

## Transferencia de calor en tanques

### 1- Transferencia convectiva en tanques

#### 1.1 Agitación

Hay varias técnicas diferentes disponibles para promover la agitación dentro del líquido a granel. En general, implican la rotación de algún tipo de sistema de aspas que agita el fluido o lo hace circular dentro de los confines del recipiente. La mezcla dentro de los recipientes es un tema en sí mismo y aquí solo se da un breve esquema. Los agitadores de gran diámetro que giran a velocidades relativamente bajas, generalmente se emplean donde el líquido es viscoso, para mantener el consumo de energía para la agitación lo más bajo posible. Cuando se trata de líquidos de baja viscosidad, a menudo se utilizan impulsores más pequeños que funcionan a altas velocidades. Cuando se experimentan grandes cambios de viscosidad durante el procesamiento, es habitual emplear agitación a baja velocidad.

Cinco agitadores claramente diferentes han encontrado aplicación en tanques agitados e incluyen:

Los impulsores tipo ANCLA, como se ilustra en la Figura 4, generalmente funcionan a baja velocidad, gran parte de la perturbación dentro del líquido ocurre cerca de la pared del recipiente. Esto es beneficioso para la transferencia de calor a través de la pared hacia o desde los hemiserpentines o la chaqueta.

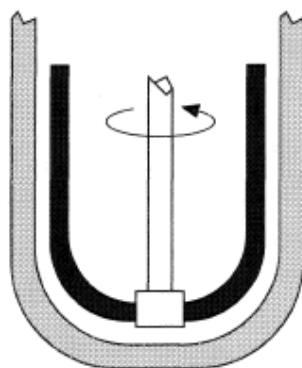


Figura 4. Anchor agitator.

Los impulsores de CINTA HELICOIDAL se pueden utilizar en ciertas aplicaciones donde el costo puede estar justificado. La agitación en la pared se logra mediante los espacios reducidos entre la hoja y la superficie de la pared. El diseño helicoidal también imparte turbulencia dentro del núcleo del líquido. La disposición de un mezclador de cinta helicoidal se muestra en la Figura 5.

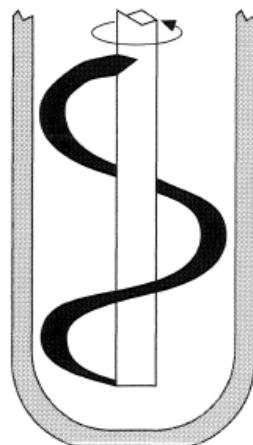


Figura 5. Helical ribbon impeller.

Los impulsores de tipo PALETA se pueden usar a velocidades de rotación altas o bajas. El concepto básico se ilustra en la Figura 6. Las cuchillas pueden ser planas o inclinadas. A baja velocidad, las cuchillas planas producen un movimiento tangencial al líquido. Las palas inclinadas operadas a alta velocidad establecen un patrón de flujo radial. La relación entre el diámetro de la paleta y el diámetro del recipiente suele estar en el rango de 1:3 a 2:3.

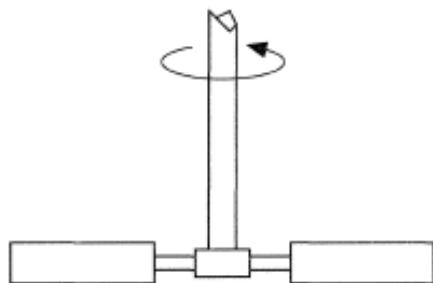


Figura 6. Paddle blades.

Las HÉLICES que se asemejan a las hélices de los barcos, como se ilustra en la Figura 7, generalmente funcionan a alta velocidad y producen un patrón de flujo axial en el líquido. La relación entre el diámetro de la hélice y el diámetro del recipiente es generalmente de aproximadamente 1:3.

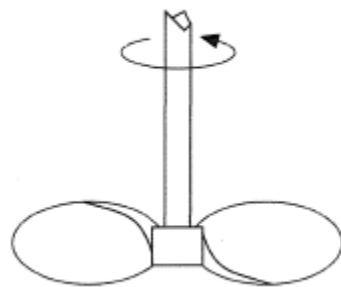


Figura 7. Propeller agitator.

