

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 521 641**

51 Int. Cl.:

B01J 8/06 (2006.01)

C10G 9/20 (2006.01)

C10G 9/16 (2006.01)

F17D 1/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.03.2007 E 07712887 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.08.2014 EP 2004320**

54 Título: **Tubo de pirólisis helicoidal**

30 Prioridad:

10.03.2006 GB 0604895

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

13.11.2014

73 Titular/es:

**TECHNIP FRANCE S.A.S. (100.0%)
6-8 ALLÉE DE L'ARCHE FAUBOURG DE
L'ARCHE ZAC DANTON
92400 COURBEVOIE, FR**

72 Inventor/es:

**CARO, COLIN GERALD;
BIRCH, PHILIP LLOYD y
TALLIS, WILLIAM**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 521 641 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

Tubo de pirólisis helicoidal

5 La presente invención se refiere a una tubería y, más particularmente, a una tubería para su uso en hornos de craqueo. La tubería puede tener una geometría particular. La invención se extiende también a diversos usos diferentes de la tubería con esta geometría particular.

10 Los hornos de craqueo se usan particularmente en la producción de etileno. En el procedimiento de craqueo con vapor para etileno, una materia prima basada en hidrocarburos es diluida con vapor y, a continuación, es calentada rápidamente a una temperatura alta haciéndola pasar a través de tubos (normalmente denominados "bobinas de horno") en un horno. La alta temperatura descompone la materia prima basada en hidrocarburos. La corriente de salida, que contiene una amplia mezcla de hidrocarburos de las reacciones de pirólisis en los tubos de pirólisis más componentes no reaccionados de la materia prima, es desactivada a continuación para prevenir la recombinación de los productos. A continuación, la corriente enfriada puede ser procesada a través de una serie de operaciones de destilación y otras operaciones de separación en las que los diferentes productos de la operación de craqueo se separan.

15 Los hornos de craqueo conocidos adolecen de una serie de problemas. Debido al tiempo de residencia muy bajo de la materia prima y al vapor que fluye a través de los tubos en el horno (unas pocas décimas de segundo), el horno y los tubos deben mantenerse a una temperatura muy alta para conseguir el calentamiento rápido necesario para conseguir la pirólisis. De esta manera, es necesaria una gran cantidad de combustible para encender el horno.

20 Además, la temperatura muy alta de los tubos en el horno conduce a la deposición de coque en el interior de los tubos. Esta acumulación de coque es particularmente inoportuna, ya que la presencia de una capa de coque en el interior del tubo reduce la transferencia de calor desde el horno a la materia prima y, de esta manera, afecta al rendimiento. También aumenta la caída de presión en el tubo de pirólisis, aunque, generalmente, este factor se considera que es menos importante que el efecto sobre la transferencia de calor.

25 Si la deposición de coque es suficientemente severa, normalmente es necesario interrumpir periódicamente el funcionamiento de un horno (normalmente cada 20 a 60 días) para permitir la eliminación de coque de los tubos (por ejemplo, mediante limpieza con vapor). Debido a que cada horno representa una gran inversión de capital, es deseable mantener dicho un tiempo de inactividad a un mínimo.

El documento AU 7771875 describe un horno de craqueo con un tubo de horno helicoidal.

El documento WO 2004/083705 describe un tubo con una parte helicoidal con una curvatura variable.

30 Según la invención, se proporciona un horno de craqueo según se define en la reivindicación 1.

Se ha encontrado que cuando el fluido fluye a través de una parte del tubo cuya línea centra se curva en tres dimensiones, forma "remolinos" a lo largo de la tubería (es decir, un componente de su movimiento es alrededor de la línea central del tubo). Este "flujo vorticial" tiene una serie de ventajas sobre el flujo convencional.

35 Con un flujo vorticial, se produce un mezclado mejorado a lo largo de la sección transversal del tubo. Además, como resultado de este mezclado, el perfil de velocidad del flujo a través de la tubería es más uniforme (o más romo) de lo que sería con el flujo en una tubería convencional, en el que el fluido vorticial tiende a actuar como un punzón, limpiando las paredes de tubo. Además, la velocidad del flujo cerca de la pared de la tubería es mayor en comparación con una tubería recta, proporcionando un menor espesor de capa límite, lo cual, a su vez, mejora la transferencia de calor desde las paredes del tubo al fluido en el interior de la tubería.

40 El mezclado mejorado es de particular relevancia cuando se aplica a una tubería de pirólisis en un horno, ya que proporciona masa, impulso y transferencia de calor considerables en el fluido en el interior del núcleo del flujo y entre el fluido en las paredes del tubo y el fluido en el interior del núcleo. De esta manera, se produce una transferencia de calor mejorada desde la pared del tubo de pirólisis a la materia prima que fluye en su interior. Esta transferencia de calor mejorada permite conseguir mayores rendimientos del producto final, o permitiría conseguir
45 los mismos rendimientos con un menor consumo de combustible por parte del horno. Esta transferencia de calor mejorada también aumenta efectivamente la capacidad del horno en circunstancias en las que, como es frecuentemente el caso, la transferencia de calor es el factor que limita la capacidad del horno.

Además, el flujo vorticial puede reducir la acumulación de coque. La transferencia de calor mejorada indicada anteriormente permite que la reacción de pirólisis sea llevada a cabo con una temperatura más baja de la pared del tubo de pirólisis, y esta menor temperatura conducirá a una menor acumulación de coque. Además, la mayor
50 velocidad del flujo cerca de la pared reduce la posibilidad de acumulación de coque (ya que es más probable que el coque sea arrastrado por el flujo vorticial) y tenderá también a eliminar cualquier coque que haya sido depositado

sobre la pared del tubo. Debido a que una disminución de la acumulación de coque aumentará la cantidad de tiempo durante la cual el horno puede ser usado antes de requerir un procedimiento de eliminación de coque y, de esta manera, aumentará la productividad del horno, el uso del flujo vorticial en el tubo de pirólisis puede ser extremadamente importante.

5 La curvatura varía a lo largo de la longitud de la parte de tubo de pirólisis. Por ejemplo, la parte de tubo puede tener una pluralidad de partes, en el que cada parte tiene una curvatura helicoidal diferente. Una curvatura variable permite que las condiciones de flujo sean variadas a lo largo del tubo. Por ejemplo, puede ser deseable que las condiciones de flujo en el tubo en el punto en el que entra en el horno (donde la materia prima está relativamente fría y no ha sido craqueada) difieran de las condiciones de flujo en el punto en el que el tubo sale del

10 horno (donde la materia prima ha sido craqueada y está relativamente caliente). El uso de una curvatura diferente permite variar las condiciones de flujo.

