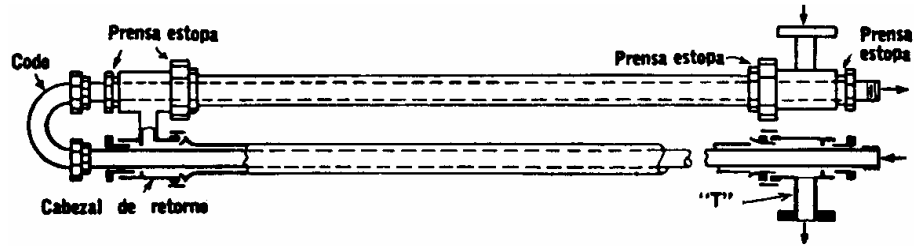


## EQUIPOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

### Intercambiadores de Doble Tubo

La imagen industrial de este aparato se muestra en la siguiente figura.



*Intercambiador de Doble Tubo*

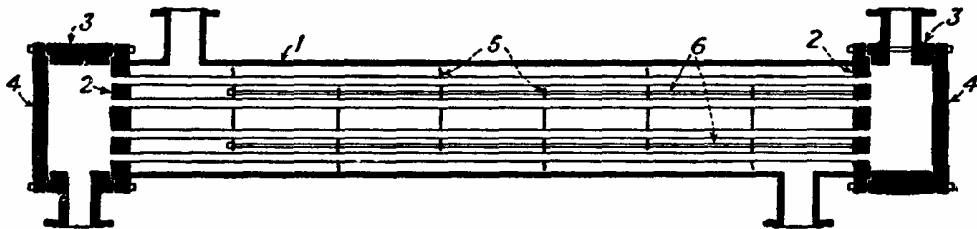
Las partes principales son dos juegos de tubos concéntricos, dos tes conectoras, un cabezal de retorno y un codo en U. La tubería interior se soporta en la tubería exterior mediante estopas y el fluido entra en el tubo interior a través de una conexión roscada localizada en la parte externa del intercambiador. La tubería interior se conecta mediante una conexión en U que está generalmente expuesta y que no proporciona superficie de transferencia de calor. Cuando se arregla en dos pasos, como es el caso de la figura anterior, la unidad se llama horquilla.

La longitud efectiva es la longitud en cada rama sobre la que ocurre transferencia de calor y excluye la prolongación del tubo interior después de la sección de intercambio. Los intercambiadores de doble tubo generalmente se ensamblan en longitudes efectivas de 12, 15 {o 20 pies.

### Intercambiadores de Tubo y Coraza

La satisfacción de muchas demandas industriales requiere el uso de un gran número de horquillas de doble tubo. Estas consumen considerable área superficial así como presentan un número considerable de puntos en los cuales se puede hacer fugas. Cuando se requieren superficies grandes de transferencia de calor, pueden ser obtenidas por medio de equipo de tubo y coraza.

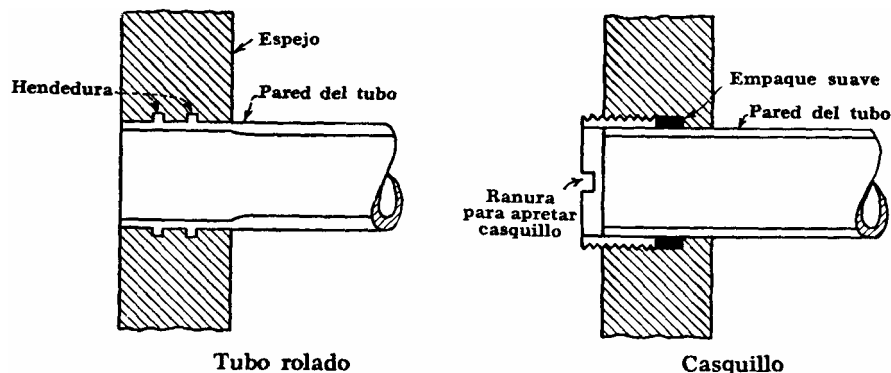
Este tipo de intercambiador consiste en un haz de tubos, por donde se hace pasar una corriente de intercambio, que se introducen dentro de una coraza en cuyo interior a hace circular la otra corriente de intercambio.



*Intercambiador de Calor de Tubo y Coraza*

Las partes esenciales son la Coraza (1), equipada con dos entradas y tiene dos cabezales de tubos o espejos (2) a ambos lados, que también sirven como bridas para fijar los dos carretes (3) y sus respectivas tapas (4), los deflectores transversales (5) en el lado de la coraza

El equipo de tubo y coraza involucra la expansión de un tubo en un espejo, placa ó cabezal, y la formación de un sello que no fuga bajo condiciones razonables de operación. Se puede observar un claro ejemplo a continuación.

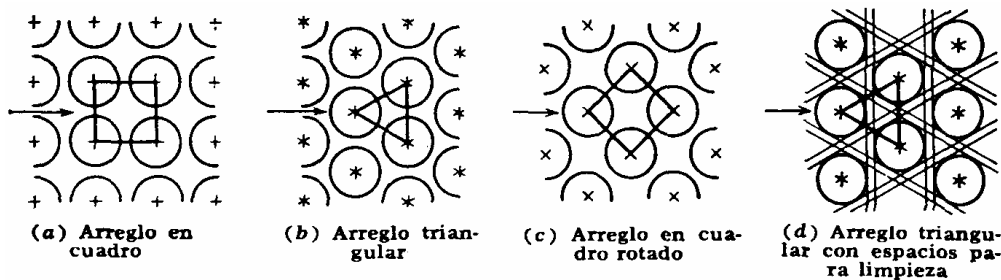


*Tubo rolado y casquillo*

También se puede utilizar la soldadura del tubo en el cabezal según sea los requerimientos de operación y material de construcción del intercambiador.

**Tubos para intercambiadores de calor.** Estos se encuentran disponibles en varios metales, los que incluyen acero, acero inoxidable, cobre, admiralty, etc. Se pueden obtener en diferentes grosores de pared definidos con el calibrador BWG. El área que poseen estos tubos representan el área de transferencia de calor que posee el intercambiador.

**Espaciado de los tubos.** Los orificios de los tubos no pueden taladrarse muy cerca uno del otro, ya que una franja demasiado estrecha de metal entre los tubos adyacentes, debilita estructuralmente el cabezal de tubos o espejo. Los tubos se colocan en arreglos ya sea triangulares o cuadrados, tal como se muestran en la siguiente figura. La ventaja del espaciado cuadrado es que los tubos son accesibles para limpieza externa y tienen pequeña caída de presión cuando el fluido fluye en la dirección indicada en la figura siguiente.



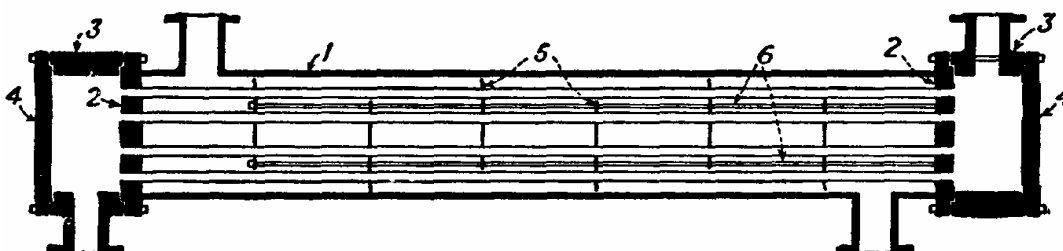
*Arreglos comunes para los tubos de intercambiadores*

**Corazas.** Las corazas se fabrican en tuberías de acero. El diámetro varía de acuerdo a las dimensiones de diseño del equipo, del mismo modo, el grosor de las paredes de la coraza, aumentando este de acuerdo a las presiones de operación y a las condiciones de corrosión del sistema para así aumentar la vida útil del equipo.

**Cabezal, Espejo o Placa.** Es la pieza metálica de la que se sujetan los tubos, esta debe ser de un material similar al de los tubos para evitar la corrosión galvánica y debe tener un espesor considerable para soportar las condiciones de operación (presión, temperatura y corrosión).

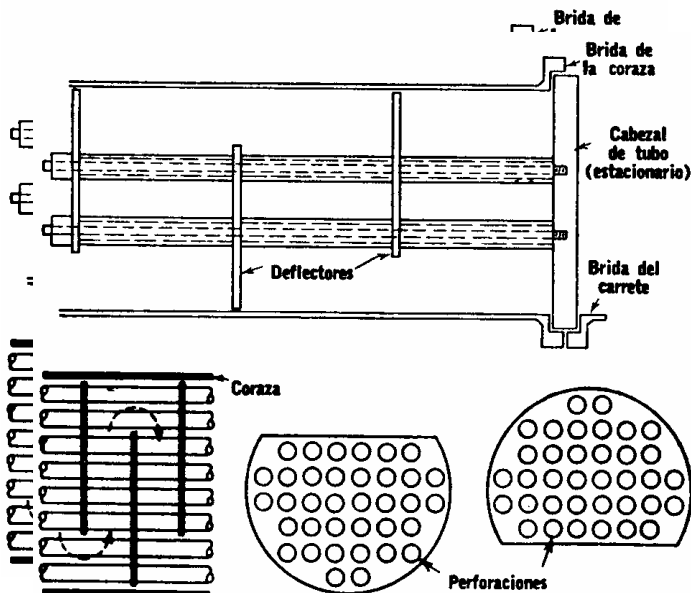


**Intercambiadores con cabezal de tubos estacionario.** Este es el tipo más simple de intercambiador, de los cuales el mostrado en la figura es un ejemplo.



