



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES U. N. A. M.
CUAUTITLAN FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de
CALIDAD EN LAS ORGANIZACIONES (EMPRESAS e
INSTITUCIONES DE PRODUCCION Y DE SERVICIOS).
DETECCION Y ELIMINACION DE PRACTICAS INUTILES
DE TRABAJO EN EL DISEÑO DE INTERCAMBIADORES
DE CALOR.

TRABAJO DE SEMINARIO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

LUIS VICTOR CASTILLO GARAMENDI

ASESOR: ING. JORGE ALTAMIRA IBARRA.

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO. 2002.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

Calidad en las organizaciones (Empresas e instituciones de producción
y de servicios). Detección y eliminación de prácticas inútiles de trabajo
en el diseño de intercambiadores de calor.

que presenta el pasante: Luis Victor Castillo Garamendi
con número de cuenta: 9656350-0 para obtener el título de:
Ingeniero Químico.

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO.

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 13 de Diciembre de 2001.

MODULO	PROFESOR	FIRMA
<u>I</u>	<u>Dra. Frida María León Rodríguez</u>	<u>Frida León Rodríguez</u>
<u>II</u>	<u>Ing. Juan Rafael Garibay Bermúdez</u>	<u>Juan Rafael Garibay Bermúdez</u>
<u>III</u>	<u>Dr. Armando Aguilar Márquez</u>	<u>Armando Aguilar Márquez</u>

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de México

Porque en ella obtuve cultura, conocimiento y muchas experiencias inolvidables. Es un orgullo formar parte de ella "Por mi raza hablará el espíritu".

A la Sociedad Mexicana

Por correr con los gastos de mi educación y por mostrarme lo que se debe y lo que no se debe de hacer para tener un gran país.

A mi Madre

Por haberme dado el ser, por brindarme su apoyo incondicional y porque siempre tendrás mi admiración por el ejemplo de fuerza que me has dado durante toda la vida. Te quiero mucho, eres la mejor madre de todo el mundo (al menos para mí).

A mis Tíos (Marlene, Concepción, Humberto, Manuel y Armando)

Por haber ocupado el lugar que dejó mi padre, en diferentes etapas de mi vida y brindarme su tiempo sin más pago que mi sonrisa (¡muchas gracias!), Los quiero mucho.

A mi Familia

Por ser las personas más importantes- en mi vida, y porque me han ayudado todos ustedes a formarme como ser humano. Gracias a ti Mami, Ana Ine, Ana María, Johanna, Juan, Paco, Monse, Ivonne, Rosi, Lorena, José Ramón, Jorge, Sharon, Waldo; a dónde sea que yo vaya lo seguiré queriendo mucho y nunca los voy a olvidar.

A Gaby:

Por todos los años de amor y comprensión que me has brindado y porque tu siempre me has dado ese impulso que necesito cada vez que emprendo un nuevo reto. Nunca dejes de sonreír porque eso es el impulso para los dos. Te amo y Gracias.

Al Grupo Scout 322 "TEOTLALLI"

Por enseñarme lo que es la felicidad, por los momentos de alegría y tristeza, pero principalmente por mostrarme el significado de la palabra amistad.

A mis Profesores

Por toda la paciencia y lecciones de vida que me han enseñado pero sobre todo por creer en mi.

A mis 3 soles (mis sobrinos)

Por haber iluminado a esta familia con su luz y felicidad. Sergio, Mirelle e Ian siempre brillen como lo hacen porque así a todos nos hacen más felices.

A mis amigos

Por haber estado siempre cerca de mí cuando más lo necesite y por compartir aunque sea un poco de su vida conmigo. Como olvidarlos; Gaby, Adri, Adri Nuñez, Gladys, Loncho, Mayen, Oscar, Ricardo, Marino, Lill, Mike, Greta, Miguel Callejas, Barnie, Homer, Angeles, Duhart, Juanito, Magda, Lupe, Yeimi, Hernán, Jenny, Fas, Javo, Sugel, Radames, Francisco, Ramón, Chapo, Gerson, Omar, Ruben Franco, Gato, Paula, Alma, Tlapa, Robert y a todos los que por una u otra razón haya olvidado. Sin ustedes no habría disfrutado todas las cosas que hicimos juntos, ¡qué suerte habérmelos encontrado en la vida!.

Al Dr. Arturo Trejo y MVZ Yolanda Pérez

Por todo el apoyo brindado durante mi carrera y en mi vida personal. Por gente como ustedes que quieren tanto a la UNAM, ésta sigue y seguirá siendo no la máxima sino la mejor casa de estudios.

A mis Asesores

Por contribuir al mejoramiento y superación de este trabajo.

Este Trabajo está dedicado a la memoria de FRANCISCO GARAMENDI BERMÚDEZ (mi abuelo) y LUIS CASTILLO LUNA (mi papa), que en vida se dedicaron a hacerme feliz. (Q.E.P.D)

INDICE

Concepto	Página
- Objetivos.	2
- Hipótesis.	3
- Introducción	4
Capítulo 1.- Antecedentes de la empresa Equipos Industriales del Golfo S. A..	7
Capítulo 2.- Detección de las prácticas inútiles de trabajo en el diseño de intercambiadores de calor.	11
Capítulo 3.- Repercusiones de las prácticas inútiles de trabajo en la calidad de los productos EIGSA.	14
Capítulo 4.- Acciones correctivas y/o preventivas a tomar para eliminar las prácticas inútiles de trabajo.	23
Capítulo 5.- Conclusiones (beneficios que puede traer a la empresa tomar las acciones correctivas y/o preventivas en contra de las prácticas inútiles de trabajo).	87
- Anexo.	
- Bibliografía.	

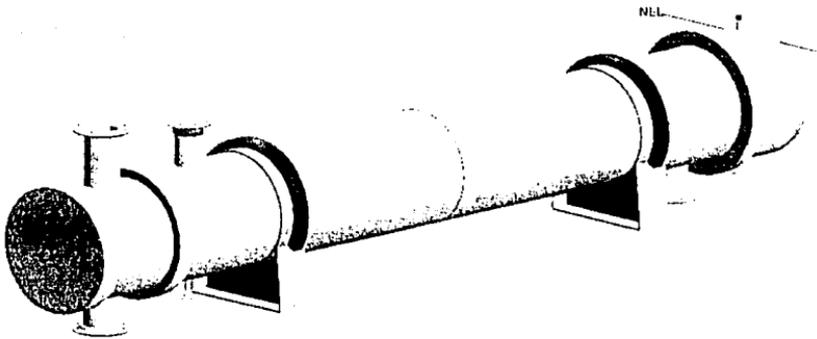
OBJETIVO

❶ Un objetivo primordial es que se tome en cuenta que la detección y eliminación de prácticas inútiles de trabajo forma parte esencial de un sistema de gestión de calidad en cualquier empresa, haciendo notar que el detectar y eliminar prácticas inútiles de trabajo en el diseño es contribuir a la mejora continua.

❷ El objetivo general de este trabajo es identificar aspectos generales sobre como detectar y eliminar prácticas inútiles de trabajo en el momento de diseñar, simular o ratear un equipo de transferencia de calor.

HIPÓTESIS

Con la detección de prácticas inútiles de trabajo y posteriormente su eliminación se obtendrá un beneficio tanto para el diseñador de equipo de proceso como para el cliente y empresa donde labora el diseñador y ese beneficio se puede transformar en tiempo que a un largo periodo se reflejará en dinero, esfuerzo y calidad del producto en este caso un equipo de transferencia de calor.



INTRODUCCIÓN

La ciencia de la termodinámica trata de las transiciones cuantitativas y reacomodos de energía como el calor en los cuerpos de materia. La ciencia de la transferencia de calor está relacionada con la relación de intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos llamados fuente y receptor. Hay tres formas diferentes en las que el calor puede pasar de la fuente al receptor, aún cuando muchas de las aplicaciones en la ingeniería son combinaciones de dos o tres. Estas son: conducción, convección y radiación.

Se ha descrito a la transferencia de calor como el estudio de las velocidades a las cuales el calor se intercambia entre fuentes de calor y receptor, tratados usualmente de manera independiente. Los procesos de transferencia de calor se relacionan con las razones de intercambio térmico, tales como los que ocurren en equipos de transferencia de calor, tanto en ingeniería mecánica como en los procesos químicos. Un problema típico de procesos de transferencia de calor involucra las cantidades de calor que deben transferirse, las razones a las cuales deben transferirse debido a la naturaleza de los cuerpos, la diferencia de potencial, la extensión y el arreglo de las superficies que separan la fuente y el receptor y la cantidad de energía mecánica que debe disiparse para facilitar la transferencia de calor. Puesto que la transferencia de calor considera un intercambio en un sistema, la pérdida de calor por un cuerpo deberá ser igual al calor absorbido por otro dentro de los confines de un sistema.

“La diferencia de temperaturas es la fuerza motriz, mediante la cual se transfiere el calor desde la fuente al receptor, su influencia sobre los sistemas de transferencia de calor que incluyen a la fuente como al receptor, es el sujeto inmediato para el estudio”.¹
De lo cual concluimos que un sistema donde se lleva a cabo una transferencia de calor no es un sistema fácil al contrario si no delimitamos muy bien el sistema podríamos caer en un sistema sumamente complejo de estudiar.

La transferencia de calor es una operación esencial para la industria de proceso en general, lo cual puede notarse por el hecho de que en algunos casos los cambiadores de calor llegan a requerir más de la tercera parte de la inversión total en equipo. Es por ello que las personas involucradas en la especificación, diseño o procura de esta clase de equipo deben estar familiarizadas con los diferentes aspectos relativos a ellos, que les permitan seleccionar el equipo más adecuado, eficiente y económico para cada aplicación particular.

A pesar de que últimamente se ha dado énfasis creciente al desarrollo de otros tipos de intercambiadores de calor que puedan satisfacer eficientemente las necesidades particulares de los diversos servicios de intercambio térmico, los cambiadores de tubos y envolvente han ocupado un lugar preponderante dentro de la industria, es por eso que en este trabajo se hablará solo de este tipo de intercambiadores ya que abarcar todos los tipos de intercambiadores de calor sería motivo de una serie de cursos muy amplios sobre transferencia de calor.

Por elementos de diseño se entiende a todos aquellos parámetros del intercambiador de calor, que el diseñador tiene que especificar para cada diseño en particular. Estos elementos

se presentan con múltiples alternativas, para satisfacer la mayoría de los requerimientos en la operación y mantenimiento de estos equipos. Para resolver dichas alternativas existe un conjunto de recetas generales o criterios de selección que se han establecido como prácticas de diseño, que ayudan al diseñador a seleccionar la alternativa adecuada para cada caso.

Los criterios de selección de los elementos de diseño son numerosos y extremadamente cualitativos, probablemente el factor central en ellos es la relación costo-mantenimiento del equipo; sin embargo, la decisión final puede estar fuertemente afectada por muchos otros factores como son : la utilización de materiales especiales, problemas estructurales, corrosión, altas temperaturas, altas presiones o en ocasiones por tradición, intuición, preferencias personales del cliente y principalmente la calidad del equipo.

Tres de los problemas básicos de transferencia de calor son: el diseño de una unidad nueva, el "rating" (o evaluación) y la simulación de una unidad ya existente. El principal objetivo que se persigue, es obtener resultados que satisfagan los requerimientos de proceso a un costo total mínimo (costo de diseño, de capital y de operación).

El diseño consiste en la determinación de todos los parámetros de construcción para un intercambiador de calor "nuevo" a partir de las condiciones de proceso y considerando las restricciones de diseño, tanto físicas como de operación.

Simulación consiste en la determinación de las condiciones finales de operación, para un intercambiador de calor completamente especificado, y de acuerdo con unas condiciones iniciales de operación. Aunque en esencia es similar a la evaluación o rating, el resultado de la simulación es algo más que la mera evaluación del comportamiento térmico-hidráulico. Entre los parámetros a determinar en este caso, se tienen; temperaturas de salida, gastos de las corrientes, carga térmica o alguna combinación de ellos.

Tenemos que hacer notar que todos los procesos relacionados con el diseño de un intercambiador de calor están interrelacionados porque todos ellos nos llevan a un fin común que es la calidad del producto, y esta se refleja en los elementos de diseño, en la diferencia de temperaturas que ofrece el equipo, la carga térmica... etc., por eso debemos ser muy cuidadosos en el momento de avanzar en el diseño ya que cada proceso puede afectar la calidad final de nuestro producto y por ende la satisfacción de nuestros clientes.

El ingeniero de diseño es uno de los encargados del sistema de gestión de la calidad debido a la responsabilidad que tiene, el sistema de gestión de la calidad no solo servirá para entregar un producto que de satisfacción a nuestros clientes sino también a los diseñadores, aparte con la calidad del producto vienen implícitas cuestiones de gran importancia como los son la vida útil del equipo, eficiencia pero sobre todo la seguridad que ofrece al trabajador el manejar un equipo que no explotará ni tendrá fugas de fluidos que pueden ser dañinos.

El trabajo de diseño se lleva a cabo de distintas maneras en las empresas por lo tanto tomaremos como ejemplo a la empresa Equipos industriales del Golfo S.A. de C.V. , los siguientes ejemplos que tomaremos en el capítulo 3, estarán basados en experiencias laborales por lo tanto pueden ser de mucha utilidad.

La implementación de acciones correctivas y preventivas forma parte del sistema de gestión de calidad, estas acciones resultan ser profundamente importantes ya que en éstas son la base de la mejora continua. La mejora continua es una parte medular del sistema de gestión de calidad pero para llevarla a cabo se necesitan conocer los problemas que presenta cada proceso para implementar las acciones correctivas y para empezar un proceso con calidad debió ser antecedido por un buen paquete de acciones preventivas.

¹ Donald Q. Kern (Procesos de transferencia de calor), McGraw Hill. 1950.

CÁPITULO 1

ANTECEDENTES DE LA EMPRESA EQUIPOS INDUSTRIALES DEL GOLFO S.A.

Equipos industriales del golfo S.A. de C.V. (EIGSA) es una empresa mexicana que se fundó en el año de 1988 con el propósito de contribuir al desarrollo de la industria nacional en el campo de la transferencia de calor.

EIGSA ha logrado crecer y consolidarse gracias a su permanente esfuerzo por ampliar y mejorar su gama de productos, la continua capacitación de sus colaboradores, el uso de maquinaria especializada y de sistemas tecnológicos de vanguardia, así como la más estricta aplicación de las normas internacionales de control y aseguramiento de calidad. Actualmente EIGSA cuenta con plantas en el Estado de México y en Cárdenas, Tabasco, y da servicio entre otras a las industrias:

- Petrolera
- Química
- Eléctrica
- Hulera
- Textil
- Azucarera
- Cartonera
- Del plástico
- Alimentaria

TECNOLOGÍA APLICADA

Para el diseño térmico EIGSA tiene licencia de Heat Transfer Research Inc. (HTRI) de la que es miembro desde 1997 para el uso de programas por diseño y simulación como:

- ACE air cooler exchanger
- IST incremental shell and tube
- CST shell and tube condenser and reboilers

En diseño mecánico EIGSA cuenta ya con certificado de autorización de la American Society of Mechanical Engineers (ASME), para estampar con los sellos "U", "R" y "S" recipientes a presión.

Para el diseño mecánico también nos auxiliamos con software como:

- Compress de Codeware
- Advanced pressure vessels de computer engineering

CALIDAD

EIGSA es una empresa que genera tecnología y manufactura, debido a esto para competir en el mercado debe apearse a estándares que se encuentran en ciertos códigos como:

- TEMA
- API
- ASME

AEROENFRIADORES

Uno de los principales productos de EIGSA son los aerofriadores (soloaires), que utilizan aire en el proceso de enfriamiento de fluidos, lo que los hace una valiosa opción ante la cada vez mayor escasez de agua y los agudos problemas ambientales.

Los costos de operación de los aerofriadores son bajos, pues el fluido de servicio es gratis y no requiere reparación, además de que se mejora el balance entre el área y el consumo de potencia.

Los costos de mantenimiento de los aerofriadores son menores de un 20% a un 30% con relación a los sistemas de enfriamiento con agua, pues el aire no contiene elementos corrosivos y no requiere pretratamiento.

EIGSA ofrece aerofriadores de tiro inducido y de tiro forzado, con diferentes tipos de aletas y de cabezales según las necesidades del proceso:

- "L" (enrollada a tensión), para operar con temperatura hasta de 240°F (120°C)
- Empotrada (imbedded), para temperaturas hasta de 750°F (400°C)
- "LL" (traslapada), para temperaturas hasta de 250°F (120°C)
- Extruida, para temperaturas hasta de 570°F (300°C)

INTERCAMBIADORES DE CALOR DE ENVOLVENTE Y TUBOS

En los procesos industriales donde se requieren equipos con grandes áreas para la transferencia de calor entre dos corrientes en un proceso, pero se dispone de poco espacio para su instalación, se recomienda el uso de intercambiadores de envolvente y tubos.

Este tipo de intercambiadores de calor ofrece muchas ventajas como:

- El agua generalmente enfría fluidos de proceso de 5°F a 10°F más abajo que el aire.
- Recirculando el agua se puede enfriar cerca de la temperatura de bulbo húmedo con una torre de enfriamiento, su tamaño es menor al de los aerofriadores.
- Con tubos de bajo aletado se aumenta el coeficiente de transferencia de calor.

Debido a que los intercambiadores de calor son considerados como recipientes a presión, deben estar diseñados de acuerdo al estándar TEMA y al código ASME.

Por el alto riesgo que significa manejar recipientes a presión, es requisito indispensable que el diseño y fabricación de los recipientes para ese fin cumplan con las más estrictas normas de calidad; solo así se garantiza la seguridad del personal, de las instalaciones y del medio ambiente.

Durante su operación normal, los equipos de transferencia de calor tienden a sufrir decrementos en su eficiencia por diferentes causas, como incrustaciones en los tubos de transferencia, fugas en las uniones de los empaques, tubos rotos por disminución de espesor por corrosión y presión, así como deterioro de sus componentes externos debido a la falta de recubrimientos anticorrosivos adecuados.

Estos problemas se traducen en pérdidas significativas de los volúmenes o de la funcionalidad esperada en un proceso, con la consecuente pérdida económica en las plantas de proceso.

En EIGSA se ha logrado desarrollar un óptimo sistema de calidad para diseñar, fabricar y reparar recipientes a presión verticales, horizontales, etc. de 15 psi a 3000 psi con tecnología de punta y con base en la normativa de la American Society of Mechanical Engineers (ASME) de la cual la empresa cuenta con un certificado de autorización para estampar con los sellos "U", "R" y "S" de Standards of tubular exchanger Manufacturer Association (TEMA), garantizando así que el diseño y fabricación de los productos de EIGSA son de la más alta calidad. El código de construcción de ASME y el Estándar TEMA son reconocidos internacionalmente por sus estrictos controles de parámetros y estándares fundamentales como:

- Materiales
- Ensayos no destructivos
- Reglas de construcción
- Soldadura
- Espesores recomendados
- Internos

En una empresa donde la calidad es una parte esencial de sí misma se tiene que contar con gente que también aporte calidad como por ejemplo los soldadores deben estar calificados en procesos como:

- SAW (Sumerged arc welding)
- GMAW (Gas metal arc welding)
- SMAW (Shielded metal arc welding)
- GTAW (Gas tungsten arc welding)

Según las características de los fluidos, las necesidades concretas de cada industria y el costo, EIGSA fabrica recipientes en materiales como:

- Acero al carbón
- Acero inoxidable
- Aleaciones de cobre
- Aleaciones especiales

EIGSA será la empresa de la cual se valorarán las prácticas inútiles de trabajo en el diseño de intercambiadores de calor, como ya leímos es una empresa con calidad y de esa calidad depende la funcionalidad de los equipos que se fabrican y diseñan, la vida útil, etc., pero sobre todo la seguridad de personas que en un futuro operarán el equipo.

CÁPITULO 2

Detección de las prácticas inútiles de trabajo en el diseño de intercambiadores de calor.

El trabajo de diseñar un intercambiador de calor es una tarea muy difícil ya que se tienen que tomar en cuenta muchos aspectos de los cuales se mencionaran algunos ya que el campo del diseño es muy amplio y mencionar todos los aspectos que tienen que ver con este nos tomaría toda una colección de libros.

Es de tomarse en cuenta que para hacer un estudio como el que se va a hacer se necesita de bastante experiencia en el ramo del diseño y por eso es que sólo se van a tomar aspectos muy generales que tienen que ver precisamente con las primeras experiencias del Ingeniero de diseño.

Como ya se ha mencionado anteriormente nuestro objeto de estudio serán los intercambiadores de calor de tubo y envolvente (coraza), de todas las clases de intercambiadores se tomaron en cuenta estos por ser los de mayor utilidad en la industria.

A cada práctica inútil de trabajo se le asignará un número el cual servirá para diferenciar dicha práctica, y subsecuentemente para ver sus repercusiones en la calidad y las acciones a tomar (estas se mencionarán en los capítulos 5 y 6)

- 1.- Empecemos con la primera práctica inútil de trabajo con la que se encuentra el diseñador de equipo que es saber cuales son las maneras en que el calor se transmite.
- 2.- El Ingeniero que empieza en el campo de los intercambiadores de calor seguramente todavía no identifica bien los lados esenciales de un intercambiador de tubo y coraza.
- 3.- El especialista en diseño tiende a confundir los tipos de intercambiadores de calor aún con los años de experiencia, debido a que existen una gran cantidad de estos.
- 4.- Otra práctica inútil de trabajo es diseñar el equipo sin conocer cuales son las normas o estándares que se pueden o deben aplicar dentro del diseño.
- 5.- No usar la nomenclatura estándar que generalmente se usa para identificar el tamaño de intercambiador de calor que se esta diseñando. El diseño y fabricación de los intercambiadores de calor están regidos por códigos internacionales y/o locales, así como por especificaciones propias de cada cliente, los cuales son estipulados en los contratos de compra-venta de estos equipos.
- 6.- No saber como designar el tipo de intercambiador de calor de tubo y coraza del cual se esta hablando.

- 7.- Ignorar la clase de intercambiador que se esta diseñando o con el que se esta trabajando.
- 8.- Un factor que muy pocas veces se toma en cuenta es la rotación de fluidos.
- 9.- No tomar en cuenta el tipo de construcción del intercambiador de calor.
- 10.- No tomar en cuenta las características geométricas de los intercambiadores de calor.
- 11.- Seleccionar equivocadamente la longitud de los tubos de transferencia.
- 12.- Seleccionar equivocadamente el diámetro y espesor de los tubos de transferencia.
- 13.- No conocer el posible arreglo de los tubos de transferencia dentro de la envolvente.
- 14.- Desconocer el tipo de mamparas que se pueden utilizar en los intercambiadores de calor con respecto a sus características.
- 15.- Diseñar un intercambiador de calor sin tomar en cuenta el espacio para tirantes y espaciadores.
- 16.- Omitir las fajas de sello, que se utilizan para bloquear el espacio anular que queda libre entre el diámetro interno de la carcaza y el diámetro exterior del haz de tubos.
- 17.- Colocar equivocadamente las placas de partición en el momento de diseñar el equipo.
- 18.- No tomar en cuenta el ensuciamiento que sufrirá el intercambiador debido al uso de fluidos que pueden depositar impurezas.
- 19.- Descuidar la velocidad con que entran los fluidos por el lado de la envolvente.
- 20.- Desconocer los parámetros geométricos del lado de la envolvente.
- 21.- No saber a quien recurrir en caso de no saber ciertos datos del proceso, métodos de diseño, restricciones, etc. y todo lo que tiene que ver con el diseño, construcción y operación del intercambiador de calor.
- 22.- No conocer el modelo general del comportamiento de un intercambiador de calor.
- 23.- No saber lo que implica hacer el diseño de un equipo (intercambiador de calor).
- 24.- Desconocer los objetivos del diseño.

- 25.- No saber como empezar el diseño.
- 26.- No crear una lista de cómo resolver los casos limitantes por cualquiera de los lados del intercambiador de calor.
- 27.- Circular el fluido por el lado equivocado.
- 28.- Desconocimiento de conceptos que tienen que ver con el diseño de un intercambiador de calor.
- 29.- Ignorar los factores que intervienen para una adecuada selección de materiales.
- 30.- Emplear el sistema de soportería no adecuado al tipo de intercambiador de calor que se diseña.
- 31.- Desconocimiento de las cargas más importantes que actúan sobre un intercambiador de calor.
- 32.- No tomar en cuenta la interacción mecánica de los elementos del intercambiador de calor.
- 33.- Desconocimiento de las partes mecánicas de un intercambiador de calor.
- 34.- No saber si el equipo que se va diseñar lleva algún aditamento especial (generalmente en los tubos).
- 35.- No conocer todos los elementos mecánicos que están en interacción dentro de un intercambiador de calor.
- 36.- No utilización de software para elaborar los cálculos que son iterativos.
- 37.- No elaboración de estándares en la elaboración del diseño de un equipo.

CÁPITULO 3

Repercusiones de las prácticas inútiles de trabajo en la calidad de los productos EIGSA.

1.- Debido a la falta de conocimiento de las formas en como se transmite el calor el diseñador puede cometer graves errores que se convertirán en una pérdida de tiempo, dinero y esfuerzo ya que sin conocer estos medios, el diseño debe presentar un coeficiente global de transferencia de calor erróneo lo cual nos llevará a desechar el diseño trabajado.

2.- El Ingeniero de diseño que no conoce a la perfección los lados esenciales cada tipo de intercambiador de calor es muestra de la falta de capacitación que existe en la empresa por lo tanto el desconocimiento de dichas partes llevará a una incomprensión del trabajo culminando con una falta de calidad en los elementos diseñados así como una pérdida de tiempo por una auto capacitación que muchas veces lleva a cabo el Ingeniero.

3.- Al desconocer el tipo de intercambiador que se va proponer o se va a utilizar en un diseño, todo el trabajo de diseño que se puede hacer será en vano ya que no se tendrá la seguridad de satisfacer las necesidades de intercambio de calor, área de transferencia, costo, materiales de construcción, etc..

4.- Diseñar sin tomar en cuenta las directrices que generalmente se usan en el medio ingenieri!, puede causarnos ciertas discrepancias sobre todo con los organismos reguladores de la construcción y diseño de intercambiadores de calor con lo cual nuestro producto puede ser un producto fabricado y diseñado sin calidad o en el peor de los casos, nuestro cliente puede no comprarnos el producto porque no cumple con ciertas especificaciones que vienen establecidas en determinados códigos.

5.- No usar la nomenclatura que el código TEMA marca o en su defecto los estipulados en los contratos podrían ser causa de malos entendidos y suspensión de contratos entre las partes que llevan a cabo una relación de negocios debido a que si no nos apegamos al estándar, la longitud se puede considerar erróneamente o inclusive el diámetro de dicho equipo, ya que la mayoría de los países consideran la nomenclatura TEMA como la general de uso en todo el mundo, por lo tanto tomaremos esta como referencia.

6.- En caso de no saber como denominar el tipo de intercambiador de calor de tubo y coraza que se esta tratando se cae un desconocimiento total del equipo ya que lo único que se ofrece como información es la cantidad de calor que se intercambia lo cual lleva a errores en el área que ocupa el intercambiador, si es o no de servicio letal, componentes y sus tamaños, etc. . Este problema no nada más preocupa al diseño si no también al usuario ya que no se sabe las partes internas que se deben cambiar en determinado tiempo, el mantenimiento y aditamentos que se verán en los siguientes puntos.

7.- Si no se conoce la clase de intercambiador que se va a diseñar los problemas que se pueden suscitar son muy diversos, como por ejemplo se puede diseñar un intercambiador para condiciones de servicio moderadas y si las condiciones de servicio son severas el intercambiador terminará por explotar o fugar fluidos y esto puede ser catastrófico ya que puede causar la muerte de un trabajador que se encuentre cerca de la ubicación del equipo ó daños muy serios en la planta donde se opere y por otro lado no se puede saber que tipo de mantenimiento debe recibir.

8.- El Ingeniero de diseño que no conoce como puede rotar los fluidos a manejar llega a diseñar generalmente equipos con baja eficiencia, con un alto grado de corrosión, con un gran ensuciamiento, con cargas extras en lugares donde se vuelven peligrosos y con temperaturas extremas en elementos críticos.

9.- Considerar el tipo de construcción elimina problemas con respecto a la expansión térmica que regularmente se presenta en esta clase de equipos la cual nos puede llevar a fugas o hasta la explosión del mismo, también tomar en cuenta el mantenimiento en un futuro del equipo lleva a ahorrar tiempo y costos futuros.

10.- Considerar la geometría que se presentará en el intercambiador de calor es el parámetro para empezar a comparar eficiencia del equipo, costo, durabilidad y sobre todo sirve para comprobar si la geometría que se presenta es la adecuada y así se pueden evitar futuros reemplazos del equipo en corto tiempo, lo cual se evidencia en ahorro de dinero para el fabricante y el cliente.

11.- Seleccionar erróneamente la longitud de los tubos de transferencia de los intercambiadores altera en primer lugar el costo del equipo ya que si no se escoge una longitud comercial adecuada para nuestro país los tubos se tendrán que importar incrementando notablemente el costo del equipo aún tomando en cuenta que la longitud sea la correcta, por otro lado la longitud también puede afectar el diseño térmico del equipo como por ejemplo una longitud mal diseñada puede causar una caída de presión más alta de la prevista con lo cual el equipo se vería limitado en el servicio prestado, también puede afectar la velocidad máxima del fluido que se va a manejar y con esto causando efectos de vibración dentro de estos o en su defecto por velocidad baja causando un exceso de ensuciamiento por materiales no solubles, también si la longitud de los tubos no es adecuada se puede causar una distorsión en los tubos a causa de manejar fluidos con elevados rangos de temperatura. Si no es bien calculada la longitud de los tubos, la falta de espacio donde se va a instalar el equipo obstruirá el buen funcionamiento de este y la limpieza de los tubos o en su defecto la extracción del haz de tubos.

12.- De igual manera que la longitud el diámetro y espesor del tubo afectan principalmente el costo del equipo ya que el costo de los tubos se basa principalmente en espesor, por lo tanto escoger mal el diámetro y espesor de estos perjudicaría cualquier oferta que se pueda presentar y por otro lado en caso de no escogerse el espesor de tubo adecuado no se aguantaría la presión presente dentro de los tubos y por lo tanto podría causar un accidente.

13.- Las repercusiones que se dan de no conocer el arreglo que pueden tener los tubos dentro de la envolvente son :

- Alta caída de presión por la envolvente.
- Disminución del área de transferencia.
- Desgaste de los tubos por la parte exterior.

14.- Primeramente se tiene que decir que las mamparas van contenidas en el interior de la envolvente de un intercambiador de calor, y tienen dos propósitos; cambiar de dirección o dirigir el fluido a través de la envolvente y actuar como soporte de los tubos tanto para evitar que se flexionen como para asegurar un espacio constante entre ellos. Por lo tanto si se escogen las mamparas inadecuadas en el diseño de un intercambiador de calor se puede ver afectada la caída de presión por el lado de la envolvente y por lo tanto el coeficiente de transferencia de calor lo cual nos lleva a un producto que no ofrecerá el servicio que nosotros deseamos o sea un producto sin calidad.

15.- Los tirantes y espaciadores se utilizan para mantener rígidas y en su posición cada una de las mamparas y se extienden desde el espejo fijo hasta la última mampara. El tirante consiste en una varilla sólida, mientras que el espaciador consiste de un tubo en cuyo interior se encuentra el tirante y de no estar presentes estos elementos las mamparas podrían moverse de lugar y tal vez ocasionar una ruptura o caída del haz de tubos ocasionando así la avería del equipo.

16.- En el caso de diseñar un equipo sin tomar en cuenta las fajas de sello, esto nos podría llevar a que en la operación del equipo se creen corrientes parásitas que estén dando vueltas dentro del mismo equipo o simplemente se fuguen entre las mamparas y la envolvente ocasionando un menor intercambio de calor en este caso disminuyendo la eficiencia del equipo y por lo tanto su calidad.

Se debe tomar en cuenta que no todos los equipos deben llevar fajas de sello, y el que el equipo no funcione por falta de fajas de sello no indica que todo el diseño esta mal, este hecho simplemente no afecta el diseño térmico del cambiador sino el diseño mecánico.

