

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 585 566**

51 Int. Cl.:

**F28D 7/16** (2006.01)

**F28D 7/02** (2006.01)

**F28F 9/22** (2006.01)

**F28D 21/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.05.2009 E 09758983 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.05.2016 EP 2315994**

54 Título: **Procedimiento de intercambio de calor con un fluido de fase mixta**

30 Prioridad:

**05.06.2008 US 133917**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**06.10.2016**

73 Titular/es:

**LUMMUS TECHNOLOGY INC. (100.0%)  
1515 Broad Street  
Bloomfield NJ 07003-3096, US**

72 Inventor/es:

**KARRS, MARK, S.;  
CHUNANGAD, KRISHNAN, S. y  
MASTER, BASHIR, I.**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 585 566 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento de intercambio de calor con un fluido de fase mixta.

**Antecedentes del descubrimiento**

Campo del descubrimiento

5 Las realizaciones reveladas en esta memoria se refieren en general a un procedimiento de intercambio de calor con un fluido de fase mixta según el preámbulo de la reivindicación 1. El documento US 470060 revela un procedimiento de esta clase. Más específicamente, las realizaciones reveladas en esta memoria se refieren a un procedimiento que comprende alimentar un fluido de fase mixta a un intercambiador de calor, tal como un intercambiador de calor de envuelta y tubos configurado para procesar eficientemente un flujo de dos fases.

10 Antecedentes

Se conocen numerosas configuraciones de intercambiadores de calor que se utilizan para una diversidad de aplicaciones. Una de las configuraciones ampliamente utilizadas, un intercambiador de calor de envuelta y tubos, como se ilustra en la figura 1, incluye una envuelta cilíndrica 10 que aloja un haz de tubos paralelos 12 que se extienden entre dos placas extremas 14 de modo que un primer fluido 16 puede pasar por los tubos 12. Mientras tanto, un segundo fluido 18 fluye en y a través del espacio entre las dos placas extremas para entrar en contacto con los tubos. Para proporcionar un intercambio de calor mejorado entre los dos fluidos, el trayecto de flujo del segundo fluido 18 está definido por unos deflectores intermedios 20 que forman unos respectivos pasos que están dispuestos de modo que el segundo flujo de fluido cambia su dirección al pasar de un paso al siguiente. Los deflectores 20, configurados como segmentos circulares parciales según se muestra (deflectores segmentales parciales) o como aros anulares y discos, se instalan perpendicularmente a un eje longitudinal 22 de la envuelta 10 para proporcionar un flujo en zigzag 24 del segundo fluido 18.

En esta disposición el segundo fluido tiene que cambiar bruscamente la dirección de su flujo varias veces a lo largo de la longitud de la envuelta. Esto provoca una reducción en la presión dinámica del segundo fluido y una velocidad de flujo no uniforme del mismo, las cuales, en combinación, afectan adversamente a las prestaciones del intercambiador de calor. Por ejemplo, una posición perpendicular de los deflectores con relación al eje longitudinal de la envuelta da como resultado una tasa de transferencia de calor/relación de caída de presión relativamente ineficiente. Además, tales disposiciones de deflectores producen una derivación del flujo a través de holguras de deflector a envuelta y de tubo a deflector, dando como resultado mala distribución del flujo, vórtices, contraflujo y mayores tasas de ensuciamiento, entre otras consecuencias no deseadas.

30 La caída de presión, la distribución de flujo y las eficiencias de transferencia de calor son variables importantes, especialmente en muchos procesos químicos industriales en los que se desea una reacción en fase de vapor entre corrientes de alimentación de fase líquida y corrientes de producto. Ejemplos de procesos pueden incluir reformación de nafta, hidrot ratamiento de nafta, hidrot ratamiento de diésel y queroseno, isomerización y metátesis de hidrocarburos ligeros y muchos otros procesos industrialmente importantes. Tales procesos incluirán típicamente un equipo de intercambio de calor de alimentación/efluente, en el que el calor requerido para vaporizar la corriente de alimentación del reactor es recuperado por condensación o condensación parcial del efluente del reactor. Tal equipo de transferencia de calor ha sido dispuesto históricamente como intercambiadores de calor de envuelta y tubos convencionales horizontales.

