

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 654 180**

51 Int. Cl.:

B01J 8/18 (2006.01)

B01J 8/22 (2006.01)

B01F 3/04 (2006.01)

B01F 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.06.2015 PCT/FI2015/050475**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.01.2016 WO16001486**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.06.2015 E 15747498 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.10.2017 EP 3160625**

54 Título: **Un reactor para mezclar material líquido, gas y sólido**

30 Prioridad:

30.06.2014 FI 20145632

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

12.02.2018

73 Titular/es:

**OUTOTEC (FINLAND) OY (100.0%)
Rauhalanpuisto 9
02230 Espoo, FI**

72 Inventor/es:

**XIA, JILIANG;
LATVA-KOKKO, MARKO y
RITASALO, TEEMU**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 654 180 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

Un reactor para mezclar material líquido, gas y sólido

Campo de la Invención

La presente invención se refiere a un reactor para mezclar material líquido, gaseoso y sólido.

5 Antecedentes de la invención

Los reactores para mezclar material líquido, gaseoso y sólido pueden ser usados en procedimiento de lixiviación directa y en procedimientos industriales para el tratamiento y la conversión de productos químicos y minerales y en el tratamiento de agua residual.

10 La lixiviación de materia sólida a partir de lodo puede ser realizada en lixiviación directa, con un procedimiento atmosférico para concentrados metálicos, por ejemplo, concentrados de zinc sulfídico. El procedimiento de lixiviación directa basado en el uso de reactores de lixiviación especiales es una de las maneras más económicas para producir, por ejemplo, zinc electrolítico.

15 La publicación WO 01/12307 describe un reactor agitado en su parte inferior. El reactor comprende un tanque de reactor cilíndrico, que se extiende verticalmente. El fondo del tanque de reactor está cerrado y el extremo superior del tanque de reactor está abierto. La altura del tanque de reactor es varias veces el diámetro del tanque de reactor. Una tubería central concéntrica está posicionada en el interior del tanque de reactor. La tubería central tiene una parte cónica que se contrae hacia abajo en el extremo superior de la tubería, y una parte cónica que se expande hacia abajo, en el extremo inferior. El extremo inferior de la tubería central está posicionado a una distancia del fondo del tanque de reactor. Un impulsor de doble acción está en el situado extremo inferior de la tubería central, sobre el fondo del tanque de reactor, lo que significa que el eje del impulsor pasa a través de una abertura en el fondo cerrado del tanque de reactor. De esta manera, el eje está sellado en dicha abertura. El impulsor está formado por dos partes que tienen una placa horizontal entre las mismas. Hay unas palas curvas fijadas sobre la placa horizontal, las cuales succionan el lodo hacia abajo en la tubería central. Las palas fijadas debajo de la placa horizontal forman un impulsor de turbina de palas rectas. Se suministra un gas con una tubería a través del fondo del tanque de reactor a una posición debajo del impulsor, de manera que la parte inferior del impulsor dispersa el gas en burbujas muy pequeñas, ayudando de esta manera a la disolución del gas en el lodo. Las palas curvas del impulsor forman un flujo que succiona el lodo desde la tubería central hacia abajo, hacia el fondo del tanque de reactor. La dirección del flujo se hace girar 180 grados en el fondo del tanque de reactor, después de lo cual el flujo fluye hacia arriba en el espacio entre el tanque de reactor y la tubería central, hacia el extremo superior del tanque de reactor. La distancia de la tubería central desde el fondo del reactor está comprendida en el intervalo de 0,2 a 1,0 veces el diámetro del reactor, preferiblemente, en el intervalo de 0,3 a 0,5. La relación del área de superficie entre la tubería central y la carcasa del reactor que lo rodea es menor de 0,1. Esto significa que la relación entre el diámetro de la tubería central y el diámetro del tanque de reactor es de 0,32. Este reactor agitado en su parte inferior proporciona una elevada capacidad de dispersión de gas. Una parte de la energía suministrada al impulsor es consumida en la acción de dispersión alrededor del impulsor.

20 La patente US 4.648.973 describe un reactor agitado en su parte superior. El reactor comprende, en la realización mostrada en la Figura 4, un tubo vertical central rodeado por un tanque de reactor vertical exterior. Hay un impulsor en el extremo superior del tubo central. Hay deflectores adicionales en el borde interior del tubo central, sobre el impulsor, con el fin de prevenir un vórtice perjudicial y una rejilla de enderezamiento de flujo debajo del impulsor. El tubo central tiene el mismo diámetro a lo largo de toda la altura del tubo central. El tubo exterior comprende un ensanchamiento en el extremo superior del tanque de reactor y hay provisto un manguito de ensanchamiento separado en el extremo superior del tubo central. De esta manera, el área de sección transversal de la trayectoria del flujo se expande en la parte de ensanchamiento, lo que significa que la velocidad del lodo ascendente se ralentiza en esta parte de ensanchamiento. Esto estabilizará el nivel de lodo en el tanque de reactor. La Figura 6 muestra una realización en la que el tubo central y el tanque de reactor comprenden un ensanchamiento en el extremo superior del reactor. De esta manera, la eficacia del impulsor puede incrementarse incrementando su diámetro. Se introduce oxígeno o un gas que contiene oxígeno en el flujo de lodo en el tubo central debajo del impulsor, a través de tuberías de suministro de oxígeno. Inmediatamente debajo de la tubería de suministro de oxígeno, hay un tubo Venturi que comprime el flujo. Hay varios pares de tuberías de suministro de oxígeno y tubos Venturi posicionados a una distancia vertical unos de otros, a lo largo de la altura del tubo central, debajo del impulsor. La altura del reactor es un múltiplo de su diámetro. La relación entre el diámetro del tubo central y el diámetro del tanque de reactor está comprendida en el intervalo de 0,4 a 0,85. Este reactor agitado en su parte superior proporciona una capacidad de dispersión de gas moderada y un consumo de energía relativamente bajo. Una parte importante de la energía suministrada al reactor se aplica en la recirculación de lodo.