Una curvatura variable permite también que la parte de tubo de pirólisis tenga un buen rendimiento en una amplia gama de condiciones de flujo. Las condiciones de flujo pueden variar, por ejemplo en base al tipo de materia prima, en el que diferentes tipos tienen densidades, viscosidades, etc., diferentes. Sería posible optimizar las

15 características de la parte de tubo para un conjunto particular de condiciones de flujo, para conseguir los mejores resultados posibles; sin embargo, si las condiciones de flujo variaran con respecto a ese conjunto particular, la parte de tubo puede comportarse de manera sub-óptima. En contraste, si la curvatura varía a lo largo de la longitud de la parte de tubo, entonces es probable que alguna región de la misma tendrá un buen comportamiento para un conjunto determinado de condiciones de flujo (incluso si otras regiones tienen un menor rendimiento), y esto

20 debería permitir el uso de la parte de tubo en una gama más amplia de condiciones de flujo.

La parte de tubo está formada como una hélice de baja amplitud. "Hélice de baja amplitud" se refiere a que la parte está formada de manera que su línea central sigue una trayectoria sustancialmente helicoidal, y que la amplitud de la hélice es igual o menor que la mitad del diámetro interno de la sección.

De esta manera, un tubo formado como una hélice de baja amplitud es particularmente ventajoso, ya que proporciona las ventajas del flujo vorticial, pero no ocupa un volumen mucho mayor que un tubo recto y, por lo tanto, puede ser usado en lugar de un tubo recto. Esto es particularmente útil si los tubos van a ser usados en el reacondicionamiento de un horno existente con tubos rectos, ya que los tubos rectos pueden ser sustituidos simplemente por tubos helicoidales de baja amplitud.

25

Una tubería que tiene una geometría helicoidal de baja amplitud de este tipo puede ser usada en un gran número de aplicaciones, además de en los tubos de pirólisis en hornos de craqueo, y varios de estos usos y las ventajas que pueden obtenerse mediante el uso de la geometría helicoidal de baja amplitud se describirán más adelante.

30

Preferiblemente, la superficie interior del tubo de pirólisis es sustancialmente lisa y, por ejemplo, puede estar revestida con un revestimiento de baja fricción, en el que dichos revestimientos son conocidos en sí mismos. Es preferible evitar características superficiales tales como estrías, ya que esto conduciría a una mayor longitud del

35 perímetro mojado y una tendencia consecuente a una mayor resistencia al flujo. Es conocida la provisión de estrías en los tubos de pirólisis convencionales (rectos o curvos en sólo dos dimensiones) y esto puede promover un flujo vorticial cerca de la superficie interior del tubo. Sin embargo, este es un efecto cercano a la pared, relativamente localizado, que permite un flujo en el núcleo donde se produce muy poco o ningún mezclado. Por lo tanto, no se obtiene el beneficio de transferencia de calor mejorada de la presente invención. En un tubo estriado recto o

40 curvado bidimensionalmente, la línea central es correspondientemente recta o sigue la curva bidimensional.

En una forma preferida, el tubo de pirólisis está formado de manera que tiene al menos una parte cuya línea central está conformada como una hélice con una pluralidad de vueltas. Si la línea central del tubo está formada como una hélice (que se curva en tres dimensiones) con múltiples vueltas, entonces el flujo vorticial continuará a lo largo del tubo, y se seguirán obteniendo las ventajas.

El flujo vorticial se establece rápidamente en una sección de tubo cuya línea central se curva en tres dimensiones. En ciertas circunstancias, los beneficios del flujo vorticial indicados anteriormente pueden ser conseguidos por una

45 porción de tubo de pirólisis cuya línea central se curva en tres dimensiones, a lo largo de una distancia corta. Sin embargo, si el tubo vuelve a una sección normal con una línea central recta, el flujo vorticial se desvanecerá y será remplazado por un flujo normal. Por lo tanto, preferiblemente, la mayor parte del tubo de pirólisis conforme pasa a través del horno tiene una línea central curvada en tres dimensiones. Por ejemplo, más del 50 por ciento, preferiblemente más del 75 por ciento, más preferiblemente más del 90 por ciento, de la extensión del tubo en el interior del horno puede tener una línea central curvada en 3-D.

50

La porción de tubo de pirólisis puede estar formada de manera que su ángulo de hélice sea constante, y esto puede ser deseable desde el punto de vista de la simplificación de la fabricación del tubo de pirólisis.

Es posible que sólo parte del tubo de pirólisis tenga una línea central curvada; por ejemplo, un tubo de pirólisis con forma de "U" podría tener una pata recta y una pata con una línea central que se curva en tres dimensiones; con las dos patas unidas por una curva 2D.

5 Considerando la línea central de la porción de tubo como una línea helicoidal, si el ángulo de la hélice y la amplitud de la hélice son constantes, entonces la curvatura es constante. Si, por otro lado (como en la presente invención), la curvatura debe ser variada, entonces esto puede conseguirse mediante una variación en el ángulo de la hélice y/o una variación en la amplitud de la hélice.

10 Por supuesto, otras características de la porción de tubo, además de la curvatura, pueden variar a lo largo de su longitud. Estas características incluyen el área de sección transversal de la porción de tubo, que puede ser constante o puede variar, y su forma de sección transversal.

En esta especificación, la amplitud de la hélice se refiere a la extensión del desplazamiento desde una posición media a un extremo lateral. De esta manera, en el caso de la porción de tubería de pirólisis que tiene una línea central helicoidal, la amplitud es la mitad de la anchura lateral total de la línea central helicoidal.

15 A continuación, se describirá una realización preferible de la presente invención, a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 es una vista esquemática en sección transversal de un horno de craqueo de la técnica anterior;

La Figura 2 es una vista esquemática en sección transversal de un horno de craqueo según una primera realización de la invención;

La Figura 3 es una vista de una longitud de tubería que tiene una geometría helicoidal de baja amplitud;

20 La Figura 4 es una vista de un banco de tubos de pirólisis que usan una geometría helicoidal de baja amplitud; y

Las Figuras 5a y 5b son vistas esquemáticas en sección transversal de hornos de craqueo que usan diseños alternativos de geometría helicoidal de baja amplitud.

25 En la Figura 1, un horno de craqueo de la técnica anterior se indica mediante el número de referencia 10. Hay dispuestos quemadores 12 en la parte inferior del horno para calentar el mismo. Los productos de combustión a alta temperatura salen del horno a través de la chimenea 14, y estos pueden ser usados para precalentar la materia prima y el vapor usados en la reacción de pirólisis.