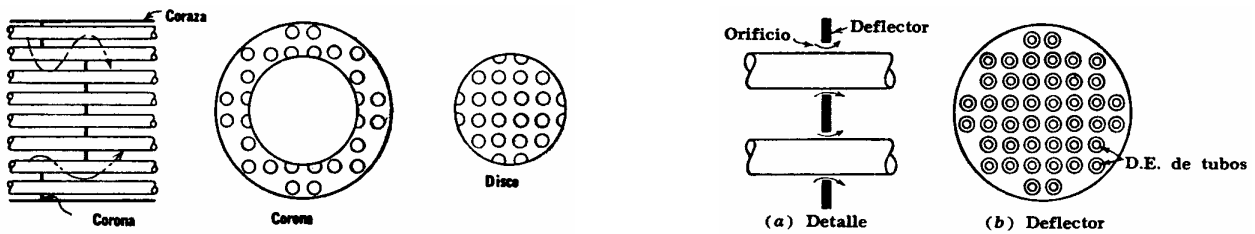
*Intercambiador de calor de tubos estacionario*

**Deflectores.** Aumentando la turbulencia en el líquido se aumenta el coeficiente de transferencia de calor. Para inducir esta turbulencia fuera de los tubos, es costumbre emplear deflectores que hacen que el líquido fluya a través de la coraza en ángulo recto con el haz de tubos. Esto causa una considerable turbulencia aun cuando por la coraza fluya una cantidad pequeña de líquido. Los deflectores también son utilizados como soporte del haz de tubos a fin de que estos no se pandeen a lo largo del intercambiador. Hay varios tipos de deflectores, los más usados son los deflectores segmentados, los cuales son hojas de metal perforadas cuyas alturas son generalmente 75 % del diámetro interior de la coraza. Estos se conocen como *deflectores de 25 % de corte*.



Detalle de deflector segmentado

Otros tipos de deflectores son el disco y corona y el deflector de orificio. Aun cuando algunas veces se emplean otros tipos, no son de importancia general.

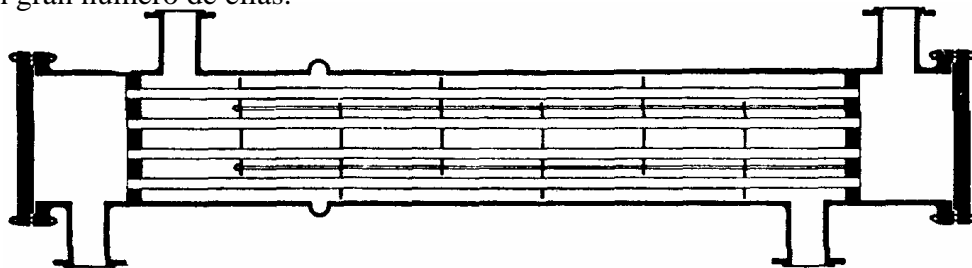


Deflector de disco y corona

Deflector de orificio

### Intercambiador con cabezal de tubos fijos con tapas integrales

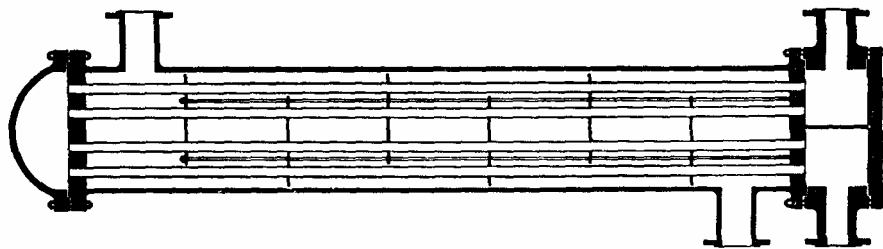
Al usar intercambiadores con cabezal de tubos fijos, es a menudo necesario tomar en cuenta la expansión térmica diferencial entre los tubos y la coraza durante la operación, o de otra manera se desarrollarán esfuerzos térmicos a través del espejo o cabezal de tubos. Esto puede efectuarse usando una *junta de expansión ó junta de dilatación* en la coraza, de las cuales hay disponible un gran número de ellas.



Intercambiador de cabezal de tubos fijos con carretes integrales.

### Intercambiador 1-2 con cabezal de tubos fijo

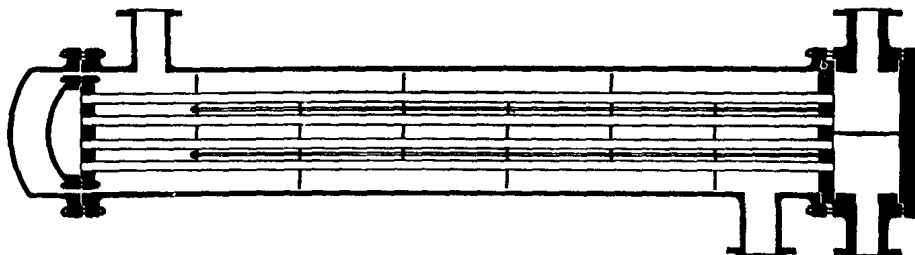
El intercambiador en el cual el fluido de la coraza fluye en un paso por la coraza y el fluido de los tubos en dos ó más pasos, es el *intercambiador 1-2*. Se emplea una sola tapa con una división para permitir la entrada y salida del fluido de los tubos por la misma tapa. En el extremo opuesto del intercambiador está colocado un bonete o una división para permitir que el fluido de los tubos pase del primero al segundo paso. Como con todos los intercambiadores de cabezales fijos, la parte externa de los tubos es inaccesible para la inspección o limpieza mecánica. El interior de los tubos puede ser limpiado removiendo únicamente la pared del carrete y usando un limpiador rotatorio o un cepillo de alambre.



Intercambiador 1-2 de cabezal fijo

### Intercambiador con haz de tubos removible

En la siguiente figura se muestra un contratipo del intercambiador 1-2, que tiene el banco de tubos removible de la coraza.

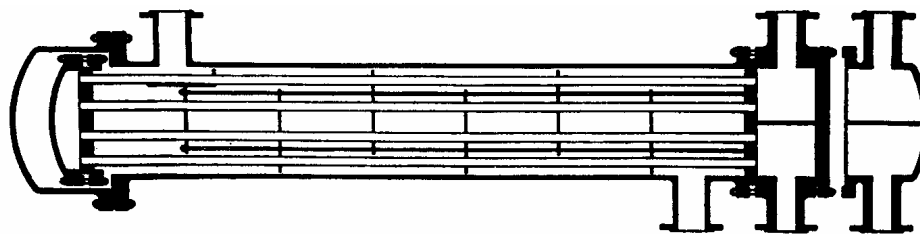


*Intercambiador 1-2 con cabezal flotante de arrastre*

Consiste en un cabezal de tubos estacionario, que se encuentra sujeto entre la brida de una tapa y la brida de la coraza. En el extremo opuesto al haz de tubos, éstos se expanden en un *cabezal de tubos flotantes* que se mueve libremente. Al *cabezal de tubos* se atornilla un *casquete de cabezal flotante* y todo el haz de tubos puede extraerse por el extremo de la tapa. La coraza se cierra mediante una tapa. La desventaja de usar cabezal flotante es de simple geometría. Para asegurar la tapa del cabezal flotante es necesario atornillarla dentro de la coraza de los tubos, y los tornillos requieren el uso de espacio donde sería posible insertar un gran número de tubos. El atornillador no solo reduce el número de tubos, sino también provee de una canalización de flujo no deseable entre el banco de tubos y la coraza.

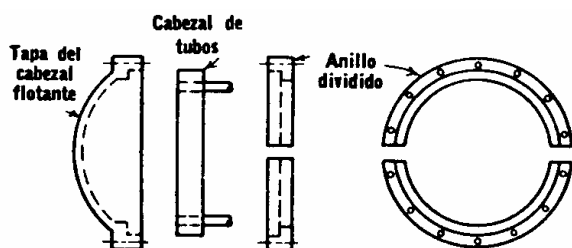
### Intercambiador de calor 1-2 de cabeza flotante y anillo seccionado

Aun cuando es relativamente cara su manufactura, tiene un gran número de ventajas mecánicas.