17.- Al diseñar el equipo con las placas de partición colocadas de manera no conveniente, el diseño será el mismo y no presentará ninguna complicación ya que estas placas no tienen una intervención muy importante en el diseño solamente basta con saber cuantas hay, ya que estas nos indicarán la cantidad de pasos que hay en el intercambiador (cuantas veces cambia de dirección el fluido dentro del mismo equipo), el problema se presentará a la hora de operación ya que el equipo puede presentar un taponamiento o una caída presión bastante considerable, lo cual afecta el funcionamiento total de nuestro equipo y en el caso de taponamiento si se trata de un fluido a presión puede causar un estallido que pondría en peligro la seguridad de los alrededores.

18.- El ensuciamiento es uno de los factores que altera el funcionamiento de un intercambiador de calor ya que durante la operación de un intercambiador los fluidos "ensucian" la superficie de intercambio con la depositación de costras, impurezas, polímeros, carbón, etc., que causan un incremento en la resistencia a la transferencia de

calor, lo cual disminuye la capacidad de diseño de la unidad en la medida en que aumenta el ensuciamiento. La velocidad del ensuciamiento depende tanto de la limpieza o tendencia al ensuciamiento del fluido, y de la operación estable o inestable del intercambiador.

19.- La velocidad con la que entra determinado fluido al intercambiador de calor puede ocasionar ciertos problemas que al pasar el tiempo se pueden convertir en problemas de seguridad de los trabajadores, como por ejemplo si la velocidad que entra el fluido a la carcasa es muy alta el choque continuo con los tubos de transferencia (tubing) puede hacer que estos sufran alguna fractura o pandeo en el lugar del contacto, si la velocidad es un poco menor a la anterior citada los tubos también pueden sufrir daño debido a la erosión que causa el choque del fluido de entrada, debilitándolos y al final exponiéndolos a alguna fractura o adelgazamiento de pared que puede terminar con una fuga del fluido que viaja por los tubos ocasionando la mezcla de los fluidos tanto el de la coraza como el de los tubos y en caso de que estos tuvieran una reacción se tornaría una práctica sumamente peligrosa.

20.- Sin el conocimiento de los parámetros geométricos del lado de la coraza no se puede tener una idea de cual es la conformación del equipo por dentro, ya que por ejemplo no se tiene idea de cuantos tubos puede haber dentro de este, el numero de hileras que puede haber y el espaciamento de tubos. En caso de no conocer estos datos el diseñador no puede mandar a fabricar el equipo porque los armadores no podrán hacer el equipo sin estos datos.

21.- No saber a quien recurrir en caso de no saber ciertas cuestiones que tienen que ver con el funcionamiento del equipo significa tiempo muerto ya que el equipo de diseñadores se verá imposibilitado para trabajar por falta de un elemento para el diseño, con lo cual retrasaremos nuestro tiempo de entrega del equipo al cliente y por lo tanto el servicio que estaremos ofreciendo será deficiente y falto de atención al cliente o sea sin calidad.

22.- No conocer el modelo general del comportamiento de un intercambiador de calor, significa ignorar totalmente el fenómeno de transferencia de calor y todos los aspectos que lo limitan, generalmente todo ingeniero de diseño debe conocer las ecuaciones que dominan este fenómeno ya que estas se reducen a los muy conocidos balances de energía o calor y en caso de no conocerlas nunca se podrá saber que es lo que hace este equipo, si el diseñador no viene con la capacitación suficiente hará perder a la empresa tiempo y dinero.

23.- El no conocer lo que implica el diseño es desconocer el alcance que tendrá esta labor ya que se puede pasar por alto cualquier parámetro de construcción o en su defecto no considerar cualquier restricción ya sea física o de operación. Cuando alguien no conoce el alcance que tendrá su labor regularmente el trabajo se queda a medias, esto quiere decir que la persona encargada de diseñar debe conocer exactamente su labor ya que de lo contrario en cualquier equipo que este a punto de construirse seguramente faltará una pieza de construcción no tomada en cuenta por el ingeniero de diseño o tal vez la eficiencia del cambiador sea menor a la requerida o por último el intercambiador puede resultar más grande o pequeño de lo que lo solicitaba el cliente. Todas estos descuidos se reflejan en la no satisfacción del cliente y por lo tanto pérdida de clientes y dinero.

24.- El ingeniero que diseña sin saber los objetivos de ésta labor se enfrenta a cuatro problemas que afectan al equipo y por lo tanto la calidad del producto:

- 1.- No cumplir con los requerimientos del proceso.
- 2.- Que el equipo no resista las condiciones de operación.
- 3.- No cumplir con accesos para fácil mantenimiento.
- 4.- El equipo no es costeable.

Problemas que le representan a la empresa tiempo muerto, dinero y reputación.

25.- El no tener una estructura de cómo desarrollar el diseño nos puede llevar a grandes pérdidas de tiempo con retrasos en la entrega del producto (inconformidad).

26.- El no crear un documento que detalle como se han resuelto los casos limitantes en cada intercambiador de calor, nos llevará a muchas pérdidas de tiempo ya que se repetirán muchas operaciones que podemos saltar porque ya se han tenido experiencias anteriores. En ocasiones a pesar de contar con muchos años de experiencia el diseñador requiere de un documento el cual le ayude a ganar tiempo en el momento del diseño.

27.- El no saber ubicar a los distintos fluidos que se utilicen en el intercambiador de calor trae como consecuencias:

- (a) Desgastar el equipo en una forma inadecuada debido a la corrosión y por lo tanto tendrá menos tiempo de vida útil.
- (b) Ensuciar el equipo por el lado equivocado y por lo tanto reducir su eficiencia térmica ya que el ensuciamiento es una de las resistencias que debe vencer el flujo de calor.
- (c) Problemas mecánicos como: fatiga, sobrepresión, elongación, etc. debido a la mala elección de lado por presión.
- (d) Deformaciones en los materiales que conforman el equipo por sobre temperatura.
- (e) Mal aprovechamiento del área de transferencia de calor.
- (f) Velocidad no óptima debido a la falta o exceso de área para circular el fluido.

28.- El desconocimiento de conceptos que se utilizan en el momento de diseñar un intercambiador de calor nos puede echar a perder todo el trabajo que ese ha invertido en diseñar el mismo ya que usualmente el diseñador que desconoce estos conceptos atribuye ciertos valores a cada concepto diferente que no son los correctos, echando por los suelos el trabajo empleado, desperdiciando tiempo y retrasando en algunas ocasiones el tiempo de entrega del equipo. Cabe remarcar que en muchas ocasiones estos conceptos se deben de conocer y aparte calcular por criterios ya establecidos.

29.- Ignorar los factores que intervienen para una adecuada selección de materiales nos puede llevar por supuesto a una mala elección del material con el que se construirá el equipo, que no nada mas es eso sino que va afectar en gran proporción al equipo debido a que si no se escoge correctamente el material el equipo puede presentar un alto grado de corrosión lo cual nos disminuiría la vida útil del equipo, también puede presentar baja resistencia a la temperatura o presión poniendo en peligro al operador del equipo y a la misma planta donde opera este, por otra parte si se escoge un material equivocado el equipo puede presentar muchos problemas a la hora del mantenimiento que a un largo periodo de tiempo se convertirán en un alto costo para el comprador del equipo y por último la elección del material erróneo nos dará como resultado un falso precio del intercambiador de calor.

30.- El no contar con un adecuado sistema de soportería adecuado a las necesidades del equipo en cuestión puede presentar problemas desde el primer momento del transporte ya que las vibraciones que se presenten en el momento del transporte pueden debilitar la estructura de soportería ocasionando la separación o fractura de la misma y dejando al equipo desprotegido de cierta manera y si la soportería no aguanta las vibraciones del traslado difícilmente podrá aguantar las que se presenten en el momento de la operación donde también puede sufrir daños dicho sistema, además este sistema se debe localizar de manera correcta en determinada parte del equipo de lo contrario la sección que se debería reforzar puede presentar fracturas, elongaciones, grietas o deformaciones. En caso de diseñar un equipo con soportería incorrecta se esta incurriendo en la creación de un equipo de muy corto tiempo de vida útil, que puede ocasionar muchos problemas al comprador, con un alto gasto de mantenimiento y por lo tanto un artículo de muy mala calidad.

31.- No conocer los sistemas de cargas que dominan la acción de los intercambiadores de calor puede presentar distintos problemas causados por cada sistema no conocido.

Por ejemplo:

Problemas por presión:

- Fracturas de los elementos que conforman al cambiador.
- Deformaciones.
- Fugas de los fluidos que se manejan.
- Explosiones.
- Implosiones.

Problemas por temperatura:

- Deformaciones.
- Fallas mecánicas.
- Baja resistencia del equipo.
- Baja rigidez de los componentes del equipo.
- Perfiles de esfuerzos mal distribuidos.

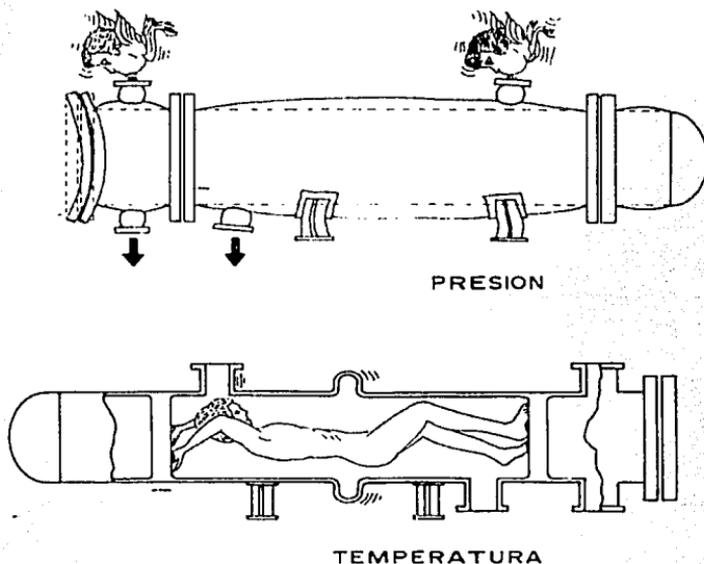
- Transformación de los fluidos en erosivos.
- Transformación de los fluidos en corrosivos.

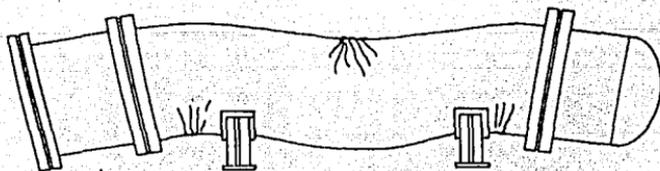
Problemas por peso propio:

- Preesforzamiento.
- Concentración de esfuerzos.
- Fracturas.
- Elongaciones

Problemas por excitación dinámica:

- Ruido.
- Incompatibilidad de elementos mecánicos.
- Fracturas.





PESO PROPIO

32.- El no tomar en cuenta las interacciones mecánicas que se llevan a cabo entre todos los elementos del intercambiador de calor, nos puede llevar a deformaciones, fracturas, sobreesfuerzos, tensión ó elongamiento. Cada componente se va a comportar de distinta manera por la presión o la temperatura a la que va a ser sometido. Así por ejemplo mientras que en el espejo tendremos una expansión de 3 mm por la temperatura media del intercambiador de calor, en los tubos se puede presentar una expansión térmica de 10 mm. haciendo totalmente incompatibles estos 2 elementos.

33.- Definitivamente un equipo no se puede diseñar completamente sin conocer las partes que lo conforman y este es el caso de los intercambiadores de calor. Debe de haber especialistas en cada diseño tanto mecánico como térmico sin embargo las dos entidades no piensan igual por lo tanto el ingeniero de diseño térmico debe aprender diseño mecánico y viceversa para que no se pierda el "feeling" del diseño.

34.- No saber con que aditamentos puede contar un intercambiador de calor que va a ser diseñado puede pegar en los resultados finales de una manera alarmante. Estos aditamentos pueden servir desde para dar más área de transferencia de calor, hasta para mejorar el coeficiente de transferencia de calor, por lo tanto si no se toman en cuenta estos aditamentos puede ser que nunca alcancemos la transferencia de calor que nosotros deseamos y por lo tanto nos causaría pérdidas tanto económicas como de clientes.

35.- Desconocer los elementos mecánicos que interactuarán dentro de un equipo de intercambio de calor nos llevaría a diseñar un equipo que no contaría con mantenimiento, porque muchas veces después de diseñar el equipo tenemos que saber aproximadamente la vida útil de éste pero la vida útil no significa que después de ese determinado tiempo establecido por el diseñador el equipo se tenga que tirar completamente a la basura, no. Después de la vida útil de un intercambiador de calor vienen los mantenimientos correctivos porque dentro de la vida útil el mantenimiento es preventivo. En estos mantenimientos correctivos se dan ocasiones donde se tiene que cambiar cierta parte del equipo pero si no la conocemos como vamos a poder diseñar solo la parte que nos interesa ¿ tendríamos que diseñar nuevamente el cambiador?, no, solo se diseña la parte que se encuentre afectada o la parte del intercambiador que debe ser reemplazada.

36.- Los cálculos iterativos quitan mucho tiempo al diseñador de equipo, a pesar de que ese es el trabajo del diseñador, el software se vuelve una herramienta indispensable para ahorrar tiempo y no tardar días en diseñar un intercambiador de calor. Tanto en el diseño térmico como mecánico hay muchos cálculos iterativos lo que puede llevar a un diseñador a tardar aproximadamente dos semanas en diseñar un buen cambiador de calor y por lo tanto el diseñador sin software se vería en desventaja ante el diseñador con software.

37.- La elaboración de documentos estándar para el diseño de un equipo pueden ayudar a ahorrar tiempo y en caso contrario de no elaborarlos el diseñador estaría repitiendo muchas veces el mismo procedimiento (dibujos, esquematización, etc.) , todo este ahorro de tiempo es benéfico ya que en caso de cometer un error en el diseño no se perdería toda la información sino sólo parte de esta o en caso de diseñar un equipo muy parecido ya no se tiene que empezar todo desde el principio sino sólo en los elementos donde se distinguen los equipos.

CÁPITULO 4

Acciones correctivas y/o preventivas a tomar.

1.- Como el conocer las maneras en que se transmite el calor corresponde a una situación meramente académica el diseñador que no conoce estas formas tiene que remitirse a los libros donde encontrará lo siguiente:

Hay tres formas diferentes en las que el calor puede pasar de la fuente al receptor:

Conducción.- La conducción es la transferencia de calor a través de un material fijo.

Convección.- La convección es la transferencia de calor entre partes relativamente calientes y frías de un fluido por medio de mezcla.

Radiación.- La radiación involucra la transferencia de energía radiante desde una fuente a un receptor. Cuando la radiación se emite desde una fuente a un receptor, parte de la energía se absorbe por el receptor y parte es reflejada por él.

2.- Organizar capacitaciones para todo los integrantes nuevos del departamento de diseño ya sea térmico ó mecánico o en su defecto darle a conocer al nuevo elemento por medio de folletos especializados las partes de cada intercambiador donde cada folleto al menos deberá responder las siguientes preguntas: ¿Qué es un intercambiador de tubo y coraza?. ¿Qué es el lado los tubos? y ¿Qué es el lado de la coraza ó envolvente?.

Descripción propuesta :

Cambiador de calor de tubo y coraza: Es un equipo de proceso en el que circulan generalmente dos fluidos en condiciones de temperatura diferentes, uno por el lado de tubos y otro por el lado de la coraza, con el fin de intercambiar calor a través de las paredes metálicas de los tubos de transferencia, sin que ocurra un contacto directo entre ellos. (Ver figura 1).

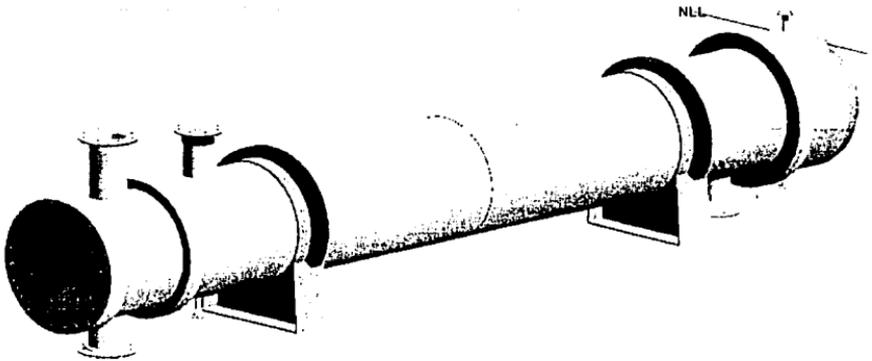


Figura 1

Lado tubos: Llamamos así a los conductos por donde circula el fluido que pasa por el interior de los tubos de transferencia.

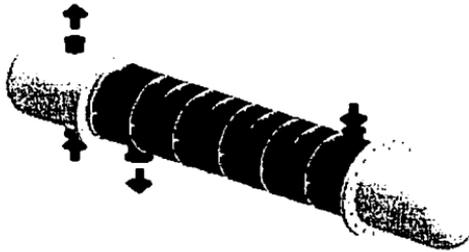


Figura 2

Lado coraza ó envoltente: Se llama así al conducto por donde circula el fluido que baña a los tubos de transferencia.



Figura 3

3.- Debido a la cantidad tan grande de tipos de cambiadores, se clasificarán de acuerdo a sus características de construcción:

- A) Cambiadores de un solo tubo.
- B) Cambiadores de tubos múltiples.
- C) De calentamiento externo.
- D) Cambiadores de placas.
- E) De superficies extendidas.
- F) Equipos especiales.
- G) Cambiadores de contacto directo.
- H) A fuego directo.

4.- El diseño mecánico y térmico de recipientes a presión, como el de la gran mayoría de los equipos para procesos industriales, se encuentran regidos por diferentes normas y códigos. Para el caso de los intercambiadores de calor de tubo y envoltente, que es el tema del cual nos ocuparemos, el código más empleado es el ASME.

La aplicación de dicho código, requiere de un amplio criterio para la interpretación correcta del mismo diseño. Así mismo existen las normas TEMA, cuya finalidad es regular los criterios de diseño y fabricación de los equipos que nos ocupan.

CÓDIGO ASME

El código que tiene aceptación universal en la industria de la refinación y petroquímica es el que publica la AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME) y en particular la sección VIII, División II, titulada "REGLAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE RECIPIENTES A PRESIÓN". Este código presenta los requerimientos mínimos para el diseño, fabricación, inspección y certificación de recipientes a presión de acero al carbón,

aceros de baja aleación, metales no ferrosos, altas aleaciones de acero, hierro fundido, materiales de recubrimiento, etc., para presiones de diseño hasta 3000 psig.

ESTÁNDAR TEMA

Los intercambiadores de calor están sujetos a las normas del código ASME por ser recipientes a presión; así como al estándar TEMA (Standards of tubular exchanger Manufacturer Association) en lo que concierne a estándares y tolerancias de fabricación, prueba, inspección, tolerancias por corrosión, espesores mínimos y procedimientos de diseño mecánico de los elementos propios de un intercambiador de calor.

5.- El estándar TEMA también tiene aceptación universal y es publicado por un comité de fabricantes norteamericanos de intercambiadores de calor.

CLASIFICACIÓN TEMA

Debemos utilizar estándar TEMA que establece la nomenclatura estándar para los tipos básicos de intercambiadores de tubo y coraza, así como para sus partes y componentes típicos. Se recomienda que el tamaño y tipo de intercambiador sean designados en base a dicho estándar como se menciona a continuación:

Tamaño.

El tamaño de la envolvente (y haz de tubos) se designa por números que describan el diámetro de la envolvente (y haz de tubos) y la longitud de tubos como sigue:

Diámetro nominal.

El diámetro nominal será el diámetro interno de la envolvente. Para envolventes tipo Kettle, el diámetro nominal será el diámetro del canal seguido por el diámetro de la envolvente. Los valores serán en pulgadas y redondeados a su entero más próximo.

Longitud nominal.

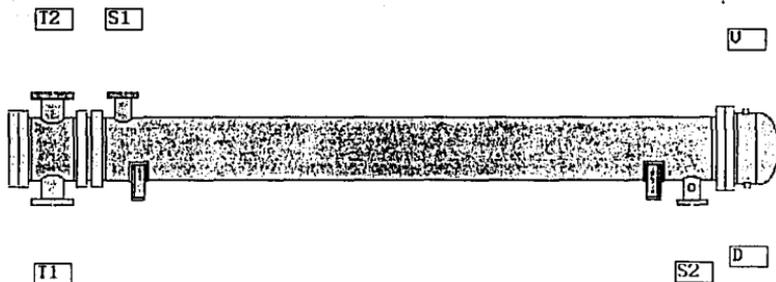
La longitud nominal será la longitud de los tubos en pulgadas en tubos rectos será la longitud real de los tubos. Para tubos en "U" se tomará la longitud recta hasta la tangente de la "U".

6.- El tipo de intercambiador se debe designar por una serie de tres letras, en base a la figura 1 que se encuentra en el anexo. La primera indica el tipo de construcción del canal de admisión; la segunda el tipo de construcción de la envolvente; y la última letra el tipo de cabezal de retorno.

Ejemplo:

Intercambiador con cabezal flotante de anillo dividido, con canal y cubierta removible, un solo paso por envolvente, 23 1/4" de diámetro interno, con tubos de 10' de longitud.

Tamaño: 23" x 192" Tipo: AES.



7.- Se deben tomar las tres clases que especifica el estándar TEMA.

TEMA Clase "R"

Generalmente aplica a condiciones rigurosas de servicio y mantenimiento como las requeridas en las plantas de refinación y petroquímica. Normalmente se selecciona para el manejo de hidrocarburos ligeros y otros servicios clasificados como peligrosos o tóxicos (ejemplos: butano, propano, cloro, amoniaco).

TEMA Clase "C"

Generalmente aplica a condiciones de servicio moderadas en aplicaciones comerciales y procesos generales. Normalmente seleccionado para servicios clasificados como no peligrosos (ejemplos: glicoles, kerosina, aire, agua).

TEMA Clase "B"

Generalmente aplica a condiciones de servicio moderadas en procesos químicos. Normalmente seleccionado para servicios químicos que no requieren de más de 1/16" de tolerancia por corrosión y para líquidos inflamables pero que no vaporicen rápidamente a presión atmosférica. (Ejemplos: alcoholes, benceno, cetonas, tolueno).

8.- La rotación de fluidos es una consideración básica en el diseño de intercambiadores de calor, esta rotación se refiere a la decisión de colocar en determinado lado del intercambiador de tubo y coraza los fluidos, pero para esto se tienen que tomar en consideración cinco factores y enlistados por orden de importancia son:

- Corrosión.
- Ensuciamiento.
- Presión.
- Temperatura.
- Características del fluido.

Corrosión: Cuando se tiene un fluido corrosivo que requiera materiales de aleaciones especiales, generalmente es más económico colocar dicho fluido por el lado de los tubos, ya que en esta forma se requiere una menor cantidad de material resistente a la corrosión.

Ensuciamiento: El fluido con mayor tendencia al ensuciamiento, que tenga sólidos en suspensión, ó que requiera limpieza mecánica, deberá colocarse por lado de tubos (siempre y cuando sean rectos) ; ya que por dentro de los tubos la limpieza mecánica es más eficiente y efectiva, y además no requiere remover el haz de tubos de la carcaza, lográndose ahorros sustanciales en el tiempo y el costo del mantenimiento. Como regla general, el fluido frío, que es el que se calienta, y por lo tanto, el que tiene mayor tendencia a ensuciar, debe ir por el lado de tubos.

Presión: Generalmente arriba de 300 psi la presión se convierte en un factor importante en el costo del equipo. Por lo tanto, si se tiene un fluido con una presión superior a este valor, resultará más económico si se coloca dicho fluido por el lado de tubos.

Temperatura: Generalmente arriba de 550°F es recomendable la utilización de materiales con aleación. Por lo tanto, si se tiene un fluido con una temperatura superior a este valor, resultará más económico si se coloca dicho fluido por el lado de tubos.

Características del fluido: Si uno de los fluidos tiene un coeficiente de transferencia de calor sustancialmente menor que al del otro fluido, a este fluido se le denomina "fluido controlante, ó "débil", ya que es el fluido que gobierna al coeficiente global de transferencia de calor. En este caso, el fluido débil deberá colocarse en el lado que proporcione al mayor coeficiente. Si se puede alcanzar un No. de Reynolds superior a 25000 por el lado de tubos cumpliendo con la caída de presión permisible, el área del intercambiador se reducirá al mínimo si este fluido se pasa por dentro de tubos. En caso contrario, el lado de la envolvente proporcionará el valor máximo de coeficiente para el fluido débil.

9.- Para mejorar la selección del tipo de construcción existen tres factores básicos:

- Consideración de la expansión térmica diferencial de los tubos y la carcaza.
- Mantenimiento.
- Costo.

Con el fin de considerar estos tres factores existen tres tipos de construcción, que son:

- 1.- Espejos fijos.
- 2.- Cabezal flotante.
- 3.- Tubos en "U".

Espejos fijos.

El intercambiador de calor de espejos fijos es el que presenta el arreglo mecánico más simple, ya que los espejos son soldados a la envolvente, lo cual implica que el espejo y la envolvente sean de materiales compatibles de soldar (i.e. acero-acero, acero-acero inoxidable, acero-aluminio/bronce, pero no acero-bronce). Este tipo de intercambiador es el que se usa más a menudo que cualquier otro tipo, debido a que su construcción resulta muy económica, ya que no tiene juntas en la envolvente, lo cual proporciona máxima seguridad en cuanto a fugas de fluido en la carcasa hacia el exterior. Sin embargo, tiene limitaciones. El lado de la envolvente no se puede limpiar mecánicamente, ni inspeccionar, ni permite la expansión diferencial de los tubos y la envolvente. Esta última limitante se puede resolver colocando una junta de expansión en la carcasa, pero dichas juntas generalmente son causa de falla del equipo y resultan excesivamente caras.

En base a sus características, este tipo de intercambiador resulta apropiado para los casos donde el fluido por la envolvente es limpio ó cuando la limpieza química es efectiva, y para servicios con rangos, diferenciales y niveles bajos de temperatura. Existe una regla "del dedo" que dice que un intercambiador de espejos fijos solamente puede usarse (sin junta de expansión) para los casos donde las temperaturas de entrada de ambos fluidos no excedan a 150°F. Obviamente, dicha regla no se puede tomar llanamente, ya que se deben considerar la diferencia en materiales tubo-envolvente, nivel de la temperatura de operación, arranque y operaciones cíclicas de la planta. Especialmente cuando estos dos últimos puntos son críticos, se debe procurar dirigir el fluido caliente por la carcasa.

Cuando se seleccione un equipo de espejos fijos será en base a la consideración de que por el lado de la envolvente no se requiere limpieza química, ni mecánica. Si se presume que requerirá limpieza química, se deberá conocer específicamente el tipo de ensuciamiento que se presentará, con el fin de poder seleccionar el fluido removedor, y los materiales de construcción del intercambiador, ya que casi siempre este tipo de fluidos son abrasivos o pueden ser corrosivos.

Cabezal flotante.

10.- Para saber las características geométricas de los intercambiadores de calor haremos referencia a la nomenclatura del estándar TEMA, y para poder determinar exactamente las características de cada geometría las agruparemos en 3 partes:

- (a) Cabezal de admisión.
- (b) Tipo de cuerpo.
- (c) Cabezal de retorno.

(a) Selección de cabezales de admisión.

La selección del tipo de cabezal se debe enfocar básicamente a 3 consideraciones:

1. Accesibilidad a la unión tubo espejo.
2. Arreglo de la tubería o conexiones.
3. Costo.

TIPO "A"

Consiste de un carrete, una tapa plana removible, y un par de bridas, una para la unión canal-envolvente y otra para la unión tapa-canal. Este tipo de cabezal es el más versátil y por consecuencia el más caro de los cabezales bridados. La brida canal-envolvente permite remover toda la cabeza para tener un mejor acceso al espejo en la inspección o mantenimiento de la unión tubo-espejo. La brida tapa-canal permite cepillar el interior de los tubos sin tener que remover todo el canal y las líneas de conexión.

El cabezal tipo "A" se puede utilizar con cualquier tipo de envolvente. Se recomienda en servicios con fluidos sucios por el lado de los tubos, que requieran frecuentemente limpieza mecánica de los tubos y/o inspección de la unión espejo-tubo, y cuando se tengan boquillas mayores a 8" de diámetro.

TIPO "B"

Comúnmente se le denomina bonete. Consiste de una sola pieza formada por un carrete, una tapa hemisférica, y una brida para unión bonete-carcaza. Generalmente este tipo de cabezal es la opción más económica, y se puede usar en cualquier tipo de carcaza. Sin embargo, en haces de tubos removibles es necesario disponer de un anillo de prueba con el fin de sujetar el espejo a la carcaza para poder realizar la prueba hidráulica del lado de la envolvente.

La única desventaja de este cabezal radica en la necesidad de remover todo el canal y sus líneas de conexión para poder inspeccionar y dar mantenimiento al equipo; por lo tanto, se debe evitar su uso para los servicios en que se requiera un mantenimiento e inspección frecuente, especialmente si las conexiones tienen un diámetro mayor a 8".

TIPO "C"

Consiste en un carrete integrado al espejo, y una tapa removible. Este tipo de cabezal es aplicable únicamente a haces de tubos removibles. Su costo es similar al cabezal tipo "B", e inferior al del cabezal tipo A, debido a la eliminación de la brida canal-envolvente, lo cual restringe su uso a los casos en que dicho ahorro en costo es justificable desde el punto de

vista de mantenimiento; tal como servicios moderadamente limpios y suaves, con temperaturas y/o presiones moderadas, siempre y cuando las fugas internas tubo-espejo sean tolerables tanto en la operación como en la contaminación de los productos manejados, especialmente en intercambiadores menores a 20" con más de dos pasos, ya que a pesar de que se remueva la tapa plana, se dificultan o anulan las maniobras de inspección y/o mantenimiento (rerrolado, reentubado) por la presencia de placas de partición.

TIPO "N"

Consiste de un carrete integrado al espejo y una tapa removible. Este tipo de cabezal es aplicable únicamente a intercambiadores de espejos fijos, su costo es inferior al cabezal tipo "C". Las consideraciones mencionadas para el cabezal tipo "C" aplican para el cabezal tipo "N" en cuanto a la operación y mantenimiento del equipo.

TIPO "D"

Consiste en un canal integrado al espejo, con una tapa removible. Esta última soporta la presión hidrostática, y el anillo bipartido absorbe los esfuerzos cortantes generados por fuerzas actuantes en los extremos. Generalmente, este tipo de diseño es más económico que la construcción bridada para presiones superiores a 900 psi.

(b) Selección de tipo de cuerpo.

TIPO "E"

La envolvente tipo "E" es la configuración más simple, y por, consecuencia la de aplicación más general. Consiste de un recipiente cilíndrico con dos boquillas en cada extremo, para la entrada y la salida del fluido, con el fin de que el fluido se desplace a todo lo largo de la envolvente, por lo cual se le denomina como envolvente de un solo paso. Con un paso por el lado de tubos se logra un arreglo en paralelo ó en contracorriente pura. Este tipo de envolvente se puede utilizar en unidades verticales, horizontales e inclinadas.

Este tipo de envolvente es punto de referencia para evaluar las características de los otros tipos de envolventes. Esto se debe a que la envolvente tipo "E" es el elemento primario, sobre el cual se han generado los otros tipos de envolventes para satisfacer múltiples requerimientos.

TIPO "F"

La envolvente tipo "F" consiste en un cilindro dividido en dos mitades por medio de una mampara longitudinal que está unida al espejo fijo. Las boquillas de entrada y salida se encuentran en el mismo lado del espejo fijo. Esta configuración es con el objeto de tener 2

pasos por la envolvente, que en conjunción con 2 pasos por los tubos se logra un arreglo en contracorriente pura. Cuando se tiene un número de pasos diferente de 2, se pierde esta última situación, por lo que su aplicación sería con la única intención de aumentar la velocidad (en relación a la envolvente tipo "E") del fluido por la envolvente.

Debido a que el único medio efectivo para evitar las fugas del fluido a través del espacio mampara longitudinal-envolvente es la soldadura de dichas partes, este tipo de envolvente está restringido a intercambiadores de espejos fijos y consecuentemente a las limitaciones características de los mismos. Sin embargo, cuando se tiene una condensación de sustancias relativamente puras, y/o caídas de presión menores de 5 psi, o cuando en el diseño térmico se tome en cuenta el efecto de las fugas en los costados de la mampara longitudinal, se puede utilizar este tipo de envolvente en haces de tubos removibles. Si el rango de temperatura del fluido por la envolvente es mayor de 250°F se debe considerar la conducción del baffle longitudinal ó instalar algún sistema de aislamiento en ambas caras del baffle longitudinal.

