

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE COACALCO

Rediseño de Intercambiador de Calor de Carcaza y Tubos

Estancia.

Que para obtener el título de

Ingeniero en Mecatrónica

Con la especialidad de Manufactura

Presenta:

Benjamín Uriel Castañeda Sanchez

Matricula: 201510014

Asesor: Ing. Francisco Javier Sanchez Rico

Coacalco de Berriozábal, Febrero.2024.

RESUMEN

La realización de este proyecto se debe a la problemática que tenía la línea de producción de helados de Nestlé ya que se requería un vareador de temperatura para la base de helado que permitiera cambiar temperatura de la base de helado sin llegar a su degradación por el calor, con base en esta problemática, la solución fue mejorar el diseño del intercambiador de tubo y carcasa que ellos tenían en su proceso, ya que su funcionamiento era erróneo.

Por otro lado, se realizará el modelaje en 3D del intercambiador mediante el programa de diseño Solid Works, logrando observar todos los componentes que lo conforman mediante una vista explosionada.

A su vez se abarcará de igual modo los diferentes tipos de Intercambiadores que existen, así como su tipo de estructura, funcionalidad y aplicaciones.

ÍNDICE

RESUMEN	2
ÍNDICE	3
CAPÍTULO I	6
GENERALIDADES DEL PROYECTO	6
INTRODUCCIÓN	7
PROBLEMA A RESOLVER	8
OBJETIVOS	9
JUSTIFICACIÓN	10
ALCANCE Y LIMITACIONES	11
CAPÍTULO II	12
MARCO TEÓRICO	12
INTERCAMBIADOR DE CALOR.	13
TIPOS DE FLUIDOS UTILIZADOS EN LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	13
TIPOS DE FLUJO DENTRO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.	14
CLASIFICACION DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR.	15
CARACTERISTICAS DE LOS DISTITNOS TIPOS DE INTERCAMBIADORES.....	18
CAPÍTULO III	37
DESARROLLO	37
Seguir el protocolo de realización de proyectos interno (problemática, solución, adquisición de materia prima y fabricación).	38
Recibir plano mecánico ha rediseñar y realizar las modificaciones correspondientes.....	40
*Proyección y diseño.....	40
Fabricar, ensamblar y pulir equipo en línea de producción.	48
*Fabricación.	48
CAPÍTULO IV	56

RESULTADOS	56
CONCLUSIONES	58
OBJETIVOS EDUCACIONALES	59
FUENTES DE INFORMACIÓN	60
ANEXOS.	61
.....	61
.....	62

TABLA DE FIGURAS.

Figura 1 Intercambiadores de calor de flujo paralelo (Fernández.)	14
Figura 2 Intercambiadores de calor a contra flujo. (Fernández.)	14
Figura 3 Intercambiador de calor de doble tubo.(González.).....	18
Figura 4 Partes de la estructura del intercambiador.(Fernández.).....	18
Figura 5 Intercambiador de tubo y carcasa. (Jaramillo, 2007).....	19
Figura 6 Partes de un intercambiador de tubo y carcasa.(González.).....	20
Figura 7 Intercambiador de cabezal fijo o tubo estacionario.(Carcaza).....	20
Figura 8 intercambiador con tubos en forma de U. (Carcaza)	21
Figura 9 Intercambiador de calor con un paso.(Barderas)	22
Figura 10 Intercambiador con cabezales fijos y pasos(Barderas)	23
Figura 11 Arreglo de tubos.(Carcaza).....	27
Figura 12 Intercambiador de calor tipo plato.(Jaramillo, 2007)	29
Figura 13 Estructura de un intercambiador de placas.(González.)	30
Figura 14 Configuración de placas termo soldadas de cobre. (Touceda)	31
Figura 15 Dimensiones geométricas de un Intercambiador de placas. (Touceda).....	32
Figura 16 Geometría de placas en un intercambiador de placas.(Touceda).....	32
Figura 17 Intercambiador de calor en espiral (SHE).(González.).....	33
Figura 18 Intercambiador de coraza y tubos en espiral plana. (JUAN GONZALO ARDILA MARÍN, 2012).....	34
Figura 19 Arreglo para Intercambiador Helicoidal.(JUAN GONZALO ARDILA MARÍN, 2012).....	34

Figura 20 Intercambiador de Tubos Concéntricos en espiral. (JUAN GONZALO ARDILA MARÍN, 2012).....	35
Figura 21 Intercambiador de flujo cruzado enfriados por aire(González.).....	36
Figura 22 Formato de Certificados de Calidad	40
Figura 23 Plano del Intercambiador a rediseñar	40
Figura 24 Cuerpo de intercambiador	41
Figura 25 Brida de sujeción inferior del serpentín.....	42
Figura 26 Plano de brida de carcaza	43
Figura 27 Plano de tapa abombada	44
Figura 28 Plano de brida superior del serpentín	45
Figura 29 Plano de tapa abombada sin entrada y salida.....	46
Figura 30 Ensamble del Intercambiador	47
Figura 31 Vista explosionada con tabla de elementos del intercambiador	48
Figura 32 Cuerpo o carcaza del intercambiador	50
Figura 33 Cuerpo o carcaza montada en base.....	50
Figura 34 Colocación de las entradas de agua caliente o vapor.....	50
Figura 35 Cuerpo o carcaza terminada y pulida en su totalidad	51
Figura 36 Proceso de soldado del serpentín con brida superior.....	52
Figura 37 Proceso de soldado del serpentín con brida inferior.....	52
Figura 38 Montaje completo de bridas soldadas al serpentín	53
Figura 39 Tapa abombada sin entrada y salida de agua caliente o vapor	53
Figura 40 Tapa abombada con entrada y salida de agua caliente o vapor	54
Figura 41 Vista previa de la tapa abombada con la brida del serpentín.....	54
Figura 42 Partes del Intercambiador	55
Figura 43 Intercambiador de Calor sometido a prueba neumática a 150lb.....	57

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DEL PROYECTO

INTRODUCCIÓN

Los intercambiadores de calor son dispositivos altamente usados en la rama de la industria y el comercio con el fin de realizar una transferencia de calor entre dos medios diferentes. Dentro de esta gran variedad de Intercambiadores, el intercambiador de carcasa y tubo se diferencia por su gran versatilidad y eficiencia para la transferencia de energía térmica. Estos dispositivos emplean tubos como elementos centrales dentro de la carcasa para facilitar el intercambio de calor entre dos fluidos, ya sea para calentar, enfriar o condensar.

Dentro de este trabajo se observarán las características del funcionamiento del intercambiador de carcasa con tubos, así como detalles de su estructura, y su aplicación en los diferentes ámbitos industriales. A su vez se abarcarán los distintos tipos de intercambiadores que existen así mismo como su funcionamiento y estructura.

Estos dispositivos desempeñan un papel crucial en diversos sectores, optimizando la eficiencia energética y contribuyendo al ahorro de recursos.

Se abarcará el modelo tridimensional de los componentes que conforman la estructura del intercambiador, con ayuda del software SolidWorks, mediante planos, y una vista explosionada para visualizar los elementos que lo componen.

PROBLEMA A RESOLVER

Rediseñar un intercambiador de calor con el fin de lograr varear la temperatura para la base de helado sin llegar a su degradación y que logre soportar la presión de trabajo requerida para este proceso.

OBJETIVOS

Objetivo general

Rediseñar un intercambiador de tubo y carcasa.

Objetivos específicos

1. Seguir el protocolo de realización de proyectos interno (problemática, solución, adquisición de materia prima y fabricación).
2. Recibir plano mecánico ha rediseñar y realizar las modificaciones correspondientes.
3. Fabricar, ensamblar y pulir equipo en línea de producción.

JUSTIFICACIÓN

El rediseño lograra que el proceso de producción funcione de manera adecuada, evitando la degradación de la materia prima manteniendo una temperatura constante sin presentar caídas de presión, esto evitara el problema que presentaban anteriormente de la degradación de la materia prima, paros de producción, entre otros.

ALCANCE Y LIMITACIONES

Alcance.

Rediseñar un intercambiador de temperatura con el cual el proceso de fabricación de helado sea el correcto mediante el ajuste del diámetro del cuerpo y las bridas de sujeción, permitiendo un mejor paso del fluido del material, y colocando un sistema hermético para evitar la pérdida de presión durante el trabajo.

Limitaciones.

Tiempo: El tiempo dado para la realización fue muy poco afectando así el tiempo de cotizaciones, obtención de materia prima y fabricación.

Complejidad de Diseño: A pesar de ser el más comúnmente usado el diseño es complejo y fue un reto el poder diseñar a la medida requerida el intercambiador, ya que continuamente se tuvo que rediseñar todo desde cero para que se ajustara a los planos proporcionados por nuestro cliente y adaptarlo a nuestra propuesta de diseño, cubriendo los puntos específicos que nos fueron impuestos.

Maquinaria: El proceso de rolado para la carcasa fue complejo ya que, se mandó a realizar externamente y los tiempos de fabricación tuvieron que ser reajustados para llegar a la meta de la fecha de entrega.

Pruebas: Contar con el tiempo necesario para la realización de las pruebas indicadas con el fin de comprobar el correcto funcionamiento del intercambiador.

Certificación de Calidad: La realización de los Certificados de Material fueron difícilmente realizados, ya que, los materiales deben poseer ciertas especificaciones de calibre, tipo de material, dureza, elongación, entre otros.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

INTERCAMBIADOR DE CALOR.

Los intercambiadores de calor son dispositivos que permiten transferir calor de un lugar a otro o bien de un fluido a otro en los sistemas mecánicos, químicos, nucleares, entre otros. Entre las principales razones por las que se utilizan los intercambiadores de calor se encuentran las siguientes.

- Calentar un fluido frío mediante un fluido con mayor temperatura.
- Reducir la temperatura de un fluido mediante un fluido con menos temperatura.
- llevar al punto de ebullición a un fluido mediante un fluido con mayor temperatura.
- condensar un fluido en estado gaseoso por medio de un fluido frío.
- llevar al punto de ebullición a un fluido mientras se condensa un fluido gaseoso con mayor temperatura.

Debe quedar claro que la función de los intercambiadores de calor es la transferencia de calor, donde los fluidos involucrados deben estar a temperaturas diferentes. Se debe tener en mente que el calor sólo se transfiere en una sola dirección, del fluido con mayor temperatura hacia el fluido de menos temperatura. En los intercambiadores de calor los fluidos no están en

contacto entre ellos, el calor es transferido del fluido con mayor temperatura hacia el de menor temperatura al encontrarse ambos fluidos en contacto térmico con las paredes metálicas que los separan. (Jaramillo, 2007)

Para llevar a cabo la transferencia de calor, el intercambiador necesita un material que sea suficientemente conductor para optimizar el intercambio, al tiempo que limita al máximo las pérdidas de calor. Tan pronto la transferencia de calor se lleva a cabo entre los dos fluidos, el intercambiador de calor ha cumplido completamente su misión.

Cabe señalar que el intercambiador de calor no solo se utiliza para calentar un fluido. Dependiendo del sistema para el que se utiliza, su función es garantizar la refrigeración del fluido, este es el caso de los aires acondicionados o refrigeradores. (Foisa, s.f.)

TIPOS DE FLUIDOS UTILIZADOS EN LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR.

Los fluidos pueden ser de naturaleza diferente dependiendo el intercambiador de calor utilizado. Por lo tanto hay intercambiadores de calor cuyos fluidos son:

*Agua.

*Refrigerante.

*Aire.

*Aceite.

*Vapor de Agua.

*Glicol (Foisa, s.f.)

TIPOS DE FLUJO DENTRO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.

*Flujo Paralelo: Ambos fluidos entran al equipo por el mismo extremo, fluyen en la misma dirección y salen por el mismo extremo.

*Flujo en Contracorriente: En esta tipo los fluidos fluyen en direcciones opuestas el uno del otro. Esta es la disposición de flujo termodinámicamente superior a cualquier otra. (Barrera, 2018)

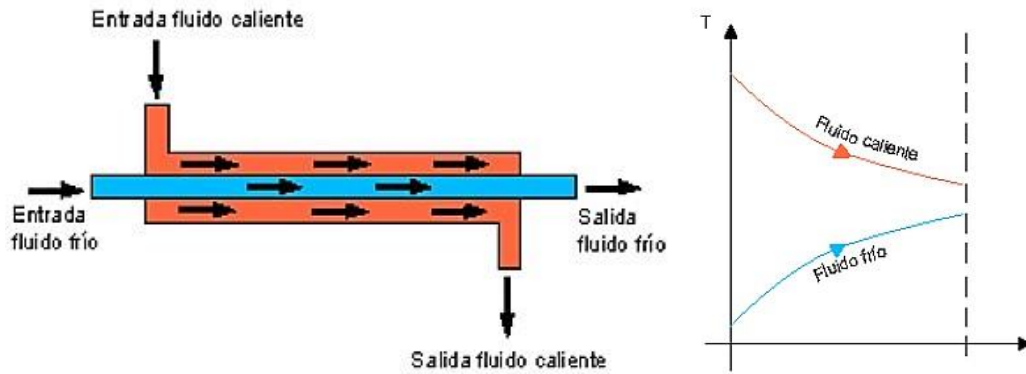


Figura 1 Intercambiadores de calor de flujo paralelo (Fernández.)

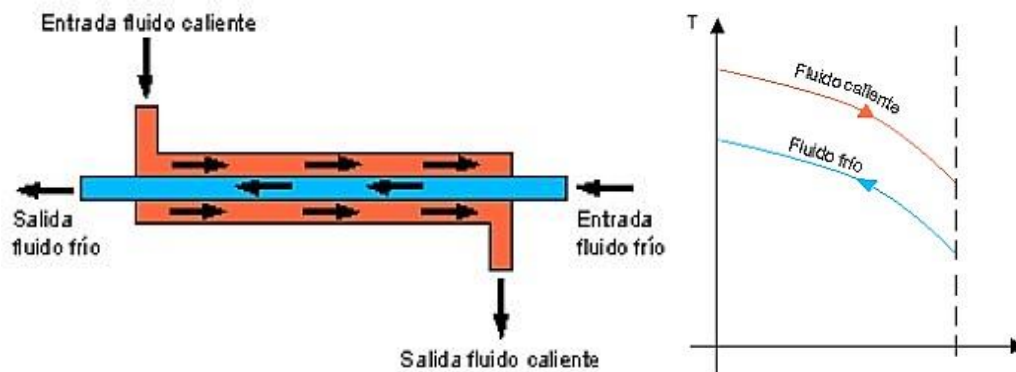


Figura 2 Intercambiadores de calor a contra flujo. (Fernández.)

