Tabla N° 7.1

**Resumen de los resultados obtenidos de las variables del diseño del condensador multitubular de vapor de agua.**

Cantidad de calor transferido, Q	3361.61 KW
Coefficiente de película transferencia. calor , para el fluido interior, $h_i$	10239.18 W/m <sup>2</sup> -°C
Coefficiente de transferencia. calor para el vapor $h_c$ ,	2834.22 W/m <sup>2</sup> .°C
Coefficiente de Total de transferencia de calor, U	1149.64 W/m <sup>2</sup> -°C
Área de transferencia calor, A	192.75 m <sup>2</sup>
Numero tubos, Nt	682 tubos
Caída de presión , coraza , $\Delta P_c$	0.019.98 KPa
Caída de presión por los tubos, $\Delta P_t$	340.65 KPa <sub>5</sub>
Eficiencia, $\eta$	0.482 %



- De acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar que las cantidades de calor que se transfieren no son altas.
- Los coeficientes de transferencia de calor por convección tanto interno, ( $h_i$ ), como el exterior, ( $h_c$ ), y el coeficiente global, ( $U$ ), de los tubos son valores un poco altos.
- El área de transferencia de calor, ( $A = 178 \text{ m}^2$ ), es un valor aceptable para las dimensiones de este condensador.
- Las caídas de presión tanto para los tubos, ( $\Delta P_t = 53 \text{ KPa}$ ), y el lado de carcasa, ( $\Delta P_c = 1,3 \text{ KPa}$ ), son valores aceptables de acuerdo a los valores permisibles.



## VIII. REFERENCIALES

1. Aguarán Duarte, Omar C. y Martínez Barrios Diana Milena, Diseño y construcción de una mini caldera piro tubular, para el Laboratorio de Transferencia de Calor, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga 2008.
2. Aguirre Chinchullo Kresly Carlota, Diseño de un condensador barométrico tipo bandeja perforada sencilla para un sistema de evaporación.
3. Çengel Yunus A., Transferencia de calor. Editorial McGraw – Hill/ Interamericana. Segunda edición. Impreso en México, 2004.
4. Chapman Alan J., Fundamentals de Heat Transfer. Editorial Macmillan Publishing Company. Printed in the United Status of America, 1987.
5. Espinoza José y Gómez Augusto, Proceso y manufactura de una caldera piro tubular, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 1984
6. Holman J. P., Transferencia de calor. Editorial McGraw – Hill / Interamericana de España S. A. U. Octava Edición, Impreso en España, 1998
7. Kern Donald Q., Procesos de transferencia de calor. CIA. Editorial Continental. S.A. de C. V. Edición Décimo Novena, México, 1986.
8. Kreith Frank, Mark S. Bohn, Principios de transferencia de calor. Editorial Thomson Learning. Sexta edición. Impreso en México, 2001
9. Lienhard John H and John H. Lienhard Published by Phlogiston Press, Cambridge, Massachetts, U. S. A. Third Edition. 2002.



10. Manrique Valadez José Ángel, Transferencia de calor. Editorial Oxford University Press, Segunda edición. Impreso en México, 2002.
11. Mills Anthony F, Transferencia de calor, Editorial McGraw – Hill / Irwin. Impreso en Colombia 1994.
12. Orona Salas Fausto J. "Evaluación térmica del condensador principal de una unidad de 160 MW de la central termoeléctrica, Tesis
13. Rules Martínez Pedro, España, 2000, Condensadores, Departamento de Mecánica de fluidos, Termotecnia y Física de la Escuela Universitaria de ingeniería Técnica Industrial Barcelona.
14. Shield Carl, Calderas, tipos, características y sus funciones, Compañía Editorial Continental S.A. México 1978.
15. Spigel Murria R., Fórmulas y tablas de Matemática Aplicada. Editorial McGraw – Hill / Interamericana de España S. A. U. Segunda Edición, Impreso en España, 2005
16. Turiel Casado Vanesa, Madrid 2011, "diseño y montaje de un condensador de vapor Down Flow para una central térmica de ciclo combinado".
17. Welty J.R, C.E. Wicks, R.E. Wilson, Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa. Editorial Limusa S. A. de C.V. Primera Edición Impreso en México 1982



## IX. APÉNCIDE

### 9.1 DEFINICIONES DE LA TERMINOLOGÍA

Diseño, consiste en forma a un objeto, sus características o cualidades, su volumen capacidad cualidades, su volumen, capacidad.

**Condensador**, sistema de refrigeración, se utiliza para ceder al medio ambiente exterior todo el calor absorbido por el sistema.

**Fluidos frigoríficos**, Son fluidos encargados de transportar y ceder en el condensador todo el calor que previamente ha tomado del sistema.