TIPO "G"

La envolvente tipo "G" presenta una mampara longitudinal que divide la envolvente en 2 mitades. En la parte central de la envolvente se coloca una placa circular, para soportar a los tubos y dividir el flujo en dos partes, ya que las boquillas de entrada y salida se encuentran en los extremos de dicha placa. La configuración de esta envolvente es con el objeto de conseguir un arreglo más próximo al de contracorriente pura, que el que se obtiene en una envolvente tipo "E". En cuanto a la longitud de recorrido y área de flujo este arreglo es igual a una envolvente tipo "E". Debido a la presencia de la mampara longitudinal, este tipo de configuración presenta las mismas limitaciones de la envolvente tipo "E", por lo que se puede reemplazar por dos envolventes tipo "J" en serie para obtener los beneficios de la envolvente "G", y eliminar sus desventajas. Se usa únicamente en unidades horizontales, y casi exclusivamente para la condensación y vaporización de fluidos con un pequeño rango de temperatura.

TIPO "H"

La envolvente tipo "H" equivale a 2 envolventes tipo "G" en paralelo. Esta configuración es con el objeto de combinar las virtudes de la envolvente tipo "J" (menor longitud de recorrido) y las de la envolvente "G" (mayor LMTD), con las desventajas ya mencionadas de la mampara longitudinal. Se usa únicamente en unidades horizontales, y casi exclusivamente para la condensación y vaporización de fluidos con un pequeño rango de temperatura.

TIPO "J"

La configuración de la envolvente tipo "J" es con el objeto de reducir la longitud del recorrido del fluido a través de la envolvente, y mantener un área de flujo equivalente a una

envolvente tipo "E". La envolvente tipo "J" equivale a 2 tipo "E" en paralelo. Se debe evitar este tipo de envolvente cuando se requiere un sólo paso por el lado de los tubos, ya que cada extremo del intercambiador presentará diferentes condiciones de operación, obteniéndose mayor transferencia de calor en el extremo donde se alimenta el fluido por tubos, particularmente cuando la LMTD es menor de 40°F.

El volumen del fluido a la entrada y a la salida de la envolvente es el factor a priori de decisión en cuanto a la disposición de las boquillas. Es decir, en el punto en el que fluido tenga un mayor volumen se colocará una boquilla. Sin embargo, cuando se juzgue necesario, se deberán evaluar ambas alternativas para seleccionar el arreglo de boquillas más económico.

(c) Selección cabezales de retorno.

TIPO "P"

El cabezal flotante exterior empacado consiste de un espejo flotante empacado interiormente con un anillo de cierre hidráulico, lo cual se logra con las bridas de la envolvente y las del canal. Este tipo de cabezal es aplicable a fluidos por la envolvente que no excedan 600 psi y 600°F, y cuando sea tolerable que dicho fluido fugue hacia fuera. Aplicable para equipos con doble espejo. El cabezal "P" es más caro que el "W".

TIPO "S"

El cabezal interno de retorno con contrabrida, está formado por un casquete esférico, unido generalmente a una brida tipo anillo y estos ya como un solo elemento, van ensamblados a un espejo flotante, auxiliados por una contrabrida dividida. Cuando se tiene un solo paso por tubos, se debe colocar un tubo desde la tapa del cabezal flotante hasta el exterior de la tapa de la envolvente, e incluir algún sistema que permita la expansión diferencial tubos-carcaza, y la extracción del haz de tubos.

La tapa de la envolvente es aproximadamente 4-6" más grande que el diámetro de la carcaza, con el fin de acomodar el cabezal flotante. Para extraer el haz de tubos, es necesario remover la tapa de la envolvente y dismantelar el cabezal flotante (cubierta del cabezal y el anillo dividido). Este tipo de cabezal es recomendable para servicios sucios con diferenciales elevados de temperatura tubo-envolvente. No aplica para envolventes tipo "K", ni para equipos con doble espejo.

TIPO "T"

El cabezal flotante tipo "T" se forma con los mismos elementos que el cabezal tipo "S", con la diferencia de que éste va ensamblado directamente al espejo por medio de pernos, lo

cual permite extraer el haz de tubos con solo remover el haz de admisión. Su costo y aplicación es muy similar al cabezal tipo "S". Sin embargo, tiene la ventaja de contar con 5 bridas idénticas lo cual disminuye el costo de las mismas, además es posible ahorrarse dos bridas al integrar la tapa de la envolvente a la envolvente, en aquellos casos donde no sea indispensable revisar la unión tubo-espejo flotante.

Este tipo de cabezal tiene la desventaja de requerir un espacio libre (2-2.5 veces mayor que el tipo "S") entre el haz de tubos y el diámetro interno de la carcasa, lo cual es una situación indeseable principalmente para fluidos que no cambian de fase, ya que el fluido tiende a desplazarse por dichos espacios.

TIPO "W"

El cabezal flotante tipo "W" no es más que un espejo flotante empacado interiormente con un anillo de cierre hidráulico, lo cual se logra con las bridas de la envolvente y la de canal. El espejo flotante sellado externamente es el tipo más económico para tubos rectos. Esta limitado a uno o dos pasos por tubos, debido a que no es posible colocar placas de partición en dicho cabezal.

Este tipo de cabezal esta limitado a temperaturas de diseño inferiores a 375°F y a servicios suaves en agua, vapor, aire, aceites lubricantes, etc., donde las fugas hacia el exterior sean aceptables, ó cuando la mezcla de ambos fluidos pueda tolerarse. La presión de diseño no debe exceder a 300 psi para envolvente de tubería comercial (Ds < 24"), a 150 psi en envolventes con diámetros de 24 a 42" y a 75 psi de 43 a 60" de diámetro.

11.- Lo único que se puede hacer en este caso es conocer las longitudes comerciales de los tubos de transferencia que son:

6, 8, 10, 12, 16, 20, 24, 30, 32, 40, 48 y 60 pies.

12.- Conocer los diámetros comerciales para en esos basar el diseño y comprender de que distintos espesores se puede conseguir el tubo de transferencia:

¼", 3/8", ½", 5/8", ¾", 1", 1 ¼", 1 ½" y 2".

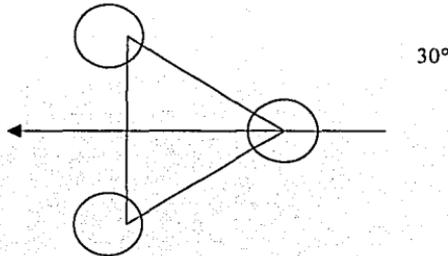
El espesor de los tubos debe ser suficiente para soportar la presión interna y externa del servicio, y en ocasiones debe estar con ciertas consideraciones mecánicas (esfuerzos longitudinales, soldadura tubo-espejo, etc.) .El espesor de los tubos esta medido unidades birmingham Wire Gage (BWG) y se divide en distintos calibres por ejemplo un tubo de cualquier diámetro con BWG ó calibre 14 tiene un espesor de 0.083".

En el anexo en la página 2 se encuentra una tabla con diferentes diámetros y BWG's para tener una referencia más clara.

13.- Conocer las ventajas y desventajas de los cuatro arreglos que se pueden utilizar en los intercambiadores de calor de tubo y coraza que a continuación se explican:

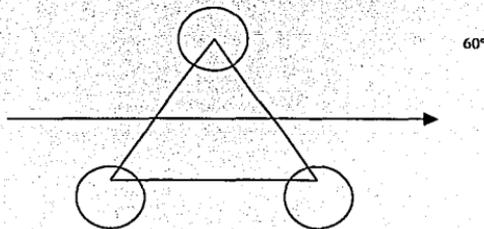
TRIANGULAR NORMAL

El arreglo triangular normal, o en línea se utiliza cuando la dirección del flujo es perpendicular o normal a la base del triángulo. Este arreglo es el más popular en servicios limpios, o sucios cuando la limpieza química es aceptable, su uso resulta mandatorio en equipos con espejos fijos. Para un diámetro de envolvente dado, este tipo de arreglo proporciona 15% más de área que un arreglo en cuadro.



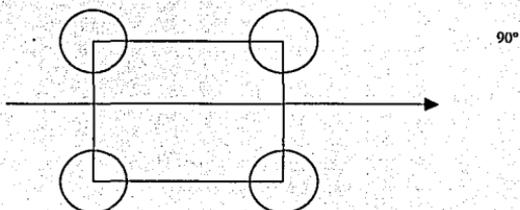
TRIANGULAR ROTADO

El arreglo triangular rotado es cuando la dirección del flujo es paralela a la base del triángulo. Este arreglo tiene una aplicación equivalente a la anterior.



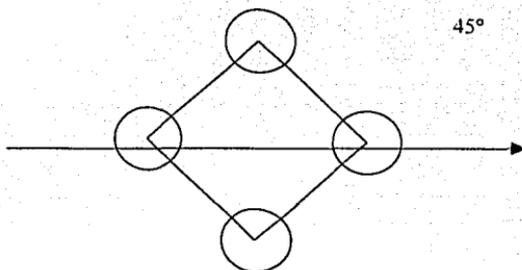
CUADRO NORMAL

El arreglo cuadro normal o en línea se recomienda en servicios sucios que requieren limpieza mecánica. Su uso resulta mandatorio en haces de tubos removibles.



CUADRO ROTADO

El arreglo cuadro rotado o de diamante tiene una aplicación igual que el anterior. Su uso se recomienda únicamente cuando sus ventajas sobre el cuadro normal sean sustanciales.



	TRIANGULO ROTADO	TRIANGULO	CUADRO	CUADRO
ANGULO DEL PITCH	60°	30°	90°	45°
LIMPIEZA MECÁNICA	NO	NO	SI	SI
COEFICIENTE	(ALTO)	+/-	(BAJO)	+/-
CAÍDA DE PRESIÓN	(ALTO)	+/-	(BAJO)	+/-

14.- En estos casos lo que se debe hacer es establecer las funciones de cada tipo de mampara para tener una referencia de sus usos, como en la siguiente tabla:

TIPO DE	MAMPARA	APLICACIÓN
SEGMENTADA	CORTE HORIZONTAL 	CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO DE LÍQUIDOS SIN CAMBIOS DE FASE. EL FLUJO ARRIBA PREVIENE LA ESTRATIFICACIÓN EN EL ENFRIAMIENTO DE LÍQUIDOS MUY VISCOSOS.
	CORTE VERTICAL 	VAPORIZACIÓN, CONDENSACIÓN. EVITA EL ESTANCAMIENTO DEL VAPOR Y EL LÍQUIDO, SIN CAMBIO DE FASE CON SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN. ENFRIAMIENTO Y CALENTAMIENTO DE GASES
DOBLE SEGMENTADA	CORTE HORIZONTAL 	SIMILAR A LA SEGMENTADA, PERO PARA REQUERIMIENTO DE MENOR CAÍDA DE PRESIÓN.
	CORTE VERTICAL 	SIMILAR A LA SEGMENTADA, PERO PARA REQUERIMIENTO DE MENOR CAÍDA DE PRESIÓN.
DISCO Y DONA		ALTERNATIVA DE LA MAMPARA DOBLE SEGMENTADA HORIZONTAL. NO SE UTILIZA FRECUENTEMENTE DEBIDO A QUE SU COSTO ES MAYOR.
COMPLETA		VAPORIZACIÓN, CONDENSACIÓN TOTAL DONDE SE TIENE FLUJO CRUZADO ENTRE LAS BOQUILLAS DE ALIMENTACIÓN Y DE SALIDA.
LONGITUDINAL		VAPORIZACIÓN, CONDENSACIÓN. ASEGURA UNA BUENA DISTRIBUCIÓN DE LA MEZCLA DE DOS FASES. SE PUEDE UTILIZAR CONJUNTAMENTE CON MAMPARAS COMPLETAS.

15.- La acción que se tomará en este caso es colocar la cantidad de tirantes, así como su diámetro mínimo que sugiere el estándar TEMA dependiendo del diámetro de la envolvente y su clase según TEMA. (Hoja 3 del anexo).

16.- Conocer que son las fajas de sello así como su función.

Las fajas de sello son elementos mecánicos alargados que se instalan longitudinalmente al haz de tubos de transferencia, soportadas por las mamparas, mediante ranuras efectuadas en ellas, su función consiste en obligar a cruzar a través del haz a los fluidos que circulan por los espacios libres comprendidos entre los tubos exteriores del haz y la pared interna de la coraza, minimizando así los flujos inútiles.

Normalmente contarán con un espesor de $3/8''$ (9.5 mm), su ancho depende del espacio libre disponible ($1 \frac{1}{2}''$ ó mayor) y su longitud comprenderá la distancia existente entre la primera y la última mampara, con un excedente en cada extremo de $\frac{1}{2}''$ (13 mm) normalmente.

17.- Conocer que son las placas de partición así como su función.

Las placas de partición se sitúan en los cabezales de admisión y de retorno, con el objeto de hacer la distribución del fluido a través de cada uno de los pasos por el lado de los tubos, cuando el intercambiador tiene más de dos pasos por los tubos.

Debido a que estas placas son soldadas a los cabezales, se debe observar que no es posible en la práctica, tener un número elevado de ellas, especialmente en diámetros pequeños, por lo que se debe procurar tener un mínimo de 20-25 tubos por paso en intercambiadores de más de 2 pasos por tubos.

El arreglo de las placas de partición debe ser tal que: proporcione casi el mismo número de tubos por paso, maximiza el número de tubos que caben en un diámetro dado, minimice la diferencial de presión entre cualquier placa de partición, proporcione una presión uniforme en todos los puntos del empaque cabezal-espejo y que sea de arreglo sencillo. Los arreglos de las placas de partición se encuentran en la figura cuatro del anexo.

Se debe dar especial atención a la posición de las placas de partición en relación a la orientación del corte de los baffles o mamparas, con el objeto de evitar que dichas placas sean paralelas a la dirección del flujo del fluido por el lado de la envolvente (es decir, que la posición del corte debe ser transversal al mayor número posible de placas de partición), ya que los espacios ocupados por las placas de partición en los cabezales quedan libres en el haz de tubos, ocasionando corrientes parásitas, situación que se debe evitar especialmente en fluidos sin cambio de fase.

Se seleccionan del mismo material que los cabezales y tapas a los cuales habrán de soldarse.

18.- Para que el equipo opere dentro de su capacidad de diseño durante períodos de tiempo razonables, se utilizan resistencias adicionales en el cálculo del coeficiente global. Estas resistencias o factores de ensuciamiento representan un factor de seguridad, que tienen como objetivo incrementar el área de transferencia requerida. El estándar TEMA presenta factores de ensuciamiento (hoja 5-9 anexo) para diversos fluidos en servicios típicos, algunos de ellos en función de la velocidad y temperatura del fluido. Sin embargo, la mayoría son independientes de las características del servicio de la unidad y del fenómeno de transferencia de calor (enfriamiento, calentamiento, condensación y vaporización).

Esto no debe pasar desapercibido para el diseñador, ya que para un mismo fluido, los factores de ensuciamiento tienen un efecto diferente en cada uno de los procesos de transferencia de calor, provocando en ocasiones que dichos factores no cumplan con su objetivo, o que impongan sobre diseños excesivos en el área de transferencia que favorecen una baja velocidad en los fluidos y consecuentemente una mayor tendencia al ensuciamiento, por lo que un valor de ensuciamiento elevado puede ser contraproducente.

Para evitar esta situación el diseñador debe comprobar el efecto real de estos factores de ensuciamiento en el coeficiente global de transferencia de calor, procurando que el exceso de área debido a dichos factores esté de acuerdo con las características del servicio y con las facilidades de limpieza disponibles en el tipo de intercambiador seleccionado.

19.- Se debe conocer que es la placa de choque, su colocación, si necesitamos de ella y su dimensionamiento que a continuación se explica:

La mampara de choque es una placa que se instala normal a la descarga de la boquilla alimentadora en la coraza, a fin de evitar que la corriente del fluido choque directamente sobre los tubos del haz y los dañe por efectos de erosión.

El proteger a los tubos del choque con el fluido entrante a la coraza se puede lograr de varias formas, con diversos grados de efectividad y son:

a. Reemplazo de hileras de tubos.

Este es el diseño más simple y consiste en reemplazar las primeras dos hileras de tubos opuestas a la entrada de vapor con varillas sólidas. Estas dos hileras son suficientes para prevenir el choque directo de las gotas de líquido al haz de tubos.

b. Placa de choque.

Consiste en remover algunos de los tubos adyacentes a la boquilla para colocar una placa encima del haz, con lo que se previene el choque directo sobre los tubos.

En este caso, debe tenerse cuidado de proporcionar suficiente área de flujo, para permitir el acceso del fluido dentro del haz. De otro modo la caída de presión en la placa de choque puede ser excesiva y reducirá la presión del fluido en el equipo.

c. Boquilla de campana.

Una boquilla de campana es en realidad una expansión, la cuál incrementa el diámetro de la tubería justo antes de que el vapor entre a la envolvente, esto reduce la velocidad de entrada y permite la instalación de una placa de choque sin eliminar tubos en la envolvente.

d. Distribuidor de vapor.

Si el diámetro de la boquilla es demasiado grande con respecto a la envolvente ($\phi_{BOQ} \geq 0.5$ Ds), requiriendo la remoción de muchos tubos, se emplea el distribuidor o domo de vapor.

Este aditamento es un canal alrededor de la envolvente, por medio del cual el vapor es dirigido hacia afuera de la periferia del haz de tubos.

En cualquiera de los casos el uso de estos aditamentos estará regido por el estándar TEMA.

Cuando alguno de los tres casos siguientes se presente será necesario instalar placa de choque o en su defecto alguno de los aditamentos ya mencionados (TEMA R-4.61):

1) $\rho v^2 > 1500 \text{ lb/ pie} \cdot \text{seg}^2$ (2250 Kg / m³ seg²). Cuando se tienen fluidos no corrosivos, no abrasivos y de una sola fase.

2) $\rho v^2 > 500 \text{ lb/ pie} \cdot \text{seg}^2$ (750 Kg / m³ seg²). Cuando se tienen fluidos de dos fases, incluyendo líquidos en su punto de ebullición.

3) Para gases y vapores, incluyendo los vapores saturados y mezclas de vapores.

Es importante que por ningún motivo podrá aceptarse un valor de ρv^2 mayor a 4000 lb/pie³seg² (6000 Kg / m³ seg²), debiéndose incrementar el diámetro de la boquilla alimentadora en esos casos, a fin de reducir la velocidad de entrada y con ello el producto.

Deberá evitarse en los casos que sea posible la mampara de choque, seleccionando el diámetro de boquilla adecuado que proporcione un producto ρv^2 dentro de los límites antes establecidos, esto es cuando el diámetro puede elegirse y no es un dato, de lo contrario se tendrá que evaluar el producto y se determinará si será necesario o no el aditamento, conforme a lo anteriormente expuesto.

La placa de choque deberá cubrir un área mayor a la comprendida por el diámetro interior de la boquilla, a fin de asegurar la protección de los tubos del haz en dirección a la descarga de esta misma boquilla. Por otra parte, es inconveniente una placa demasiado grande, que restará área en el interior de la coraza, dificultando la distribución de los tubos.

Tomando en cuenta los factores anteriores, se ha considerado suficiente tomar 1.25 veces el diámetro interior de la boquilla para el valor diametral de la placa, que para facilitar su instalación será cuadrada, teniendo por lado este valor diametral calculado.

El área de flujo limitada por la proyección de la boquilla sobre la mampara (figura 4) que establece la localización de ésta, deberá ser al menos igual al área transversal interna de la boquilla, con la finalidad de evitar alteraciones del patrón de flujo, presión, velocidad, esto es:

$$\pi D \text{ OTL} = (\pi D^2) / 4$$

$$\text{OTL} = ((\pi D^2) / 4) / \pi D$$

$$\text{OTL} = D / 4$$

Es recomendable fabricar estas placas con la misma curvatura que presenta la coraza para hacer menos brusco el cambio de dirección en el flujo y evitar pérdidas de energía excesivas.

Cuando la boquilla alimentadora es de diámetro grande en relación al diámetro de la coraza y existe la necesidad de usar placa de choque, ésta será también de grandes dimensiones y por consecuencia ocupará un espacio dentro de la coraza tal, que hará muy difícil la distribución de los tubos que requerirá el haz, es entonces cuando se deberá recurrir a otras soluciones, como lo son el diseño de cinturones de distribución y domos.

ρ = densidad del fluido.

v = velocidad del fluido.

D_s = diámetro de la coraza.

D = diámetro de la boquilla.

OTL = proyección máxima de la boquilla.

20.- Hacer del conocimiento del diseñador los parámetros geométricos y como puede calcularlos. Como los siguientes;

1. Número total de tubos en el intercambiador, NT:

Este se determina por medio de una plantilla, una tabla cuenta de tubos (Anexo páginas 10-12) o por medio de una ecuación aproximada, tal como:

$$\text{OTL} = P (NT/C)^{1/2}$$

Para 1 y 2 pasos.

$C = 0.75$ para arreglo cuadrado.

$C = 0.866$ para arreglo triangular.

OTL = diámetro exterior del haz de tubos.

P = pitch.

2. Espaciamiento entre tubos paralelo P_p y normal al flujo P_n :

Estas cantidades son necesarias solo para estimar otros parámetros. Si se cuenta con un dibujo detallado del cambiador, es mejor obtener los otros parámetros por cuenta o cálculo directo. (Ver página 13 en el anexo).

3. Número de hileras de tubos cruzados en una sección de flujo cruzado, N_c :

Determinado del dibujo del cambiador o estimado de:

$$N_c = D_s [1 - 2 (H/D_s)] / P_p$$

D_s = diámetro de la envolvente

H = corte de la mampara

4. Número de mamparas, N_b :

$$N_b = (L_{ef} / S_b) - 1$$

Donde:

L_{ef} = longitud entre la 1ª y última mampara.

S_b = la distancia entre mamparas.

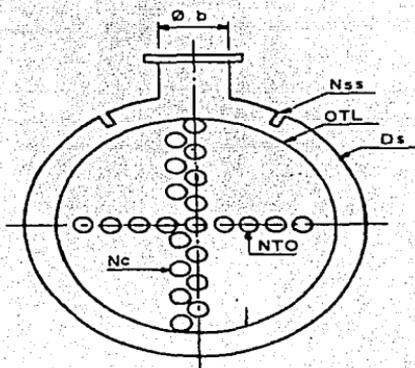


FIGURA 4

21.- El diseño, construcción y operación de un cambiador de calor, como es el caso de todos los componentes de una planta de proceso requiere la conjunción de especialistas de

distintas áreas. Por lo que se debe construir un diagrama de inter-relaciones entre los especialistas para el diseño de un cambiador de calor.

Inicialmente por supuesto, el ingeniero de proceso fija el problema, estableciendo los requerimientos que el cambiador de calor debe satisfacer en el diseño de proceso. En algunas ocasiones, el ingeniero de proceso por su desconocimiento de los mecanismos y equipos de transferencia de calor, fija condiciones de operación imposibles de alcanzar o que resultan sumamente desventajosas, teniéndose una alta penalidad económica y operacional. Lo anterior resalta la importancia que tiene el desarrollo de una estrecha relación entre el diseñador de cambiadores de calor y el ingeniero de proceso.

El cambiador es diseñado por un especialista en la materia -ayudado quizá por una computadora- el cual debe estar familiarizado a fondo con los detalles de los métodos de diseño, tanto manuales como mecanizados, así como con otras consideraciones tales como aplicación, especificación, y operación de los cambiadores de calor. Aún cuando el diseñador disponga de un programa de computadora, debe ser capaz de diseñar un equipo sin esa herramienta, al menos aproximadamente, de modo que pueda realizar un diseño completo o determinar la validez del diseño generado por computadora.

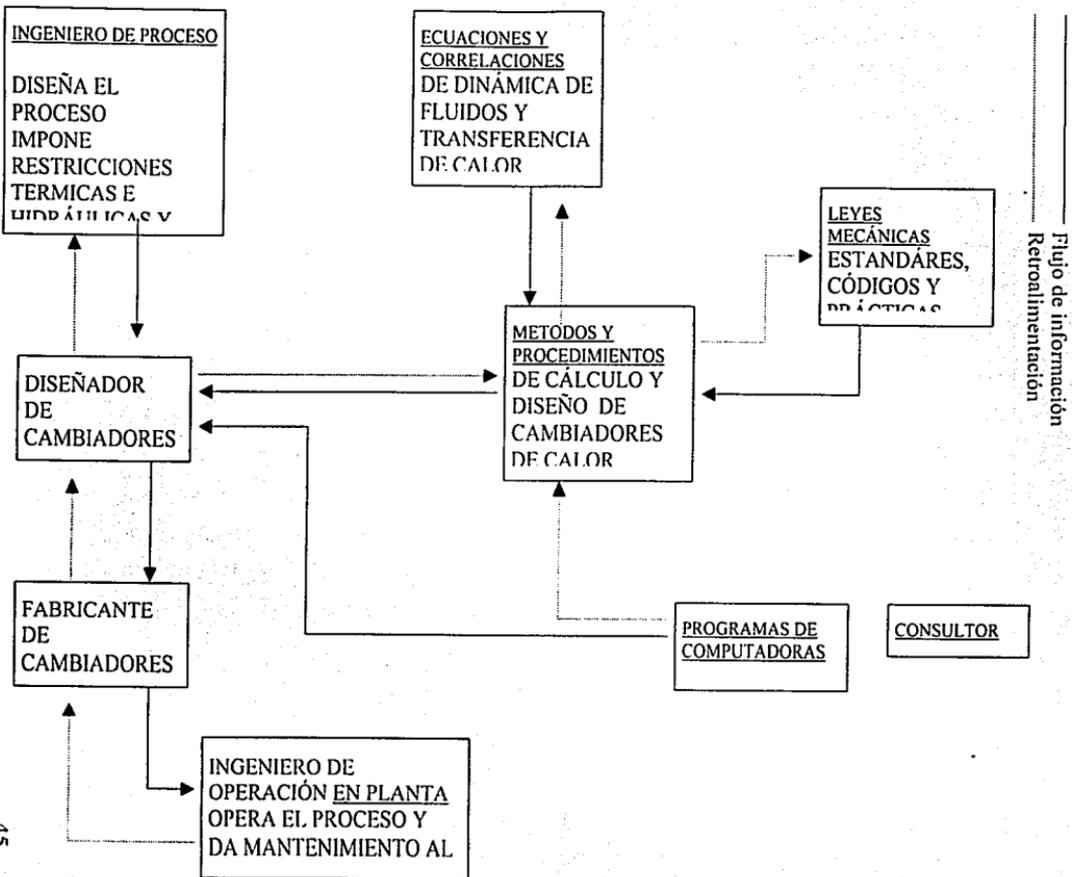
El papel del fabricante de los cambiadores de calor es, hasta cierto punto, variable. Sus actividades abarcan desde aquellos que solo son fabricantes, requiriendo planos totalmente especificados, hasta aquellos que proporcionan el servicio completo de diseño y fabricación (como es el caso de EIGSA). Siendo el cambiador de calor el producto esencial para el fabricante, su interés se centra principalmente en lograr que el diseño se puede construir con las herramientas e instalaciones de que dispone, y se preocupa poco por las cualidades del diseño, desde el punto de vista térmico.

El ingeniero de operación convive día con día con el cambiador de calor. Sin embargo, su interés es hacer un producto y probablemente dedique atención al cambiador solo cuando no está operando debidamente, o cuando muestra signos incipientes de problemas. En estos últimos casos, se requiere que, tanto el ingeniero de proceso como el diseñador de cambiadores de calor, anticipen aspectos operacionales del proceso y que especifiquen las características del intercambiador, de tal modo que sea fácil de operar, y cuando sea necesario, fácil de darle mantenimiento.

Todos estos aspectos deben ser considerados al desarrollar o adaptar la metodología o algoritmo de cálculo para el diseño manual o por computadora de cambiadores de calor. La tarea central es, por supuesto, integrar las ecuaciones y correlaciones termodinámicas, de transferencia de calor y de dinámica de fluidos en una secuencia de cálculo que con base en especificaciones iniciales del problema, desarrolle el diseño apropiado de un cambiador de calor. Adicionalmente, es necesario que la información inicial proporcionada, sea de fácil interpretación y no se preste a ambigüedades. La información resultante debe consistir de las especificaciones de diseño y las características de operación del cambiador, de forma que el diseñador pueda detectar fácilmente errores en el cálculo. Finalmente, la metodología debe conciliar las diferentes necesidades del diseñador del proceso, del diseñador del cambiador y del operador.

Completando el diagrama se tiene al consultor externo que puede interactuar con alguno o con todos los integrantes del proceso, y que proporciona generalmente, información tecnológica o juicio experto.

INTERRELACIONES ENTRE ESPECIALISTAS PARA EL DISEÑO DE UN CAMBIADOR DE CALOR.



22.- Se deberán organizar capacitaciones preparatorias antes de entrar a laborar en el área donde se explique que el comportamiento de un intercambiador está descrito por las siguientes ecuaciones:

- a) Balance de calor entre la corriente fría y la corriente caliente (ambas sin cambio de fase).

$$Q \text{ requerido} = W C_p \Delta T \text{ caliente} = W C_p \Delta T \text{ fría}$$

- b). Ecuación general de transferencia de calor.

$$Q \text{ requerido} = (1 / \Sigma R) A \Delta T_m$$

$$\Sigma R = (1/h_i)_o + (1/h_o)_o + (Rf)_o$$

- c). Ecuaciones limitantes de caída de presión.

$$\Delta P \text{ tubos} < (\Delta P \text{ tubos}) \text{ máxima permisible.}$$

$$\Delta P \text{ envolvente} < (\Delta P \text{ envolvente}) \text{ máxima permisible.}$$

El término $1 / \Sigma R$, que es la suma de las resistencias a la transferencia de calor, es conocido como coeficiente total de transferencia de calor ("U"). Con lo que la ecuación de transferencia de calor también se puede expresar de la siguiente manera:

$$Q \text{ requerido} = U A \Delta T_m$$

23.- Se deben tener documentos en la empresa que digan cual es la labor del ingeniero de diseño, o en su defecto se deben empezar a elaborar.

Los siguientes párrafos explican lo que es el diseño:

El diseño consiste en la determinación de todos los parámetros de construcción para un intercambiador de calor "nuevo", a partir de las condiciones de proceso y considerando las restricciones de diseño, tanto físicas como de operación.

En la etapa de diseño de un intercambiador de calor, sólo se encuentran especificadas las condiciones de proceso (carga térmica, flujos, temperaturas, presiones, factores de ensuciamiento y caídas de presión permisibles, principalmente) y se deberá determinar la geometría óptima del intercambiador, tomando como base las especificaciones del proceso. Esto significa que el diseñador tendrá que especificar completamente la geometría del intercambiador, (número, longitud y diámetro de tubos, diámetro y tipo de envolvente, geometría de los baffles, etc.), de tal forma que estos parámetros cumplan tanto térmica como hidráulicamente con el servicio deseado. Para encontrar estos parámetros, el

diseñador tiene que establecer tentativamente una geometría dada, y realizar un rating de la misma; si ésta no cumple con el servicio, se modifica a criterio del diseñador y se evalúa nuevamente. Este procedimiento se repetirá tantas veces como sea necesario, hasta encontrar un arreglo tal que cumpla con las condiciones de proceso (ecuaciones de comportamiento).

24.- Como ya vimos son cuatro los principales problemas a los que se enfrenta un diseñador que no conoce los objetivos de ésta labor, por lo tanto hay que saber a que se refieren estos cuatro problemas para poder evitarlos.

a.

En principio, el equipo debe cumplir con los requerimientos del proceso.

Es decir, que sea capaz de efectuar el cambio deseado de temperaturas en las corrientes de proceso involucradas, dentro de los valores de caída de presión disponibles y a la vez cumplir con períodos de operación continua, dichos períodos están sujetos a los programas de mantenimiento establecidos.

b.

El intercambiador debe resistir las condiciones de operación de la planta.

Esto incluye los esfuerzos mecánicos en la instalación, arranque, paro, operación normal, emergencias, mantenimiento, esfuerzos térmicos inducidos por choques térmicos y estar libre de vibraciones. El equipo deberá resistir la corrosión originada por las corrientes de proceso y servicio (así como las ambientales), lo cual no depende exclusivamente de la selección de materiales, sino también del diseño mecánico del equipo. Otro factor importante en el diseño, consiste en evitar dentro de lo posible incrustación acelerada de los equipos, lo cual puede minimizarse diseñando los intercambiadores con altas velocidades entre los fluidos manejados, dentro de los límites máximos de velocidad recomendables y caídas de presión disponibles.

c.