55 Los reactores para mezclar material fluido, gaseoso y sólido, provistos de un tubo de aspiración en la mitad del

tanque de reactor pueden dividirse, según la posición del impulsor, en reactores agitados en su parte superior y reactores agitados en su parte inferior. La patente US 4.648.973, mencionada anteriormente, es un ejemplo de un reactor agitado en su parte superior y la publicación WO 01/12307, mencionada anteriormente, es un ejemplo de un reactor agitado en su parte inferior. Un reactor agitado en su parte inferior proporciona una mayor dispersión de gas en comparación con un reactor agitado en su parte superior. Esto es debido al hecho de que, en un aparato con parte inferior agitada, aproximadamente la mitad del caudal másico bombeado está recirculando alrededor del impulsor, mientras que, en un reactor agitado en su parte superior, una parte principal del flujo de masa bombeada está recirculando a través del tubo de aspiración. Un reactor agitado en su parte inferior tiene un alto consumo de energía y una baja eficacia de bombeo en comparación con un reactor agitado en su parte superior. Por lo tanto, un reactor agitado en su parte inferior es adecuado para una situación en la que hay un alto caudal de gas, es decir, debe mezclarse una gran cantidad de gas en el fluido. Por otra parte, un reactor agitado en su parte superior es adecuado para una situación en la que el caudal de gas es moderado, es decir, debe mezclarse una cantidad de gas moderada en el fluido.

La publicación WO 02/07866 describe un aparato de mezclado y un procedimiento para mezclar un gas en un reactor cerrado. El reactor tiene una alta eficacia y usa un gas como producto químico de procedimiento en una solución que tiene un gran contenido de sólidos pulverulentos. El objetivo es obtener un flujo en el reactor que aspire el gas desde la superficie superior del líquido usando dispositivos de mezclado giratorios en el centro del reactor, y mezclar dicho gas a lo largo de la capacidad del reactor. El aparato de mezclado comprende al menos dos impulsores situados a diferentes alturas y en el mismo eje. El impulsor superior está equipado con una placa central fijada al eje, con palas interiores esencialmente verticales que se elevan hacia arriba y hacia abajo y paletas exteriores dirigidas hacia el exterior desde la placa central, que están inclinadas con respecto a la horizontal. El impulsor inferior está equipado con una placa central fijada al eje, con palas verticales situadas en el borde exterior. Esto pertenece a una categoría de reactores en los que no hay, en absoluto, ningún tubo de aspiración en el tanque de reactor. De esta manera, no hay circulación del lodo entre el tubo de aspiración, situado en el interior del tanque de reactor, y el tanque de reactor. Además, en este tipo de reactor, la relación entre la altura del tanque de reactor y el diámetro del tanque de reactor es menor, es decir, está comprendida en el intervalo de 1,0 y 1,5.

La publicación WO 2013/124539 describe una pala de un impulsor de flujo axial y un impulsor de flujo axial. La pala tiene un borde de ataque, un borde de salida, una punta y un piñón acoplable a un cubo central del impulsor. La sección transversal de la pala está formada por un cubo circular y un rectángulo envolvente. El rectángulo tiene una anchura y una longitud. Un primer lado corto del rectángulo pasa a lo largo del diámetro del cubo circular y se extiende en una primera distancia igual, más allá del diámetro del cubo en ambos lados del cubo circular. Hay unos recortes en cada esquina del rectángulo. La pala comienza como un cono divergente desde los extremos del diámetro del cubo y se expande simétricamente a los lados más largos del rectángulo. Los recortes en las esquinas exteriores del rectángulo no son simétricos. Estos comienzan como líneas rectas inclinadas desde los lados más largos del rectángulo y terminan a través de una línea curva en la punta de la pala, es decir, el segundo lado corto del rectángulo. La pala comprende además dos curvaturas, que dividen la pala en una parte de borde de ataque, una parte central y una parte de borde de salida. La parte de borde de ataque forma un primer ángulo hacia abajo con relación a la parte central, y la parte de borde de salida forma un segundo ángulo hacia abajo con relación a la parte central. La parte central forma un tercer ángulo con relación a la placa horizontal. Las tres partes son secciones planas.

Breve descripción de la invención

Un objetivo de la presente invención es conseguir un reactor mejorado para mezclar materia líquida, gaseosa y sólida.

El objetivo de la invención se consigue con un reactor para mezclar materia líquida, gaseosa y sólida según la reivindicación 1.

El reactor comprende:

un tanque de reactor cilíndrico, que se extiende verticalmente, que tiene un extremo superior y un fondo cerrado, en el que dicho tanque de reactor tiene además un diámetro, y una altura que es varias veces el diámetro;

un tubo de aspiración que se extiende de manera vertical y concéntrica en el interior del tanque de reactor, y está soportado en el tanque de reactor, en el que dicho tubo de aspiración tiene una altura, un extremo superior abierto que forma una abertura de entrada, y un extremo inferior abierto que forma una abertura de salida, en el que el extremo superior está posicionado a una altura formando un espacio libre superior, debajo del nivel de superficie libre del lodo en el tanque de reactor y en el que el extremo inferior está posicionado a una altura formando un espacio libre inferior sobre el fondo del tanque de reactor;

un impulsor conectado a un eje vertical posicionado en el interior del tubo de aspiración;
una disposición de deflectores posicionados en el interior del tubo de aspiración, debajo el impulsor, y
un dispositivo de suministro de gas posicionado en el interior del tubo de aspiración, de bajo el impulsor.