**Condensación**, es el cambio de estado de la fase vapor a la fase líquido de un vapor puro.

**Adiabático**, sistema que no gana ni cede energía a los alrededores.

**Bomba**, equipo mecánico que eleva, transporta fluidos,

**Calor**, Manifestación de la energía que los sistemas o cuerpos poseen.

**Calor latente**, cantidad de energía que un sistema posee mientras cambia de estado.

**Eficacia**, capacidad de un equipo al realizar la función para las cual fue diseñado.

**Eficiencia**, Relación entre los insumos consumidos por el condensador, agua, vapor y el producto obtenido.

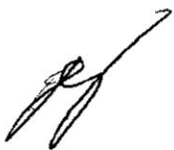
**Refrigerante**, fluido utilizado para disminuir la temperatura de otro sistema o fluido.



## **X. ANEXOS**

### **Anexo 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**: "DISEÑO DE UN CONDENSADOR MULTITUBULAR DEL VAPOR DE AGUA"**



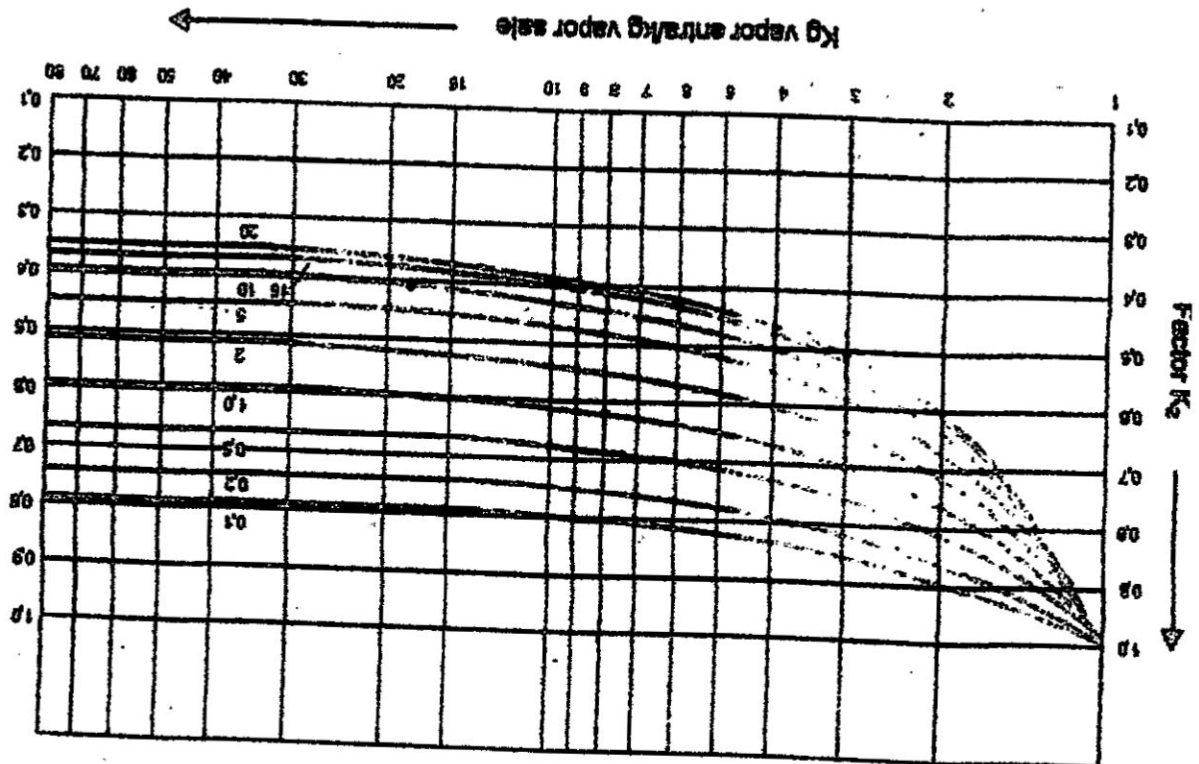
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	METODOLOGÍA
<p>¿Cómo se diseñará un condensador multitubular de vapor de agua de una planta química</p>	<p>Diseñar un condensador multitubular de vapor de agua.</p>	<p>Es posible diseñar un condensador multitubular de vapor de agua de forma horizontal o vertical afín de seleccionar el de mejores características</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Seleccionar el condensador multitubular, Determinar las variables de diseño.</li> <li>- Se utilizara información científica relevante, para cuantificar los indicadores de las principales variables,</li> <li>- Para diseñar el condensador multitubular se aplicara los fundamentos de intercambiadores de calor de tubos y carcasa.</li> </ul>
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	Variable dependiente
<p>¿Cuáles son las informaciones o fuentes disponibles para analizar del proceso de condensación del vapor de agua)?</p> <p>¿Cómo y con qué ecuaciones se aplicará en el diseño del condensador multitubular, de vapor de agua, de forma horizontal y vertical?</p> <p>¿Qué parámetros se han de calcular y analizar de los condensadores multitubulares de vapor de agua de forma horizontal y vertical a fin de seleccionar el más adecuado?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analizar el proceso de condensación</li> <li>- Analizar las ecuaciones de diseño del condensador multitubular horizontal y vertical</li> <li>- Calcular y analizar las variables de diseño del condensador multitubular de vapor de agua, horizontal y vertical, tales como: los coeficientes de transferencia de calor por convección, interior, exterior y total, el área de transferencia de calor, número de tubos, calor o energía intercambiado, caída de presión, y rendimiento y seleccionar el más adecuado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La información seleccionada permitirá conocer el proceso de condensación.</li> <li>- Con las ecuaciones formuladas permitirá diseñar, el condensador multitubular de vapor tipo horizontal o vertical.</li> <li>- Las variables calculadas como la masa de agua, la energía, el área de transferencia, la caída de presión, y el rendimiento permiten seleccionar el condensador de mejores características.</li> </ul>	<p>Y = Diseño del condensador multitubular de vapor de agua</p> <p><b>Variables independientes</b></p> <p>X1 = Ecuaciones de diseño para determinar los parámetros del condensador multitubular.</p> <p>X2 = Calculo de las variables de diseño,</p> <p>Operacionalización de las variables</p> $Y = f(X1, X2)$ <p><b>INDICADORES:</b></p> <p>masa de agua,( kg/h), calor transferido (kcal/h)</p> <p>Caída de presión, (Pa); área de transferencia (m<sup>2</sup>),</p> <p>Rendimiento, (η).</p>