El intercambiador debe ser de fácil mantenimiento, lo cual implica, el seleccionar una configuración que permita la limpieza (por dentro y/o por fuera de tubos), y el reemplazo de tubos, y cualquier otro componente que pueda ser especialmente vulnerable a la corrosión, erosión y/o vibración. Este requerimiento también debe estar de acuerdo con la disponibilidad de espacio y el acceso que se pueda tener al intercambiador.

d.

El intercambiador deberá tener el menor costo posible y cumplir con los requerimientos mencionados.

c.

Debemos ampliar un punto más que es; respetar las especificaciones de ingeniería y códigos estipulados, así como las limitaciones establecidas en las dimensiones máximas del equipo (longitud, diámetro y peso) ya que muchas veces las facilidades con que cuentan las plantas son limitadas, por ejemplo: grúas de baja capacidad, escaso equipo y/o personal de mantenimiento, poco espacio para instalar el equipo o para almacenar partes de repuesto, etc.

Es importante tener en mente estos criterios durante el desarrollo del diseño porque ellos controlan las decisiones que se pueden tomar en un momento dado. También se debe tener presente que el intercambiador tendrá o deberá tener una vida útil igual o menor a la de la planta y que puede estar entre los 5 y 20 años.

25.- Se mostrará la estructura del diseño.

La estructura lógica del desarrollo del diseño térmico de un cambiador de calor consiste de tres bloques básicos: (a) análisis de la información, (b) proposición de geometría y (c) análisis de resultados y aprobación para diseño mecánico, tal como se muestra en el diagrama de bloques de la figura 5. A su vez, cada bloque consiste de otros elementos que auxilian en la definición y resolución del problema.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El análisis de la información tiene por objeto recopilar la información necesaria para el rating térmico-hidráulico del diseño. Básicamente consiste en dos tareas:

Primero reúne la información de proceso, las propiedades termodinámicas y físicas, las especificaciones del cambiador, las restricciones y límites de estos valores.

La información de proceso y las propiedades termodinámicas se muestran en la tabla 1. Las restricciones de diseño y las especificaciones del cambiador se ilustran en la tabla 2. En la tabla 3 se tienen los parámetros geométricos del cambiador requeridos para ratings y/o simulación.

Segundo, el análisis permite revisar la consistencia y suficiencia de los datos. Por ejemplo, si los flujos y temperaturas de ambas corrientes son conocidos; estos valores ¿son consistentes con el balance de calor? Si no, se puede señalar la inconsistencia y terminar el cálculo, seleccionar alguno de los valores disponibles o estimar el valor y continuar el cálculo. ¿son suficientes los datos? No, terminar o asumir valores estándar para cualquiera de las variables que no este suficientemente especificada.

La simple recolección y análisis de consistencia no es suficiente, se requiere además de lo siguiente:

INFORMACIÓN DEL PROCESO (VARIABLES) TABLA 1.

Servicio de la unidad
Fluidos circulados
Carga térmica del servicio
Flujo total del fluido
Flujo o porcentaje de vaporización
Propiedades físicas del líquido / vapor
Densidad relativa
Conductividad térmica
Viscosidad
Calor específico
Peso molecular
Calor latente
Tensión superficial
Presión crítica
Temperatura de operación entrada/salida
Presión de operación a la entrada
Presión atmosférica
Curva de liberación de calor (Q vs T)
Factor de ensuciamiento
Sobre diseño en carga térmica
Sobre diseño en flujo

RESTRICCIONES DE DISEÑO TABLA 2.

Caída de presión permisible
Velocidad mínima y máxima del fluido
Diámetro máximo de la envolvente
Número máximo de cambiadores en serie
Número máximo de cambiadores en paralelo
Número máximo de pasos por tubos

ESPECIFICACIONES DEL CAMBIADOR TABLA 2.

Códigos, normas y estándares
Tipo de cabezal de admisión y de retorno
Tipo de envolvente
Posición de la envolvente
Diámetro externo y calibre del tubo

Tipo y espaciamiento del arreglo de los tubos
Longitud de los tubos
Material y esfuerzo máximo permisible
Conductividad térmica del material
Corrosión permitida por el material

PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DEL CAMBIADOR TABLA 4.

Diámetro de la envolvente
Diámetro del haz de tubos
Número de tubos
Número de cambiadores en paralelo
Número de cambiadores en serie
Espaciamiento entre mamparas
Número de mamparas
Corte de las mamparas
Diámetro del Kettle

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Primero, el problema debe ser identificado lo más completamente posible. No sólo importa analizar los flujos, temperaturas, presiones y tipo de fenómeno a realizar (condensación, vaporización, etc.) si no que en el primer paso del diseño es muy importante preguntarse: ¿Qué está pidiendo el ingeniero de proceso (o el cliente)?, ¿lo que específica es realmente lo que necesita?, ¿la información suministrada, es todo lo que necesita saber acerca de este cambiador?.

El ingeniero de proceso o el cliente es el arbitro final acerca de lo que debe hacer el intercambiador, pero es importante distinguir entre que debe hacer y como lo va a hacer. En pocas ocasiones el ingeniero de proceso o el cliente trata de imponer al diseñador de intercambiadores, opciones nada recomendables (principalmente debido al desconocimiento absoluto sobre el diseño de estos equipos) que afectan tanto al costo del equipo como a la operación de la planta. Ante ésta situación el diseñador no tiene otra opción, si no protestar seriamente o negarse a diseñar tal unidad, principalmente cuando el diseñador anticipe que el equipo no va a trabajar correctamente o su operación no es segura.

Habiendo superado esta etapa, el diseñador deberá determinar los puntos críticos del problema (en caso de que existan), principalmente aquellos que tengan un efecto desproporcionado sobre la correcta operación, y/o costo del equipo. Cada caso presenta sus problemas particulares, como pueden ser acercamiento de temperaturas muy pequeño (siempre es útil hacer un perfil de temperaturas para detectar más fácilmente posibles

problemas), flujos desproporcionados por tubos y envolvente, caídas de presión permisibles mal especificadas, etc. En estos puntos críticos el diseñador debe concentrar su atención y habilidades.

Nunca omitir este punto en el proceso de diseño de un intercambiador, ya que éste es de reflexión y análisis sobre las condiciones de proceso, especificaciones y restricciones del diseño.

SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE DISEÑO.

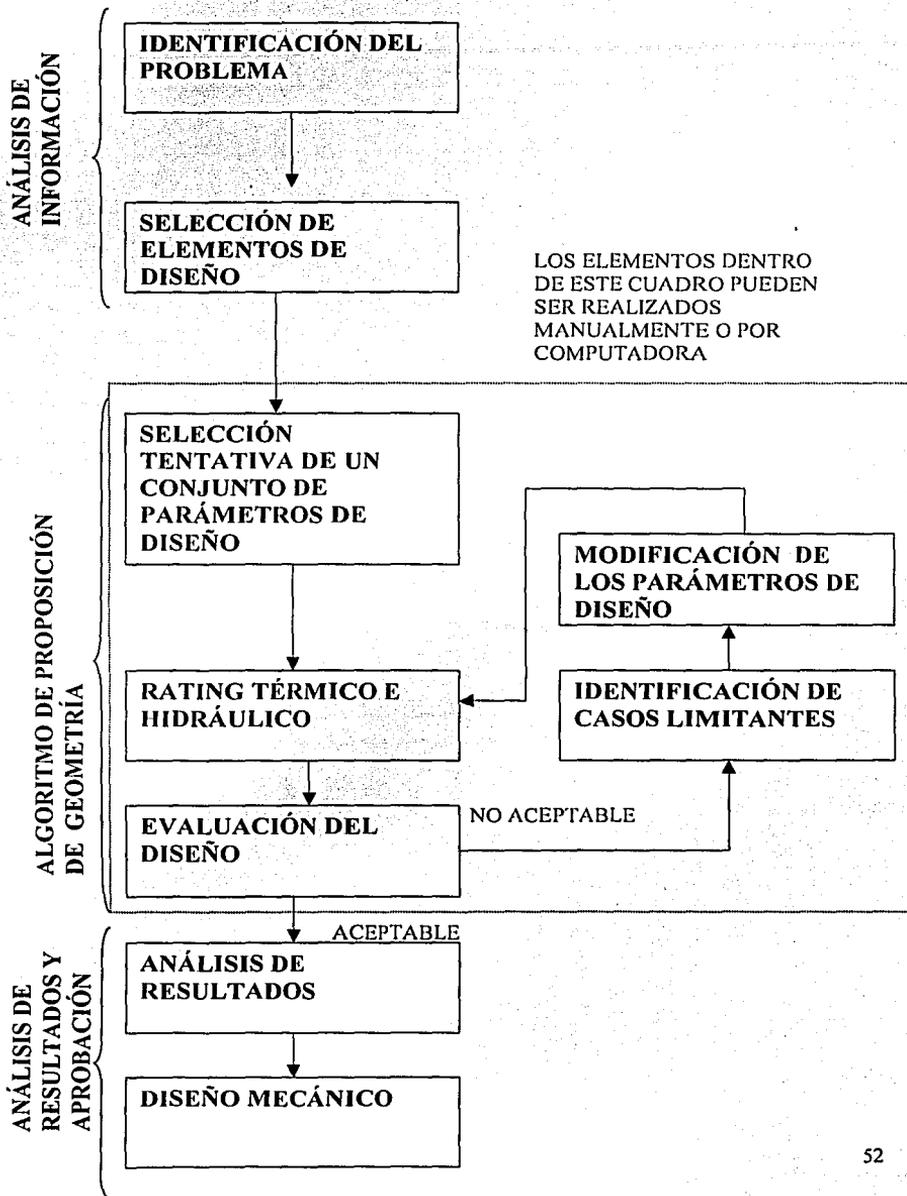
Antes de proceder con el cálculo, es necesario pasar por ciertas etapas del análisis. La obtención de un intercambiador de calor óptimo debe estar basada en una comparación entre las ventajas y desventajas de cada uno de los arreglos, tipos y geometrías posibles. Adicionalmente, se deben valorar aspectos tales como: condiciones del sitio, mantenimiento, construcción, proceso, seguridad, etc. Lo que a su vez, permite detectar características del problema pobremente definidas. Es hasta este punto en el desarrollo del diseño de un intercambiador de calor cuando el diseñador puede tomar la decisión más importante del diseño: La configuración básica del equipo.

La decisión fundamental se refiere al tipo básico del equipo: doble tubo, tubo y envolvente (caso que se estudia), enfriador con aire, placas, etc. Posiblemente, se requiera una decisión más detallada, por ejemplo: si se selecciona un equipo de tubo y envolvente para un servicio de vaporización, el diseñador debe además, especificar que tipo entre un Kettle y un termosifón vertical u horizontal de circulación natural o forzada, etc. Los criterios de selección son numerosos y en gran parte cualitativos. Uno de los factores determinantes será el costo de la unidad. Sin embargo, el costo resultante y por lo tanto la decisión final se verá afectada por otros factores.

Entre las interrogantes que requieren respuesta se tienen:

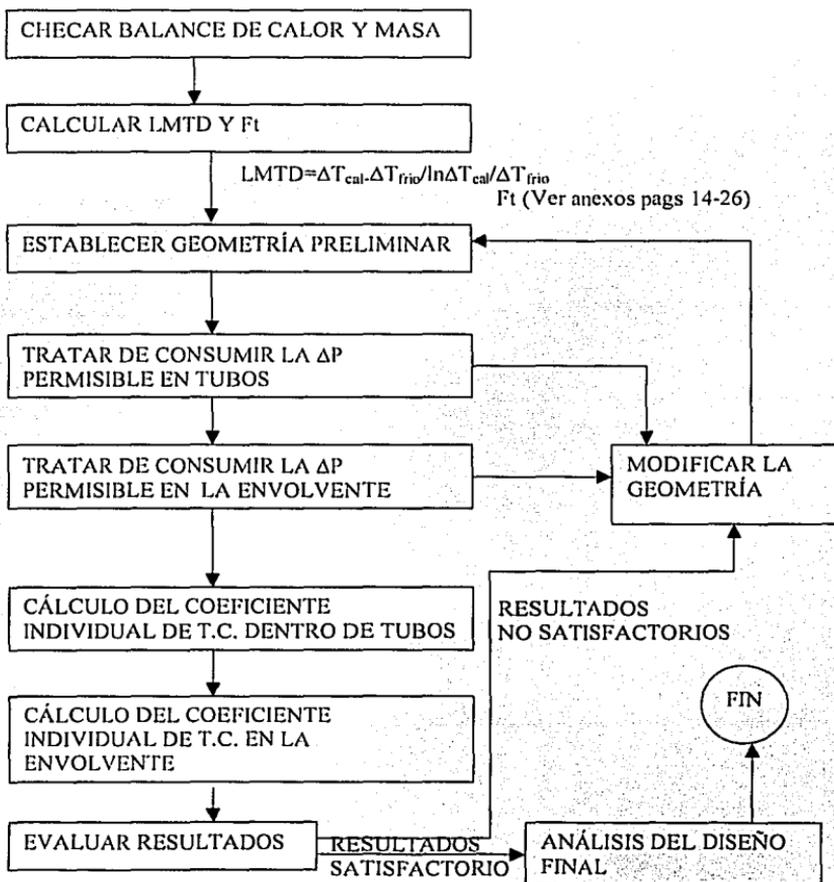
¿ Se tiene un buen conocimiento de los fluidos involucrados (viscosidad, conductividad térmica, calor específico, densidad relativa, etc.)? ¿ Es el servicio corrosivo o limpio? Los factores de ensuciamiento ¿ Son razonables? ¿ Se ha considerado, el alto costo de la energía al especificar o asignar la caída de presión permisible a los servicios requeridos? ¿ Se ha asignado una caída de presión permisible adecuada a los servicios más críticos? ¿ Se requieren materiales especiales como resultado de corrosión, alta temperatura o alta presión? Requerimientos especiales, tales como limpieza o asepsia ¿ Indican el uso de un cambiador de placas en lugar de uno de tubos y envolvente? etc. Estas y otras preguntas contribuirán a la selección del tipo de equipo.

En unos pocos casos, un cambiador podrá ser seleccionado sólo en base al desarrollo o confiabilidad de los métodos de diseño con respecto a los de otros equipos. Finalmente los aspectos de tradición, intuición y preferencias personales intervienen y resultan ser validos en el proceso de selección. Sin embargo, no debe caerse en el error de preferir fuertemente un tipo de cambiador sobre los otros, basándose sólo en una mala experiencia, ya sea real o imaginaria.



ALGORITMO DE PROPOSICIÓN DE GEOMETRÍA

Una vez terminado el análisis de la información, el siguiente paso es proponer la geometría del intercambiador. Este procedimiento consiste a grandes rasgos de lo siguiente: evaluación de un diseño inicial; esto es, se calculan las resistencias térmicas y las caídas de presión para ambas corrientes con las características propias de ese diseño. Si el cálculo muestra que no puede ser transferida la carga térmica requerida o si una o ambas caídas de presión son excesivas, es necesario seleccionar un cambiador diferente, usualmente más grande y volver a hacer la evaluación. En forma alternativa, si una o ambas caídas de presión son muy pequeñas en comparación con la permisible, una mejor selección de parámetros resultará en un cambiador más pequeño y menos costoso, aún utilizando más de la caída de presión disponible.

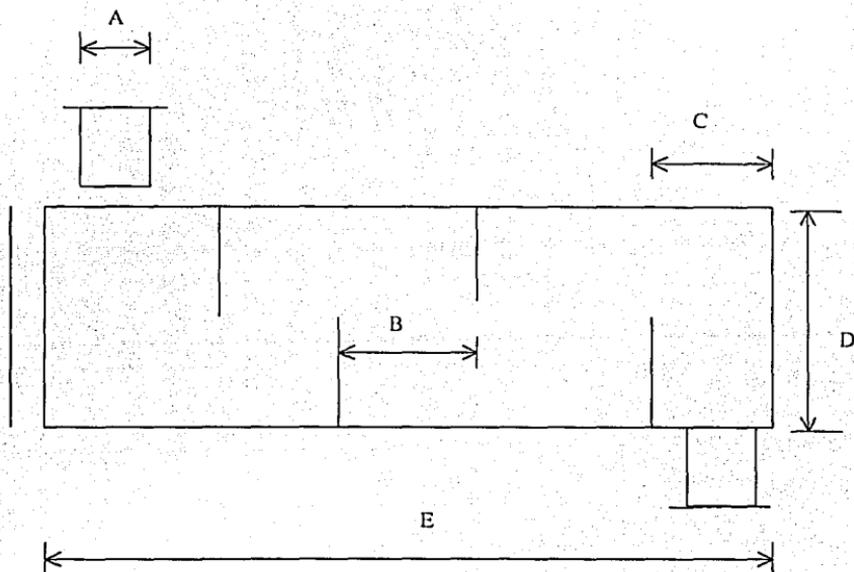


ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados finales deben ser analizados cuidadosamente. El diseñador debe estar convencido de que los resultados son razonables y aceptables en relación a una práctica estándar. Generalmente este análisis de resultados mostrará cualquier discrepancia en el diseño que anteriormente no fuera detectada. Para facilitar dicho análisis, se sugiere seguir los siguiente pasos:

PASO 1: GEOMETRÍA GLOBAL DEL DISEÑO.

Es buena práctica dibujar a groso modo las características del intercambiador, ya que esto nos permitirá descubrir cualquier irregularidad en el diseño.



- A= Diámetro de la boquilla
- B= Espaciamiento de las mamparas centrales
- C= Espaciamiento de la mampara de salida
- D= Diámetro de la envolvente
- E= Longitud de la envolvente

PASO 2: RESISTENCIAS TÉRMICAS.

Verificar la distribución de las resistencias térmicas del lado de la envolvente, de los tubos y las incrustaciones. Estas se pueden presentar en porcentajes de la resistencia total para dar al diseñador un panorama general de cuales resistencias son las dominantes, si una de las resistencias muestra que es excepcionalmente grande, se deberán analizar las razones e investigar posibles alternativas. Se deberá considerar la posibilidad de intercambiar la localización del fluido en este punto.

PASO 3: FACTOR DE SOBREDISEÑO.

El sobre diseño es la capacidad que puede tener un equipo para transferir una carga térmica extra. Generalmente el sobre diseño deberá ser menor al 10%. Sin embargo, debido a incertidumbre en los cálculos, puede ser necesario tener un factor mayor. Normalmente un sobre diseño elevado indica que el diseño está limitado por caída de presión y entonces es conveniente tomar las acciones recomendadas para ese caso.

PASO 4: UTILIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA CAÍDA DE PRESIÓN.

Verificar que tan bien se ha utilizado la caída de presión, si no se utiliza una cantidad substancial de la caída de presión, el caso puede llamarse "caso limitado por transferencia de calor" y es generalmente un diseño pobre. Para un mejor aprovechamiento de los elementos se deben considerar cambios en el tipo de la envolvente, tipo de mampara, longitud de tubos y posiblemente otros elementos de diseño, así como combinaciones de estos.

Contrariamente, si la caída de presión fue utilizada totalmente y se nota que una mayor caída de presión puede mejorar el diseño, se tiene un "caso limitado por caída de presión" y se tendrá una probable mejoría si se aumenta la caída de presión.

Enseguida habrá que checar la distribución de la caída de presión, con el fin de evitar que una buena parte de la ΔP disponible sea consumida en las boquillas de alimentación y salida, así como en los canales de distribución, ya que estos son ineficientes para la transferencia de calor.

PASO 5: VELOCIDADES DE LOS FLUIDOS.

Se deben mantener velocidades suficientemente altas para disminuir el ensuciamiento; sin embargo, velocidades muy altas pueden causar erosión. Al checar las velocidades de los fluidos considere ambas posibilidades.

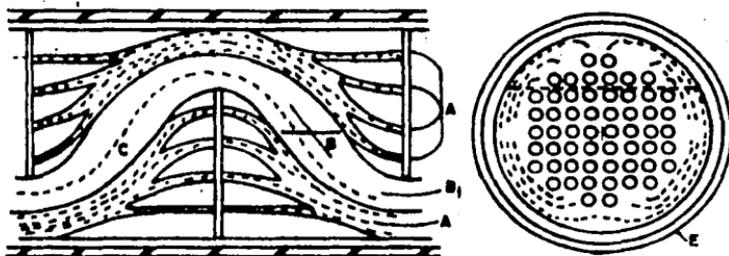
Si por requerimientos del servicio se consume una ΔP elevada, es factible encontrar altas velocidades en las boquillas; a la entrada y salida del haz de tubos, en la sección de flujo cruzado y en las ventanas de las mamparas. Estas altas velocidades se deben evitar, ya que

pueden causar problemas con vibraciones o por otra parte, cambios bruscos de velocidad causan pérdidas de presión por aceleración-desaceleración y son altamente indeseables. Las configuraciones de las mamparas deberán diseñarse con el fin de que no haya diferencia substancial en las velocidades de flujo transversal y a través de la ventana.

PASO 6 : DISTRIBUCIÓN DE FLUJO EN LA ENVOLVENTE.

El "análisis de corrientes" es esencial para la evaluación de la calidad del diseño en la envolvente, ya que es un factor indicador de posibles acciones correctivas.

La corriente total en la envolvente se divide en las siguientes fracciones, de acuerdo a la figura 5.



CORRIENTES A TRAVÉS DE LA ENVOLVENTE

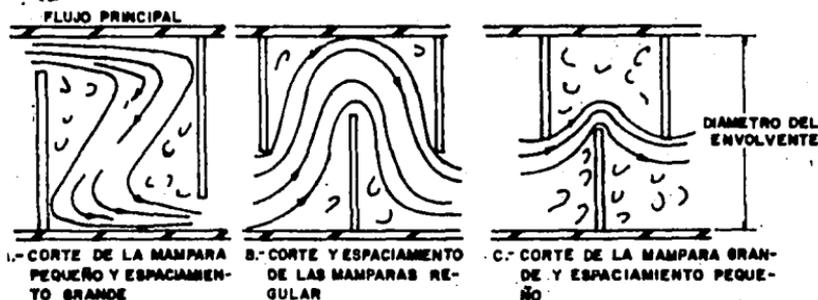


FIGURA 5

Corriente B .- Corriente transversal a través del haz de tubos.

Corriente C .- Corriente de by pass haz de tubos envolvente.

Corriente A .- Corriente de fuga de orificio de la mampara-tubo.

Corriente E .- Corriente de fuga mampara-envolvente.

Corriente F .- Corriente de by pass en las particiones de los pasos de tubos.

Los valores de estas fracciones de flujo se analizarán como sigue:

° Corriente B.- Deberá ser idealmente cuando menos el 60% para flujo turbulento y alrededor del 40% para flujo laminar. Un espaciamiento de mamparas muy pequeño puede forzar más flujo hacia las corrientes A, C y E, y con esto disminuir el coeficiente de transferencia. Si se encuentran valores más bajos que los indicados para la corriente B, se deberán examinar el espaciamiento y la geometría de las mamparas.

° Las corrientes no deberán exceder el 10%. Se utilizarán aditamentos para sellar con el fin de tener valores razonables. Si la corriente C especialmente en las envolventes X (flujo cruzado puro) donde no hay mezclado en la ventana de la mampara. pueden tenerse grandes factores de penalización en la diferencia de temperatura media utilizada.

° La corriente A puede hacerse grande en espaciamientos pequeños entre mamparas donde aplican mayores tolerancias TEMA. Sin embargo, la corriente A es térmicamente poco efectiva. Decrecerá en mamparas doblemente segmentadas. Si existe la posibilidad de que se forme una película de incrustación de espesor apreciable y se tiene un taponamiento del claro tubo-mampara, el diseño deberá ser reexaminado para tales condiciones. La caída de presión en la envolvente usualmente se incrementará.

° La corriente E no es solamente térmicamente inefectiva ya que no tiene contacto con la superficie de transferencia de calor, sino que como casi no se mezcla con las demás corrientes puede causar una distorsión en el perfil de temperaturas. Desafortunadamente no hay mucho que hacer por parte del diseñador, ya que las tolerancias entre la mampara y la envolvente se dictan por restricciones de fabricación. Si la corriente E alcanza una magnitud substancial del 15% o mayor se deberán utilizar mamparas doblemente segmentadas u otras modificaciones.

PASO 7: ANÁLISIS DEL DISEÑO DE LAS MAMPARAS.

No existe mayor variación en la geometría de un intercambiador que en el diseño de las mamparas, la geometría de las mamparas incluye configuraciones segmental, doble segmental y multisegmentada, así como en el caso recientemente popular para evitar vibraciones, de "mamparas sin tubos en las ventanas" o de placas de soportes. El espaciamiento a la entrada y salida de las mamparas será usualmente mayor que el espaciamiento entre mamparas centrales para acomodar las boquillas. Sin embargo se

utilizan en ocasiones las entradas anulares especiales y los distribuidores para un mejor control de las velocidades de flujo más uniforme dentro del sistema de mamparas.

Los puntos más importantes en el diseño de las mamparas son las proporciones de espaciamiento y corte de la mampara diámetro de la envolvente. Otras consideraciones son:

- La velocidad de flujo no deberá cambiar drásticamente entre el flujo transversal y a través de la ventana.
- El corte de la ventana de la mampara deberá permanecer entre los límites de 20 a 35% para un comportamiento óptimo. Los cortes mayores, especialmente aquellos relacionados con un espaciamiento grande entre mamparas causarán un flujo altamente ineficiente con áreas "muertas" y un incremento potencial en la incrustación.
- Una buena práctica de diseño es el espaciar entre un mínimo de 20% del diámetro de la envolvente a un máximo igual al diámetro de la envolvente.
- TEMA restringe a un máximo de 36" el espaciamiento máximo debido al soporte de los tubos.
- Si se utilizan mamparas doblemente segmentadas, generalmente puede decrecer la caída de presión, los espaciamientos de mampara no deberán ser muy pequeños, ya que puede resultar un patrón de flujo ineficiente.

En la figura 5, se ilustran algunos de los patrones de flujo en las mamparas.

- Es obvio que en algunos casos el diseño de las mamparas será un compromiso entre varias demandas contradictorias. Por ejemplo, cuando una envolvente crece hasta aproximadamente 100" la selección entre las aberturas máxima y mínima entre mamparas puede dar lugar a que no se requiera ninguna. Estas y otras restricciones hacen el diseño óptimo de las mamparas difícil y causan que un diseñador se vea obligado en casos críticos a probar todas las posibles variaciones, incluyendo el cambio de tipo de envolvente TEMA J o X, haces "sin tubos en las ventanas" cambios en longitud de tubos y sus combinaciones.

PASO 8: DIFERENCIA EFECTIVA ENTRE TEMPERATURAS.

Se deben verificar los factores de corrección utilizados para modificar la LMTD por diversas no idealidades. Estas se describen en las páginas 14-26 del anexo.

PASO 9: COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

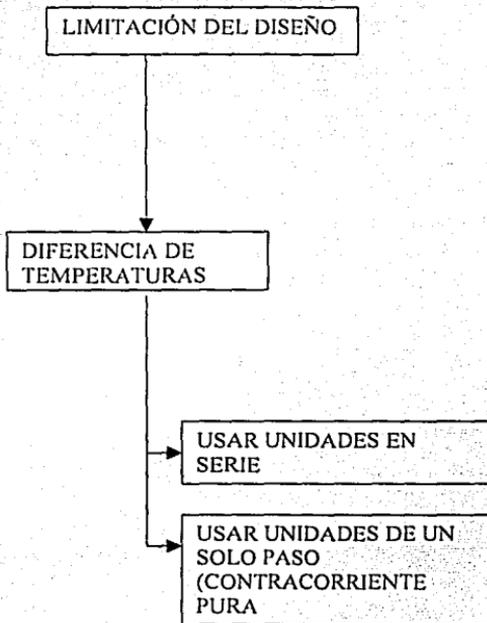
Se supone que se ha realizado una revisión básica de los coeficientes de transferencia en las etapas preliminares de la evaluación. Esta revisión se hace para asegurar que estarán dentro de los límites racionales que se esperan para un servicio determinado. Como una verificación adicional, se deberá analizar la variación entre la terminal fría y caliente. Con frecuencia cambios apreciables de los coeficientes son causados por grandes variaciones de

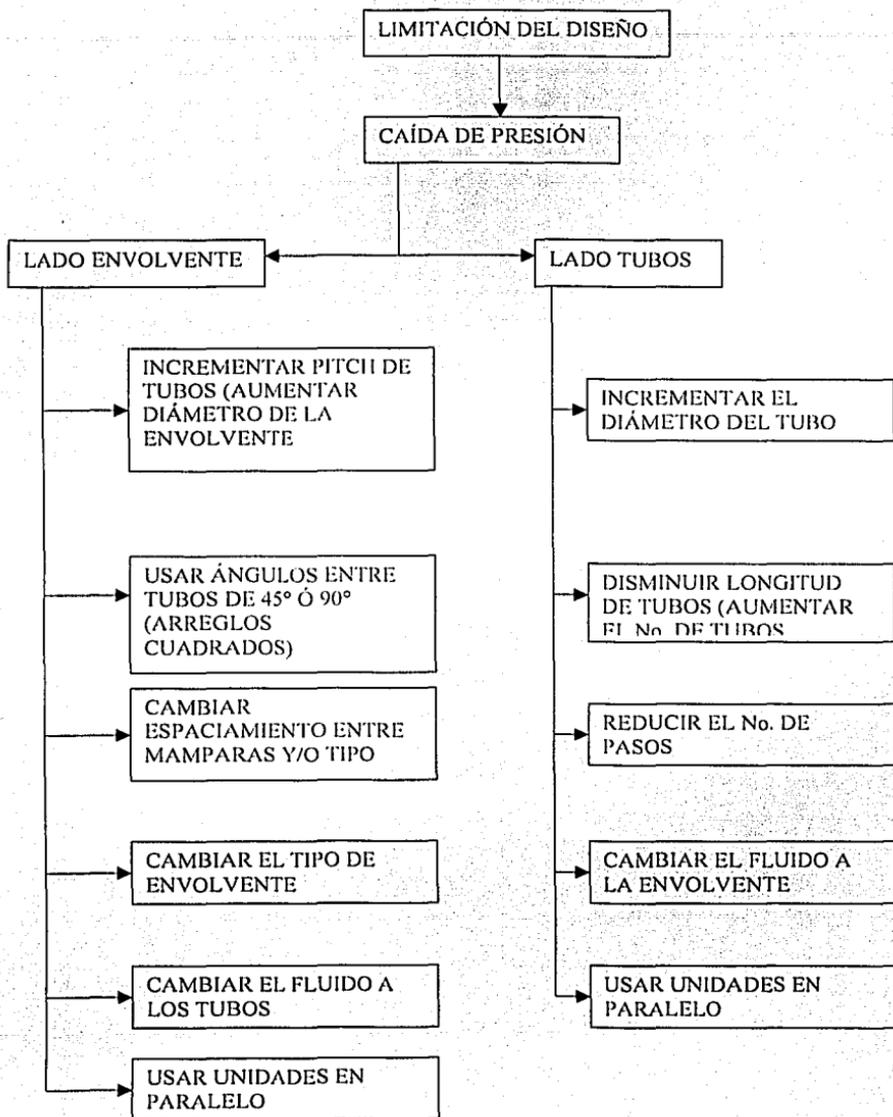
viscosidad y por transiciones de flujo laminar a turbulento, indicarán la necesidad de una evaluación por incrementos ya que la utilización de un coeficiente "total promedio" puede ser peligroso".