El reactor está caracterizado por que:

- 5 el tubo de aspiración está formado por una construcción continua que comprende cuatro partes, en el que dichas partes están formadas desde el extremo superior hacia el extremo inferior por:
- una primera parte cónica que se contrae hacia un extremo inferior, en el que dicha primera parte cónica tiene una altura y un ángulo cónico; en el que un extremo superior de la primera parte cónica forma el extremo superior del tubo de aspiración;
- 10 una primera parte cilíndrica, que tiene un diámetro y una altura, en el que un extremo superior de la primera parte cilíndrica coincide con el extremo inferior de la primera parte cónica;
- una segunda parte cónica que se contrae hacia un extremo inferior, en el que dicha segunda parte cónica tiene una altura y un ángulo cónico, en el que un extremo superior de la segunda parte cónica coincide con un extremo inferior de la primera parte cilíndrica, y
- 15 una segunda parte cilíndrica que tiene un diámetro y una altura, en el que un extremo superior de la segunda parte cilíndrica coincide con el extremo inferior de la segunda parte cónica, en el que un extremo inferior de la segunda parte cilíndrica forma el extremo inferior del tubo de aspiración;
- 20 de manera que el impulsor, que es un impulsor de eje axial, está posicionado en un extremo inferior de la primera parte cilíndrica y el eje vertical se extiende concéntricamente hacia arriba a través del extremo superior del tanque de reactor, en el que la disposición de deflectores, que está formada por deflectores que se extienden verticalmente, está posicionada en el interior de la segunda parte cónica.
- El reactor agitado en su parte superior según la invención produce un mezclado homogéneo del lodo con un bajo consumo de energía.
- 25 El tubo de aspiración específico en el reactor agitado en su parte superior según la invención introduce un patrón de flujo favorable para una agitación y un mezclado eficaces.
- El reactor agitado en su parte superior según la invención previene la formación de un lecho sólido en el fondo del reactor durante el funcionamiento.
- 30 El reactor agitado en su parte superior según la invención removerá automáticamente el lecho sólido formado durante el tiempo de parada del reactor, cuando el reactor es puesto en marcha de nuevo. Un reactor se detiene durante el mantenimiento y en casos de emergencia.
- El reactor agitado en su parte superior según la invención usa casi todo el caudal másico que ha sido bombeado por el impulsor de flujo axial para la recirculación a través del tubo de aspiración en el interior del reactor y maximiza la eficacia energética para el mezclado.
- 35 El reactor agitado en su parte superior según la invención es ventajoso en aplicaciones en las que los requisitos de dispersión de gas son moderados.
- 40 El reactor agitado en su parte superior según la invención es también fácil de instalar y de mantener y es inmune a las fugas. El eje del impulsor se extiende hacia arriba a través del extremo superior del tanque de reactor. De esta manera, no hay necesidad de sellar el eje del impulsor en un reactor agitado en su parte superior según la invención. En un reactor agitado en su parte inferior, el eje del impulsor pasa a través de una abertura en el fondo cerrado del tanque de reactor y, por lo tanto, debe estar sellado en dicha abertura. El interior de la primera parte cónica y de la primera parte cilíndrica del tubo de aspiración está vacío por encima del impulsor. Esto significa que el impulsor puede ser levantado con el eje desde el extremo superior del tanque de reactor sin desmantelar ningún equipo, tal como, por ejemplo, los deflectores posicionados sobre el impulsor.
- 45 El reactor agitado en su parte superior según la invención puede ser usado en procedimientos de lixiviación directa y en procedimientos industriales para el tratamiento y la conversión de productos químicos y minerales y en el tratamiento de agua residual. El reactor agitado en su parte superior según la invención es especialmente adecuado para su uso en la lixiviación directa de metales a partir de lodo.

De esta manera, el reactor agitado en su parte superior según la invención puede ser usado para la lixiviación

directa, por ejemplo, de zinc. Dicho procedimiento de lixiviación directa puede comprender, por ejemplo, 4-8 reactores conectados en serie. La necesidad de oxígeno en los reactores, en el extremo aguas arriba de dicho procedimiento de lixiviación, podría ser del orden de, por ejemplo, 5 veces la necesidad de oxígeno en los reactores en el extremo aguas abajo del procedimiento de lixiviación.

- 5 De esta manera, el extremo aguas arriba del procedimiento de lixiviación requiere una agitación intensiva con el fin de dispersar la gran cantidad de oxígeno en el lodo; pero la agitación podría ser más moderada en el extremo aguas abajo del procedimiento de lixiviación. Esto significa que un reactor agitado en su parte inferior de la técnica anterior con un mezclado con un flujo radial y un flujo axial combinados es probablemente más favorable en un extremo aguas arriba del procedimiento de lixiviación. Sin embargo, el reactor agitado en su parte superior según la invención es adecuado para su uso en un extremo aguas abajo del procedimiento de lixiviación. Esto reduciría los costos totales de energía en todo el procedimiento de lixiviación debido a la mejor eficiencia energética de los reactores agitados en su parte superior en el extremo aguas abajo del procedimiento de lixiviación, en comparación con la situación en la que todos los reactores son reactores agitados en su parte inferior, de la técnica anterior.

Breve descripción de los dibujos

- 15 A continuación, la invención se describirá más detalladamente, por medio de realizaciones ejemplares, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 muestra un reactor según la invención.

La Figura 2 muestra una ampliación del tubo de aspiración del reactor en la Figura 1.

La Figura 3 muestra una vista en planta de un impulsor, que puede ser usado en el reactor según la invención.