CLASIFICACION DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR.

-SEGÚN EL TIPO DE SERVICIO.

*Enfriador: Sistema en el cual una corriente del proceso intercambia calor con agua o aire sin que ocurra cambio de fase.

*Calentador: Intercambiador de calor que aumenta la entalpía de una corriente, sin que ocurra un cambio de fase. Como fuente de calor se utiliza una corriente de servicio, la cual puede ser vapor de agua, aceite caliente, fluidos especiales para transferencia de calor o una corriente de proceso de entalpía alta, por ejemplo, la descarga de un reactor operado a temperaturas altas.

*Refrigerador: Unidad que utiliza una sustancia refrigerante para enfriar un fluido, hasta una temperatura menor que la obtenida, si se utilizara aire o agua como medio de enfriamiento.

*Condensador: Unidad en la cual los vapores de proceso se convierten total o parcialmente en líquidos. Generalmente se utiliza agua o aire como medio de enfriamiento.

- -Condensador de superficie: Se refiere específicamente a aquellas unidades de carcasa y tubos que se utilizan para la condensación del vapor de desecho, proveniente de las máquinas y turbinas a vapor.
- -Condensador de contacto directo: Unidad en la cual el vapor es condensado mediante contacto con gotas de agua.

*Evaporador: Intercambiadores diseñados específicamente para aumentar la concentración de las soluciones acuosas mediante la evaporación de una parte del agua.

*Vaporizador: Intercambiador que convierte líquido a vapor, el término se refiere normalmente a aquellas unidades que manejan líquidos diferentes al agua.

*Rehervidor: Vaporización que suministra el calor latente de vaporización al fondo (generalmente) de una torre fraccionadora. Hay dos tipos generales de Rehervidores; aquellos que envían dos fases a la torre para separar el vapor del líquido y los que retornan vapor solamente. Los primeros pueden operar mediante circulación natural (comúnmente llamados termosifones) o circulación forzada.

*Termosifones: Son los Rehervidores más comunes:

- Horizontales: Aquí la vaporización ocurre en el lado de la carcasa, son los más utilizados en la industria petrolera.
- Verticales: La vaporización ocurre en el lado de los tubos y se utilizan preferentemente en las industrias químicas.

En un termosifón se debe disponer de suficiente cabezal a fin de mantener la circulación natural del líquido a evaporar.

*Rehervidores de circulación forzada: Requieren de una bomba para impulsar el líquido a evaporar a través del intercambiador. Este tipo de rehervidor no se utiliza con mucha frecuencia, debido a los costos adicionales del bombeo, sin embargo, en algunos casos pueden requerirse para vencer limitaciones del cabezal hidrostático y los problemas de circulación. Los Rehervidores que retornan vapor a la torre se denominan Rehervidores de marmita (Kettle Reboilers). La mejor manera de describir la operación de estos es comparándola con una paila u olla hirviendo.

*Generador de vapor: Vaporizadores de tipo especial usados para producir vapor de agua. Como fuente de calor se utiliza generalmente el calor en exceso que no se requiere para el proceso; de allí que a estos Rehervidores se les llame comúnmente “calderas de recuperación de calor”. Al igual que los Rehervidores los generadores de vapor pueden ser del tipo Kettle, de circulación forzada o termosifones.

*Sobre calentador: Calienta el vapor por encima de su temperatura de saturación.

En teoría, el diseño de todos estos equipos es parecido, sin embargo, los cálculos de los coeficientes de transferencia de calor difieren unos de otros. Por ejemplo, hay que considerar si existe o no cambio de fase, el régimen de flujo, si el fluido es multicomponente, etc.

-DE ACUERDO CON EL PROCESO DE TRANSFERENCIA.

*De contacto directo: El calor es transferido por contacto directo entre dos corrientes, distintas fases (generalmente un gas y un líquido de muy baja presión de vapor), fácilmente separables después del proceso de transferencia de energía; como ejemplo se tienen las torres de enfriamiento de agua con flujo de aire. El flujo de aire puede ser forzado o natural.

*De contacto indirecto: Las corrientes permanecen separadas y la transferencia de calor se realiza a través de una pared divisora, o desde el interior hacia el exterior de la pared de una forma no continua. Cuando el flujo de calor es intermitente, es decir, cuando el calor se almacena primero en la superficie del equipo y luego se transmite al fluido, se denominan intercambiadores tipo transferencia indirecta o tipo almacenador o sencillamente regenerador.

-DE ACUERDO CON LOS MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

Los mecanismos básicos de transferencia de calor entre un fluido y una superficie son:

- Convección en una sola fase, forzada o libre.
- Convección con cambios de fase, forzada o libre: condensación o ebullición.
- Una combinación de convección y radiación.

-DE ACUERDO CON EL NUMERO DE FLUIDOS INVOLUCRADOS.

La mayoría de los procesos de disipación o recuperación de energía térmica envuelve la transferencia de calor entre dos fluidos, sin embargo, se encuentran equipos que operan con tres fluidos, por ejemplo, en procesos criogénicos y en algunos procesos químicos: separación aire-helio, síntesis de amoníaco, etc.

-DE ACUERDO CON LA DISPOSICION DE LOS FLUIDOS.

Depende de la eficiencia de intercambio requerida, los esfuerzos térmicos permitidos, los niveles de temperatura de los fluidos, entre otros factores. Algunas de las disposiciones de flujo más comunes son:

- **Intercambiadores de calor de paso único.**

Se distinguen tres tipos básicos.

- a) **Flujo en paralelo o cocominente**: Ambos fluidos entran al equipo por el mismo extremo, fluyen en la misma dirección y salen por el otro extremo. Las variaciones de temperatura son idealizadas como unidimensionales. Termodinámicamente es una de las disposiciones más pobres, sin embargo, se emplea en los siguientes casos: cuando los materiales son muy sensibles a la temperatura ya que produce una temperatura más uniforme; cuando se desea mantener la misma efectividad del intercambiador sobre un amplio intervalo de flujo y en procesos de ebullición, ya que favorece el inicio de la nucleación.
- b) **Flujo en contra corriente o contra flujo**: Los fluidos fluyen en direcciones opuestas el uno del otro. Las variaciones de temperatura son idealizadas como unidimensionales. Esta es la disposición de flujo termodinámicamente superior a cualquier otra.

- c) **Flujo cruzado:** Los fluidos son normales uno al otro. Las variaciones de temperatura son idealizadas como bidimensionales. Termodinámicamente la efectividad de estos equipos es intermedia a las dos anteriores.

• **Intercambiadores de calor de pasos múltiples.**

Una de las ventajas es mejorar el rendimiento total del intercambiador, con relación al paso único. Pueden encontrarse diferentes clasificaciones de acuerdo con la construcción del equipo: Paralelo-cruzado, contracorriente-paralelo, contracorriente-cruzado y combinaciones de éstos.

-DE ACUERDO CON LA COMPACTACION DE LA SUPERFICIE.

Los equipos pueden ser clasificados como compactos o no compactos. Un intercambiador compacto es aquel cuya relación superficie a volumen es alta, mayor de $700m^2/m^3$ ($213ft^2/ft^3$) valor que es arbitrario. Las ventajas más resaltantes de un intercambiador de calor compacto son los ahorros de material, espacio ocupado (volumen) y costo, pero tienen como desventajas que los fluidos deben ser limpios, poco corrosivos y uno de ellos, generalmente, en estado gaseoso.

-DE ACUERDO CON EL TIPO DE CONSTRUCCIÓN.

- Intercambiador de doble tubo.
- Intercambiador de tubo y carcaza o tubo y coraza.
- Intercambiadores enfriados por aire y Radiadores.
- Intercambiadores de placas Empacadas.
- Intercambiadores en Espiral (SHE).

**CARACTERISTICAS DE LOS DISTINTOS TIPOS DE
INTERCAMBIADORES.**

***Intercambiador de doble tubo:**

Consiste en dos tubos concéntricos, en donde una corriente circula por dentro del tubo interior mientras que la otra circula por el ángulo formado entre los tubos. Este es un tipo de intercambiador cuya construcción es fácil y económica, lo que lo hace muy útil.

Las partes principales de este son dos juegos de tubos concéntricos, dos “T” conectoras, un cabezal de retorno y un codo en un “u”. La tubería interior se soporta mediante estoperos, y el fluido entra a ella a través de una conexión localizada en la parte externa del intercambiador. Las “T” tienen conexiones que permiten la entrada y salida del fluido que circula por el ánulo y el cruce de una sección a la otra a través de un cabezal de retorno. La tubería interior se conecta mediante una conexión en “U” que generalmente se encuentra expuesta al ambiente y que no proporciona superficie efectiva de transferencia de calor.

Estos equipos son sumamente útiles, ya que se pueden fabricar en cualquier taller de plomería a partir de partes estándar obteniendo así superficies de transferencia de calor a un costo muy bajo. Generalmente se ensamblan en longitudes efectivas de 12,15 o 20 pies, en donde la longitud efectiva se define como la distancia en cada rama sobre la que ocurre transferencia de calor, excluyendo la conexión en “U” del tubo interno y sus prolongaciones. Cuando en estos equipos se emplean una longitud mayor a 20 pies, el tubo interior tiende a pandear, lo que se origina en una mala distribución de flujo en el ánulo.

La principal desventaja radica en la pequeña superficie de transferencia de calor que proporciona, por lo que, si se emplean en procesos industriales, generalmente se va a requerir de un gran número de éstos conectados en serie, lo que necesariamente involucra a una gran cantidad de espacio físico en la planta. Por otra parte, el tiempo y gastos requeridos para desmantelarlos y hacerles mantenimiento y limpieza periódica son prohibitivos comparados con otro tipo de equipos. (González.)

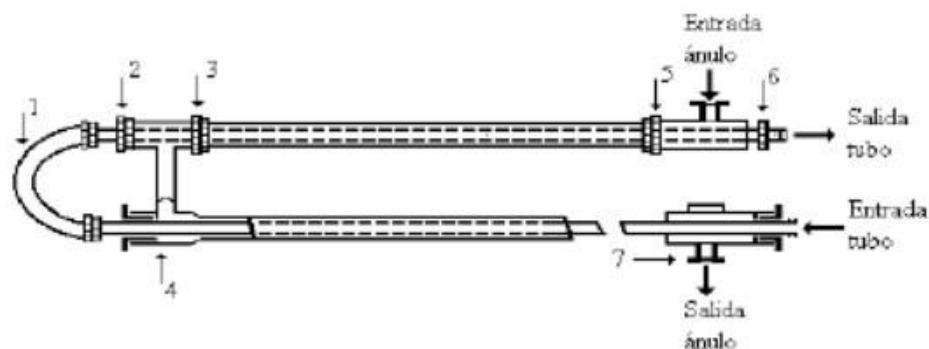


Figura 3 Intercambiador de calor de doble tubo.(González.)

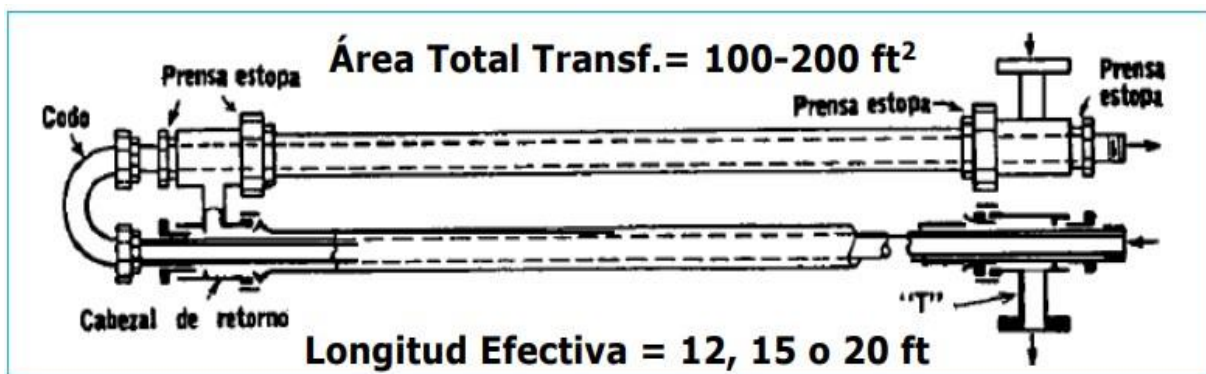


Figura 4 Partes de la estructura del intercambiador.(Fernández.)

***Intercambiador de tubo y carcaza o de tubo y coraza.**

Este tipo de intercambiador consiste en un conjunto de tubos en un contenedor llamado carcaza. El flujo del fluido dentro de los tubos se le denomina comúnmente flujo interno y aquel que fluye en el interior del contenedor como fluido de carcaza o fluido externo. En los extremos de los tubos, el fluido interno es separado del fluido externo de la carcaza por la(s) placa(s) del tubo. Los tubos se sujetan o se sueldan a una placa para proporcionar un sello adecuado. En sistemas donde los dos fluidos presentan una gran diferencia entre sus presiones, el líquido con mayor presión se hace circular típicamente a través de los tubos y el líquido con una presión más baja se circula del lado de la carcaza. (Jaramillo, 2007)

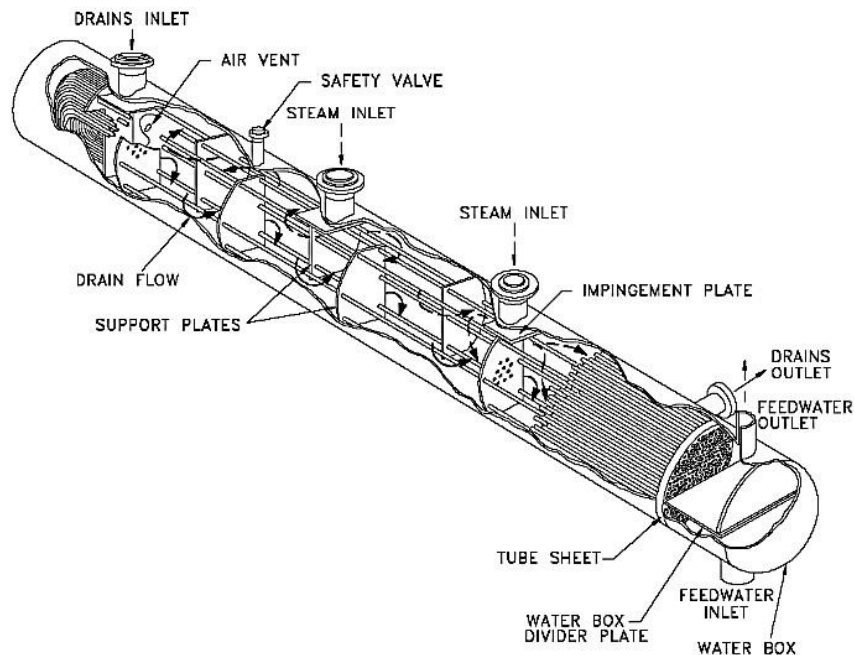


Figura 5 Intercambiador de tubo y carcasa. (Jaramillo, 2007)

Algunas ventajas que proporciona este tipo de intercambiador son las siguientes:

- Proporciona flujos de calor elevados en relación con su peso y volumen.
- Es relativamente fácil de construir en una gran variedad de tamaños.
- Facilidad de mantenimiento y limpieza.
- Es versátil y puede ser diseñado para cumplir prácticamente con cualquier aplicación.