*Intercambiador 1-2 de cabezal flotante*

Difiere del tipo cabezal de arrastre por el uso de un arreglo de anillo seccionado en el cabezal flotante de tubos y una coraza más grande que lo cubre y acomoda. Los detalles del anillo seccionado se muestran a continuación:

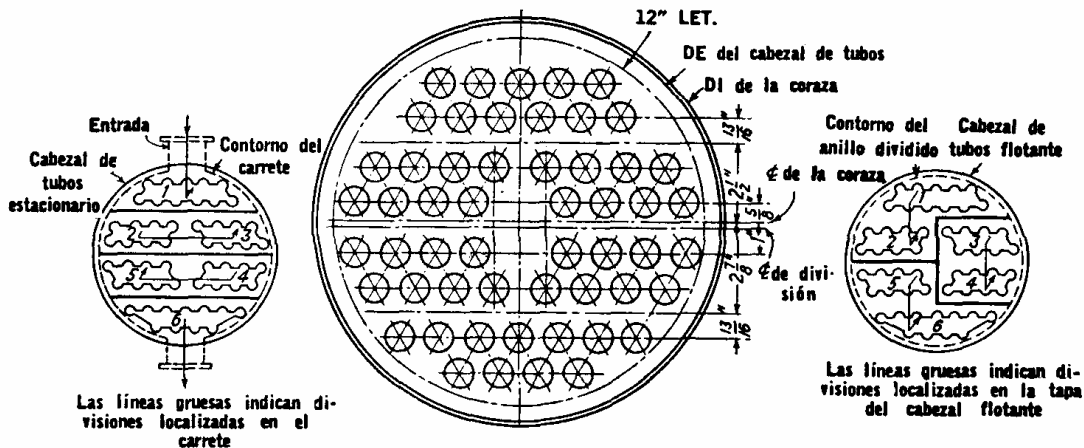


*Ensamble de anillo abrazadera dividido*

Diferentes fabricantes también tienen diferentes modificaciones del diseño que aquí se muestra, pero todas ellas llenan el propósito de proveer un aumento de la superficie en comparación con el cabezal de arrastre considerando un mismo tamaño de coraza.

### Distribución de cabezal de tubos y numeración de tubos

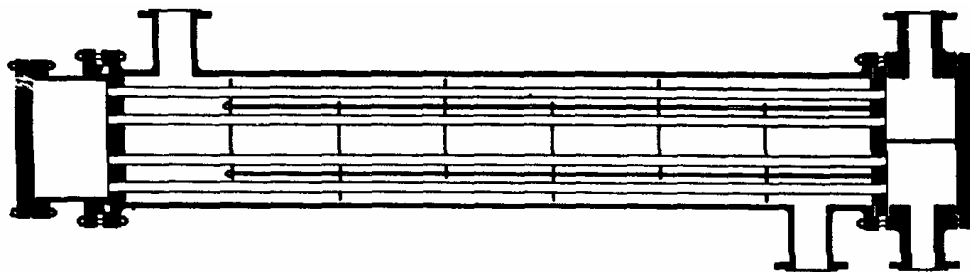
Una distribución típica de tubos para un intercambiador de cabezal flotante de anillo dividido, se muestra en la siguiente figura:



*Distribución de tubos en el cabezal o tapa para una coraza de 13 ¼ plg DI con tubos de 1 plg DE y en arreglo de paso triangular de 1 ¼ plg acomodado para seis pasos por los tubos*

### Cabeza flotante empacada

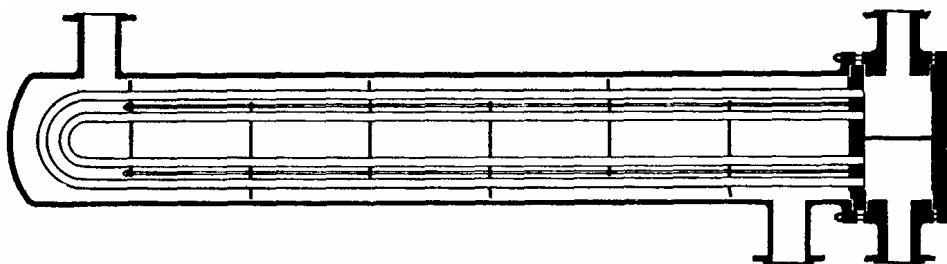
Otra modificación del intercambiador 1-2 de cabeza flotante es el intercambiador de cabeza o tapa flotante empacada, que se muestra en la siguiente figura. Este intercambiador tiene una extensión en el cabezal de tubos flotantes, que se confina mediante una empaadura. Aun cuando es enteramente satisfactorio para corazas hasta de 36 plg DI, las empaaduras mayores de esta medida no se recomiendan para presiones altas o en servicios sujetos a vibración.



*Intercambiador 1-2 de cabezal flotante empacada*

## Intercambiadores con tubos en U

Los intercambiadores 1-2 que se muestran a continuación están formados por tubos que se doblan en forma de U y se rolan después en la tapa (espejo o cabezal de tubos).

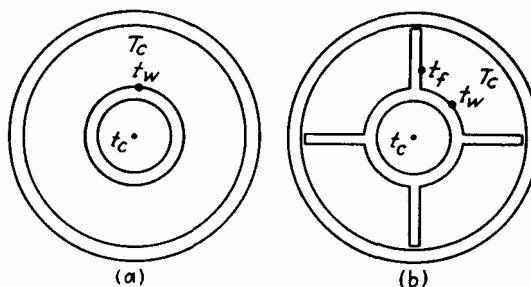


*Intercambiador 1-2 con cabezal flotante de arrastre*

Los tubos pueden dilatarse libremente, eliminando la necesidad del cabezal de tubos flotante, la tapa del cabezal, la brida de la coraza y la tapa removible de esta última. El diámetro más pequeño al cual se puede doblar un tubo sin deformar su diámetro exterior en un doblez en U, es de tres a cuatro veces el diámetro exterior del tubo, Esto significa que es necesario omitir algunos tubos en el centro del haz, dependiendo de la distribución.

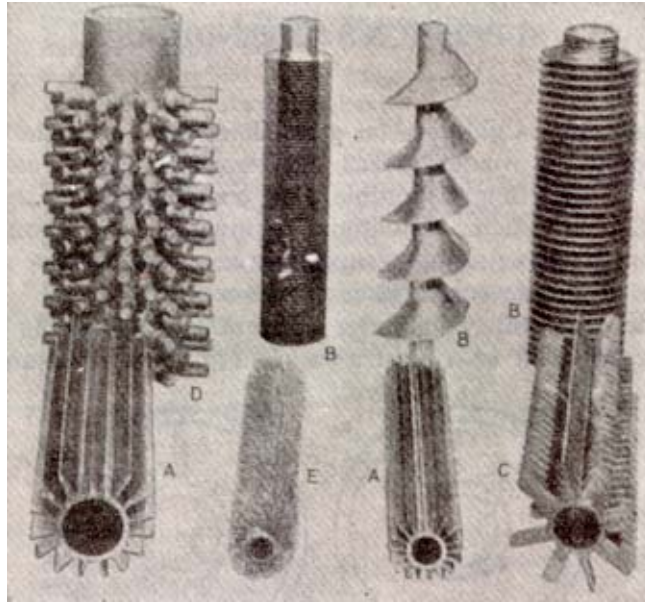
## Superficies Extendidas

Cuando a las superficies ordinarias de transferencia de calor se le añaden piezas adicionales de metal, estas últimas extienden la superficie disponible para la transferencia de calor. Mientras que las superficies extendidas aumentan la transmisión total de calor, su influencia como superficie se trata de una manera diferente de la simple conducción y convección.



*Tubo ordinario y tubo aleteado*

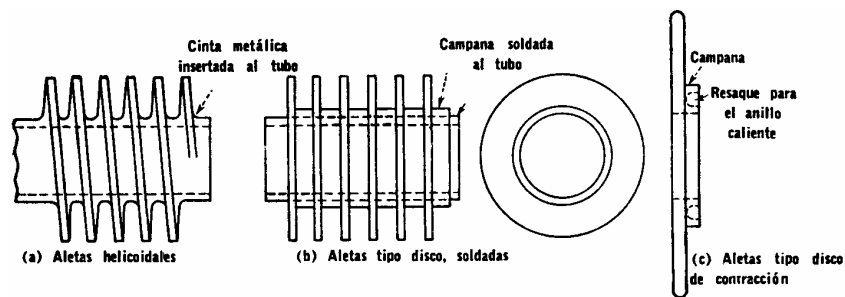
Considere un intercambiador convencional de doble tubo cuya sección transversal se muestra en la figura a), suponga que el fluido caliente fluye en el ánulo y el fluido frío en el tubo interior en flujo turbulento. Luego suponga que al tubo interior se le sueldan aletas de metal como se muestra en la figura b). Puesto que las aletas se fijan a la superficie del tubo frío sirven para transferir calor adicional del fluido caliente al tubo interior. La superficie total disponible para la transferencia de calor no corresponde ya a la circunferencia exterior del tubo interior, sino que está aumentada por la superficie adicional en los lados de las aletas. Si las aletas de metal no reducen el coeficiente de transferencia de calor convencional en el ánulo por cambio apreciable de las líneas de flujo, se transferirá más calor del fluido caliente al fluido en el tubo interior.