- 20 La Figura 4 muestra una vista en planta de una pala del impulsor de la Figura 3.

La Figura 5 muestra una vista lateral de una pala del impulsor de la Figura 4.

La Figura 6 muestra una sección transversal de una primera realización de una disposición de deflectores, que puede ser usada en el reactor según la invención.

- 25 La Figura 7 muestra una sección transversal de un deflector a ser usado en una disposición de deflectores según la Figura 6.

La Figura 8 muestra una sección transversal de una segunda realización de una disposición de deflectores, que puede ser usada en el reactor según la invención.

La Figura 9 muestra una sección transversal de una tercera realización de una disposición de deflectores, que puede ser usada en el reactor según la invención.

- 30 La Figura 10 muestra una sección transversal de una primera realización de un dispositivo de suministro de gas, que puede ser usado en el reactor según la invención.

La Figura 11 muestra una sección transversal de una segunda realización de un dispositivo de suministro de gas, que puede ser usado en el reactor según la invención.

- 35 La Figura 12 muestra una sección transversal de una tercera realización de un dispositivo de suministro de gas, que puede ser usado en el reactor según la invención.

La Figura 13 muestra el patrón de flujo del reactor en la Figura 1.

La Figura 14 muestra diagramas de vector de velocidad para el flujo de lodo en un reactor agitado en su parte inferior de la técnica anterior.

- 40 La Figura 15 muestra líneas de la trayectoria de velocidad para el flujo de lodo en un reactor agitado en su parte inferior de la técnica anterior.

La Figura 16 muestra un diagrama de vector de velocidad para el flujo de lodo en un reactor agitado en su parte superior según la invención.

La Figura 17 muestra líneas de la trayectoria de velocidad para el flujo de lodo en un reactor agitado en su parte superior según la invención.

- 45 La Figura 18 muestra fracciones de volumen de la solución en un reactor agitado en su parte superior según la invención.

La Figura 19 muestra fracciones de volumen de pequeñas partículas en un reactor agitado en su parte superior según la invención.

5 La Figura 20 muestra fracciones de volumen de partículas gruesas en un reactor agitado en su parte superior según la invención.

Descripción detallada de las realizaciones de la invención

10 La Figura 1 muestra un reactor según la invención. El reactor 10 comprende un tanque 11 de reactor que tiene la forma de un cilindro dirigido verticalmente. El extremo 12 superior del tanque 11 de reactor está cerrado con un techo 18. El extremo 13 inferior del tanque 11 de reactor está cerrado y, en esta realización, tiene una forma semi-elipsoidal. Sin embargo, el extremo 13 inferior del tanque 11 de reactor podría tener una forma plana o curva. El tanque 11 de reactor tiene un eje Y-Y central vertical. La altura H1 del tanque 11 de reactor es varias veces el diámetro D1 del tanque 11 de reactor. El tanque 11 de reactor comprende una entrada 16 para el lodo a ser tratado y una salida 17 para el lodo tratado. Normalmente, dichos reactores 10 están conectados en serie, de manera que el lodo a ser tratado pase a través de varios reactores 10 y sea tratado en cada reactor 10. La presión en el interior del tanque 11 de reactor puede mantenerse a un valor inferior o mayor que la presión atmosférica presente fuera del tanque 11 de reactor.

15 Un tubo 100 de aspiración dirigido verticalmente está posicionado en el interior del tanque 11 de reactor. El eje Y-Y central vertical del tanque 11 de reactor forma también el eje Y-Y central vertical del tubo 100 de aspiración. De esta manera, el tubo 100 de aspiración está posicionado concéntricamente en el interior del tanque 11 de reactor. 20 El tubo 100 de aspiración está fijado al tanque 11 de reactor con medios 14 de fijación superiores y medios 15 de fijación inferiores. De manera ventajosa, los medios 14, 15 de fijación son medios de soporte radiales que se extienden entre el tubo 100 de aspiración y el tanque 11 de reactor. El tubo 100 de aspiración tiene un extremo 101 superior, que forma una abertura de entrada para el lodo y un extremo 102 inferior que forma una abertura de salida para el lodo. El tubo 100 de aspiración tiene una altura H8 entre el extremo 101 superior y el extremo 102 inferior. El nivel SL1 de la superficie superior del lodo en el tanque 11 de reactor se mantiene por encima del extremo 101 superior del tubo 100 de aspiración. De esta manera, el tubo 100 de aspiración está totalmente sumergido en el lodo, que debe ser tratado en el reactor 10.

25 El tubo 100 de aspiración comprende cuatro partes 110, 120, 130, 140. Las partes 110, 120, 130, 140 son desde el extremo 101 superior hacia el extremo 102 inferior: una primera parte 110 cónica, una primera parte 120 cilíndrica, una segunda parte 130 cónica y una segunda parte 140 cilíndrica. El extremo 111 superior de la primera parte 110 cónica del tubo 100 de aspiración forma el extremo 101 superior del tubo 100 de aspiración. El extremo 142 inferior de la segunda parte 140 cilíndrica del tubo 100 de aspiración forma el extremo 102 inferior del tubo 100 de aspiración. El extremo 102 inferior del tubo 100 de aspiración está situado a una altura H2 sobre la parte 13 inferior del tanque 11 de reactor. Dicha altura H2 forma un espacio libre inferior para el tubo 100 de aspiración. El extremo 30 101 superior del tubo 100 de aspiración está posicionado a una altura H3 debajo del nivel SL1 de la superficie libre del lodo en el interior del tanque 11 de reactor. Dicha altura H3 forma un espacio libre superior para el tubo 100 de aspiración.