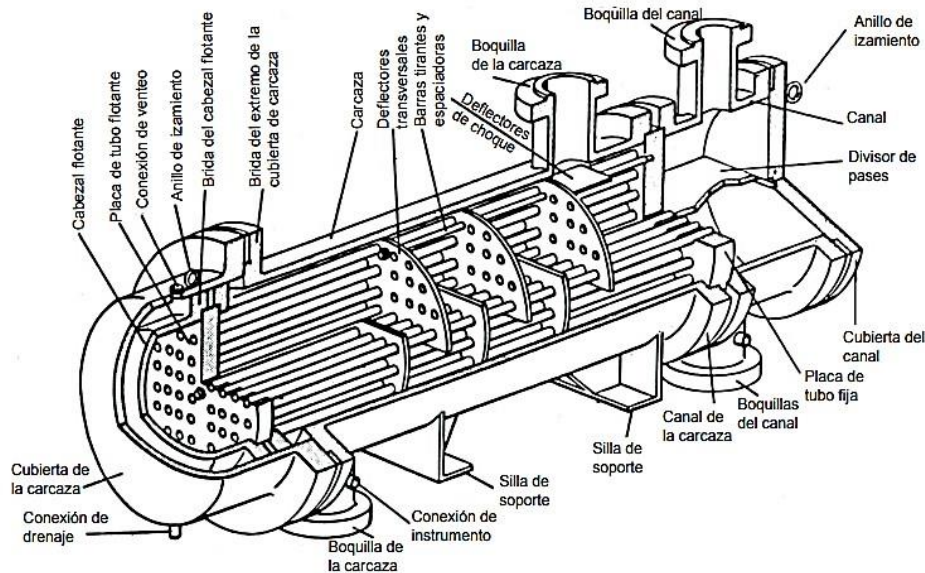


Figura 6 Partes de un intercambiador de tubo y carcasa.(González.).

La figura 6 consiste en una carcasa cilíndrica que contiene un arreglo de tubos paralelo al eje longitudinal de la carcasa. Los tubos pueden o no tener aletas y están sujetos en cada extremo por láminas perforadas. Estos atraviesan a su vez a una serie de láminas denominadas deflectores (baffles) que, al ser distribuidas a lo largo de toda la carcasa, sirven para soportar los tubos y dirigir el flujo que circula por la misma, de tal forma que la dirección del fluido sea siempre perpendicular a los tubos. El fluido que va por dentro de los tubos es dirigido por unos ductos especiales conocidos como cabezales o canales. (González.)

Hay dos tipos básicos de intercambiadores de tubo y carcasa: El de tipo fijo o de tubos estacionario, este se caracteriza por tener dos placas de tubos soldadas a la carcasa, el interior de los tubos se puede limpiar mecánicamente después de remover la tapa del canal. El banco de tubos no se puede extraer y su limpieza exterior se debe realizar químicamente. Se utiliza para fluidos limpios, por el lado de la carcasa.

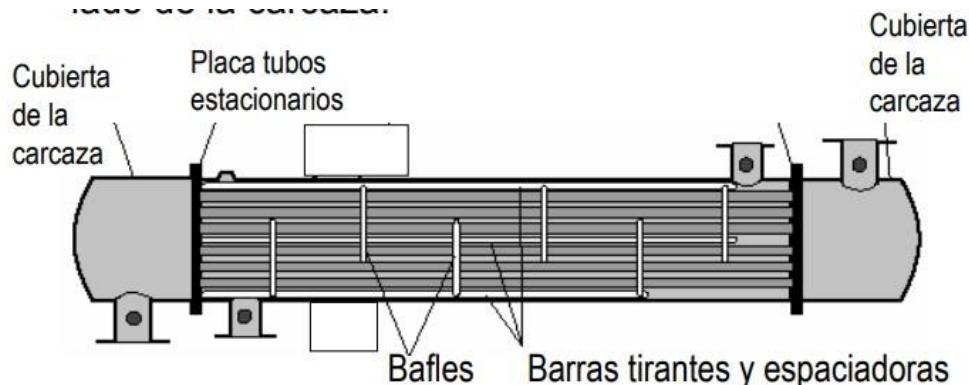


Figura 7 Intercambiador de cabezal fijo o tubo estacionario.(Carcasa)

***Cabezal fijo características:**

- No presentan uniones internas por lo cual se elimina partes potenciales de fugas, los tubos internos se pueden colocar muy cerca de la cara interna de la carcaza y por lo tanto el número de tubos para un determinado diámetro es mayor que para cualquier otro tipo de intercambiador.
- Se puede usar para altas presiones y fluidos tóxicos.
- La combinación de temperaturas y coeficientes de expansión de carcaza y los tubos durante el servicio causan una expansión diferencial que si no puede ser absorbida por el equipo es recomendable usar otro intercambiador.

El segundo tipo consta de un solo extremo de los tubos sujeto a la coraza. En este caso los problemas originados por la expansión diferencial se pueden eliminar empleando un cabezal de tubos flotantes que se mueven libremente dentro de la coraza o empleando tubos en forma de “U” en el extremo que no está sujeto. (Carcaza)

***Tubos en forma de U.**

Se caracteriza por tener solo una placa de tubos en forma de U, que tienen la particularidad de moverse libremente con relación a la carcaza, lo que elimina el problema de la expansión diferencial, los bancos de tubos se pueden remover para limpieza mecánica, pero el interior de estos se limpia en general químicamente.

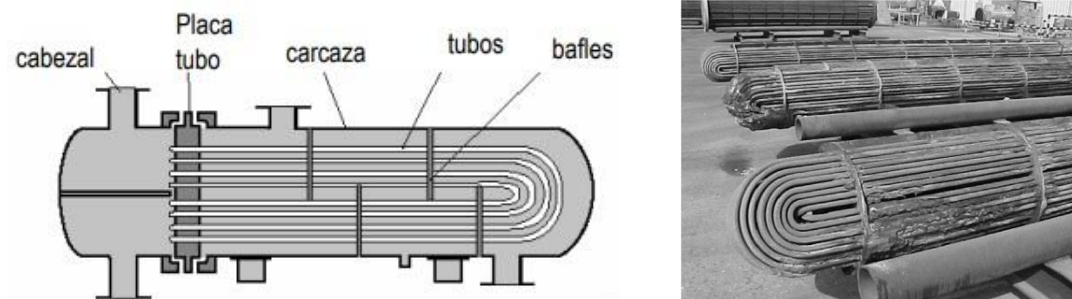


Figura 8 intercambiador con tubos en forma de U. (Carcaza)

***Características de los tubos en U:**

- Se utilizan cuando el fluido que circula por los tubos es limpio, los fluidos sucios circulan por la carcaza.
- Estos intercambiadores no tienen uniones internas y los tubos periféricos se pueden colocar muy cerca de la cara interna de la carcaza, pero como existe una limitación mecánica en el radio de los tubos interiores, el número de tubos que se puede colocar en una carcaza de diámetro dado es menor a la placa de tubos fijos.

***Tubos que componen el intercambiador de tubo y carcaza.**

Los tubos son los componentes básicos de los intercambiadores, ya que son los que proveen la superficie de transferencia de calor entre los fluidos que van dentro o fuera de ellos. Los tubos para los intercambiadores de calor son especiales y no se deben confundir con otros

tipos de tubos comerciales. Estos tubos siguen las especificaciones BWG o AWG y vienen en longitudes de 8, 10, 16, 20 y 24 pies. Los tubos se arreglan con espaciamientos o distancias entre centro y centro triangular o cuadrada. En estos intercambiadores los diámetros del tubo más usuales son de 5/8, 3/4, 1, 1.25, o 1.5 pulgadas.

La envolvente o coraza es simplemente otro tubo que recubre los internos. En la envolvente van las boquillas de entrada y salida de los fluidos. Las envolventes menores de 24 pulgadas se pueden construir de tubería comercial, Las envolventes mayores de 24 pulgadas se construyen con placas de metal roladas para dar las dimensiones requeridas.

En estos intercambiadores para mejorar la transferencia de calor en el lado externo de los tubos se utilizan deflectores, también llamados mamparas o baffles, los cuales permiten una mejor distribución de fluido en la envolvente aumentando además la velocidad de éste. Las mamparas tienen tres funciones:

- Soportar los tubos en posición apropiada.
- Prevenir la vibración de los tubos causadas por remolinos en el flujo.
- Guiar el fluido de la envolvente en forma transversal al haz de tubos, aumentando su velocidad y con ello el coeficiente de transferencia de calor.

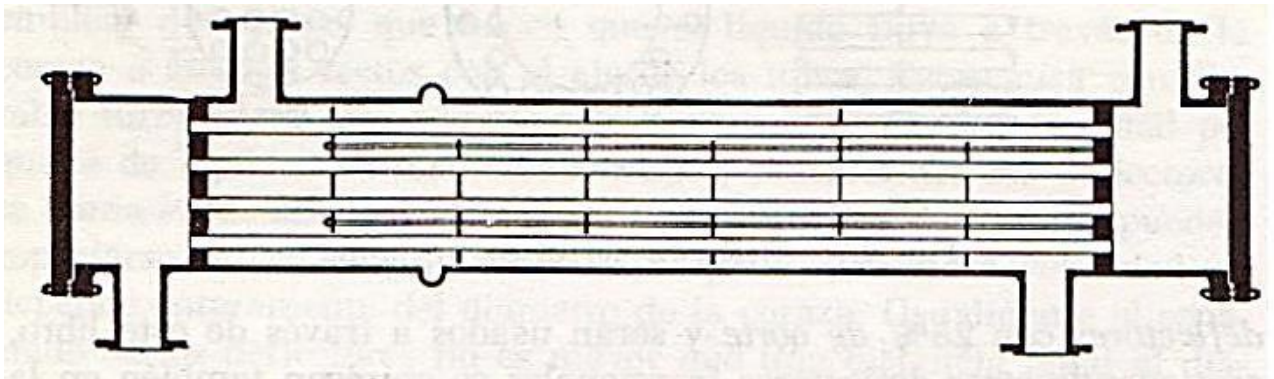


Figura 9 Intercambiador de calor con un paso.(Barderas)

Para mejorar la transferencia de calor en el fluido que pasa por el interior de los tubos se colocan también mamparas que hacen que el fluido pase repetidas veces por el intercambiador de calor. A esto se le llama pasos, los pasos aumentan la velocidad, el coeficiente de transferencia de calor, pero también las pérdidas por fricción. En un intercambiador de calor de 8 pasos el coeficiente es cinco veces mayor que en un cambiador de un solo paso, pero la caída de presión puede ser 300 veces mayor.

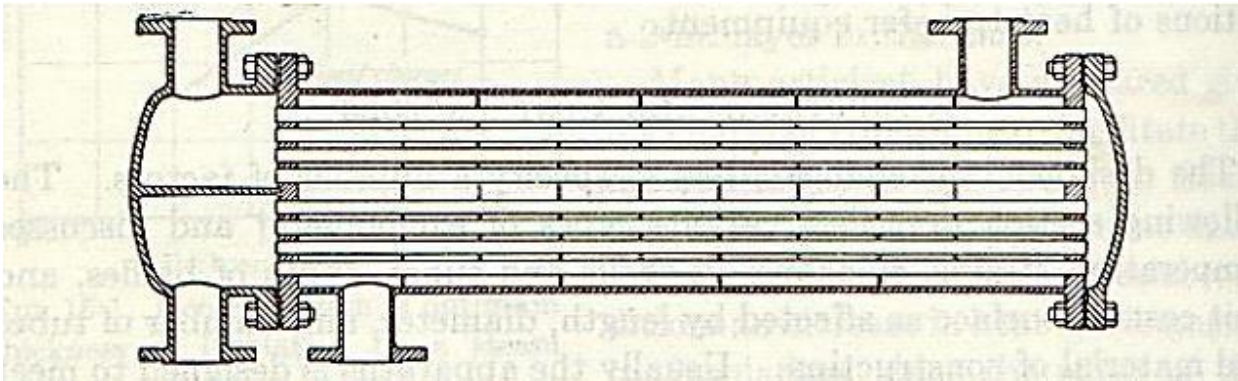


Figura 10 Intercambiador con cabezales fijos y pasos(Barderas)

Se usa una amplia variedad de configuraciones en los intercambiadores de calor de carcasa y tubos, dependiendo del desempeño deseado de transferencia de calor. Caída de presión y los métodos empleados para reducir los esfuerzos térmicos, prevenir fugas, fácil mantenimiento, soportar las presiones y temperaturas de operación, y la corrosión. Estos intercambiadores se construyen de acuerdo con las Normas de Asociación de Fabricantes de Intercambiadores de Calor Tubulares (TEMA), con algunas modificaciones dependiendo el país.

TEMA ha desarrollado una nomenclatura para designar los tipos básicos de intercambiadores de calor de carcasa y tubos. En este sistema, cada intercambiador se designa con tres letras, la primera indicando el cabezal delantero, la segunda el tipo de carcasa, y la tercera el cabezal posterior. también ha conformado una serie de normas mecánicas para la construcción, fabricación, y materiales constructivos de tres tipos de intercambiadores de calor tubulares: R, C, B.

***Clase R.**

Son los usados en condiciones de operación severas, en procesos petroleros y a fines.

***Clase C.**

Designa a los intercambiadores usados en aplicaciones comerciales y procesos generales bajo condiciones moderadas.