Algunas formas comerciales de superficies extendidas. a Aleta longitudinal. B. Aletas transversales. C. Aletas discontinuas. D. Dientes o espigas. E. Espinas

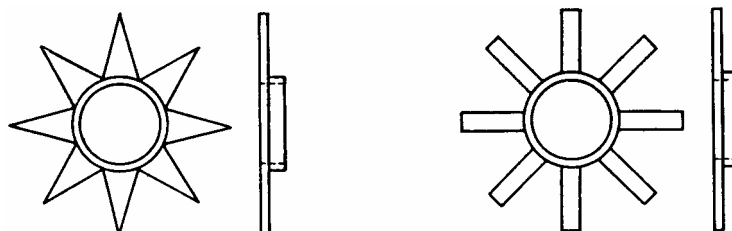
### Aletas transversales

Se fabrican de una gran variedad de tipos y se emplean principalmente para el enfriamiento y calentamiento de gases en flujo cruzado. Las aletas helicoidales de la figura a) se clasifican como transversales y sujetan a varias formas tales como insertos, expandiendo el metal mismo para formarlas o soldando una cinta metálica en el tubo en una forma continua. Las aletas de tipo disco son también del tipo transversal y usualmente se sueldan al tubo o se sujetan a él mediante contracción, como se muestra en la figura b) y c).



Aletas transversales

Las aletas de tipo espina y tipo diente o espiga, emplean conos, pirámides o cilindros que se extienden desde la superficie del tubo de manera que se pueden utilizar para flujo longitudinal o flujo cruzado.



Aletas discontinuas

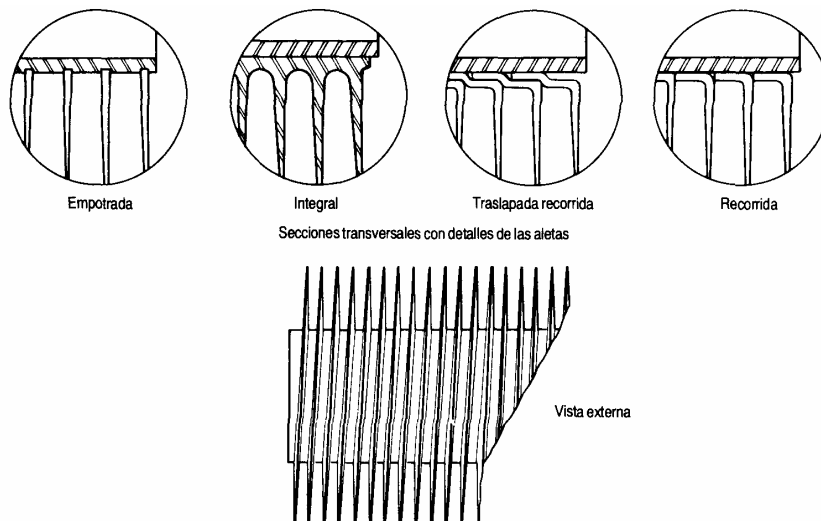
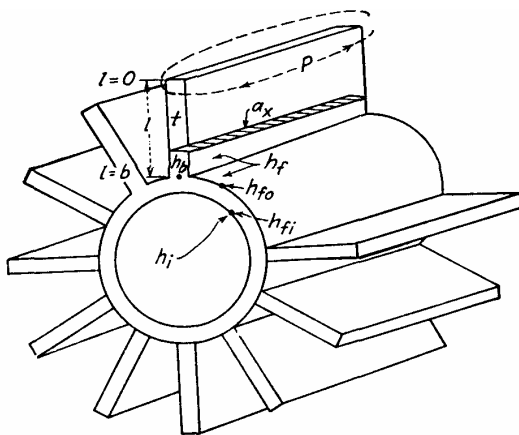


FIG. 11-15 Configuraciones de tubos con aletas.

### *Colocación de las aletas en los tubos*

#### **Aletas longitudinales**

La aleta más simple desde el punto de vista de su manufactura como de su diseño, es la aleta longitudinal de espesor uniforme.



*Vista de una tubería con aleta longitudinal*

#### **Intercambiadores del Tipo de Placa**

Existen intercambiadores de tipo de placa en varias formas: en espiral, de placa (y armazón) de aleta con placa soldada y de aleta con placa y tubo.

#### **Intercambiadores de placa en espiral**

El intercambiador de placa en espiral se hace con un par de placas laminadas para proporcionar dos pasos rectangulares relativamente largos para los fluidos en flujo en contracorriente. La trayectoria continua elimina la inversión del flujo (y la caída consiguiente de la presión), las desviaciones y problemas de dilataciones. Los sólidos se pueden mantener en suspensión. Se produce turbulencia con una velocidad de flujo más baja que en el caso de los tubos rectos.

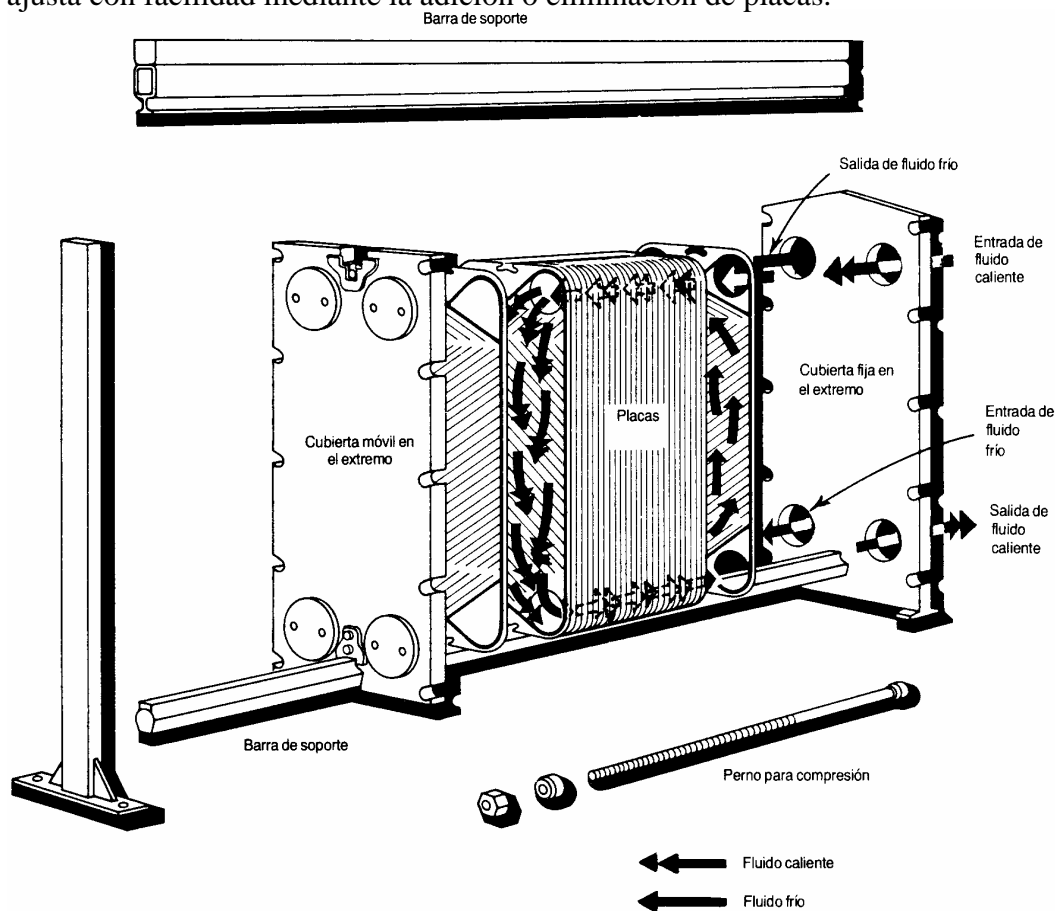
El diseño en espiral es compacto si se toma en cuenta que puede proporcionar 167 m<sup>2</sup> (1800 pie<sup>2</sup>) de superficie de transferencia de calor en una unidad de 1.4 m (56 plg) de diámetro. La espiral tiene, generalmente, una altura de 1.5 m (60 plg).

Los intercambiadores se pueden diseñar para presiones de hasta 150 psi (10.2 atm). Los materiales de construcción incluyen el acero al carbono, acero inoxidable de los tipos 304, 316 y 430F, aleación 20, Inconel, metal monel, níquel, Hastelloy B y C, Everdur y titanio.

### Intercambiadores de placa y armazón

Los intercambiadores de placa y armazón consiste en placas estándares, que sirven como superficies de transferencia de calor y un armazón para su apoyo. La caída de presión es baja y resulta imposible que haya fugas de fluidos.

Las placas estándares de transferencia de calor (normalmente de acero inoxidable de los tipos 304 y 316, pero también de titanio, níquel, metal monel, Incoloy 825, Hastelloy C, bronce al fósforo y cuproníquel también están disponibles), comprimidas en una pieza simple de material de 1.3 a 6.4 mm (0.05 a 0.125 plg), tiene estrías para recibir empaques de goma (elastómero). El diseño corrugado de las placas les da rigidez, fomenta la turbulencia de los fluidos y asegura la distribución completa del flujo. Los miembros de soporte y armazón existen en acero inoxidable recubiertos ó acero dulce esmaltados. Las placas se pueden limpiar y reemplazar con facilidad. El área se ajusta con facilidad mediante la adición ó eliminación de placas.