35 El reactor 10 comprende además un impulsor 20 posicionado en el interior del tubo 100 de aspiración en el extremo 122 inferior de la segunda parte 120 cónica del tubo 100 de aspiración. El eje 35 del impulsor 20 se extiende verticalmente hacia arriba, fuera del extremo 12 superior del tanque 11 de reactor. El impulsor 20 está formado por un impulsor de eje axial que produce un fuerte flujo en la dirección axial y pocos remolinos en la dirección radial alrededor del impulsor 20.

40 El reactor 10 comprende además un dispositivo 170 de suministro de gas posicionado en el interior del tubo 100 de aspiración. El dispositivo 170 de suministro de gas está posicionado debajo del impulsor 20, en la parte inferior de la primera parte 120 cilíndrica del tubo 100 de aspiración.

45 El reactor 10 comprende además una disposición 180 de deflectores posicionada en el interior del tubo 100 de aspiración. La disposición 180 de deflectores está posicionada en la segunda parte 130 cónica del tubo 100 de aspiración. De esta manera, la disposición 180 de deflectores está situada debajo el impulsor 20.

50 La Figura 2 muestra una ampliación del tubo de aspiración del reactor de la Figura 1. La primera parte 110 cónica del tubo 100 de aspiración contribuye a conseguir un patrón de flujo favorable del lodo al tubo 100 de aspiración. El flujo de lodo en la primera parte 120 cilíndrica fluirá principalmente en la dirección Y-Y axial al impulsor 20. De esta manera, no hay necesidad de instalar medios de guía o deflectores de flujo sobre el impulsor 20. El patrón de flujo favorable del flujo de lodo al tubo 100 de aspiración en el extremo 101 superior del tubo 100 de aspiración es un resultado de la construcción de todo el reactor y, especialmente, de la construcción del tubo 100 de aspiración.

ES 2 654 180 T3

El diámetro D3 de la primera parte 120 cilíndrica del tubo 100 de aspiración es mayor que el diámetro D2 de la segunda parte 140 cilíndrica del tubo 100 de aspiración. Esto hace posible la instalación de un impulsor 20 con un diámetro D4 mayor en el interior de la primera parte 120 cilíndrica en comparación con el diámetro D2 de la segunda parte 140 cilíndrica del tubo 100 de aspiración.

5 El impulsor 20 está instalado en la parte inferior de la primera parte 120 cilíndrica del tubo 100 de aspiración. Un impulsor 20 de tamaño adecuado puede proporcionar una velocidad de flujo Y-Y axial de aproximadamente 2,0 a 2,3 m/s, al lodo en el interior de la segunda parte 140 cilíndrica del tubo 100 de aspiración. El impulsor 20 es girado por un eje 35 montado en el cubo 30 del impulsor y el eje 35 está conectado a una unidad 200 de accionamiento. La unidad 200 de accionamiento puede comprender un engranaje o un convertidor de frecuencia y un motor eléctrico. La unidad 200 de accionamiento está posicionada sobre el tanque 111 de reactor. El impulsor 20, el eje 35 y la unidad 200 de accionamiento forman el agitador. La construcción del tubo 100 de aspiración hace posible el uso de un impulsor 20 de flujo axial con bajo esfuerzo cortante y alta capacidad de bombeo. Esto resultará en bajos costos operativos, es decir, bajo consumo de energía. El impulsor 20 se describirá más adelante en conexión con las Figuras 3 a 5.

15 El hueco entre el borde D4 exterior del impulsor 20 y el borde interior de la segunda parte 120 cilíndrica del tubo 100 de aspiración se mantiene tan pequeña como sea mecánicamente posible con el fin de evitar flujos que pueden tener un efecto negativo sobre la eficiencia del impulsor 20.

20 Un dispositivo 170 de suministro de gas está instalado en el interior del tubo 100 de aspiración debajo del impulsor 20. El dispositivo 170 de suministro de gas puede estar formado por un colector radial, lateral o circular. Se sopla oxígeno o un gas que contiene oxígeno desde las boquillas en el colector al lodo. Las boquillas en el colector están dirigidas hacia abajo, hacia la parte 13 inferior del reactor 10. El dispositivo 170 de suministro de gas puede estar posicionado en la primera parte 120 cilíndrica del tubo 100 de aspiración, entre el impulsor 20 y la disposición 180 de deflectores posicionada en la segunda parte 130 cónica del tubo 100 de aspiración. Por otra parte, el dispositivo 170 de suministro de gas puede estar posicionado en la parte inferior de la segunda parte 130 cónica del tubo 100 de aspiración, justo debajo de la disposición 180 de deflectores. Las realizaciones del dispositivo 170 de suministro de gas se describirán en conexión con las Figuras 10 a 12.

30 La segunda parte 130 cónica del tubo 100 de aspiración contribuye a conseguir un flujo Y-Y axial suave del lodo hacia abajo a la segunda parte 140 cilíndrica del tubo 100 de aspiración. El impulsor 20 genera remolinos y otro fenómeno no homogéneo al flujo de lodo. Estos efectos negativos causados por el impulsor 20 al lodo que fluye hacia abajo debajo del impulsor 20 se minimizan con esta segunda parte 130 cónica.

35 Una disposición 180 de deflectores está instalada en el interior de esta segunda parte 130 cónica del tubo 100 de aspiración. La disposición 180 de deflectores elimina los remolinos inducidos por el impulsor 20 al flujo de lodo y contribuye a un flujo de lodo que es dirigido axialmente hacia abajo. La construcción de la disposición 180 de deflectores puede variar. Las realizaciones de la disposición 180 de deflectores se describirán en conexión con las Figuras 6 a 9.

El reactor 10 según la invención está dimensionado de manera ventajosa según los siguientes principios.