Los mezcladores de TURBINA funcionan a alta velocidad en líquidos de baja viscosidad. Para reducir el costo de capital y facilitar la limpieza, el diseño suele ser simple. Las hojas pueden ser planas o curvas, como se ilustra en la Figura 8. El flujo radial es inducido por palas planas, pero se puede obtener un componente axial con palas curvas. El número de palas afectará el grado de turbulencia producido, pero a medida que aumenta el número de palas, el consumo de energía aumentará. La elección final es un compromiso entre el nivel de turbulencia deseado y el costo de energía permitido. La disipación de energía también puede producir un aumento de temperatura en el líquido. La relación entre el diámetro de la turbina y el diámetro del recipiente es generalmente del orden de 1:3.

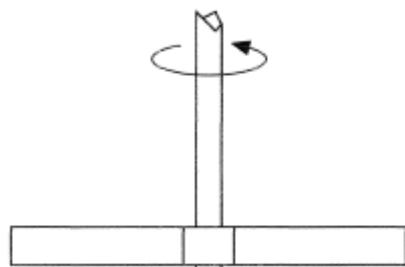


Figura 8. Simple turbine impeller.

En muchos diseños de recipientes, se incluyen deflectores para proporcionar una buena mezcla mediante la modificación de los patrones de flujo. El aumento de la turbulencia ayuda a la transferencia de calor. Se conoce que los deflectores pueden aumentar la transferencia de calor hasta en un 35% en comparación con un sistema sin deflectores.

El nivel de turbulencia dentro del recipiente puede evaluarse utilizando el llamado número de Reynolds de "agitación" Re definido como:

$$Re_n = \frac{ND_i^2}{\nu}$$

donde N es la velocidad de rotación del impulsor, Di es el diámetro del impulsor y ν es la viscosidad cinemática. En la Tabla 2 Hewitt et al. (1994) se presenta el rango de aplicación de diferentes agitadores, junto con algunos comentarios prácticos.

Type	$Re_n$	$\eta$ kg/(m.s)	Comments
Anchor	> 50	20 to 100	All liquids
Helical ribbons	<50	100 to 1000	All liquids except highly nonNewtonian liquid, where the bulk liquid tends to rotate with the impeller and shear only occurs at the vessel wall
Propeller	> 300	< 2	Usually only satisfactory for vessels with a volume <6 m <sup>3</sup> because of the size and weight of the propeller; not suitable for gas dispersion
Flat blade turbines	> 50	< 20	Liquid-liquid dispersion or applications where the impeller is located <D/2 from the vessel bottom
Angled blade turbines	>100	<10	Single-phase applications and for solid-liquid operations

Tabla 2. El rango de aplicación de los agitadores

### Transferencia de calor

La transferencia de calor en recipientes agitados implica dos aspectos:

- La transferencia de calor asociada con el flujo dentro de una tubería o canal, es decir, anillos en el interior del tanque, anillos en la camisa o la camisa.
- La transferencia de calor asociada con el flujo a través de la superficie del recipiente o a través del exterior de los anillos del tanque (anillos sumergidos)

Los coeficientes de transferencia de calor para el interior de hemiserpentes se pueden obtener a partir de las correlaciones desarrolladas o del flujo tubular o de tubería. Sin embargo, será necesario utilizar un diámetro medio hidráulico para la sección transversal particular del canal en la estimación de los números de Reynolds apropiados. Debe recordarse que el área efectiva de transferencia de calor se limita al área de contacto entre el serpentín y la pared exterior del recipiente.

Debido a los complejos patrones de flujo en las chaquetas, es difícil proporcionar correlaciones adecuadas para la transferencia de calor desde el interior de la chaqueta, y es habitual basar los cálculos en la experiencia previa. Excepto por la condensación, los coeficientes de transferencia de calor de vapor dentro de las camisas son relativamente bajos.

Las correlaciones de transferencia de calor para serpentines dentro de los recipientes también se basan en las correlaciones para tuberías rectas, pero debido al movimiento circular del fluido a través del serpentín, se mejora la transferencia de calor.