*Intercambiador de calor de placas y armazón  
El fluido caliente fluye hacia abajo, entre placas alternadas  
y el fluido frío fluye hacia arriba, entre placas alternadas.*

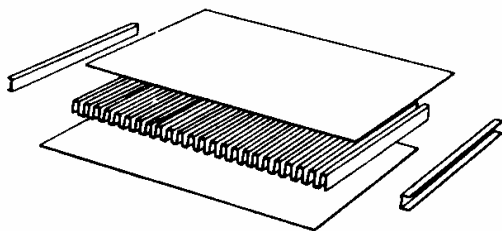
Cuando se especifica una construcción de lado del tubo de acero inoxidable o para servicios múltiples, el tipo de placa compite con el diseño tubular. Si se requiere una construcción total de acero inoxidable, el tipo de placa es menos costoso que las unidades tubulares.

El límite superior de un intercambiador de calor de placa estándar se señala que es de 650 m<sup>2</sup> (7000 pie<sup>2</sup>) de superficie de transferencia de calor. De modo que la una mida 1.1 m (4.2 pie) de ancho por 4.2 m (13.8 pies) de longitud, por 2.8 m (3.1 pies) de altura con 400 placas.

### Intercambiadores de calor de aleta con soldadura fuerte

Los intercambiadores de aleta y placa de aluminio se emplean en la industria de elaboración, sobre todo en servicios por debajo de -45.6 °C (-50 °F) y en los procesos de separación de gas que funcionan entre 204 y -268 °C (400 y -450 °F).

La superficie de transferencia de calor de aleta y placa se compone de una pila de placas, cada una de las cuales consiste en una aleta corrugada entre láminas metálicas planas, selladas en los dos lados mediante canales o barras, para forma un paso para el flujo de fluido.



*Vista separada de una configuración típica de placas y aletas.*

### Otros tipos de intercambiadores de calor más específicos

#### Intercambiadores de calor enfriados por aire

Los intercambiadores de calor enfriados por aire incluyen un haz de tubos, que generalmente tienen aletas devanadas en espiral sobre los tubos y un ventilador que impulsa el aire a través de los tubos (para impulsar el aire al interior de los tubos) y está dotado de un impulsor. Los motores eléctricos son los impulsores más comunes.

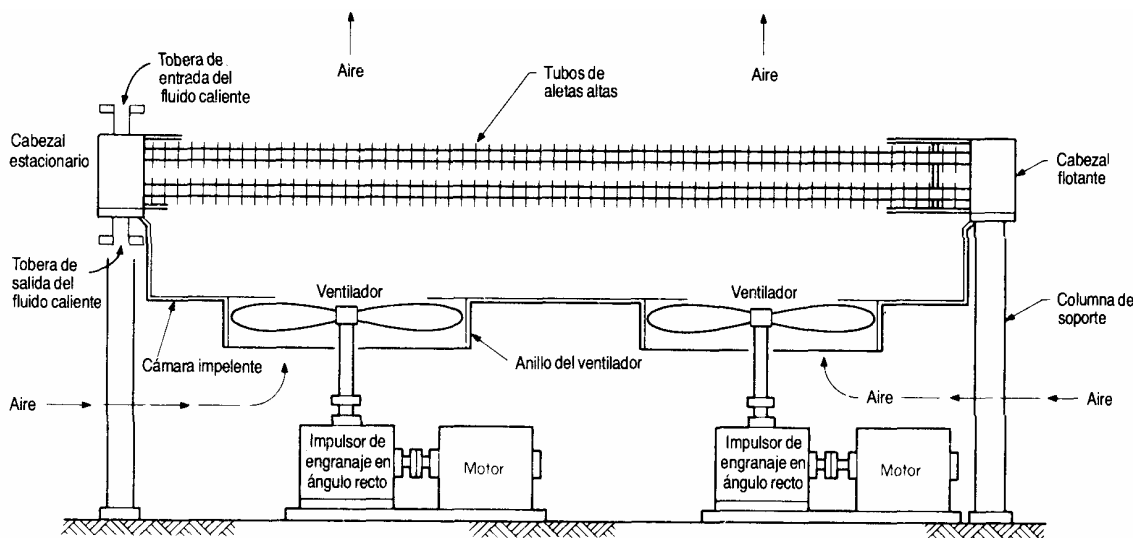
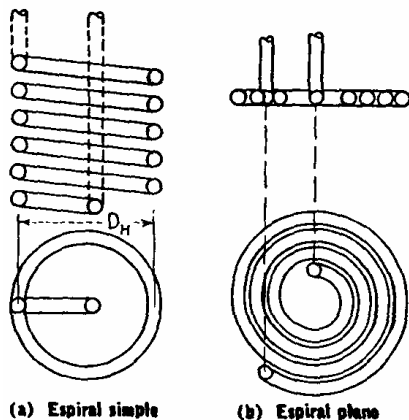


FIG. 11-13 Intercambiador de calor enfriado por aire, de tiro forzado [Chem. Eng., 114 (Mar. 27, 1978)].

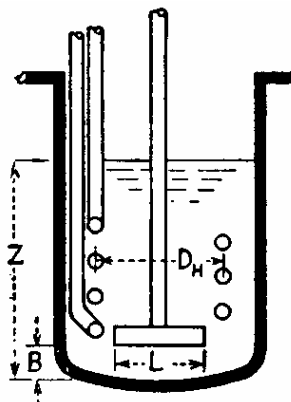
*Intercambiador de calor enfriados por aire, de tiro forzado.*

## Intercambiadores de calor en espiral

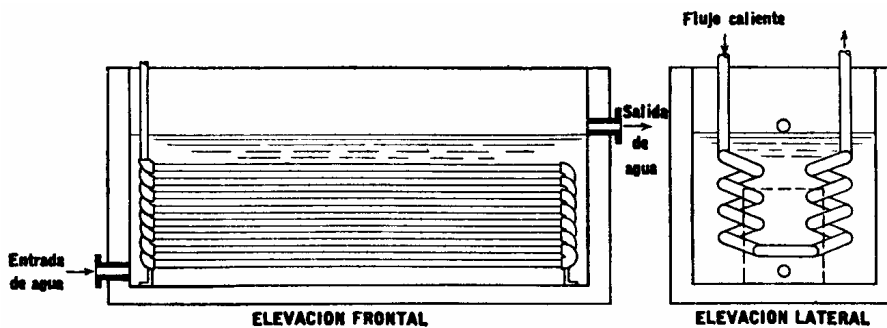
Los intercambiadores de calor en espiral consisten en un grupo de serpentines concéntricos arrollados en espiral, por lo general conectados por múltiples (*manifolds*), sumergidos en un tanque o una coraza. Se emplean tubos con aletas para incrementar la superficie de transferencia de calor



*Tipos de Serpentines*



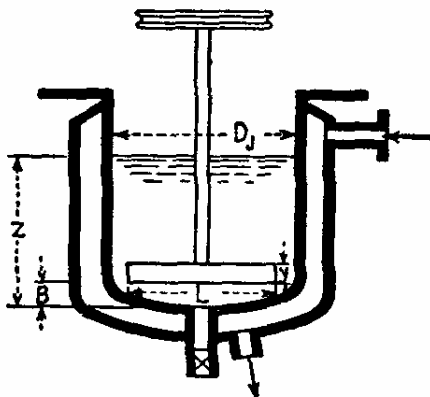
*Serpentín en un recipiente*



*Serpentín sumergido*

## Recipientes enchaquetados

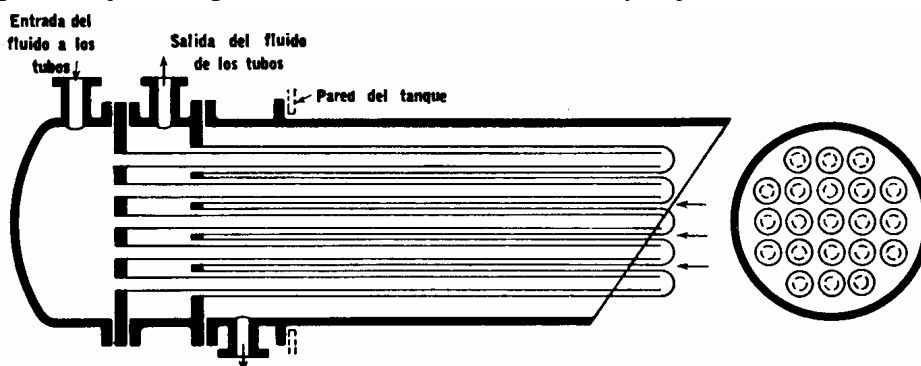
El encamisado o enchaquetado se utiliza con frecuencia para recipientes que necesitan limpieza frecuente o para los recubrimientos de vidrio que son difíciles de equipar con serpentines internos. La camisa elimina la necesidad de serpentín.



*Recipiente Enchaquetado*

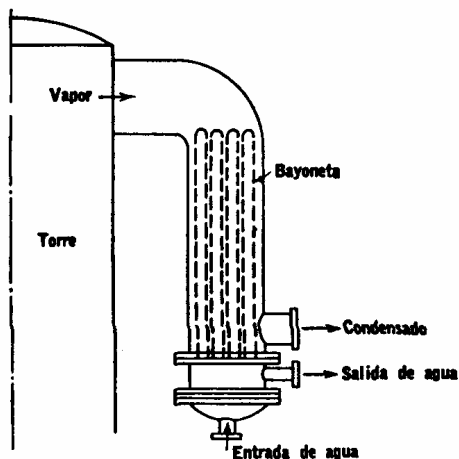
## Intercambiadores de Bayoneta

Una bayoneta consiste en un par de tubos concéntricos, estando el exterior sellado en un extremo como se muestra en la figura. Tanto el tubo exterior como el interior se sujetan de cabezales estacionarios separados y se extienden ya sea a corazas o directamente a recipientes. La superficie del tubo exterior es la principal fuente de transferencias de calor. Los intercambiadores de bayoneta se adaptan excelentemente a la condensación de vapores tanto a vacíos moderados (presiones por debajo de la presión atmosférica) como a muy bajos.