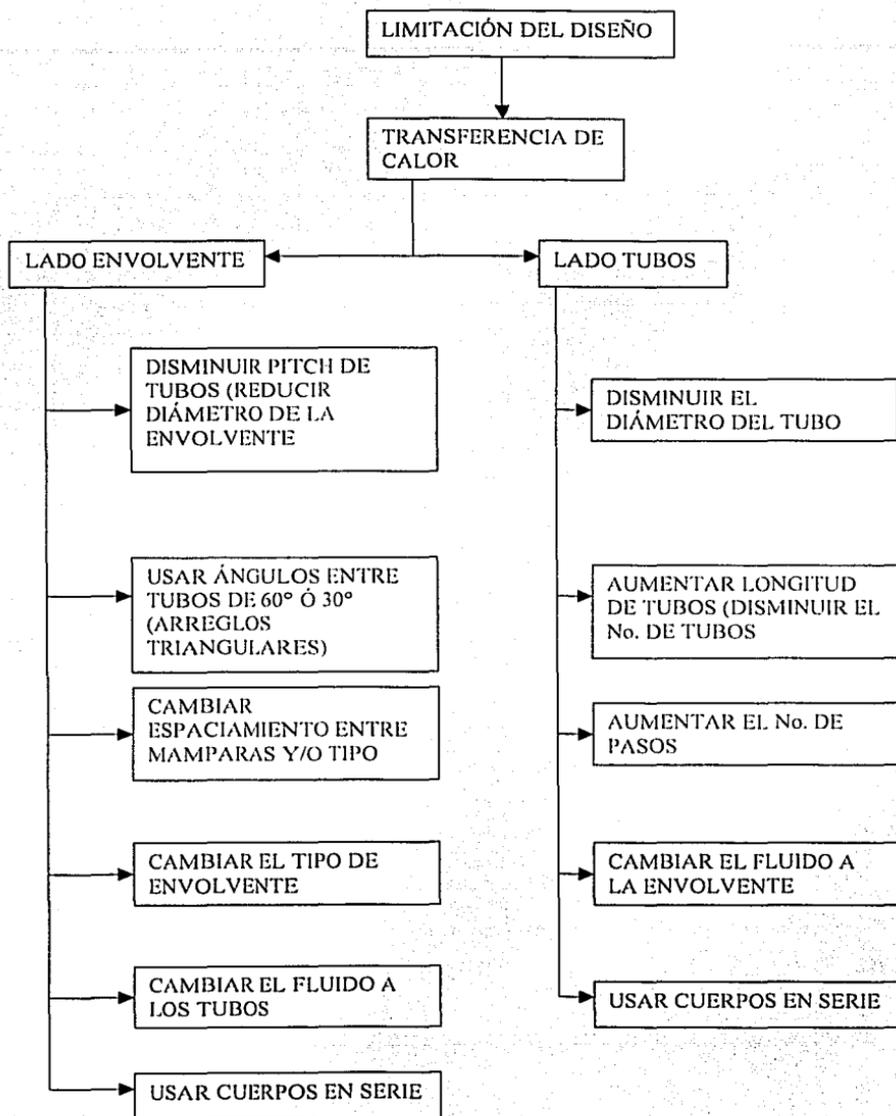
PASO 10: ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN LOS TUBOS.

Cuando el diseñador sospeche la posibilidad de que existan vibraciones, es necesario, el análisis de la probable vibración en los tubos por varios métodos reconocidos. Las regiones de entrada, salida y central de la envolvente deberán tratarse por separado. Las velocidades de flujo locales efectivas deberán basarse en los cálculos de las fracciones de flujo descritas en el paso 6.

26.- Crear varios documentos en forma de diagrama de bloques para disminuir el tiempo en el que se realiza un diseño, dependiendo de la limitación del diseño.







27.- Seguir las reglas generales para ubicar cada fluido donde mejor se aproveche su capacidad.

Regla general:

Por lado de tubos:

- Fluido más corrosivo.
- Fluido más sucio.
- Fluido con alta presión.
- Fluido con alta temperatura.

Por lado de envolvente:

- Fluido con menor gasto.
- Fluido que sea líquido viscoso.
- Fluido gas.

28.- En estos casos no hay más que explicar correctamente los conceptos utilizados en el diseño y establecer los criterios que ayudarán a calcularlos.

PRESIÓN DE OPERACIÓN (P_o).

También conocida como presión de trabajo, se define como la presión manométrica a la cual está sometido un equipo en condiciones normales de operación. Debemos tener presente que en el caso de los intercambiadores de calor, se manejan dos presiones de operación, una por el lado de tubos y otra por el lado de la coraza.

PRESIÓN DE DISEÑO (P_d).

Se define como la presión que será utilizada en el diseño del cambiador de calor. Para servicios a "vacío" se debe especificar una presión externa de diseño de 15 lbs/plg^2 (vacío total), para una presión de operación arriba de la atmosférica, la presión de diseño será:

$$P_d = P_o + 30 \text{ lbs/plg}^2 \quad \text{si } P_o \leq 300 \text{ lbs/plg}^2$$

ó

$$P_d = 1.1 P_o \quad \text{si } P_o > 300 \text{ lbs/plg}^2$$

Resulta importante mencionar que al hablar de presiones, temperaturas, materiales, etc., en cambiadores de calor, debemos siempre especificar si se trata del lado de tubos o del lado de la coraza ya que generalmente las condiciones de operación y consecuentemente las de diseño, son diferentes en un lado y en el otro.

PRESIONES DE PRUEBA (Pp).

Normalmente conocida como presión hidrostática de prueba, la cual es llevada a cabo una vez que ha sido fabricado el intercambiador de calor, fundamentalmente consiste en el llenado del equipo con agua; al mismo tiempo que se le somete a presión, su valor se cuantifica por medio de la siguiente ecuación:

$$P_p = 1.5 P_d \text{ (Sta/Std)}$$

Donde:

Sta= esfuerzo a la tensión del material a la temperatura ambiente.

Std= esfuerzo a la tensión del material a la temperatura de diseño.

PRESIÓN DE TRABAJO MÁXIMA PERMISIBLE.

Es la presión máxima a la que se puede someter un cambiador de calor en condiciones de operación, la evaluación de esta presión será de mayor utilidad cuando el equipo se encuentre en las siguientes condiciones:

- A) Condiciones corroídas.
- B) Bajo los efectos de la temperatura de diseño.
- C) En posición normal de operación.

TEMPERATURA DE OPERACIÓN (To).

Es el valor normal de temperatura en las condiciones de operación del proceso a la cual el cambiador será expuesto.

TEMPERATURA DE DISEÑO (Td).

Se define como la temperatura que será utilizada en el diseño del cambiador de calor, esta temperatura se selecciona como sigue:

Para fluidos que operan con una temperatura superior a 32° F (0°C), la temperatura de diseño será la que resulte mayor de las siguientes:

$$T_d \left\{ \begin{array}{l} 1.1 T_o \\ T_o + 25^\circ\text{F} \\ 150^\circ\text{F} \end{array} \right.$$

Para fluidos que operan a una temperatura de 32°F (0°C) ó inferior, se deberá especificar simultáneamente la temperatura mínima y la máxima anticipada, siendo esta última no menor a 150°F (65.5°C) para el lado de la coraza con el objeto de considerar la circulación de aire caliente durante la operación de secado, posterior a la prueba hidrostática.

ESFUERZO DE DISEÑO A LA TENSIÓN (S).

Es el valor máximo al que puede someterse un material que forma parte de un intercambiador de calor en condiciones normales de operación. Su valor esta basado en un 25% del esfuerzo último a la tensión del material en cuestión.

EFICIENCIAS DE LAS SOLDADURAS (E).

Se define como el grado de confiabilidad, de las juntas soldadas en relación al grado de inspección y se establece como un porcentaje según se define a continuación para el caso de soldaduras a tope con penetración completa.

	RADIOGRAFIADA AL 100%	RADIOGRAFIADA POR PUNTOS	SIN RADIOGRAFIAR
VALORES DE "E"	1.00	0.85	0.7

29.- Conocer los factores que intervienen en una adecuada selección de materiales.

Los materiales que se han de utilizar en la construcción de un intercambiador de calor se analizarán conjuntamente entre el diseñador de equipo y el ingeniero de proceso. Los materiales que se elijan, deberán resistir los efectos de la corrosión y deberán tener la suficiente resistencia para soportar la temperatura y la presión de diseño, teniendo además que conducir a un diseño práctico. Una buena selección de los materiales, asegurará bajos costos de mantenimiento y bajos costos iniciales.

A continuación se mencionarán las etapas más convenientes, para efectuar una selección adecuada de materiales para la construcción de cambiadores de calor.

ELABORAR UNA LISTA DE REQUISITOS.

En esta lista de requisitos se deben incluir los materiales que satisfagan las condiciones de servicio, y para que esto suceda, es necesario que los materiales que sugieran tengan las propiedades adecuadas, siendo las más importantes las siguientes:

- 1) Propiedades mecánicas. Las propiedades del material que más importancia tienen son:

- Una alta resistencia a la tensión.
- Un punto de cedencia alto.
- Una mínima reducción de área.
- Un alto por ciento de alargamiento.

Quedando con estas propiedades, establecidos los esfuerzos de diseño para el material en cuestión.

- 2) Propiedades físicas. Siendo la más importante el coeficiente de dilatación térmico del material, ya que éste limitará el valor del esfuerzo a la tensión y en consecuencia afectará el diseño del cambiador.
- 3) Resistencia a la corrosión. Los materiales que se propongan deberán soportar el ataque químico de las sustancias con las cuales estará en contacto el intercambiador.
- 4) Facilidad para su fabricación. De acuerdo a los medios disponibles y elegidos para la fabricación del equipo, los materiales deberán contar con las siguientes características:
 - Maquinabilidad. Se hace necesario maquinar ciertas partes del cambiador (como son : las bridas, los espejos, tapas planas, etc.) para darle forma o acabado a las superficies para el asentamiento del empaque, juntas de ensamble, etc., para ello material difícil de maquinar es más costoso en su fabricación, ya que requiere de procedimientos y herramientas costosas.
 - Soldabilidad. El material que se ha de utilizar para la fabricación del cambiador, Deberá tener buenas propiedades de soldabilidad, ya que gran parte de sus elementos son de construcción soldable.

En la página 27 se muestra la soldabilidad y afinidad metalúrgica para los diferentes

Materiales utilizados en la construcción de cambiadores de calor, dicha tabla es una guía que contiene información técnica suficiente para lograr la evaluación adecuada del concepto.

- Facilidad de ser formado. El material será trabajado mecánicamente para darle la forma deseada, como el rolado de las placas para la fabricación de elementos cilíndricos, formado de tapas, etc.
- Compatibilidad del equipo existente. Se deberán utilizar por conveniencia materiales de la misma clase, para evitar tener una gran cantidad de materiales de reposición en el almacén.

FACTORES ADICIONALES PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES.

En esta etapa se tomará en cuenta la vida útil de la planta donde serán integrados los equipos (cambiadores de calor) que se están diseñando, para ello se fijará la atención en los siguientes puntos:

- 1) Vida estimativa de la planta. Generalmente una planta se proyecta para un determinado tiempo de vida útil, partiendo de esta base se puede formar un criterio sobre la clase de los posibles materiales a utilizar.
- 2) Duración estimada del material. Para conocer la vida estimada del material será necesario auxiliarnos de literatura existente sobre el comportamiento del material en situaciones similares, así como reportes de las experiencias de personas que han operado y conocen los problemas que frecuentemente se presentan en las plantas idénticas.
- 3) Disponibilidad y tiempo de entrega del material. Hay que tener en cuenta la Producción nacional de los materiales para la fabricación de los cambiadores, debido a que existirá la posibilidad de utilizar los materiales de los cuales se dispone sin tener grandes tiempos de entrega y a un costo menor que las importaciones.
- 4) Costo del material y fabricación. Frecuentemente a un alto costo de material le corresponde un alto costo de fabricación.
- 5) Información necesaria para estimar el comportamiento de los materiales ante la Corrosión. Para poder efectuar una evaluación correcta de los materiales, es necesario disponer de la mayor información posible en lo que se refiere a las condiciones de proceso, dicha información la podemos desglosar de acuerdo a su procedencia como sigue:

a) Características del fluido.

- a.1) Principales compuestos. Se requiere de un análisis químico para poder conocer la composición del fluido, y así determinar las características corrosivas de este.
- a.2) Impurezas. Dicho análisis nos servirá para conocer tanto cualitativa como cuantitativamente el grado de impurezas del fluido, y de esta manera determinar si son corrosivas.
- a.3) Temperatura. Dicha condición es un factor que afecta directamente la corrosión, ya que con una variación de temperatura puede alterarse la velocidad de corrosión en ciertos casos.
- a.4) pH (potencial del hidrógeno). Una sustancia es más corrosiva en la medida en disminuye su pH (aumento de acidez).

a.5) Velocidad del fluido. La erosión aumenta con un aumento de velocidad, debido a que el fluido tiende a ser más turbulento provocando con esto desprendimiento de las partículas corrosivas y exponiendo nuevamente el material al contacto del fluido.

b) Función de la parte del equipo.

La función que desempeñan cada una de las partes que conforman el equipo, nos obligan a tomar decisiones conservadoras sobre el material que debemos elegir.

c) Experiencia.

- c.1) Si el material ha sido utilizado en servicios idénticos se deben revisar los reportes de inspección que se han realizado del equipo para conocer los resultados que se tienen, y con esto saber si el equipo aún se encuentra en servicio.
- c.2) Si el material ha sido utilizado en situaciones similares. ¿Qué diferencia existe entre la situación actual y la posibilidad de hacer una selección idéntica?.
- c.3) Las experiencias vividas en la planta, en plantas piloto, datos de pruebas de corrosión en plantas y laboratorios así como literatura disponible, son las fuentes más confiables para formarse un criterio en la selección de materiales.

SELECCIÓN DEL MATERIAL.

La decisión final que se tomará para la selección del material, se hará de acuerdo a lo siguiente:

- 1) Material más adecuado. Este será aquel que cumple con el mayor porcentaje de requisitos técnicos, ya que de estos depende el buen funcionamiento del equipo.
- 2) Requisitos económicos. El material que implique menores gastos como son: iniciales, de operación, de mantenimiento y un mayor reembolso de inversión, sin que por este concepto se tenga que sacrificar el punto anterior.

30.- Explicar lo que es la soportería, así como su correcta ubicación y de que manera actúa.

Un recipiente cilíndrico, cualquiera que sea su posición de erección, siempre deberá contar con un sistema de soportería.

Un recipiente cilíndrico en posición horizontal, generalmente descansa sobre soportes tipo sillas, según se puede apreciar en la figura 6. El análisis de los esfuerzos y deformaciones inducidos en el cascarón del recipiente fueron encontrados por Zick (Stresses in large horizontal cylindrical pressure vessels on two saddles supports), quien entre otras cosas, desarrollo las ecuaciones para obtener dichos esfuerzos.

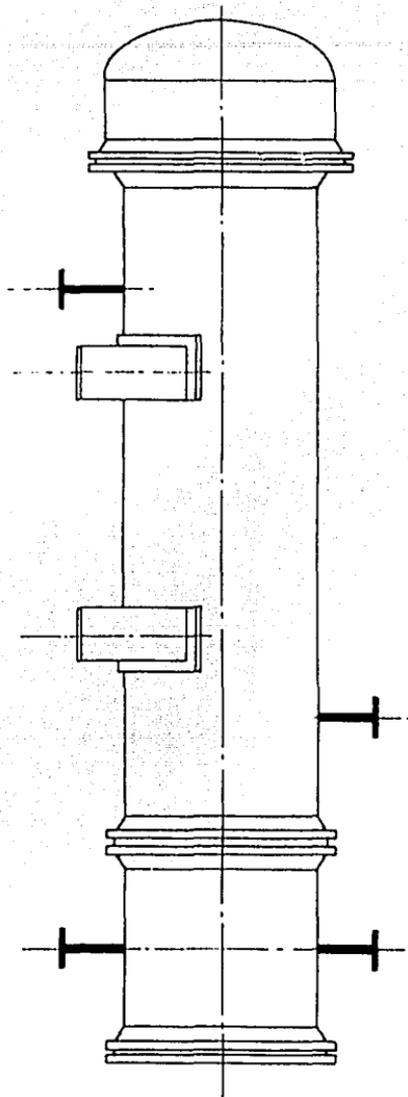


FIGURA 6

La localización de los soportes debe elegirse de tal manera que la longitud en voladizo en cada extremo no exceda el 20% de la longitud total. Utilizando este criterio se obtiene una ventaja mayor del efecto de refuerzo que da la tapa al cascarón cilíndrico.

Un recipiente cilíndrico en posición horizontal sobre dos silletas actúa de la misma manera que una viga soportada en dos apoyos y con los extremos en voladizo, en donde se presentan los momentos máximos de flexión en la dirección longitudinal del cascarón, uno sobre los dos apoyos y el otro se localiza al centro del claro del recipiente. (figura 6)

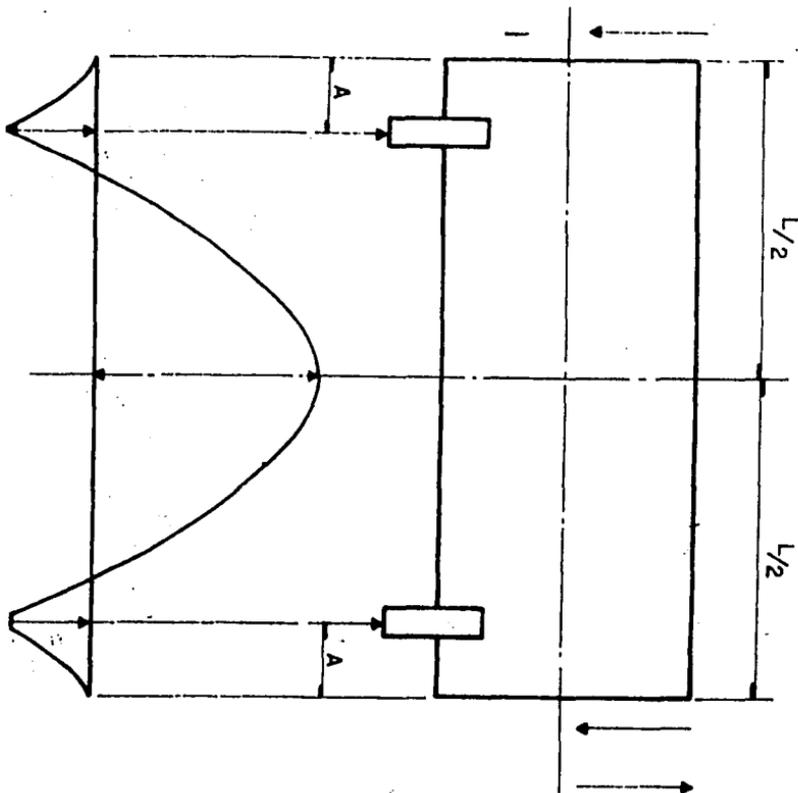


FIGURA 7

Ahora bien para el caso específico de un intercambiador de calor, este cuenta con un elemento que le proporciona cierta rigidez a todo lo largo de la envolvente, siendo este el haz de tubos, que con su distribución de mamparas, además de cumplir con la función de soportar los tubos de transferencia, rigidiza a la envolvente. Esto permite que, en ocasiones en que no es posible situar las silletas a la distancia deseada, se pueden localizar en otro lugar, sin que esto ocasiona una situación crítica.

Para el caso de un intercambiador de calor en posición vertical, se pueden soportar, también sobre una cimentación de concreto, o bien por medio de orejas o ménsulas unidas al recipiente y descansando sobre otro elemento, como por ejemplo, sobre vigas o columnas. (ver figura 8).

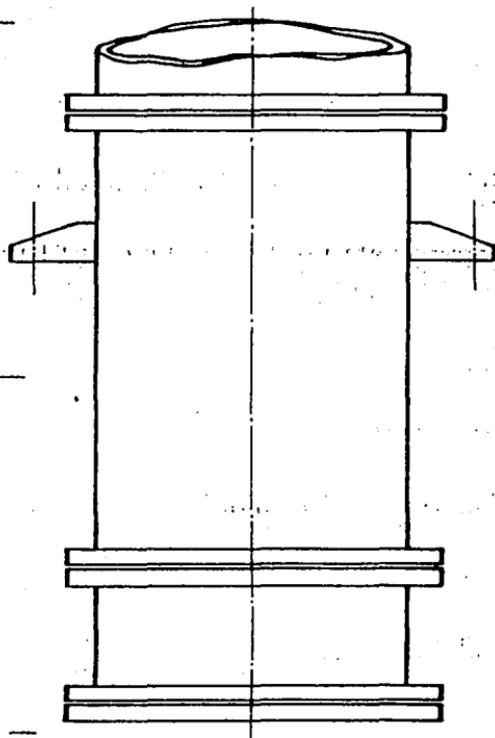


FIGURA 8

31.- Tomar en cuenta cada uno de los sistemas de carga que pueden perjudicar el funcionamiento del equipo:

- Presión.
- Temperatura.
- Peso propio.
- Excitación dinámica.

32.- Comprender cuales son los elementos mecánicos que son críticos en esta compatibilidad.

Los elementos adyacentes, se verán deformados por la acción combinada de tubos y carcaza.

La compatibilidad de los componentes se logra con más o menos éxito pero no sin antes alcanzar perturbaciones en la frontera, las cuales originan otros esfuerzos primarios, debido a la presión y temperatura. Por tanto al realizar el análisis mecánico individual de los elementos del cambiador se deberán considerar las reacciones de todos entre sí. Para ello se habrá de proceder con una secuencia racional que nos permita determinar las propiedades de elementos mecánicos y así determinar el sistema de fuerzas que afectan el intercambiador de calor.

En la figura 9 en donde los componentes se encuentran en su posición no deformada debido a la ausencia de cargas. Al intervenir la presión, la cubierta tiende a crecer radialmente como se muestra en la figura 10, de la misma manera que crecería un tubo de longitud infinita sujeto a presión interna; sin embargo, debido al carácter finito del equipo y las contracciones que le comunican los espejos, los extremos de la cubierta se obligan a permanecer más cerrados que el resto, bajo la acción de los esfuerzos y momentos originados por la conexión con el espejo. A su vez los espejos, que originalmente permanecían rectos, se ven flexionados por la acción de la cubierta (ver figura 11) . Si a esto agregamos los efectos de la expansión diferencial que se originan por las diferencias de temperatura entre las corrientes del proceso afectando directamente a tubos y carcaza, obligándose a permanecer juntos, la cubierta se verá tensionada por el efecto del alargamiento de los tubos y estos se verán sujetos a compresión y pandeo por el efecto de la reacción de la cubierta; y todo el intercambio de esfuerzos se verá complicado por la intervención de los espejos.

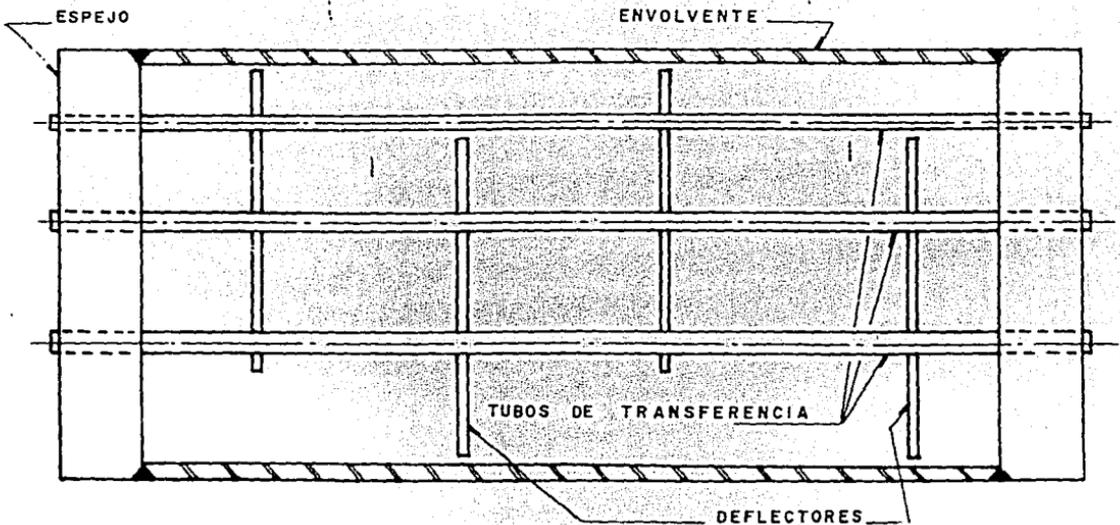


FIGURA 9

FIGURA 10

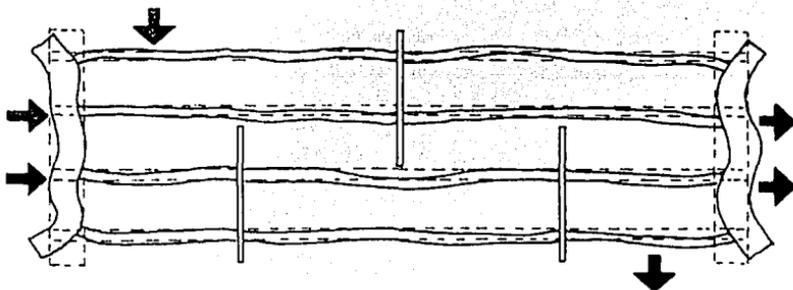
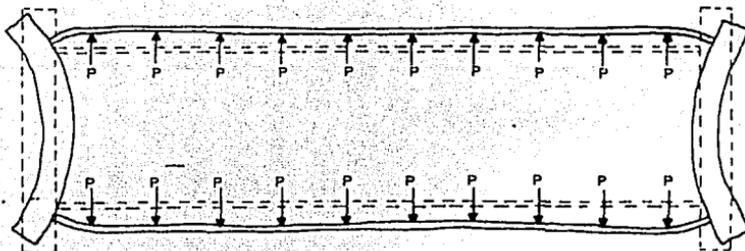
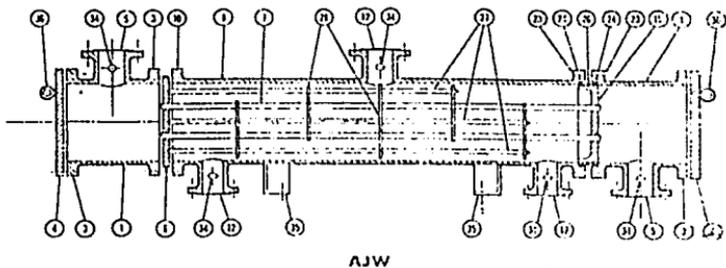
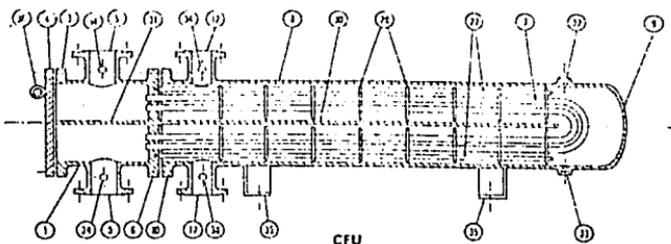
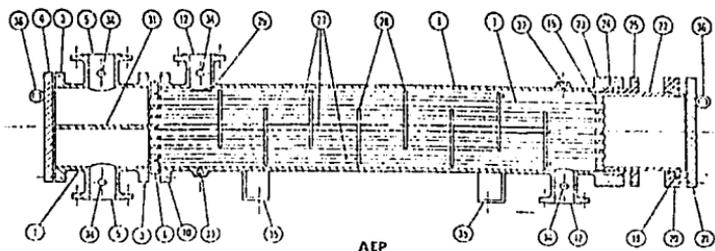


FIGURA 11



33.- Estos problemas de no entendimiento entre las personas del área térmica con las del área mecánica, no son nuevos siempre han existido sin embargo los nuevos métodos de implementación de un sistema de calidad obligan a una comunicación sin barreras, con la exposición de todas las ideas de cada departamento y un ejemplo es el pegar carteles o posters con la figura de un intercambiador de calor indicando las partes de cada uno, como ejemplos tenemos 3:



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1. Cabezal Fijo-Canal
2. Cabezal Fijo-Bonete
3. Brida de cabezal a cubierta-canal o bonete
4. Tapa de cabezal fijo
5. Boquilla de cabezal fijo
6. Espejo fijo
7. Tubos
8. Cubicita
9. Cabeza de la tapa de cubierta
10. Brida de cubierta a cabezal fijo
11. Brida de cubierta a tapa
12. Boquilla de cubierta
13. Brida de tapa a cubierta
14. Junta de expansión
15. Espejo flotante
16. Tapa de cabezal flotante
17. Brida de tapa de cabezal flotante
18. Anillo dividido del cabezal flotante
19. Anillo dividido para brida
20. Brida de respaldo
21. Tapa del cabezal flotante-externo
22. Falda del espejo flotante
23. Caja del empaque
24. Empaque
25. Prensa estopa
26. Anillo de Linterna
27. Tirantes y Espaciadores
28. Mamparas deflectoras o placas de soporte
29. Placa de choque
30. Mampara Longitudinal
31. Mampara Divisora
32. Conexión para venteo
33. Conexión para drenaje
34. Conexión para medición
35. Sillota de soporte
36. Oreja
37. Soporte tipo mensula
38. Vertedero
39. Conexión de nivel

34.- Si nosotros estamos apegados a ciertos estándares todo nuestro entorno económico también tiene que estarlo desde proveedores hasta compradores para que la calidad se de generalmente y no en ciertas partes nada más.

El estándar TEMA marca que cada equipo de intercambio de calor debe tener su propia hoja de especificación, para cuando este equipo requiera reparación, rediseño y/o simulación. Dentro de esta hoja de especificación TEMA se requieren especificar varios datos de los fluidos a utilizar como varios del mismo equipo como se muestra en la figura 12.

35.- Para conocer mejor las partes mecánicas de un intercambiador de calor no hay mejor lugar que el taller de construcción, ya que ahí es donde se ensamblan las partes de las que estamos hablando, por lo tanto el ingeniero encargado del diseño de un equipo también tiene que estar en contacto directo con el taller de ensamble por medio de visitas periódicas. A veces no se puede visitar el taller pero si podemos tener anotaciones que nos permitan ver cuales son los elementos mecánicos de mayor importancia dentro de un equipo como lo son los que siguen:

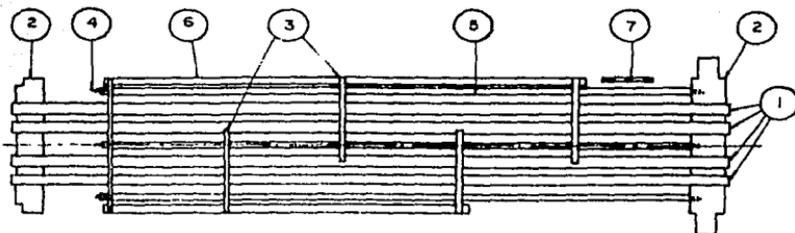
Haz de tubos.

El haz de tubos de un intercambiador está constituido por los tubos de transmisión, los cuales van insertados a los espejos, que son unas placas planas perforadas en un arreglo uniforme y a las mamparas, que son unas placas con perforaciones en el mismo arreglo y que tienen como función soportar los tubos para prevenir deflexiones y vibraciones, así como dirigir el fluido que circula por el lado de la envolvente, para así bañar el haz uniformemente. Es en el haz de tubos donde se efectúa la transferencia de calor de un fluido a otro, a través de la superficie metálica de los tubos por lo que se considera que constituye el corazón del cambiador de calor.

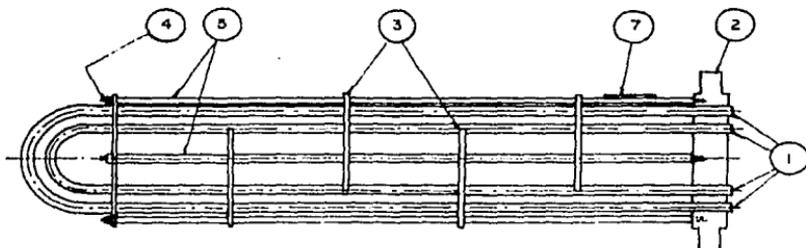
Los haces de tubos los podemos clasificar: removibles con cabezal flotante, de tubos en "U" y no removibles. Se dice que es removible porque se puede desensamblar todo el cambiador y extraerse el haz del interior de la envolvente para su mantenimiento; estos haces tienen un espejo que es estacionario mediante juntas empernadas entre bridas de la envolvente y el cabezal de distribución. En los haces no removibles no es posible su extracción para la limpieza por el exterior de los tubos ya que este tipo de construcción tiene los espejos integrados a la envolvente. Los haces con tubos en "U" solo requieren un espejo pues son doblados en su longitud media formando una "U" e insertándose ambos extremos de un tubo en un mismo espejo.

El haz de tubos de un cambiador de calor es una parte esencial, por lo que debe tenerse especial cuidado para su elección siendo los parámetros de selección, la limpieza de los fluidos y dilatación térmica de los tubos respecto a la envolvente, pues resulta claro comprender que cuando circula por el lado de la envolvente un fluido que forma incrustaciones y que sólo pueden ser removidas por medios mecánicos, se usará un haz de tubos removible.