De manera ventajosa, el diámetro D1 del tanque 11 de reactor está comprendido en el intervalo de 6 a 9 metros. El diámetro D1 del tanque 11 de reactor depende de la aplicación y el intervalo podría ser incluso más amplio.

40 La altura H1 del tanque 11 de reactor es varias veces el diámetro D1 del tanque 11 de reactor. La altura H1 del tanque 11 de reactor es preferiblemente de 2,5 a 5 veces el diámetro D1 del tanque 11 de reactor. Este intervalo H1 de alturas del tanque 11 de reactor es un intervalo conservador, en el que el reactor 10 funciona de manera eficiente. De esta manera, la relación H1/D1 podría variar incluso en un intervalo más amplio.

El diámetro D2 de la segunda parte 140 cilíndrica del tubo 100 de aspiración está comprendido preferiblemente en el intervalo de 0,2 a 0,5 veces el diámetro D1 del tanque 11 de reactor.

45 Preferiblemente, el diámetro D3 de la primera parte 120 cilíndrica en el tubo 100 de aspiración es de 1,45 a 1,6 veces el diámetro D2 de la segunda parte 140 cilíndrica del tubo 100 de aspiración.

Preferiblemente, la altura H5 de la primera parte 120 cilíndrica del tubo 100 de aspiración es de 0,8 a 1,1 veces el diámetro D3 de la primera parte 120 cilíndrica del tubo 100 de aspiración.

50 La distancia vertical H2 entre el extremo 102 inferior del tubo 100 de aspiración y la parte 13 inferior del tanque 11 de reactor es preferiblemente de 1,0 a 1,4 veces el diámetro D2 de la segunda parte 140 cilíndrica del tubo de aspiración 102. Esta distancia H2 vertical es el espacio libre inferior del tubo 100 de aspiración.

La distancia H3 vertical entre el extremo 101 superior del tubo 100 de aspiración y el nivel SL1 de la superficie libre

ES 2 654 180 T3

del lodo en el interior del tanque 11 de reactor es preferiblemente de 0,4 a 0,6 veces el diámetro D2 de la segunda parte 140 cilíndrica del tubo 100 de aspiración. Esta distancia H3 vertical es el espacio libre superior del tubo 100 de aspiración.

5 La altura H4 de la primera parte 110 cónica del tubo 100 de aspiración es preferiblemente de 0,2 a 0,35 veces el diámetro D3 de la primera parte 120 cilíndrica del tubo 100 de aspiración.

El ángulo α_1 cónico de la primera parte 110 cónica es preferiblemente de 20 a 45 grados y, más preferiblemente, de 30 grados.

10 La altura H6 de la segunda parte 130 cónica del tubo 100 de aspiración es preferiblemente de 0,9 a 1,1 veces el diámetro D2 de la segunda parte 140 cilíndrica del tubo 100 de aspiración y, más preferiblemente, igual al diámetro D2 de la segunda parte 140 cilíndrica del tubo 100 de aspiración.

El ángulo α_2 cónico de la segunda parte 110 cónica del tubo 100 de aspiración es preferiblemente de 8 a 12 grados y, más preferiblemente, de 10 grados.

15 El hueco entre el reborde exterior del impulsor 20 y el reborde interior del tanque 11 de reactor debería ser menor de 50 mm en soluciones prácticas cuando el diámetro D1 del tanque 11 de reactor está comprendido en el intervalo de 6 a 9 metros y el diámetro D2 de la segunda parte 140 cilíndrica del tubo 100 de aspiración está comprendido en el intervalo de 0,2 a 0,5 veces el diámetro D1 del tanque 11 de reactor.

20 Con esta disposición, el diámetro D4 del impulsor 20 puede ser preferiblemente de 1,4 a 1,6 y, más preferiblemente, de 1,5 veces el diámetro D2 de la segunda parte 140 cilíndrica del tubo 100 de aspiración. El diámetro D4 del impulsor 20 depende de la capacidad del reactor y de la relación H1/D1 entre la altura H1 y el diámetro D1 del tanque 11 de reactor. Una relación H1/D1 más grande entre la altura H1 y el diámetro D1 del tanque 11 de reactor requiere también una relación D4/D2 más grande entre el diámetro D4 del impulsor y el diámetro D2 de la segunda parte 140 cilíndrica del tubo 100 de aspiración.

25 La altura H7 de la segunda parte 140 cilíndrica del tubo 100 de aspiración se calcula restando la altura del espacio H3 libre superior, la altura H4 de la primera parte 110 cónica, la altura H5 de la primera parte 120 cilíndrica, la altura H6 de la segunda parte 130 cónica y la altura del espacio H2 libre inferior de la altura H1 del tanque 11 de reactor. De esta manera, la altura H7 de la segunda parte 140 cilíndrica del tubo 100 de aspiración es $H7 = H1 - (H2 + H3 + H4 + H5 + H6)$.

30 La presión hidrostática en la parte 13 inferior del tanque 11 de reactor es del orden de 1,5 a 3,0 atm, es decir, de 0,15 a 0,30 MPa.

La velocidad del lodo en la segunda parte 140 cilíndrica del tubo 100 de aspiración está comprendida en el intervalo de 2,0 a 2,3 m/s en el reactor 10 de la invención.

35 La Figura 3 muestra una vista en planta de una pala de un impulsor, que puede ser usada en el reactor según la invención. Sin embargo, la invención no está limitada a este tipo de impulsor. Cualquier impulsor que produzca un flujo axial fuerte puede ser usado en la invención. El impulsor 20 produce un flujo axial y comprende cuatro palas 40, 50, 60, 70 de impulsor fijadas a un cubo 30. El cubo 30 y las cuatro palas 40, 50, 60, 70 de impulsor giran en sentido antihorario, en la dirección S1 de la flecha. El eje 35 está fijado al cubo 30 del impulsor 20. El impulsor 20 tiene un diámetro D4. El número de palas 40, 50, 60, 70 en el impulsor 20 según la invención está comprendido, de manera ventajosa, en el intervalo de 3 a 5.