### Tecnologías de superficies de contacto: Camisas y serpentines

Los serpentines por los que circula fluido calefactor o refrigerante por dentro o fuera de tanques no son generalmente utilizados para el calentamiento o enfriamiento continuo de una corriente que fluye, pero generalmente se aplican en el calentamiento o enfriamiento de un líquido contenido en un tanque por lotes. El flujo de calor dentro o fuera del líquido implica una transferencia de calor inestable o transitoria.

Los medios de calentamiento y enfriamiento pueden fluir a través de un enrollamiento (bobina) o serpentín sumergido en el líquido como se muestra en la Figura 1, o se puede hacer que los medios fluyan a través de un serpentín sujeto (soldado) en el exterior del recipiente como se muestra en la Figura 2. Esta última disposición puede denominarse "*hemiserpentin*". Se ilustra en la Figura 3 la camisa de disposición simple en la que un fluido fluye por el exterior del recipiente, atrapado en una doble cámara.

Los beneficios de la configuración de hemiserpentes se deben a la velocidad uniforme del fluido a través del canal y la buena distribución del medio de transferencia de calor alrededor de la periferia del recipiente.

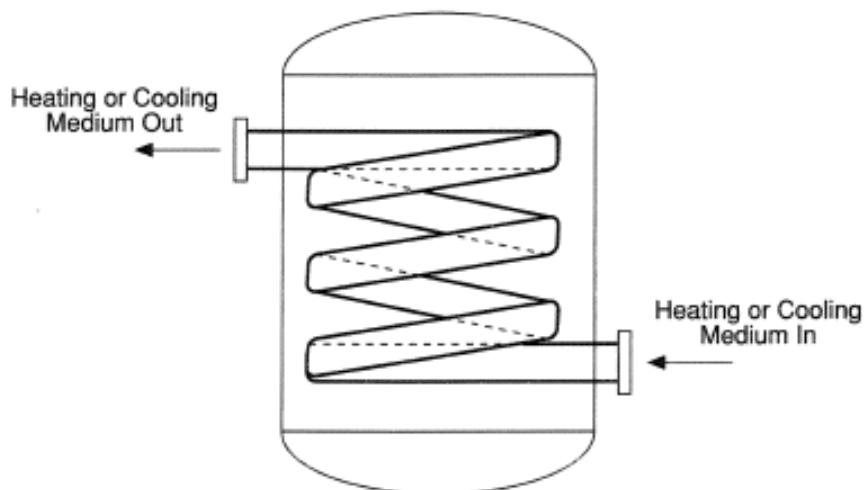


Figure 1. Vessel with internal coil.

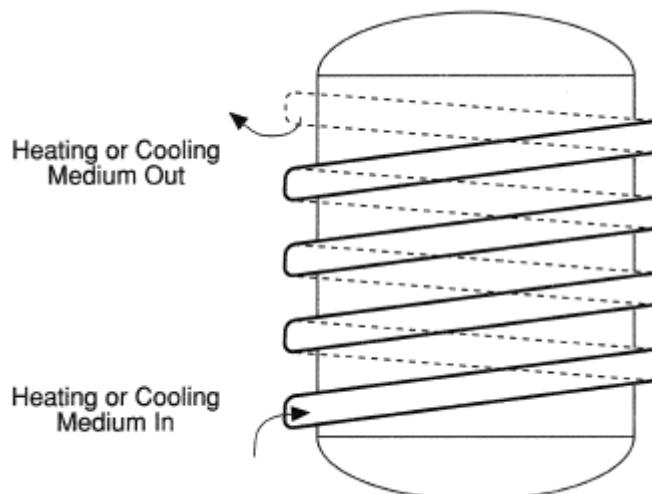
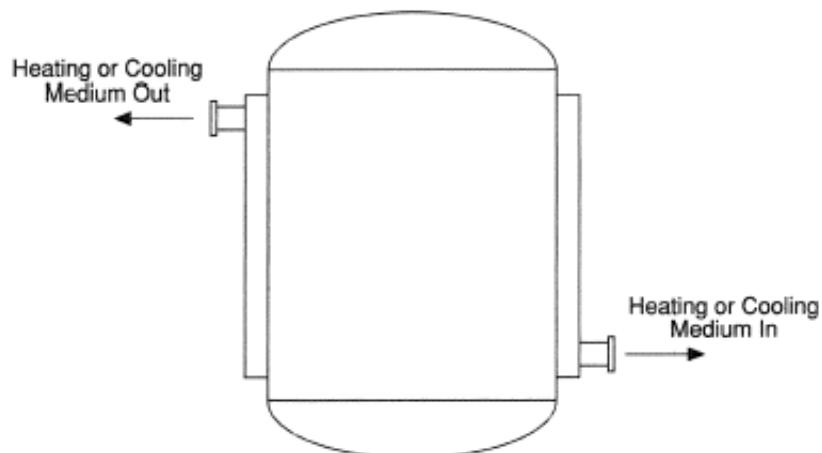