La figura 13 ilustra los haces de tubos que se han descrito.

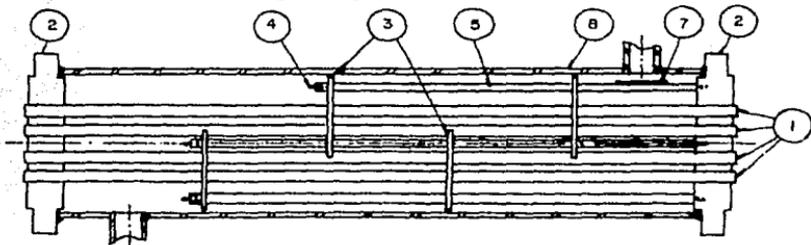


HAZ DE TUBOS REMOVIBLE PARA UN CABEZAL FLOTANTE



HAZ DE TUBOS "U" REMOVIBLE

- 1.- TUBOS DE TRANSFERENCIA
- 2.- ESPEJOS
- 3.- MAMPARAS
- 4.- VARILLAS DE AMARRE
- 5.- SEPARADORES
- 6.- TIRAS DE SELLO
- 7.- PLACA DE CHOQUE
- 8.- ENVOLVENTE



HAZ DE TUBOS NO REMOVIBLE CON ESPEJOS INTEGRADOS EN LA ENVOLVENTE

FIGURA 13

Espejos.

Los espejos son placas planas circulares que sirven para separar ambos fluidos, el del lado de la envolvente y el del lado de los tubos así como también soportar ambas presiones. Los espejos son perforados en un arreglo uniforme que puede ser cuadrado o triangular con diferentes orientaciones en muy raras ocasiones se encontrará un arreglo con separación entre perforaciones variables. En la mayoría de los casos los espejos son perforados sobre toda su superficie, únicamente dejando unos espacios o claros requeridos para su ensamble. Algunos cambiadores utilizan arreglos de tubos tales que solo algunas zonas contienen tubos y otras no.

Los tubos son soportados en sus extremos por los espejos insertándose en las perforaciones donde después se efectuará la junta, hermética que se logra expansionando el tubo dentro de la perforación del tubo espejo, lográndose una unión bastante resistente que solo en condiciones de servicio muy severas se requerirá de una soldadura perimetral entre tubo y espejo, para aumentar su resistencia, ver figura 14. Las perforaciones de los espejos son de una dimensión mayor que el diámetro del tubo y además se recomienda maquinarse de una a dos ranuras dentro de los agujeros del espejo para reforzar la junta expansionada donde se rebasa el límite elástico del material de los tubos más no de los espejos.

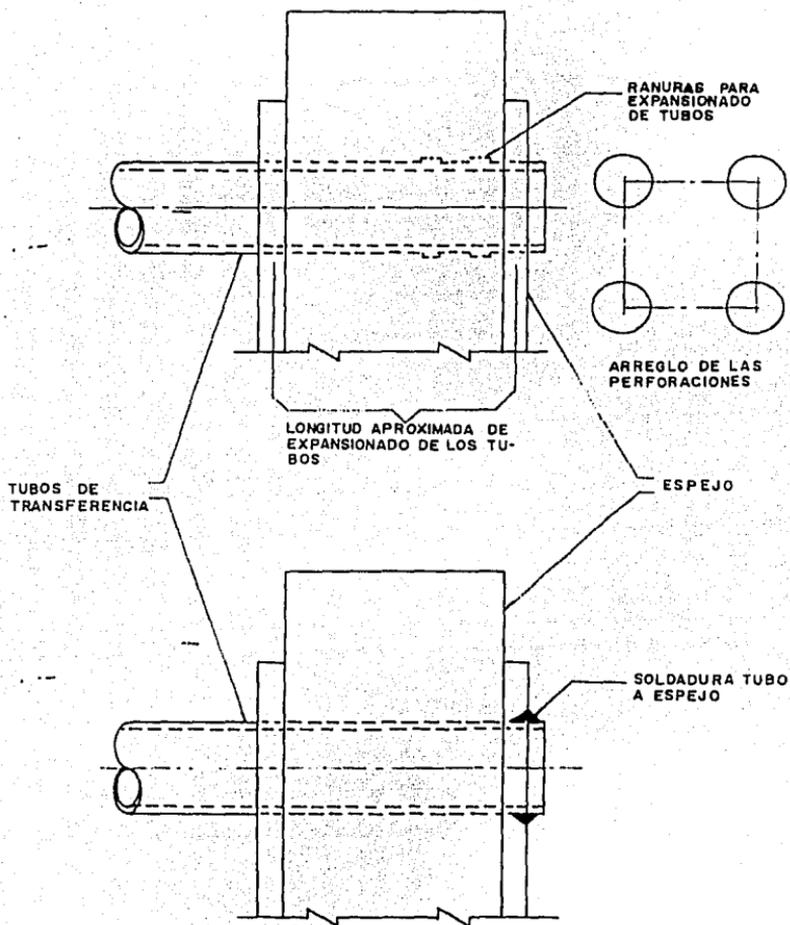
Los espejos normalmente se fabrican de materiales que se suministran en forma de placa y sólo cuando se tienen espesores muy grandes o deformas especiales, se fabrican de forja, los materiales utilizados deberán ser de propiedades mecánicas excelentes y resistentes al fenómeno de la corrosión. Existen algunos materiales, aleaciones, que tienen propiedades mecánicas muy bajas además de ser más caros, que no es conveniente usarlos como espejo de material sólido sino como una placa "clad" resistente a la corrosión unida a un material base, de propiedades mecánicas superiores. lográndose con esto una construcción más económica.

Mamparas.

El fluido circulando por el lado de la envolvente debe ser dirigido a través del haz bañando los tubos por el exterior, en toda su área creando determinados patrones de flujo que favorecen a la transmisión de calor. Para tal efecto se usan las mamparas. Otra función importante de estos elementos, es la de soportar los tubos de tal manera, que no sufran deflexiones causadas por largos tramos sin soportar y evitar vibraciones que pueden provocar ruidos y fallas de los tubos.

Para que las mamparas cumplan esta función, es de suponerse que deberán ser placas planas circulares de diámetro muy próximo al interior de la envolvente y perforadas con el mismo arreglo que los espejos. Los claros entre tubos y perforaciones serán de dimensiones mínimas con el fin de evitar que el fluido circule por entre estos claros, lo mismo es deseable entre la mampara y envolvente, para permitir el paso del fluido entre espacios adyacentes entre mamparas, se hacen cortes sobre las mamparas, dichos cortes serán alternos y sobre los extremos opuestos de una mampara a otra, y pueden ser inclinados y en algunos casos circulares (formando un disco y una corona).

Figura 14



Mamparas longitudinales.

Los cambiadores que llevan dos pasos por el lado de la envolvente requieren de una mampara a todo lo largo del haz formando prácticamente dos compartimentos en la envolvente. Entre mampara y envolvente debe mantenerse un sello que puede ser mediante soldadura, cuando el haz es "no removible" y con laminillas o empaquetaduras para haces removibles, se puede idear cualquier otro aditamento para sello siempre que sea factible de utilizar.

36.- El software se ha vuelto una herramienta esencial para el diseñador de estos días ya que sin él, el diseñador tardaría aproximadamente dos semanas en tan solo diseñar completamente el equipo, con software el diseñador se lleva aproximadamente dos días en diseñar completamente un cambiador de calor. Con lo que podemos deducir que con un software se reduce sustancialmente el tiempo en el que puede ser diseñado un equipo. Otra opción se encuentra en la programación de la computadora a utilizar para el diseño pero sin embargo estas dos opciones encierran tener un equipo de computación razonablemente completo.

A continuación se muestra un cálculo hecho para cálculo mecánico en el software compress de codeware y así podemos observar cuanto tiempo podemos ahorrar sin hacer todos estos cálculos a mano:

TUBING

ASME Section VIII Division 1, 1998 Edition, A00 Addenda

Component: Cylinder
 Material specification: SA 179 K01200 SMLS
 Material impact test exempt per UCS-66(d)

Internal design pressure: P = 1320 psi @ 350 deg F

Corrosion allowance: Inner C = 0 Outer = 0 in

MDMT = 60 deg F
 Test @ 75 deg F

Radiography: Category A joints - Seamless NO X-Ray

OD = 1.25 length Lc = 600.25 t = 0.083 in (new)

Design thickness: (At 350 deg F) Appendix 1-1(a)

$$t = P \cdot R_o / (S \cdot E + 0.4 \cdot P) + \text{Corrosion}$$

$$= 1320 \cdot 0.625 / (13400 \cdot 0.85 + 0.4 \cdot 1320) + 0$$

$$= 0.0692 \text{ in}$$

MAP: (New & at 75 deg F) Appendix 1-1(a)

$$P = S \cdot E \cdot t / (R_o - 0.4 \cdot t)$$

$$= 13400 \cdot 0.85 \cdot 0.083 / (0.625 - 0.4 \cdot 0.083)$$

$$= 1597.448 \text{ psi}$$

MAWP: (Corroded & at 350 deg F) Appendix 1-1(a)

$$\begin{aligned}
 P &= S \cdot E \cdot t / (R_o - 0.4 \cdot t) \\
 &= 13400 \cdot 0.85 \cdot 0.083 / (0.625 - 0.4 \cdot 0.083) \\
 &= 1597.448 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

Opening ENT/SAL
Reinforcement Calculations Per UG-37

Located on:	FLAT COVERS
Local vessel thickness:	1.25 in
Flange description:	6 inch 900# WN SA-105N
Flange impact test status:	impact test exempt per UG-20(f)
Nozzle MDMT:	60 deg F
Nozzle UCS-66 governing thk:	0.562 in

ANSI B16.5 flange rating MAP:	2220 psi
ANSI B16.5 flange rating MAWP:	1935 psi

Nozzle description: 6 inch- BORE Sch 120

Nozzle required thickness

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= P \cdot R_n / (S_n \cdot E - 0.6 \cdot P) \\
 &= 1320 \cdot 2.8755 / (20000 \cdot 1 - 0.6 \cdot 1320) \\
 &= 0.1976 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Check the welds - From UW-16(c)(2)

Inner Fillet: $t_{min} = \text{lesser of } 0.75 \text{ or } t_n \text{ or } t_e, t_{min} = 0.437 \text{ in}$
 $t_c(\text{min}) = \text{lesser of } 0.25 \text{ or } 0.7 \cdot t_{min}, t_c(\text{min}) = 0.25 \text{ in}$
 $t_c(\text{actual}) = 0.7 \cdot \text{Leg} = 0.7 \cdot 0.5 = 0.35 \text{ in}$

The fillet weld size is satisfactory.

Weld strength calculations are not required for this detail which conforms to Fig. UW-16.1, sketch (a).

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Wall thickness per UG-45(a):	$tr_1 = 0.3226 \text{ in (E = 1)}$
Wall thickness per UG-45(b)(1):	$tr_2 = 1.25 \text{ in}$
Wall thickness per UG-16(b):	$tr_3 = 0.1875 \text{ in}$
Std pipe wall per UG-45(b)(4):	$tr_4 = 0.37 \text{ in}$
The greater of tr_2 or tr_3 :	$tr_5 = 1.25 \text{ in}$
The lesser of tr_4 or tr_5 :	$tr_6 = 0.37 \text{ in}$

Req'd per UG-45 is the larger of tr_1 or $tr_6 = 0.37 \text{ in}$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 0.562 \text{ in}$

The nozzle neck thickness is adequate

Exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

VENTEO Y DREN

Opening V,D Reinforcement Calculations Per UG-37

Located on: FLAT COVERS
 Local vessel thickness: 1.25 in
 Nozzle description: .75 inch 6000#
 Nozzle material specification: SA 105 FORGING FITTING
 Nozzle impact test status: impact test exempt per UG-20(f)
 Nozzle MDMT: 60 deg F
 Nozzle UCS-66 governing thk: 0.35 in



corrosion allow = .125 in
 noz thick new $tn = .35$ in
 nozzle id. new $d = 1.05$ in
 fillet weld $twl = .3125$ in

Reinforcement Calculations For Nozzle

Limits of reinforcement UG-40

Parallel to the vessel wall $(R_n + tn + t) = 2$ inNormal to the vessel wall outside $2.5 \cdot (tn - C_n) + te = .5625$ in

Nozzle required thickness

$$trn = F \cdot R_n / (S_n \cdot E - 0.6 \cdot F)$$

$$= 1320 \cdot 0.65 / (20000 \cdot 1 - 0.6 \cdot 1320)$$

$$= 0.0447 \text{ in}$$

Opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

Check the welds - From UW-16(c):

Fillet weld: $t_{min} = \text{lesser of } 0.75 \text{ or } tn \text{ or } t, t_{min} = 0.225$ in $t_c(\text{min}) = \text{lesser of } 0.25 \text{ or } 0.7 \cdot t_{min}, t_c(\text{min}) = 0.1575$ in $t_c(\text{actual}) = 0.7 \cdot Leg = 0.7 \cdot 0.3125 = 0.21875$ in

The fillet weld size is satisfactory.

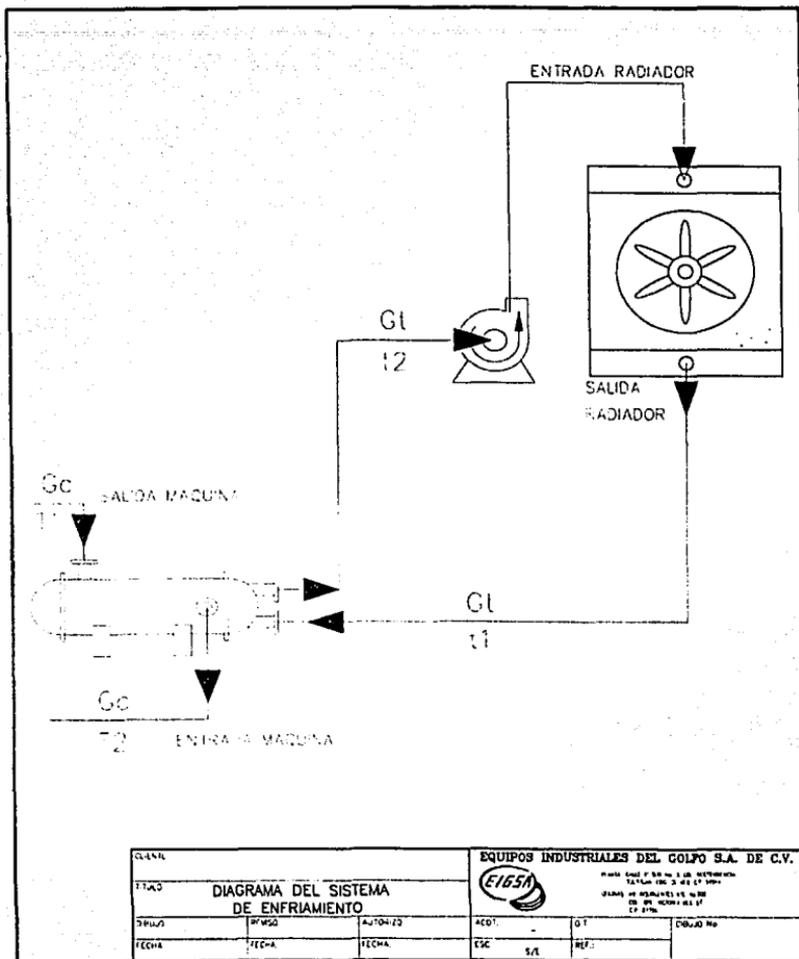
Weld strength calculations are not required for this detail which conforms to Fig. UW-16.1, sketch (a).

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

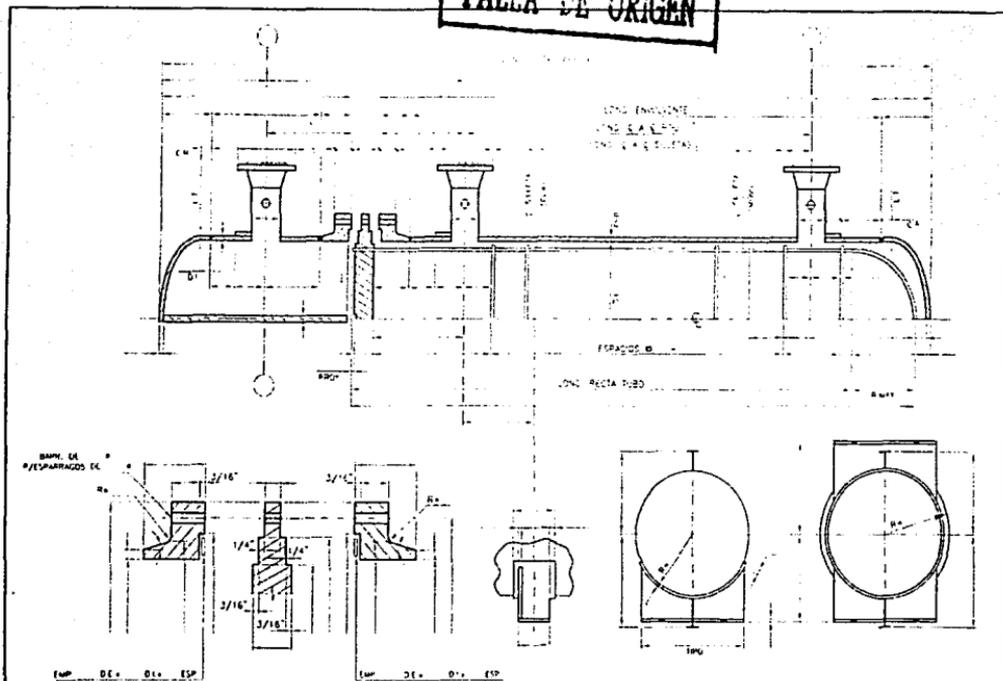
Wall thickness per UG-45(a): $tr1 = 0.1697$ in ($E = 1$)
 Wall thickness per UG-45(b)(1): $tr2 = 1.25$ in
 Wall thickness per UG-16(b): $tr3 = 0.1875$ in
 Std pipe wall per UG-45(b)(4): $tr4 = 0.251875$ in
 The greater of $tr2$ or $tr3$: $tr5 = 1.25$ in
 The lesser of $tr4$ or $tr5$: $tr6 = 0.251875$ in
 Req'd per UG-45 is the larger of $tr1$ or $tr6 = 0.251875$ in
 Available nozzle wall thickness new, $tn = 0.35$ in
 The nozzle neck thickness is adequate

Exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

37.- La elaboración de estándares solo puede llevarse a cabo por la persona que los necesita. ¿Pero que estándares se deben hacer? En las siguientes páginas se muestran los estándares que se han hecho recientemente en EIGSA. (Regularmente para dimensionar el equipo o para cuando el intercambiador de calor forma parte de un ciclo).



REVIS CON
FALLA DE ORIGEN



				CLIENTE			EQUIPOS INDUSTRIALES DEL GOLFO S.A. DE C.V.		
				MATERIAL DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPO B U			E.I.G.S.A.		
				RELACION	REVISADO	APROBADO	ACC.	D.T.	Q. AVE.
REV.	DESCRIPCION.	POR	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	ENC.	REV.	ME.
							S/E		

F-DC-45-002/01-8/71-07-00

Conclusiones (beneficios que puede traer a la empresa tomar las acciones correctivas y/o preventivas en contra de las prácticas inútiles de trabajo).

El hecho de tomar acciones correctivas o preventivas en una empresa debe traer beneficios a toda empresa ya que estas se toman porque se debe evitar que ocurra un determinado evento.

Acciones correctivas : Son las acciones que se toman cuando un proceso no esta funcionando, estas acciones son estudiar todo el proceso, detectar la falla y tomar una acción para eliminar ésta.

Acción preventiva : Son las acciones que se toman para prevenir un suceso no deseado dentro del proceso y estas acciones se realizan antes de que este proceso de comienzo.

Como pudimos observar a través de los capítulos ya expuestos, el establecimiento de acciones correctivas o preventivas siempre ofrecerán un beneficio a la empresa, trabajadores y todo el circulo que se encuentra alrededor clientes, proveedores, etc.

Hay muchas acciones correctivas y preventivas que se pueden tomar para que un suceso no deseado ocurra, sin embargo las acciones que se enlistaron en el capítulo anterior se pueden englobar en las siguientes:

- **Consulta (por parte del diseñador):** El hábito de la consulta en un diseñador de equipo debe ser uno de los hábitos que siempre deben estar presentes, ya que nos ayudará a obtener el conocimiento que por diversas razones no se pudo obtener en la formación profesional o en su defecto nos ayudará a obtener los conocimientos que nos servirán para llevar a cabo nuestro trabajo de una forma eficiente y con calidad. Esto se verá reflejado en los equipos que se diseñen y aparte recordemos que el diseñador no puede pensar en sí mismo sino en las personas que van a utilizar el equipo que él esta diseñando por lo tanto el diseñador no debe dejar este hábito porque es el encargado de la seguridad de este equipo.
- **Capacitación:** Las empresas que cuentan con un sistema de calidad están obligadas a capacitar al personal que dentro de ellas labora ya que de ahí se deriva la calidad del trabajo, ambiente y productos. Parte de esa planta laboral es el ingeniero de diseño que debe asistir a las capacitaciones para poder llevar a cabo su trabajo eficazmente. Al ofrecer capacitación a los empleados, la empresa les esta ofreciendo herramientas con las cuales pueden trabajar y hacerlo con calidad, de esta manera la empresa se esta comprometiendo con sus trabajadores y un trabajador que percibe que la empresa para la cual trabaja esta comprometido con él, es más feliz porque le es reconocido su trabajo, y al ser feliz en donde trabaja se compromete de manera instantánea con el trabajo a realizar formando un equipo con su empresa y con quien ahí labora.

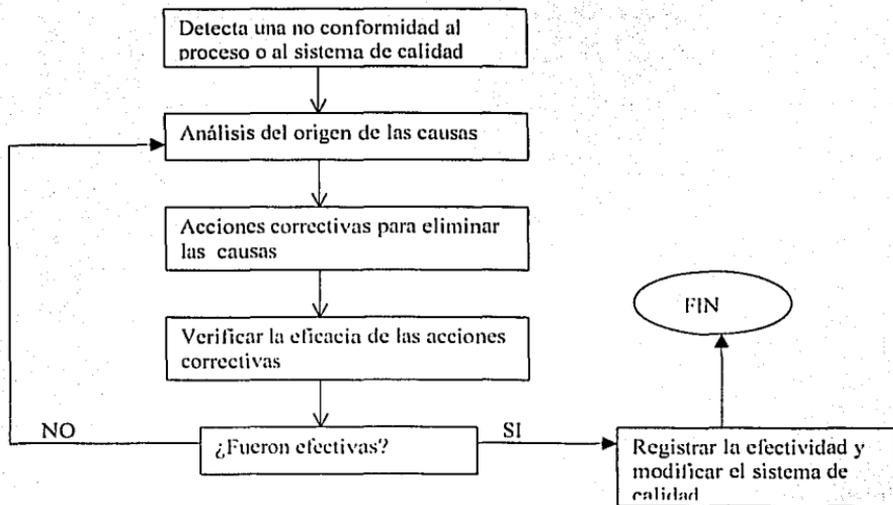
- La utilización de normas mundialmente avaladas le da más capacidad de competencia a la empresa, ya que si seguimos estas normas nuestro trabajo estará estandarizado con las empresas internacionales ofreciéndonos nivel para competir con empresas de otros países. En el caso de intercambiadores de calor y recipientes a presión ya sabemos que las normas a seguir están en el código ASME y el estándar TEMA ninguna de estas dos maneras se contraponen al contrario son complemento una de la otra. En el caso de EIGSA la empresa que estamos estudiando, los diseños de esta empresa están avalados con los sellos "U", "R" y "S" de ASME y a su vez estos sellos pueden ser utilizados en determinadas piezas que se diseñen o reparen por esta empresa, lo cual avala la calidad de los productos.
- La seguridad que ofrece EIGSA a sus clientes es que aparte de estar avalada por organismos internacionales en sus diseños, también sus prácticas empresariales y de construcción están avaladas por National Board Inspection que es un organismo internacional que revisa que los materiales que se escogen para cada diseño sean de la mayor calidad posible y que no sean una imitación lo que le da mayor prestigio a los productos EIGSA así como más seguridad a sus clientes de que el producto que reciben es de la mayor calidad.
- El conocimiento físico de las partes que conforman un intercambiador de calor ayuda al ingeniero de diseño a darles las dimensiones debidas, cuando un ingeniero de diseño no ha visitado el taller de ensamble suceden errores clásicos como aquel donde las bridas que van conectadas no son de igual diámetro, los materiales que deben ir unidos por soldadura no tienen los mismos materiales (incompatibles), la coraza no checa en su espesor con los cabezales, etc. Por lo tanto entre más cercano este el ingeniero de diseño del taller es mejor para cuestiones de comunicación y aprendizaje.
- El establecimiento de rutas para la información es de gran ayuda para todos los especialistas que se encuentran Inter-relacionados, ya que si se sabe por donde tiene que fluir la información se puede establecer una relación de ayuda mutua y con esto reducir tiempos que es el elemento esencial del diseño, esta ruta ayudará mucho a la comunicación que debe existir entre estos especialistas ya que en caso de error o duda el especialista sabe a quien recurrir y en caso de que se presente algún problema el encargado de solucionarlo lo sabrá rápidamente.
- La elaboración de documentos donde se explique que es lo que tiene que hacer cada quien son indispensables así el ingeniero de diseño térmico no ocupará más tiempo del que se debe llevar un diseño térmico (en caso de que exista la división), a su vez el ingeniero de diseño mecánico sabrá cuales son los datos que necesita del diseño térmico para empezar su diseño, así cada especialista se ocupará nada más de su trabajo sin invadir otros ámbitos que son de poca importancia para el trabajo.
- La elaboración de diagramas de flujo para realizar el trabajo son de gran utilidad ya que en lo que el ingeniero de diseño se va habituando a su labor puede ir revisando dicho diagrama para verificar que no se está saltando un solo paso y está entregando lo que se requiere a la siguiente sección ya sea de diseño o de cotización o de construcción, de

esta manera ahorraremos tiempo si se hace todo bien a la primera vez y se elaborará la información adecuada sin caer en cosas que no necesitamos.

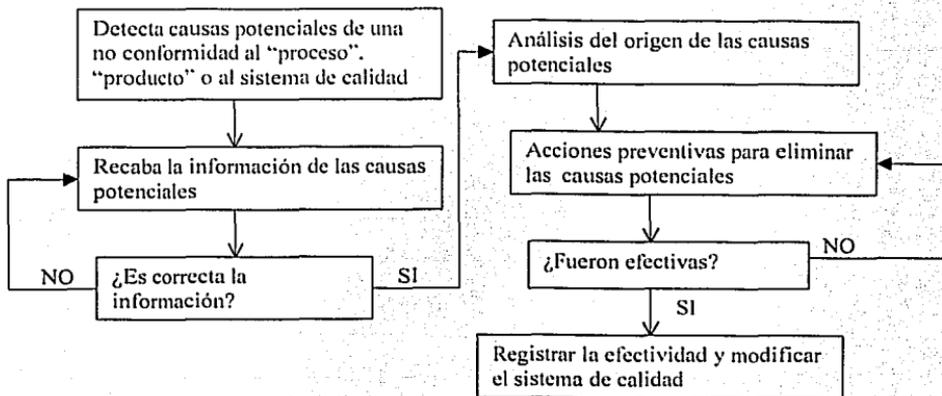
- La elaboración de algoritmos de cálculo nos permitirán comparar si la ruta que se esta siguiendo es la adecuada, determinando los círculos de cálculo que se presentarán poniendo una atención debida en ellos, con estos algoritmos no estaremos divagando en cálculos inservibles y que quitan tiempo al diseñador de equipo.
- El análisis de cada elemento en el intercambiador de calor así como el análisis en conjunto de estos mismos nos llevará a entregar un producto de calidad debido a la revisión que se hace de estos tomando como parámetro la acción que ofrecen estos de manera particular y en conjunto.
- Elaborar soluciones para cada caso en particular optimizará el tiempo en el cual se hace un diseño, y si hemos comprobado que estas soluciones ayudan a ofrecer el equipo adecuado para cada caso no sólo estaremos ahorrando tiempo sino dinero también a la empresa.
- Abrir canales de comunicación entre los empleados de la empresa ayudará a mejorar el ambiente de esta y a fluir la información de manera adecuada y rápida en toda la empresa.
- El uso de software o de la programación de computadoras es una herramienta que resulta esencial en estos días para ofrecer un diseño competente en cuanto a precio, tiempo y calidad, ya que estos ayudan a reducir el tiempo en el que se pueden llevar a cabo un diseño, también eliminan errores de carácter humano y sobretodo elimina gastos inútiles en papelería, contribuyendo a la conservación del medio ambiente. Pero a pesar de contar con estas herramientas el diseño final tiene que ser revisado por el ingeniero de diseño ya que se llegan a dar casos en que los diseños hechos por computadora fallan y eso es debido a que el responsable no revisó el diseño.
- La elaboración de documentos donde se tenga la información que debemos recabar nos ayuda también a reducir tiempo de razonamiento, ayuda a no desperdiciar papel inútilmente y en ocasiones nos servirá para situar nuestros problemas y fronteras.

En su conjunto el establecimiento de acciones correctivas y preventivas forman parte del sistema de gestión de calidad en cada empresa por eso la importancia de estos factores. La empresa que no tenga la capacidad de prever o de corregir sus procesos en este mundo globalizado y de tanta competencia indudablemente sucumbirá ante las empresas que están emergiendo con un sistema de gestión de calidad

FLUJOGRAMA PARA LA APLICACIÓN DE ACCIONES CORRECTIVAS



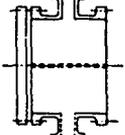
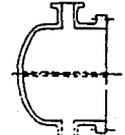
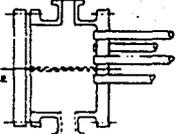
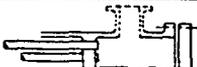
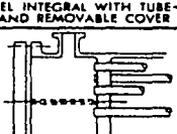
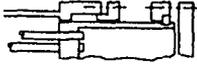
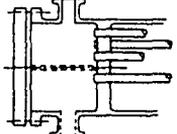
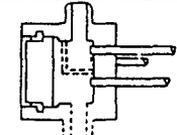
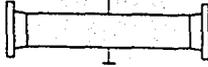
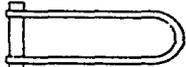
FLUJOGRAMA PARA LA APLICACIÓN DE ACCIONES PREVENTIVAS



ANEXOS

BIBLIOGRAFIA.

1. D.A. Donohue, *Heat exchanger design*. Petroleum refiner, partes I, II, III y IV. Agosto, Octubre y Noviembre 1955.
2. D.A. Donohue, *Heat exchangers. Petroleum processing*, Marzo 1956.
3. C. H Gilmour, *Trouble shooting heat exchanger design*. Chemical engineering, Junio 1967.
4. R. C. Lord, *Design of heat exchangers*. Chemical engineering, 1968.
5. F. L. Rubin, *How to specify heat exchangers*. Chemical engineering, Abril 1968.
6. E. N. Sleder & G. H. Elliot, *How to check when selecting material for heat exchangers*. Petroleum Refiner, Mayo de 1960.
7. TEMA Inc. ,*Standards of exchangers manufacturers association*, 8ª ed. 1999.
8. ASME Inc. . *ASME Boiler & pressure vessels code, Sección VIII, Div. I*. Addenda 2000.
9. Eugene F. Megyesu. *Pressure vessel handbook*. Handbook publishing, 4ª ed. 1977.
10. Robert H. Perry, *Manual del ingeniero químico*. McGraw Hill, 6ª ed. , 3ª en Español 1992.
11. A. S. Foust, *Principios de operaciones unitarias*. CECSA, 11ª Impresión 1978.
12. Donald Q. Kern, *Procesos de transferencia de calor*. CECSA, 19ª Impresión 1986.