30 Un tubo de pirólisis entra en el horno en su base (tal como se indica mediante el número de referencia 20). El tubo de pirólisis se extiende hacia arriba a través del horno (número de referencia 22) y, en esta parte del tubo, se lleva a cabo la reacción de pirólisis. El tubo sale del horno (número de referencia 24), y transporta los productos de la reacción de pirólisis y cualquier materia prima sin reaccionar a un aparato de enfriamiento rápido.

El tubo está formado como una tubería generalmente recta. Las curvas en el tubo son simples curvas acodadas planas, en las que la línea central de la tubería se curva en sólo dos dimensiones.

En la práctica, habrá un gran número de tubos de pirólisis que pasan a través del horno; sin embargo, en aras de la claridad, se ha mostrado sólo un único tubo.

35 En algunas disposiciones de la técnica anterior, la pirólisis tiene una o configuración en "U" o "M" o "W" en el interior del horno, y son conocidas como bobinas en U, bobinas en M o bobinas en W. En todos los casos, las curvas que conforman la forma de "U" o "M" o "W" están en un único plano.

La Figura 2 muestra un horno similar, en el que las partes correspondientes a las del horno de la Figura 1 tienen los mismos números de referencia. Una vez más, en aras de la claridad, sólo se muestra un único tubo.

40 Aquí, el tubo 30 de pirólisis está formado con una línea central que se curva en tres dimensiones. En particular, está formado como una hélice con un eje vertical que se extiende desde el fondo hasta la parte superior del horno. (Debido a que la hélice del tubo de pirólisis se muestra en una vista lateral, aparece como una forma de onda sinusoidal).

45 Se apreciará que esta es una vista esquemática, y que el tubo de pirólisis puede adoptar diversas formas diferentes a la mostrada en la Figura.

Debido a que el tubo 30 de pirólisis está formado con una línea central que se curva en tres dimensiones, la mezcla de materia prima y vapor en el tubo de pirólisis formará remolinos conforme fluye a lo largo del tubo de pirólisis. Esto conducirá a un mejor mezclado de la materia prima y el vapor, y mejorará también la transferencia de calor

desde las paredes del tubo de pirólisis a y a través de la mezcla. De esta manera, las paredes del tubo de pirólisis pueden estar a una temperatura más baja que si el flujo no fuera vorticial, lo que permite un menor consumo de combustible por parte del quemador. Esta menor temperatura de pared extenderá también la vida del tubo del horno y permitirá, en algunos casos, el uso de aleaciones más económicas y el uso de técnicas de fabricación de tubos.

5 Además, tanto la menor temperatura de la pared del tubo de pirólisis como la mayor velocidad de flujo cerca de la pared reducen la cantidad de coque depositada sobre las paredes del tubo de pirólisis, y es más probable que cualquier coque depositado sea retirado de las paredes del tubo como resultado del flujo más rápido cerca de la pared.

10 Esta reducción en la acumulación de coque es particularmente ventajosa, ya que asegura el mantenimiento de buenas características de transferencia de calor. También reduce la necesidad de interrumpir el funcionamiento del horno para eliminar el coque.

En la Figura 2, la sección del tubo antes de que el mismo entre en el horno se muestra como recta; sin embargo, esta sección podría estar formada también con una línea central que se curva en tres dimensiones, y esta sección podría ser helicoidal a lo largo de su longitud.

15 La sección helicoidal del tubo 30 de pirólisis en la Figura 2 se muestra conformada más bien como un muelle helicoidal. Sin embargo, esto hace que la "envoltura" del tubo de pirólisis sea relativamente ancha, y también aumenta considerablemente la longitud del tubo (y, de esta manera, el tiempo de residencia).

20 Estas características pueden ser indeseables en algunas circunstancias y, de esta manera, es preferible que las secciones helicoidales estén formadas como una hélice de baja amplitud, donde el tubo está formado de manera que su línea central sigue una trayectoria sustancialmente helicoidal, y que la amplitud de la hélice es igual o menor que la mitad del diámetro interno del tubo.

Tal como se usa en la presente memoria, la expresión "amplitud de la hélice" se refiere a la extensión del desplazamiento de la línea central desde una posición media a un extremo lateral. De esta manera, la amplitud es la mitad de la anchura lateral total de la línea central helicoidal.

25 En una sección helicoidal de baja amplitud de este tipo, donde la amplitud de la hélice es menor que la mitad del diámetro interno del tubo, hay una "línea de visión" a lo largo del lumen del tubo. A pesar de que el flujo en la línea de visión podría seguir potencialmente una trayectoria recta, se ha encontrado que, generalmente, tiene un componente vorticial.

30 La "amplitud relativa" de la sección helicoidal se define como la amplitud dividida por el diámetro interno. Debido a que la amplitud del tubo helicoidal es menor o igual a la mitad del diámetro interno del tubo, esto significa que la amplitud relativa es menor o igual a 0,5. Las amplitudes relativas menores o iguales a 0,45, 0,40, 0,35, 0,30, 0,25, 0,20, 0,15, 0,1 o 0,05 pueden ser preferibles. Las amplitudes relativas menores proporcionan un mejor uso del espacio lateral disponible, en el sentido de que el tubo no es mucho más ancho en general que un tubo recto normal con la misma área de sección transversal. Las amplitudes relativas menores resultan también en una "línea de visión" más ancha, que proporciona más espacio para la inserción de manómetros u otro equipamiento a lo largo del tubo (que puede ser útil cuando se limpia el tubo). Sin embargo, en algunas circunstancias, las amplitudes relativas muy pequeñas pueden conducir a un menor movimiento secundario y un menor mezclado.

35 Con números de Reynolds más altos, pueden usarse amplitudes relativas más pequeñas mientras que se induce el flujo vorticial a un grado satisfactorio. En general, esto significará que, para un diámetro interno determinado, donde hay una alta velocidad de flujo, puede usarse una amplitud relativa baja mientras que todavía es suficiente para inducir el flujo vorticial.

40 El ángulo de la hélice (o paso, donde el paso es la longitud de una vuelta de la hélice, y puede definirse en términos del diámetro interno del tubo) es también un factor relevante para influir sobre el flujo. Al igual que con la amplitud relativa, el ángulo de hélice puede ser optimizado según las condiciones. El ángulo de hélice es preferiblemente menor o igual a 65°, más preferiblemente menor o igual a 55°, 45°, 35°, 25°, 20°, 15°, 10° o 5°.