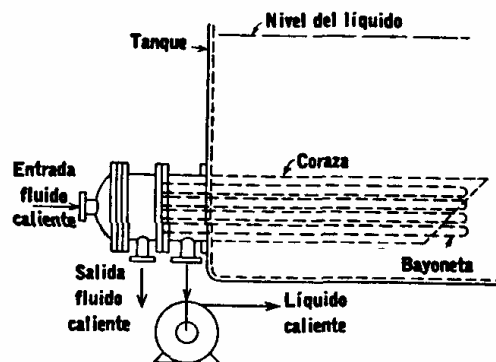


*Sección a través de un intercambiador de bayoneta (tipo succión)*

Los calentadores de succión se instalan en tanques que se usan para el almacenaje de líquidos viscosos y semiplásticos tales como melazas, aceites lubricantes pesados, combustible y asfalto.



*IC de bayoneta como condensador de vacío*



*Calentador de tanque de succión*

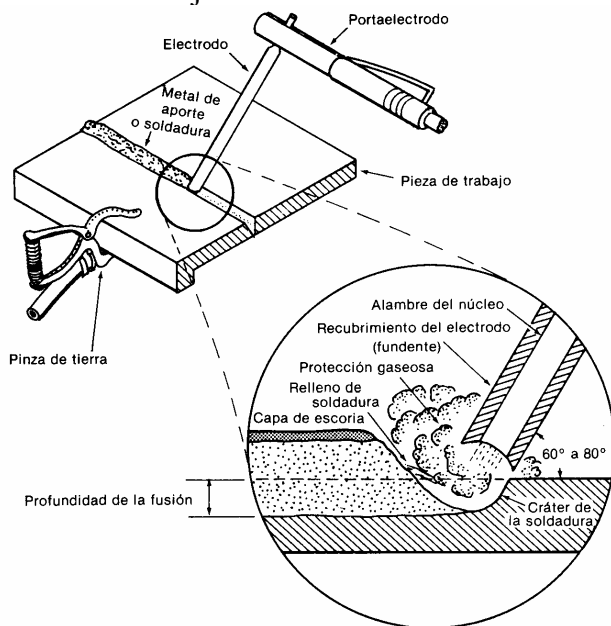
## PROCESOS DE SOLDADURA

En los procesos de soldadura más comunes, hay varias fuentes diferentes de calor y diversos métodos para controlarlo y enfocarlo. Se han desarrollado, de hecho, más de 40 procedimientos diferentes de soldadura basados en el calor. Sin embargo, estos distintos procesos pueden agruparse en tres categorías: el proceso de *soldadura de arco*, que obtiene calor de un arco eléctrico y lo mantiene entre los *dos electrodos* o entre un electrodo y una pieza de trabajo; el proceso de *soldadura a gas* que obtiene en forma de una llama, mediante la mezcla de oxígeno y algún otro gas combustible, que generalmente es el acetileno; y el proceso de *soldadura por resistencia*, que obtiene el calor de la resistencia que ofrece la pieza de trabajo al paso de una corriente eléctrica. Dos de los procedimientos usados para soldar metales, los métodos de arco y gas, pueden aplicarse también para cortar y ranurar metales.

En forma creciente, la soldadura se concibe como la unión de metales y plásticos por cualquier método en el que no se utilicen dispositivos de sujeción. Por tanto, la *soldadura en frío* o *soldadura en estado sólido* es un tema importante que requerirá ser examinado.

### Soldadura de Arco Eléctrico

El proceso de soldadura manual por arco es de uso más común, el soldador obtiene un electrodo adecuado, sujeta el cable de tierra a la pieza de trabajo, y ajusta la corriente eléctrica para “hacer saltar el arco”, es decir, para crear una corriente intensa que salte entre el electrodo y el metal. En seguida mueve el electrodo a lo largo de las líneas de unión del metal. El metal fundido, procedente del electrodo, o metal de aporte, se deposita en la junta, y, junto con el metal fundido de los bordes, se solidifica para formar una junta sólida. El soldador selecciona el electrodo (metal de aporte) que ha de usar para producir el arco de acuerdo con las especificaciones del trabajo.



*Proceso de soldadura con Arco*

La soldadura de arco metálico protegido condujo a la soldadura de arco con atmósfera protectora de gas. El gas protector impide que el oxígeno y nitrógeno del aire formen con el metal soldado óxidos y nitruros debilitadores. Los gases protectores se obtienen de una fuente separada

(un cilindro), y el arco se establece entre electrodos metálicos desnudos y la pieza de trabajo aterrizada o conectada a tierra. Los gases salen de un collarín protector enfrente del electrodo y en torno al mismo, para formar la atmósfera protectora. En la *soldadura de arco de tungsteno con gas (TIG ó MIG)*, los electrodos son de tungsteno no consumible. La atmósfera protectora se forma por medio de gases de aporte externo, y el metal de aporte necesario se suministra por medio de varillas en la soldadura. En la *soldadura de arco metálico con gas*, el electrodo es un metal de aporte continuo, protegido por gases de aportación externa..

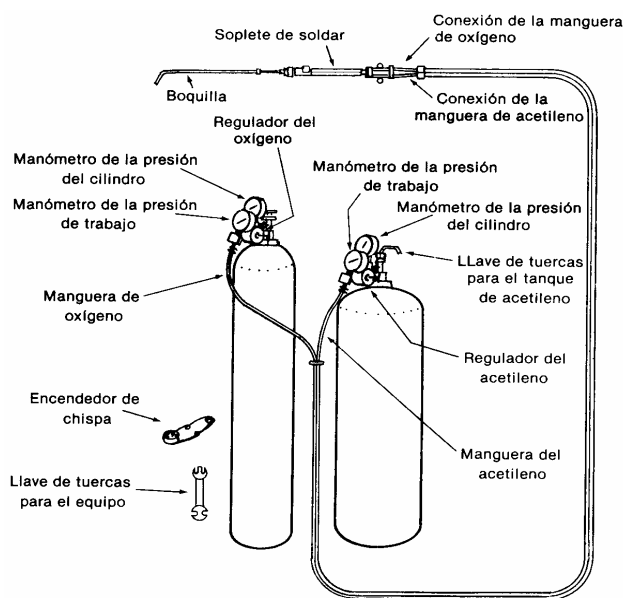
En el caso de haces tubulares en este proceso puede utilizarse en la para sujetar los tubos al espejo o placa donde se efectúa una expansión de la tubería y suelo se suelda la superficie de la placa al extremo cilíndrico del tubo obteniendo así uniones más seguras en el intercambiador.

En el caso de la soldadura *TIG o MIG* es utilizada para los intercambiadores de tubo y coraza este tipo de junta soldada suele efectuarse cuando se trabaja en equipos a utilizarse en procesos donde se necesite garantizar la asepsia del proceso como equipos para la industria alimenticia (equipo grado alimenticio), estos equipos son fabricados en materiales como aceros inoxidables, aceros de bajo carbono, aluminio y otros aleaciones con alta resistencia a la corrosión.

### Soldadura a Gas (Autógena)

La soldadura a gas, o soldadura a la llama (autógena), utiliza una llama de intenso calor producida por la combinación de un gas combustible con aire u oxígeno. Los gases combustibles de uso más común son el acetileno, el gas natural, el propano y el butano. Muy a menudo, los combustibles se queman con oxígeno, lo que permite obtener temperaturas de combustión mucho mayores.

La soldadura oxiacetilénica o autógena es el proceso más común de soldadura a gas. El oxígeno y el acetileno, combinados en una cámara de mezclado, arden en la boquilla del soplete produciendo la temperatura de llama más elevada (alrededor de 6000 °F o 3316 °C, la cual rebasa el punto de fusión de la mayoría de los metales). Por tanto, la operación de soldar puede realizarse con o sin metal de aporte. Las partes pueden fundirse y ponerse en contacto a medida que se va realizando la operación de fusión con el soplete; al retirar el soplete, las partes metálicas quedan unidas al enfriarse. Si se necesita metal de aporte para realizar la soldadura, se selecciona n barrillas de material adecuado para realizar la junta.



*Equipo completo de soldadura  
Autógena*

Las desventajas de la soldadura con gas combustible giran en torno al hecho de que ciertos metales reaccionan desfavorablemente, y hasta violentamente, en presencia del carbono, el hidrógeno y oxígeno, todos ellos presentes en proceso de soldadura con gas combustible.

La soldadura a gas es también más fría, más lenta y más deformante que la soldadura con arco. Sin embargo, para aplicar soldaduras en lugares difíciles de alcanzar, o con metales que tienen puntos de fusión más bajos, tales como el plomo o metales en lámina delgada, la soldadura a gas es con frecuencia más eficaz que los demás procesos.

