



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA EL CIRCUITO  
FLUSHING EN LA UNIDAD DE FCC EN REFINERÍA ESMERALDAS”**

**TESIS DE GRADO**

Previa la Obtención del Título de

**INGENIERO QUÍMICO**

**CHRISTIAN RONEY CALAHORRANO BANGARROTE**

RIOBAMBA – ECUADOR

2012

## **AGRADECIMIENTO**

Antes de todo quiero agradecer a Dios por darme las fuerzas necesarias en los momentos en que más las necesité y bendecirme con la posibilidad de caminar a su lado durante toda mi vida.

A mis padres y hermanos con sus esfuerzos soy lo que soy y por el apoyo incondicional que me dieron a lo largo de la carrera.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por los conocimientos adquiridos en mi formación como profesional y a los Ingenieros Mario Villacrés y Hannibal Brito por su acertada dirección y recomendaciones durante todo el desarrollo de la tesis.

Quiero agradecer al Abogado Eduardo Quiñonez por brindarme la oportunidad de realizar mi tesis de grado en la Refinería Esmeraldas; por la confianza que deposito en mí y por toda la ayuda que me brindó.

A los Ingenieros: Carlos Marchán, Juan Guerrero, Bolívar Terán, Alex Cáceres, Cesario Pincay les agradezco ante todo su amistad y luego todo el conocimiento que supieron impartir que muy generosamente compartieron conmigo, a ellos les debo mucho y estaré siempre muy agradecido.

A mis amigos Sixto Hurtado, Manuel Palma, Tlgo. Samuel Vernaza, Ing. Félix Quiñonez, Ing. Juan Villacreses; fueron como amigos quienes con su amistad me consideraron como un compañero más de la empresa.

## **DEDICATORIA**

Al padre celestial a quien debo todo lo que soy.

A mis padres Cruz María Bangarrote y Alfredo Calahorrano, por todo lo que me han dado en esta vida, especialmente por sus sabios consejos por haberme dado su amor por haber hecho posible que llegara hasta aquí, nunca podré corresponderles tanto.

A mis hermanos: Baby, Taly y Enrique por su apoyo incondicional son quienes han estado junto a mí en los momentos más difíciles de mis estudios.

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Dra. Yolanda Díaz

.....

.....

**DEACANA FAC. CIENCIAS**

Ing. Mario Villacrés A.

.....

.....

**DIRECTOR ESC. ING. QUIMICA**

Ing. Mario Villacrés A.

.....

.....

**DIRECTOR DE TESIS**

Ing. Hannibal Brito M.

.....

.....

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Tec. Carlos Rodríguez.

.....

.....

**DIRECTOR CENTRO**

**DE DOCUMENTACIÓN**

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- $A_o$  = Área de transferencia de calor, relativa al lado exterior de los tubos. (pies<sup>2</sup>)
- $A_s$  = Área de flujo transversal del lado de la carcasa. (pies)
- $a''$  = Superficie externa de los de los tubos por pie exterior (pies<sup>2</sup> / pies)
- $a_t$  = Área transversal de flujo lado tubos. (pies<sup>2</sup>)
- $a_s$  = Área transversal de flujo lado carcasa. (pies<sup>2</sup>)
- $a'_t$  = Área de flujo por tubo. (pies<sup>2</sup>)
- $B$  = Espaciado de los deflectores. (pies)
- $C_p$  = Calor específico del fluido (BTU / lb F)
- $C'$  = Sección libre entre tubos. (pies)
- $D_{ie}$  = Diámetro interno de la carcasa. (pies)
- $D_{it}$  = Diámetro interno de los tubos. (pies)
- $D_{ot}$  = Diámetro exterior de los tubos. (pies)
- $D_{eq}$  = Diámetro equivalente. (pies)
- $E$  = Error (%)
- FCC = Cracking Catalítico Fluidizado
- $G_s$  = Velocidad másica por el lado de la carcasa (lb / h pies<sup>2</sup>)
- $G_t$  = Velocidad másica por el lado de los tubos (lb / h pies<sup>2</sup>)
- $h_i, h_o$  = Coeficiente individual de transferencia de calor por el lado de los tubos y de la carcasa respectivamente. (BTU / h pies<sup>2</sup> F)
- $h_{io}$  = Valor de  $h_i$  cuando se refiere al diámetro exterior del tubo. (BTU / h pies<sup>2</sup> F)
- $J_H$  = Factor de transferencia de calor, adimensional.
- $L$  = Longitud de los tubos. (pies)
- $MLDT$  = Media logarítmica de la diferencia de temperaturas. (F)

$N_B$	=	Número de deflectores de la carcasa, adimensional.
$N_t$	=	Número de tubos.
$n$	=	Número de pasos en los tubos
$P_T$	=	Espaciado de los tubos. (pies)
$\Delta P_T, \Delta P_t$	=	Caída de presión total, caída de presión en tramos rectos lado tubos. (psi)
$\Delta P_s$	=	Caída de presión por la carcasa. (psi)
$Q_{AE}, Q_{ACL}$	=	Calor total de intercambio (BTU / h)
$R_D$	=	Factor de obstrucción. (BTU / h pies <sup>2</sup> F)
$NR_{e_s}, NR_{e_t}$	=	Número de Reynolds por el lado carcasa y tubos, respectivamente.
$T_1, T_2$	=	Temperatura de entrada y de salida del fluido caliente. (F)
$t_1, t_2$	=	Temperatura de entrada y de salida del fluido frío. (F)
TEMA	=	Tubular Exchanger Manufactures Association.
$U, U_c, U_D$	=	Coefficiente global de transferencia de calor, coeficiente limpio, coeficiente de diseño, respectivamente. (BTU / h pies <sup>2</sup> F)
$V_t$	=	Velocidad del agua. (pies / s)
$W, w$	=	Flujo másico del fluido caliente y del frío, respectivamente
$\rho_{AE}, \rho_{ACL}$	=	Densidad del agua de enfriamiento, densidad del aceite cíclico ligero, respectivamente. (lb / pies <sup>3</sup> )
$\mu_{AE}, \mu_{ACL}$	=	Viscosidad del agua de enfriamiento, viscosidad del aceite cíclico ligero, respectivamente. (lb / h pies)
$\phi_s, \phi_t$	=	Factor de corrección de la viscosidad del lado carcasa y tubos respectivamente, adimensional.
$f_s, f_t$	=	Factor de fricción Fanny del lado carcasa y tubos respectivamente, adimensional.
$gr, sp_{ACL}$	=	Gravedad específica del aceite cíclico ligero (ACL), adimensional.
$gr, sp_{AE}$	=	Gravedad específica del agua de enfriamiento, adimensional.

## TABLA DE CONTENIDOS

**Pp:**

CARÁTULA	
AGRADECIMIENTO	
DEDICATORIA	
HOJA DE FIRMAS	
HOJA DE RESPONSABILIDAD	
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	
TABLA DE CONTENIDOS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ÍNDICE DE ECUACIONES	
ÍNDICE DE ANEXOS	
RESUMEN.....	i
SUMMARY.....	iii
INTRODUCCIÓN.....	iv
ANTECEDENTES.....	v
JUSTIFICACIÓN.....	vii
OBJETIVOS.....	ix
<b>CAPÍTULO I</b>	
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 UNIDAD DE FCC.....	1
1.1.1 UNIDAD DE FRACCIONAMIENTO .....	2
1.1.2 SISTEMA DE LAVADO (FLUSING) .....	3
1.2 INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	5
1.2.1 TIPOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	5

1.2.1.1	INTERCAMBIADORES CON TUBOS.....	5
1.2.1.1.1	SEPERTINES SUMERGIDOS.....	5
1.2.1.1.2	DE DOBLE TUBO .....	5
1.2.1.1.3	DE CARCASA Y TUBO.....	6
1.2.1.1.3.1	INTERCAMBIADORES DE TUBOS EN U.....	7
1.2.1.1.3.2	INTERCAMBIADORES DE CABEZAL FIJO.....	8
1.2.1.1.3.3	INTERCAMBIADORES DE CABEZAL FLOTANTE .....	9
1.2.1.1.3.3.1	SIGNIFICADO DE LOS NUMEROS PARA LAS FIGURAS ANTERIORES.....	11
1.2.1.1.4	ENFRIADORES DE CASCADA.....	11
1.1.1.2	INTERCAMBIADORES DE SUPERFICIES PLANAS .....	12
1.1.1.2.1	INTERCAMBIADORES DE PLACA.....	12
1.2.1.3	INTERCAMBIADORES COMPACTO.....	12
1.2.2	TIPOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR SEGÚN SU OPERACIÓN.....	13
1.2.2.1	FLUJO PARALELO .....	13
1.2.2.2	CONTRAFLUJO .....	14
1.2.2.3	FLUJO CRUZADO.....	15
1.2.3	INTERCAMBIAODRES DE UN SOLO PASO Y DE MULTIPLE PASOS.....	16
1.2.4	TIPOS DE DISTRIBUCION DE LOS TUBOS EN LOS ESPEJOS (PITCH) .....	17
1.2.5	NORMALIZACIÓN TEMA.....	18
1.2.6	CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS INTERCAM- BIADORES DE CALOR .....	21
1.2.7	ANALISIS DE LOS FLUIDOS.....	21
1.2.7.1	ACEITE CÍCLICO LIGERO .....	21
1.2.7.2	AGUA DE ENFRIAMIENTO.....	22
1.2.7.3	CARACTERIZACION FISICO QUIMICA DE LOS FLUIDOS.....	24
1.2.7.4	INCRUSTACIONES.....	25



1.2.7.5	TRATAMIENTO QUÍMICO PARA EL AGUA DE ENFRIAMIENTO.....	26
1.3	DISEÑO.....	28

**Pp:**

1.3.1	METODOLOGÍA DEL CÁLCULO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR .	30
1.3.2	MODELO MATEMÁTICO PARA EL CÁLCULO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	30
1.3.3	PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE LOS FLUIDOS .....	31
1.3.4	FLUJO TÉRMICO TRANSFERIDO .....	31
1.3.5	CÁLCULO DE LA MEDIA LOGARITMICA DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURAS .....	32
1.3.6	NÚMERO DE PASOS POR EL LADO TUBO Y CARCASA DEL INTERCAMBIADOR.....	33
1.3.7	ESTIMACION DE LA SUPERFICIE.....	33
1.3.8	SELECCIÓN DE LA LONGITUD, DIÁMETRO, DISPOSICIÓN Y PASOS DE LOS TUBOS.....	34
1.3.9	ELECCIÓN DE LOS FLUIDOS EN LOS TUBOS Y EN LA CARCASA.....	35
1.3.10	DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA....	35
1.3.11	CÁLCULO DEL COEFICIENTE INDIVIDUAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR LADO TUBOS.....	36
1.3.12	CÁLCULO DEL COEFICIENTE INDIVIDUAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR LADO CARCASA.....	38
1.3.12	CÁLCULO DEL ÍNDICE DE LANGELIER.....	40

**CAPITULO II**

2.	PARTE EXPERIMENTAL .....	42
2.1	MUESTREO.....	42
2.2	METODOLOGÍA.....	43

2.2.1	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	43
2.2.1.1	MÉTODOS.....	43
2.2.1.1.1	MÉTODO INDUCTIVO.....	43
		<b>Pp:</b>
2.2.1.1.2	MÉTODO DEDUCTIVO.....	43
2.2.1.1.2	MÉTODO EXPERIMENTAL.....	44
2.2.1.2	TÉCNICAS.....	44
2.2.1.2.1	DETERMINACIÓN DE LA DUREZA DEL AGUA.....	45
2.2.1.2.2	DETERMINACIÓN DE FOSFATOS .....	46
2.2.1.2.3	DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD .....	47
2.2.1.2.4	DETERMINACIÓN DE CLORURO RESIDUAL.....	48
2.2.1.2.5	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE HIDROGENO pH .....	49
2.2.1.2.5	DETERMINACIÓN DE SÍLICE .....	50
2.3	DATOS EXPERIMENTALES.....	51
2.3.1	DIAGNÓSTICO.....	51
2.3.2	DATOS.....	52
2.3.2.1	DATOS EXPERIMENTALES.....	52
2.3.2.1.1	TOMA DE DATOS EN EL CAMPO.....	52
2.3.2.1.2	PROPIEDADES FÍSICAS DEL ACEITE CÍCLICO LIGERO.....	53
2.3.2.2	DATOS ADICIONALES .....	53
2.3.2.2.1	PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO.....	53
2.3.2.2.2	DETERMINACIÓN DE CALIDAD DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO.....	53

### **CAPITULO III**

3.	DISEÑO .....	55
3.1	CÁLCULOS PARA EL EQUIPO .....	55
3.1.1	BALANCE DE CALOR.....	55
3.1.2	CÁLCULO DE LMDT.....	55

3.1.3	CÁLCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR (U).....	56
3.1.4	CÁLCULO DEL INDICE DE LANGELIER.....	65
3.1.5	TIPO DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN Y CONTROLES.....	65
3.1.5.1	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	65
3.1.5.2	CARCASA.....	65
		<b>Pp:</b>
3.1.5.3	HAZ DE TUBOS.....	66
3.1.6	SISTEMAS DE CONTROL.....	66
3.2	RESULTADOS.....	68
3.2.1	PARÁMETROS FÍSICOS DEL EQUIPO .....	68
3.3	PROPUESTA.....	69
3.3.1	CARACTERISTICAS DEL EQUIPO A PROYECTARSE .....	69
3.4	REQUERIMIENTO PRESUPUESTARIO .....	70

#### **CAPITULO IV**

4.1	ANALISIS DE RESULTADOS .....	76
-----	------------------------------	----

#### **CAPITULO V**

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	79
5.1	CONCLUSIONES.....	79
5.2	RECOMENDACIONES .....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>		<b>Pp:</b>
1.2.1.1.2-1	Intercambiadores de doble tubo.....	6
1.2.1.1.3-1	Intercambiadores de tubo y carcasa.....	7
1.2.1.1.3.1-1	Intercambiadores de tubos en U.....	8
1.2.1.1.3.2-1	Intercambiadores de cabezal fijo .....	9
1.2.1.1.3.3-1	Intercambiadores de cabezal flotante.....	10
1.2.2.1-1	Intercambiadores calor de flujo paralelo .....	13
1.2.2.2-1	Intercambiadores Contraflujo .....	14
1.2.2.3-1	Intercambiador de calor de flujo cruzado .....	15
1.2.3-1	Intercambiador de calor de un solo paso e intercambiador de calor de paso múltiple.....	16
1.2.4-1	Diferentes arreglos de tubos.....	17
1.2.5-1	Clasificación de los intercambiadores de carcasa y tubo de acuerdo a la norma TEMA.....	20
3.4-1	Costo base del intercambiador en función del área de transferencia .....	70
3.4-2	Factor de corrección por efecto de la presión .....	71
3.4-3	Revista Chemical Engineering Plant Cost Index .....	74

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLAS:</b>	<b>Pp:</b>
1.1.1.1.3.3 .1-1 Significado de los números para las figuras anteriores .....	11
1.2.7.2.-1 Tendencias del agua según el Índice de Langelier .....	23
1.2.7.2.-2 Índice de Langelier .....	23
1.2.7.5.-1 Tratamiento químico para evitar las incrustaciones en el agua de enfriamiento .....	27
2.2.1.2.-1 Determinación de la dureza del agua .....	45
2.2.1.2.2-1 Determinación de fosfatos.....	46
2.2.1.2.3-1 Determinación de la conductividad .....	47
2.2.1.2.4-1 Determinación de cloruro residual.....	48
2.2.1.2.5-1 Determinación del potencial de hidrogeno pH.....	49
2.2.1.2.6-1 Determinación de sílice.....	50
2.3.2.1.1-1 Toma de datos en el campo.....	52
2.3.2.1.1-1 Propiedades físicas del aceite cíclico ligero.....	53
2.3.2.2.1-1 Propiedades físicas del agua d enfriamiento .....	53
2.3.2.2.2-1 1 Determinación de calidad del agua de enfriamiento .....	53
3.2.1-1 Parámetros físicos del equipo .....	68
3.3.1-1 Características del equipo a proyectarse.....	69
3.4-1 Factores de corrección dependiendo de la combinación tubo-carcasa del intercambiador.....	72
3.4-2 Índices Chemical Engineering .....	73

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>ECUACIÓN</b>	<b>Pp:</b>
1.3.4-1 Balance de calor del aceite cíclico ligero (ACL).....	31
1.3.4-2 Balance de calor del agua de enfriamiento .....	31
1.3.5-1 Media logarítmica de la diferencia de temperatura .....	32
1.3.7-1 Área supuesta de transferencia de calor.....	33
1.3.7-2 Número total de tubos.....	33
1.3.7-3 Área efectiva .....	34
1.3.10-1 Determinación del coeficiente global de transferencia.....	35
1.3.11-1 Área transversal de flujos .....	36
1.3.11-2 Velocidad másica.....	36
1.3.11-3 Reynolds .....	36
1.3.11-4 Velocidad del agua .....	37
1.3.11-5 Coeficiente del lado tubo .....	37
1.3.11-6 Caída de presión tubos.....	37
1.3.11-7 Caída de presión de retorno .....	38
1.3.11-8 Caída de presión total lado tubo .....	38
1.3.12-1 Área de transferencia de flujo lado carcasa .....	38

**Pp:**

1.3.12-2 Velocidad másica.....	39
1.3.12-3 Reynolds .....	39
1.3.12-4 Coeficiente lado carcasa .....	39
1.3.12-5 Caída de presión .....	39
1.3.12-6 Coeficiente total limpio .....	40
1.3.12-7 Coeficiente total de diseño calculado .....	40
1.3.12-8 Error.....	40
1.3.13-1 Índice de Langelier .....	40

## RESUMEN

El diseño de un intercambiador de calor para el circuito flushing en la unidad de Cracking Catalítico Fluidizado (FCC) Refinería Esmeraldas. Mediante el método inductivo se inició con la recolección de las muestras del aceite cíclico ligero (ACL) y del agua de enfriamiento, realizadas en el campo de la Unidad de FCC, se siguió un plan de muestreo, posteriormente se hizo una caracterización en el Laboratorio de Control de Calidad, con el fin de determinar la concentración de dureza, sílice y fosfatos en el agua de enfriamiento y con esto reducir las incrustaciones que se presenta en los tubos del intercambiador. Mediante la tabulación de datos se determinó las variables de proceso con las cuales, se pudo realizar los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento y diseño del equipo.

Una vez realizadas las investigaciones respectivas de los tipos de intercambiadores de calor, se determinó que la mejor opción para este caso es un intercambiador de tubo y carcasa de cabezal flotante para remplazar el intercambiador de calor ya existente de tipo U, que permita tener un porcentaje alto de efectividad. El equipo deberá ser construido de acero al carbón, el espesor de la tubería BWG 10 y el diámetro externo de  $\frac{3}{4}$  plg. Con las ecuaciones de diseño se determinó que para tener una área de transferencia de 318,006 pies<sup>2</sup>, se necesitó que la cantidad de tubos sea 81 y la longitud de los tubos de 20 pies, el cual, permite que este intercambiador tenga una buena transferencia de calor.

Con la caracterización físico-química del agua de enfriamiento se obtuvo la tendencia de ser incrustante, se recomienda que se inyecte el químico adecuado para tratar esta agua y evitar taponamientos y el deterioro de la misma a futuro.



## SUMMARY

### CHEMICAL ENGINEERING

Designing a heat interchanger for the flushing circuit

Chemical engineers want to solve ordinary problems in petrochemical industry. The current equipment, which was installed in the petroleum refinery in Esmeraldas, has showed some attached waste on its pipes and that was difficult to be cleaned. This research was developed to diagnose the running of the heat interchanger in the flushing circuit as well as to those variables to design the new heat interchanger.

During the gathering information process I process light cyclical oil and that water used to get cold it. The corresponding tabulation allowed me to determine its variables and to carry out engineering calculations to design the new equipment.

Results showed that. The pipe interchanger and the chassis floating header was the best with the following characteristics:

Heat transference	=	2235296 BTU / h
LMDT	=	117,21 F
Number of pipes	=	81
Transference Area	=	318 ft <sup>2</sup>
Descendent pressure (Tube sided)	=	2,83 ft
Descendent pressure (Grid sided)	=	4,83 ft

Conclusions showed that to get a transference area of 318,006 ft<sup>2</sup>, there were required 81 pipes of 20 ft long to have good heat transference.

Recommendations include that:

- The equipment must be made of steel, BWG 10 pipes with  $\frac{3}{4}$  inch of diameter
- To inject the most suitable chemical to treat water before using it.

## INTRODUCCIÓN

El papel de los intercambiadores ha adquirido una creciente importancia recientemente al empezar a ser conscientes de la necesidad de ahorrar energía. En consecuencia se desea obtener equipos óptimos, no sólo en función de un análisis térmico y rendimiento económico de lo invertido, sino también en función del aprovechamiento energético del sistema.

Un cambiador de calor consiste en un límite sólido, buen conductor, que separa dos fluidos que se intercambian energía por transmisión de calor. Una de las primeras tareas en el análisis térmico de un cambiador de calor de carcasa y tubos consiste en evaluar el coeficiente global de transmisión de calor entre las dos corrientes fluidas.

En el caso de intercambiadores de carcasa y tubos, el coeficiente global de transmisión de calor ( $U$ ) se basa en la superficie exterior de los tubos, este consiste en una estructura de tubos pequeños colocados en el interior de un casco de mayor diámetro.

El desarrollo del presente trabajo está basado en la aplicación de Norma Internacional (TEMA), lo cual, permitirá que al momento de usar este equipo el margen de error de los resultados que se obtengan sea mínimo.