40 El aumento de las capacidades de diseño unitario (economía de escala) requiere un gran caudal volumétrico con un impacto resultante en el número de envueltas requeridas para transferir el calor a los limitados diferenciales de temperatura. Sin embargo, debido a las cuestiones hidráulicas del flujo, es decir, flujo de entrada de dos fases, composición variable y peso molecular variable de las fases de vapor y de líquido y flujo volumétrico y caída de presión variables resultantes del cambio de fase, la disposición de envueltas de intercambiador convencionales en varias disposiciones en paralelo y en serie es problemática. Una tubería simétrica es un medio poco fiable para efectuar una partición del flujo de dos fases. Dado que el peso molecular del vapor puede ser mucho más bajo que el del líquido asociado, especialmente en servicios de hidrot ratamiento en los que el vapor está compuesto en gran parte de hidrógeno, la mala distribución del vapor con el líquido que entra en un intercambiador puede tener un marcado impacto sobre la curva de ebullición asociada y, en consecuencia, sobre la diferencia de temperatura media (MTD) de la operación de ebullición.

50 El concepto de intercambiador de calor de alimentación/efluente combinado vertical (VCFE) se desarrolló para superar estos inconvenientes integrando grandes superficies en una sola envuelta vertical. Tales unidades se han desplegado comercialmente en diferentes configuraciones incluyendo: ebullición del lado de los tubos/condensación del lado de la envuelta en un solo diseño de deflectores segmentales; condensación del lado de los tubos/ebullición del lado de la envuelta en un solo diseño de deflectores segmentales; ebullición del lado de los tubos/condensación del lado de la envuelta en un diseño de deflectores helicoidales; condensación del lado de los tubos/ebullición del lado de la envuelta en un diseño de deflectores helicoidales. Intercambiadores con deflectores helicoidales se

describen, por ejemplo, en las patentes US Nos. 5.832.991, 6.513.583 y 6.827.138.

5 Sobre una base teórica, se favorece la ebullición del lado de la envuelta para reducir la superficie requerida, ya que el coeficiente de ebullición del lado de la envuelta es reforzado por el volumen relativamente mayor del lado de la envuelta debido a efectos de transporte de masa. Sin embargo, se tienen que abordar consideraciones de ensuciamiento, ya que el lado de los tubos será normalmente más fácil de limpiar.

10 Se considera que un inconveniente de la disposición de ebullición del lado de la envuelta reside en un funcionamiento a carga parcial o de reducción de flujo, en el que las velocidades del lado de la envuelta pueden no ser suficientes para impedir una separación de fases y un contraflujo de la fracción de líquido volviendo hasta la entrada. Tal acumulación de una fracción de líquido pesado con alto tiempo de residencia puede producir ensuciamiento.

El inconveniente principal de cualquier disposición de ebullición del lado de los tubos es que las fracciones de vapor y de líquido tienen que distribuirse uniformemente en cada una de una multiplicidad de entradas de tubo a fin de mantener las características de ebullición esperadas en cada tubo, y no se ha encontrado un método barato y de baja caída de presión para conseguir esta distribución.

15 Por consiguiente, existe la necesidad de un procedimiento de intercambio de calor en el que se alimente un fluido de fase mixta a un intercambiador de calor con un diseño de deflectores para procesar efectivamente un flujo de entrada de dos fases en unidades verticales.

### Sumario del descubrimiento

20 En un aspecto, las realizaciones reveladas en la presente memoria se refieren a un procedimiento de intercambio de calor con un fluido de fase mixta, incluyendo el procedimiento: alimentar un fluido de fase mixta que comprende un vapor y al menos uno de entre un líquido arrastrado y un sólido arrastrado a un intercambiador de calor, incluyendo el intercambiador de calor: una envuelta que tiene una entrada de fluido y una salida de fluido; una pluralidad de deflectores montados en la envuelta para guiar el fluido formando un patrón de flujo helicoidal a través de la envuelta; convertir el fluido de fase mixta en esencialmente todo vapor; e intercambiar directamente calor entre el  
25 fluido de fase mixta y un medio de intercambio de calor; en donde un ángulo de hélice  $\alpha$  de un deflector próximo a la entrada mantiene una velocidad del fluido de fase mixta mayor que una velocidad terminal del líquido o sólido arrastrado; y en donde un ángulo de hélice  $\beta$  de un deflector próximo a la salida es mayor que el ángulo de hélice  $\alpha$  del deflector próximo a la entrada.