45 En términos generales, para números de Reynolds más altos, el ángulo de hélice puede ser menor, mientras que se consigue un flujo vorticial satisfactorio, mientras que con números de Reynolds más bajos, se requerirá un ángulo de hélice mayor para producir un remolino satisfactorio. En el caso de una hélice de baja amplitud, el uso de ángulos de hélice superiores para flujos más rápidos (con números de Reynolds más altos) será generalmente indeseable, ya que puede haber huecos en la pared cercana de fluido estancado. Por lo tanto, para un número de Reynolds determinado (o un intervalo de números de Reynolds), el ángulo de hélice se elegirá preferiblemente de manera que sea lo más bajo posible para producir un remolino satisfactorio. En ciertas realizaciones, el ángulo de hélice es menor de 20°.

En la Figura 3 se muestra una longitud de tubería que tiene una geometría helicoidal de baja amplitud. Esta tubería 100 tiene una sección transversal circular, un diámetro D_E externo, un diámetro D_I interno y un espesor T de pared. La tubería está enrollada en una hélice de amplitud A constante (medida desde la media al extremo), un paso P constante, un ángulo θ de hélice constante y un ancho W de barrido. La tubería 1 está contenida en una envoltura 120 imaginaria que se extiende longitudinalmente y que tiene una anchura igual a la anchura W de barrido de la hélice. Puede considerarse que la envoltura 120 tiene un eje 130 longitudinal central, al cual puede hacerse referencia también como un eje de rotación helicoidal. La tubería 1 ilustrada tiene un eje 130 recto, pero se apreciará que el eje central puede estar curvado o, de hecho, puede adoptar cualquier forma dependiendo de los requisitos. La tubería tiene una línea 140 central que sigue una trayectoria helicoidal alrededor del eje longitudinal 130 central.

Se observará que la amplitud A es menor que la mitad del diámetro D_I interno de la tubería. Manteniendo la amplitud por debajo de este tamaño, el espacio lateral ocupado por la tubería y la longitud total de la tubería pueden mantenerse relativamente pequeños, mientras que al mismo tiempo la configuración helicoidal de la tubería promueve un flujo vorticial del fluido a lo largo de la tubería. Esto proporciona también un lumen relativamente ancho a lo largo de la tubería, que permite que instrumentos, aparatos y similares sean pasados a través de la tubería.

La Figura 4 muestra un banco de tubos de pirólisis, todos ellos formados como tubos helicoidales de baja amplitud. Se apreciará que, en la práctica, los tubos de pirólisis estarán formados como un banco de esta manera, para permitir un mayor rendimiento con tiempos de residencia bajos mientras que todavía permiten suficiente transferencia de calor a la materia prima para permitir que tenga lugar la pirólisis.

Los tubos de pirólisis mostrados en la Figura 4 son del tipo con forma de "U". Cada tubo tiene una parte 40 de entrada, una parte 42 de salida y una parte 44 curvada en forma de "U", curvada en dos dimensiones. La parte 40 de entrada tiene una sección corta de tubo 46 recto, seguida por una sección 48 curvada en forma de "U", también curvada en dos dimensiones. Ésta pasa a una parte 50 curvada tridimensionalmente que está conectada en su extremo aguas abajo a la parte 44 curvada en forma de "U". Una segunda parte 50 curvada tridimensionalmente transporta el flujo a la parte 42 de salida, que tiene una sección 52 curvada en forma de "U" y, a continuación, una sección corta de tubo 54 recto. Los dos secciones 48, 52 curvadas dimensionalmente en forma de "U" y la parte 44 curvada con forma de "U" están curvadas en dos dimensiones para conveniencia de la fabricación y la instalación y esto no es esencial.

En la Figura 1, el tubo de pirólisis entra en el horno en la parte inferior, y sale en la parte superior. Las Figuras 5a y 5b son vistas esquemáticas de disposiciones alternativas de los tubos 30 de pirólisis. En cada caso, las líneas 140 centrales (tal como se describen en relación a la Figura 3) son helicoidales. En la Figura 5a, el tubo de pirólisis entra hacia la parte superior del horno, se extiende hacia abajo a la parte inferior, se curva alrededor, se extiende a la parte superior del horno y sale. De esta manera, el tubo tiene una forma general de "U". En este caso, el eje 130 de rotación helicoidal descrito en relación a la Figura 3 tendría forma de "U".

En la Figura 5b, en lugar de salir inmediatamente en la parte superior del horno, el tubo 30 forma otro bucle arriba-abajo, y sale en la parte superior del horno. De esta manera, el tubo tiene una forma general de "W". En este caso, el eje 130 de rotación helicoidal descrito en relación a la Figura 3 tendría forma de "W". Por supuesto, la disposición particular del tubo dependerá de los requisitos específicos, y se apreciará que pueden usarse otras formas de tubo de pirólisis, y otros puntos de entrada y de salida del horno, dependiendo de los requisitos particulares.

El uso de la geometría helicoidal de baja amplitud no se limita a los tubos de pirólisis en hornos de craqueo. También pueden usarse tuberías con geometría helicoidal de baja amplitud (que pueden tener características variables a lo largo de su longitud) en un gran número de procesos que implican el movimiento o transporte de fluido a través de tuberías, el mezclado de fluidos en el interior de las tuberías, la transferencia de calor y masa hacia o desde el fluido en el interior de las tuberías, procesos en los que se produce deposición o contaminación en el interior de tuberías y procesos en los que se producen reacciones químicas en el interior de las tuberías. Este uso es aplicable tanto a gases como a líquidos, como una única fase, o a una mezcla de gases, líquidos o sólidos en cualquier combinación, como una mezcla de múltiples fases. El uso de dicha tubería puede tener un impacto económico considerable.

Como un ejemplo, el flujo vorticial puede proporcionar una reducción del remolino y una menor caída de presión asociada que, bajo condiciones apropiadas, permitirán menores costes de bombeo.

Esto puede ser importante en la distribución de hidrocarburos a través de tuberías, incluyendo el proceso de producción de petróleo crudo y gas. Por ejemplo, los tubos ascendentes y las líneas de flujo de producción de petróleo para su uso en tierra o en alta mar pueden incluir al menos una parte que tiene una geometría helicoidal de

baja amplitud. La geometría helicoidal de baja amplitud mejora la dinámica de flujo en el tubo ascendente o línea de flujo, en el sentido de que reduce el remolino del flujo a través de la línea de flujo o del tubo ascendente y, de esta manera, reduce la pérdida de presión.