***Clase B.**

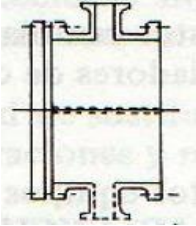
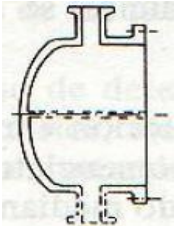
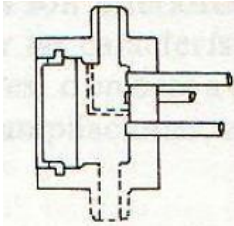
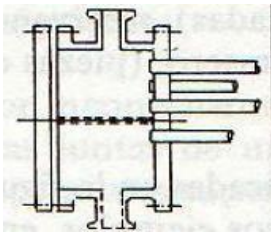
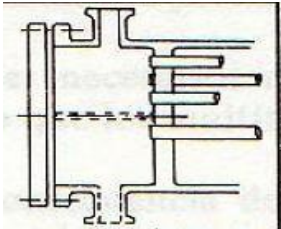
Designa a los intercambiadores de calor de carcasa y tubos usados en procesos químicos.

Generalmente en estos últimos los materiales constructivos son no-ferrosos, mientras que en la clase C y clase R, se usan materiales ferrosos.

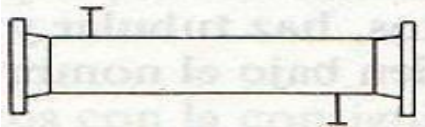
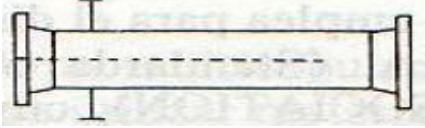
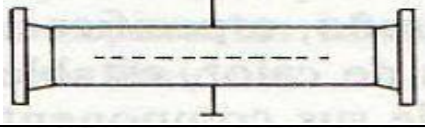
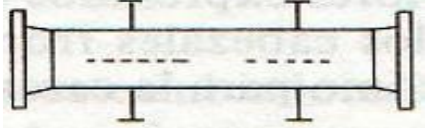
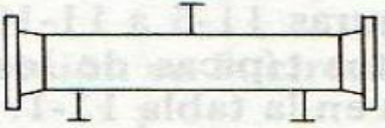
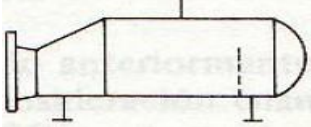
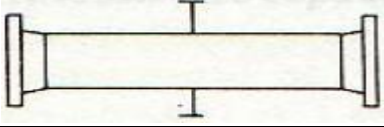
***Clasificación de intercambiadores de calor de acuerdo con TEMA.**

Los tipos más frecuente de intercambiador son: AES, AEP, CFU, AKT, Y AJW. Aunque pueden existir diferentes configuraciones a las mencionadas, estas no pueden ser identificadas por la nomenclatura TEMA. La norma básica empleada para el diseño de los equipos de haz y envolvente la da la norma TEMA (Standars of tubular exchanger manufacturers association). Esta norma da letras para la especificación de los cabezales

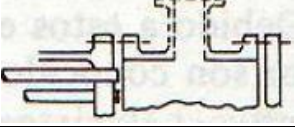
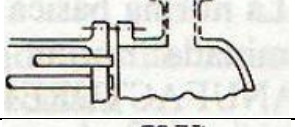
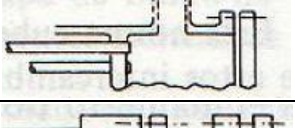
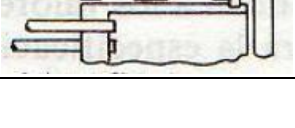
frontales y traseros, así como para la envolvente o carcasa. (Barderas)

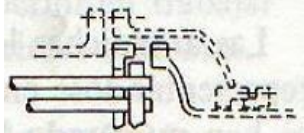
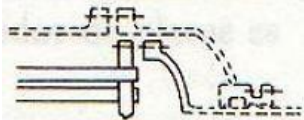
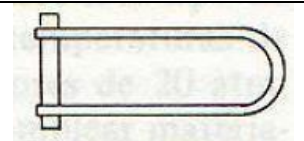
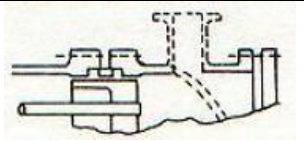
SECCION DE ENTRADA TIPOS DE CABEZAL FIJO	
	Conducto de distribución y tapa desmontable.
	Tapa integral
	Cierre especial de alta presión.
	Conducto de distribución integral con haz de tubos y tapa desmontable.
	Conducto de distribución integral con haz de tubos y carcasa tapa desmontable.

TIPOS DE CARCAZA.

	Un paso.
	Dos pasos.
	Flujo partido.
	Doble flujo partido.
	Flujo dividido.
	Tipo hervidor.
	Flujo cruzado.

SECCION FINAL TIPOS DE CABEZAL.

	Haz de tubos fijo o carcasa cabezal como A.
	Haz de tubos fijo o carcasa cabezal como B.
	Haz de tubos fijo o carcasa cabezal como N.
	Cabezal flotante con empaquetadura posterior.

	Cabezal flotante con alimentación posterior.
	Cabezal flotante con haz de tubos desmontable.
	Haz de tubos en U
	Haz de tubos flotante con cierre externo.

***Arreglo de tubos.**

Triangular 60°	Poco usado por las altas caídas de presión que origina.
	Arreglo preferido para factores de ensuciamiento menores de $0.002 \text{ pie}^2 \text{ }^\circ\text{F}/\text{BTU}$.
Triangular 30°	Se utiliza en cualquier régimen de flujo. Son más económicos que los arreglos cuadrados. Preferido para servicios limpios.
Cuadrado 90°	a) Se utiliza cuando el factor de ensuciamiento en la carcasa es $>0.002 \text{ pie}^2 \text{ }^\circ\text{F}/\text{BTU}$. b) Cuando la limpieza mecánica es crítica. c) Con flujo turbulento en casos limitados por caída de presión.
Cuadrado 45°	Ídem A y B y cuando el flujo es laminar $Re < 2000$.

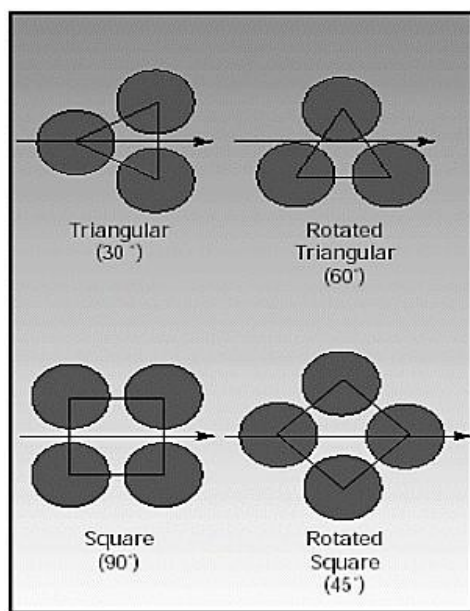


Figura 11 Arreglo de tubos.(Carcaza)

***Espaciado en tubo: Tube Pitch.**

Los orificios de los tubos no pueden taladrarse muy cerca uno del otro, porque debilitaría estructuralmente el cabezal, La distancia más corta entre dos orificios adyacentes es el claro o ligadura.

El espacio de los tubos P_t , es la distancia menor de centro a centro en tubos adyacentes.

$D_{ext.tubos}$	Arreglo Triangular P_t (pulg)	Arreglo Cuadrado P_t (pulg)
$3/4$	$15/16$	
$3/4$	1	$1 \frac{1}{4}$
$1 \frac{1}{2}$	$1 \frac{7}{8}$	$1 \frac{7}{8}$
$>1 \frac{1}{2}$	Min. De $1.25 * D_{ext.tubo}$	$1.25 * D_{ext.tubo}$

Se recomienda utilizar el espaciado entre tubos (PITCH) mínimo recomendado, puesto que permite obtener el menor diámetro de la coraza para un número dado de tubos. Por tanto, el PITCH se debe incrementar sólo en circunstancias excepcionales, tales como reducir la caída de presión por la coraza.

***Número de tubos.**

Depende del arreglo de los tubos, del diámetro externo de los tubos, espaciado de tubos, y del número de pasos y diámetro de la carcaza. Existen tablas donde se especifican el número máximo de tubos de acuerdo con las especificaciones dadas.

Carcaza DI	1-P	2-P	4-P	6-P	8-P
Tubos de 3/4					
8	37	30	24	24	
10	61	52	40	36	
12	92	82	76	74	

***Caídas de presión.**

La caída de presión de un intercambiador es producto de:

- Fricción debido al flujo.
- Cambios en la dirección del flujo.
- Expansión y contracción en las entradas y salidas de las boquillas y tubos.

Velocidades másicas altas permiten coeficientes de transferencia mayor y un área menor, pero se requiere una caída de presión mayor. (Carcaza)

Intercambiadores de carcaza y tubo, doble tubo.	
Gases y vapores alta P	35-70 KPa
Gases y vapores baja P	15-35 KPa
Gases y vapores P atmosf.	3.5-14KPa
Vapores vacíos	<3.5. KPa
Líquidos	70-170KPa
1psi=6.8943 KPa.	

***Intercambiador de plato.**

El intercambiador de tipo plato consiste en placas en lugar de tubos para separar a los dos fluidos caliente y frío. Los líquidos calientes y fríos se alternan entre cada una de las placas y los baffles dirigen el flujo del líquido entre las placas. Ya que cada una de las placas tiene un área superficial muy grande, las placas proveen un área extremadamente grande de transferencia térmica a cada uno de los líquidos. Por lo tanto, un intercambiador de placa es capaz de transferir mucho más calor con respecto a un intercambiador de carcaza, y tubos con volumen semejante, esto es debido a que las placas proporcionan una mayor área que la de los tubos. El intercambiador de calor de plato, debido a la alta eficacia en la transferencia

de calor, es mucho más pequeño que el de carcaza y tubos para la misma capacidad de intercambio de calor.

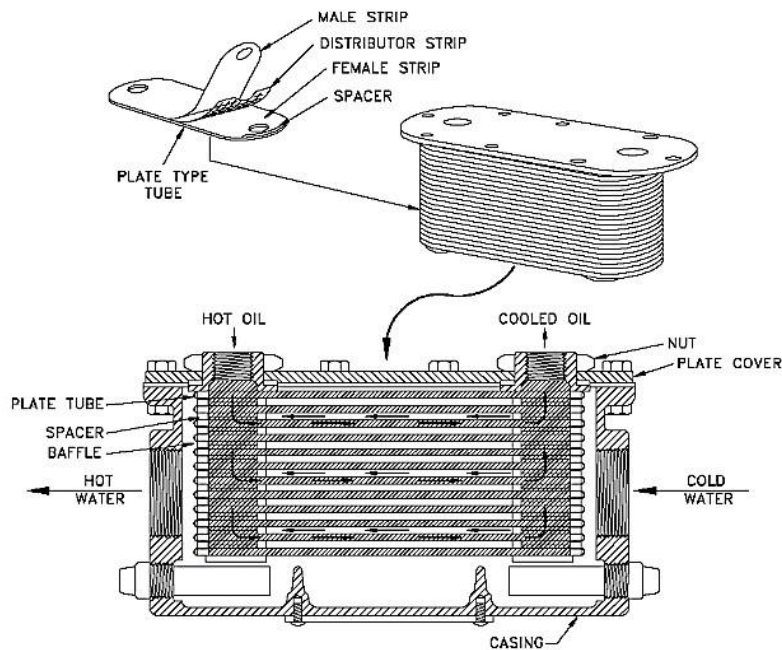


Figura 12 Intercambiador de calor tipo plato.(Jaramillo, 2007)

Sin embargo, el tipo de intercambiador de placa no se utiliza extensamente debido a la inhabilidad de sellar confiablemente las juntas entre cada una de las placas. Debido a este problema, el tipo intercambiador de la placa se ha utilizado solamente para aplicaciones donde la presión es pequeña o no muy alta, por ejemplo, en los refrigeradores de aceite para máquinas. Actualmente se cuentan con avances para mejorar el diseño de las juntas y sellos, así como el diseño total del intercambiador de placa, esto ha permitido algunos usos a gran escala de este tipo de intercambiador de calor. Así, es más común que cuando se renuevan viejas instalaciones o se construyen nuevas instalaciones el intercambiador de la placa está sustituyendo paulatinamente a los intercambiadores de carcaza y tubo. (Jaramillo, 2007)

***Intercambiador de placas empacadas (PHE).**

En este tipo de intercambiadores las dos corrientes de fluidos están separadas por placas, que no son más que láminas delgadas, rectangulares, en las que se observa un diseño corrugado, formado por un proceso de prensado de precisión. A un lado de cada placa, se localiza una empacadura que bordea todo su perímetro. La unidad completa mantiene unidos a un cierto número de estas placas, sujetas cara a cara en un marco. El canal de flujo es el espacio que se forma, gracias a las empacaduras, entre dos placas adyacentes; arreglando el sistema de tal forma, que los fluidos fríos y calientes corren alternadamente por dichos canales, paralelamente al lado más largo. Existen aberturas en las 4 esquinas de las placas que juntamente con un arreglo apropiado en las empacaduras, dirigen a las dos corrientes en sus canales de flujo.

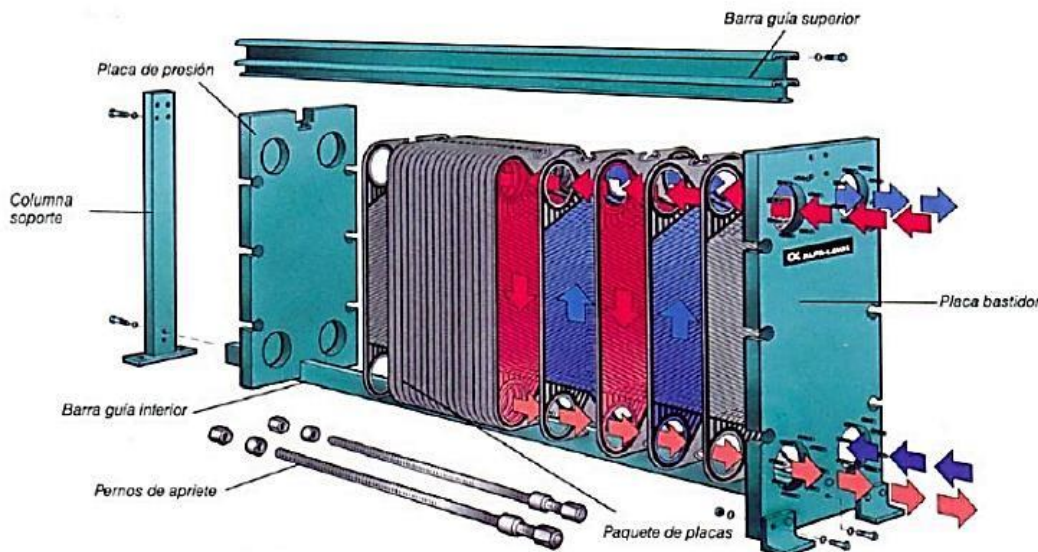


Figura 13 Estructura de un intercambiador de placas.(González.)