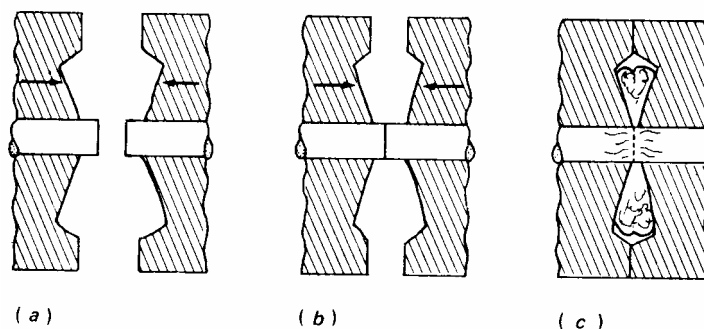
### Soldadura por Resistencia

La soldadura por resistencia es un proceso que se efectúa a máquina, y que se utiliza primordialmente en la producción masiva de partes que requieren operaciones de soldadura relativamente sencillas. La soldadura se logra por el calor generado por una resistencia ofrecida por las piezas de trabajo al paso de la electricidad por el lugar indicado, y la fusión producida por la presión de los electrodos de contacto.

Algunos tipos de soldadura por resistencia son la soldadura por puntos, la de resalto o salientes, la de relámpago y la soldadura recalcada.

### Expandido en Frío

Este proceso produce soldaduras sin la aplicación de calor externo, sometiendo en cambio a los metales por soldar a una presión suficiente para ocasionar su deformación plástica a temperatura ambiente.



*Soldadura en frío: a) los dados a matrices avanzan uno hacia el otro hasta que se tocan las superficies por unir; b) con presión adicional se logra que el metal se deforme por aplastamiento y fluya hacia las depresiones del área de relámpago; c) terminación de la soldadura.*

El expandido en frío en una junta de tracción se utiliza con mucha frecuencia en intercambiadores de tubo y coraza, dada la versatilidad y garantía. Para la aplicación de este sistema se utilizan expansores de rolera de acuerdo a la medida y espesor del tubo, las juntas expandidas soportan presiones importantes y su resistencia viene dada por el espesor de la placa, diámetro y espesor del tubo y la longitud del expandido, en los intercambiadores de tubo y coraza, en el expandido existe una relación mínima de 1 una vez el diámetro del tubo como espesor de placa para asegurar la ausencia de fugas sin debilitar la estructura del tubo y con esto obtener un buen funcionamiento en condiciones de donde se requiera la presencia de vapor a altas presiones.

## **CORROSIÓN EN INTERCAMBIADORES DE CALOR**

### **Materiales de construcción**

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

Las “aleaciones” en servicios en plantas químicas y petroquímicas, en orden aproximado de utilización, son el acero inoxidable de la serie 300, el níquel, el metal monel, las aleaciones de cobre, aluminio, el Inconel, el acero inoxidable de la serie 400, y otras aleaciones. En servicios de refinerías petroleras, el orden de frecuencia cambia y las aleaciones de cobre (para unidades enfriadas por agua) ocupan el primer lugar, y el acero de aleación baja el segundo.

Los tubos de aleaciones de cobre, sobre todo el latón Admiralty inhibido, se emplean en general con enfriamiento por agua

Los cabezales del lado de los tubos para el servicio con agua se hacen en gran variedad de materiales: acero al carbono, aleaciones de cobre, hierro colado, acero al carbono con pintura especial o recubierto con plomo o plástico.

### **Tubos bimetálicos**

Cuando los requisitos de corrosión o las condiciones de temperatura no permiten la utilización de una aleación simple para los tubos, se utilizan tubos bimetálicos (o dúplex). Se pueden hacer en cualquier combinación posible de metales. Varían también los calibres y los tamaños de los tubos. Para calibres delgados, los espesores de las paredes se dividen en general en partes iguales entre los dos componentes elementales. En los calibres mayores, el componente más costoso puede comprender de una quinta a una tercera parte de espesor total.

Los tubos bimetálicos están disponibles a partir de un pequeño número de laminadores de tubería, y son fabricados únicamente bajo pedido especial y en grandes cantidades.

### **Espejos revestidos**

Por general los cabezales o espejos y otras piezas de los intercambiadores de calor son de metal fuerte. Los espejos bimetálicos o recubiertos se utilizan para reducir los costos de fabricación de los equipos o porque no hay ningún metal simple que resulte satisfactorio para las condiciones de corrosión. El material de aleación (por lo general acero inoxidable, metal monel, etc.) se une o se deposita como revestimiento a un material de respaldo de acero al carbono. En la construcción de espejos fijos se puede soldar un espejo revestido de aleación de cobre a un espejo de acero, mientras que la mayor parte de espejos de aleación de cobre no se pueden soldar de una manera aceptable.

### **Construcción no metálica**

Existen intercambiadores de tubo y coraza con tubos de vidrio. Los intercambiadores de calor de tubo y coraza de acero tienen una presión de diseño máxima de 75 psi, en cambio los fabricados con vidrio tiene una presión de diseño máxima de 15 psi. Todos los tubos tienen libertad para expandirse, ya que se emplea un sellador de teflón en la unión del espejo al tubo.

## **Fabricación**

La dilatación del tubo en el cabezal reduce el espesor de la pared del tubo y endurece el metal. Los esfuerzos inducidos pueden provocar una corrosión por esfuerzo. La diferencia de dilatación de los tubos y la coraza en intercambiadores de espejo o cabezal fijo pueden desarrollar esfuerzos que producen corrosión.

## **Ensuciamiento y formación de Escamas**

El ensuciamiento se refiere a cualquier capa o depósito de materias extrañas en una superficie de transferencia de calor, comúnmente estos materiales tienen baja conductividad térmica (son malos conductores de calor y entorpecen la transferencia de calor), lo que provoca una mayor resistencia a la transferencia de calor. En los equipos de transferencia se producen varios tipos diferentes de ensuciamiento. La sedimentación es deposición de materiales finamente divididos, a partir del fluido de proceso. La formación de escamas se debe, con frecuencia, a la cristalización de un material cuya solubilidad, a la temperatura de la pared del tubo, es más baja que a la temperatura promedio del fluido. Muchas corrientes de proceso reaccionan y el material resultante, menos soluble, se deposita en la superficie como una película, con frecuencia de una resistencia y espesor considerable. Los productos de la corrosión pueden oponer una resistencia importante a la transferencia de calor. Los crecimientos biológicos, como las algas, constituyen un problema grave en muchas corrientes de agua de enfriamiento y en la industria de la fermentación.

## **Retiro de depósitos de suciedad**

El retiro químico de la suciedad se puede lograr en algunos casos con ácidos débiles, disolventes especiales, etc. Otros depósitos se adhieren con debilidad y se pueden lavar mediante el funcionamiento periódico a velocidades muy altas o un enjuague con un chorro de agua, una lechada de agua y arena o vapor a alta velocidad. Estos métodos se pueden aplicar tanto al lado de la coraza como el de los tubos sin retirar el haz de tubos. Sin embargo la mayor parte de los depósitos se pueden retirar mediante una acción mecánica positiva, como la introducción de una varilla, la acción de una turbina o el raspado de la superficie. Estas técnicas se pueden aplicar del lado de los tubos sin sacar el haz de tubos; pero en el lado de la coraza sólo se puede hacer esto después de retirar el haz, e incluso entonces, esto será con un éxito limitado, debido a la cercanía de los tubos.

## MANTENIMIENTO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR

Los intercambiadores de calor en forma general, trabajan mediante la circulación de fluidos a través de su estructura, esto produce con el tiempo, debido a la operación del equipo, obstrucciones de las zonas de flujo por corrosión de la estructura del intercambiador, descomposición de los fluidos (aceites minerales, alimentos, etc.) ó por deposición de sólidos disueltos en los fluidos (incrustaciones de carbonatos, etc.), al presentarse estas características en el interior de los equipos, se producen incrustaciones en la superficie interior y exterior se los tubos según sea el caso, generando una resistencia extra a la transferencia de calor y al paso del fluido y con esto pérdidas en la eficiencia de los equipos.

### Mantenimiento aplicado a Intercambiadores de Calor

Aun cuando la variedad de intercambiadores existentes en los múltiples procesos industriales imposibilita describir un mantenimiento específico para todos los equipos intentaremos determinar las directrices que definen un mantenimiento efectivo en la mayoría de los casos.

La finalidad de un mantenimiento radica en la eliminación de los depósitos que obstruyen o imposibilitan la correcta transferencia en los intercambiadores, estas suelen producirse por deposición de los sólidos en las paredes externas de los tubos, en las paredes internas de los tubos, así como en la superficie interna de la coraza, esto para el caso de los intercambiadores de tubo coraza, en los intercambiadores de placa esta incrustación se presenta entre las laminas dificultando la transferencia de calor entre los fluidos, además de ofrecer restricciones a la circulación en estos equipos.

Las técnicas varían dependiendo del tipo de incrustación y de la configuración de los intercambiadores, así un intercambiador de placas fijas debe aplicarse una limpieza por intermedio de cepillos o alta presión por el interior de los tubos y por su configuración de área confinada para la carcasa una limpieza química que permita disolver por intermedio de la circulación la mayor cantidad de sólidos adheridos a la superficie.