El intercambiador de calor FE-5 forma parte de la unidad de Cracking Catalítico Fluidizado (FCC), el presente equipo ha venido funcionando desde que inicio a operar la Refinería Esmeraldas, y con en el transcurso del tiempo ha presentando ciertos inconvenientes como es el taponamientos del haz de tubos, por lo tanto, pérdidas de energía y tiempo.

El método deductivo permite determinar el tipo de intercambiador de calor que, a priori, sea más conveniente para dicha aplicación. Adicionalmente, se estableció cuáles son las condiciones de operación imperantes en el proceso. Las condiciones de operación más importantes son los flujos, las temperaturas, presiones de operación.

El presente proyecto se ha llegado a la conclusión, el de diseñar un nuevo intercambiador de calor en la unidad de FCC de cabezal flotante tipo AES, con lo cual, permite tener una mejor limpieza y mantenimiento del equipo y resolver los problemas relacionados con su creación. La finalidad del intercambiador de calor FE-5 es enfriar una corriente de aceite cíclico ligero (ACL) para utilizarlo como aceite de “FLUSHING” para el enfriamiento de los sellos de ciertas bombas como la FP-3 A-B; FP-6 A-B y también para la limpieza de alguna instrumentación como son controladores de nivel y válvulas.

## ANTECEDENTES

El 19 de marzo de 1974 se adjudicó la construcción de la Refinería Esmeraldas al consorcio japonés Sumitomo Chiyoda por un monto de 160 millones de dólares. Hoy es la planta industrial de procesamiento de crudo más grande del país. La planta inició sus operaciones en el año 1977; ha tenido dos ampliaciones y actualmente procesa 110 mil barriles diarios.

En la unidad de FCC se maneja una serie de intercambiadores de calor para los diferentes sub-unidades como lo son: cracking, fraccionamiento, gas-con y merox.

Para el estudio de la tesis me enfocaré en la sub-unidad de fraccionamiento, especialmente en el intercambiador FE-5 que tiene como servicio enfriar el aceite para lavado.

Este equipo fue instalado por Chiyoda en el año 1975; del montaje hasta la fecha actual se han realizado paros programados en los que se ha dado mantenimiento a este equipo.

Los estudios realizados previos a este inconveniente fueron tomados por la unidad de apoyo técnico de la producción (ATP), donde se describió lo siguiente:

En el año 2007, se indicó que para el lado carcasa se encontraba en condiciones normales, con poca suciedad en su pared interior y mientras tanto que para el haz de tubos internamente y externamente hay acumulación de depósitos sólidos removibles y restos de producto incrustado en los tubos, el interior de los tubos con bastante ataque corrosivo, así como en los espejos. Se sugiero adquirir y tener un stock de un nuevo haz de tubos, para remplazar el existente en el próximo paro.

En el año 2008, indica que para la carcasa no presento novedades; mientras que para el haz de tubos internamente con acumulación de depósitos sólidos removibles, el interior de los tubos con mucho ataque corrosivo, así como en los espejos.

## JUSTIFICACIÓN

El diseño de un intercambiador de calor es un problema mucho más complicado que el análisis de la transferencia de calor porque en la selección del diseño final juega un papel muy importante el costo, peso y el tamaño.

En la práctica industrial es común que el Ingeniero Químico se enfrente a la solución de problemas que tiene relación con equipos de intercambio de calor; este problema tiene que ver con un diseño, rediseño de algún sistema térmico o la ejecución completa de un nuevo proyecto para ampliación o mejora de la planta.

El actual intercambiador de calor FE-5 data desde hace 34 años, su forma de acuerdo al TEMA es del tipo AEU, arreglo triangular debido a esto presenta incrustaciones en el haz de tubo del intercambiador, por lo cual se dificulta la limpieza de los tubos.

Este equipo presenta deterioro físico, demandando como consecuencia mantenimiento correctivo y preventivo de manera muy frecuente y en algunos casos trabajos de reconstrucción de ciertas partes, actualmente su eficiencia y rendimiento dentro del proceso ya no es del 100%.

El presente trabajo de investigación permitirá un análisis técnico completo del intercambiador de calor FE-5, utilizado para retirar el calor del aceite cíclico ligero (ACL) con agua de enfriamiento.

Por lo antepuesto, el trabajo se justifica ya que el estudio que se realizó, permite conseguir un nuevo diseño de intercambiador de calor con cabezal flotante y arreglo

cuadrado, este es recomendable cuando se tiene un fuerte ensuciamiento del fluido y se necesita una limpieza mecánica.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

- Diseñar un intercambiador de calor para el circuito flushing en la unidad de FCC en Refinería Esmeraldas.

### **ESPECIFICOS**

- Efectuar el diagnóstico del funcionamiento del intercambiador de calor en el circuito flushing.
- Identificar las variables de proceso para el intercambiador de calor.
- Diseñar un intercambiador de calor que remplace al existente.



# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1. UNIDAD DE FCC**

El craqueo catalítico fluidizado (FCC) es el proceso de refinación desde el origen más importante en la destilación del crudo, en lo que respecta a la capacidad de producción de toda la industria y el efecto general que posee en las operaciones de refinación y en su aspecto económico. El proceso opera a altas temperaturas y baja presión y emplea un catalizador para convertir el gasóleo pesado a partir de la destilación del crudo (y otros flujos pesados) en gases livianos, materias primas de petroquímicos, mezcla de componentes de gasolina (*nafta de FCC*), y mezcla de componentes de combustible diesel (*aceite cíclico ligero*).

Durante las reacciones de craqueo, un producto carbonoso llamado coque es depositado en el catalizador circulante. Este catalizador llamado catalizador gastado cae desde la cámara del reactor hacia el despojador donde un flujo de vapor en contracorriente remueve vapores intersticiales y también algunos absorbidos. El catalizador despojado fluye desde el despojador del reactor a través de la bajante hacia el regenerador, donde el coque es continuamente quemado. El flujo de catalizador a través de esta bajante se controla para balancear la circulación de catalizador y mantener un nivel constante de catalizador en el reactor.

En el regenerador el calor de combustión eleva la temperatura del catalizador en el rango de 650-750 0C.

El propósito de esta regeneración es reactivar el catalizador gastado de tal manera que cuando el catalizador retorna al elevador del reactor está en condiciones óptimas para realizar su función de craqueamiento. El regenerador sirve para quemar el coque de las partículas de catalizador y transferir calor al catalizador circulante. La energía llevada por el catalizador regenerado caliente es usada para vaporizar y calentar los vapores de aceite hasta la temperatura de reacción deseada en el elevador y esta provee el calor de reacción necesario para craquear la carga al nivel de conversión deseado.

### **1.1.1 UNIDAD DE FRACCIONAMIENTO**

Los vapores del reactor fluyen a la columna principal donde la gasolina inestabilizada y gases, coproductos ricos en olefinas son evaporados hacia el tope o cabeza. La fracción de gasolina es condensada en el condensador de cabeza, el vapor y líquido son enviados a la sección de concentración de gases desde el acumulador de la columna principal. Los aceites cíclicos ligero y pesado son recuperados como productos laterales, con el rendimiento neto de estos materiales siendo despojados para remover ligeros y enviarse a almacenamiento. Los fondos netos de la columna son clarificados en el asentador de lodos y el aceite clarificado bombeado intercambia calor con la carga fresca antes de ser almacenado. El material pesado slurry es reciclado al elevador del reactor.

Se realiza un máximo aprovechamiento del calor de los gases del reactor en la fraccionadora. Los aceites cíclicos ligero y pesado circulantes, y las corrientes de los fondos de la columna principal son utilizados en la sección de concentración de gases para propósitos de intercambio de calor.

Adicionalmente las corrientes de fondos de la columna principal son usadas para precalentar la carga y generación de vapor.

### **1.1.2 SISTEMA DE LAVADO (FLUSHING)**

El sistema de aceite de lavado se requiere por dos razones:

- Los fondos de la columna principal contienen catalizador que puede sedimentar, taponar los instrumentos y pequeñas tuberías, así como erosionar las bombas y válvulas de control.
- El mantenimiento de los empaques de las bombas de fondos calientes de la fraccionadora, se reducen considerablemente si los empaques de sellos son enfriados por una corriente de lavado.

Los orificios de los bocines y anillos de desgaste de la bomba de fondos de la fraccionadora son lavados con aceite cíclico pesado caliente, tomado de la descarga de la bomba de circulación de aceite cíclico pesado. Se usa material caliente para evitar esfuerzos que podrían resultar si se usara aceite frío en las carcasas calientes de las bombas. El aceite cíclico pesado se usa en lugar del ligero que podría vaporizarse y causar pérdida de succión de la bomba. El flujo del lavado se ajusta cerrando la válvula de entrada de aceite de lavado; observando la presión estática y abriendo la válvula de lavado hasta que la presión se incremente a 0,7 kg/cm<sup>2</sup>.

El aceite cíclico ligero se usa para todos los otros servicios de lavado con la excepción de que se emplea carga fresca durante los arranques y puede usarse en casos de emergencia.

El aceite de lavado se toma de la salida de A.C.L. producto, y pasa a través de un filtro de 30 mallas que deberá ser lavado cuando su caída de presión exceda de 1 kg/cm<sup>2</sup>.

El flujo de aceite de lavado para instrumentos y vástagos de válvulas de control, se controla por un orificio de 2 mm. Normalmente la línea de entrada a la válvula de aceite de lavado es estrecha. Si se requiere un cambio en el flujo de aceite de lavado, se deberá modificar el tamaño del orificio; no se debe perforar la válvula. Si un orificio de medida es lavado, la tubería deberá ser simétrica para que la misma cantidad de aceite de lavado vaya a cada lado de la placa orificio.

Esto es necesario para prevenir un error de calibración en el orificio de medida. El instrumento de nivel de fondos de la fraccionadora y el vidrio de observación, son similarmente lavados, a fin de prevenir la acumulación de catalizador. Para regular el flujo en cada punto, se usa un orificio de restricción de 3 mm.

Los sellos de la bomba de fondos de la fraccionadora son lavados con aceite cíclico ligero, mediante un anillo linterna, para enfriar el eje y empaques. El aceite de lavado regresa a la fraccionadora por el retomo de la circulación de aceite cíclico pesado. Este flujo de lavado se ajusta cerrando ambas válvulas de suministro y retorno, y observando la presión del anillo linterna; la válvula de suministro de aceite de lavado deberá entonces ajustarse para que la presión de aceite de lavado sea de 1 kg/cm<sup>2</sup> mayor, mientras que la válvula de retorno se ajusta para mantener la temperatura del retorno sobre 65°C. Es preferible señalar las presiones deseadas del aceite de lavado, sobre los manómetros para que los ajustes puedan repetirse

## **1.2. INTERCAMBIADOR DE CALOR**

“Es un equipo utilizado para enfriar un fluido que está más caliente de lo deseado, transfiriendo este calor a otro fluido que está frío y necesita ser calentado. La transferencia de calor se realiza a través de una pared metálica o de un tubo que separa ambos fluidos.”<sup>1</sup>

### **1.2.1. TIPOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR SEGÚN SU CONSTRUCCIÓN**

Si bien los intercambiadores de calor se presentan en una inimaginable variedad de formas y tamaños, la construcción de los intercambiadores está incluida en alguna de las siguientes categorías:

#### **1.2.1.1. INTERCAMBIADORES CON TUBOS**

##### **1.2.1.1.1. SERPENTINES SUMERGIDOS**

El rendimiento del intercambio es bueno y son fáciles de limpiar exteriormente. La limpieza interior generalmente no es problema, ya que la aplicación más frecuente es para calentamiento, generalmente con vapor. El vapor no ensucia, pero es bastante corrosivo.

##### **1.2.1.1.2 DE DOBLE TUBO**

Básicamente consiste en dos tubos concéntricos, lisos o aleteados. Normalmente el fluido frío se coloca en el espacio anular, y el fluido cálido va en el interior del tubo interno. La disposición geométrica es la siguiente:

---

<sup>1</sup> Intercambiador de Calor, [http://web.usal.es/~tonidm/DEI\\_07\\_comp.pdf](http://web.usal.es/~tonidm/DEI_07_comp.pdf)

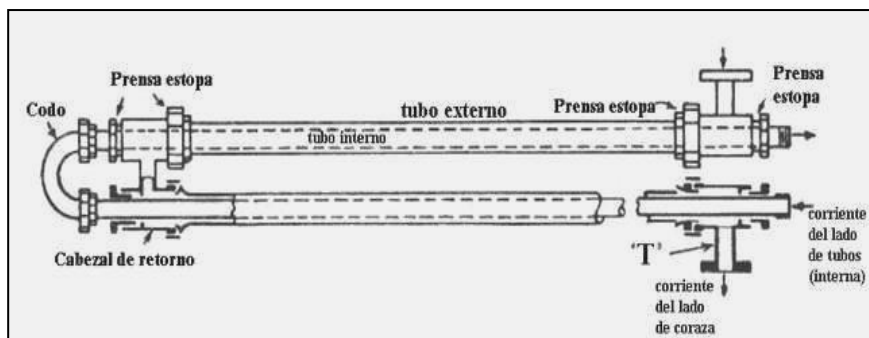


Fig. 1.2.1.1.2-1 Intercambiadores de doble tubo

### 1.2.1.1.3. DE CARCASA Y TUBO

“Los intercambiadores de tipo haz de tubos y coraza se usan para servicios en los que se requieren grandes superficies de intercambio, generalmente asociadas a caudales mucho mayores de los que puede manejar un intercambiador de doble tubo. En efecto, el intercambiador de doble tubo requiere una gran cantidad de horquillas para manejar servicios como los descritos, pero a expensas de un considerable consumo de espacio, y con aumento de la cantidad de uniones que son puntos débiles porque en ellas la posibilidad de fugas es mayor.

La solución consiste en ubicar los tubos en un haz, rodeados por un tubo de gran diámetro denominado carcasa. De este modo los puntos débiles donde se pueden producir fugas, en las uniones del extremo de los tubos con la placa, están contenidos en la coraza. En cambio en un conjunto de horquillas estos puntos están al aire libre.”<sup>2</sup>

Como se puede observar, el fluido que ha de circular en el interior de los tubos ingresa por el cabezal derecho y se distribuye por los orificios de la placa en el haz de tubos.

<sup>2</sup> Intercambiadores de haz de tubos y coraza, <http://radiadoresgallardo.cl/topintercambiaodres.pdf>

El fluido de la carcasa, en cambio, circula por el exterior del haz de tubos, siguiendo una trayectoria tortuosa por el efecto de las pantallas (baffles) o tabiques deflectores.

El flujo en la coraza es casi perpendicular al haz de tubos. Las disposiciones del haz se pueden observar en el siguiente esquema

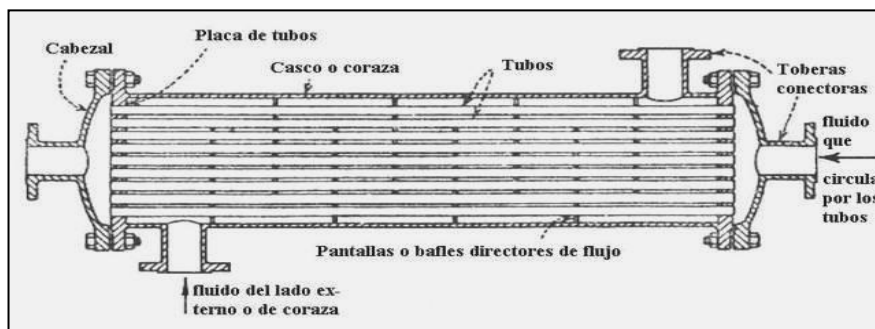


Fig. 1.2.1.1.3-1 Intercambiadores de tubos y carcasa

Existen tres tipos básicos de intercambiadores de haz de tubos y carcasa. Dentro de cada uno de ellos hay numerosos subtipos diseñados para circunstancias de operación específicas.

- ❖ *Tubos en U*
- ❖ *De cabezal fijo*
- ❖ *De cabezal flotante*

#### 1.2.1.1.3.1. INTERCAMBIADORES DE TUBOS EN U

Los intercambiadores de tubos en U tienen los tubos del haz doblados formando una U para evitar una de las dos placas de tubos, que al separar el espacio del fluido de la carcasa del espacio del fluido de tubos ofrece un punto débil en la unión de los tubos con la placa que puede ser causa de fugas.



Además, los tubos en U presentan cambios de dirección más graduales, porque la curva que forman en el extremo es muy abierta, lo que ofrece menor resistencia al flujo.

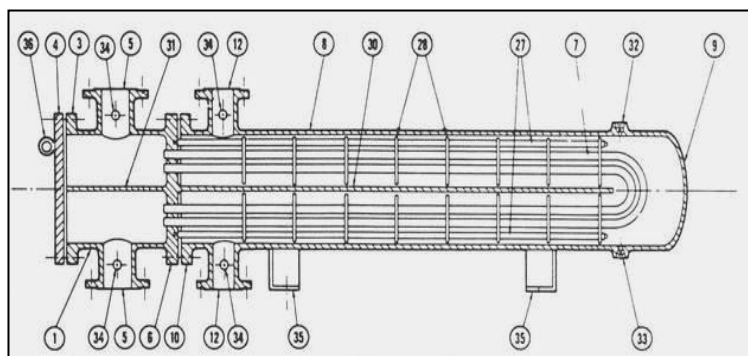


Fig. 1.2.1.1.3.1-1 Intercambiadores de tubos en U

Los números en cada círculo identifican las partes principales del equipo, cuyo significado se aclara más adelante. Es uno de los tipos de intercambiador más usados.

### 1.2.1.1.3.2. INTERCAMBIADORES DE CABEZAL FIJO

Es el tipo más popular cuando se desea minimizar la cantidad de juntas, no hay problemas de esfuerzos de origen térmico y no es preciso sacar el haz (ambos fluidos no son corrosivos y el fluido del lado de carcasa es limpio). Este tipo de intercambiador es sumamente proclive a tener fallas cuando hay esfuerzo térmico severo, resultando en que se producen fugas tanto internas como externas. Las internas son extremadamente peligrosas porque no son fáciles de detectar. Por ello es necesario realizar un análisis térmico considerando todas las fases de operación: arranque, normal, variaciones y anormal, para detectar y aliviar condiciones de esfuerzo térmico.

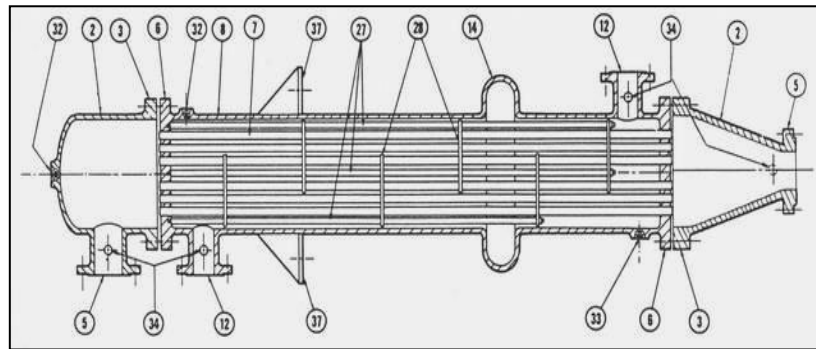


Fig. 1.2.1.1.3.2-1 Intercambiadores de cabezal fijo

### 1.2.1.1.3.3. INTERCAMBIADORES DE CABEZAL FLOTANTE

Es el tipo más sofisticado de intercambiador de haz de tubos y coraza. Está indicado en servicios en los que la limpieza de tubos y su remplazo es frecuente. Hay dos tipos básicos de intercambiador de cabezal flotante. Uno emplea un cabezal “flotante” (es decir, deslizante) con o sin anillo seccionado (“splitring”). El otro usa empaquetadura para permitir la expansión térmica. Este se llama comúnmente intercambiador de cabezal flotante de unión empaquetada y no se usa en servicio con fluidos peligrosos o cuando las fugas pueden ser tóxicas. Hay numerosos subtipos de intercambiador de cabezal flotante cuyas diferencias están en el diseño del cabezal y la cubierta. Los diseños de cubierta apuntan a evitar o prevenir que se tuerza el cabezal o el haz de tubos, lo que puede producir fugas. Muchas dependen de un maquinado preciso y un armado muy exacto. Son evidentemente más caras. Otras usan un anillo espaciador y/o un segundo anillo o abrazadera a 90° de la primera para obtener una unión más fuerte. El cabezal generalmente está soportado por una placa.