Las placas son corrugadas en diversas formas, con el fin de aumentar el área superficial efectiva de cada una; provocar turbulencia en el fluido mediante continuos cambios en su dirección y velocidad, lo que a su vez redundaría en la obtención de altos coeficientes de transferencia de calor, aún a bajas velocidades y con moderadas caídas de presión. Las corrugaciones también son esenciales para incrementar la resistencia mecánica de las placas y favorecer su soporte mutuo.

Estos equipos son los más apropiados para trabajar con fluidos de alta viscosidad y tienen como ventaja adicional, el ser fácilmente desmontable para labores de mantenimiento. No obstante, las condiciones de operación se encuentran limitadas por las empaaduras. En los primeros equipos la presión máxima era de 2 bar (0.2Mpa) y la temperatura alrededor de 60°C. Es importante destacar que la elección del material de las empaaduras se vuelve más restringida a altas temperaturas, lo que en consecuencia reduce el número de fluidos que pueden ser manejados por estos equipos bajo esas condiciones, además la vida útil de la unidad depende, en gran medida, del rendimiento de las empaaduras. Inicialmente este tipo de equipos era usado en el área alimenticia, hoy en día son usados en una amplia gama de procesos industriales, llegando inclusive, a reemplazar a los intercambiadores de tubo y carcasa.

Una variante de los PHE se consigue si las placas son soldadas juntas en los bordes, lo que previene las fugas a la atmósfera y permite el manejo de fluidos peligrosos. Un equipo construido de esta forma, se le conoce como intercambiador de placas no empaadas, y tienen como desventaja el no poder ser abierto para labores de mantenimiento, por lo que las labores de limpieza deben ser realizadas por métodos químicos. No obstante, las demás ventajas de las unidades de placas se mantienen. El diseño particular de este equipo permite alcanzar las presiones de operación que se manejan en los equipos tubulares convencionales, tales como tubo y carcasa, enfriados por aire o doble tubo. Sin embargo, todavía existe una limitación en

cuanto al diseño, en la que la diferencia de presión entre ambos fluidos no debe exceder los 40bar. (González.)

***Intercambiadores de placas con placas termo soldadas.**

Sustituyen las juntas de sellado de los intercambiadores por medio de un metal con un punto de fusión inferior al punto de fusión del acero inoxidable. Entre cada una de las placas se inserta una hoja de cobre (o níquel en el caso de que exista incompatibilidad con el fluido de trabajo como en el caso de amoniaco), y con la ayuda de una prensa hidráulica se aplica el número de placas deseado. Una vez prensado, el conjunto de placas se coloca en un horno de vacío y se calienta el conjunto hasta el punto de fusión del material de aporte (cobre o níquel). Por fenómenos de capilaridad, el material de aporte se funde y tiende a acumularse en los bordes y en los puntos de contacto de las placas formando de manera eficaz un sellado de los canales. Esta configuración permite operar a los intercambiadores de placas termo soldadas en rangos de temperaturas entre -160°C y 150°C y presione de hasta 30 o 40 bares, muy por encima de los intercambiadores de placas convencionales. (Touceda)



Figura 14 Configuración de placas termo soldadas de cobre. (Touceda)

***Geometría del intercambiador de placas.**

El patrón de la corrugación típico de estos intercambiadores es de corrugado tipo chebrón. El patrón de las corrugaciones es de tipo sinusoidal, donde las corrugaciones están orientadas con un determinado ángulo con respecto a la dirección principal de flujo. Esta corrugación proporciona varios puntos de contacto entre las placas adyacentes, mejorando el mezclado de las corrientes y aumentando la turbulencia.

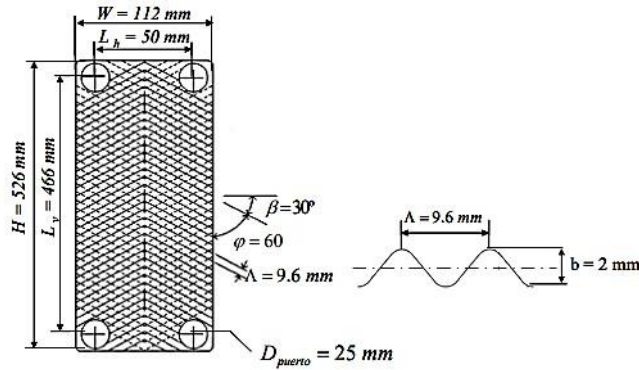


Figura 15 Dimensiones geométricas de un Intercambiador de placas. (Touceda)

Los parámetros de mayor importancia a la hora de caracterizar este tipo de intercambiadores son el ángulo de la corrugación (ángulo de chevron), y la profundidad de la corrugación. El primer parámetro caracteriza la mejora de la turbulencia en el intercambiador (y por tanto la transferencia de calor y las pérdidas de carga), y el segundo parámetro caracteriza el diámetro hidráulico del intercambiador. Otros factores que se tienen en cuenta a la hora de caracterizar los intercambiadores son el factor de aumento del área de intercambio y el pitch. El factor de aumento del área de intercambio es el cociente del área de intercambio real, frente a la proyección del área en un plano paralelo al de la placa. La profundidad de la corrugación y la separación entre corrugaciones (pitch) definen este factor de aumento. Normalmente todas las placas de un mismo intercambiador tienen un patrón idéntico, pero alternativamente se rotan 180° de forma que el patrón de dos placas adyacentes apunta a sentidos diferentes. De esta manera se forman una estructura interior en forma de celda de abeja, donde cada celda se encuentra delimitada por los puntos de contacto de las placas. (Touceda)



Figura 16 Geometría de placas en un intercambiador de placas. (Touceda)

*Intercambiadores en espiral (SHE).

Su diseño consiste en un par de láminas de metal enrolladas alrededor de un eje formando pasajes paralelos en espiral por entre los cuales fluye cada sustancia. El espaciado entre las láminas se mantiene gracias a que éstas se encuentran soldadas a una especie de paral. Los canales que se forman en la espiral se encuentran cerrados en los extremos para que los fluidos no se mezclen. El fluir continuamente entre curvas induce turbulencia en los fluidos,

lo cual mejora la transferencia de calor y reduce el ensuciamiento. Estos equipos son muy utilizados en el manejo de fluidos viscosos, lodos y líquidos con sólidos en suspensión, así como también en operaciones de condensación y vaporación. Raras veces se requiere de aislantes, ya que son diseñados de tal manera que el refrigerante pase por el canal extremo.

Entre sus características más resaltantes se pueden mencionar que se emplean con flujo en contracorriente puro, no presentan problemas de expansión diferencial, son compactos y pueden emplearse para intercambiar calor entre dos o más fluidos a la vez. Estos equipos se emplean normalmente para aplicaciones criogénicas.

En general los SHE ofrecen gran versatilidad en sus arreglos; siendo posible variar anchos, largos, espesores, materiales, etc. De esta manera se logra que este tipo de equipos requiera 60% menos volumen y 70% menos peso que las unidades de tubo y carcasa comparables en la cantidad de calor transferido. (González.)

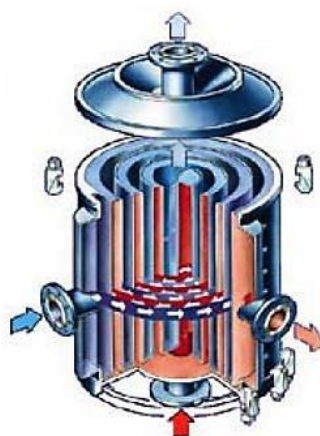


Figura 17 Intercambiador de calor en espiral (SHE). (González.)

***Clasificación de intercambiadores de tubo en espiral.**

Se pueden emplear arreglos de espirales planas o espirales helicoidales. En el intercambiador de coraza y tubos en espiral plana, el fluido caliente ingresa por el centro del elemento en espiral y fluye hacia la periferia, mientras el flujo del fluido frío entra por la periferia y viaja hacia el centro. Los coeficientes de transferencia de calor son altos en ambos lados debido a la acción contracorriente, lo que puede llevar a unos requisitos de superficie del 20% o menos que los de intercambiadores de coraza y tubos rectos. Minton presenta procedimientos de diseño para este tipo de intercambiadores que ofrecen varias ventajas sobre los intercambiadores de calor de coraza y tubos rectos: El flujo secundario causado por la fuerza centrífuga aumenta la transferencia de calor, son compactos y el flujo no es afectado por obstáculos (lo cual los hace ideales para calefacción y refrigeración de líquidos viscosos y lodos), experimentan menos suciedad y son relativamente más fáciles de limpiar, pero aun que son generalmente más costosos que los intercambiadores de coraza y tubos rectos con la misma superficie de transferencia de calor, tienen más eficiencia térmica y menor costo de mantenimiento, lo que trae como resultado una opción más rentable.

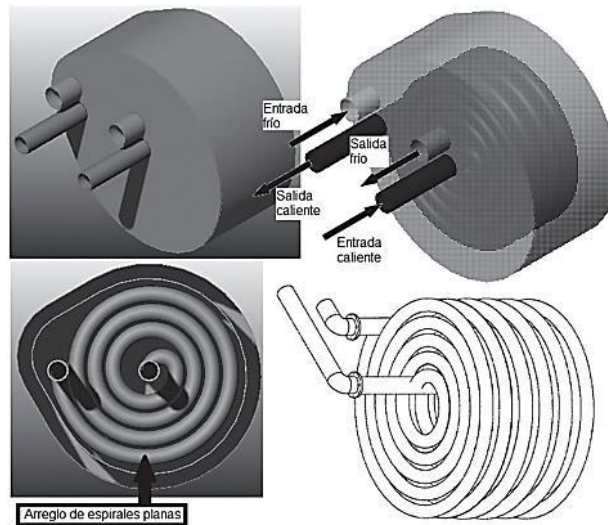


Figura 18 Intercambiador de coraza y tubo en espiral plana. (JUAN GONZALO ARDILA MARÍN, 2012)

La figura 18 muestra el arreglo de intercambiador de calor de coraza y tubo helicoidal; pueden apreciarse dos disposiciones: (a) con núcleo vacío, en donde la coraza rodea la hélice exclusivamente, y (b) de tipo tanque, en donde la hélice está inmersa en el fluido que circula a través de la coraza. Una variación importante de este tipo de aplicaciones es el intercambiador de calor de tubos en espiral en reservorios térmicos, durante décadas pasadas ha habido un rápido crecimiento de interés en el uso de estos a fin de lograr la recuperación rápida de calor de alta calidad.

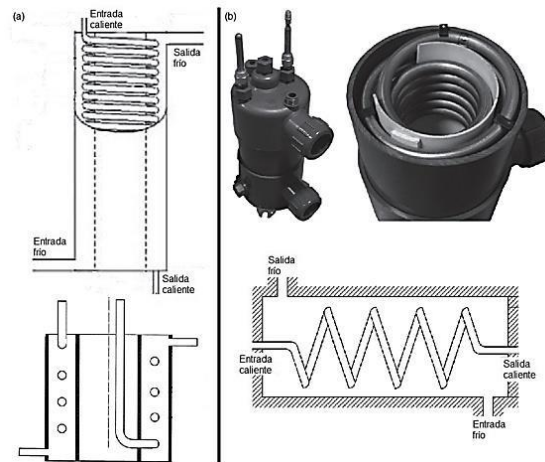


Figura 19 Arreglo para Intercambiador Helicoidal. (JUAN GONZALO ARDILA MARÍN, 2012)

*Intercambiadores de tubos concéntricos en espiral.

Estos Intercambiadores de calor de tubos concéntricos se encuentran en calentamiento, ventilación, sistemas de acondicionamiento de espacios, calderas, condensadores, precalentadores o post-enfriadores de fluidos; igualmente es posible encontrar dicha disposición de tubos en espiral helicoidal que consta de un tubo interior por donde fluye

comúnmente el fluido caliente y un tubo exterior que forma una región anular a través de la cual fluye, generalmente en contracorriente, el fluido frío, son aplicables diversas combinaciones de fluidos. (JUAN GONZALO ARDILA MARÍN, 2012)

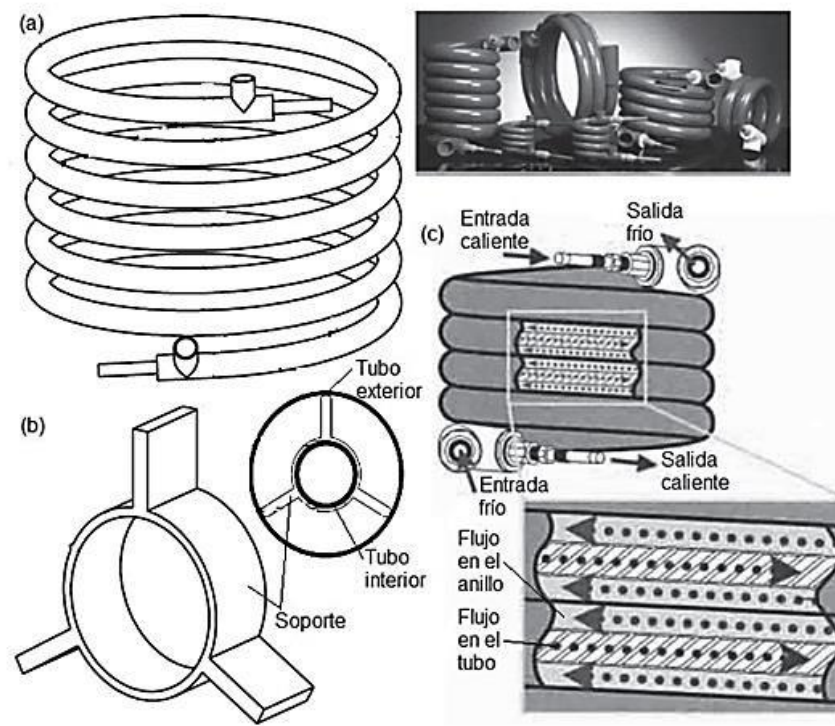


Figura 20 Intercambiador de Tubos Concéntricos en espiral. (JUAN GONZALO ARDILA MARÍN, 2012)

***Intercambiadores enfriados por aire y radiadores.**

Equipos de transferencia de calor tubulares en los que el aire ambiente al pasar por fuera de un haz de tubos actúa como medio refrigerante para condensar y/o enfriar el fluido que va por dentro de los mismos. Comúnmente se le conoce como intercambiadores de flujo cruzado debido a que el aire se hace soplar perpendicularmente al eje de los tubos.