Los químicos comúnmente utilizados para la desincrustación en áreas confinadas suelen variar de acuerdo al material de construcción del equipo, así como el fluido que maneja el intercambiador, en el caso de agua o vapor, se utilizan desincrustantes que pueden contener ácidos fuertes o débiles dependiendo del material de construcción del intercambiador, por ejemplo para intercambiadores de calor construidos en acero al carbono o acero inoxidable, pueden utilizarse productos basándose en ácido clorhídrico, fosfórico, cítrico u otra formulación que permita disolver los minerales producto de las deposiciones del agua o del vapor estén presentes en el intercambiador, es importante señalar que estos productos deben ser formulados, tomando en consideración las posibles consecuencias de la acción del químico sobre los materiales de construcción.

Para intercambiadores de haz removible o de tubería en u el proceso se simplifica bastante ya que la posibilidad de extraer el intercambiador de la coraza permite actuar directamente sobre la superficie externa e interna del tubo, así como acceso directo al interior de

la coraza. El mantenimiento puede realizarse por intermedio de cepillos de alambre circulares mechas o latiguillo de alta presión en el interior de los tubos y alta presión por el lado externo de la tubería. La coraza puede limpiarse con elementos mecánicos o presión de agua.

Para el caso de los intercambiadores de placa, dependiendo de su estado pueden limpiarse con químicos desincrustantes en el caso de agua o desengrasante para el caso de aceites, en caso de encontrarse defectos en el sistema de sellos de estos equipos es recomendable sustituir las empacaduras entre placas y limpiar placa a placa con químicos y agua a presión.

Para el caso de intercambiadores de flujo cruzado se procede de forma similar con el interior de los tubos de acuerdo al acceso que posea el equipo, (tapas removibles o agujeros de limpieza) mientras que el área de superficie extendida se limpia con agentes químicos adecuados para el material adicionando agua de alta presión.

Para equipos involucrados dentro de los procesos tales como agua helada, condensadores de gases, serpentín de inmersión y otros es importante estudiar las condiciones de proceso para establecer el mantenimiento correcto que debe aplicarse, siempre tomando en consideración que la finalidad del mantenimiento es la de liberar de incrustaciones de las superficies de contacto de los fluidos para la optimización de la transferencia de calor.

### **Implicaciones de un mal mantenimiento en intercambiadores de calor**

Para cualquier equipo de transferencia de calor, el hecho de que trabaje con niveles elevados de incrustaciones o con superficies totalmente obstruidas, puede resultar en paradas de proceso imprevistas, o en su defecto una drástica disminución de las condiciones iniciales de transferencia de diseño, por lo que una política de mantenimiento en estos equipos redundará en beneficios ulteriores económicos importantes.

Los equipos de transferencia de calor son sensibles a las deposiciones de sólidos y a las obstrucciones, dado que la superficie de los tubos y carcasa son por lo general porosas, pueden producir fuerte adherencia de sólidos y posteriores socavaduras y corrosión en los materiales. Las deposiciones de agua dura producen corrosión puntual o pitting, así como abrasión de la superficie del material, otra grave consecuencia que puede presentarse en los equipos, sobre todo en los de área confinada, o placas fijas es que los depósitos de agua dura llegan a un punto de cristalización que imposibilita la acción de los químicos, produciendo pérdida completa del equipo. En el caso de equipos en u las incrustaciones de agua dura dentro de los tubos pueden ser removida por mechas en la zona recta del tubo, sin embargo en las curvas esto se hace imposible, para el caso de equipos con tubería de diámetros superiores a  $\frac{3}{4}$  es posible introducir un latiguillo de alta presión, aunque en la mayoría de los casos los resultados no son muy satisfactorios.

## **EQUIPOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR MÁS COMUNES EN LA INDUSTRIA.**

### **Serpentines**

Los serpentines son unidades de transferencia hechas de tubo liso o aleteado por los que circula un fluido en el interior de los tubos y otro se ubica dentro de un área confinada, estos equipos pueden verse comúnmente en ollas de calentamiento, contenedores de agua helada, calentadores de aire, enfriadores de aire, chaquetas de autoclaves etc.

La configuración de los serpentines es muy variada, aunque el principio establece que la unidad debe tener una longitud definida y el fluido entra y sale por el mismo tubo. Los serpentines suelen conseguirse en configuraciones helicoidales rectas en U etc.

### **Evaporadores**

Los Evaporadores son intercambiadores que se encargan de enfriar fluidos por un proceso de expansión de gas el cual circula a través del interior de los tubos y enfría el fluido que circula por la carcasa. Los Evaporadores son equipos normalmente usados en los dispositivos de enfriamiento de agua tales como Chiller o para enfriamiento de gases o aire tal es el caso de los aires acondicionados. Su configuración puede estar dada en equipos de tubo coraza o flujo cruzado.

### **Condensadores**

Se conoce como unidad condensadora a todo aquel intercambiador que cumple una función de disminución de temperatura, ya sea para gases, vapores otros.

La configuración de un condensador puede ser de tubo coraza, placas y superficies extendidas. Los condensadores son generalmente equipos que se encuentran en los procesos de cambios de fase de gases a líquidos, los equipos de calefacción de líquidos con vapor son a su vez condensadores de vapor. En los ciclos de refrigeración los condensadores tienen la función de enfriar el gas refrigerante ya sea por flujo cruzado gas-aire o gas-agua.

### **Chiller**

Las unidades Chiller están conformadas por dos elementos de transferencia de calor un evaporador y un condensador, además de los elementos clásicos del ciclo de refrigeración (compresor, válvula de expansión, filtros etc.) los Chiller son unidades que se encargan de enfriar agua para aplicaciones varias. Este proceso se realiza mediante la compresión de un gas refrigerante el cual sale comprimido de la bomba o compresor a una temperatura de aproximadamente 80 grados, circula a través del compensador manteniendo la presión y bajando la temperatura a 40 grados aproximadamente luego pasa por la válvula de expansión donde el gas se expande produciendo su enfriamiento, el gas circula dentro de los tubos del evaporador donde se genera la transferencia con el agua enfriándola hasta una temperatura que puede oscilar entre 1 y 4 grados (o menos de acuerdo al control).

### **Torres de enfriamiento**

Las torres de enfriamiento son unidades que se encargan de enfriar agua por un proceso de división de la partícula de agua y su posterior circulación por una corriente de aire forzado logrando reducir la temperatura de la gota de agua en el proceso. Estos sistemas tienen ventajas y desventajas bien marcadas. Las torres de enfriamiento son unidades abiertas donde el agua de un

determinado proceso llega al tope de la torre a una temperatura máxima de 60 grados centígrados. esta entra a los rociadores de tope que se encargan de separar el líquido en la mayor cantidad de partículas posibles, estas caen en un relleno ubicado a los lados de la torre donde establece un recorrido en contra flujo con una columna de aire forzado, las partículas de agua recorren el relleno hasta enfriarse (1 o 2 grados por encima de la temperatura de la columna de aire) y llegan hasta la bandeja de fondo donde se retorna al proceso.

Las temperaturas máximas que manejan las torres de enfriamiento constituyen una limitante importante, así como la contaminación del agua de proceso por el contacto directo con el aire ambiental, los tratamientos de esta agua son por lo general costosos y requieren de mantenimientos constantes, sin embargo la posibilidad de enfriar grandes volúmenes de agua logra compensar sus debilidades.

### **Torres evaporativas**

Las torres de tipo evaporativas tienen un comportamiento similar al de las torres de enfriamiento, con la diferencia de que el agua de proceso se encuentra en un ciclo cerrado a través de un serpentín en el tope de la torre, produciéndose el enfriamiento del agua de proceso por intermedio del rociado de agua sobre la superficie del serpentín acompañado de aire forzado, el agua cae al fondo de la tina y es nuevamente bombeado al tope de la torre para volver a cumplir el proceso.

Una de las ventajas de estos equipos es que el agua de proceso se contamina muy poco ya que se encuentra en un ciclo cerrado, sin embargo su costo es sustancialmente superior al de las torres de enfriamiento.

### **Calentadores de vapor**

Los calentadores de vapor son por lo general intercambiadores de tubo coraza por los que circula vapor por la coraza y agua o gas por el interior de los tubos, existen también calentadores de aceite térmico y de resistencia eléctrica.

### **After cooler – pre cooler**

Estos equipos son utilizados normalmente en unidades de compresión de aire ya sean de una o varias etapas. Por lo general los compresores de aire de una etapa poseen un intercambiador a la salida de aire comprimido de tipo tubo coraza agua-aire o flujo cruzado aire-aire, estos equipos son conocidos como *after cooler* o post enfriadores su función es bajar la temperatura del aire comprimido hasta niveles idóneos de trabajo dentro de la planta. Los *pre-cooler* son equipos utilizados en compresores de múltiples etapas para enfriar el aire que sale de una etapa y entra en la siguiente, por lo general estos son de tubo coraza.

### **Fin fan cooler**

Estos equipos están compuestos de una unidad de flujo cruzado con un ventilador alineado a la superficie plana del intercambiador con la finalidad de hacer circular aire a través de la tubería aletada y enfriar el fluido que corre por dentro de los tubos.