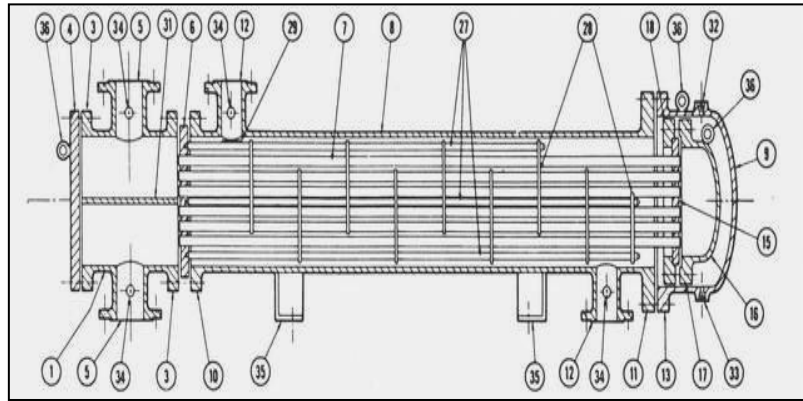


Fig. 1.2.1.1.3.3-1 Intercambiadores de cabezal flotante

**1.1.1.13.3.1. SIGNIFICADO DE LOS NÚMEROS EN CADA CÍRCULO PARA LAS FIGURA ANTERIORES.**

**TABLA 1.1.1.13.3.1-1**

**SIGNIFICADO DE LOS NÚMEROS PARA LAS FIGURAS ANTERIORES**

1. Cabezal estacionario, canal del fluido de tubos	21. Cubierta del cabezal flotante, externa
2. Cabezal estacionario, casquete	22. Faldón del espejo flotante
3. Brida de cabezal estacionario, canal o casquete	23. Brida del prensaestopas
4. Cubierta de canal	24. Empaque
5. Tobera de cabezal estacionario	25. Prensaestopas o empaquetadura
6. Espejo o haz estacionario	26. Anillo de cierre hidráulico
7. Tubos	27. Bielas y espaciadores
8. Coraza	28. Deflectores transversales o placas de apoyo
9. Cubierta de la coraza	29. Placa de choque
10. Brida de la coraza, extremo del cabezal estacionario	30. Deflector longitudinal
11. Brida de la coraza, extremo del cabezal posterior	31. Separación de paso
12. Tobera de la coraza	32. Conexión de ventila
13. Brida de la cubierta de la coraza	33. Conexión de drenaje
14. Junta de expansión	34. Conexión de instrumentos
15. Espejo flotante	35. Pie de soporte
16. Cubierta del cabezal flotante	36. Anilla de sujeción
17. Brida del cabezal flotante	37. Ménsula de soporte
18. Dispositivo de apoyo del cabezal flotante	38. Vertedero
19. Anillo de corte dividido	39. Conexión del nivel del líquido
20. Brida de apoyo deslizante	

Fuente: Rodríguez J.

**1.2.1.1.4. ENFRIADORES DE CASCADA**

Estos equipos consisten en bancos de tubos horizontales, dispuestos en un plano vertical, con agua que cae resbalando en forma de cortina sobre los tubos formando una película. Se pueden construir con tubos de cualquier tamaño pero son comunes de 2 a 4" de diámetro.

Constituyen un método barato, fácil de improvisar pero de baja eficiencia para enfriar líquidos o gases con agua que puede ser sucia, o cualquier líquido frío.

### **1.1.1.2. INTERCAMBIADORES DE SUPERFICIES PLANAS**

#### **1.1.1.2.1.1. INTERCAMBIADORES DE PLACA**

Un intercambiador placa consiste en una sucesión de láminas de metal armadas en un bastidor y conectadas de modo que entre la primera y la segunda circule un fluido, entre la segunda y la tercera otro, y así sucesivamente. Se trata de equipos muy fáciles de desarmar para su limpieza. En la disposición más simple hay sólo dos corrientes circulando, y su cálculo es relativamente sencillo.

#### **1.2.1.3. INTERCAMBIADORES COMPACTO**

Los intercambiadores compactos han sido desarrollados para servicios muy específicos y no son habituales. Existen muchísimos diseños distintos, para los que no hay ninguna metodología general. Cada fabricante tiene sus diseños y métodos de cálculo propios. Para imaginar un intercambiador compacto supongamos tener una corriente de gas a elevada temperatura ( $> 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) que se desea intercambie calor con aire a temperatura normal. El espacio es sumamente escaso, por lo que se compra un intercambiador construido horadando orificios en un cubo de grafito. Los orificios (tubos en realidad, practicados en la masa de grafito) corren entre dos caras opuestas de modo que existe la posibilidad de agregar una tercera corriente.

## 1.2.2. TIPOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR SEGÚN SU OPERACIÓN

Una de las características comunes que se puede emplear es la dirección relativa que existe entre los dos flujos de fluido. Las tres categorías son: flujo paralelo, contraflujo y flujo cruzado.

### 1.2.2.1 FLUJO PARALELO

Existe un flujo paralelo cuando el flujo interno o de los tubos y el flujo externo de la carcasa ambos fluyen en la misma dirección. En este caso, los dos fluidos entran al intercambiador por el mismo extremo y estos presentan una diferencia de temperatura significativa. Como el calor se transfiere del fluido con mayor temperatura hacia el fluido de menor temperatura, la temperatura de los fluidos se aproxima la una a la otra, es decir que uno disminuye su temperatura y el otro la aumenta tratando de alcanzar el equilibrio térmico entre ellos. Debe quedar claro que el fluido con menor temperatura nunca alcanza la temperatura del fluido más caliente.

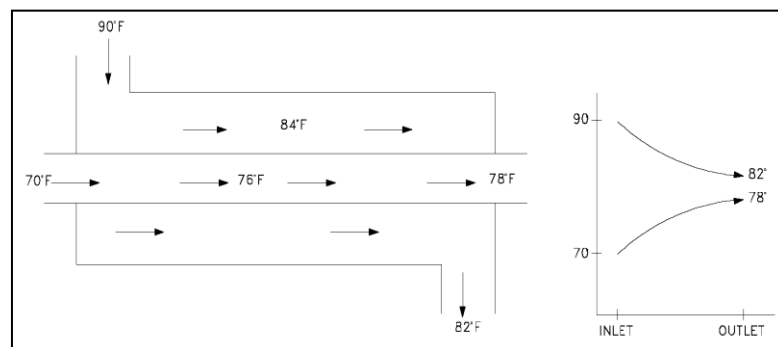


FIG. 1.2.2.1-1 Intercambiador de calor de flujo paralelo

### 1.2.2.2. CONTRAFLUJO

Se presenta un contraflujo cuando los dos fluidos fluyen en la misma dirección pero en sentido opuesto. Cada uno de los fluidos entra al intercambiador por diferentes extremos.

Y aquel fluido con menor temperatura sale en contraflujo del intercambiador de calor en el extremo donde entra el fluido con mayor temperatura, la temperatura del fluido más frío se aproximará a la temperatura del fluido de entrada.

Este tipo de intercambiador resulta ser más eficiente que los otros dos tipos mencionados anteriormente.

En contraste con el intercambiador de calor de flujo paralelo, el intercambiador de contraflujo puede presentar la temperatura más alta en el fluido frío y la más baja temperatura en el fluido caliente una vez realizada la transferencia de calor en el intercambiador.

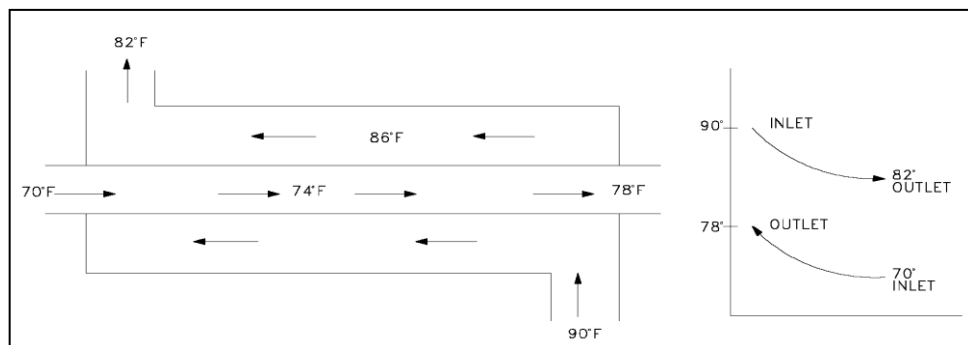


Fig. 1.2.2.2-1 Intercambiador de calor en contraflujo

### 1.2.2.3 FLUJO CRUZADO

Se presenta un contraflujo cuando los dos fluidos fluyen en la misma dirección pero en sentido opuesto. Cada uno de los fluidos entra al intercambiador por diferentes extremos.

Y aquel fluido con menor temperatura sale en contraflujo del intercambiador de calor en el extremo donde entra el fluido con mayor temperatura, la temperatura del fluido más frío se aproximará a la temperatura del fluido de entrada.

Este tipo de intercambiador resulta ser más eficiente que los otros dos tipos mencionados anteriormente.

En contraste con el intercambiador de calor de flujo paralelo, el intercambiador de contraflujo puede presentar la temperatura más alta en el fluido frío y la más baja temperatura en el fluido caliente una vez realizada la transferencia de calor en el intercambiador.

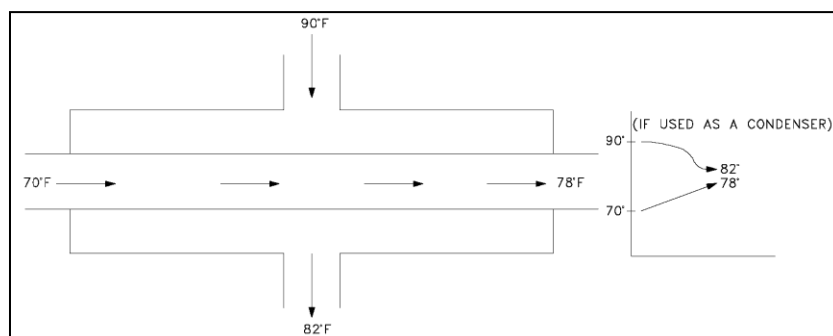


Fig. 1.2.2.3-1 Intercambiador de calor de flujo cruzado



### 1.2.3. INTERCAMBIADORES DE UN SOLO PASO Y DE MÚLTIPLE PASOS

Un método que combina las características de dos o más intercambiadores permite mejorar el desempeño de un intercambiador de calor es tener que pasar los dos fluidos varias veces dentro de un intercambiador de paso simple. Cuando los fluidos del intercambiador intercambian calor más de una vez, se denomina intercambiador de múltiple pasos. Sí el fluido sólo intercambia calor en una sola vez, se denomina intercambiador de calor de paso simple o de un solo paso. Comúnmente el intercambiador de múltiples pasos invierte el sentido del flujo en los tubos al utilizar dobleces en forma de "U" en los extremos, es decir, el dobles en forma de "U" permite al fluido fluir de regreso e incrementar el área de transferencia del intercambiador. Un segundo método para llevar acabo múltiples pasos es insertar baffles o platos dentro del intercambiador.

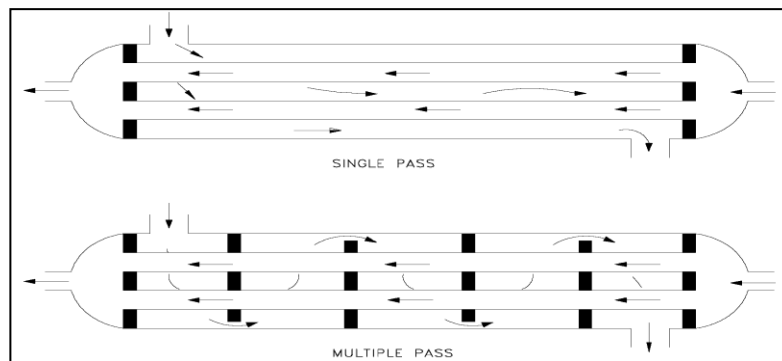


Fig. 1.2.3-1 Intercambiador de calor de un solo paso e intercambiador de calor de paso múltiple

#### 1.2.4. TIPOS DE DISTRIBUCIÓN DE LOS TUBOS EN LOS ESPEJOS (PITCH)

El pitch es el espacio entre centro a centro entre los tubos, los mismos que pueden estar en arreglos:

Triangular, cuadrado y romboidal.

##### a) Distribución triangular

Da la mayor cantidad de tubos para un área determinada, pero la limpieza externa de los tubos es muy difícil. Se debe usar solamente con fluidos que no dejen residuos o que químicamente se los pueda retirar

##### b) Distribución cuadrangular

Es recomendable cuando se tiene un fuerte ensuciamiento del fluido y se necesita una limpieza mecánica

##### c) Distribución romboidal

Es la cuadrangular girada  $45^\circ$  es la que menos tubos aloja.

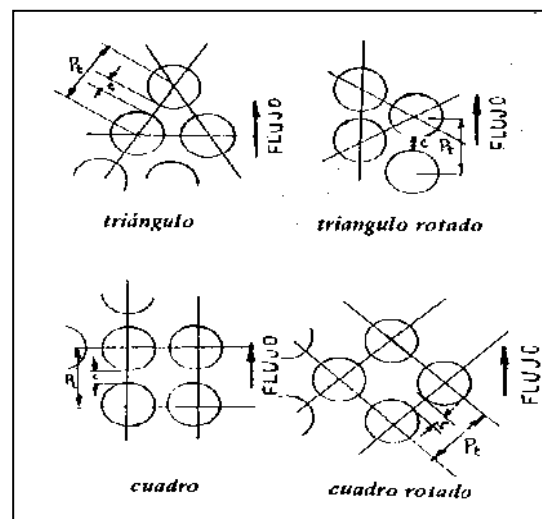


Fig. 1.2.4-1 Diferentes arreglos de tubos

### **1.2.5 NORMALIZACIÓN TEMA**

Los intercambiadores de tubo y carcasa (o tubo y coraza) se diseñan de acuerdo a los estándares publicados por la Asociación de Fabricantes de Intercambiadores Tubulares, conocida como TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association). En Europa, por lo general, se emplean las normas DIN.

Las normas T.E.M.A. definen tres clases de intercambiadores que son las siguientes:

Clase R: Definida como para los requerimientos, generalmente severos, de la industria petrolera y otras aplicaciones de proceso asociadas a la misma. Los intercambiadores pertenecientes a esta clase están diseñados buscando el máximo de confiabilidad y durabilidad en condiciones de servicio.

Clase C: Para aplicaciones comerciales y de procesos de propósito general. Las condiciones de servicio para estas aplicaciones son definidas como usualmente moderadas.

Clase B: Para la industria química de procesos.

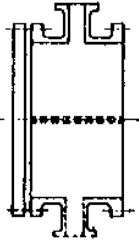

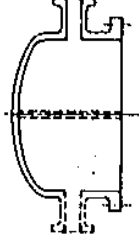
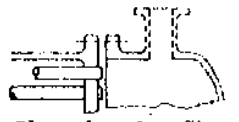
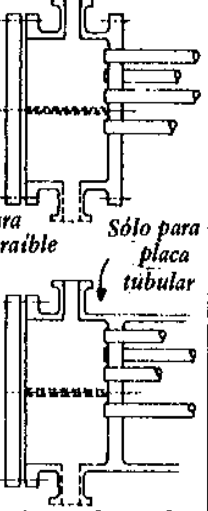
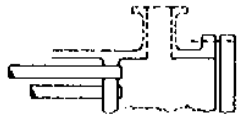
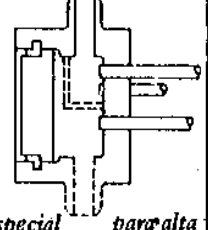

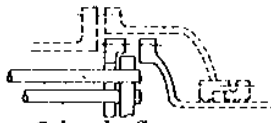
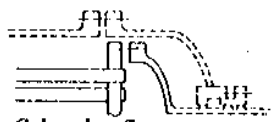
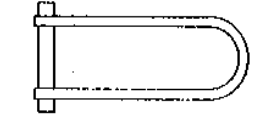

TEMA también propone un sistema de normas para la designación de los tipos de intercambiadores, conformada por tres letras que definen completamente al equipo. La primera letra designa al tipo de cabezal anterior o estacionario empleado; la segunda el tipo de carcasa y la última al tipo de cabezal posterior.

Tipo de cabezal estacionario: Letras A, B, C, D.

Tipo de carcasa: Letras E, F, G, H, J, K, X.

Tipo de cabezal posterior: Letras L, M, N, P, S, T, U, W.

Para la especificación de las medidas del intercambiador, se tiene un sistema de designación basado en el diámetro interno de la carcasa según el sistema que se maneje, redondeando al entero más cercano y la longitud nominal que para unidades de haz de tubos rectos corresponde a longitud real de los tubos exteriores del haz.

	<i>Cabezal anterior</i> <i>Tipos de cabezales estacionarios.</i>		
<b>A</b>	 <p><i>Canal con tapa</i></p>	<b>E</b>	 <p><i>Placa de tubos fija como el cabezal "A"</i></p>
<b>B</b>	 <p><i>Bonete</i></p>	<b>F</b>	 <p><i>Placa de tubos fija como el cabezal "B"</i></p>
<b>C</b>	 <p><i>Sólo para haz extraíble</i>      <i>Sólo para placa tubular</i></p> <p><i>Canal integrado a la placa tubular con tapa</i></p>	<b>G</b>	 <p><i>Placa de tubos fija como el cabezal "C"</i></p>
<b>D</b>	 <p><i>Cierre especial para alta presión</i></p>	<b>H</b>	 <p><i>Cabezal con empaquetadura externa</i></p>
		<b>J</b>	 <p><i>Cabezal flotante con dispositivo de respaldo</i></p>
		<b>K</b>	 <p><i>Cabezal flotante de arrastre</i></p>
			 <p><i>Mazo de tubos en U</i></p>
			 <p><i>Placa de tubos flotante con anillo linterna</i></p>
		<b>K</b>	
		<b>J</b>	
		<b>H</b>	
		<b>G</b>	
		<b>F</b>	
		<b>E</b>	
		<b>D</b>	
		<b>C</b>	
		<b>B</b>	
		<b>A</b>	
		<b>K</b>	
		<b>J</b>	
		<b>H</b>	
		<b>G</b>	
		<b>F</b>	
		<b>E</b>	
		<b>D</b>	
		<b>C</b>	
		<b>B</b>	
		<b>A</b>	
		<b>K</b>	
		<b>J</b>	
		<b>H</b>	
		<b>G</b>	
		<b>F</b>	
		<b>E</b>	
		<b>D</b>	
		<b>C</b>	
		<b>B</b>	
		<b>A</b>	
		<b>K</b>	
		<b>J</b>	
		<b>H</b>	
		<b>G</b>	
		<b>F</b>	
		<b>E</b>	
		<b>D</b>	
		<b>C</b>	
		<b>B</b>	
		<b>A</b>	
		<b>K</b>	
		<b>J</b>	
		<b>H</b>	
		<b>G</b>	
		<b>F</b>	
		<b>E</b>	
		<b>D</b>	
		<b>C</b>	
		<b>B</b>	
		<b>A</b>	
		<b>K</b>	
		<b>J</b>	
		<b>H</b>	
		<b>G</b>	
		<b>F</b>	
		<b>E</b>	
		<b>D</b>	
		<b>C</b>	
		<b>B</b>	
		<b>A</b>	
		<b>K</b>	
		<b>J</b>	
		<b>H</b>	
		<b>G</b>	
		<b>F</b>	
		<b>E</b>	
		<b>D</b>	
		<b>C</b>	
		<b>B</b>	
		<b>A</b>	
		<b>K</b>	
		<b>J</b>	
		<b>H</b>	
		<b>G</b>	
		<b>F</b>	
		<b>E</b>	
		<b>D</b>	
		<b>C</b>	
		<b>B</b>	
		<b>A</b>	
		<b>K</b>	
		<b>J</b>	
		<b>H</b>	
		<b>G</b>	
		<b>F</b>	
		<b>E</b>	
		<b>D</b>	
		<b>C</b>	
		<b>B</b>	
		<b>A</b>	
		<b>K</b>	
		<b>J</b>	
		<b>H</b>	
		<b>G</b>	
		<b>F</b>	
		<b>E</b>	
		<b>D</b>	
		<b>C</b>	
		<b>B</b>	
		<b>A</b>	
		<b>K</b>	
		<b>J</b>	
		<b>H</b>	
		<b>G</b>	
		<b>F</b>	
		<b>E</b>	
		<b>D</b>	
		<b>C</b>	
		<b>B</b>	
		<b>A</b>	
		<b>K</b>	
		<b>J</b>	
		<b>H</b>	
		<b>G</b>	
		<b>F</b>	
		<b>E</b>	
		<b>D</b>	
		<b>C</b>	
		<b>B</b>	
		<b>A</b>	
		<b>K</b>	
		<b>J</b>	
		<b>H</b>	
		<b>G</b>	
		<b>F</b>	
		<b>E</b>	
		<b>D</b>	
		<b>C</b>	
		<b>B</b>	
		<b>A</b>	
		<b>K</b>	
		<b>J</b>	
		<b>H</b>	
		<b>G</b>	
		<b>F</b>	
		<b>E</b>	
		<b>D</b>	
		<b>C</b>	
		<b>B</b>	
		<b>A</b>	
		<b>K</b>	
		<b>J</b>	
		<b>H</b>	
		<b>G</b>	
		<b>F</b>	
		<b>E</b>	
		<b>D</b>	
		<b>C</b>	
		<b>B</b>	
		<b>A</b>	
		<b>K</b>	
		<b>J</b>	
		<b>H</b>	
		<b>G</b>	
		<b>F</b>	
		<b>E</b>	
		<b>D</b>	
		<b>C</b>	
		<b>B</b>	
		<b>A</b>	
		<b>K</b>	
		<b>J</b>	
		<b>H</b>	
		<b>G</b>	
		<b>F</b>	
		<b>E</b>	
		<b>D</b>	
		<b>C</b>	
		<b>B</b>	
		<b>A</b>	
		<b>K</b>	
		<b>J</b>	
		<b>H</b>	
		<b>G</b>	
		<b>F</b>	
		<b>E</b>	
		<b>D</b>	
		<b>C</b>	
		<b>B</b>	
		<b>A</b>	
		<b>K</b>	
		<b>J</b>	
		<b>H</b>	
		<b>G</b>	
		<b>F</b>	
		<b>E</b>	
		<b>D</b>	
		<b>C</b>	
		<b>B</b>	
		<b>A</b>	
		<b>K</b>	
		<b>J</b>	
		<b>H</b>	
		<b>G</b>	
		<b>F</b>	
		<b>E</b>	
		<b>D</b>	
		<b>C</b>	
		<b>B</b>	
		<b>A</b>	
		<b>K</b>	
		<b>J</b>	
		<b>H</b>	
		<b>G</b>	
		<b>F</b>	
		<b>E</b>	
		<b>D</b>	
		<b>C</b>	

## **1.2.6 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR**

Se ha establecido que el dispositivo a diseñarse será un intercambiador de calor en contraflujo, un paso en la coraza y un paso en los tubos.