5 La línea de flujo o el tubo ascendente pueden ser sustancialmente verticales, sustancialmente horizontales, o pueden tener una geometría curvada, incluyendo una forma de S o una forma de catenaria. La línea de flujo o el tubo ascendente pueden ser rígidos o flexibles, o cualquier combinación de los dos. La línea de flujo o el tubo ascendente pueden construirse a partir de cualquier combinación de materiales, y pueden incluir anillos de refuerzo.

10 De manera similar, la tubería de producción para su uso en perforación en un pozo de petróleo, gas, agua o pozos geotérmicos puede usar una geometría helicoidal de baja amplitud. Al menos una parte de un pozo contendrá una tubería de producción con una geometría helicoidal de baja amplitud. Los beneficios incluirán una reducción del remolino del flujo, y una menor pérdida de presión.

15 Además, las conducciones para el transporte de hidrocarburos pueden usar una geometría helicoidal de baja amplitud, y disfrutarán de los beneficios de una menor turbulencia del flujo y menor pérdida de presión. Por supuesto, las conducciones para el transporte de otros fluidos, tales como agua potable, aguas residuales y alcantarillado, suspensiones, polvos, productos alimenticios o bebidas, o de hecho cualquier fluido de una única fase o multifásico, pueden tener también una geometría helicoidal de baja amplitud y pueden disfrutar de los mismos beneficios.

20 Otra área donde la menor caída de presión es particularmente beneficiosa es en el contexto de compuertas y tubos de aspiración para aplicaciones de energía hidroeléctrica. La menor pérdida de presión conducirá a una mayor salida de generación de energía, e incluso una pequeña reducción en la caída de presión puede conducir a un aumento muy grande en la salida de potencia durante la vida de la planta.

25 Una menor caída de presión es también importante en la distribución de vapor alrededor de centrales eléctricas y otras plantas industriales. También es importante para el funcionamiento de las reacciones químicas donde la presión debe mantenerse en el nivel más bajo posible para mejorar el rendimiento, incluyendo los procesos llevados a cabo bajo vacío, tales como la producción de olefinas mediante pirólisis (tal como se describe más detalladamente más arriba) y la producción de estireno a partir de etilbenceno.

30 El mezclado en el interior de las tuberías es importante en muchas industrias, incluyendo la industria química, alimenticia, farmacéutica, de agua y aceite. Frecuentemente, es importante que una pequeña cantidad de agente químico activo sea distribuida de manera uniforme en una gran masa de otro material. En algunos casos, esto se conoce como dosificación. Los ejemplos serían la adición de antioxidante a una diversidad de materiales y alimentos, y la adición de cloro o álcali a agua potable. La hélice de baja amplitud, debido a que ofrece intrínsecamente un buen mezclado, puede reducir la cantidad de producto químico activo necesaria para asegurar una concentración suficiente para conseguir el propósito deseado, y puede garantizar la ausencia local de concentraciones inaceptablemente altas (o bajas) de aditivos.

35 El mezclado es también importante cuando se requiere unir dos o más grandes flujos de fluidos y asegurar que no permanezcan separados. El mezclado es además importante cuando es beneficioso retener el fluido como una fase mixta estable (para prevenir una separación de fases no deseada). Esto es importante en la producción de petróleo crudo y gas, donde la separación de gas crea un flujo intermitente que reduce la capacidad de las conducciones y aumenta el coste de la operación. De hecho, un beneficio principal adicional del uso de una geometría helicoidal de baja amplitud en los tubos ascendentes y las líneas de flujo para la producción de petróleo, tuberías de producción para su uso en perforación, y tuberías para el transporte de hidrocarburos y otros fluidos es la reducción del flujo de intermitente. El mezclado de fases mejorado es también considerable en las tuberías, ya que tiende a mantener el gas o el aire en el fluido, en lugar de recogerlo en los puntos altos de la tubería y, posiblemente, causando burbujas de aire.

45 El mezclado es también importante en el transporte de sólidos por un líquido, como en el transporte de aguas residuales o el transporte de minerales por medio de tuberías en procesos de extracción de minerales, para prevenir que los sólidos sedimenten. Esta reducción de la sedimentación (y precipitación de minerales y/o hidrocarburos) es también considerable para los tubos ascendentes y las líneas de flujo de producción de petróleo, y la tubería de producción para su uso en perforación. La reducción de la sedimentación es también importante en aplicaciones de energía hidroeléctrica. Además, en los tubos ascendentes y las líneas de flujo de producción de petróleo, y la tubería de producción para su uso en perforación, el mezclado mejorado reduce el riesgo de fugas de agua.

55 A modo de ejemplo, los mezcladores estáticos para dosificación química y procesamiento alimentario, químico, petroquímico y farmacéutico, pueden usar la geometría helicoidal de baja amplitud. Los beneficios incluirán un mayor mezclado y un menor bloqueo por sedimentos o precipitados. Además, tal como se ha descrito

anteriormente, la geometría helicoidal de baja amplitud proporcionará también una menor pérdida de presión en la mezcladora. Además, debido a que hay un lumen de "línea de visión" a lo largo de la parte helicoidal de baja amplitud, y no hay deflectores o paletas como los que se encuentran normalmente en los mezcladores convencionales, hay una mayor facilidad de limpieza. Estos beneficios resultarán en un menor mantenimiento y desgaste.

Además, el mezclado mejorado (en particular, mezclado térmico) y la menor pérdida de presión que pueden conseguirse usando la geometría helicoidal de baja amplitud son particularmente beneficiosos en intercambiadores de calor en centrales eléctricas, intercambiadores de calor para refrigeración, intercambiadores de calor para separación de aire y similares.

La tubería helicoidal de baja amplitud puede ser usada también para asegurar un mezclado completo de los componentes antes de la reacción. Esto asegurará que la reacción tiene lugar de manera más completa y que los materiales son utilizados eficientemente. Típicamente esto implicaría mezclar reactivos gaseosos o líquidos antes de pasarlos por un catalizador. Sin embargo, se prevé específicamente que podría ser usada para mezclar combustible y aire antes de pasarlos a un motor de combustión interna. Esto mejoraría la eficiencia del proceso de combustión interna y reduciría la cantidad de combustible no quemado o parcialmente quemado y sólidos finos que pasan a la atmósfera. Esta última mejora reducirá también la demanda y mejoraría, de esta manera, el rendimiento del convertidor catalítico aguas abajo de los motores de combustión interna usados en el transporte por carretera.

Debido a que la tubería helicoidal de baja amplitud asegura un flujo helicoidal (remolino) en el interior de las tuberías y genera un perfil de velocidad más romo, pueden mejorarse la velocidad y la uniformidad de la transferencia de calor hacia y desde el fluido el interior de la tubería. En un flujo normal, el fluido en el centro de la tubería se mueve de manera considerablemente más rápida que el fluido cerca de las paredes de la tubería y, de esta manera, si la tubería es calentada, el fluido cerca de las paredes se calentará en mayor grado que el fluido cerca del centro de la tubería.