Consiste en un arreglo rectangular de tubos, usualmente de pocas filas de profundidad, donde el fluido caliente es condensado y/o enfriado en cada tubo al soplar o succionar aire a través del haz mediante grandes ventiladores. Debido a que el coeficiente de transferencia de calor del aire es bajo, es usual que los tubos posean aletas para aumentar la superficie de transferencia de calor del lado del aire.

Las filas de tubos generalmente se encuentran colocadas en arreglo escalonado de modo de incrementar los coeficientes de transferencia del aire. Una pequeña versión de estos Intercambiadores son los radiadores usados en los sistemas de enfriamiento de los vehículos y en las unidades de aire acondicionado.

Los enfriadores de aire ocupan un área relativamente grande por lo que generalmente se ubican encima de equipos de proceso (tambores, intercambiadores, etc.). Como los ventiladores son generalmente muy ruidosos, no pueden instalarse cerca de áreas residenciales. Al diseñar estos equipos se debe tomar en cuenta el efecto de las pérdidas de

calor de los equipos circundantes sobre la temperatura del aire de entrada, así como, tener mucho cuidado para que cumplan con los requerimientos de servicio aún en días calurosos y/o que el fluido no se congele dentro de los tubos en invierno.

El aire en vez del agua podría parecer una elección obvia a la hora de seleccionar un refrigerante, ya que se encuentra en el ambiente en cantidades limitadas. Desafortunadamente, el aire es un medio de transferencia de calor pobre en comparación con el agua, la que posee una conductividad térmica cerca de 23 veces mayor que el aire a 35°C; el calor específico del agua es cuatro veces más grande y su densidad, comparada con la del aire a presión y temperatura atmosférica es unas 800 veces mayor. En consecuencia, para una determinada cantidad de calor a transferir, se requiere de una mayor cantidad de aire, aproximadamente 4 veces más en masa y 3200 en volumen. Como conclusión a menos que el agua sea inasequible, la elección entre agua y aire como refrigerante depende de muchos factores y se debe evaluar cuidadosamente antes de tomar una decisión. Por lo general, este tipo de intercambiadores se emplea en aquellos lugares donde se requiera de una torre de enfriamiento, donde sean muy estrictas las restricciones ambientales en cuanto a los efluentes de agua o donde el medio refrigerante resulte muy corrosivo o provoque taponamientos excesivos. (González.)

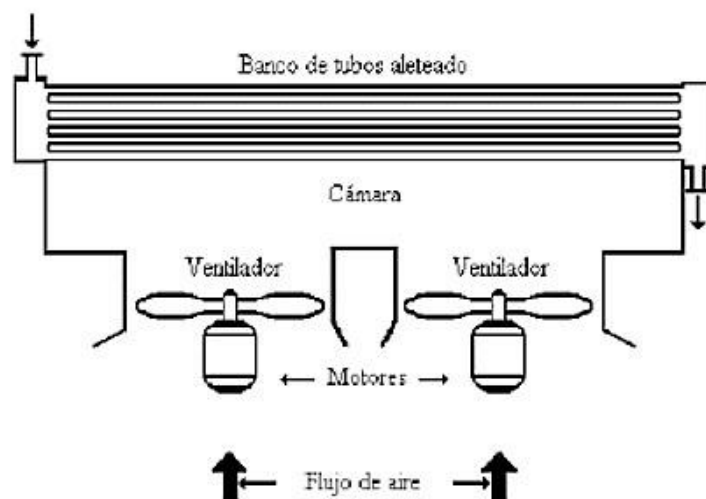


Figura 21 Intercambiador de flujo cruzado enfriados por aire(González.).

CAPÍTULO III

DESARROLLO

Seguir el protocolo de realización de proyectos interno (problemática, solución, adquisición de materia prima y fabricación).

***Necesidades del cliente o problemática.**

En este punto realizamos una visita a nuestro cliente con el fin de saber la necesidad que ellos requerían para solucionar el problema en sus líneas de producción de Helado ya que ellos poseían un intercambiador de tubo, pero era ineficiente ya que la funcionalidad era errónea y no vareaba la temperatura de una forma adecuada por lo que necesitaban un rediseño para mejorar el funcionamiento.

***Dar una solución.**

Tomando en cuenta la necesidad del cliente y conociendo los puntos clave de su requerimiento, se pidieron los planos mecánicos de su intercambiador con el fin de observar los componentes y la estructura de este, y así poder proporcionar una mejora en el diseño, la cual fue en las bridas de sujeción del serpentín y el espaciado que tenía el arreglo de los barrenos, al no tener un buen sellado en las bridas perdía presión debido a las fugas que este tenía. Al realizar estos cambios el cuerpo o carcasa también se tuvo que reajustar al nuevo diámetro de las bridas.

***Adquisición de materiales.**

Cuando la volumetría de materiales fue calculada en su totalidad, el área de compras, realizo las cotizaciones pertinentes de todo el material que se usaría para este proyecto, el cual consistía en:

- Brida de acero Inoxidable T-316 de 1 ½”.
- Cople roscado de 1 ½” y ¾” T-316.
- Lamina 3.05m x 1.22m C-12 T-316.
- Niple roscado de 1” T-316.
- Placa T-316L 3.05m x 1.22m x .5in.
- Tubo Ac. Inox. C-10 T-316 de 4in.
- Tubo Sanitario 3/8” T-316.

El hecho de que se escogiera Acero Inoxidable Tipo 316 es por el hecho de que es más resistente a la corrosión, proporciona mejor resistencia a las picaduras y buena resistencia a la mayoría de los químicos empleados en la industria, siendo este también un acero para uso de grado alimenticio.

***Revisión de calidad de materiales.**

Se recolectan y emiten los certificados de calidad correspondientes, para esto se realiza un formato donde se especifican todos los datos importantes de los materiales, tales como:

- Nombre del Cliente.
- Fecha y Hora de Inspección.

- Nombre y firma del Supervisor y quien revisa el documento.
- Sello de la empresa.
- Tipo de material.
- Especificaciones del material.
- Colada o número de lote del material.
- Orden de Compra y factura.
- Composición Química del material.
- Características Mecánicas y tratamientos térmicos que posee el material.

A continuación, se muestra el documento que se emite en la realización de los Certificados de Calidad.

 CERTIFICADO DE INSPECCION 											
Transformando la calidad en su producto®											
NOMBRE:				FECHA DE INSPECCION:			SUPERVISOR:	CBM	REVISOR:	JCPG	SELLO
TIPO DE MATERIAL:						FIRMA:			FIRMA:		
ESPECIFICACION DE MATERIAL:						ORDEN DE COMPRA:					
				COLADA:			FACTURA:				
FECHA DE CERTIFICADO DE ORIGEN Y/O MOLINO:											
NUMERO DE CERTIFICADO DE ORIGEN Y/O MOLINO:											
RESULTADO DE PRUEBAS				TIPO DE PRODUCTO							
DESCRIPCION				DESCRIPCION							
TRATAMIENTO TERMICO				ACABADO DE LA SUPERFICIE							
COMPOSICION QUIMICA											
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo			
Max											
Min											
COMENTARIOS											
Limite Elastico kg/mm²											
Heart No.											
Fuerza ten kg/mm²											

A continuación, se presentan los rediseños realizados del intercambiador. De las partes que se modificaron.

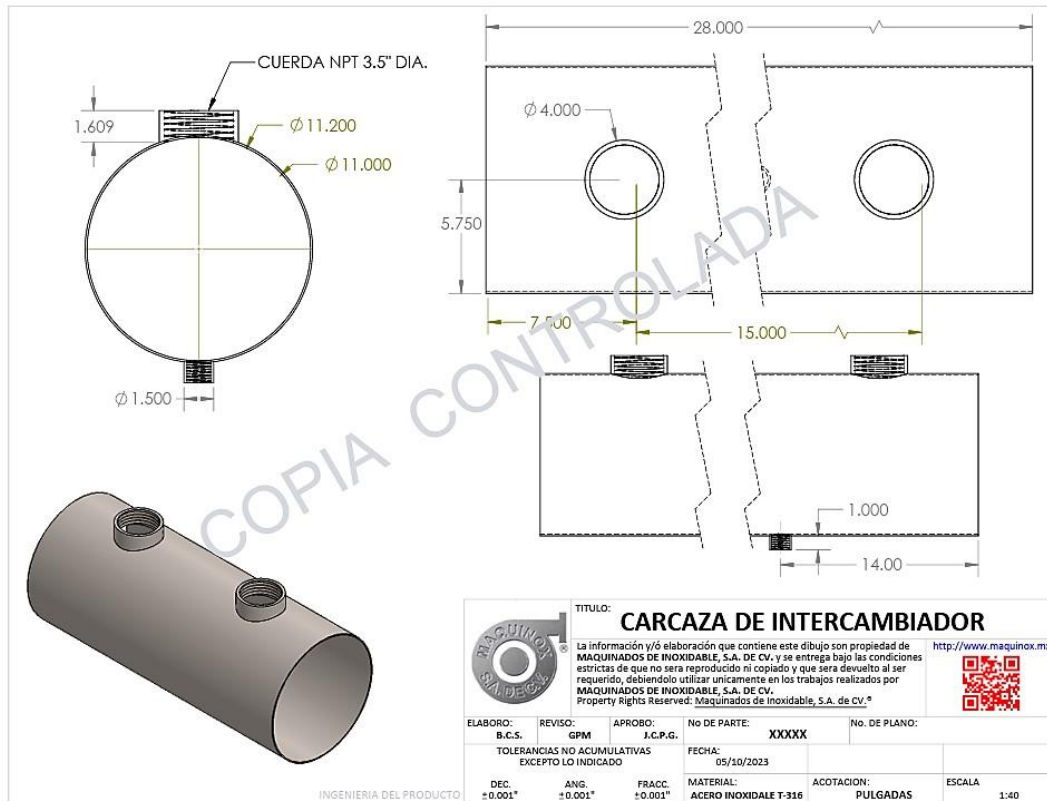


Figura 24 Cuerpo de intercambiador.

En la figura 24 se muestra que, el diámetro del cuerpo tuvo que ser reajustado a la medida de las bridas, para que pudiera ser ensambladas estas piezas de manera correcta.

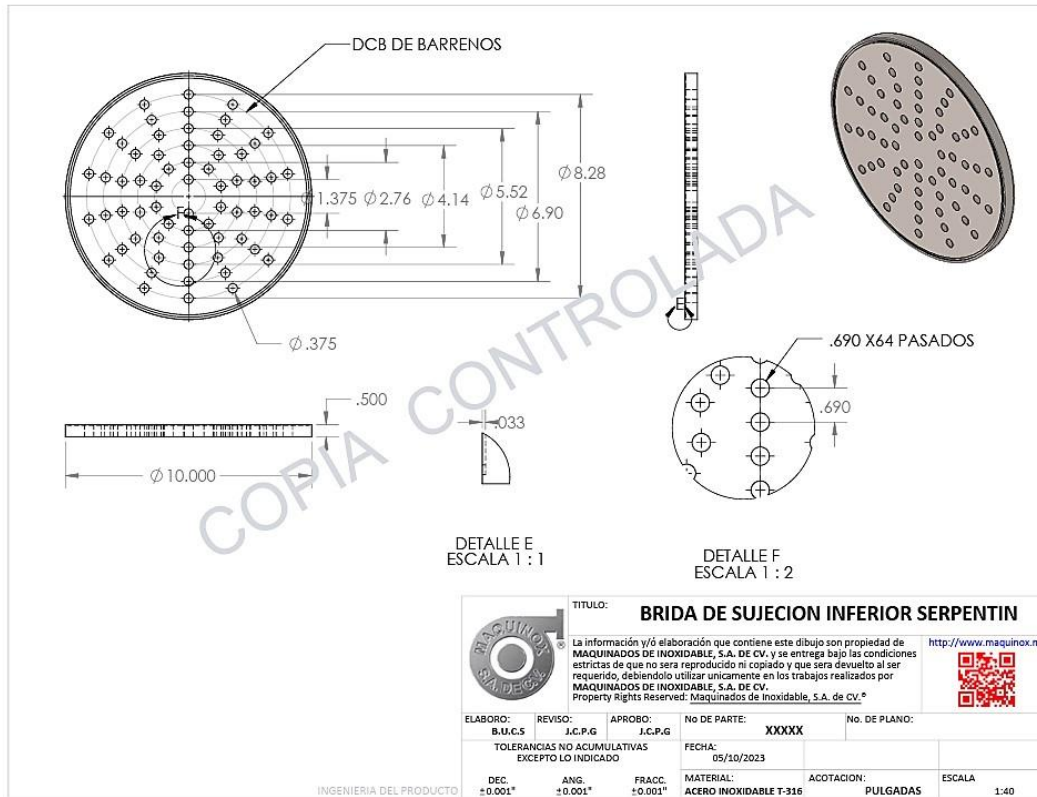


Figura 25 Brida de sujeción inferior del serpentín.

En la figura 24, se muestra la distancia del centro de barreno para la nueva distribución de los barrenos, los diámetros de esta brida se tuvieron que incrementar para que la distribución de los barrenos fuera la apropiada. En las vistas detalladas se muestra la medida de la caja del empaque, así como la distancia del centro de barrenos.

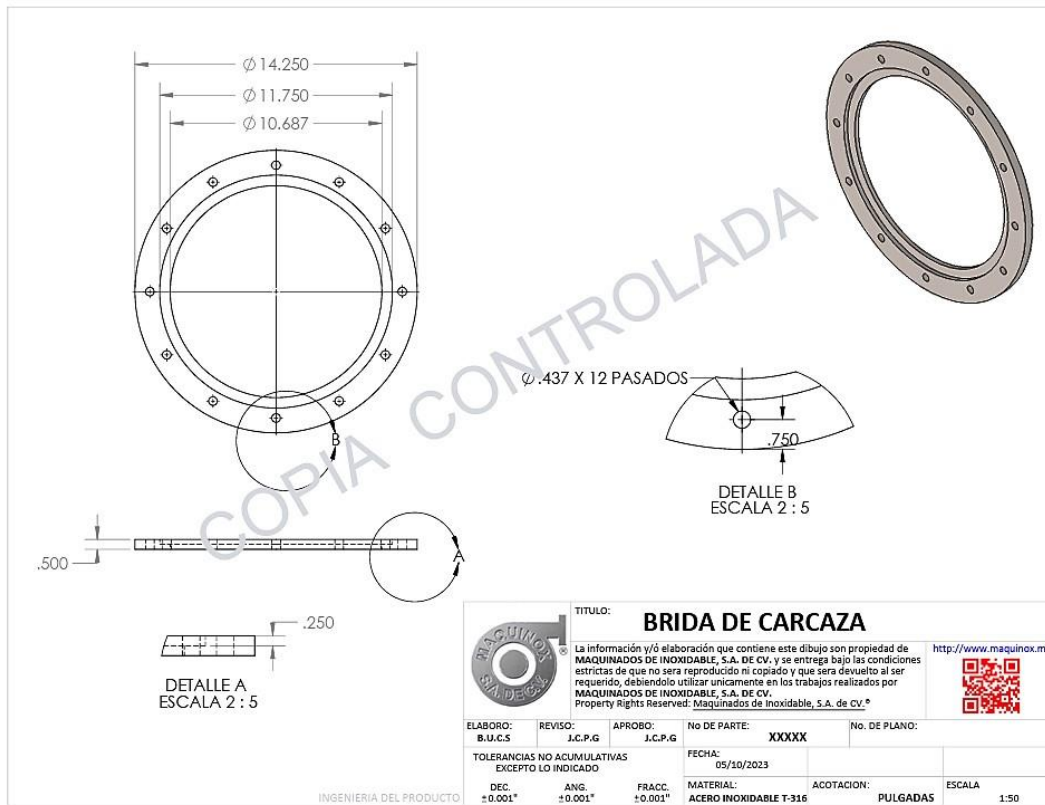


Figura 26 Plano de brida de carcaza.