Además se ha concluido que el fluido caliente, el cual contiene compuestos aromáticos, va a pasar por la parte externa del haz de tubos, es decir por el lado carcasa del intercambiador y el agua de enfriamiento que la llamaremos lado sucio circulará por el lado tubo de dicho equipo.

## **1.2.7 ANÁLISIS DE LOS FLUIDOS**

### **1.2.7.1 ACEITE CÍCLICO LIGERO**

“El aceite cíclico ligero (ACL) es un producto de la desintegración catalítica que usualmente es empleado como componente de la carga a hidrotratamiento para la producción de diesel.”<sup>3</sup>

En Refinería de Esmeraldas no se cuenta con hidrotratamiento para el aceite cíclico ligero (ACL) por lo que es utilizado como aceite de flushing y para reducción de la viscosidad del fuel oíl.

---

<sup>3</sup> Aceite cíclico ligero, <http://www.redalyc.uaemex.mx/pdf/475/47546207.pdf>

### 1.2.7.2 AGUA DE ENFRIAMIENTO

La mayor parte de las aguas empleadas con fines industriales, se usan para enfriar un material o un equipo. La gran capacidad calorífica del agua y la gran disponibilidad del agua en la mayoría de las áreas industriales, han hecho del agua el medio de transferencia de calor favorito en las aplicaciones industriales y de servicios.

“Los sistemas de agua de enfriamiento son necesarios debido a que los procesos industriales y servicios no trabajan eficientemente o efectivamente a menos que las temperaturas y presiones específicas del proceso sean mantenidas dentro de ciertos parámetros. Los sistemas de agua de enfriamiento mantienen las temperaturas y presiones correctas por transferencia de calor o enfriamiento.”<sup>4</sup>

En la industria petrolera, para determinar si el agua de enfriamiento que se utiliza en el intercambiador de calor del FE-5 nos da la tendencia que por los tubos del equipo puede darse por corrosión o por incrustaciones, se aplica el *método de langelier*; que indica lo siguiente:

---

<sup>4</sup> Agua de enfriamiento,  
<http://www.monografias.com/trabajos58/tratamiento-aguas-enfriamiento/tratamiento-aguas-enfriamiento.shtml>

**Tabla 1.2.7.2-1**

**Tendencias del agua según el Índice de Langelier**

<b>Índice</b>	<b>Tendencia</b>
Si es positivo	El agua es incrustante, es decir el agua esta súper saturada con CaCO <sub>3</sub>
Si es negativo	El agua es corrosiva, el agua presenta bajo contenido de CaCO <sub>3</sub>
Si es igual a cero	El agua está perfectamente equilibrada

Fuente: Tendencias del agua según el Índice de Langelier, <http://www.hannainst.es/catalogo>

**Tabla 1.2.7.2-2**

**Índice de Langelier**

Temperatura		Dureza		Alcalinidad	
C	TF	ppm	HF	ppm	AF
0	0,0	5	0,7	5	0,7
4	0,1	25	1,4	25	1,4
8	0,2	50	1,7	50	1,7
12	0,3	75	1,9	75	1,9
16	0,4	100	2,0	100	2,0
20	0,5	150	2,2	150	2,2
24	0,6	200	2,3	200	2,3
28	0,7	250	2,4	250	2,4
32	0,7	300	2,5	300	2,5
36	0,8	400	2,6	400	2,6
40	0,9	500	2,7	500	2,7
50	1,0	1000	3,0	1000	3,0

Fuente: Índice de Langelier, [http://www.hannainst.es/catalogo/fichas/442\\_INDICE](http://www.hannainst.es/catalogo/fichas/442_INDICE)



### 1.2.7.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA

“Hay una serie de parámetros en el agua que intervienen no sólo en la calidad de la misma sino en el mantenimiento de las instalaciones en contacto con ella.

a) pH: El pH está relacionado con la concentración de protones en el agua. Se define el pH como:

El agua (H<sub>2</sub>O) se encuentra disociada en protones (H<sup>+</sup>) e iones hidroxilo (OH<sup>-</sup>). El producto de la concentración de estas especies está relacionado por una constante de equilibrio Kw.

Y por la definición de pH tendremos que, en condiciones de neutralidad el pH es igual a 7 de la misma forma cuando el agua esté totalmente disociado en protones el pH tendrá un valor de 0 y será 14 cuando esté totalmente disociado en OH<sup>-</sup>. El agua con un pH menor de 7 se dice que es un agua ácida y en cambio se dice que es básica si tiene un pH mayor que 7.

b) Dureza: La dureza representa una medida de la cantidad de metales alcalinotérreos en el agua, fundamentalmente Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) provenientes de la disolución de rocas y minerales que será tanto mayor cuanto más elevada sea la acidez del agua. Es una medida, por tanto, del estado de mineralización del agua.

Se suele expresar como mg/l de CaCO<sub>3</sub> o como grados franceses, teniendo en cuenta que 10 mg/l es igual que un grado francés.

c) Alcalinidad: es la suma de las concentraciones de los iones carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) y e hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ) siendo estos últimos despreciables frente al resto.”<sup>5</sup>

#### **1.2.7.4 INCRUSTACIONES**

El método análisis físico químico del agua de enfriamiento indica que la tendencia del agua es incrustante, es decir, tiene un alto contenido de cloruros, carbonatos cálcicos, carbonatos magnésicos, fosfatos, sílice. Esta es la razón por la cual los calentadores se obstruyen.

“Al obstruirse los calentadores, la transferencia de calor es ineficiente, el coeficiente global de transferencia de calor que incluye la resistencia térmica debido al factor de impureza, disminuye.”<sup>6</sup>

El mantenimiento que reciben los calentadores es correctivo, se los repara cada vez que sufren una rotura. No reciben mantenimiento preventivo contra la formación de escala debido a que el químico que evita el depósito de sólidos disueltos tiene un precio elevado.

El problema para remover las incrustaciones es complejo debido a que no se los puede retirar con medios sencillos como agua de presión sino que se necesita utilizar tratamientos ácidos a su dureza o por medios mecánicos.

---

<sup>5</sup> Parámetros de caracterización del agua, <http://www.aquaprof.es/Parametros.html>

<sup>6</sup> Incrustaciones,  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2723/1/DISE%C3%91O%20DE%20UN%20INTERCAMBIADOR%20DE%20CALOR%20PARA%20EL%20SISTEMA%20DE%20CALE.pdf>

### **1.2.7.5 TRATAMIENTO QUÍMICO PARA EL AGUA DE ENFRIAMIENTO**

El tratamiento químico del agua para torres de enfriamiento, tiene la finalidad de controlar las afectaciones en las líneas y equipos de intercambio de calor por fenómenos de corrosión, incrustación y ensuciamiento.

Para conseguir lo anterior se emplean inhibidores de corrosión, dispersantes y biocidas entre otros, dosificados según análisis del agua y evaluación de testigos y probetas corrosimétricas instalados en el sistema de enfriamiento. Los sistemas de enfriamiento ocupan un papel de suma importancia para el funcionamiento confiable y eficiente de los equipos y plantas a los cuales les dan servicio.

**Tabla 1.2.7.5-1**

**Tratamiento químico para evitar las incrustaciones en el agua de enfriamiento**

<b>Sistema de agua de enfriamiento</b>	<b>Grupos químicos</b>	<b>Características</b>
Sistema abierto de agua de enfriamiento por recirculación	Serie Kurita S-3000 Serie Kurita S-6000 Serie KMSCT Serie KURIZET	Exhibe efectos de inhibición estables contra corrosión e incrustaciones aun para la alta dureza y alta disolución de sales, especialmente de sílice. Inofensivo a organismos acuáticos y responsable ante regulaciones para el control para el control del agua.
	Serie Kurita S-1000 Serie Kurita S-7000 Serie KMSCT Serie KURIZET Serie Kurita T	Efectos sobresalientes en control de incrustaciones de carbonato de calcio Fosfato de calcio e hidróxido metálico y efecto dispersantes de sólidos suspendidos.
	Serie Kurita F Serie Polycrin G Serie KMB	Formulado con una serie de agentes efectos biostáticos y/o biocidas contra algas, bacterias y hongos como con efecto anti-lodo. No corrosivo a materiales de acero y cobre.

Fuente: Tratamiento químico para evitar las incrustaciones, <http://www.kurimexicana.com>

### 1.3 DISEÑO

“Dentro de los tipos de intercambiadores de calor que pueden ser diseñados, el de tubo y carcasa es el más común, debido a que puede proporcionar grandes superficies para la transferencia de calor de forma económica y práctica.”<sup>7</sup>

Básicamente se trata de un haz de tubos contenido dentro de un recipiente o coraza; mientras que un fluido pasa por la parte externa del haz de tubos, el otro circula por el interior de los tubos, dando así como resultado, la transferencia de calor desde el fluido caliente al frío.

A su vez, un intercambiador de calor de tubo y carcasa, puede adoptar varias configuraciones dependiendo del número de pasos que puede presentar tanto en los tubos como en la carcasa. El efecto de aumentar el número de pasos va a ser un incremento en la capacidad de transferir calor, pero también implica un aumento en el tamaño y costo del aparato.

Un diseño satisfactorio del intercambiador de calor dependerá de factores tales como, costos, facilidad de limpieza, diferencia de temperaturas, corrosión, caída de presión y riesgos. Estas consideraciones dependerán del tipo de aplicación que se le quiera dar y especialmente de las características de los fluidos que se manejarán;

---

<sup>7</sup> Diseño, [www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/.../12/CAPÍTULO%20TRES.doc](http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/.../12/CAPÍTULO%20TRES.doc)

a continuación se va a describir el intercambiador de calor que se va a diseñar y las consideraciones que se hacen para ello.

Generalmente el diseño de un intercambiador de calor cuenta con las siguientes etapas:

- Se deben especificar las condiciones del proceso (velocidad de flujo, temperatura, presiones, etc.), para establecer luego los balances de materia y de calor que sean necesarios.
- Se deben obtener las propiedades físicas que se requieren sobre los intervalos de temperaturas y presiones que interesan.
- Se escoge el tipo de intercambiador que se va a emplear.
- Se hace una estimación preliminar del tamaño del intercambiador, utilizando un coeficiente de transferencia de calor apropiado para los fluidos, el proceso y el equipo.
- Se escoge un primer diseño completo, en todos los detalles que se necesitan, para llevar a cabo los cálculos de diseño.
- Se evalúa el diseño determinado en la etapa anterior, o se clasifica en cuanto a su capacidad para satisfacer las condiciones a diseñar, con respecto tanto a la transferencia de calor como a la caída de presión.
- Sobre la base de resultados obtenidos en la fase anterior, se escoge una nueva configuración, en el caso de ser necesario y se vuelven a realizar los cálculos para el coeficiente de transferencia de calor y la caída de presión. Si el primer diseño no fue satisfactorio se pueden cambiar; el área permaneciendo dentro de los rangos para la caída de presión, la longitud de los tubos, el diámetro de la carcasa, etc.

- El diseño final debe satisfacer los requerimientos del proceso, dentro de un error aceptable.

### **1.3.1 METODOLOGÍA DEL CÁLCULO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR**

En esta sección se expone la teoría aplicable al diseño del intercambiador de calor de nuestro interés; las ecuaciones, tablas y diagramas asociados con el diseño del intercambiador.

### **1.3.2 MODELO MATEMÁTICO PARA EL CÁLCULO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR**

“Se han analizado dos métodos para realizar un análisis en un intercambiador de calor el método del LMTD y el método de la eficiencia, ambos métodos se pueden usar y se obtendrán resultados equivalentes, pero dependiendo de lo que se conoce y lo que se desea hallar un método puede resultar más efectivo que el otro.

El método LMTD se facilita con el conocimiento de las temperaturas de entrada y salida de los fluidos calientes y fríos, pues el LMTD se puede calcular fácilmente, es decir si se conocen las temperaturas, el problema consiste en diseñar el intercambiador de calor (número de tubos por fila o números de filas por tubos, material de los tubos, etc).

Normalmente se tiene las temperaturas de entrada y salida del fluido y su velocidad con lo que solo queda seleccionar un tipo de intercambiador apropiado, es decir determinar el área superficial de transferencia de calor.

De manera alternativa se puede conocer el tipo de intercambiador y el tamaño mientras el objetivo es determinar la transferencia de calor y la temperatura de salida del fluido para la circulación del fluido y temperatura de entradas establecidas,<sup>8</sup> a continuación se detallará el modelo a seguir en el presente trabajo.

### 1.3.3 PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE LOS FLUIDOS

Es importante conocer las propiedades de los fluidos a las que están expuestas el momento del intercambio de calor, es decir, tener en cuenta sus propiedades a las presiones y temperaturas de funcionamiento, las propiedades físicas que intervienen son: capacidad calorífica (Cp), viscosidad ( $\mu$ ), densidad ( $\rho$ ) de los fluidos.

### 1.3.4 FLUJO TÉRMICO TRANSFERIDO

Se refiere al flujo térmico cedido por el fluido caliente y ganado por el fluido frío. El cálculo correspondiente se hace con las siguientes ecuaciones:

$$Q_{ACL} = W_{ACL} C_{p_{ACL}} (T_1 - T_2) \quad \text{Ec. 1.3.4-1}$$

$$Q_{H_2O} = W_{H_2O} C_{p_{H_2O}} (t_2 - t_1) \quad \text{Ec. 1.3.4-2}$$

La ecuación (1.3.4-1) se refiere al flujo térmico cedido por el fluido caliente y la ecuación (1.3.4-2) se refiere al flujo térmico ganado por el fluido frío.

---

<sup>8</sup> Modelo Matemático,

[www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/.../12/CAPÍTULO%20TRES.doc](http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/.../12/CAPÍTULO%20TRES.doc)



*Donde:*

$Q_{ACL}$  = calor cedido por el fluido caliente

$Q_{H2O}$  = calor cedido por el fluido caliente

$W_{ACL}$  = flujo másico caliente (lb/h)

$W_{H2O}$  = flujo másico frío (lb/h)

$C_{pACL}$  = Calor específico del fluido caliente (Btu/lb F)

$C_{pH2O}$  = Calor específico del fluido frío (Btu/lb F)

$T_1$  = Temperatura de entrada del fluido caliente (F)

$t_1$  = Temperatura de entrada del fluido frío (F)

$T_2$  = Temperatura de salida del fluido caliente (F)

$t_2$  = Temperatura de salida del fluido frío (F)

### **1.3.5 CÁLCULO DE LA MEDIA LOGARÍTMICA DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA**

Corresponde a la diferencia equivalente promedio de temperaturas entre los fluidos dentro de los equipos de transferencia de calor

Por lo tanto LMDT será:

$$LMDT = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)} \quad \text{Ec. 1.3.5-1}$$

*Donde:*

$T_1$  = temperatura de entrada del fluido de la carcasa (F)

$t_1$  = temperatura de entrada del fluido del tubo (F)

$T_2$ = temperatura de salida del fluido de la carcasa (F)

$t_2$ = temperatura de salida del fluido del tubo (F)

### **1.3.6 NÚMERO DE PASOS POR EL LADO TUBO Y CARCASA DEL INTERCAMBIADOR**

Se selecciona de acuerdo al tipo de cambiador a ser diseñado, según el servicio que esperemos que preste, en la presente situación a modelar se espera sea satisfactorio un paso en la carcasa y uno en los tubos.

### **1.3.7 ESTIMACIÓN DE LA SUPERFICIE**

De la ecuación total de área de transferencia de calor se puede despejar la longitud omitiendo el número de tubos para obtener la longitud total de tubería, según la siguiente ecuación:

$$A_o = \frac{Q}{U_s * LMDT} \quad \text{Ec. 1.3.7-1}$$

*Dónde:*

$A_o$ = área supuesta de transferencia (pies<sup>2</sup>)

$Q$ = transferencia de calor (BTU/h)

$U_s$ = coeficiente global de transferencia de calor supuesto (BTU/h pie<sup>2</sup> F)

a) Conocida el área supuesta en pies<sup>2</sup> se procede a calcular el número de tubos ( $N_t$ ) utilizando lo siguiente:

$$N_t = \frac{A_o}{a'' * L} \quad \text{Ec. 1.3.7-2}$$

*Donde:*

Nt= Número total de tubos

Ao= Área de transferencia de calor supuesta (pies<sup>2</sup>)

a''= superficie externa de los tubos por pie lineal (pies<sup>2</sup>/pies)

L= longitud total de los tubos (pies)

b) Conociendo el número de tubos (Nt) y el número de pasos por el lado de los tubos (n), podemos determinar el diámetro interno de la carcasa (Dic)

c) Cálculo del área

$$A = N_t * a'' * L \quad \text{Ec. 1.3.7-3}$$

### **1.3.8 SELECCIÓN DE LA LONGITUD, DIÁMETRO, DISPOSICIÓN Y PASO DE LOS TUBOS**

Cuanto más largo es un intercambiador, menos tubos contiene, menor es el diámetro de la carcasa. La longitud del haz de tubos se elige de acuerdo al espacio físico disponible, debe tratar de especificarse la tubería en función de tubería normalizada, el diámetro se puede seleccionar de acuerdo a la afinidad con otros equipos instalados en caso de ser necesario utilizarlos en otro intercambiador en funcionamiento, se determina el calibre (BWG) (ANEXO II) la disposición se elige de acuerdo a la estimación necesaria de la limpieza en relación con el tipo de fluido.

### **1.3.9 ELECCIÓN DEL FLUIDO EN LOS TUBOS Y EN LA CARCASA**

El fluido que va por los tubos generalmente es el más sucio, es decir lleva algunas impurezas, particularmente el agua es muy corrosiva para los aceros y afecta más si la temperatura de la pared del tubo es alta.

El fluido que tiene más presión o produce más incrustaciones se utiliza en el lado tubo, cuando el agua se mueve a baja velocidad a través de los tubos el lodo se adhiere a la superficie afectando, el coeficiente de transferencia de calor y la caída de presión. El fluido del lado carcasa suele ser el de mayor viscosidad, esto mejora el coeficiente de transferencia global, que para nuestro caso es el aceite cíclico ligero (ACL).

### **1.3.10. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA**

En el caso de los intercambiadores de tubos y carcasa es más conveniente definir U en función del área exterior de los tubos.

$$U = \frac{Q}{A * MLDT} \quad \text{Ec. 1.3.10-1}$$

*Dónde:*

U= Coeficiente global de transferencia de calor.

### 1.3.11. Cálculo del coeficiente individual de transferencia de calor lado tubos

#### a) Cálculo del área transversal de flujos

$$a_t = \frac{N_t * a'_t}{n} \quad \text{Ec. 1.3.11-1}$$

*Dónde:*

$a_t$  = área transversal del tubo (pies<sup>2</sup>)

$a'_t$  = área de flujo por tubos (pies<sup>2</sup>)

$n$  = número de pasos por el lado tubo

#### b) Velocidad másica

$$G_t = \frac{W_t}{a_t} \quad \text{Ec. 1.3.11-2}$$

*Dónde:*

$G_t$  = velocidad másica (lb/h \* pie<sup>2</sup>)

$W_t$  = flujo másico (lb/h)

#### c) Reynolds

$$NRe_t = \frac{D_{it} * G_t}{\mu_{H_2O}} \quad \text{Ec. 1.3.11-3}$$

*Dónde:*

$NRe_t$  = número de Reynolds

$D_{it}$  = diámetro interno del tubo (pies)

$\mu_{H_2O}$  = viscosidad del agua (lb/pies h)

#### d) Velocidad del agua

$$V_t = \frac{G_t}{3600 * \rho_{H_2O}} \quad \text{Ec. 1.3.11-4}$$

*Dónde:*

$V_t$ = velocidad del agua (pies/s)

$\rho_{H_2O}$ = densidad del agua (lb/pies<sup>3</sup>)

#### e) Coeficiente del lado tubo

$$h_{io} = h_i * \frac{D_i}{D_o} \quad \text{Ec. 1.3.11-5}$$

*Dónde:*

$h_{io}$ = valor de  $h_i$  referido al diámetro exterior de los tubos [BTU/h pie<sup>2</sup> F]

$h_i$ = coeficiente de transferencia de calor individual [BTU/h pie<sup>2</sup> F]

$D_i$ =diámetro interior de los tubos [pies]

$D_o$ = diámetro exterior de los tubos [pies]

#### f) Caída de presión

$$\Delta P_t = f * \frac{G_t^2 * L * n}{(5,22 * 10^{10}) D_i * gr.sp * \phi t} \quad \text{Ec. 1.3.11-6}$$

*Dónde:*

$\Delta P_t$ = caída de presión [psi]

$f$ = factor de fricción Fanny

$gr.sp_t$ = gravedad específica

**g) Caída de presión de retorno**

$$\Delta P_r = \frac{4n}{gr sp} \frac{v^2}{2g}$$

Ec. 1.3.11-7

*Dónde:*

$\Delta P_r$  = Caída de presión de retorno [psi]

V = Velocidad [pies/s]

**h) Caída de presión total del lado tubo**

$$\Delta P_T = \Delta P_t + \Delta P_r$$

Ec. 1.3.11-8

**1.3.12. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor lado carcasa**

**a) Calculo del área transversal de flujo**

$$a_s = \frac{D_{ic} * C * B}{P_t}$$

Ec. 1.3.12-1

*Dónde:*

$a_s$  = Área transversal de flujo lado carcasa. (pies<sup>2</sup>)

C' = Sección libre entre tubos. (pies)

B = Espaciado de los deflectores. (pies)

P<sub>t</sub> = Espaciado de los tubos. (pies)

### b) Velocidad másica

$$G_s = \frac{W_{ACL}}{a_s} \quad \text{Ec. 1.3.12-2}$$

*Dónde:*

G<sub>s</sub>= Velocidad másica por el lado de la carcasa (lb / h pies<sup>2</sup>)

W<sub>s</sub>= Flujo másico del fluido caliente (lb/h)

### c) Reynolds

$$Re_s = \frac{Deq * G_s}{\mu_{ACL}} \quad \text{Ec. 1.3.12-3}$$

*Dónde:*

Re<sub>s</sub>= Número de Reynolds por el lado carcasa

Deq= Diámetro equivalente. (pies)

μ<sub>ACL</sub>=Viscosidad del aceite cíclico ligero. (lb / h pies)

### d) Coeficiente del lado carcasa

$$h_o = J_H * \frac{k_s}{Deq} * \left( \frac{\mu * Cp}{k_s} \right)_{ACL}^{\frac{1}{8}} * \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad \text{Ec. 1.3.12-4}$$

*Dónde:*

h<sub>o</sub>= Coeficiente individual de transferencia de calor, lado carcasa (BTU / h pies<sup>2</sup> F)

J<sub>H</sub>= Factor de transferencia de calor, adimensional.