Figure 2. Vessel with external limpet coil.



**Figure 3. Vessel with external jacket.**

La transferencia de calor generalmente se mejora mediante la agitación del líquido contenido en el tanque. A menos que se emplee la agitación, la transferencia de calor en la pared del recipiente o a través de la bobina dependerá de la convección natural dentro del líquido en el tanque, lo cual no es particularmente eficiente. En algunas aplicaciones, por ejemplo, la fabricación de resina de fenol-formaldehído, los serpentines o la camisa servirán para dos propósitos. Inicialmente se utilizará vapor o algún otro medio de calentamiento para elevar la temperatura de la mezcla en el tanque a la temperatura de reacción deseada. En una etapa posterior, se introducirá un medio de enfriamiento (generalmente agua) en los serpentines o camisas para controlar la temperatura para evitar reacciones exotérmicas descontroladas y, finalmente, para enfriar el lote antes de la descarga. En tales procesos, la viscosidad del fluido cambiará a medida que avanza la reacción. Los cambios en la viscosidad afectarán el grado de agitación impartido al líquido del lote y, por lo tanto, la tasa de transferencia de calor disminuirá a medida que aumente la viscosidad.

Fletcher (1987) ha dado algunos datos representativos sobre los coeficientes globales de transferencia de calor que pueden obtenerse en recipientes agitados. El rango de estos datos que se muestra en la Tabla 1 ilustra algunas de las diferencias en las tasas de transferencia de calor que se pueden experimentar.

Vessel design	Heating	Cooling
Simple jacket (mild steel vessel)	400 to 900	150 to 600
Simple jacket (glass lined vessel)	200 to 700	100 to 350
Limpet coil	600 to 1100	200 to 700
Internal coil	600 to 1500	250 to 800

Tabla 1. Overall heat transfer coefficients in agitated vessels W/m<sup>2</sup>K

## TIPOS DE CAMISAS Y ANILLOS EN TANQUES DE INTERCAMBIO DE CALOR



**Plain jacket**



**Half pipe coil jacket**



**Dimple jacket**

### Plain jacket o camisa plana

Se puede denominar como una cubierta adicional alrededor del recipiente o en alguna parte de él. El espacio anular entre la pared del recipiente y la pared de la camisa se utiliza para la circulación del medio de calentamiento o enfriamiento. Las camisas lisas son adecuadas para recipientes de pequeña capacidad y para operaciones en las que la presión dentro del recipiente es más del doble de la presión de la camisa.



Camisa simple o plana

Es más adecuado cuando el calentamiento se va a realizar con vapor. La altura de la camisa suele ser hasta la altura del líquido en el recipiente. La chaqueta se puede fabricar en una sola pieza o se puede dividir en varias partes y todas las partes funcionan en paralelo. Para un flujo más alto, se prefiere la camisa segmentaria, mientras que cuando los vapores aguas abajo se utilizan como medio de calentamiento, se prefiere la camisa lisa. Puede incorporarse un deflector en espiral en el interior de la chaqueta, lo que ayuda a inducir turbulencias y aumentar el coeficiente de transferencia de calor.