FRONT END STATIONARY HEAD TYPES		SHELL TYPES		REAR END HEAD TYPES	
A	 CHANNEL AND REMOVABLE COVER	E	 ONE PASS SHELL	L	 FIXED TUBESHEET LIKE "A" STATIONARY HEAD
B	 BONNET (INTEGRAL COVER)	F	 TWO PASS SHELL WITH LONGITUDINAL BAFFLE	M	 FIXED TUBESHEET LIKE "B" STATIONARY HEAD
C	 REMOVABLE TUBE BUNDLE ONLY	G	 SPLIT FLOW	N	 FIXED TUBESHEET LIKE "N" STATIONARY HEAD
	 CHANNEL INTEGRAL WITH TUBE- SHEET AND REMOVABLE COVER	H	 DOUBLE SPLIT FLOW	P	 OUTSIDE PACKED FLOATING HEAD
N	 CHANNEL INTEGRAL WITH TUBE- SHEET AND REMOVABLE COVER	J	 DIVIDED FLOW	S	 FLOATING HEAD WITH BACKING DEVICE
D	 SPECIAL HIGH PRESSURE CLOSURE	K	 KETTLE TYPE REBOILER	T	 PULL THROUGH FLOATING HEAD
		X	 CROSS FLOW	U	 U-TUBE BUNDLE
				W	 EXTERNALLY SEALED FLOATING TUBESHEET

FES-CUAUTILÁN

CARACTERÍSTICAS DEL TUBING DE TRANSFERENCIA

UNAM

CHARACTERISTICS OF TUBING

Tube O.D. Inches	H.W.G. Gage	Thickness Inches	Internal Area Sq. In.	Sq. Ft. External Surf. Per Foot Length	Sq. Ft. Internal Surf. Per Foot Length	Weight Per Ft. Lbs.*	Tube Length Inches	Minimum of Lengths Inches	Standard of Lengths Inches	Standard of Weight Lbs.	Standard of Area Sq. In.	Standard of Weight Lbs.	Standard of Area Sq. In.	Standard of Weight Lbs.	Standard of Area Sq. In.	Standard of Weight Lbs.	Standard of Area Sq. In.	Standard of Weight Lbs.	Standard of Area Sq. In.
1-4	22	0.075	0.0776	0.0064	0.0068	0.0068	0.186	0.00219	0.00238	0.00219	0.00219	46	1.290	0.0196					
	24	0.022	0.0753	0.0064	0.0068	0.0068	0.208	0.00219	0.00238	0.00219	0.00219	46	1.214	0.0196					
	26	0.020	0.0761	0.0064	0.0068	0.0068	0.218	0.00219	0.00238	0.00219	0.00219	46	1.186	0.0196					
	27	0.016	0.0773	0.0064	0.0068	0.0068	0.240	0.00219	0.00238	0.00219	0.00219	46	1.147	0.0196					
1-8	18	0.049	0.0802	0.0082	0.0079	0.171	0.277	0.00089	0.00089	0.1168	86	1.364	0.0802						
	20	0.028	0.0771	0.0082	0.0076	0.171	0.258	0.00089	0.00089	0.1168	114	1.280	0.0802						
	22	0.026	0.0769	0.0082	0.0076	0.171	0.249	0.00089	0.00089	0.1168	128	1.276	0.0802						
	24	0.022	0.0760	0.0082	0.0077	0.183	0.231	0.00089	0.00089	0.1168	134	1.123	0.0802						
1-2	18	0.049	0.1078	0.1300	0.0388	0.370	0.70	0.00071	0.00071	0.1800	168	1.264	0.0802						
	20	0.028	0.1052	0.1300	0.0388	0.409	0.70	0.00071	0.00071	0.1800	198	1.264	0.0802						
	22	0.026	0.1032	0.1300	0.0388	0.418	0.70	0.00071	0.00071	0.1800	227	1.182	0.0802						
	24	0.022	0.1048	0.1300	0.0388	0.461	0.684	0.00071	0.00071	0.1800	241	1.124	0.0802						
5-8	12	0.106	0.1301	0.1838	0.0588	0.801	0.607	0.00091	0.00091	0.1805	203	1.438	0.177						
	13	0.085	0.1486	0.1838	0.1138	0.638	0.435	0.00091	0.00091	0.1805	252	1.437	0.177						
	14	0.078	0.1553	0.1838	0.1263	0.638	0.435	0.00091	0.00091	0.1805	276	1.388	0.177						
	15	0.072	0.1617	0.1838	0.1388	0.638	0.435	0.00091	0.00091	0.1805	263	1.280	0.177						
	16	0.066	0.1684	0.1838	0.1513	0.638	0.435	0.00091	0.00091	0.1805	300	1.186	0.177						
	17	0.058	0.2008	0.1838	0.1333	0.638	0.435	0.00091	0.00091	0.1805	317	1.278	0.177						
	18	0.048	0.2181	0.1838	0.1388	0.638	0.435	0.00091	0.00091	0.1805	360	1.186	0.177						
	19	0.042	0.2278	0.1838	0.1418	0.638	0.435	0.00091	0.00091	0.1805	258	1.128	0.177						
	20	0.038	0.2418	0.1838	0.1483	0.638	0.435	0.00091	0.00091	0.1805	377	1.138	0.177						
	2-4	10	0.134	0.1426	0.1883	0.1782	0.823	0.488	0.01189	0.0084	0.2278	268	1.558	0.268					
11		0.120	0.2043	0.1883	0.1326	0.828	0.418	0.01189	0.0084	0.2278	319	1.471	0.268						
12		0.106	0.2223	0.1883	0.1388	0.828	0.418	0.01189	0.0084	0.2278	367	1.410	0.268						
13		0.095	0.2482	0.1883	0.1488	0.828	0.418	0.01189	0.0084	0.2278	384	1.328	0.268						
14		0.083	0.2679	0.1883	0.1528	0.828	0.418	0.01189	0.0084	0.2278	418	1.284	0.268						
15		0.077	0.2686	0.1883	0.1547	0.828	0.418	0.01189	0.0084	0.2278	440	1.238	0.268						
16		0.068	0.2819	0.1883	0.1613	0.828	0.418	0.01189	0.0084	0.2278	471	1.120	0.268						
17		0.058	0.3117	0.1883	0.1692	0.828	0.418	0.01189	0.0084	0.2278	482	1.182	0.268						
18		0.048	0.3289	0.1883	0.1707	0.828	0.418	0.01189	0.0084	0.2278	521	1.160	0.268						
20		0.038	0.3832	0.1883	0.1780	0.828	0.418	0.01189	0.0084	0.2278	567	1.032	0.268						
2-8	10	0.134	0.2884	0.2291	0.1888	1.082	0.607	0.0221	0.0088	0.2882	451	1.472	0.312						
	11	0.120	0.3187	0.2291	0.1982	0.860	0.635	0.0221	0.0088	0.2882	498	1.328	0.312						
	12	0.106	0.3380	0.2291	0.2042	0.862	0.657	0.0221	0.0088	0.2882	548	1.332	0.312						
	13	0.095	0.3688	0.2291	0.2182	0.792	0.686	0.0221	0.0088	0.2882	575	1.277	0.312						
	14	0.083	0.3979	0.2291	0.2307	0.708	0.708	0.0221	0.0088	0.2882	618	1.274	0.312						
	15	0.077	0.4187	0.2291	0.2418	0.818	0.731	0.0221	0.0088	0.2882	658	1.177	0.312						
	16	0.068	0.4366	0.2291	0.2508	0.863	0.758	0.0221	0.0088	0.2882	680	1.124	0.312						
	17	0.058	0.4529	0.2291	0.2587	0.867	0.789	0.0221	0.0088	0.2882	708	1.182	0.312						
	18	0.048	0.4812	0.2291	0.2624	0.833	0.777	0.0221	0.0088	0.2882	740	1.178	0.312						
	20	0.038	0.5480	0.2291	0.2707	0.818	0.806	0.0221	0.0088	0.2882	794	1.087	0.312						
1	8	0.145	0.2528	0.2618	0.1754	1.473	0.870	0.0282	0.0094	0.3008	650	1.483	0.422						
	10	0.124	0.4278	0.2618	0.1818	1.261	0.722	0.0282	0.0094	0.3008	698	1.388	0.422						
	11	0.120	0.4536	0.2618	0.1888	1.178	0.780	0.0282	0.0094	0.3140	708	1.218	0.422						
	12	0.108	0.4807	0.2618	0.2087	1.038	0.788	0.0282	0.0094	0.3174	740	1.278	0.422						
	13	0.095	0.5113	0.2618	0.2121	0.918	0.810	0.0282	0.0094	0.3217	804	1.276	0.422						
	14	0.083	0.5463	0.2618	0.2183	0.818	0.824	0.0282	0.0094	0.3254	858	1.180	0.422						
	15	0.077	0.5724	0.2618	0.2261	0.714	0.858	0.0282	0.0094	0.3291	888	1.146	0.422						
	16	0.068	0.5918	0.2618	0.2318	0.650	0.870	0.0282	0.0094	0.3314	927	1.148	0.422						
	18	0.049	0.6780	0.2618	0.2481	0.488	0.822	0.0282	0.0094	0.3362	987	1.128	0.422						
	20	0.038	0.8170	0.2618	0.2552	0.461	0.820	0.0282	0.0094	0.3414	1080	1.028	0.422						
1-14	7	0.140	0.2721	0.2772	0.2200	2.068	0.848	0.0368	0.0128	0.3686	870	1.470	0.808						
	8	0.133	0.2848	0.2772	0.2408	1.814	0.810	0.0368	0.0128	0.3880	1037	1.288	0.808						
	10	0.124	0.3274	0.2772	0.2614	1.668	0.808	0.0368	0.0128	0.3914	1182	1.278	0.808						
	11	0.120	0.3512	0.2772	0.2684	1.450	0.810	0.0368	0.0128	0.4018	1250	1.288	0.808						
	12	0.108	0.3882	0.2772	0.2700	1.300	0.808	0.0368	0.0128	0.4082	1305	1.211	0.808						
	13	0.095	0.4282	0.2772	0.2775	1.173	0.808	0.0368	0.0128	0.4082	1377	1.178	0.808						
	14	0.083	0.4682	0.2772	0.2832	1.038	0.808	0.0368	0.0128	0.4118	1440	1.180	0.808						
	16	0.068	0.5082	0.2772	0.2882	0.888	0.808	0.0368	0.0128	0.4118	1537	1.114	0.808						
	18	0.048	0.5482	0.2772	0.2918	0.808	0.808	0.0368	0.0128	0.4118	1628	1.080	0.808						
	20	0.038	0.6082	0.2772	0.3018	0.628	0.808	0.0368	0.0128	0.4118	1740	1.028	0.808						
1-1/2	10	0.134	0.1821	0.2827	0.2228	1.887	1.232	0.0488	0.0088	0.4888	1880	1.178	0.578						
	12	0.108	0.2028	0.2827	0.2388	1.881	1.280	0.0488	0.0088	0.4888	2014	1.170	0.578						
	14	0.083	0.2277	0.2827	0.2487	1.237	1.280	0.0488	0.0088	0.4888	2140	1.138	0.578						
	16	0.063	0.2471	0.2827	0.2687	0.887	1.280	0.0488	0.0088	0.4888	2300	1.088	0.578						
2	11	0.120	0.4232	0.3228	0.4688	2.418	1.810	0.0488	0.0144	0.6888	3788	1.128	0.708						
	12	0.108	0.4681	0.3228	0.4888	2.208	1.810	0.0488	0.0144	0.6888	4018	1.128	0.708						
	13	0.095	0.4778	0.3228	0.4778	1.938	1.810	0.0488	0.0144	0.6888	4018	1.128	0.708						
	14	0.083	0.4811	0.3228	0.4681	1.701	1.810	0.0488	0.0144	0.6888	4121	1.081	0.708						

* Weights are based on low carbon steel with a density of 2.836 lbs./cu. in. For other metals multiply by the following factors:

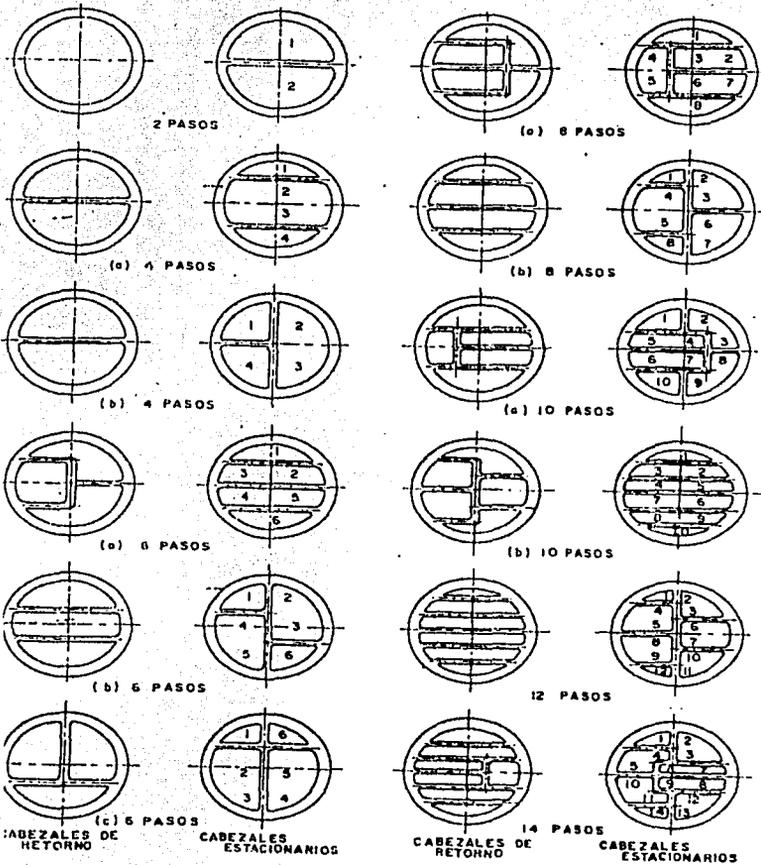
Aluminum	0.35	Aluminum Bronze	1.08	Nickel	1.13
Titanium	0.58	Aluminum Brass	1.04	Nickel-Copper	1.12
A.I.S.I. 400 Series S/Steels	0.99	Nickel-Chrome-Iron	1.07	Copper and Copro-Nickel	1.14
A.I.S.I. 300 Series S/Steels	1.02	Admiralty	1.09		

** Liquid Velocity = lbs. Per Tube Foot / C.I. Sp. Gr. of Liquid = ft. per sec. (Sp. Gr. of Water = 60°F. = 1.0)

TABLE CB-4.71
TIE ROD STANDARDS
 Dimensions in Inches (mm)

— Nominal Shell Diameter		Tie Rod Diameter	Minimum Number of Tie Rods
6 - 15	(152-381)	1/4 (6.4)	4
16 - 27	(406-686)	3/8 (9.5)	6
28 - 33	(711-838)	1/2 (12.7)	6
34 - 48	(864-1219)	1/2 (12.7)	8
49 - 60	(1245-1524)	1/2 (12.7)	10
61-100	(1549-2540)	5/8 (15.9)	12

Nominal Shell Diameter		Tie Rod Diameter	Minimum Number of Tie Rods
6 - 15	(152-381)	3/8 (9.5)	4
16 - 27	(406-686)	3/8 (9.5)	6
28 - 33	(711-838)	1/2 (12.7)	6
34 - 48	(864-1219)	1/2 (12.7)	8
49 - 60	(1245-1524)	1/2 (12.7)	10
61-100	(1549-2540)	5/8 (15.9)	12



Catalytic Hydro Desulfurizer:

Charge	0.004-0.005
Effluent	0.002
H.T. Sep. Overhead	0.002
Stripper Charge	0.003
Liquid Products	0.002
HF Alky Unit:	
Alkylate, Deprop. Bottoms, Main Fract. Overhead Main Fract. Feed	0.003
All Other Process Streams	0.002

Fouling Resistances For Water

Temperature Of Heating Medium	Up To 240° F		240 to 400° F	
	125 ° F		Over 125° F	
Temperature Of Water	Water Velocity Ft/Sec		Water Velocity Ft/Sec	
	3 and Less	Over 3	3 and Less	Over 3
Sea Water	0.0005	0.0005	0.001	0.001
Brackish Water	0.002	0.001	0.003	0.002
Cooling Tower And Artificial Spray Pond:				
Treated Make Up	0.001	0.001	0.002	0.002
Untreated	0.003	0.003	0.005	0.004
City Or Well Water	0.001	0.001	0.002	0.002
River Water:				
Minimum	0.002	0.001	0.003	0.002
Average	0.003	0.002	0.004	0.003
Muddy Or Silty	0.003	0.002	0.004	0.003
Hard (Over 15 Grains/Gal.)	0.003	0.003	0.005	0.005
Engine Jacket	0.001	0.001	0.001	0.001
Distilled Or Closed Cycle				
Condensate	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Treated Boiler Feedwater	0.001	0.0005	0.001	0.001
Boiler Blowdown	0.002	0.002	0.002	0.002

Catalytic Reforming, Hydrocracking And Hydrodesulfurization Streams:	
Reformer Charge	0.0015
Reformer Effluent	0.0015
Hydrocracker Charge And Effluent*	0.002
Recycle Gas	0.001
Hydrodesulfurization Charge And Effluent*	0.002
Overhead Vapors	0.001
Liquid Product Over 50 ° A.P.I.	0.001
Liquid Product 30 - 50 ° A.P.I.	0.002
*Depending on charge, characteristics and storage history, charge resistance may be many times this value.	
Light Ends Processing Streams:	
Overhead Vapors And Gases	0.001
Liquid Products	0.001
Absorption Oils	0.002-0.003
Alkylation Trace Acid Streams	0.002
Reboiler Streams	0.002-0.003
Lube Oil Processing Streams:	
Feed Stock	0.002
Solvent Feed Mix	0.002
Solvent	0.001
Extract*	0.003
Raffinate	0.001
Asphalt	0.005
Wax Slurries*	0.003
Refined Lube Oil	0.001
*Precautions must be taken to prevent wax deposition on cold tube walls.	
Viabreaker:	
Overhead Vapor	0.003
Viabreaker Bottoms	0.010
Naphtha Hydrotreater:	
Feed	0.003
Effluent	0.002
Naphthes	0.002
Overhead Vapors	0.0015

Fouling Resistances For Chemical Processing Streams

Gases And Vapors:	
Acid Gases	0.002-0.003
Solvent Vapors	0.001
Stable Overhead Products	0.001
Liquids:	
MEA And DEA Solutions	0.002
DEG And TEG Solutions	0.002
Stable Side Draw And Bottom Product	0.001-0.002
Caustic Solutions	0.002
Vegetable Oils	0.003

Fouling Resistances For Natural Gas-Gasoline Processing Streams

Gases And Vapors:	
Natural Gas	0.001-0.002
Overhead Products	0.001-0.002
Liquids:	
Lean Oil	0.002
Rich Oil	0.001-0.002
Natural Gasoline And Liquefied Petroleum Gases	0.001-0.002

Fouling Resistances For Oil Refinery Streams

Crude And Vacuum Unit Gases And Vapors:						
Atmospheric Tower Overhead Vapors	0.001					
Light Naphthas	0.001					
Vacuum Overhead Vapors	0.002					
Crude And Vacuum Liquids:						
Crude Oil						
	0 to 250 ° F VELOCITY FT/SEC			250 to 350 ° F VELOCITY FT/SEC		
	<2	2-4	>4	<2	2-4	>4
DRY	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002
SALT*	0.003	0.002	0.002	0.005	0.004	0.004
	350 to 450 ° F VELOCITY FT/SEC			450 ° F and over VELOCITY FT/SEC		
	<2	2-4	>4	<2	2-4	>4
DRY	0.004	0.003	0.003	0.005	0.004	0.004
SALT*	0.006	0.005	0.005	0.007	0.006	0.006
*Assumes desalting @ approx. 250 ° F						
Gasoline	0.002					
Naphtha And Light Distillates	0.002-0.003					
Kerosene	0.002-0.003					
Light Gas Oil	0.002-0.003					
Heavy Gas Oil	0.003-0.005					
Heavy Fuel Oils	0.005-0.007					
Asphalt And Residuum:						
Vacuum Tower Bottoms	0.010					
Atmosphere Tower Bottoms	0.007					
Cracking And Coking Unit Streams:						
Overhead Vapors	0.002					
Light Cycle Oil	0.002-0.003					
Heavy Cycle Oil	0.003-0.004					
Light Coker Gas Oil	0.003-0.004					
Heavy Coker Gas Oil	0.004-0.005					
Bottoms Slurry Oil (4.5 Ft/Sec Minimum)	0.003					
Light Liquid Products	0.002					

Fouling Resistances For Industrial Fluids

Oils:	
Fuel Oil #2	0.002
Fuel Oil #6	0.005
Transformer Oil	0.001
Engine Lube Oil	0.001
Quench Oil	0.004
Gases And Vapors:	
Manufactured Gas	0.010
Engine Exhaust Gas	0.010
Steam (Non-Oil Bearing)	0.0005
Exhaust Steam (Oil Bearing)	0.0015-0.002
Refrigerant Vapors (Oil Bearing)	0.002
Compressed Air	0.001
Ammonia Vapor	0.001
CO ₂ Vapor	0.001
Chlorine Vapor	0.002
Coal Flue Gas	0.010
Natural Gas Flue Gas	0.005
Liquids:	
Molten Heat Transfer Salts	0.0005
Refrigerant Liquids	0.001
Hydraulic Fluid	0.001
Industrial Organic Heat Transfer Media	0.002
Ammonia Liquid	0.001
Ammonia Liquid (Oil Bearing)	0.003
Calcium Chloride Solutions	0.003
Sodium Chloride Solutions	0.003
CO ₂ Liquid	0.001
Chlorine Liquid	0.002
Methanol Solutions	0.002
Ethanol Solutions	0.002
Ethylene Glycol Solutions	0.002

TUBOS CON FALLA DE ORIGEN

FES-CUAUTITLÁN

PLANILLA CUENTA TUBOS

UNAM

3/4" O.D. TUBES ON 1 1/4" PITCH

SHELL I.D. (Inches)	THICK TUBE SHEET No. of SHEETS			OUTSIDE PAILED FLANGING HEAD			"U" TUBE No. of TUBES		
	1	2	4	1	2	4	1	2	4
	5.00	12	12	12	12	6	4	4	2
6.00	21	18	16	16	12	12	4	4	4
7.00	27	24	21	21	18	14	12	10	10
10.00	63	60	57	57	50	50	22	20	20
12.00	81	76	72	72	63	54	24	24	24
12.75	112	112	112	112	96	84	30	30	30
15.25	156	144	132	132	126	102	36	36	36
17.75	216	198	180	180	171	147	42	42	42
19.75	259	229	214	214	198	168	48	48	48
21.25	315	276	258	258	234	198	54	54	54
23.25	378	330	300	300	270	225	60	60	60
25.00	447	396	360	360	324	270	66	66	66
27.00	516	456	420	420	378	315	72	72	72
29.00	597	522	480	480	432	360	78	78	78
31.00	678	606	570	570	504	420	84	84	84
33.00	762	684	648	648	567	462	90	90	90
35.00	858	768	726	726	630	510	96	96	96
37.00	957	858	816	816	702	567	102	102	102
39.00	1062	954	912	912	774	624	108	108	108
42.00	1224	1116	1068	1068	882	726	120	120	120
45.00	1416	1278	1224	1224	1008	834	132	132	132
48.00	1638	1476	1416	1416	1134	936	144	144	144
51.00	1896	1716	1644	1644	1278	1050	156	156	156
54.00	2196	1944	1866	1866	1434	1170	168	168	168
57.00	2544	2268	2178	2178	1608	1302	180	180	180

3/4" O.D. TUBES ON 1" PITCH

SHELL I.D. (Inches)	THICK TUBE SHEET No. of SHEETS			OUTSIDE PAILED FLANGING HEAD			"U" TUBE No. of TUBES		
	1	2	4	1	2	4	1	2	4
	5.00	12	12	12	12	6	4	4	2
6.00	24	24	24	24	12	12	4	4	4
7.00	36	36	36	36	18	18	6	6	6
10.00	84	84	84	84	42	42	12	12	12
12.00	108	108	108	108	54	54	16	16	16
12.75	144	144	144	144	72	72	20	20	20
15.25	198	198	198	198	108	108	24	24	24
17.75	252	252	252	252	144	144	28	28	28
19.75	306	306	306	306	180	180	32	32	32
21.25	360	360	360	360	216	216	36	36	36
23.25	420	420	420	420	252	252	40	40	40
25.00	480	480	480	480	288	288	44	44	44
27.00	540	540	540	540	324	324	48	48	48
29.00	600	600	600	600	360	360	52	52	52
31.00	660	660	660	660	396	396	56	56	56
33.00	720	720	720	720	432	432	60	60	60
35.00	780	780	780	780	468	468	64	64	64
37.00	840	840	840	840	504	504	68	68	68
39.00	900	900	900	900	540	540	72	72	72
42.00	1020	1020	1020	1020	612	612	80	80	80
45.00	1170	1170	1170	1170	696	696	88	88	88
48.00	1344	1344	1344	1344	792	792	96	96	96
51.00	1536	1536	1536	1536	900	900	104	104	104
54.00	1746	1746	1746	1746	1020	1020	112	112	112
57.00	1974	1974	1974	1974	1152	1152	120	120	120

1" O.D. TUBES ON 1 1/4" PITCH

SHELL I.D. (Inches)	THICK TUBE SHEET No. of SHEETS			OUTSIDE PAILED FLANGING HEAD			"U" TUBE No. of TUBES		
	1	2	4	1	2	4	1	2	4
	5.00	8	8	8	8	4	4	0	0
6.00	16	16	16	16	8	8	2	2	2
7.00	24	24	24	24	12	12	4	4	4
10.00	48	48	48	48	24	24	8	8	8
12.00	64	64	64	64	32	32	10	10	10
12.75	88	88	88	88	42	42	12	12	12
15.25	116	116	116	116	56	56	14	14	14
17.75	144	144	144	144	72	72	16	16	16
19.75	184	175	168	168	96	96	18	18	18
21.25	224	210	202	202	120	120	20	20	20
23.25	264	245	236	236	144	144	22	22	22
25.00	304	280	268	268	168	168	24	24	24
27.00	344	315	302	302	192	192	26	26	26
29.00	384	348	332	332	216	216	28	28	28
31.00	424	384	364	364	240	240	30	30	30
33.00	464	424	400	400	264	264	32	32	32
35.00	504	464	436	436	288	288	34	34	34
37.00	544	504	472	472	312	312	36	36	36
39.00	584	544	508	508	336	336	38	38	38
42.00	664	624	584	584	384	384	42	42	42
45.00	744	704	656	656	432	432	46	46	46
48.00	824	784	728	728	480	480	50	50	50
51.00	904	864	808	808	528	528	54	54	54
54.00	984	944	888	888	576	576	58	58	58
57.00	1064	1024	968	968	624	624	62	62	62

1" O.D. TUBES ON 1 1/4" PITCH

SHELL I.D. (Inches)	THICK TUBE SHEET No. of SHEETS			OUTSIDE PAILED FLANGING HEAD			"U" TUBE No. of TUBES		
	1	2	4	1	2	4	1	2	4
	5.00	8	8	8	8	4	4	0	0
6.00	16	16	16	16	8	8	2	2	2
7.00	24	24	24	24	12	12	4	4	4
10.00	48	48	48	48	24	24	8	8	8
12.00	64	64	64	64	32	32	10	10	10
12.75	88	88	88	88	42	42	12	12	12
15.25	116	116	116	116	56	56	14	14	14
17.75	144	144	144	144	72	72	16	16	16
19.75	184	175	168	168	96	96	18	18	18
21.25	224	210	202	202	120	120	20	20	20
23.25	264	245	236	236	144	144	22	22	22
25.00	304	280	268	268	168	168	24	24	24
27.00	344	315	302	302	192	192	26	26	26
29.00	384	348	332	332	216	216	28	28	28
31.00	424	384	364	364	240	240	30	30	30
33.00	464	424	400	400	264	264	32	32	32
35.00	504	464	436	436	288	288	34	34	34
37.00	544	504	472	472	312	312	36	36	36
39.00	584	544	508	508	336	336	38	38	38
42.00	664	624	584	584	384	384	42	42	42
45.00	744	704	656	656	432	432	46	46	46
48.00	824	784	728	728	480	480	50	50	50
51.00	904	864	808	808	528	528	54	54	54
54.00	984	944	888	888	576	576	58	58	58
57.00	1064	1024	968	968	624	624	62	62	62

FES CON FALLA DE ORIGEN

FES-CUAUTITLÁN

PLANILLA CUENTA TUBOS

UNAM

1" O.D. TUBES ON 1-1/4" PITCH

SHELL I. D. (Inches)	FIRED TUBE SHEET			OUTSIDE PACARD HEATING HEAD			"U" TUBE		
	No. of PASSES			No. of PASSES			No. of PASSES		
	1	2	4	1	2	4	1	2	4
5.047	8	6	4	5	4	4	0	0	0
6.065	12	10	8	12	10	8	7	7	4
7.981	24	20	16	21	18	16	5	4	
10.02	37	32	24	37	32	24	17	10	
12.00	57	53	48	52	46	40	18	16	
13.75	70	70	64	61	58	56	25	22	
15.25	97	90	84	89	87	76	35	37	
17.25	129	120	112	113	112	104	48	44	
19.25	162	152	142	148	136	128	62	60	
21.25	207	195	184	180	174	168	78	76	
23.25	235	224	200	223	210	200	160	94	
25.00	275	264	256	261	248	236	116	110	
27.00	326	315	300	308	296	296	181	136	
29.00	379	363	360	359	345	336	164	160	
31.00	436	422	410	414	401	388	191	184	
33.00	495	478	472	477	460	448	220	212	
35.00	556	552	538	540	526	508	249	242	
37.00	617	613	598	608	588	568	281	274	
39.00	705	685	672	674	654	640	315	310	
42.00	822	799	784	788	760	748	375	364	
45.00	916	927	912	910	895	864	436	426	
48.00	1079	1061	1052	1037	1018	1000	501	500	
51.00	1220	1199	1178	1181	1160	1142	569	558	
54.00	1389	1359	1340	1337	1307	1291	646	632	
60.00	1714	1691	1660	1658	1627	1592	807	785	

1-1/4" O.D. TUBES ON 1-9/16" PITCH

SHELL I. D. (Inches)	FIRED TUBE SHEET			OUTSIDE PACARD HEATING HEAD			"U" TUBE		
	No. of PASSES			No. of PASSES			No. of PASSES		
	1	2	4	1	2	4	1	2	4
5.047	7	4	4	0	0	0	0	0	0
6.065	8	6	4	7	6	4	0	0	0
7.981	19	14	12	14	14	8	3	1	
10.02	29	26	20	29	26	20	7	6	
12.00	42	38	28	37	36	28	11	10	
13.75	52	54	44	48	44	36	14	14	
15.25	69	68	50	64	62	49	19	18	
17.25	92	85	74	85	78	62	22	22	
19.25	120	110	100	110	102	90	32	32	
21.25	147	138	128	138	130	114	39	36	
23.25	182	168	156	162	152	144	45	46	
25.00	196	186	184	184	182	172	51	50	
27.00	231	226	224	221	216	208	58	57	
29.00	282	269	264	262	252	248	66	64	
31.00	313	313	294	322	307	280	74	74	
33.00	357	356	332	355	332	318	83	84	
35.00	416	401	381	392	383	364	93	91	
37.00	471	451	432	441	429	412	105	104	
39.00	531	521	498	495	479	462	124	124	
42.00	576	579	570	576	557	544	140	140	
45.00	627	623	620	632	620	608	157	156	
48.00	700	687	678	692	675	678	178	178	
51.00	806	811	802	804	799	792	201	201	
54.00	908	904	898	902	892	884	222	222	
60.00	1243	1242	1210	1242	1230	1210	286	276	

1-1/4" O.D. TUBES ON 1-9/16" PITCH

SHELL I. D. (Inches)	FIRED TUBE SHEET			OUTSIDE PACARD HEATING HEAD			"U" TUBE		
	No. of PASSES			No. of PASSES			No. of PASSES		
	1	2	4	1	2	4	1	2	4
5.047	4	4	4	0	0	0	0	0	0
6.065	6	6	4	6	6	4	0	0	0
7.981	12	12	12	12	12	12	3	2	
10.02	24	24	16	21	16	16	6	4	
12.00	37	34	32	32	32	32	10	10	
13.75	45	42	42	38	38	32	14	14	
15.25	61	52	52	52	52	52	21	18	
17.25	80	76	76	70	70	68	28	28	
19.25	97	85	84	83	88	88	37	34	
21.25	124	124	120	112	112	112	49	48	
23.25	145	145	144	138	138	130	62	60	
25.00	172	168	164	164	164	156	70	68	
27.00	210	202	202	193	184	184	83	88	
29.00	241	234	230	224	224	216	102	98	
31.00	272	268	268	254	256	256	116	116	
33.00	316	306	302	296	296	282	136	134	
35.00	358	353	338	336	332	332	156	148	
37.00	396	387	384	378	370	370	174	174	
39.00	442	438	434	428	422	414	194	196	
42.00	518	518	502	492	492	484	236	228	
45.00	602	607	588	570	564	556	276	268	
48.00	687	681	676	658	648	648	314	310	
51.00	770	760	756	747	729	722	354	354	
54.00	852	846	846	838	823	810	402	402	
60.00	1084	1076	1054	1042	1034	1026	506	496	