### e) Caída de presión

$$\Delta P_s = f \frac{G_s^2 * Dic * NC}{(5,22 \times 10^{10}) * Deq * gr * sp * \phi_s} \quad \text{Ec. 1.3.12-5}$$



*Dónde:*

$\Delta P_s$ = caída de presión (psi)

$f$ = factor de fricción Fanny lado carcasa

$gr.sp$ = gravedad específica del aceite cíclico ligero

**f) Coeficiente total limpio**

$$U_c = \frac{h_{i0} * h_o}{h_{i0} + h_o} \quad \text{Ec. 1.3.12-6}$$

*Dónde:*

$U_c$ = Coeficiente limpio de transferencia de calor (BTU/h pie<sup>2</sup> F)

**g) Coeficiente total de diseño, calculado**

$$U_D = \frac{U_c}{1 + (R_D * U_c)} \quad \text{Ec. 1.3.12-7}$$

*Dónde:*

$U_D$ = Coeficiente de diseño de transferencia de calor (BTU/h pie<sup>2</sup> F)

**h) Error**

$$\text{error porcentual} = \frac{V_{\text{calculado}} - V_{\text{asumido}}}{V_{\text{asumido}}} * 100 \quad \text{Ec. 1.3.12-8}$$

**1.3.13 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE LANGELIER**

$$pH + TF + HF + AF - 12,5 \quad \text{Ec. 1.3.13-1}$$

*Dónde:*

pH= medida del pH

TF= temperatura

HF: dureza

AF= alcalinidad

# **CAPITULO II**

## **PARTE**

## **EXPERIMENTAL**

## **2. PARTE EXPERIMENTAL**

### **2.1 MUESTREO**

Se lo realizó en La Refinería Esmeraldas, en la unidad de FCC para el intercambiador de calor FE-5.

El tipo de muestreo que se realizó es aleatorio simple, en el cual, se ha efectuado con una frecuencia de 1 vez por día, por un lapso de 30 días, con un total de 13 muestras. Las muestras fueron tomadas en el campo, ha intervalos de 24 horas/día en el que, las temperaturas promedios de entrada y salida del agua de enfriamiento son de 33,76 C y 54,23 C, respectivamente, mientras que para el aceite cíclico ligero (ACL) la temperatura de entrada se mantenía constante a 200 C y en la salida la temperatura promedio es de 50,54 C.

El equipo es un intercambiador de calor de tipo tubos y carcasa en forma de U en contraflujo, de una sola fase ya que los dos componentes que intercambian calor es líquido, este equipo trabaja las 24 horas del día, pero no podemos decir que las 365 días del año ya que habido circunstancias que se han realizado paros programados, ya sea para el equipo en sí o para toda la unidad de FCC.

## **2.2 METODOLOGÍA**

### **2.2.1 MÉTODOS Y TÉCNICAS**

#### **2.2.1.1 MÉTODOS**

Para el presente proyecto se trabajó en forma ordenada y responsable. Este trabajo se fundamenta en métodos teóricos y prácticos.

Se inició con la recopilación de una amplia y selecta gama de fuentes de información que proporcionaron aspectos de trascendental importancia para definir conceptos, teorías, condiciones y variables de proceso, escenario el cual se desarrollará el diseño del intercambiador.

##### **2.2.1.1.1 MÉTODO INDUCTIVO**

Mediante la recolección de las muestras del aceite cíclico ligero (ACL) y del agua de enfriamiento, realizadas en el campo de la Unidad de FCC, se siguió un plan de muestreo que se encuentra en la tabla 2.3.1-1 posteriormente se hizo una caracterización en el Laboratorio de Control de Calidad y mediante la tabulación de datos se determinó las variables de proceso con las cuales, se pudo realizar los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento y luego ser implementado para el diseño del equipo.

##### **2.1.1.1.2 MÉTODO DEDUCTIVO**

El intercambiador de calor se va a diseñar de acuerdo a las normas de la Asociación de Fabricantes de Intercambiadores de Calor Tubulares (TEMA), la geometría del equipo es del tipo AES de cabezal flotante, distribución de los tubos es cuadrado, que nos permitirá una mejor limpieza en el haz del tubo del equipo.

#### **2.1.1.1.2 MÉTODO EXPERIMENTAL**

La parte experimental de este trabajo investigativo se realizó en la Unidad de FCC y en el Laboratorio de Control de Calidad. Los resultados de laboratorio se realizaron por duplicado a fin de tener datos más cercanos a la realidad.

La metodología experimental se basa en técnicas especificadas en normas de calidad vigentes que se describen en esta sección

#### **2.2.1.2 TÉCNICAS**

### 2.2.1.2.1 DETERMINACIÓN DE LA DUREZA DEL AGUA

TABLA 2.2.1.2-1

#### DETERMINACIÓN DE LA DUREZA DEL AGUA

##### MÉTODO: ASTM 2340

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CALCULOS
<p>Se define como la característica del agua que representa la concentración total de calcio y magnesio expresada como su equivalente en carbonato de calcio.</p> <p>La dureza del agua se define como su capacidad para precipitar jabón.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Balón aforado de 100ml</li> <li>Erlenmeyer de 250 ml</li> <li>pH-metro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solución estándar de EDTA 0.01 M</li> <li>Indicador de eriocromo negro T</li> <li>Indicador de Murexide</li> <li>Solución Buffer</li> <li>Hidróxido de sodio 1 N</li> </ul>	<p>Dureza Total</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tomar 50 ml muestra, adicionar 2-3 ml de solución buffer.</li> <li>Adicionar 0.2-0.3 gr. De indicador solido de eriocromo negro T.</li> <li>Titular con solución EDTA</li> </ul>	<p><math>DT = V \cdot 20</math></p> <p>Donde V= vol. De EDTA usado</p>
			<p>Dureza cálcica</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tomar 50 ml de muestra, adicionar 2 ml de NaOH 1N</li> <li>Adicionar 0.2-0.13 gr de polvo indicador de Murexide</li> <li>Titular con solución de EDTA hasta un punto final purpura.</li> </ul>	<p><math>DCa = V \cdot 20</math></p>
				<p><math>DMg = Dt - Dca</math></p>

Fuente: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD, R.E

### 2.2.1.2.2 DETERMINACIÓN DE FOSFATOS

**TABLA 2.2.1.2.2-1**  
**DETERMINACIÓN DE FOSFATOS**  
**MÉTODO: COLORIMÉTRICO**

FUNDAMENTO	PROCEDIMIENTO	REACTIVOS	MATERIALES	CALCULOS
El fosforo se encuentra en las aguas naturales y agua residuales casi exclusivamente como fosfatos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar 25 ml de muestra y Diluir en un balón aforo hasta 100 ml</li> <li>• Tomar 25 ml de esta solución</li> <li>• Adicionar 1 ml de solución 1 amino 2 naptol 4 sulfónico</li> <li>• Reposar 10 minutos</li> <li>• Llevar a 50 ml con agua destilada</li> <li>• Realizar la lectura en el spectronic a 880 nm de long. de onda</li> <li>• Observar la absorvancia por muestra y calcular.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solución de molibdato de amonio</li> <li>• Solución 1 amino 2 naptol 4 sulfónico</li> <li>• Agua destilada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balón aforado de 500 ml</li> <li>• Probeta de 100 ml</li> <li>• Pipeta de 10 ml</li> <li>• Spectronic</li> </ul>	$PO_4^{-2} = \text{ppm observados} * 4$

Fuente: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD, R.E.

### 2.2.1.2.3 DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD

**TABLA 2.2.1.2.3-1**  
**DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD**  
**NORMA: ASTM D 86 ISO 3405**

<b>FUNDAMENTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CALCULOS</b>
<p>La conductividad es una medida de la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica y está directamente relacionada con la concentración de sustancias ionizadas en el agua.</p> <p>Se usa para determinar la pureza del agua desmineralizada y los sólidos totales disueltos.</p>	<p>i) Conductímetro</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Agua destilada</li></ul>	<p>100 ml de muestra se pone en el equipo de destilación y se somete a un proceso de ascenso de temperatura. Se determina el punto inicial y punto final.</p>	<p>Lectura directa</p>

Fuente: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD, R.E.



#### 2.2.1.2.4 DETERMINACIÓN DE CLORURO RESIDUAL

**TABLA 2.2.1.2.4-1**

#### DETERMINACIÓN DE CLORURO RESIDUAL

#### METODO: UOP-456-80 T

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CALCULOS
Si a una muestra clara de agua que contenga cloro residual se añade una solución de ortotalina, esta reacciona rápidamente con el cloro y lentamente con los compuestos orgánicos clorados tales como las cloraminas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botella ambar</li> <li>• Agitar de vidrio</li> <li>• Termómetro de mercurio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1,35 gr de dicloruro de ortotolidina</li> <li>• 500 ml de agua destilada</li> <li>• 150 ml de ácido clorhídrico concentrado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En un tubo nessler de 50 ml depositar 2,5 ml de ortotolidina.</li> <li>• Adicionar sobre la ortotolidina 50 ml de muestra de agua cuya temperatura este entre 20-25 C</li> <li>• Esperar, reposar 3 minutos observar el color comparando con estándares preparados y final a reportar.</li> </ul>	Lectura directa

Fuente: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD, R.E

**2.2.1.2.5 DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE HIDROGENO pH**

**TABLA 2.2.1.2.5-1**

**DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE HIDROGENO PH**

**METODO: ESTÁNDAR METHODS 4500-H+B**

FUNDAMENTO	PROCEDIMIENTO	REACTIVOS	MATERIALES	CÁLCULOS
<p>El pH de una solución es un indicador de la efectividad de las concentraciones de iones de hidrógeno.</p> <p>El pH nos da una medida muy importante para el control de la corrosión y formación de incrustaciones</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajustar el pH metro con soluciones reguladoras de buffer.</li> <li>• Tener cuidado de que los electrodos se encuentren en buenas condiciones.</li> <li>• Determinar el pH de la muestra.</li> <li>• Después de cada medición lavar el o los electrodos con agua destilada, mantenerlos sumergidos en agua y tapar el equipo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solución Buffer</li> <li>• Agua destilada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH metro</li> </ul>	<p>Lectura directa</p>

Fuente: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD, R.E

### 2.2.1.2.6 DETERMINACIÓN DE SÍLICE

TABLA 2.2.1.2.6-1

### DETERMINACIÓN DE SÍLICE

METODO: ASTM 859-D

FUNDAMENTO	PROCEDIMIENTO	REACTIVOS	MATERIALES	CALCULOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La sílice existe normalmente como SiO<sub>2</sub></li> <li>• La sílice en el agua de alimentación de las calderas puede recubrir las aspas de las turbinas y disminuir la eficiencia del intercambiador de calor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar de 10 ml de muestra</li> <li>• Adicionar con agitación 5 ml de s/n de ácido clorhídrico</li> <li>• Adicionar 5 ml de s/n de molibdato de amonio</li> <li>• Estabilizar la muestra por un minuto.</li> <li>• Adicionar 10 ml de s/n de sulfito de sodio, mezclar.</li> <li>• Permitir que la mezcla se estabilice por 10 minutos.</li> <li>• Llevar la mezcla a una celda de Spectronic y leer la lectura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ácido clorhídrico</li> <li>• Molibdato de amonio</li> <li>• S/n de sulfito de sodio</li> <li>• S/n patrón de sílice</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spectronic</li> </ul>	Lectura directa

Fuente: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD, R.E

## **2.3 DATOS EXPERIMENTALES**

### **2.3.1 DIAGNÓSTICO**

El paro programado de planta realizado el mes de diciembre del 2011 en la Unidad de FCC indica que la carcasa se encontraba en condiciones normales, con poca suciedad en su pared interior y mientras tanto que para el haz de tubos internamente y externamente hay acumulación de depósitos sólidos removibles y restos de producto incrustado en los tubos, con bastante ataque corrosivo. La limpieza en el lado carcasa se realizó con herramientas manuales y chorro de agua a presión, mientras que en el haz de tubos su limpieza fue con varilla corrugada y chorro de agua a presión.

El intercambiador de calor FE-5, se pudo constatar que el haz de tubo del actual equipo se encuentra taponados 10 de los 31 tubos, (ANEXO III), siendo su eficiencia del 33%, debido a las condiciones tecnológicas del equipo, es del tipo AEU según las normas (TEMA), por lo cual, presenta incrustaciones en el haz de tubos y dificulta la limpieza en el interior de los tubos.

Para lograr una mejoría en el intercambiador de calor FE-5 se ha diseñado un equipo del tipo AES de cabezal flotante, en el cual, se ha logrado analizar las variables mas sobresalientes (temperatura, flujo, área de transferencia, presión, coeficiente global de transferencia de calor).

## 2.3.2. DATOS

### 2.3.2.1 DATOS EXPERIMENTALES

#### 2.3.2.1.1 TOMA DE DATOS EN EL CAMPO

**TABLA 2.3.2.1.1-1  
TOMA DE DATOS EN EL CAMPO**

DIA	VARIABLES DEL PROCESO							
			Temperatura (H2O)		Temperatura (ACL)			
	Flujo másico (H2O) Kg/h	Flujo másico (ACL) Kg/h	entrada C	salida C	entrada C	salida C	Presión (H2O) PSIG	Presión (ACL) PSIG
2011-08-01	40643	6243	35	55	200	52	60	195
2011-08-03	40643	6243	30	52	200	48	60	195
2011-08-05	40643	6243	32	53	200	51	60	195
2011-08-08	40643	6243	33	54	200	47	60	195
2011-08-10	40643	6243	35	55	200	48	60	195
2011-08-12	40643	6243	35	55	200	48	60	195
2011-08-15	40643	6243	34	55	200	48	60	195
2011-08-17	40643	6243	33	54	200	50	60	195
2011-08-19	40643	6243	35	56	200	53	60	195
2011-08-22	40643	6243	36	55	200	53	60	195
2011-08-24	40643	6243	32	52	200	54	60	195
2011-08-26	40643	6243	34	54	200	55	60	195
2011-08-29	40643	6243	35	55	200	50	60	195

Fuente: CALAHORRANO C., 2012

### 2.3.2.1.2. PROPIEDADES FÍSICAS DEL ACEITE CICLICO LIGERO

TABLA 2.3.2.1.2-1

#### PROPIEDADES FÍSICAS DEL ACEITE CÍCLICO LIGERO

Parámetro	Unidad	Valor
Densidad	Lb/pies <sup>3</sup>	957,6
Viscosidad	Lb/pie x h	4,79
Capacidad calorífica	BTU/ lb x F	0,4982007
Gravedad especifica		0,9488
Grados API		20

Fuente: LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD, REFINERÍA ESMERALDAS.

### 2.3.2.2 DATOS ADICIONALES

#### 2.3.2.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO

TABLA 2.3.2.2.1-1

#### PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO

Parámetro	Unidad	Valor
Temperatura media del agua	F	107,5
Densidad	Lb/pies <sup>3</sup>	61,9
Viscosidad	Lb/pie x h	1,533
Capacidad calorífica	BTU/ lb x F	0,9979

Fuente: OCON TOJO, PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA.

#### 2.3.2.2.2. DETERMINACIÓN DE CALIDAD DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO

Tabla 2.3.2.2.2-1

#### DETERMINACIÓN DE CALIDAD DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO

Condiciones del agua		Factores	
Temperatura	31,09	Tf	0,7
pH	7,97	pH	7,97
Alcalinidad	65,38	Af	1,82
Dureza	187,03	Hf	2,27

Fuente: CALAHORRANO C., 2012

# **CAPITULO**

## **III**

### **DISEÑO**

### 3. DISEÑO

#### 3.1 CÁLCULOS PARA EL EQUIPO

##### 3.1.1 BALANCE DE CALOR (Q)

De la ecuación 1.3.4-1 se tiene:

$$Q = W_{ACL} C_{p_{ACL}} (T_1 - T_2)$$

$$Q_{ACL} = 13763 * 0,4982007 (446 - 120) = 2235296 \text{ BTU/h}$$

De la ecuación 1.3.4-2 se tiene:

$$Q_{H_2O} = W_{H_2O} C_{p_{H_2O}} (t_2 - t_1)$$

$$Q_{H_2O} = 89600 * 0,9979 (120 - 95) = 2235296 \text{ BTU/h}$$

##### 3.1.2 CÁLCULO DE LMDT

De la ecuación 1.3.5-1 se tiene:

$$LMDT = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \left( \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1} \right)}$$

$$LMDT = \frac{(446 - 120) - (120 - 95)}{\ln \frac{(446 - 120)}{(120 - 95)}}$$

$$LMDT = \frac{326 - 25}{\ln \frac{326}{25}}$$

$$LMDT = 117,21 \text{ F}$$



### 3.1.3 CÁLCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR (U)

a) **Asumir:**  $U_s = 60 \text{ BTU/pies}^2 \text{ F h}$  (ver anexo V)

De la ecuación 1.3.7-1 se tiene:

$$A_o = \frac{Q}{U_s * MLDT}$$
$$A_o = \frac{2235296}{60 * 117,21}$$
$$A_o = 317,84 \text{ pies}^2$$

b) **Cálculo de número de tubos**

$\alpha'' = 0,1963 \text{ (pies}^2/\text{pie)}$ , obtenemos del anexo II

De la ecuación 1.3.7-2 se tiene:

$$N_t = \frac{A_o}{\alpha'' * L}$$
$$N_t = \frac{317,84}{0,1963 * 20}$$
$$N_t = 80,96 = 81 \text{ tubos}$$

c) **Cálculo del diámetro de la carcasa**

Con el número de tubos  $N_t = 81$  y el número de pasos por el lado tubos  $n = 1$ , podemos determinar el diámetro de la carcasa  $D_{ic}$ , tomando en cuenta además el exterior de los

tubos y el tipo de arreglo (pitch), de acuerdo al anexo VI

$$Dic = 12 \text{ in} = 0,99996 \text{ pies}$$

Para esta carcasa se tiene un  $N_t$  corregido de 81

#### d) Cálculo del área efectiva

De la ecuación 1.3.7.3 se tiene:

$$A = N_t * a'' * L$$

$$A = 81 * 0,1963 * 20$$

$$A = 318,006 \text{ pies}^2$$

Para corregir el U:

De la ecuación 1.3.10.1 se tiene:

$$U = \frac{Q}{A * LMDT}$$

$$U = \frac{2235296}{318,006 * 117,21}$$

$$U = 61,82 \text{ [BTU/h pies}^2 \text{ F]}$$

#### e) Coeficientes individuales del lado tubo

- Área transversal del flujo

$a'_t = 0,182 \text{ pulg}^2 = 0,00126308 \text{ pies}^2$ , obtenemos del anexo II

De la ecuación 1.3.11.1 se tiene:

$$a_t = \frac{N_t * a'_t}{n}$$

$$a_t = \frac{81 * 0,00126308}{1}$$

$$a_t = 0,10231 \text{ pies}^2$$

- **Velocidad másica**

De la ecuación 1.3.11.2 se tiene:

$$G_t = \frac{W_t}{a_t}$$

$$G_t = \frac{89600}{0,10231}$$

$$G_t = 875774,17 \text{ [lb/h pies}^2\text{]}$$

- **Reynolds**

De la ecuación 1.3.11.3 se tiene:

$$Re_t = \frac{D_{it} * G_t}{\mu_{H_2O}}$$

$$Re_t = \frac{0,040165 * 875774,17}{1,533}$$

$$Re_t = 22945,54$$

- **Velocidad del agua**

De la ecuación 1.311.4 se tiene:

$$V_t = \frac{G_t}{3600 * \rho_{H_2O}}$$

$$V_t = \frac{875774,17}{3600 * 61,9}$$

$$V_t = 3,93 \text{ pies/s}$$

- **Coefficiente del lado tubo**

Con el valor de la velocidad del agua,  $V_t = 3,93 \text{ pies/s}$  y del anexo VII se encuentra

$$hi = 740 \text{ [BTU/h pie}^2 \text{ F]}$$

$$hi = 740 \text{ [BTU/h pie}^2 \text{ F]}$$

- **Corrección por BWG**

$$hi = 740 * 1,01 = 747,4 \text{ [BTU/h pie}^2 \text{ F]}$$

De la ecuación 1.3.11.5 se tiene:

$$hio = hi * \frac{Dit}{Dot}$$

$$hio = 747,7 * \frac{0,04016}{0,06249}$$

$$hio = 480,33 \text{ [BTU/h pie}^2 \text{ F]}$$

- **Caída de presión**

Con el valor de Reynolds de  $Re_t = 18893,63$  obtenemos el valor de  $f = 0,00036$ , a partir del anexo VIII

De la ecuación 1.3.11.6 se tiene:

$$\Delta Pt = f * \frac{Gt^2 * L * n}{(5,22 * 10^{10}) Dit * gr. sp_t * \Phi t}$$

$$\Delta Pt = 0,00036 * \frac{875774,17^2 * 20 * 1}{(5,22 * 10^{10}) * 0,04016 * 1 * 1}$$

$$\Delta Pt = 2,63 \text{ psi}$$

- **Caída de presión en el retorno**

De la ecuación 1.3.11.7 se tiene:

$$\Delta Pr = \frac{4n}{gr. sp_t} \frac{V^2}{2g}$$

Con,  $G_t = 1505882,35 \text{ [lb/h pies}^2\text{]}$  con el anexo IX encontramos que  $\frac{V^2}{2g} = 0,049$

$$\Delta Pr = \frac{4 * 1}{1} * 0,049$$

$$\Delta Pr = 0,196 \text{ psi}$$

- **La caída de presión total del lado tubo**

De la ecuación 1.3.11.8 se tiene:

$$\Delta P_T = \Delta P_t + \Delta P_r$$

$$\Delta P = 2,63 + 0,196$$

$$\Delta P_r = 2,83 \text{ psi}$$

**f) Cálculo del coeficiente individual de transferencia de calor lado carcasa**

- **Área transversal de flujo**

$$P_t = 0,08333 \text{ pies}$$

$$C = P_t - D_o = 0,08333 - 0,0624975 = 0,0208325 \text{ pies}$$

$$B = \frac{1}{5} * Dic = 0,2 * 0,99996 = 0,199992 \text{ pies}$$

De la ecuación 1.3.12.1 se tiene:

$$a_s = \frac{Dic * C * B}{P_T}$$

$$a_s = \frac{0,99996 * 0,0208325 * 0,199992}{0,08333}$$

$$a_s = 0,049996 \text{ pies}^2$$

- **Velocidad másica**

De la ecuación 1.3.12.2 se tiene:

$$G_s = \frac{W_s}{a_s}$$

$$G_s = \frac{13763}{0,049996}$$

$$G_s = 275282 \text{ lb/h pies}^2$$

- **Reynolds**

Del anexo X tenemos que  $Deq = 0,95 \text{ pulg} = 0,079164 \text{ pies}$  a partir del arreglo cuadrado, diámetro  $\frac{3}{4}$  y pitch 1 pulg.