Según una realización, la conversión comprende evaporar el líquido arrastrado.

30 Según una realización, la conversión comprende quemar el sólido arrastrado.

Según una realización, el ángulo de hélice  $\alpha$  está dentro del intervalo de aproximadamente 5° a aproximadamente 35° y el ángulo de hélice  $\beta$  está dentro del intervalo de aproximadamente 15° a aproximadamente 45°.

Otros aspectos y ventajas resultarán evidentes por la descripción siguiente y las reivindicaciones adjuntas.

### Breve descripción de los dibujos

35 La figura 1 es una vista diagramática de distribución de flujo en un intercambiador de calor de envuelta y tubos convencional.

La figura 2 es un dibujo esquemático de un intercambiador de calor combinado vertical de alimentación/efluente con ángulo de deflector de calor variable utilizado en un procedimiento según las realizaciones reveladas en esta memoria.

### 40 Descripción detallada

En un aspecto, las realizaciones de esta memoria se refieren en general a un procedimiento de intercambio de calor con un fluido de fase mixta que comprende alimentar un fluido de fase mixta a un intercambiador de calor. Más específicamente, las realizaciones reveladas en esta memoria se refieren a un procedimiento en el que se alimenta un fluido de fase mixta a un intercambiador de calor, tal como un intercambiador de calor de envuelta y tubos,  
45 configurado para procesar eficientemente un flujo de dos fases. Aún más específicamente, las realizaciones reveladas en esta memoria se refieren a un procedimiento en el que se alimenta un fluido de fase mixta a un intercambiador de calor que tiene deflectores configurados para dirigir un flujo de fluido del lado de la envuelta en un patrón de flujo helicoidal, en donde el ángulo de hélice de un deflector próximo a la entrada es diferente de un ángulo de hélice de un deflector próximo a la salida.

50 Se ha encontrado que los intercambiadores de calor que tienen deflectores con un ángulo de hélice variado utilizados en procedimientos según las realizaciones reveladas en esta memoria son útiles para fluidos del lado de la

envuelta que sufren un cambio de fase, tal como evaporación, condensación, combustión y similares. Por ejemplo, para un flujo de entrada de dos fases, tal como una mezcla de líquido en vaporación-vapor, se pueden prever ángulos de hélice próximos a la entrada para mantener una velocidad de fluido suficiente a fin de evitar una separación de fases del vapor y del líquido. El ángulo de hélice de deflectores próximos a la entrada de fluido del lado de la envuelta puede estar cerca de una posición perpendicular a los tubos, haciendo así que el denso fluido entrante se arremoline a una alta velocidad. Cuando se vaporiza el líquido debido a transferencia de calor dentro del intercambiador, el ángulo de hélice de los deflectores puede estar más lejos de la perpendicular, tal como para deflectores más próximos a la salida del lado de la envuelta, proporcionando intercambio de calor a velocidades más bajas para el vapor menos denso y una caída de presión relativamente baja a través del intercambiador de calor.

Dado que la separación de fases (vapor-líquido, vapor-sólido, etc.) es una función de las densidades relativas, el tamaño de partículas y/o de gotitas y la velocidad de la fase de vapor, los intercambiadores que tienen deflectores con un ángulo de hélice variados según realizaciones reveladas en esta memoria no están sometidos a separación de fases en el lado de la envuelta con el mismo caudal que se produciría para un intercambiador de calor dotado de un ángulo de deflector constante. Por consiguiente, los intercambiadores de calor dotados de deflectores con un ángulo de hélice variado utilizados en procedimientos según realizaciones reveladas en esta memoria pueden utilizarse a niveles de caudal significativamente reducidos, evitando así los inconvenientes típicos asociados con intercambiadores de calor verticales que operan a carga parcial o con funcionamiento de reducción de flujo.