Sin embargo, debido a que el flujo vorticial tiene un perfil de velocidad más romo (y, de esta manera, más uniforme), es menos probable que partes del fluido sean sobre- o infra- calentados, causando efectos no deseados. La tubería helicoidal de baja amplitud permite la transferencia del mismo calor con una menor diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la tubería.

Esto puede ser particularmente beneficioso cuando un componente es añadido a un fluido y es tratado de alguna manera (tal como mediante calentamiento). Con un mezclado pobre, la parte de la mezcla que se está desplazando rápidamente estará infra-tratada, y la parte de la mezcla que se está desplazando lentamente estará sobre-tratada; sin embargo, con el muy buen mezclado proporcionado por la geometría helicoidal de baja amplitud, esto puede evitarse, y puede conseguirse un tratamiento más uniforme.

Esto puede suponer un beneficio económico serio en hornos tales como hornos de craqueo de olefinas, hornos de precalentamiento hornos para craqueadores térmicos en refinerías o transformadores mediante disminución de viscosidad, intercambiadores de línea de transferencia en plantas de olefinas, intercambiadores de calor en centrales eléctricas, intercambiadores de calor para unidades de refrigeración industrial, intercambiadores de calor para unidades de separación de aire y unidades de refrigeración generalmente.

El perfil de velocidad romo es también beneficioso en las aplicaciones de energía hidroeléctrica. Las turbinas tienden a funcionar mejor cuando el perfil de velocidad es más romo y así el uso de las partes helicoidales de baja amplitud en aplicaciones de energía hidroeléctrica puede mejorar la eficacia de esta manera. Las ventajas adicionales del flujo vorticial en el contexto de aplicaciones de energía hidroeléctrica incluyen una menor cavitación y menores tensiones en la tubería.

Además, el aspecto "punzón" del flujo vorticial generado por la tubería helicoidal de baja amplitud puede proporcionar importantes beneficios económicos a aquellos procesos que tienen lugar en tuberías en las que la deposición de agregados finos u otras partículas sólidas en la pared interior de la tubería crea una barrera contra la transferencia de calor, o contamina el fluido que fluye a través de la misma o reduce el flujo de fluido a través de la tubería. Dichos agregados finos u otras partículas sólidas pueden estar presentes en el fluido, o pueden ser creados por una reacción química entre los componentes del fluido.

Se espera que el uso de tuberías helicoidales de baja amplitud reduzca significativamente dicha deposición de sólidos sobre las paredes internas de la tubería, extendiendo de esta manera su vida útil antes de la limpieza, reduciendo la cantidad de calor necesaria y reduciendo la caída de presión en comparación con la tubería defectuosa. Los ejemplos de aplicaciones en las que este efecto podría ser económicamente significativo son el transporte de sólidos en conductos de líquidos y también la producción de olefinas mediante pirólisis, tal como se ha descrito más detalladamente anteriormente. Se produce un efecto similar en otros hornos, tales como los hornos de precalentamiento para procesos de refinería.

Además, el perfil de velocidad como y el aspecto "punzón" es extremadamente útil en el contexto del procesamiento por lotes, que es común en el procesamiento farmacéutico y alimentario. Debido al perfil de velocidad como, la dispersión axial de los lotes puede ser reducida y la concentración pico puede ser conseguida mucho antes que para las disposiciones convencionales. Estas características son particularmente beneficiosas si los tamaños de lote son pequeños. Además, el "flujo de punzón" ayuda a eliminar los restos de un primer componente de las paredes de la tubería después de cambiar a un segundo componente, lo que ayuda a reducir la probabilidad de contaminación en el procesamiento por lotes. El tiempo requerido para lavar el sistema puede ser al menos reducido junto con la cantidad de fluido necesaria para realizar el lavado.

El uso de una tubería helicoidal de baja amplitud puede tener también una importancia económica material en las aplicaciones en las que se producen reacciones químicas en tuberías o tubos. La combinación de un mezclado mejorado y una transferencia de calor más uniforme mejorará los rendimientos y promoverá la terminación de las reacciones (incluyendo la combustión). La mejora de los rendimientos reducirá también los costes de separación aguas abajo. Los procesos ejemplares donde esto sería importante incluyen la producción de olefinas y reacciones en fase gaseosa similares, tales como el craqueo de tolueno para formar benceno, y la conversión de buteno-1 a butadieno. Cuando dichas reacciones implican la producción de más de una molécula de producto para cada molécula de materia prima, la menor caída de presión en el reactor y su tubería aguas abajo, que puede conseguirse mediante el uso de tuberías helicoidales de baja amplitud, proporciona un beneficio adicional debido a la menor presión media, ya que reducirá la posibilidad de que las moléculas de producto se recombinen para formar la materia prima u otros subproductos no deseados. Además, el uso de la geometría helicoidal de baja amplitud en reactores para aplicaciones químicas, petroquímicas y farmacéuticas, puede conducir a una menor deposición en los tubos del reactor, lo cual es de particular importancia en la industria petroquímica.

El mezclado mejorado y la transferencia de calor más uniforme fomentarán también la terminación de las reacciones de combustión sin una gran cantidad de aire en exceso (con relación a la requerida por la estequiometría de las reacciones). Esto es particularmente importante para los incineradores u hornos de eliminación de residuos, en los que es necesario asegurar una reacción completa para prevenir que los productos químicos y/o partículas nocivas para el medio ambiente y la salud humana escapen a la atmósfera. Esto podría prevenirse y podría asegurarse la combustión completa haciendo pasar los gases de combustión, mientras están todavía calientes, a través de una sección de tubería formada como una hélice de baja amplitud antes de pasarlos a la atmósfera. La generación de flujo vorticial a través del horno aumentará la velocidad y la eficiencia de la combustión, y la eliminación de residuos.

Cuando se usa con flujos que incluyen dos o más fases diferentes, la parte helicoidal de baja amplitud puede ser usada, además, para separar "en serie" una mezcla de fluidos que tienen diferentes densidades. El remolino creado por el flujo helicoidal tiende a desplazar los componentes de mayor densidad de la mezcla hacia las paredes de los tubos y los componentes de menor densidad hacia la línea central, como resultado del efecto centrífugo. Por medio de disposiciones adecuadas, los componentes de mayor (o menor) densidad pueden ser extraídos, dejando el componente restante presente en una mayor concentración. El proceso puede ser repetido usando separadores estáticos en serie adicionales. Esta separación puede ser usada para eliminar gases de los líquidos y, por lo tanto, puede ser usada para ayudar a reducir un flujo intermitente en la industria petroquímica en particular.