40 La Figura 4 muestra una vista en planta de una pala del impulsor de la Figura 3. La pala 40 tiene un borde 41 de ataque, un borde 42 de salida, una punta 43 y un piñón 44 acoplable a un cubo 30 central del impulsor 20. Esta pala 40 de impulsor se describe en la publicación WO 2013/124539 mencionada anteriormente.

45 La sección transversal de la pala 40 está formada por un cubo 30 circular y un rectángulo 80 envolvente. El cubo 30 circular tiene un diámetro D5. El rectángulo 80 tiene una anchura A1 y una longitud B1. La anchura A1 del rectángulo 80 es menor que la longitud B1 del rectángulo 80.

50 El primer lado 81 corto del rectángulo 80 pasa a través del centro C del cubo 30 circular y se extiende a una distancia A2 igual más allá del diámetro D5 del cubo 30 a ambos lados del cubo 30. Una parte de un segundo lado 82 corto opuesto del rectángulo 80 forma la punta 43 de la pala 40. Una parte de un primer lado 83 largo del rectángulo 80 forma una parte 41B del borde 41 de ataque de la pala 40. Una parte de un segundo lado 84 largo del rectángulo forma una parte 42B del borde 42 de salida de la pala 40. Una primera línea que pasa a lo largo del primer lado 81 corto del rectángulo 80 forma una línea X1, X1 de referencia.

ES 2 654 180 T3

Una primera mitad 31 (la mitad inferior en la figura) del cubo 30 circular que está en el interior del rectángulo 80 forma un primer recorte en el rectángulo 80, de manera que el piñón 44 curvo de la pala 40 se establezca contra la superficie exterior curva del cubo 30. Hay recortes simétricos adicionales en el rectángulo 80 a ambos lados del cubo 30 circular, de manera que la pala 40, comenzando en los puntos extremos del diámetro D5 del cubo 30, se ensancha en forma de un cono simétrico a la anchura A1 del rectángulo 80. El primer lado 41A inclinado del cono se cruza en un primer punto P1 con el primer lado 83 largo del rectángulo 80. El segundo lado 42A inclinado del cono se cruza en un segundo punto P2 con el segundo lado 84 largo del rectángulo 80. La distancia B2 perpendicular, medida desde la línea X1, X1 de referencia al primer punto P1 y al segundo punto P2 es igual. El primer lado 41A inclinado del cono forma una primera parte 41A del borde 41 de ataque de la pala 40. El segundo lado 42A inclinado del cono forma una primera parte 42A del borde 42 de salida de la pala 40.

Una segunda parte 41B del borde 41 de ataque está formada por una parte del primer lado 83 largo del rectángulo 80 hasta un tercer punto P3. Una tercera parte 41C del borde 41 de ataque está formada por una línea 41C recta, que está inclinada hacia el segundo lado 84 largo del rectángulo 80 y se extiende hasta un quinto punto P5. Una extensión de dicha línea 41C inclinada se cruza con el segundo lado 82 corto del rectángulo 80, en un séptimo punto P7. Una cuarta parte 41D del borde 41 de ataque está formada por una primera línea 41D curva que tiene un radio R6 y que se extiende entre el quinto punto P5 y un noveno punto P9. El noveno punto P9 está posicionado en un primer extremo de la punta 43 que coincide con el segundo lado 82 corto del rectángulo 80.

Una segunda parte 42B del borde 42 de salida está formada por una parte del segundo lado 84 largo del rectángulo 80 hasta un cuarto punto P4. Una tercera parte 42C del borde 42 de salida está formada por una línea 42C recta, que está inclinada hacia al primer lado 83 largo del rectángulo 80 y se extiende hasta un sexto punto P6. Una extensión de dicha línea 42C recta se cruza con el segundo lado 82 corto del rectángulo 80 en un octavo punto P8. Una cuarta parte 42D del borde 42 de salida está formada por una segunda línea 42D curva que tiene un radio R6 y que se extiende entre el sexto punto P6 y un décimo punto P10. El décimo punto P10 está posicionado en un segundo extremo de la punta 43 que coincide con el segundo lado 82 corto del rectángulo 80.

La pala 40 comprende dos curvaturas 91, 92 adicionales. Una primera curvatura 91 recta se inicia desde el primer punto P1 en el borde 41 de ataque de la pala 40 y termina en la punta 43 de la pala 40, en un decimotercer punto P13. Una segunda curvatura 92 recta se inicia desde un undécimo punto P11 en la primera parte 41A del borde 41 de ataque y termina en un duodécimo punto P12 en la mitad de la segunda línea 42D curva. La extensión de la segunda curvatura 92 recta se cruza con el primer lado 81 corto del rectángulo 80 en un decimoquinto punto P15. Las dos curvaturas 91, 92 dividen la pala 40 en una parte 45 de borde de ataque, una parte 46 central y una parte 47 de borde posterior.

Las dimensiones de la pala 40 son las siguientes:

La longitud B1 del rectángulo 80 es de 0,5 veces el diámetro D4 del impulsor 20.

La distancia A2 del primer lado 81 corto del rectángulo 80 más allá del diámetro D5 del cubo 30 es de 0,2 veces la anchura A1 del rectángulo 80.

La distancia A3 perpendicular desde el primer lado 83 largo del rectángulo 80 al decimoquinto punto P15 es de 0,1 veces la anchura A1 del rectángulo 80.