El ángulo de hélice utilizado para los deflectores próximos a la entrada y la salida del lado de la envuelta puede depender del tipo de funcionamiento. En un ejemplo que no forma parte de las realizaciones del presente descubrimiento, para una mezcla de fluido que incluye un vapor y un líquido en evaporación o un sólido en combustión, el ángulo de hélice de deflectores próximos a la entrada puede ser mayor que el ángulo de hélice de deflectores próximos a la salida. De esta manera, la velocidad de la mezcla de dos fases puede mantenerse mayor que una velocidad de transporte del sólido o líquido arrastrado, evitando así una separación de fases. A medida que se vaporiza el fluido o se quema el sólido, se puede utilizar un ángulo de hélice más pequeño. En otros ejemplos que no forman parte de realizaciones del presente descubrimiento, el ángulo de hélice puede disminuir gradualmente a lo largo de la longitud longitudinal de la envuelta. Según realizaciones reveladas en esta memoria, para una alimentación de entrada que incluya un vapor que se debe condensar dentro del intercambiador de calor, el ángulo de hélice de deflectores próximos a la entrada del lado de la envuelta es menor que el ángulo de hélice de deflectores próximos a la salida del lado de la envuelta, aumentando así la velocidad de la mezcla durante la operación de condensación.

Haciendo ahora referencia a la figura 2, se ilustra un dibujo esquemático de un intercambiador de calor combinado vertical de alimentación/efluente que tiene deflectores con ángulo de hélice variados utilizado en procedimientos según realizaciones reveladas en esta memoria. El intercambiador de calor 30 puede incluir un colector 32 de entrada del lado de los tubos con una entrada de fluido 34 formada en el mismo. El colector 32 de entrada del lado de los tubos puede tener también un respiradero 36 dispuesto en el mismo. El intercambiador de calor 30 puede incluir también un colector 38 de salida del lado de los tubos que tiene una salida de fluido 40 formada en él. Una pluralidad de tubos 42 pueden extenderse entre el colector 32 de entrada y el colector 38 de salida del lado de los tubos, permitiendo el transporte de un fluido desde el colector de entrada 32 hasta el colector de salida 38 a través de los tubos 42. La figura 2 ilustra el uso de cuatro tubos, pero ha de entenderse que puede utilizarse cualquier número de tubos.

Una envuelta 44 se extiende entre los colectores de entrada y salida 32, 38, confinando los tubos 42, e incluye una entrada de fluido 46 del lado de la envuelta y una salida de fluido 48 del lado de la envuelta. Dentro de la envuelta 44 está situada una pluralidad de deflectores 50. Los deflectores 50 pueden incluir, por ejemplo, deflectores helicoidales como los descritos en las patentes US Nos. 5.832.991, 6.513.583 y 6.827.138. Los deflectores 50 pueden incluir orificios de tubo (no mostrados) para permitir que pasen los tubos 42 a través de los deflectores 50 y para permitir que los deflectores 50 retengan los tubos 42 en una localización alineada y deseada. Los deflectores 50 pueden actuar guiando el fluido del lado de la envuelta según un patrón de flujo helicoidal a través de la envuelta.

Los deflectores 50 están dispuestos dentro del intercambiador de calor 30 de tal manera que los deflectores 50 próximos a la entrada 46 del lado de la envuelta tengan un ángulo de hélice diferente del de los deflectores 50 próximos a la salida 48 del lado de la envuelta. El ángulo de hélice de los deflectores puede determinarse, por ejemplo, por "desenrollamiento" de la hélice, formando una representación bidimensional del patrón helicoidal. Como se ilustra en la figura 2 para el deflector 50a, el ángulo de la hélice se determinaría entonces como el arcotangente de la circunferencia C de la envuelta dividida por el paso p (distancia longitudinal recorrida por un arco de deflector que se extiende en 360°). El paso es igual a:

$$p = C \cdot \text{tg}(\beta);$$

en donde  $\beta$  es el ángulo de la hélice. Por tanto, el ángulo de hélice  $\beta$  es igual a  $\text{arctg}(p/C)$ .

Como se ilustra, el intercambiador de calor 30 está equipado con deflectores helicoidales 50 orientados en sentido vertical. Los deflectores 50 próximos a la entrada 46 del lado de la envuelta tienen un ángulo de hélice  $\alpha$ . Los