Anexo N° 2

Figura N° 3

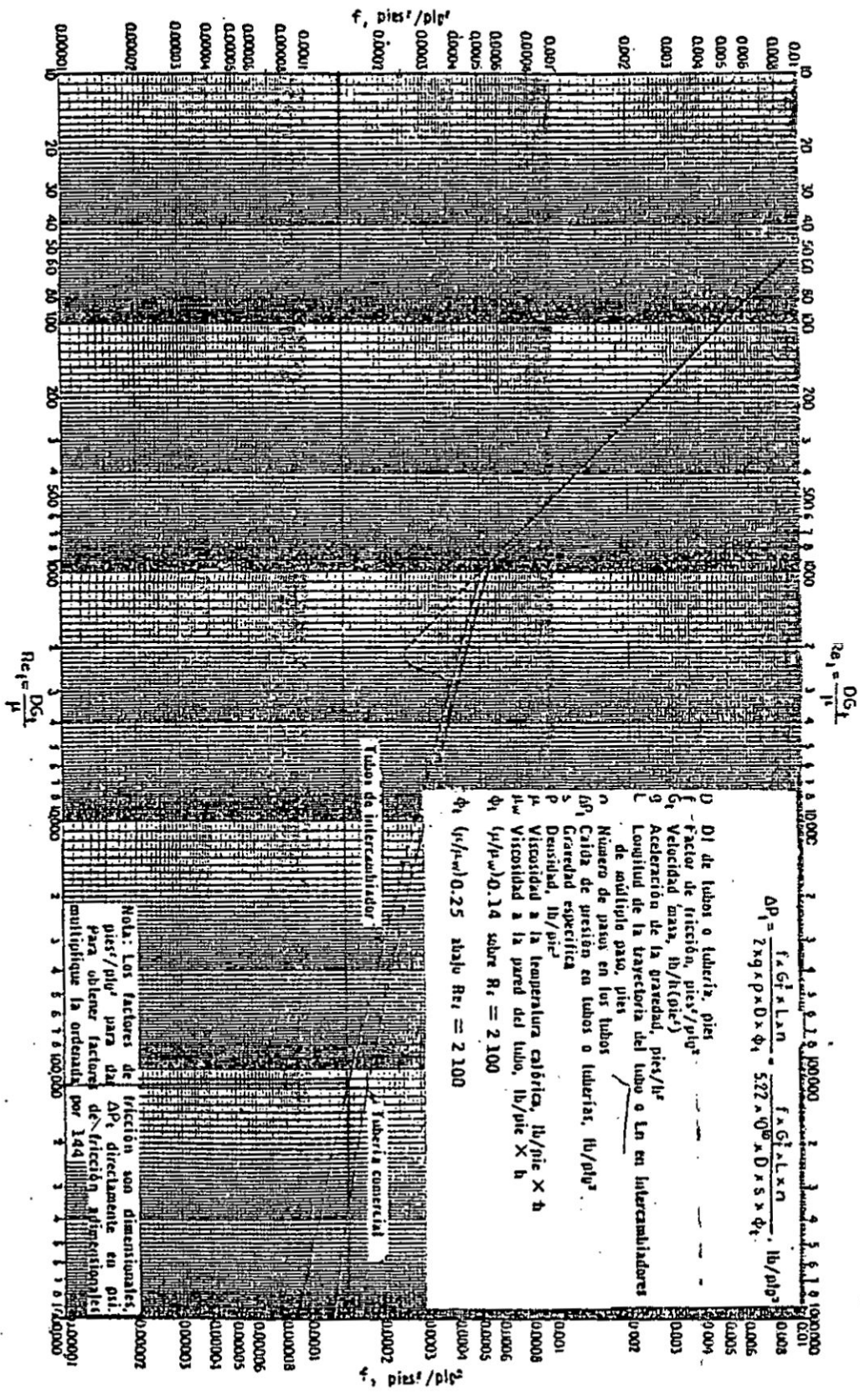
Factor para la velocidad promedio del vapor para calcular la caída de Presión