Un enfoque similar a este puede ser usado para aumentar o disminuir la concentración de partículas en un fluido fluyente. Esto se conseguirá extrayendo fluido desde la vecindad de la línea central del tubo o desde una parte cercana a las paredes del tubo.

Además, el flujo vorticial causado por la parte helicoidal de baja amplitud puede ser usado para eliminar la materia particulada de un flujo. Esto es de particular importancia, por ejemplo, en tomas de aire. Las tomas de aire se usan en un gran número de situaciones en las que se requiere aire y, en particular, en vehículos en los que se requiere aire para la combustión y/o la refrigeración. Las tomas de aire en los helicópteros, en particular, normalmente necesitan separadores de polvo, para prevenir que el polvo llegue al motor, pero el flujo vorticial generado por la geometría helicoidal de baja amplitud puede ser usado para separar el polvo del flujo de aire sin la necesidad de filtros separados.

Además, se ha encontrado que el flujo vorticial causado por una parte helicoidal de baja amplitud continúa durante cierta distancia en una tubería recta aguas abajo de la sección. De esta manera, una sección de la tubería helicoidal de baja amplitud puede ser insertada aguas arriba de estructuras tales como curvas, bifurcaciones con forma de T o Y, colectores y/o cambios de sección transversal del conducto, donde el flujo vorticial generado por la parte helicoidal de baja amplitud suprimiría la separación del flujo, el estancamiento y la inestabilidad del flujo, con beneficio para los costos de bombeo y la corrosión y el desgaste en las tuberías. Los beneficios particulares del flujo vorticial en la curva, unión o elemento similar serán una menor separación del flujo, lo que conduce a una menor pérdida de presión, menor sedimentación y precipitación, menor cavitación y mayor estabilidad del flujo. Las tuberías de geometría helicoidal de baja amplitud posicionadas antes de las curvas reducirán también la erosión de

las partículas en el interior de curvas en las tuberías, lo que puede ser particularmente beneficioso con relación a la alimentación de combustible a las centrales eléctricas.

De esta manera, será evidente para una persona con conocimientos en la materia que las tuberías con una geometría helicoidal de baja amplitud pueden proporcionar muchas ventajas en un gran número de situaciones.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un horno (10) de craqueo con al menos un tubo (30) de pirólisis que pasa a través del horno, en el que el tubo (30) de pirólisis está formado de manera que tiene al menos una parte cuya línea central se curva en tres dimensiones de manera que sea helicoidal, en el que la amplitud de la línea central helicoidal es menor o igual que la mitad del diámetro interno de la parte de tubo, para proporcionar una línea de visión a lo largo del lumen de la parte de tubo, en el que la curvatura de la línea central varía a lo largo de la longitud de la parte de tubo (30) de pirólisis.
- 10 2. Horno (10) de craqueo según la reivindicación 1, que tiene una parte con una curvatura helicoidal que proporciona ciertas condiciones de flujo donde el tubo entra en el horno (10), y una parte con una curvatura helicoidal que proporciona diferentes condiciones de flujo donde el tubo sale del horno (10).
3. Horno (10) de craqueo según la reivindicación 1 o 2, en el que la superficie interior del tubo (30) de pirólisis es sustancialmente lisa, sin características superficiales, tales como estrías.
4. Horno (10) de craqueo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el área de sección transversal de la parte (30) de tubo varía a lo largo de su longitud.
- 15 5. Horno (10) de craqueo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que solo parte del tubo de pirólisis tiene una línea central curvada.
6. Horno (10) de craqueo según la reivindicación 5, en el que el tubo (30) de pirólisis tiene forma de "U" con una pata recta y una pata con una línea central que se curva en tres dimensiones, en el que las dos patas están unidas por una curva 2D.