### **Dimple jacket o camisa de hoyuelos**

Se puede fabricar mediante el uso de láminas delgadas. Es útil para el funcionamiento de alta presión de la camisa. La camisa de hoyuelos puede inducir turbulencias incluso a una velocidad de flujo muy baja. Se puede utilizar para hacer circular vapor y aceite caliente.



Dimple jacket

### **Half pipe jacket o hemiserpentín**

La tubería se corta en 1 par pedazos y la bobina de medio tubo se suelda a la pared del recipiente. Ayuda a proporcionar alta velocidad y alta turbulencia. También ayuda a proporcionar resistencia a la pared del recipiente y, por lo tanto, reducir el costo del recipiente. Proporciona rigidez estructural, lo cual es una ventaja para el funcionamiento a alta temperatura. Para tener flexibilidad y alta eficiencia, la chaqueta de media bobina o de hemiserpentines, se puede dividir en varias zonas.



Half pipe jacket

La camisa de hemiserpientes generalmente está hecha de acero al carbono, acero inoxidable, monel, Inconel y otras aleaciones y se desarrolla soldada a la carcasa.

Si la presión de la camisa es el parámetro de control en la estimación del espesor de la pared del recipiente, entonces se prefiere la camisa de hemiserpientes. Estos se utilizan para recipientes de alta capacidad y donde se requieren altas velocidades para la circulación de aceites calientes, glicoles, etc.

En el diseño de tanques agitados calefaccionados externamente con serpentines de tipo limpet coil (o bobinas de calefacción externa), la disposición de los anillos helicoidales que se utilizan para la transferencia de calor puede influir significativamente en la eficiencia del proceso de calefacción y en las características de flujo del fluido dentro del tanque.

### **Diferencias entre anillos helicoidales exteriores a 120° y 180°:**

#### **1. Distribución del Calor:**

- **A 120°:** Los anillos helicoidales dispuestos a 120° ofrecen una mayor área de superficie de contacto entre el fluido y la superficie calefaccionada para cada sección en comparación con los anillos a 180°. Esto puede permitir una mejor distribución del calor en el tanque, evitando puntos fríos y mejorando la eficiencia térmica.
- **A 180°:** En este caso, los anillos están ubicados directamente opuestos, lo que puede generar zonas menos efectivas en términos de transferencia de calor, así como una posible acumulación de zonas frías dentro del tanque.

#### **2. Flujo del Fluido:**

- **A 120°:** Esta configuración suele facilitar un mejor patrón de flujo y mezcla dentro del tanque, ya que la disposición más cerrada de los anillos puede promover una circulación fluida más efectiva del líquido, ayudando a mantener la homogeneidad de la temperatura en todo el volumen del tanque.
- **A 180°:** Con anillos a 180°, el flujo puede ser más lineal y menos turbulento, lo que puede dar lugar a estratificación de temperaturas si no se implementan otras medidas de agitación.

#### **3. Pérdida de Carga:**

- **A 120°:** Puede implicar una mayor pérdida de carga en el sistema debido a la mayor interferencia del flujo creado por los anillos más cercanos entre sí.
- **A 180°:** Menor interferencia permite posiblemente una menor pérdida de carga, ya que hay un espacio más amplio para que el fluido fluya entre las bobinas.

#### **4. Efectividad en Condiciones de Operación:**

- La elección entre 120° y 180° también dependerá del tipo de producto que se esté calentando, la viscosidad del fluido y otras condiciones de operación. Por ejemplo, puede que un diseño sea más adecuado para fluidos de alta viscosidad que necesitan un flujo más turbulento para una transferencia de calor eficiente.
- En la práctica, a menudo se procede a realizar simulaciones y pruebas para determinar cuál disposición se adapta mejor a las necesidades del sistema en particular.