De la ecuación 1.3.12.3 se tiene:

$$Re_s = \frac{Deq * G_s}{\mu_{ACL}}$$

$$Re_s = \frac{0,079164 * 275282}{4,79}$$

$$Re_s = 4549,54$$

- **Coficiente del lado carcasa (ho)**

De la ecuación 1.3.12.4 se tiene:

$$h_o = J_H * \frac{k_s}{Deq} * \left( \frac{\mu * Cp}{k_s} \right)_s^{\frac{1}{8}} * \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$$

Del anexo XI y con  $Re_s = 4549,54$  encontramos  $J_H = 35$

$$\phi_s = \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} = 1$$

Con el valor de la viscosidad del agua  $\mu_t = 1,98 \text{ cp}$  y los grados Api del mismo

compuesto de 20 a partir del (anexo XII),  $k_s \left( \frac{\mu * Cp}{k_s} \right)_s^{\frac{1}{8}} = 0,22$

$$h_o = 35 * \frac{0,22}{0,079164} * 1$$

$$h_o = 97,27 \text{ BTU/h pies}^2 \text{ F}$$

- **Caída de presión**

Con  $Re_s = 10339,09$  del anexo XI se obtiene  $f = 0,0021$

$$N_D = \frac{L}{B} * N_{PC} = \frac{20}{0,199992} * 1 = 100,004 = 100$$

De la ecuación 1.3.12.5 se tiene:

$$\Delta P_s = f \frac{Gs^2 * Dic * N_D}{(5,22 \times 10^{10}) * Deq * gr. sp * \phi_s}$$

$$\Delta P_s = 0,0021 \frac{275811,62^2 * 0,99996 * 100}{(5,22 \times 10^{10}) * 0,079164 * 0,9488 * 1}$$

$$\Delta P_s = 4,83 \text{ psi}$$



- **Coefficiente total limpio**

De la ecuación 1.3.12.6 se tiene:

$$U_c = \frac{h_{io} * h_o}{h_{io} + h_o}$$

$$U_c = \frac{480,33 * 97,27}{480,33 + 97,27}$$

$$U_c = 80,89 [BTU/h \text{ pies}^2 F]$$

- **Coefficiente total de diseño, calculado.**

De la ecuación 1.3.12.7 se tiene:

$$U_D = \frac{U_c}{1 + (R_D * U_c)}$$

$$U_D = \frac{80,89}{1 + (0,003 * 83,34)}$$

$$U_D = 65,09 [BTU/\text{pie}^2 h F]$$

- **Error**

De la ecuación 1.5.10.8 se tiene:

$$\text{error porcentual} = \frac{V \text{ calculado} - V \text{ asumido}}{V \text{ asumido}} * 100$$

$$\text{error porcentual} = \frac{65,09 - 61,82}{61,82} * 100$$

$$E = 5,28 \%$$

### **3.1.4. Cálculo del Índice de Langelier**

De la ecuación 1.3.13.1

$$\text{pH} + \text{TF} + \text{HF} + \text{AF} - 12,5$$

$$7.97 + 0.7 + 2.27 + 1.82 - 12,5 = 0,23$$

Tenemos un valor de 0,23 por lo tanto indica que el agua es incrustante (ANEXO I)

## **3.1.5 TIPO DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN Y CONTROLES**

### **3.1.5.1 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

“El material de construcción más común en los intercambiadores de calor es el acero al carbono. La construcción de acero inoxidable se utiliza a veces en los servicios de plantas químicas y en la industria de alimentos donde se necesitan altas condiciones de asepsia y, en raras ocasiones, en las refinerías petroleras.”<sup>9</sup>

### **3.1.5.2 CARCASA**

El material más usado para la construcción de las carcasas es el acero al carbono. Para diámetros inferiores a 24”, en la carcasa se emplea un tubo de acero L.P.S (Schedule 30 hasta 12” y 1 cm de espesor entre 12” y 24”), si la presión de servicio es inferior a 20 Kg/cm<sup>2</sup>.

Para más de 24” la carcasa se realiza con planchas de acero enrolladas y soldadas. Por cada extremo se sueldan las bridas que llevarán las tapas y las cajas de distribución.

---

<sup>9</sup> Materiales de Construcción, [http://www.thermoequipos.com.ve/pdf/articulo\\_03.pdf](http://www.thermoequipos.com.ve/pdf/articulo_03.pdf)

Las toberas de entrada y salida se sueldan, o no, con una placa de refuerzo según la presión de servicio. Por último la carcasa se podrá equipar con anillos para poder levantarla y llevará, además, la placa de identidad del aparato.

### **3.1.5.3 HAZ DE TUBOS**

El diámetro nominal corresponde al diámetro exterior, para el cual las tolerancias son severas. Las condiciones de funcionamiento, imponen la elección del material:

- Acero al carbono para uso general.
- Admiralty para agua de mar.
- Aceros aleados para productos corrosivos y temperaturas elevadas.
- Aluminio o cobre, para temperaturas muy bajas.

Para la elección de materiales construcción del presente equipo será la misma que esta descrita en la HEAT EXCHANGER DATA SHEET (anexo XIII)

### **3.1.6. SISTEMA DE CONTROL**

“Los procesos industriales se tienen su propósito principal el de transformar materias primas en un producto final. Durante el proceso de la producción de estos bienes, se tienen diversos procesos, ya sea que sean reutilizados los materiales, o se convierta energía para producir el producto final.”<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> Sistema de Control, <http://html.rincondelvago.com/procesos-industriales.html>

La instrumentación provee el significado del proceso de producción para asegurar que los productos sean elaborados apropiadamente y el proceso sea continuo. La secuencia de cambios puede ocurrir en el aspecto químico, físico o ambos en la composición de una sustancia incluyendo parámetros como el flujo, nivel, presión, temperatura densidad volumen, acidez y gravedad específica.

El sistema de control para el intercambiador de calor está conformado por un alzo de control por retroalimentación en el que la acción del controlador es dependiente de la salida, el cual es el que se utilizará para el diseño del equipo.

La variable controlada (ACL) que se encuentra a la salida del intercambiador por el lado carcasa, está constituida por el siguiente lazo de control:

Un sensor, que mide el valor de la variable controlada (temperatura del aceite cíclico ligero) y la convierte a una señal estándar por el transmisor que a su vez envía esta señal al controlador. El controlador compara la señal con el SET POINT o punto de control deseado que se encuentra sesteado a 120 F, y ejerce automáticamente una acción de corrección de acuerdo con la desviación. El elemento final de control recibe la señal del controlador y modifica el flujo de agua de enfriamiento de la entrada del intercambiador por el lado tubo.

## 3.2. RESULTADOS

### 3.2.1. PARÁMETROS FÍSICOS DEL EQUIPO

**TABLA 3.2.1-1**  
**PARÁMETROS FÍSICOS DEL EQUIPO**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
Transferencia de calor	BTU/h	2235296
LMDT	F	117,21
Número de tubos corregido		81
Área de transferencia efectiva	Pies2	318,006
Coefficiente global de transferencia de calor	BTU/h pies2 F	61,82
Caída de presión total del tubo	Psi	2,83
Área de transferencia, carcasa	Pies2	0,0833
Caída de presión de la carcasa	Psi	4,83
Coefic. limpio de transferencia de calor	BTU/h pies2 F	80,88
Coefic. de diseño de transferencia de calor	BTU/h pies2 F	65,09
Error	%	5,28

Fuente: CALAHORRANO C., 2012

### 3.3. PROPUESTA

#### 3.3.1. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO A PROYECTARSE

**TABLA 3.3.1-1**  
**CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO A PROYECTARSE**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
TEMA, Tipo		AES
Clase		R
Número de pasos por la carcasa		1
Número de pasos por el lado tubo		1
Diámetro interior del tubo	Pies	0,04016506
Diámetro exterior del tubo	Pies	0,0624975
Longitud del tubo	Pies	20
Numero de tubos		81
Pitch	Pies	0,08333
Diámetro interno de la carcasa	Pies	0,99996
Arreglo cuadrado Calibre, BWG = 10 Número de baffles o deflectores = 100 Deflectores serán segmentados simples en un 25% en disposición horizontal, espaciados a un mínimo de 1/5 ( diámetro interno de la carcasa)		

Fuente: CALAHORRANO C., 2012

### 3.4. REQUERIMIENTO PRESUPUESTARIO

Para la estimación del costo del intercambiador se debe realizar mediante el método gráfico que consiste en regresión de los datos.

De costos de intercambiadores en un periodo histórico significativo con factores asociados a características particulares del equipo (área de transferencia, caídas de presión, materiales de construcción, entre otros). Con este método se calcula un valor base del intercambiador, empleando el anexo XVI en el cual solo es necesario conocer el área del equipo y el tipo de intercambiador que se desea construir.

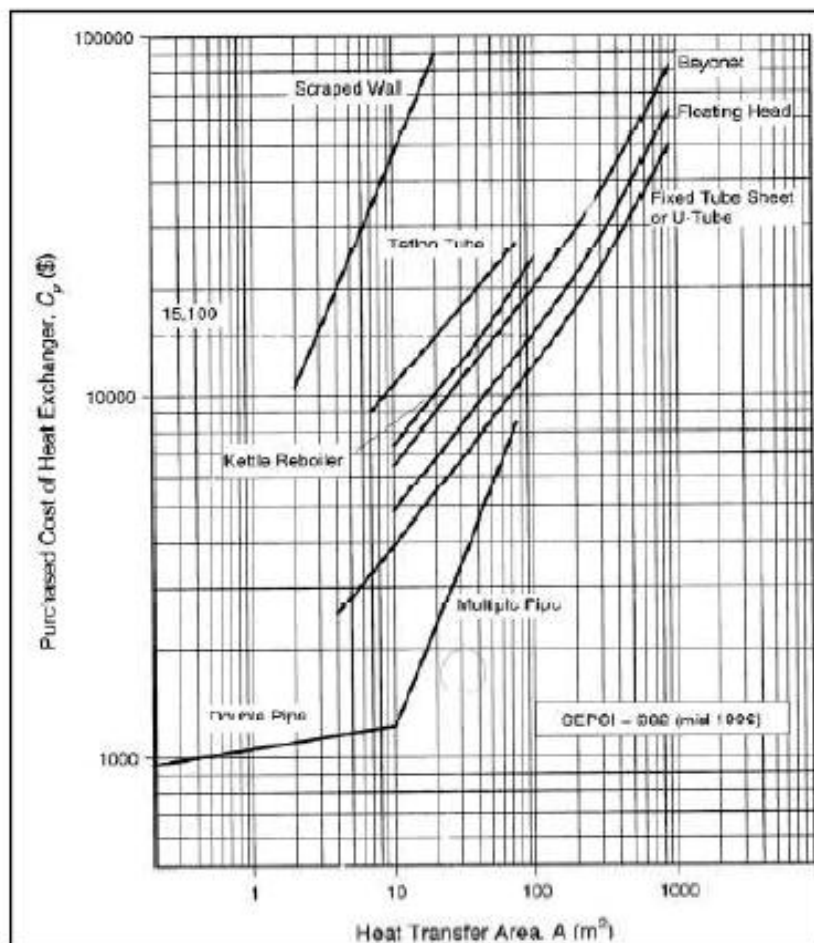


Fig. 3.4-1 Costo base del intercambiador en función del área de transferencia

En la Fig. XVI se puede apreciar en el eje de las abscisas el área del intercambiador que se desee estimar el costo. Con el área de transferencia de  $30 \text{ m}^2$  para un intercambiador de calor de tubo y carcasa de cabezal flotante, tenemos que el costo base del equipo es de \$ 8000. Una vez obtenido este valor, se calcula el valor de corrección por efecto de la presión y por el tipo de material. En el anexo XVII mediante la presión de 10 bar, tenemos que el factor de presión es 1,0 y de la tabla 3.4-1 como los materiales del equipo van hacer contruidos de acero al carbón, tenemos que el factor de corrección es 1,0

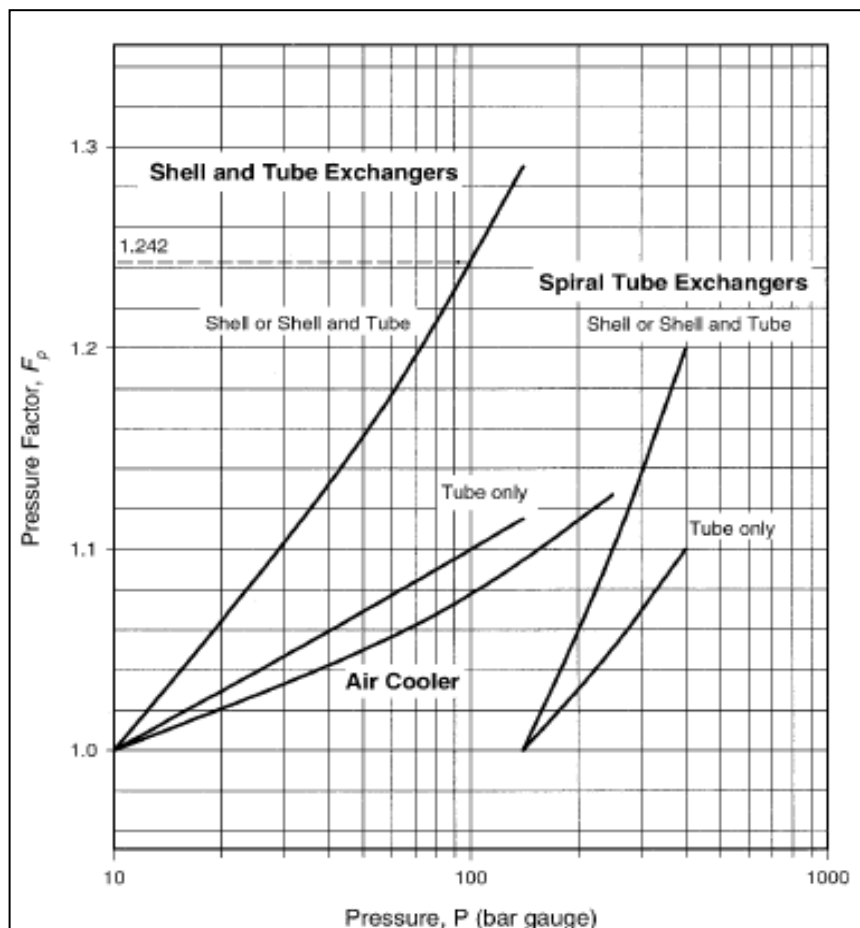


Fig. 3.4-2 Factor de corrección por efecto de la presión



**TABLA 3.4-1****FACTORES DE CORRECCIÓN DEPENDIENDO DE LA COMBINACIÓN  
TUBO-CARCASA DEL INTERCAMBIADOR**

<b>MATERIAL DE LA CARCASA</b>	<b>MATERIAL DEL TUBO</b>	<b>F. DE CORRECC.</b>
Acero al carbono (CS)	Acero al carbono (CS)	1,00
Acero al carbono (CS)	Cobre (Cu)	1,25
Cobre (Cu)	Cobre (Cu)	1,60
Acero al carbono (CS)	Acero inoxidable (SS)	1,70
Cobre (Cu)	Acero inoxidable (SS)	3,00
Acero al carbono (CS)	Aleación Níquel (Ni)	2,80
Aleación Níquel (Ni)	Aleación Níquel (Ni)	3,80
Acero al carbono (CS)	Titanio (Ti)	7,20
Titanio (Ti)	Titanio (Ti)	12,00

**Fuente:** Factores de corrección, <http://es.scribd.com/doc/52223043/Intercambiador>

Una vez obtenido los datos anteriores, se multiplican y con esta cantidad se lee en el anexo XVIII a partir del cual, resulto un valor de 3.2 este valor habrá que multiplicar al costo base del intercambiador. El anexo XVIII agrupa a estos factores de corrección y asigna una desviación global del equipo del intercambiador de calor.

**TABLA 3.4-2****ÍNDICES CHEMICAL ENGINEERING**

<b>Año</b>	<b>I. del costo de planta CE</b>	<b>I. del costo de equipo M&amp;S</b>
1985	325.3	789.6
1986	318.4	797.6
1987	323.8	813.6
1988	342.5	852.0
1989	355.4	895.1
1990	357.6	915.1
1991	361.3	930.6
1992	358.2	943.1
1993	359.2	964.2
1994	368.1	993.4
1995	381.1	1,027.5
1996	381.8	1,039.2
1997	386.5	1,056.8

Fuente: Factores de corrección, <http://es.scribd.com/doc/52223043/Intercambiador>

El precio del intercambiador de calor con este método puede ser escalonado al precio de otra fecha posterior a enero de 1985 por medio de los índices de “Chemical Engineering Plant Cost Index” y por “Marshall & Swift Equipment Cost Index”. El costo del intercambiador base corregido desde enero de 1986 a otra fecha puede obtenerse, multiplicando el valor base por la relación de los índices de 1986 y el correspondiente al año del 2011.

<b>CHEMICAL ENGINEERING PLANT COST INDEX (CEPCI)</b>			
(1957-59 = 100)	Nov.'11 Prelim.	Oct.'11 Final	Nov.'10 Final
<b>CE Index</b>	590.8	594.0	556.7
Equipment	721.0	724.7	669.0
<b>Heat exchangers &amp; tanks</b>	<b>686.6</b>	<b>691.5</b>	<b>618.3</b>
Process machinery	674.0	674.9	627.0
Pipe, valves & fittings	899.3	906.3	847.0
Process instruments	428.0	432.5	426.1
Pumps & compressors	910.4	911.5	904.0
Electrical equipment	510.6	508.8	487.1
Structural supports & misc	767.5	769.8	688.2
Construction labor	326.9	330.0	328.8
Buildings	518.5	521.2	501.4
Engineering & supervision	330.4	330.4	336.1

Annual Index:
<b>2003 = 402.0</b>
<b>2004 = 444.2</b>
<b>2005 = 468.2</b>
<b>2006 = 499.6</b>
<b>2007 = 525.4</b>
<b>2008 = 575.4</b>
<b>2009 = 521.9</b>
<b>2010 = 550.8</b>

Fig. 3.4-3 Re vista Chemical Engineering Plant Cost Index

$$CT = 55977,58$$

$$\text{Imprevistos (5\%)} = 2798,88$$

$$CT = 55977,58 + 2798,88$$

$$CT = 588776,46$$

# **CAPITULO IV**

**ANALISIS DE**

**RESULTADOS**

#### 4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

De manera general, el análisis de los parámetros controlados en esta investigación y cuyos resultados se exponen en las tablas y figuras anteriores, nos permite establecer que estos resultados cumplen con las normas, es decir que los parámetros analizados están dentro de los límites que dispone la Norma TEMA para intercambiadores de calor y la Norma Internacional ISO/IEC 17025 para control de calidad para laboratorios.