Fuente: Luis Moncada Albites, Diseño de Plantas de procesos



Figura N° 5  
Factor de fricción lado de los tubos



Fuente: Donald Q. Kern, Procesos de Transferencia de Calor

**TABLA 10. DATOS DE TUBOS PARA CONDENSADORES E INTERCAMBIADORES DE CALOR**

Tubo DE, plg	BWG	Espesor de la pared,	DI, plg	Area de flujo por tubo, plg <sup>2</sup>	Superficie por pie lin. pies <sup>2</sup>		Peso por pie lineal, lb, de acero
					Exterior	Interior	
1/2	12	0.109	0.282	0.0625	0.1309	0.0748	0.493
	14	0.083	0.334	0.0876		0.0874	0.403
	16	0.065	0.370	0.1076		0.0969	0.329
	18	0.049	0.402	0.127		0.1052	0.258
	20	0.035	0.430	0.145		0.1125	0.190
3/4	10	0.134	0.482	0.182	0.1963	0.1263	0.965
	11	0.120	0.510	0.204		0.1335	0.884
	12	0.109	0.532	0.223		0.1393	0.817
	13	0.095	0.560	0.247		0.1466	0.727
	14	0.083	0.584	0.268		0.1529	0.647
	15	0.072	0.606	0.289		0.1587	0.571
	16	0.065	0.620	0.302		0.1623	0.520
	17	0.058	0.634	0.314		0.1660	0.469
	18	0.049	0.652	0.334		0.1707	0.401
	1	8	0.165	0.670		0.355	0.2618
9		0.148	0.704	0.389	0.1843	1.47	
10		0.134	0.732	0.421	0.1916	1.36	
11		0.120	0.760	0.455	0.1990	1.23	
12		0.109	0.782	0.479	0.2048	1.14	
13		0.095	0.810	0.515	0.2121	1.00	
14		0.083	0.834	0.546	0.2183	0.890	
15		0.072	0.856	0.576	0.2241	0.781	
16		0.065	0.870	0.594	0.2277	0.710	
17		0.058	0.884	0.613	0.2314	0.639	
18	0.049	0.902	0.639	0.2361	0.545		
1 1/4	8	0.165	0.920	0.665	0.3271	0.2409	2.09
	9	0.148	0.954	0.714		0.2498	1.91
	10	0.134	0.982	0.757		0.2572	1.75
	11	0.120	1.01	0.800		0.2644	1.58
	12	0.109	1.03	0.836		0.2701	1.45
	13	0.095	1.06	0.884		0.2775	1.28
	14	0.083	1.08	0.923		0.2839	1.13
	15	0.072	1.11	0.960		0.2896	0.991
	16	0.065	1.12	0.985		0.2932	0.900
	17	0.058	1.13	1.01		0.2969	0.808
18	0.049	1.15	1.04	0.3015	0.688		
1 1/2	8	0.165	1.17	1.075	0.3925	0.3063	2.57
	9	0.148	1.20	1.14		0.3152	2.34
	10	0.134	1.23	1.19		0.3225	2.14
	11	0.120	1.26	1.25		0.3299	1.98
	12	0.109	1.28	1.29		0.3356	1.77
	13	0.095	1.31	1.35		0.3430	1.56
	14	0.083	1.33	1.40		0.3492	1.37
	15	0.072	1.36	1.44		0.3555	1.20
	16	0.065	1.37	1.47		0.3587	1.09
	17	0.058	1.38	1.50		0.3623	0.978
18	0.049	1.40	1.54	0.3670	0.831		

Fuente: Donald Q. Kern, Procesos de Transferencia de Calor