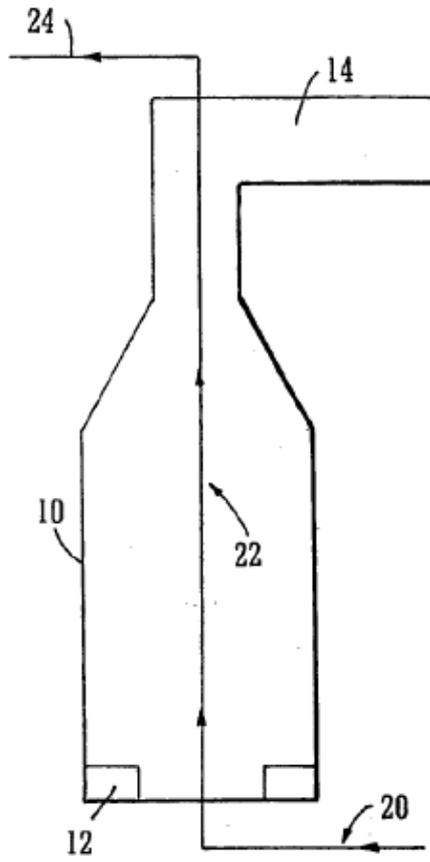


FIG. 1

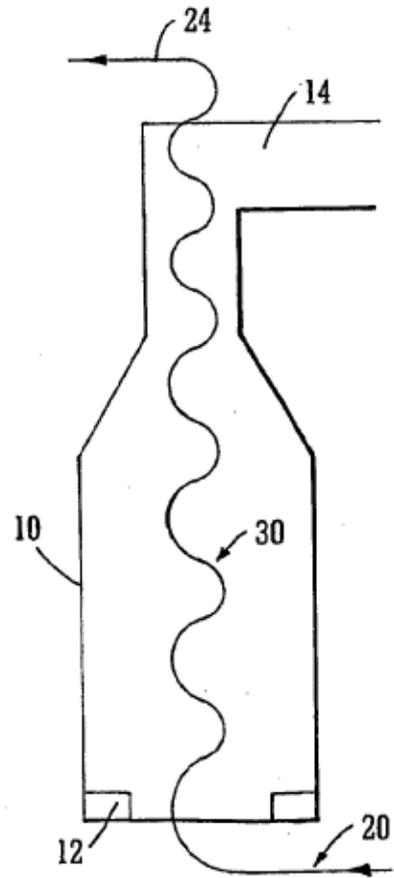


FIG. 2

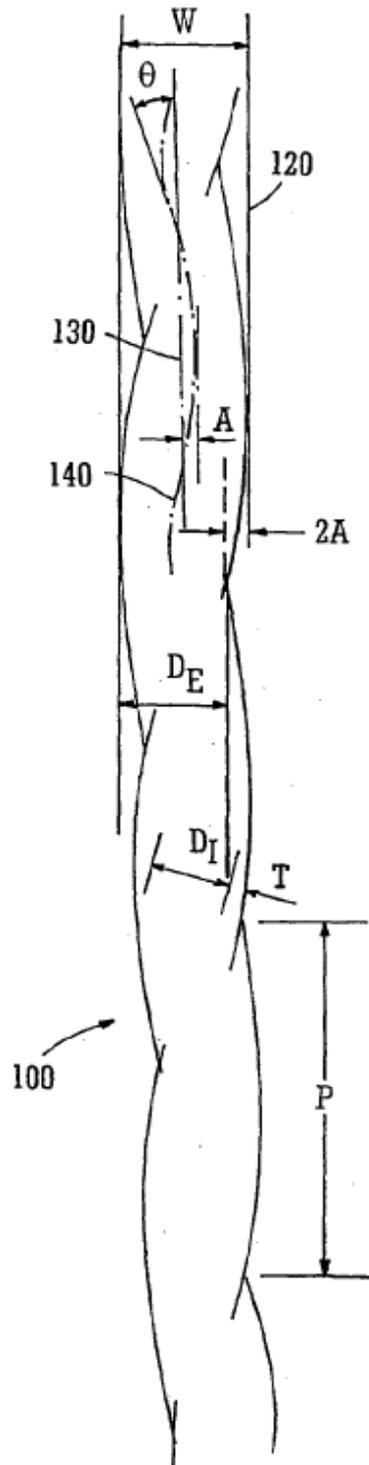


FIG. 3

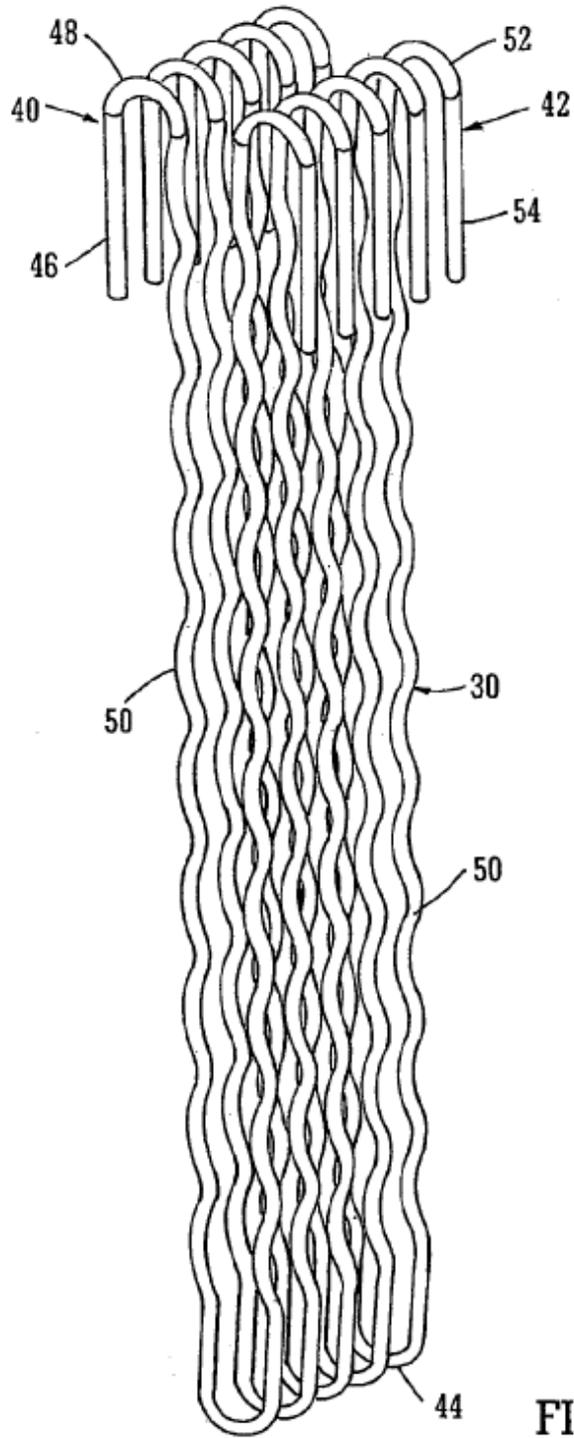


FIG. 4

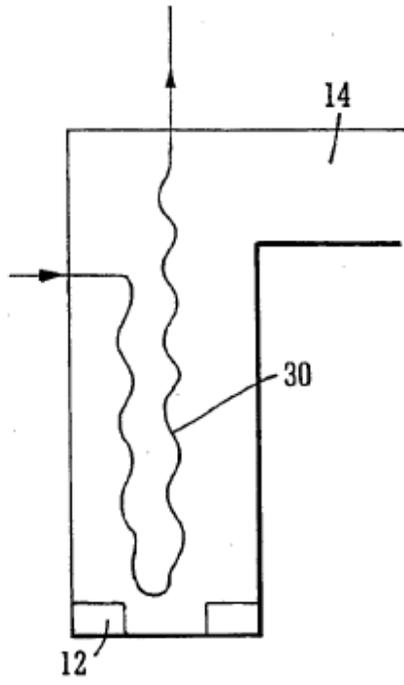


FIG. 5A

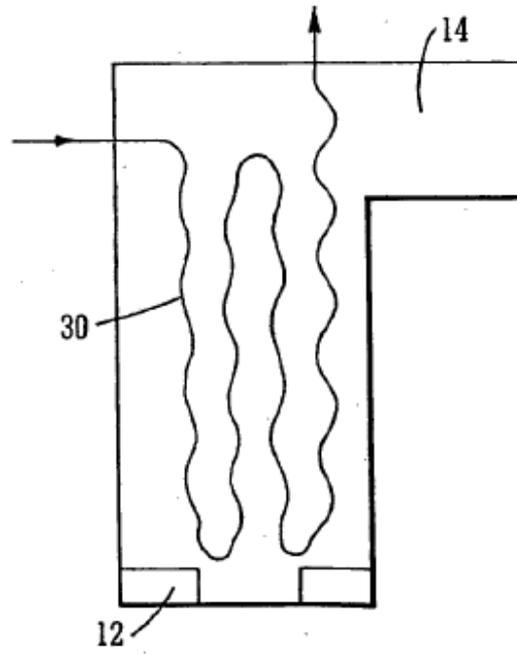


FIG. 5B