En la figura 26, el plano al igual que el anterior demuestra la vista de detalle de la medida del barreno con respecto al diámetro mayor de la brida, esto con el fin de sacar el centro de barreno y tener la referencia para realizar los 12 barrenos a la misma distancia, a su vez se muestra también la medida de la caja interior que servirá para colocar la brida del serpentín.

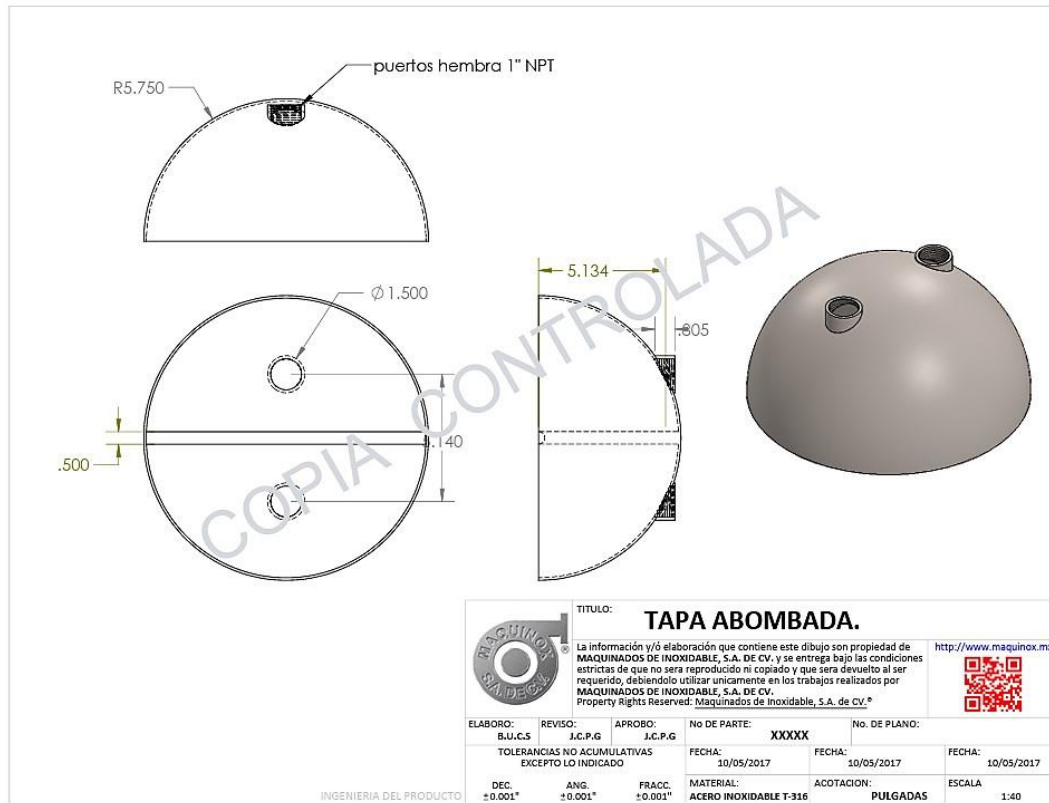


Figura 27 Plano de tapa abombada.

En la figura 27, el tamaño de la tapa se tuvo que acoplar a la nueva medida de las bridas con el fin de que esta pudiera ser ensamblada de forma correcta. La división que tiene permite que entre a la carcasa el fluido que enfriara o calentara el producto que pase por el serpentín.

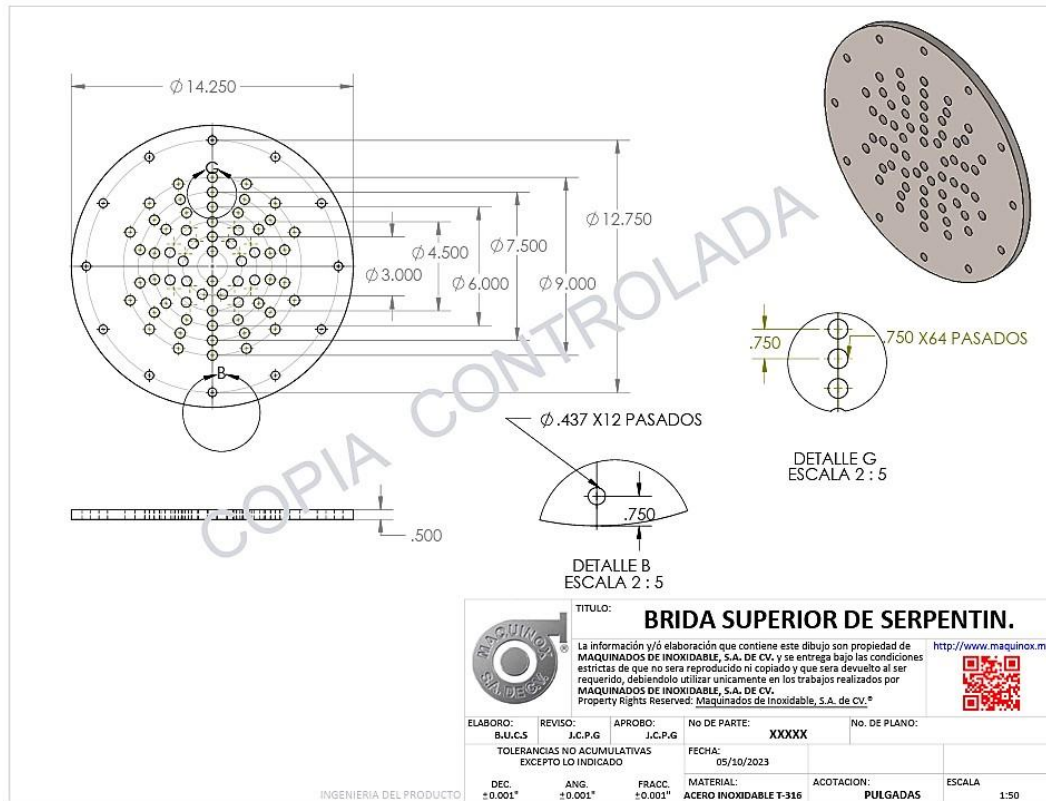


Figura 28 Plano de brida superior del serpentín.

En el plano de la figura 28, se muestra el nuevo diámetro de la brida de sujeción superior del serpentín, se muestra la vista a detalle de los centros de barreno para la distribución de los 63 barrenos que llevará cada brida para el serpentín.



Figura 29 Plano de tapa abombada sin entrada y salida.

A diferencia de la otra tapa abombada esta no llevara los dos insertos para la entrada de agua caliente o vapor, y de igual forma los diámetros fueron ajustados al diámetro de las bridas para que su ensamble fuera correcto. Figura 29.



Figura 30 Ensamble del Intercambiador.

Aquí en la figura 30, se logra ver la vista preliminar de como quedaría ensamblado el intercambiador, con esto ya se pasaría a proporcionar todos los planos realizados a producción para que puedan llevar a cabo la fabricación en su totalidad.

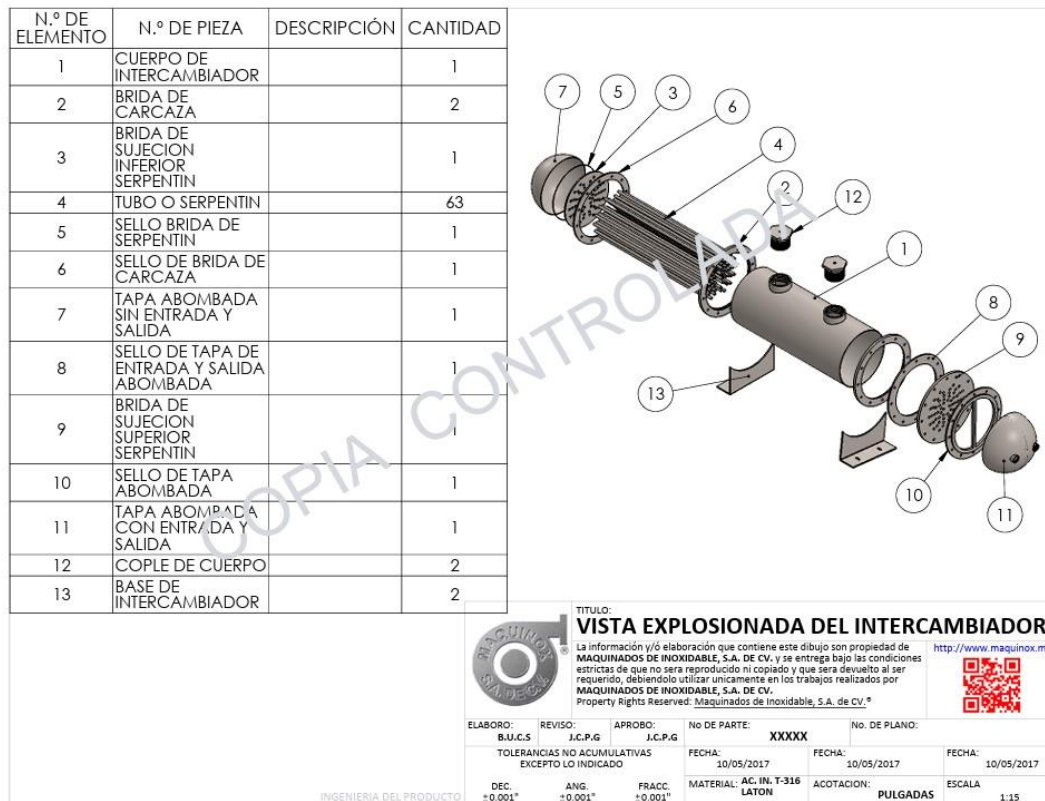


Figura 31 Vista explosionada con tabla de elementos del intercambiador.

Este plano permite observar todas las piezas que contiene el intercambiador para su ensamble total, así como el nombre de cada pieza que se le dio en el plano de esta. Figura 31.

Fabricar, ensamblar y pulir equipo en línea de producción.

*Fabricación.

Como primer paso tenido el material para la fabricación del cuerpo el cual es placa cal 1/8" se manda a rolar con una roladora para dar el diámetro indicado de acuerdo a planos, mientras la lámina se manda a rolar se pasa a realizar la preparación del corte de las bridas en maquina laser, las cuales deberán ser fabricadas en la placa de 1/2", para esto el operador deberá realizar el programa de boceto de acuerdo a los planos y el programa para corte de la máquina, cuando este paso fue terminado, se pasó a maquinar las bridas en torno CNC para darles el diámetro final de acuerdo a planos y realizar los barrenos correspondientes de cada brida.

Cuando la lámina del cuerpo fue entregada y rolada, se pasó a realizar el ensamble de las bridas de sujeción del cuerpo o carcasa, para esto se empalmaron ambas partes con una separación de 1/32 para penetración de soldadura, primero se punteo todo el cuerpo junto con la brida, y se realizó el proceso de soldado mediante el proceso TIG, el cual consiste en una maquina con corriente directa utilizando gas Argón de alta pureza y tungsteno punta roja al 2% esto se refiere a el material thioro el cual, proporciona gran conductividad eléctrica,

ofrece al soldador un arco eléctrico fácil de inicio y muy estable. Este electrodo es el más común en este proceso. Aparte de esto se hace uso de un aporte de 1/16" en Tipo-316.

Terminado el proceso de soldadura se desbastan las soldaduras interiores y exteriores. Se vuelve a rolar el cuerpo para conformar nuevamente el diámetro

Nota: al aplicarle los cordones de soldadura al cuerpo, este tiende a tener cierta deformidad ya que el calor hace este efecto.

Terminado este punto, se procede al pulido interior y exterior para dar un acabado superficial, para este punto se desbasta la soldadura con discos de lija del número 60 y 80, posteriormente se vuelve a asentar la soldadura con ayuda del martillo y se le da un pre acabado con discos de polvo de grano 120. Teniendo listo este proceso de pulido se da el acabado final el cual se realiza mediante la aplicación de pasta llamada satín la cual es de grado 480.

Este proceso de soldado y pulido se realiza en cada avance de fabricación ya que si el pulido se realiza al final del ensamble los motores de pulido no llegarían a pulir en las zonas más difíciles de alcanzar, para eso se da un pre pulido y pulido final en cada avance de fabricación.

El ensamble para colocar las bridas al cuerpo lleva un orden el cual consiste en colocar la brida de fondo, la cual lleva la ranura para el sello interior o cedazo, y se procede al pulido interior y exterior de la soldadura tal cual fue el proceso anterior de pulido. El proceso de soldadura utilizado en esta fabricación fue el proceso TIG, cuando el pulido fue realizado, viene después la colocación de la brida superior o entrada de cartucho, se hace el mismo procedimiento, se pule, previamente ya están fabricadas las bases del cuerpo, las cuales se realizaron mediante placa de 1/8" realizándole unos barrenos y ojales de acuerdo con planos y haciendo un doblé en prensa de 90°.

Teniendo ya todo esto soldado y pulido, se pasa al armado y nivelación de las bridas, para poder nivelarlas depende del número de barrenos que tiene la brida y se toma referencia de dos barrenos respecto a la base del cuerpo, cuando se nivela la pieza se sacan centros para boquetes o barrenos para colocación de injertos o entrada y salida de agua caliente o vapor, Se procede a hacer el mismo procedimiento de soldadura y pulido de los mismos, con este proceso de colocación de injertos o coples daríamos por terminado el armado de cuerpo y se da el acabado del pulido final.