Los flujos máxicos de las corrientes,  $W_{ACL}$  de 13763 lb/h y  $W_{H_2O}$  de 89600 lb/h, las temperaturas de entrada y salida de ambas corrientes y los calores específicos del  $C_{p_{ACL}}$  de 0,4982 y del  $C_{p_{H_2O}}$  de 0,9979 se comprueban mediante el calor transferido  $Q$  de 2235296 BTU/h el cual, indica que el calor transferido por el fluido caliente es igual al calor ganado por el fluido frío, por lo tanto no hay pérdidas de calor.

Para determinar el valor de  $U_D$ . Este coeficiente depende de la configuración del intercambiador el cual está en función del área de intercambio. Por lo tanto el proceso es iterativo. Se comienza con una estimación preliminar de  $U$  de 60 BTU/h pies<sup>2</sup> F basada en reglas generales, con este valor podemos despejar el área de intercambio efectiva de 318,006 pies<sup>2</sup>, con lo que conoceremos el número de tubos que resulto un total de 81 y la configuración del intercambiador.

Con las dimensiones se recalcula el coeficiente de diseño de transferencia de calor  $U_D$  de 65,09 BTU/h pies<sup>2</sup> Fy si este valor no es semejante o no concuerda con el previsto se repite el proceso.

# **CAPITULO V**

## **CONCLUSIONES Y**

## **RECOMENDACIONES**

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- El diagnostico del estado actual del equipo, permitió que falta un adecuado mantenimiento y control del mismo, además con el paso del tiempo, ha provocado que este se encuentre en mal estado y que tenga un funcionamiento deficiente, debido que se encuentra 10 de los 31 tubos fuera de servicio.
- Se identifico las variables de proceso de acuerdo a las condiciones del proceso, las mismas que son: temperatura de entrada y salida del aceite cíclico ligero se enfría desde 446 F a 120 F, y del agua de enfriamiento se calienta de 95 F a 120 F, respectivamente. El flujo que ingresa por el lado carcasa con una masa de 13763 lb/h, mientras que para el lado tubo se usa 89600 lb/h. Las variables identificadas permitieron desarrollar los cálculos de ingeniería para dimensionar el equipo y seleccionar los materiales adecuados.
- Se diseño un intercambiador de tubo y carcasa para el circuito flushing de la unidad de FCC, el equipo debe ser construido de acuerdo al TEMA clase R, tipo AES de cabezal flotante, debido que el anterior equipo de acuerdo al TEMA es del tipo AEU. Para el nuevo diseño, los tubos deberá ser construido de 0,062498 pies de diámetro externo con un espesor BWG de 10 plg., diámetro interior del tubo 0,048665 pies, la longitud de los tubos es de 20 pies y 81 número de tubos. Las dimensiones de la carcasa es de 0,99996 pies de diámetro interno.



- Una vez identificadas las variables de proceso, se planteo los cálculos de ingeniería para el diseño del intercambiador de calor FE-5, calculando la transferencia de calor requerida de 2235296 BTU/h, el área de transferencia efectiva de 318,006 pies<sup>2</sup> incluyendo el coeficiente de diseño de transferencia de calor ( $U_D$ ) de 65,06 BTU/h pie F, obteniéndose así un error porcentual del 5,28%.
- El presupuesto requerido para el diseño del intercambiador de calor fue de... dólares en el cual, están involucrados los costos de materiales, el costo de la mano de obra y costos adicionales considerando un imprevisto del 5%.
- Con la finalidad de obtener el aceite de flushing, se requiere un lazo de control por retroalimentación, mediante un sensor, controlador y el elemento final de control.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Dar mantenimiento preventivo adecuado al equipo y seguir cuidadosamente el manual de operación con el fin de alargar su vida útil.
- Monitorear constantemente el agua que ingresa y sale de la planta, debido que el agua de enfriamiento analizada tiene tendencia de ser incrustante, según el índice de Langelier dio un valor de 0,23 esto quiere decir que tiende a formar depósitos como elementos calcáreos. Por lo cual, se recomienda aplicar los químicos adecuados para tratar esta agua y evitar el deterioro del equipo.
- Para alcanzar los mejores niveles de funcionamiento, depende mayormente de las acciones preventivas, por lo que es importante establecer un sistema de control en la operación de la planta y proporcionar a todo el sistema un mantenimiento periódico para disminuir el riesgo de un nuevo colapso.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- 1.- CAO., E.,** Transmisión de Calor., s. ed., Buenos Aires-Argentina., Universidad de Buenos Aires., 1983., Pp.28; 35; 90-94
- 2.- KERN., D.,** Procesos de Transferencia de Calor., 1ª. ed., México D.F-México., Mc Graw Hill., 1965., Pp. 162
- 3.- OCON., TOJO.,** Problemas de Ingeniería Química., 3ª. ed., Madrid-España., Aguilar., 1980., Pp. 377
- 4.- PERRY., R.,** Manual del Ingeniero Químico., 6ª. ed., México D.F-México., Mc Graw Hill., 2001., Pp. 11-4

## **BIBLIOGRAFÍA INTERNET**

### **5.- Aceite Cíclico Ligero (ACL)**

<http://www.redalyc.uaemex.mx/pdf/475/47546207.pdf>

2011/09/23

### **6.-Caracterización del agua**

<http://www.aquaprof.es/Parametros.html>

2011/10/01

### **7.- Diseño**

[www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/.../12/CAPÍTULO%20TRES.doc](http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/.../12/CAPÍTULO%20TRES.doc)

2011/10/25

## **8.- Factores de corrección**

<http://es.scribd.com/doc/52223043/Intercambiador>

2012/03/25

## **9.- Incrustaciones del agua**

[http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2723/1/DISE%C3%91O%20DE%](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2723/1/DISE%C3%91O%20DE%20)

2011/11/05

## **10.- Intercambiadores de calor**

[http://web.usal.es/~tonidm/DEI\\_07\\_comp.pdf](http://web.usal.es/~tonidm/DEI_07_comp.pdf)

2011/23/05

## **11.- Materiales de Construcción**

[http://www.thermoequipos.com.ve/pdf/articulo\\_03.pdf](http://www.thermoequipos.com.ve/pdf/articulo_03.pdf)

2011/15/12

## **12.-Modelo Matemático**

[www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/.../12/CAPÍTULO%20TRES.doc](http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/.../12/CAPÍTULO%20TRES.doc)

2011/11/12

## **13.-Revista Chemical Engineering Plant Cost Index**

[http://www.che.com/business\\_and\\_economics/economic\\_indicators.html](http://www.che.com/business_and_economics/economic_indicators.html)

2012/03/25

#### **14.- Sistema de Control**

<http://html.rincondelvago.com/procesos-industriales.html>2011/11/12

2011/15/12

#### **15.- Tratamiento de aguas**

<http://www.monografias.com/trabajos58/tratamiento-aguaenfriamiento/tratamiento-aguas-enfriamiento.shtml>

2011/12/20

# **ANEXOS**

**ANEXO I**  
**Análisis del Índice de Langelier**



NOTAS	<b>Categoría del diagrama</b>	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA  CHRISTIAN CALAHORRANO	Análisis del Índice de Langelier		
	Certificado      Por eliminar Por aprobar      Para informar Aprobado          Por calificar		Lámina	Escala	Fecha

**ANEXO II**  
**Características de los Tubos para 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	
3/8	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
1/2	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

NOTAS	<b>Categoría del diagrama</b>	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA CHRISTIAN CALAHORRANO	Características de los Tubos para Intercambiadores de Calor			
	Certificado		Por eliminar	Lámina	Escala	Fecha
	Por aprobar		Para informar			
	Aprobado	Por calificar				



**ANEXO III**  
**Estado actual del haz de tubos del intercambiador de calor FE-5**



<b>NOTAS</b>	<b>Categoría del diagrama</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE ING. QUÍMICA</b>  <b>CHRISTIAN CALAHORRANO</b>	<b>Estado actual del haz de tubos del intercambiador de calor FE-5</b>		
	Certificado      Por eliminar Por aprobar      Para informar Aprobado          Por calificar		Lámina	Escala	Fecha

**ANEXO IV**  
**Propiedades Físicas del Agua, a 1 atm**

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho$ Kg/m <sup>3</sup>	$\mu$ 10 <sup>-3</sup> Kg/m seg	$C_p$ Kcal/ Kg $^\circ\text{C}$	$k$ Kcal/ mh $^\circ\text{C}$	$\beta$ 10 <sup>-4</sup> $^\circ\text{C}^{-1}$	$\lambda$ Kcal/ Kg	$\nu$ 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /seg	$\alpha$ 10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> /seg	$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$	$g/a_v$ 10 <sup>12</sup> m <sup>-3</sup>
0	999,8	1,794	1,008	0,491	—	596,4	1,794	1,35	12,2	40,4
10	999,7	1,310	1,002	0,504	0,88	590,9	1,310	1,40	9,4	53,5
20	998,2	1,009	0,9995	0,517	2,07	585,5	1,011	1,44	7,02	67,4
30	995,7	0,800	0,9986	0,530	3,04	580,0	0,803	1,48	5,43	82,4
40	992,2	0,654	0,9987	0,543	3,85	574,5	0,659	1,52	4,33	97,7
50	988,1	0,549	0,9982	0,555	4,60	568,9	0,556	1,56	3,56	113,0
60	983,2	0,470	1,000	0,567	5,21	563,2	0,478	1,60	2,98	228,1
70	977,8	0,407	1,001	0,580	5,86	557,3	0,416	1,65	2,53	143,2
80	971,8	0,357	1,003	0,592	6,41	551,3	0,367	1,69	2,18	158,2
90	965,3	0,317	1,005	0,604	7,00	545,3	0,328	1,73	1,90	172,6
100	958,4	0,284	1,008	0,616	7,48	539,0	0,296	1,77	1,67	186,9
110	951,0	0,256	1,011	0,628	7,9	532,6	0,269	1,81	1,48	201
120	943,4	0,232	1,014	0,640	8,4	525,9	0,246	1,86	1,32	215
130	935,2	0,212	1,017	0,652	9,0	519,0	0,227	1,90	1,19	227
140	926,4	0,196	1,020	0,664	9,7	511,9	0,212	1,95	1,08	236
150	917,3	0,184	1,024	0,676	10,4	504,5	0,201	2,00	1,00	245
160	907,5	0,174	1,027	0,688	11,0	496,9	0,192	2,05	0,935	250

NOTAS	<b>Categoría del diagrama</b>		<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE ING. QUÍMICA</b>  CHRISTIAN CALAHORRANO	<b>Propiedades Físicas del Agua, a 1 atm</b>		
	Certificado	Por eliminar		Lámina	Escala	Fecha
	Por aprobar	Para informar				
	Aprobado	Por calificar				

**ANEXO V**  
**Coefficientes típicos globales de intercambio "U"**

CORRIENTE CALIDA	CORRIENTE FRIA	Btu/(pie <sup>2</sup> °F hr)	Kcal/(m <sup>2</sup> °C hr)
Agua	Agua	140 - 280	86 - 1400
Solventes orgánicos	Agua	45 - 130	215 - 645
Gases	Agua	2.6 - 45	13 - 215
Aceites Livianos	Agua	60 - 160	300 - 770
Aceites Pesados	Agua	10 - 45	50 - 215
Solventes orgánicos	Aceites Livianos	20 - 70	100 - 345
Agua	Salmuera	105 - 210	515 - 1030
Solventes orgánicos	Salmuera	26 - 90	130 - 430
Gases	Salmuera	2.6 - 45	13 - 215
Solventes orgánicos	Solventes org.	20 - 62	100 - 300
Aceites Pesados	Aceites Pesados	8 - 44	40 - 215
Vapor	Agua	260 - 700	1290 - 3440
Vapor	Aceites Livianos	44 - 140	215 - 690
Vapor	Aceites Pesados	9 - 80	40 - 390
Vapor	Solventes org.	105 - 210	515 - 1030
Vapor	Gases	3.5 - 35	17 - 170
Fluidos de intercambio (tipo Dowtherm)	Aceites Pesados	8 - 53	38 - 260

NOTAS	<b>Categoría del diagrama</b> Certificado      Por eliminar Por aprobar      Para informar Aprobado      Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA  CHRISTIAN CALAHORRANO	Coefficientes típicos globales de intercambio "U"		
			Lámina	Escala	Fecha

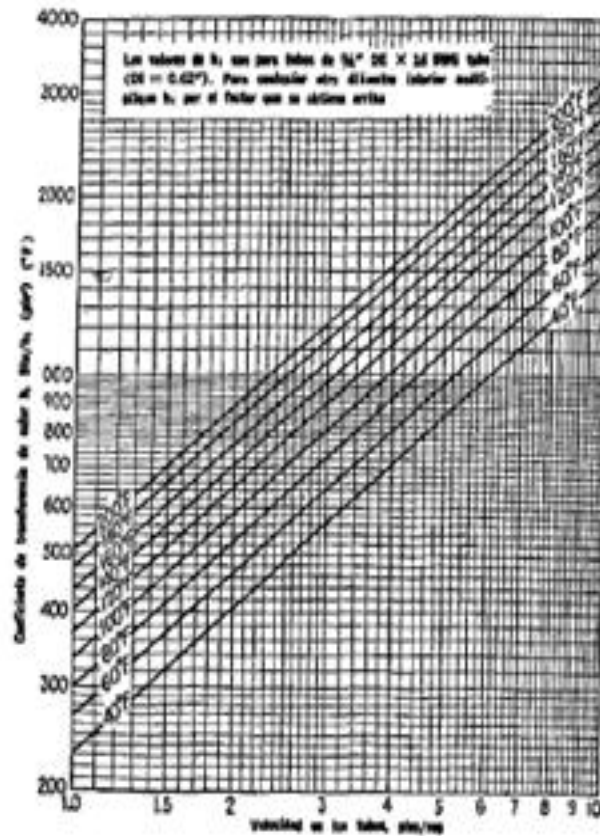
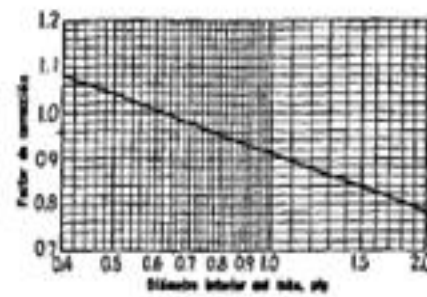
**ANEXO VI**  
**Configuraciones Comerciales de Carcasa y Tubos, por n carcasa y tubo**

<b>Carcasa ID pulg.</b>	<b>1-P</b>	<b>2-P</b>	<b>4-P</b>	<b>6-P</b>	<b>8-P</b>
<b>Tubos 3/4" OD</b>	<b>Pt = 1"</b>	<b>Cuadrado</b>			
8	32	26	20	20	
10	52	52	40	36	
12	81	76	68	68	60
13 1/4	97	90	82	76	70
15 1/4	137	124	116	108	108
17 1/4	177	166	158	150	142
19 1/4	224	220	204	192	188
21 1/4	277	270	246	240	234
23 1/4	341	324	308	302	292
25	413	394	370	356	346

<b>NOTAS</b>	<b>Categoría del diagrama</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE            CHIMBORAZO            FACULTAD DE CIENCIAS            ESCUELA DE ING. QUÍMICA            CHRISTIAN CALAHORRANO</b>	Configuraciones Comerciales de Carcasa y Tubos, por n carcasa y tubo		
	Certificado      Por eliminar Por aprobar      Para informar Aprobado          Por calificar			Lámina	Escala

## ANEXO VII

### Curva de transferencia de calor, agua en los tubos



NOTAS	<p style="text-align: center;"><b>Categoría del diagrama</b></p> <p>Certificado      Por eliminar</p> <p>Por aprobar      Para informar</p> <p>Aprobado        Por calificar</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA</p> <p>CHRISTIAN CALANDRANO</p>	<p style="text-align: center;">Curva de transferencia de calor, agua en los tubos</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Línea</td> <td style="width: 33%;">Escala</td> <td style="width: 33%;">Fecha</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	Línea	Escala	Fecha			
Línea	Escala	Fecha							



**ANEXO XIII**  
**Heat Exchanger Data Sheet**

CHEYENNE  
FORMERLY CHEYENNE & NORTHWESTERN CO. LTD.

**HEAT EXCHANGER DATA SHEET**

FORM NO. 10-1-1977

Model: *P-15* Heat Exchanger: *Oil Cooler*

Heat Transfer Area: *12.5 sq ft* Tube Length: *2* Tubes: *1* Tubes per Shell: *1*

Tube ID: *1.315 in* Tube OD: *1.315 in*

Tube Wall Thickness: *0.048 in* Tube Pitch: *1.125 in*

Shell ID: *2.25 in* Shell Wall Thickness: *0.1875 in*

Item	Unit	Value	Value	Value
Tube Sheet Area	sq ft			
Tube Sheet Weight	lb			
Tube Weight	lb			
Tube Weight with 10% Allowance	lb			
Tube Weight with 20% Allowance	lb			
Tube Weight with 30% Allowance	lb			
Tube Weight with 40% Allowance	lb			
Tube Weight with 50% Allowance	lb			
Tube Weight with 60% Allowance	lb			
Tube Weight with 70% Allowance	lb			
Tube Weight with 80% Allowance	lb			
Tube Weight with 90% Allowance	lb			
Tube Weight with 100% Allowance	lb			
Tube Weight with 110% Allowance	lb			
Tube Weight with 120% Allowance	lb			
Tube Weight with 130% Allowance	lb			
Tube Weight with 140% Allowance	lb			
Tube Weight with 150% Allowance	lb			
Tube Weight with 160% Allowance	lb			
Tube Weight with 170% Allowance	lb			
Tube Weight with 180% Allowance	lb			
Tube Weight with 190% Allowance	lb			
Tube Weight with 200% Allowance	lb			
Tube Weight with 210% Allowance	lb			
Tube Weight with 220% Allowance	lb			
Tube Weight with 230% Allowance	lb			
Tube Weight with 240% Allowance	lb			
Tube Weight with 250% Allowance	lb			
Tube Weight with 260% Allowance	lb			
Tube Weight with 270% Allowance	lb			
Tube Weight with 280% Allowance	lb			
Tube Weight with 290% Allowance	lb			
Tube Weight with 300% Allowance	lb			
Tube Weight with 310% Allowance	lb			
Tube Weight with 320% Allowance	lb			
Tube Weight with 330% Allowance	lb			
Tube Weight with 340% Allowance	lb			
Tube Weight with 350% Allowance	lb			
Tube Weight with 360% Allowance	lb			
Tube Weight with 370% Allowance	lb			
Tube Weight with 380% Allowance	lb			
Tube Weight with 390% Allowance	lb			
Tube Weight with 400% Allowance	lb			
Tube Weight with 410% Allowance	lb			
Tube Weight with 420% Allowance	lb			
Tube Weight with 430% Allowance	lb			
Tube Weight with 440% Allowance	lb			
Tube Weight with 450% Allowance	lb			
Tube Weight with 460% Allowance	lb			
Tube Weight with 470% Allowance	lb			
Tube Weight with 480% Allowance	lb			
Tube Weight with 490% Allowance	lb			
Tube Weight with 500% Allowance	lb			
Tube Weight with 510% Allowance	lb			
Tube Weight with 520% Allowance	lb			
Tube Weight with 530% Allowance	lb			
Tube Weight with 540% Allowance	lb			
Tube Weight with 550% Allowance	lb			
Tube Weight with 560% Allowance	lb			
Tube Weight with 570% Allowance	lb			
Tube Weight with 580% Allowance	lb			
Tube Weight with 590% Allowance	lb			
Tube Weight with 600% Allowance	lb			
Tube Weight with 610% Allowance	lb			
Tube Weight with 620% Allowance	lb			
Tube Weight with 630% Allowance	lb			
Tube Weight with 640% Allowance	lb			
Tube Weight with 650% Allowance	lb			
Tube Weight with 660% Allowance	lb			
Tube Weight with 670% Allowance	lb			
Tube Weight with 680% Allowance	lb			
Tube Weight with 690% Allowance	lb			
Tube Weight with 700% Allowance	lb			
Tube Weight with 710% Allowance	lb			
Tube Weight with 720% Allowance	lb			
Tube Weight with 730% Allowance	lb			
Tube Weight with 740% Allowance	lb			
Tube Weight with 750% Allowance	lb			
Tube Weight with 760% Allowance	lb			
Tube Weight with 770% Allowance	lb			
Tube Weight with 780% Allowance	lb			
Tube Weight with 790% Allowance	lb			
Tube Weight with 800% Allowance	lb			
Tube Weight with 810% Allowance	lb			
Tube Weight with 820% Allowance	lb			
Tube Weight with 830% Allowance	lb			
Tube Weight with 840% Allowance	lb			
Tube Weight with 850% Allowance	lb			
Tube Weight with 860% Allowance	lb			
Tube Weight with 870% Allowance	lb			
Tube Weight with 880% Allowance	lb			
Tube Weight with 890% Allowance	lb			
Tube Weight with 900% Allowance	lb			
Tube Weight with 910% Allowance	lb			
Tube Weight with 920% Allowance	lb			
Tube Weight with 930% Allowance	lb			
Tube Weight with 940% Allowance	lb			
Tube Weight with 950% Allowance	lb			
Tube Weight with 960% Allowance	lb			
Tube Weight with 970% Allowance	lb			
Tube Weight with 980% Allowance	lb			
Tube Weight with 990% Allowance	lb			
Tube Weight with 1000% Allowance	lb			