### Detalles constructivos en camisas y serpentines

a – bafles interiores en camisas planas para mejorar la turbulencia interna

b – serpentines exteriores de cañería seccionada, limpet coil o half pipe

c – Placa soldada en patrón desfasado, dimple jacket o de onda simple

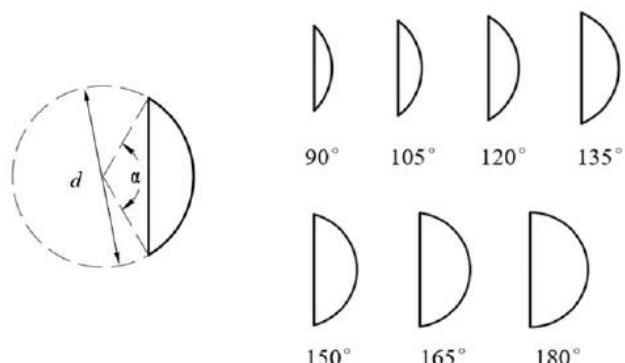
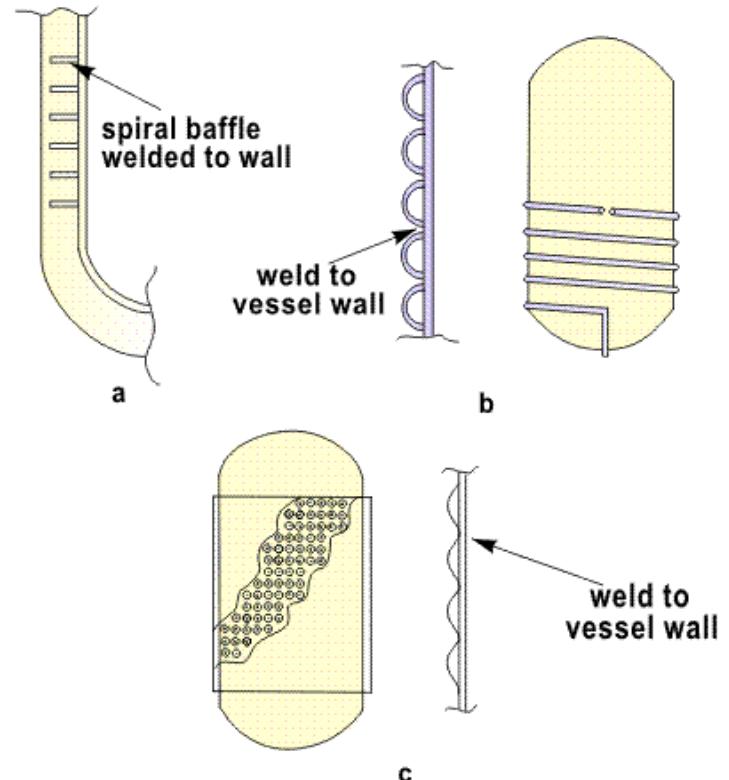


Figure 2. Illustration of the pipes having bow cross-sections with different central angles.

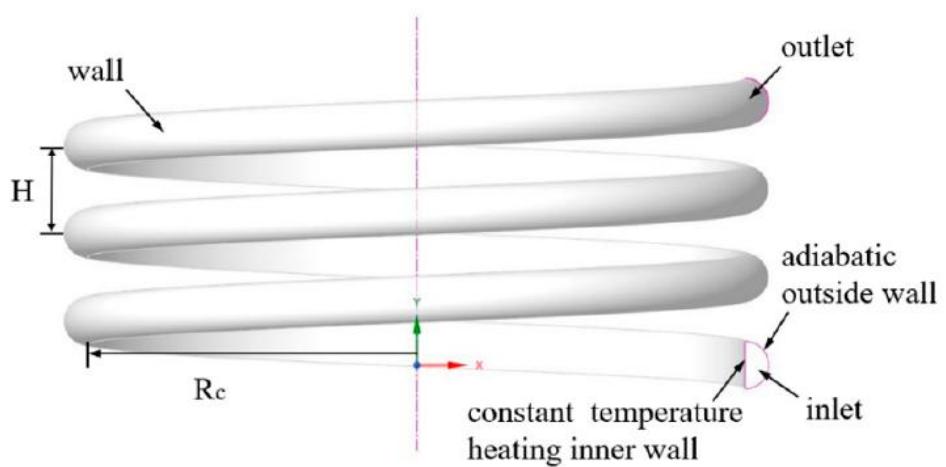


Figure 3. Illustration of a helical pipe jacket model.