deflectores 50 próximos a la salida 48 del lado de la envuelta tienen un ángulo de hélice  $\beta$  con respecto al eje longitudinal A-A de la envuelta 44. Así, por ejemplo, para una corriente de alimentación de dos fases en vaporización del lado de la envuelta que entra por la entrada 46 del lado de la envuelta, los deflectores 50 próximos a la entrada 46 están dispuestos bajo un pequeño ángulo de hélice  $\alpha$ ; es decir, están más cercanos a la perpendicular con respecto al eje A-A que los deflectores 50 próximos a la salida 48 del lado de la envuelta, que tienen un ángulo de hélice  $\beta$ , en donde se espera que el intercambiador de calor sea de gas/gas a un flujo volumétrico más alto del lado de la envuelta, tal como debido a evaporación, combustión y/o calentamiento del fluido del lado de la envuelta. Un bajo ángulo de hélice  $\alpha$  puede hacer así que el flujo de entrada de dos fases forme remolino en una trayectoria helicoidal a una velocidad suficiente para evitar una separación de fases. Debido a que el fluido del lado de la envuelta es gas/gas cerca de la salida 48, se puede utilizar un ángulo de hélice  $\beta$  mayor que el ángulo de hélice  $\alpha$ , dando así como resultado una caída de presión más baja que cuando se utiliza un ángulo  $\alpha$  a lo largo de toda la longitud de la envuelta 44.

En algunas realizaciones los deflectores situados entre la entrada 46 y la salida 48 de fluido del lado de la envuelta pueden tener un ángulo de hélice  $\gamma$  comprendido entre los ángulos de hélice  $\alpha$ ,  $\beta$ . Por ejemplo, para una alimentación de entrada que incluya un vapor que debe condensarse dentro del intercambiador de calor, los ángulos de hélice de los deflectores 50 pueden aumentar gradualmente desde la entrada 46 hasta la salida 48. En otras realizaciones los ángulos de hélice para los deflectores 50 pueden sufrir uno o más cambios escalonados.

Como se ha mencionado anteriormente, los intercambiadores de calor dotados de deflectores con un ángulo de hélice variado utilizados en procedimientos según las realizaciones reveladas en esta memoria pueden ser útiles allí donde se espera un flujo de fluido de dos fases. Los ángulos de hélice más bajos allí donde se espera un flujo de dos fases pueden proporcionar una mayor velocidad de la fase de vapor, evitando una separación de fases en el lado de la envuelta. Los ángulos de hélice de los deflectores próximos a la entrada y la salida pueden ser una función de las densidades relativas de las dos fases, el tamaño de partículas o gotitas de los sólidos y/o los líquidos (relacionado con la velocidad de transporte de las partículas o gotitas), las tasas de alimentación típicas, las tasas de carga parcial o de alimentación con reducción de flujo, la subida de temperatura del fluido del lado de la envuelta y otras variables conocidas para los expertos en la materia.

Los intercambiadores de calor de alimentación/efluente combinados verticales descritos en esta memoria pueden utilizar deflectores dotados de un ángulo de hélice aproximado dentro del intervalo de aproximadamente  $5^\circ$  a  $45^\circ$ , inclusive. Cualquier combinación de los ángulos de deflector  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  (si está presente) que cree un ángulo de hélice apropiado puede ser utilizada de acuerdo con realizaciones reveladas en esta memoria.

Por ejemplo, en algunas realizaciones el ángulo de hélice  $\alpha$  puede estar dentro del intervalo de aproximadamente  $5^\circ$  a aproximadamente  $45^\circ$ ; dentro del intervalo de aproximadamente  $5^\circ$  a aproximadamente  $35^\circ$  en otras realizaciones; y de aproximadamente  $5^\circ$  a aproximadamente  $25^\circ$  en otras realizaciones más.

En otras realizaciones el ángulo de deflector  $\beta$  puede estar dentro del intervalo de  $15^\circ$  a aproximadamente  $45^\circ$ ; dentro del intervalo de aproximadamente  $25^\circ$  a aproximadamente  $45^\circ$  en otras realizaciones; y de aproximadamente  $35^\circ$  a aproximadamente  $45^\circ$  en otras realizaciones más, con la condición de que el ángulo de deflector  $\beta$  sea mayor que el ángulo de hélice  $\alpha$ .