1-1/4" O.D. TUBES ON 1-9/16" PITCH

SHELL I. D. (Inches)	FIRED TUBE SHEET			OUTSIDE PACARD HEATING HEAD			"U" TUBE		
	No. of PASSES			No. of PASSES			No. of PASSES		
	1	2	4	1	2	4	1	2	4
5.047	5	4	2	0	0	0	0	0	0
6.065	6	6	4	6	4	4	0	0	0
7.981	13	10	8	17	10	8	7	2	
10.02	24	22	16	21	18	16	6	6	
12.00	37	32	24	37	32	24	10	10	
13.75	45	40	40	37	37	32	13	12	
15.25	60	56	56	57	57	48	20	18	
17.25	79	74	76	73	74	76	28	26	
19.25	97	94	94	90	90	84	37	34	
21.25	124	116	112	117	108	102	48	44	
23.25	148	142	136	140	138	128	60	56	
25.00	174	166	160	162	162	156	71	68	
27.00	209	202	192	191	188	184	85	82	
29.00	248	236	232	221	216	208	100	96	
31.00	279	284	268	261	248	244	114	110	
33.00	314	307	302	300	286	280	134	128	
35.00	359	345	332	341	330	320	153	148	
37.00	401	387	380	384	372	360	173	168	
39.00	442	427	424	424	412	404	195	191	
42.00	527	526	540	491	484	472	239	231	
45.00	603	583	578	578	562	552	278	264	
48.00	687	680	680	660	648	640	309	302	
51.00	777	767	776	743	728	716	354	346	
54.00	875	857	850	843	827	812	402	391	
60.00	1056	1050	1026	1038	1020	1016	506	490	

FES-CUAUTITLÁN

PLANILLA CUENTA TUBOS

UNAM

3/4" O.D. TUBES ON 15/16" PITCH

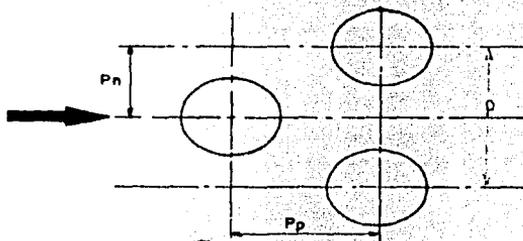
SHELL I.D. (Inches)	FIELD TUBE SHEET			OUTSIDE PACKED FLOTTING HEAD			"U" TUBE		
	No. OF PASSES			No. OF PASSES			No. OF PASSES		
	1	2	4	1	2	4	1	2	4
1.047	15	16	12	10	10	4	1	2	4
6.645	25	20	16	19	18	12	1	2	4
7.561	52	48	36	38	36	24	16	17	12
8.327	63	56	42	46	42	30	20	20	15
9.093	116	112	84	112	108	84	36	40	30
9.859	147	144	108	144	138	108	48	52	40
10.625	200	192	144	192	186	144	64	72	54
11.391	276	264	192	264	258	192	84	96	72
12.157	352	336	252	336	324	252	108	120	96
12.923	428	408	312	408	396	312	144	156	120
13.689	504	480	360	480	468	360	180	192	150
14.455	580	552	420	552	540	420	216	232	180
15.221	656	624	480	624	612	480	252	272	210
15.987	732	696	540	696	684	540	288	312	240
16.753	808	768	600	768	756	600	324	352	270
17.519	884	840	660	840	828	660	360	392	300
18.285	960	912	720	912	900	720	396	432	330
19.051	1036	984	780	984	972	780	432	472	360
19.817	1112	1056	840	1056	1044	840	468	512	390
20.583	1188	1128	900	1128	1116	900	504	552	420
21.349	1264	1200	960	1200	1188	960	540	592	450
22.115	1340	1272	1020	1272	1260	1020	576	632	480
22.881	1416	1344	1080	1344	1332	1080	612	672	510
23.647	1492	1416	1140	1416	1404	1140	648	712	540
24.413	1568	1488	1200	1488	1476	1200	684	752	570
25.179	1644	1560	1260	1560	1548	1260	720	792	600
25.945	1720	1632	1320	1632	1620	1320	756	832	630
26.711	1796	1704	1380	1704	1692	1380	792	872	660
27.477	1872	1776	1440	1776	1764	1440	828	912	690
28.243	1948	1848	1500	1848	1836	1500	864	952	720
29.009	2024	1920	1560	1920	1908	1560	900	992	750

3/4" O.D. TUBES ON 1 1/2" PITCH

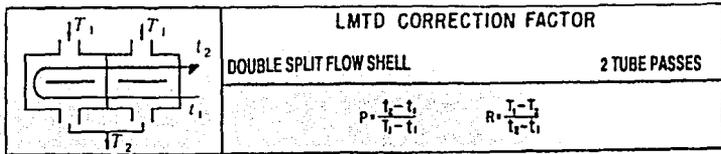
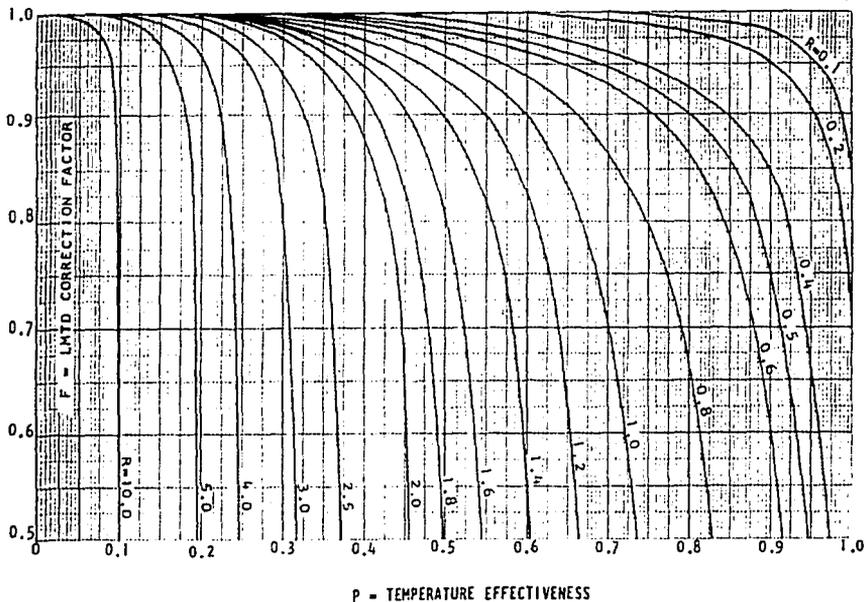
SHELL I.D. (Inches)	FIELD TUBE SHEET			OUTSIDE PACKED FLOTTING HEAD			"U" TUBE		
	No. OF PASSES			No. OF PASSES			No. OF PASSES		
	1	2	4	1	2	4	1	2	4
5.047	18	18	18	18	18	18	1	2	4
6.063	22	18	18	19	18	18	1	2	4
7.081	42	36	36	38	36	36	1	2	4
8.097	71	63	54	64	63	54	1	2	4
9.113	100	90	72	92	90	72	1	2	4
10.129	129	120	96	122	120	96	1	2	4
11.145	158	150	120	152	150	120	1	2	4
12.161	187	180	144	182	180	144	1	2	4
13.177	216	210	168	212	210	168	1	2	4
14.193	245	240	192	242	240	192	1	2	4
15.209	274	270	216	272	270	216	1	2	4
16.225	303	300	240	302	300	240	1	2	4
17.241	332	330	264	332	330	264	1	2	4
18.257	361	360	288	362	360	288	1	2	4
19.273	390	390	312	392	390	312	1	2	4
20.289	419	420	336	422	420	336	1	2	4
21.305	448	450	360	452	450	360	1	2	4
22.321	477	480	384	482	480	384	1	2	4
23.337	506	510	408	512	510	408	1	2	4
24.353	535	540	432	542	540	432	1	2	4
25.369	564	570	456	572	570	456	1	2	4
26.385	593	600	480	602	600	480	1	2	4
27.401	622	630	504	632	630	504	1	2	4
28.417	651	660	528	662	660	528	1	2	4
29.433	680	690	552	692	690	552	1	2	4
30.449	709	720	576	722	720	576	1	2	4
31.465	738	750	600	752	750	600	1	2	4
32.481	767	780	624	782	780	624	1	2	4
33.497	796	810	648	812	810	648	1	2	4
34.513	825	840	672	842	840	672	1	2	4
35.529	854	870	696	872	870	696	1	2	4
36.545	883	900	720	902	900	720	1	2	4
37.561	912	930	744	932	930	744	1	2	4
38.577	941	960	768	962	960	768	1	2	4
39.593	970	990	792	992	990	792	1	2	4
40.609	1000	1020	816	1022	1020	816	1	2	4
41.625	1029	1050	840	1052	1050	840	1	2	4
42.641	1058	1080	864	1082	1080	864	1	2	4
43.657	1087	1110	888	1112	1110	888	1	2	4
44.673	1116	1140	912	1142	1140	912	1	2	4
45.689	1145	1170	936	1172	1170	936	1	2	4
46.705	1174	1200	960	1202	1200	960	1	2	4
47.721	1203	1230	984	1232	1230	984	1	2	4
48.737	1232	1260	1008	1262	1260	1008	1	2	4
49.753	1261	1290	1032	1292	1290	1032	1	2	4
50.769	1290	1320	1056	1322	1320	1056	1	2	4

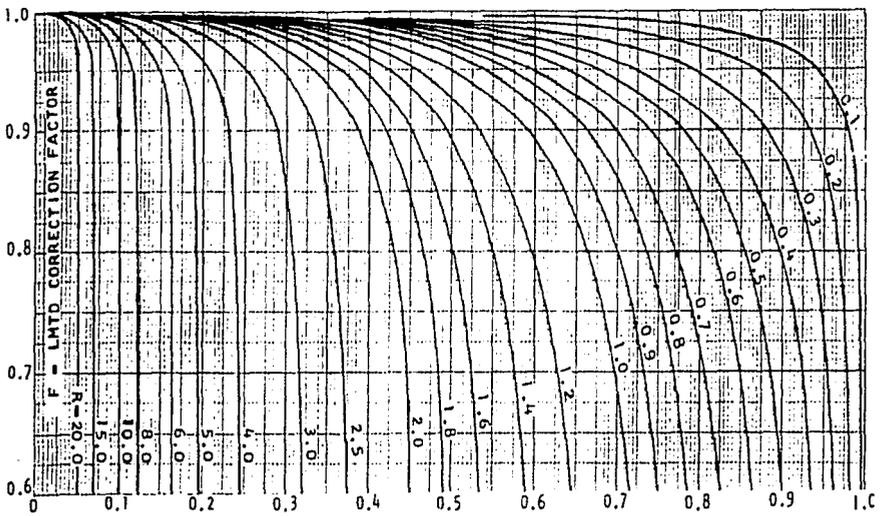
TRIS CON FALLA DE ORIGEN

TRIS CON FALLA DE ORIGEN

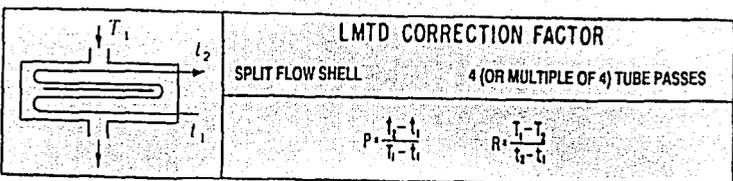


DIAMETRO EXTERNO DEL TUBO d_o , in.	ESPACIAMIENTO ENTRE TUBOS p , in.	ARREGLO	P_p , in.	P_n , in.
5/8 = 0.62	13/16 = 0.812	→ ◁	0.704	0.406
3/4 = 0.750	15/16 = 0.938	→ ◁	0.814	0.469
3/4 = 0.750		→ ◻	1.000	1.000
3/4 = 0.750		→ ◊	0.707	0.707
3/4 = 0.750		→ ◁	0.888	0.500
	1 1/4 = 1.250	→ ◻	1.250	1.250
	1 1/4 = 1.250	→ ◊	0.884	0.884
	1 1/4 = 1.250	→ ◁	1.082	0.625





P = TEMPERATURE EFFECTIVENESS



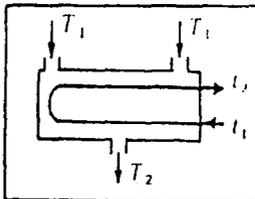
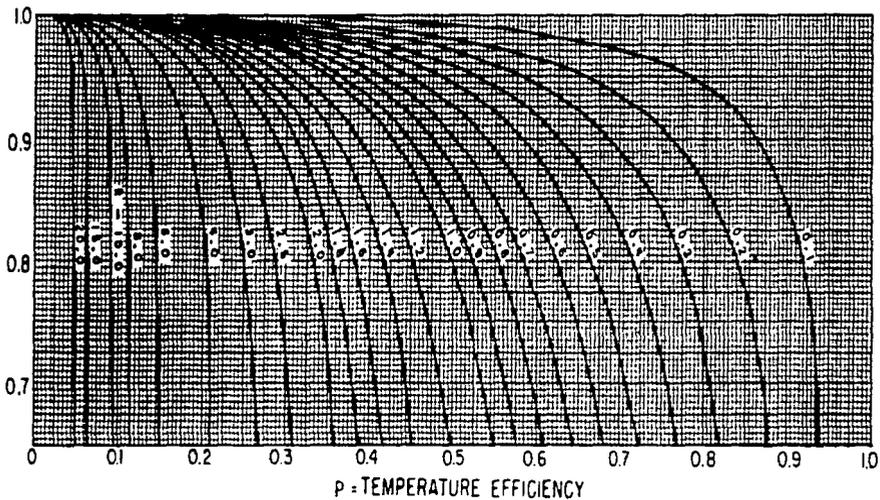
LMTD CORRECTION FACTOR

SPLIT FLOW SHELL

4 (OR MULTIPLE OF 4) TUBE PASSES

$$P = \frac{t_1 - t_2}{T_1 - t_1}$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

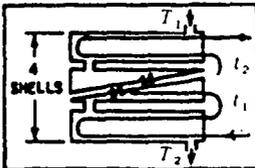
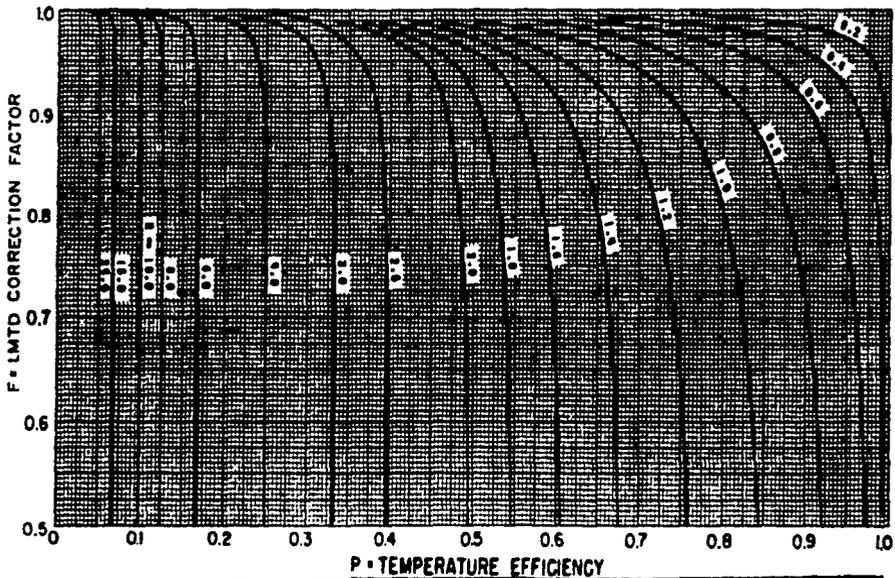


LMTD CORRECTION FACTOR

1 DIVIDED FLOW SHELL PASS EVEN NUMBER OF TUBE PASSES

$$P = \frac{t_2 - t_1}{t_1 - t_1}$$

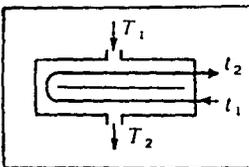
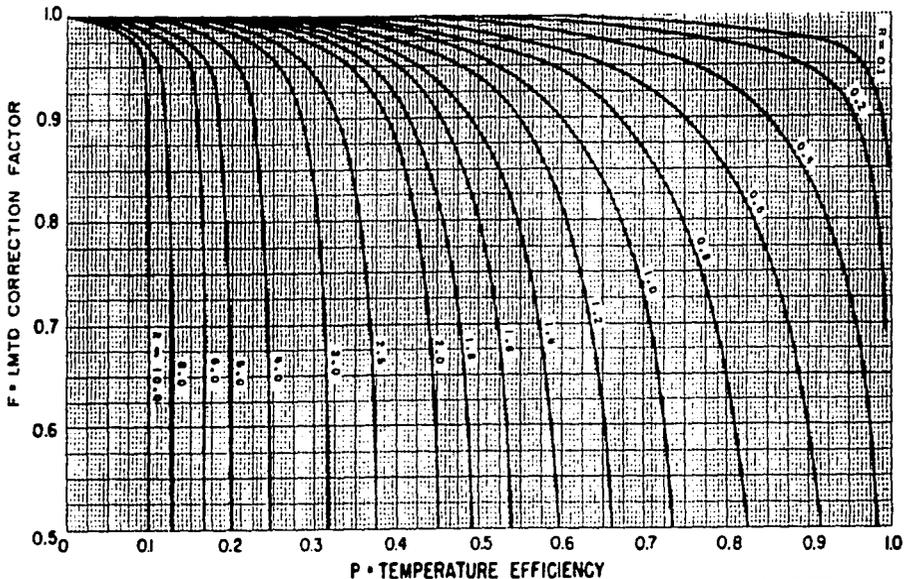
$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$



LMTD CORRECTION FACTOR
4 SHELL PASSES 8 OR MULTIPLE OF 8 TUBE PASSES

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$



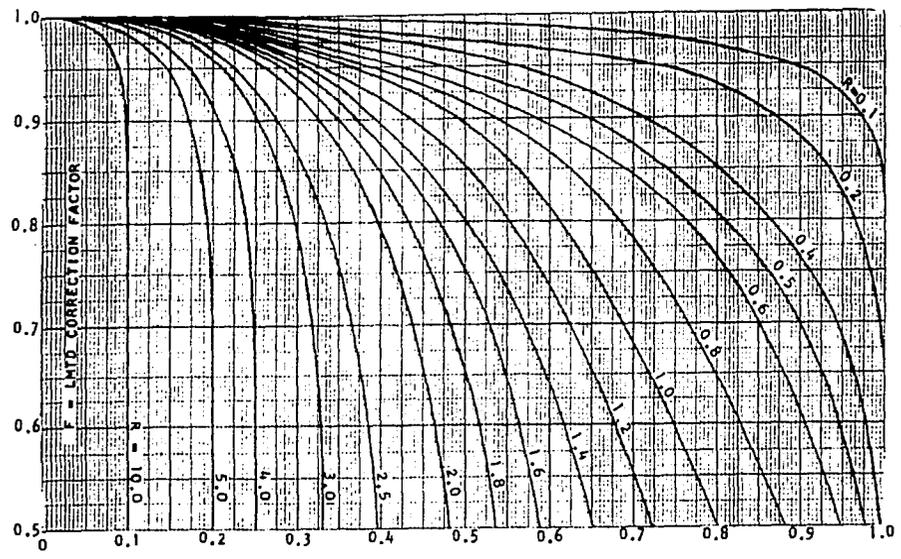
LMTD CORRECTION FACTOR

SPLIT FLOW SHELL

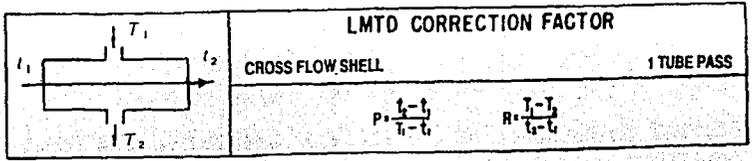
2 TUBE PASSES

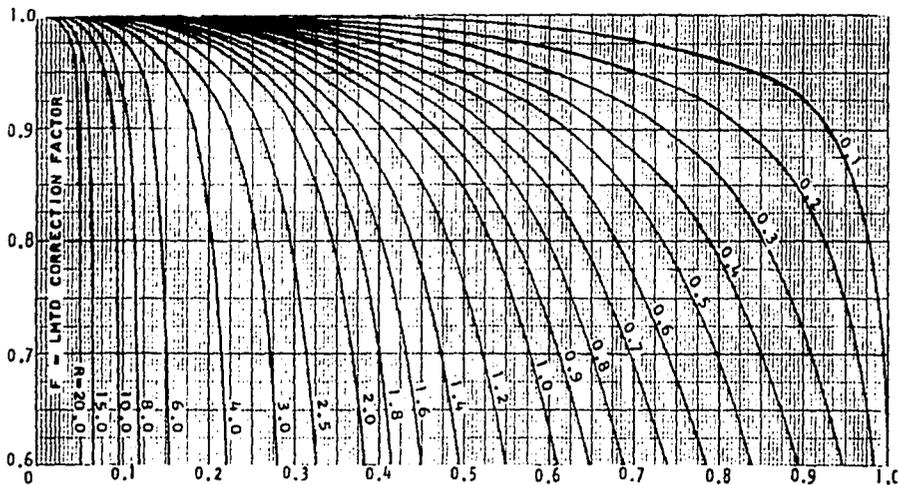
$$P = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_i}$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_1 - t_i}$$

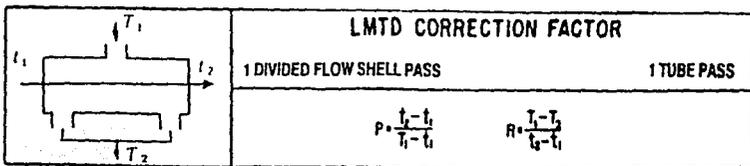


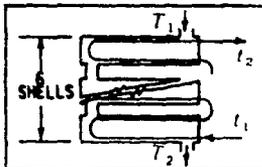
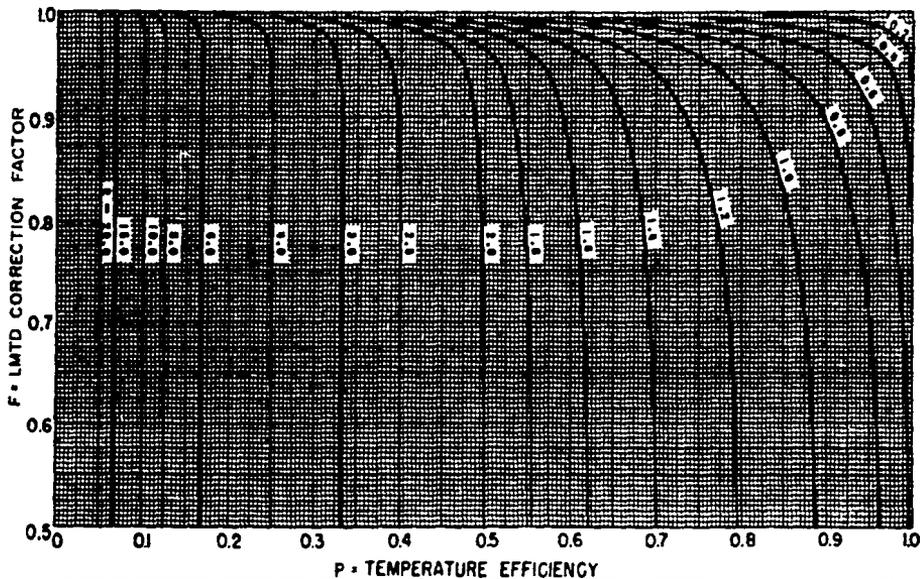
P = TEMPERATURE EFFECTIVENESS





P = TEMPERATURE EFFECTIVENESS





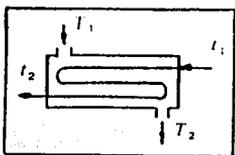
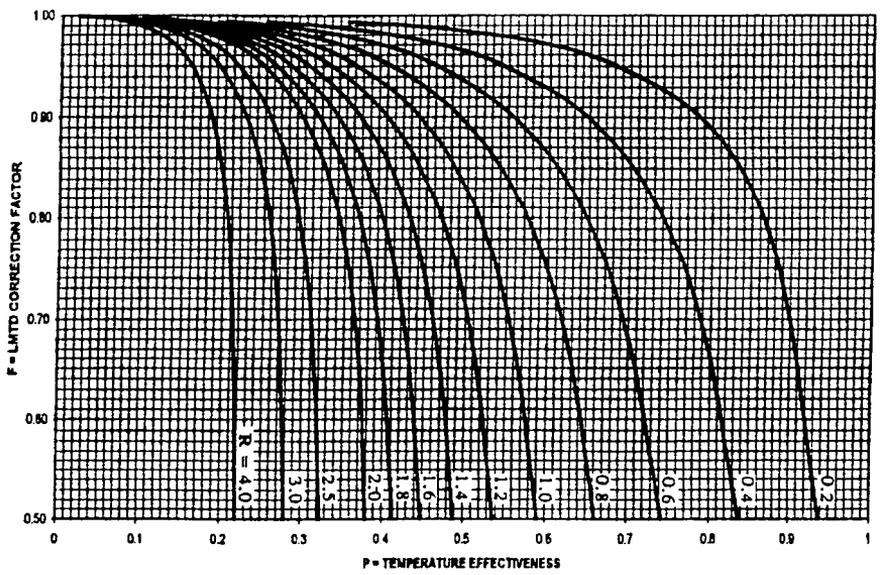
LMTD CORRECTION FACTOR

6 SHELL PASSES

12 OR MORE EVEN NUMBER OF TUBE PASSES

$$P = \frac{t_2 - t_1}{t_1 - t_1}$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$



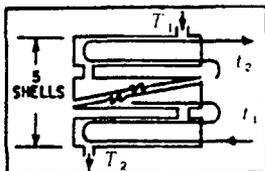
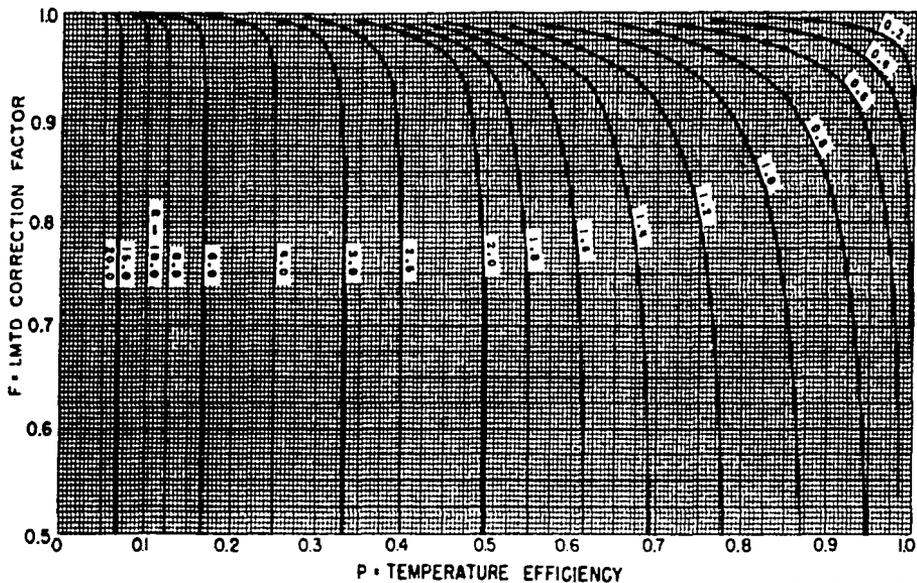
LMTD CORRECTION FACTOR

1 SHELL PASS

3 TUBE PASSES (2 COUNTER AND 1 COCURRENT)

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - T_2}$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

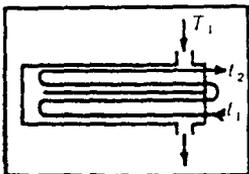
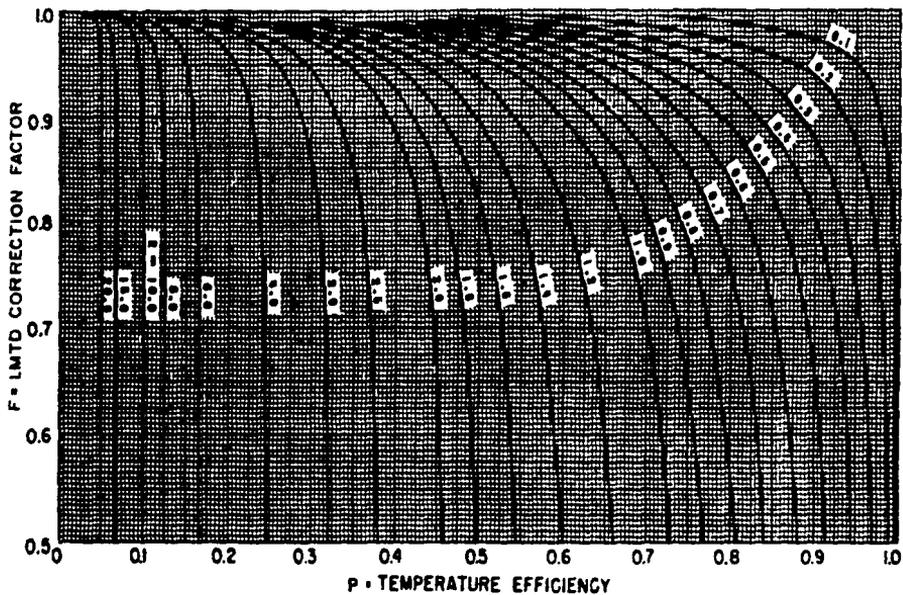


LMTD CORRECTION FACTOR

5 SHELL PASSES 10 OR MORE EVEN NUMBER OF TUBE PASSES

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - T_2}$$

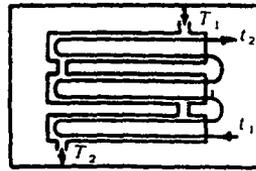
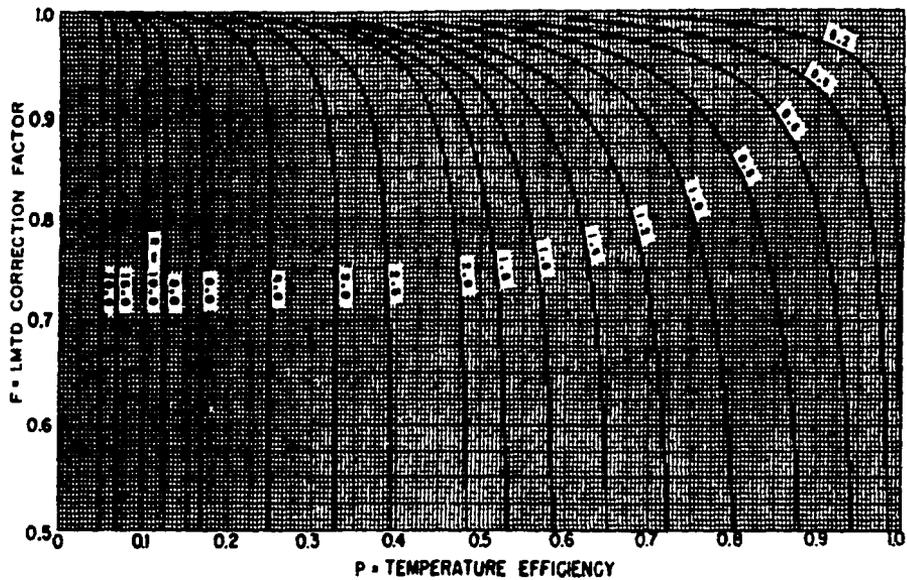
$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$



LMTD CORRECTION FACTOR
 2 SHELL PASSES 4 OR MULTIPLE OF 4 TUBE PASSES

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$



LMTD CORRECTION FACTOR
 3 SHELL PASSES 6 OR MORE EVEN NUMBER OF TUBE PASSES

$$P = \frac{t_2 - t_1}{t_1 - t_2}$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