Notes: *U<sub>av</sub> / U<sub>max</sub> = 0.6 / 0.7*

Design: *C.S.* Date: *1-10-77*

Checked: *[Signature]* Date: *1-10-77*

Approved: *[Signature]* Date: *1-10-77*

Customer: *CEPE*

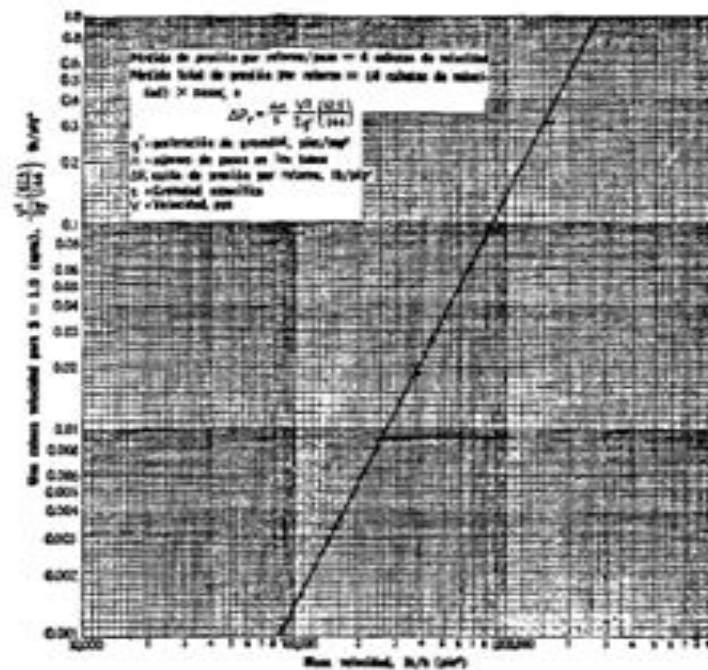
Job No: *ESQUERRE AD-3001*

Job No: *50476* Date: *MAY 22 1978*

NOTAS	Categoría del diagrama Certificado Por aprobar Aprobado	Por eliminar Para informar Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA CHRISTIAN CALAHORRANO	Heat Exchanger Data Sheet		
				Línea	Fecha	Firma

## ANEXO IX

### Pérdida de presión por retorno, lado de los tubos



NOTAS	<b>Categoría del diagrama</b> Certificado      Por eliminar Por aprobar      Para informar Aprobado          Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA CHRISTIAN CALANDRANO	Pérdida de presión por retorno, lado de los tubos						
			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Límites</td> <td style="width: 33%;">Fecha</td> <td style="width: 33%;">Fecha</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	Límites	Fecha	Fecha			
Límites	Fecha	Fecha							

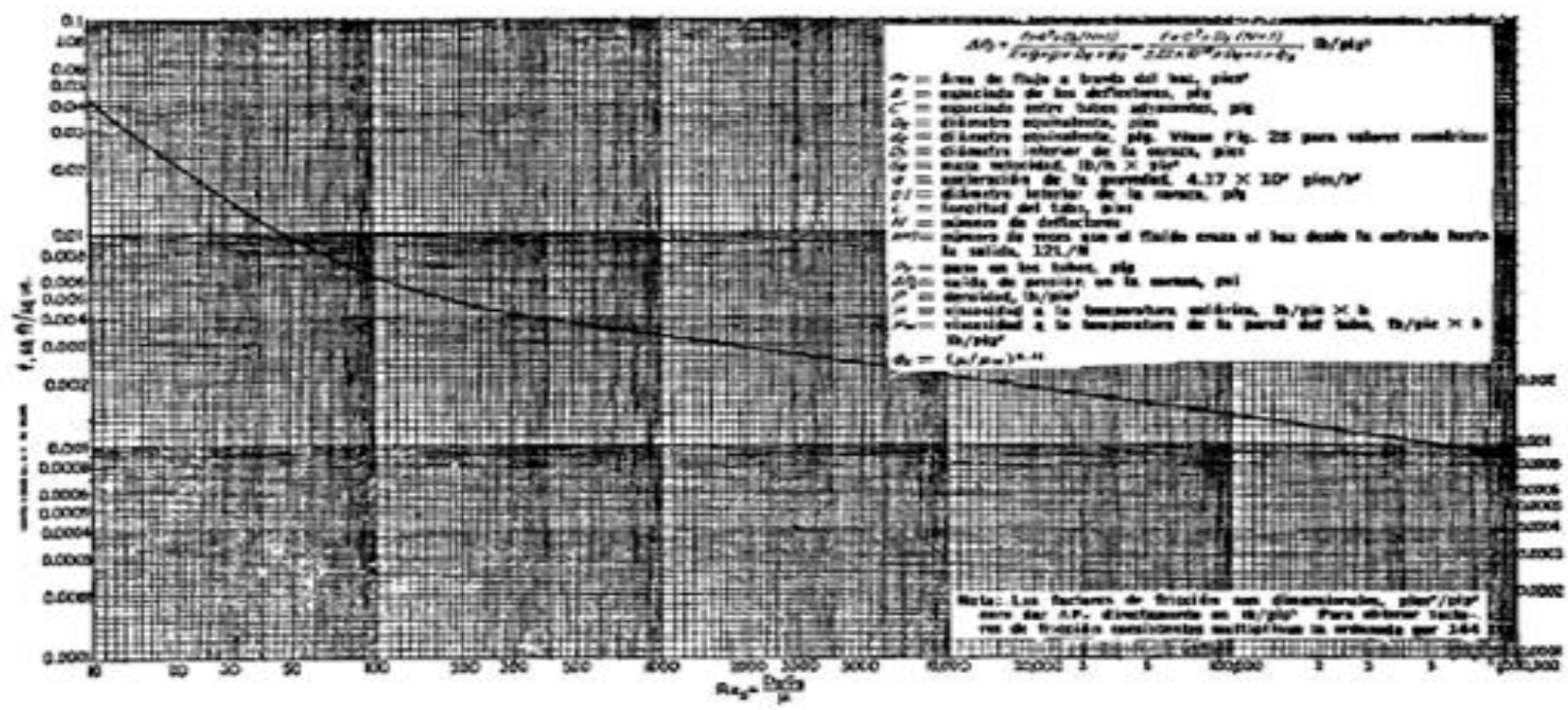
**ANEXO X**  
**Diámetro equivalente de los arreglos típicos en intercambiadores carcasa y tubo**

<b>Arreglo</b>	<b>Diámetro Nominal Tubo</b>	<b>Pitch (pulg.)</b>	<b>Diámetro equivalente (pulg.)</b>
Cuadrado	$\frac{3}{4}$	1	0.95
	1	$1 \frac{1}{4}$	0.99
	$1 \frac{1}{4}$	$1 \frac{9}{16}$	1.23
	$1 \frac{1}{2}$	$1 \frac{7}{8}$	1.48
Triangular U	$\frac{3}{4}$	$\frac{15}{16}$	0.55
	$\frac{3}{4}$	1	0.73
	1	$1 \frac{1}{4}$	0.72
	$1 \frac{1}{4}$	$1 \frac{9}{16}$	0.91
	$1 \frac{1}{2}$	$1 \frac{7}{8}$	1.08

<b>NOTAS</b>	<b>Categoría del diagrama</b>		<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE ING. QUÍMICA</b>  <b>CHRISTIAN CALANDRANO</b>	Diámetro equivalente de los arreglos típicos en intercambiadores carcasa y tubo		
	Certificado	Por eliminar		Límites	Escala	Fecha
	Por aprobar	Para informar				
	Aprobado	Por calificar				



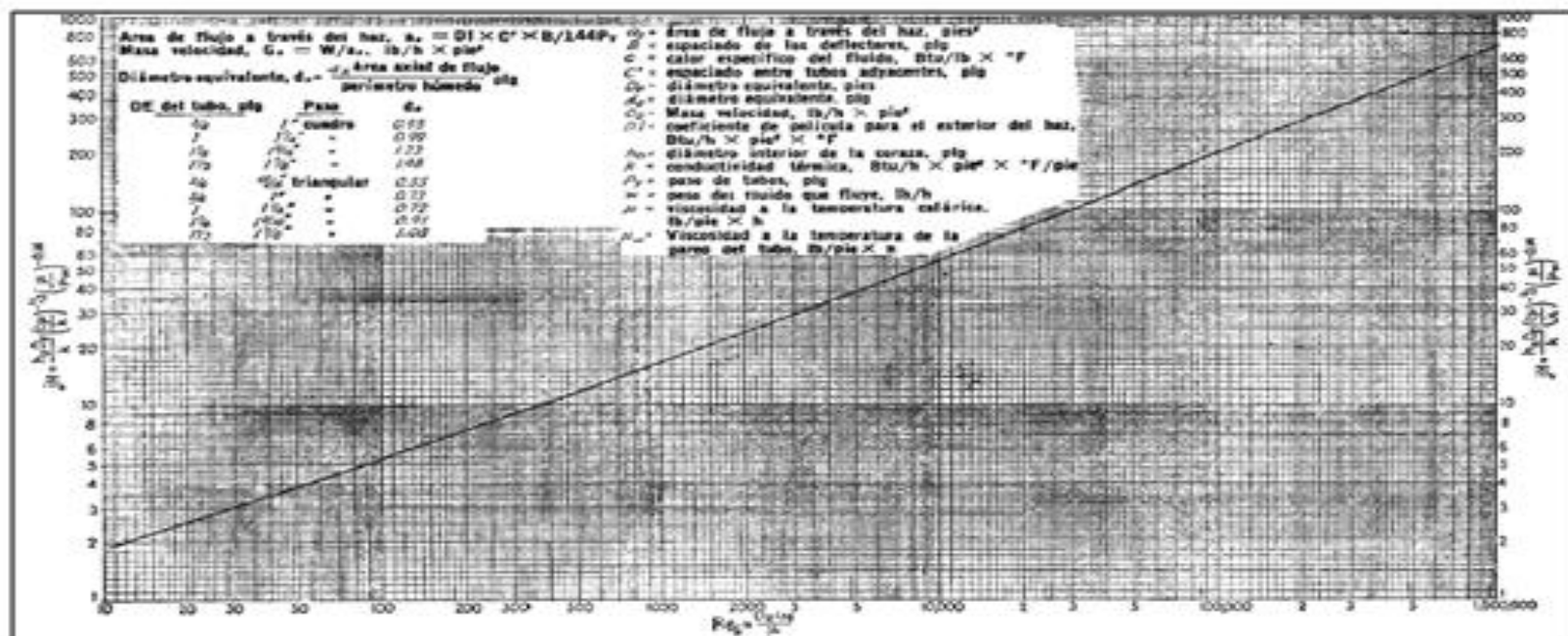
**ANEXO XI**  
**Factor de fricción para el lado carcasa, con deflectores segmentados 25%**



NOTAS	Categoría del diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA CHRISTIAN CALANDRANO	Factor de fricción para el lado carcasa, con deflectores segmentados 25%		
	Certificado	Por eliminar		Limite	Resulta	Fecha
	Por aprobar	Para informar				
	Aprobado	Por edificar				

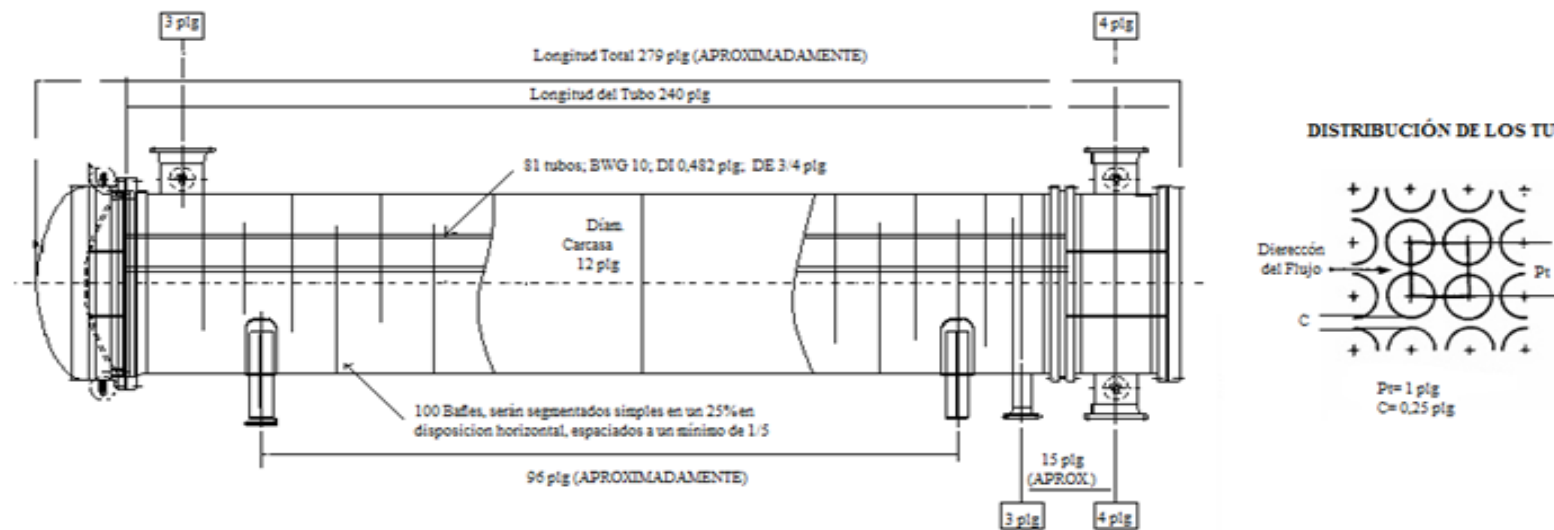
## ANEXO XII

### Curva de transferencia de calor para lado de la coraza con haz de tubos y baffles



NOTAS		Categoría del diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA CHRISTIAN CALANDERANO	Curva de transferencia de calor para lado de la coraza con haz de tubos y baffles segmentados al 15%		
		Certificado	Por eliminar				
		Por aprobar	Para informar				
		Aprobado	Por calificar				
					Límites	Escala	Fecha

**ANEXO XIII**  
**PLANO DEL EQUIPO A PROYECTARSE**



NOTAS

**Categoría del diagrama**

Certificado	Por eliminar
Por aprobar	Para informar
Aprobado	Por calificar

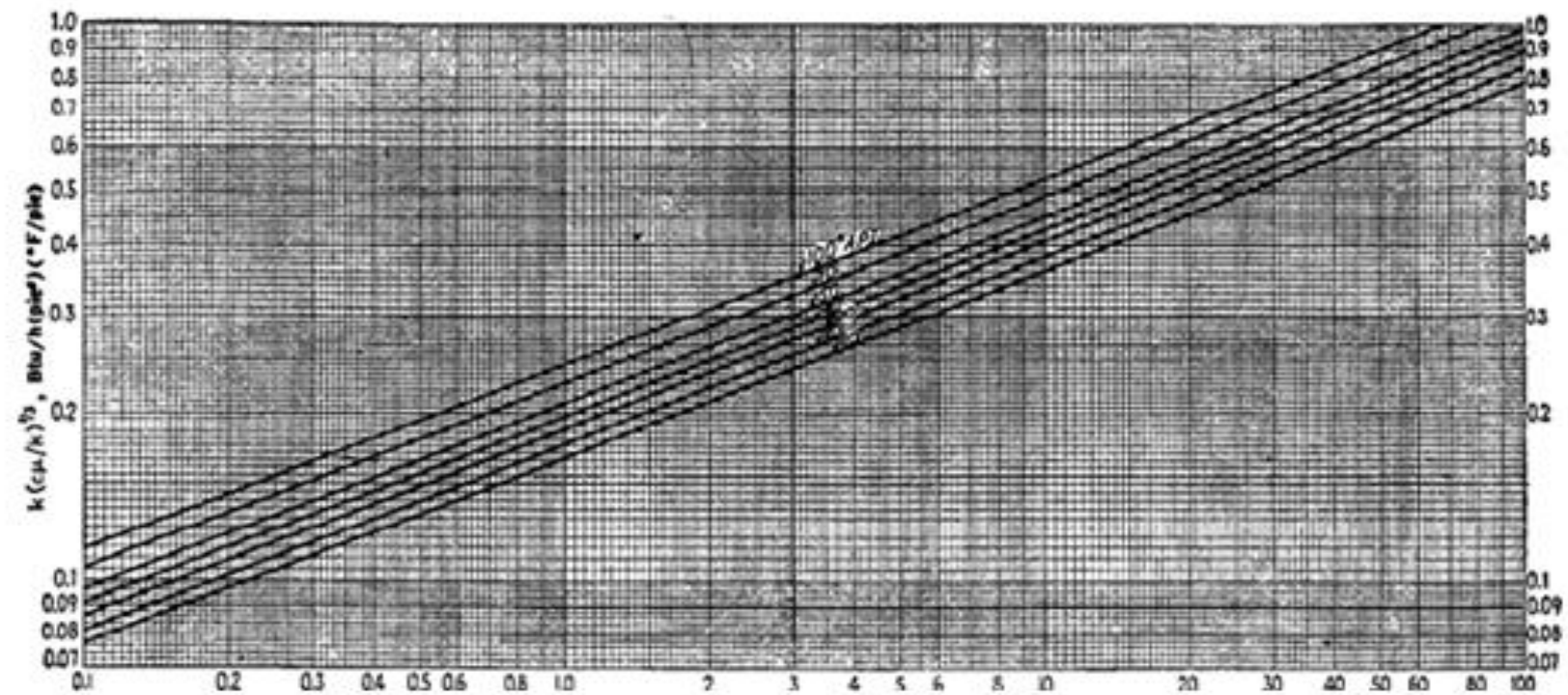
**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE**  
**CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE ING. QUÍMICA**  
 CHRISTIAN CALAHORRANO

**PLANO DEL EQUIPO A**  
**PROYECTARSE**

Lámina	Escala	Fecha
--------	--------	-------

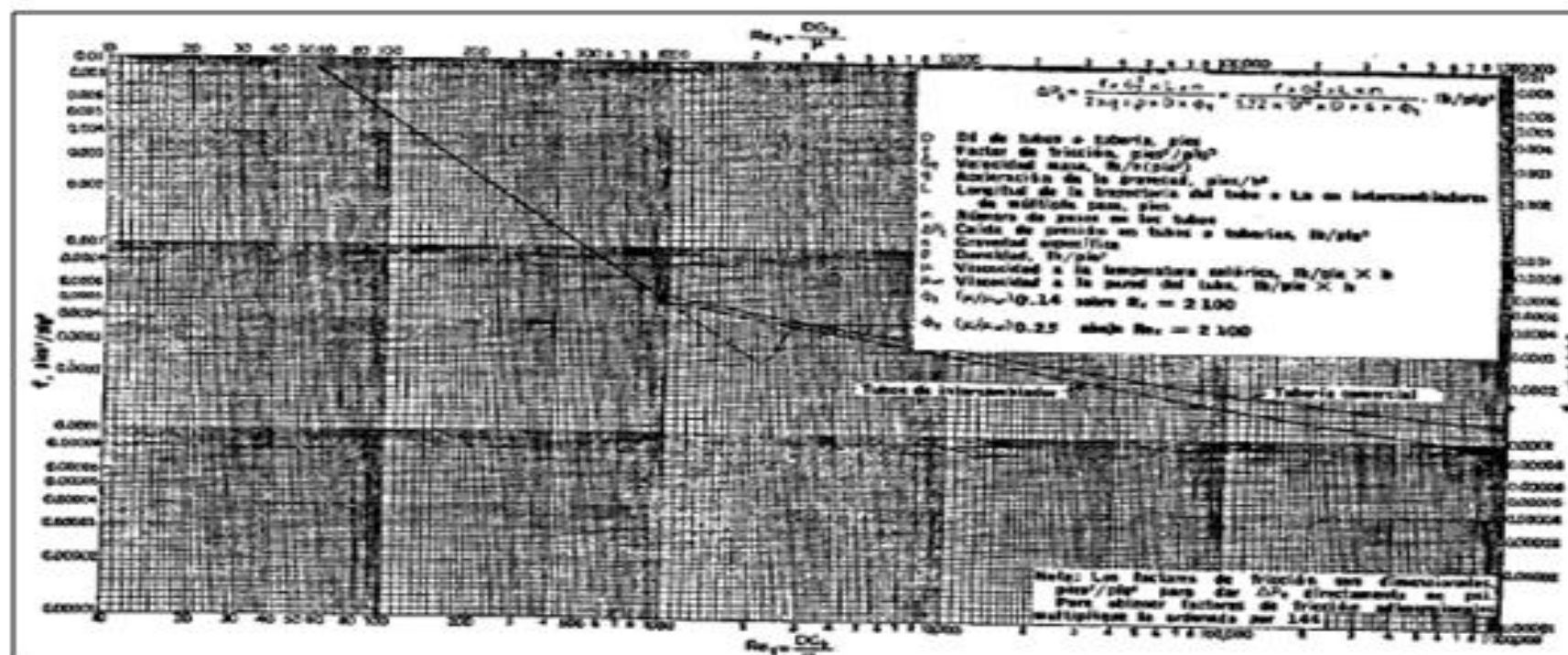


**ANEXO XIV**  
Valores de  $k(Pr)^{1/2}$  para Hidrocarburos



NOTAS	<b>Categoría del diagrama</b>		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA  CHRISTIAN CALANCHANO	<b>Valores de <math>k(Pr)^{1/2}</math> para Hidrocarburos</b>		
	Clasificado      Por eliminar Por aprobar      Para informar Aprobado          Por calificar	Límite      Escala      Fecha		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

**ANEXO XV**  
Factor de fricción para el lado de los tubos



NOTAS	<b>Categoría del diagrama</b>		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA CHRISTIAN CALANDRANO	<b>Factor de fricción para el lado de los tubos</b>		
	Certificado Por aprobar Aprobado	Por eliminar Para informar Por calificar		Límina	Escala	Fecha