Los intercambiadores de calor utilizados en procedimientos según las realizaciones reveladas en esta memoria pueden utilizarse ventajosamente con fluidos del lado de la envuelta que tengan dos o más fases. Ventajosamente, los intercambiadores de calor utilizados en los procedimientos según las realizaciones reveladas en esta memoria pueden proporcionar una velocidad de flujo de fluido del lado de la envuelta para minimizar o evitar una separación de fases de fluidos que pasen por la envuelta, tal como por tener deflectores con un pequeño ángulo de hélice en donde se espera un flujo de dos fases. Además, el uso de ángulos de hélice más grandes en donde se espera un flujo de una sola fase puede proporcionar ventajosamente una menor caída de presión que cuando se utiliza un ángulo de hélice constante en toda la envuelta. Así, en comparación con procedimientos convencionales que utilizan intercambiadores de calor dotados de deflectores con un ángulo de hélice constante, los procedimientos que utilizan intercambiadores de calor según realizaciones reveladas en esta memoria pueden mantener un flujo de fluido de dos fases incluso a niveles de caudal significativamente reducido, permitiendo así ventajosamente un intervalo de caudales más amplio.

Aunque el descubrimiento incluye un número limitado de realizaciones, los expertos en la materia, que se beneficien de este descubrimiento, apreciarán que pueden idearse otras realizaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento de intercambio de calor con un fluido de fase mixta, comprendiendo el procedimiento: alimentar a un intercambiador de calor (30) un fluido de fase mixta que comprende un vapor y al menos uno de entre un líquido arrastrado y un sólido arrastrado, comprendiendo el intercambiador de calor (30): una envuelta (44) que tiene una entrada de fluido (46) y una salida de fluido (48); intercambiar indirectamente calor entre el fluido de fase mixta y un medio de intercambio de calor; **caracterizado** por que el intercambiador de calor comprende una pluralidad de deflectores (50) montados en la envuelta (44) para guiar el fluido según un patrón de flujo helicoidal a través de la envuelta (44); convertir el fluido de fase mixta en esencialmente todo vapor; en donde un ángulo de hélice  $\alpha$  de un deflector próximo a la entrada de fluido (46) mantiene una velocidad del fluido de fase mixta mayor que una velocidad terminal de líquido o sólido arrastrado; y en donde un ángulo de hélice  $\beta$  de un deflector próximo a la salida de fluido (48) es mayor que el ángulo de hélice  $\alpha$  del deflector próximo a la entrada de fluido (46).
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la conversión comprende evaporar el líquido arrastrado.
3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la conversión comprende quemar el sólido arrastrado.
4. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el ángulo de hélice  $\alpha$  está dentro del intervalo de aproximadamente  $5^\circ$  a aproximadamente  $35^\circ$ , y en el que el ángulo de hélice  $\beta$  está dentro del intervalo de aproximadamente  $15^\circ$  a aproximadamente  $45^\circ$ .

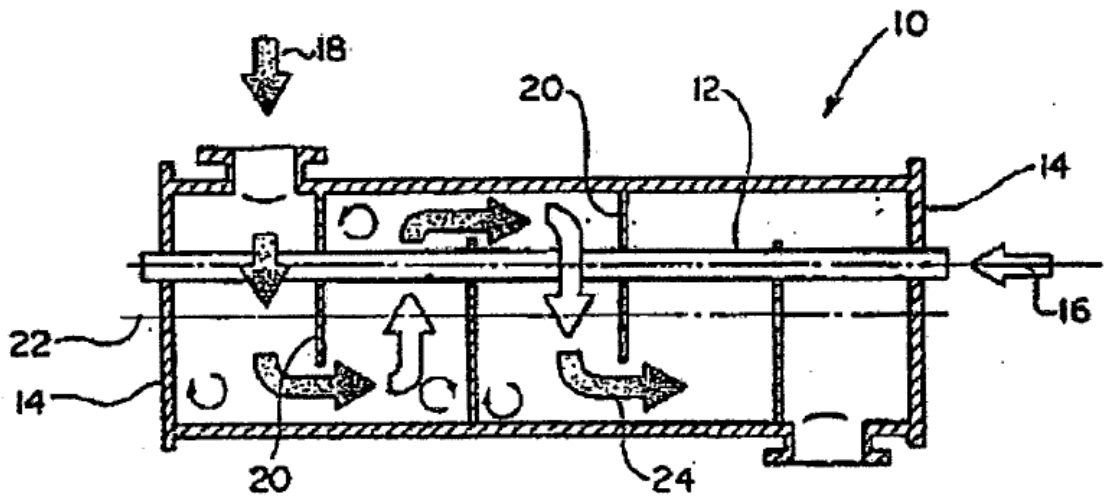


Figura 1 (técnica anterior)