Figura 32 Cuerpo o carcaza del intercambiador.

En la figura 32 se muestra el cuerpo del intercambiador con las bridas soldadas, de manera que también se le hicieron los barrenos para los injertos que llevara para la entrada de agua caliente o vapor.



Figura 33 Cuerpo o carcaza montada en base.

En la figura 33 se muestra el cuerpo ya montado en las bases, en este punto las soldaduras ya fueron soldadas y pulidas.



Figura 34 Colocación de las entradas de agua caliente o vapor.

En la figura 34 se observa que los coples ya fueron montados y soldados en el cuerpo o carcaza en este punto aún no han sido pulidas.



Figura 35 Cuerpo o carcaza terminada y pulida en su totalidad.

Seguido se realiza el armado de las tapas abombadas con las bridas de sujeción, para la fabricación de las tapas abombadas se realizaron en lamina mediante un proceso de embutido, para el embutido se ocupó una prensa de capacidad de 50 toneladas. El primer paso es identificar el diámetro que pide el cuerpo del intercambiador para la fabricación de un troquel para el abombado de la lámina, teniendo la fabricación del abombado de la lámina, se pasa a recortar el excedente de lámina, con ayuda de un disco de corte y se emparejan las caras con el disco laminado para el esmeril. Teniendo este paso se pasa a la unión con soldadura de las tapas abombadas con las bridas, repetimos el proceso descrito anteriormente de soldado y pulido, luego se procede a la colocación de la división de la entrada y salida de producto, se realiza el proceso de soldado y pulido, para este punto ya se deja el pulido final en las piezas. Para la fabricación de los empaques de sellado, se usó material Teflón (PTFE), para esto se realizó el trazado del diseño en el material para después cortarlo y dejar la forma del empaque lista.

Para la fabricación de cedazo, se toma en cuenta la longitud interior del cuerpo del intercambiador para el corte de tubería sanitaria acero Inoxidable. T-316 de 1/2", el proceso de corte de estos tubos se realiza en el torno CNC ya que también se le realizó un pequeño careado en ambas caras para dejar la longitud a la medida marcada en plano. Se procede con el armado de la brida inferior y superior, La tubería se ajusta con las bridas y se realiza el proceso de soldadura del puro fondeo esto se refiere a la fundición de ambos materiales, ya teniendo el fondeo con ambas bridas se realiza la limpieza de las piezas soldadas con ácido o decapante para retirar lo quemado de la soldadura.

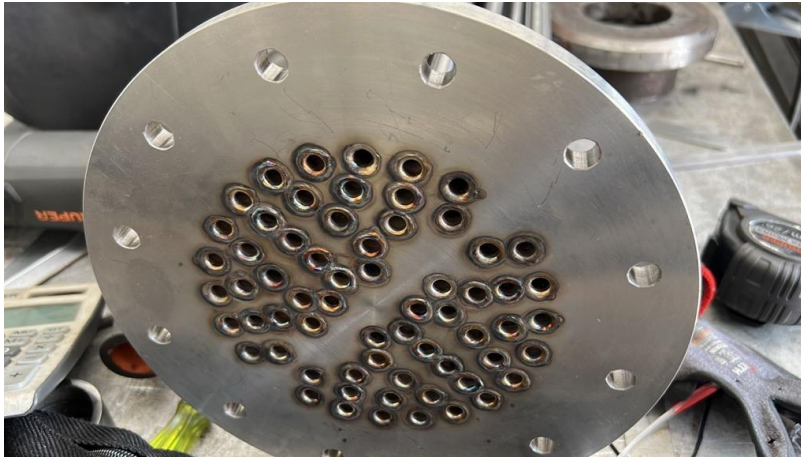


Figura 36 Proceso de soldado del serpentín con brida superior.



Figura 37 Proceso de soldado del serpentín con brida inferior.

En la figura 36 y 37 se muestra el resultado del proceso de soldadura o fondeo, se puede ver como queda quemada la superficie por este proceso, para el proceso de pulido como se mencionó anteriormente se usa ácido para quitar lo quemado de la soldadura.



Figura 38 Montaje completo de bridas soldadas al serpentín.

En la figura 38 se puede observar el montaje final del serpentín con las bridas superior e inferior en este punto ya se le dio un pulido a toda la pieza.



Figura 39 Tapa abombada sin entrada y salida de agua caliente o vapor.

En la figura 39 se muestra el proceso de soldado del embutido con la brida para formar la tapa. Se observa de igual manera como queda la misma pieza con el pulido final.



Figura 40 Tapa abombada con entrada y salida de agua caliente o vapor.

En la figura 40 se logra observar la forma final de la tapa abombada con entrada y salida, el proceso de soldadura se realizó de la misma manera que la tapa sin entrada y salida. Se muestra la tapa con el pulido final.



Figura 41 Vista previa de la tapa abombada con la brida del serpentín.

En la figura 41 se observa la vista previa del ensamble de la tapa abombada con la brida inferior del serpentín, con el fin de observar que tanto la brida como la tapa ensamblan de manera correcta.

A continuación, se muestran las partes que conforman el Intercambiador de Calor de Tubo y Carcaza, se muestran en su forma final con un pulido y listo para su ensamblaje.



Figura 42 Partes del Intercambiador.

En la figura 42 se muestran todos los elementos que componen al intercambiador en este punto las piezas ya tenían el pulido final y estaba todo listo para ensamblar.

Por último paso se realizó el armado del cedazo o de los tubos (serpentín) con bridas en el cuerpo o carcasa, para esto se utilizaron también los empaques previamente fabricados en teflón blanco de 1/8" espesor, para que funcionara como sello y no tuviera fuga y caída de presión, teniendo el ensamblaje del intercambiador listo, se procede a realizar las pruebas correspondientes, en este caso se realizó la prueba neumática para observar la resistencia de presión de aire con el fin de ver si presentaba alguna fuga o caída de presión, dicha prueba se realizó por un periodo de media hora a una presión de 150lb, al observar que no presento ninguna falla se pasó a realizar la preparación del equipo para su entrega al cliente, para esto se lavó el equipo con agua y jabón ya que no debía de llevar ningún rastro de grasa y tenía que ir perfectamente limpio, se empleó y se preparó su embarque en un vehículo para ser transportado y entregado al cliente en tiempo y forma. En la figura 43 se puede observar el ensamble total del intercambiador al mismo tiempo se puede apreciar el momento en el que se realizaba la prueba anteriormente mencionada.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Mediante las pruebas a la que se sometió el equipo, se comprobó que todo el proceso de fabricación fue el correcto, desde la parte de soldadura, hasta la parte del ensamblado, ya que

no presento ninguna falla como la pérdida de presión y tanto los empaques como los tapones funcionaron correctamente.

El resultado final se dio cuando el equipo fue entregado al cliente, y este se colocó y se puso en marcha directamente en el proceso, logrando observar el funcionamiento al cien por ciento.

Durante este proceso se cumplieron los siguientes puntos.

- *Tiempo de entrega.

- *Correcta selección de materiales.

- *Correcto proceso de fabricación y pulido.

- *Elaboración de las pruebas pertinentes para comprobar el funcionamiento del equipo antes de la entrega final.

El resultado final de este proyecto se puede apreciar en la figura 43, donde se muestra el equipo final trabajando en las pruebas a la que fue sometido.



Figura 43 Intercambiador de Calor sometido a prueba neumática a 150lb.

CONCLUSIONES

El proyecto funciono correctamente, de acuerdo con lo estipulado por el cliente, pese a las dificultades que se presentaron de acuerdo con las modificaciones de las bridas de sujeción y el nuevo arreglo de los tubos en el diseño de nuevos planos y la autorización de estos, el proyecto concluyo exitosamente.

Un punto que destacar es la falta de mamparas de sujeción para el serpentín ya que mejora la sujeción de este y no permite que haya una deformación de este en el choque térmico que pueda tener, este punto de uso de mamparas se le hicieron ver al cliente, pero decidió no incluirlas en el proyecto.

Las pruebas realizadas se realizaron de forma eficaz, cuando el intercambiador estaba montado dentro de la planta del cliente, se realizó una prueba de campo para observar el correcto funcionamiento, esta prueba no debe ser menor a 3 horas de trabajo ininterrumpidas.

El proyecto sirvió como experiencia para conocer distintos tipos de vareadores de temperatura, que pueden ser más accesibles y con un mejor costo-beneficio. Además de ver personalmente el uso de este en una línea de producción de Helado tan grande como lo es Nestlé.

OBJETIVOS EDUCACIONALES

***Identificar, resolver y formular problemas de Ingeniería Mecatrónica aplicando conocimientos de ciencias básicas e ingeniería:** Plantear soluciones efectivas ante problemas de la vida real, mejorando un proceso y hacerlo más funcional.

***Analizar, aplicar y proponer procesos de diseño de Ingeniería que resulten en proyectos Mecatrónicos que cumplen las necesidades o requerimientos especificados:** En este punto desarrolle diversos planos mediante el software SolidWorks que permitieron la creación del intercambiador, rediseñando planos ya establecidos para una mejor funcionalidad y mejora de diseño.

***Comunicarse de manera efectiva con diferentes audiencias, de forma oral y escrita:** Mantener una comunicación asertiva con el cliente en diferentes circunstancias, saber expresarme y tener la confianza de manejar un levantamiento de proyecto.

***Trabajar de forma eficaz y eficiente en equipos que establecen metas, planean tareas, cumplen fechas límite, y analizan riesgos e incertidumbre:** En este punto he desarrollado esta habilidad ya que he estado apegado a un plan de trabajo mediante un cronograma de actividades, para llevar un orden secuencial bien organizado y que se cumplan las metas de entregas parciales o totales de los diferentes proyectos que se tienen que realizar.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Barderas, A. V. (s.f.). *Ingeniería del Calor*. Obtenido de Capítulo V Intercambiadores de

Calor de coraza y tubos.:
<https://librosdrvaliente.files.wordpress.com/2015/09/capc3adtulo-5-cambiadoresde-calor-de-coraza-y-tubos.pdf>

Barrera, I. C. (2018). *Instalaciones Térmicas, Mecánicas y Frigoríficas*. Obtenido de Intercambiador de Calor: <file:///C:/Users/Maquinox%20Integraci%C3%B3n/Pictures/titulacion/informacion%20recabada/INTERCAMBIADOR%201%202018%20facultad%20regional%20men-doza.pdf>

Carcaza, I. d. (s.f.). Obtenido de <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/csalas/OP2/CARCAZATUB.pdf>

Fernández., P. M. (s.f.). *Laboratorio de Operaciones Unitarias I*. Obtenido de Transferencias de Calor en Intercambiadores.: <https://lopei.files.wordpress.com/2010/07/practica-9.pdf>

Foisa, C. (s.f.). *Calefacción y Calentadores*. Obtenido de Comercial Foisa Calefaccion y Calentadores.: <https://comercialfoisa.com/intercambiador-de-calorfuncionamientotipos-y-eficiencia/>

González., P. I. (s.f.). *Intercambiadores de Calor Unidad 4*. Obtenido de Universidad Nacional Experimental, Francisco de Miranda, Programa de Ingeniería Química.: <https://operacionesunitarias1.files.wordpress.com/2011/07/unidad-ivintercambiadores-de-calor.pdf>

Jaramillo, O. A. (20 de Noviembre de 2007). *Centro De Investigación en Energía*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2023, de <file:///C:/Users/Maquinox%20Integraci%C3%B3n/Pictures/titulacion/informacion%20recabada/intercambiador%20de%20calor%20tesis%20de%20la%20unam.pdf>

JUAN GONZALO ARDILA MARÍN, D. A. (15 de Diciembre de 2012). *Intercambiadores de calor de tubo en espiral*. Obtenido de Spiral tube heat exchangers: <https://www.redalyc.org/pdf/5537/553756872006.pdf>

Touceda, F. T. (s.f.). *Estudio del Proceso de Abullicion Forzada de la Mezcla Amoniaco/Agua en Intercambiadores de Placas Para Equipos de Refrigeración por Absorción*. Obtenido de Universitat Rovira I Virgili: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8491/06CAPITULO2INTERCAMBIADORESDREPLACAS.pdf?sequence=5>

ANEXOS.

Tultitlán estado de México a octubre 09 del 2023.

Atención:

Ingeniero. Francisco Javier Sánchez Rico.

Asesor de Titulación.

MAQUINADOS DE INOXIDABLE, S.A. DE C.V.

Por medio de la presente, extendemos un cordial saludo, y al mismo tiempo hacemos de su conocimiento, que actualmente en Maquinados de Inoxidable, S.A. de C.V. se encuentra laborando el C. Benjamin Uriel Castañeda Sanchez. Participando en el proyecto de la fabricación de un Intercambiador de Calor de Tubo y Carcasa.

Se autoriza al C. Benjamin Uriel Castañeda Sanchez a presentar información del proyecto, Ingeniería a detalle y fotografías de desarrollo de este para fines escolares correspondientes a su titulación.


Ing. Mico Oscar Pérez
Director de Proyectos



Maquinox
División Telefonía



Conmutador:
(01.55)58.79.91.53
(01.55)10.39.20.44
info@maquinox.mx
support@maquinox.mx

Priv. De Ayuntamiento No.10
Col. San Pablo de las Salinas,
Tultitlan, Estado de México.

Tultitlán estado de México a octubre 09 del 2023.

Atención:

Ingeniero. Daniela Pinales Landeros

Jefa de Ingeniería Mecatrónica.

MAQUINADOS DE INOXIDABLE, S.A. DE C.V.

Por medio de la presente, extendemos un cordial saludo, y al mismo tiempo hacemos de su conocimiento, que actualmente en Maquinados de Inoxidable, S.A. de C.V. se encuentra laborando el C. Benjamín Uriel Castañeda Sánchez el cual tuvo ingreso el 9 de febrero del 2021, desempeñando el puesto de integración en el departamento del mismo nombre, aplicando los conocimientos adquiridos en su carrera como mecatrónico, ayudando en los resultados del departamento.

Dentro de las principales actividades que desempeña están:

- Diseño en SolidWorks.
- Elaboración de Reportes de Material.
- Realización de Certificados de Calidad.
- Elaboración de cálculos para grabado laser, grabado laser.
- Levantamiento de proyectos.


ATENTAMENTE
Ing. Julio Cesar Pérez G.
Director de Proyecto



Maquinox
División Teletón



Conmutador:
(01.55)58.79.91.53
(01.55)10.39.20.44
info@maquinox.mx
support@maquinox.mx

Priv. De Ayuntamiento No.10
Col. San Pablo de las Salinas,
Tultitlán, Estado de México.