La distancia A4 perpendicular desde el segundo lado 84 largo del rectángulo 80 al octavo punto P8 es de 0,1 a 0,2 veces la longitud B1 del rectángulo 80.

La distancia A5 perpendicular desde el primer lado 83 largo del rectángulo de 80 hasta el séptimo punto P7 es de 0,1 a 0,2 veces la longitud B1 del rectángulo 80.

La distancia A6 perpendicular desde el primer lado 83 largo del rectángulo 80 al decimotercer punto P13 es de 0,4 veces la longitud B1 del rectángulo 80.

La distancia B2 perpendicular desde la línea X1, X1 de referencia al punto P1 y el punto P2 es de 0,2 veces la longitud B1 del rectángulo 80.

La distancia B3 perpendicular desde la línea X1, X1 de referencia al cuarto punto P4 es de 0,75 veces la longitud B1 del rectángulo 80.

La distancia B4 perpendicular desde la línea X1, X1 de referencia al tercer punto P3 es de 0,5 veces la longitud B1 del rectángulo 80.

La primera línea 41D curva que se extiende entre el quinto punto P5 y el noveno punto P9 tiene un radio R6 que es 0,2 veces la anchura A1 del rectángulo 80.

La segunda línea 42D curva que se extiende entre el sexto punto P6 y el décimo punto P10 tiene un radio R6 que es el mismo que el radio de la primera línea 41D curva, es decir, 0,2 veces la anchura A1 del rectángulo 80.

La Figura 5 muestra una vista lateral de la pala del impulsor de la Figura 4. La parte 45 del borde de ataque está inclinada en un primer ángulo α_1 , hacia abajo con relación a la parte 46 central y la parte 47 de borde de salida está inclinada en un segundo ángulo α_2 , hacia abajo con relación a la parte 46 central. La parte 46 central está inclinada en un tercer ángulo α_3 con relación al plano horizontal. Las tres partes 45, 46, 47 son secciones planas. La pala puede estar realizada, por ejemplo, plegando una lámina metálica. El primer ángulo α_1 está comprendido en el intervalo de 5 a 7 grados, el segundo ángulo α_2 está comprendido en el intervalo de 7 a 9 grados y el tercer ángulo α_3 está comprendido en el intervalo de 19 a 25 grados. El ángulo $\alpha_2 + \alpha_3$ de paso de la pala 40 en el piñón 44 unido al cubo 30 puede variar en un intervalo de 27 a 33 grados. Un ángulo de paso más grande de las palas proporciona una mayor capacidad de bombeo, pero puede resultar en un mayor consumo de energía. Dicho un impulsor proporciona un rendimiento de mezclado excelente, con un consumo de energía muy bajo y una elevada capacidad y eficacia de bombeo.

La Figura 6 muestra una sección transversal de una primera realización de una disposición de deflectores, que puede ser usada en el reactor según la invención. La Figura 7 muestra una sección transversal de un deflector a ser usado en la disposición de deflectores de la Figura 6. La disposición 180 de deflectores en esta realización comprende una disposición de 6 deflectores. El número de deflectores 181, 182 podría variar de 4 a 6, dependiendo del diámetro D2 de la segunda parte 140 cilíndrica del tubo 100 de aspiración y/o dependiendo de la capacidad del reactor 10. Cuanto mayor sea la capacidad del reactor 10, más deflectores 181, 182 se necesitarán. Los deflectores 181, 182 se extienden en la dirección Y-Y vertical, de manera que el borde superior de los deflectores 181, 182 esté a una pequeña distancia debajo del impulsor 20. Esta realización puede eliminar y/o minimizar eficazmente los remolinos en el flujo del lodo, causados por el impulsor 20. La caída de presión inducida por esta disposición 180 de deflectores en el flujo de lodo es pequeña y esta disposición 180 de deflectores tiene poco efecto sobre la eficiencia del impulsor 20. Los deflectores tienen una altura H8 y una primera anchura W1 en el extremo inferior de los deflectores 181 y una segunda anchura W2 en el extremo superior de los deflectores 181.

La altura H8 de los deflectores 181, 182 en la disposición 180 de deflectores está comprendida preferiblemente en el intervalo de 0,9 a 1,0 veces la altura H6 de la segunda parte 130 cónica del tubo 100 de aspiración. La anchura W1 de los deflectores 181, 182, en el borde inferior de los deflectores 181, 182, está comprendida preferiblemente en el intervalo de 0,25 a 0,5 y, más preferiblemente, es de 0,3 veces el diámetro D2 de la segunda parte 140 cilíndrica del tubo 100 de aspiración. La anchura W2 de los deflectores 181, 182 en el borde superior de los deflectores 181, 182 viene determinada por el ángulo α_2 cónico de la segunda parte 130 cónica del tubo 100 de aspiración.

La Figura 8 muestra una sección transversal de una segunda realización de una disposición de deflectores, que puede ser usada en el reactor según la invención. Esta disposición de deflectores corresponde a la mostrada en la Figura 7. En esta realización, la anchura W1 de los deflectores 181, 182, en el borde inferior de los deflectores 181, 182 es 0,5 veces el diámetro D2 de la segunda parte 140 cilíndrica del tubo 100 de aspiración. La altura H8 de los deflectores 181, 182 corresponde a la altura H8 de los deflectores 181, 182 en la Figura 7.

La Figura 9 muestra una sección transversal de una tercera realización de una disposición de deflectores, que puede ser usada en el reactor según la invención. En esta realización, la disposición 180 de deflectores está compuesta por una matriz de placa. Los deflectores 181, 182 están compuestos de placas dirigidas verticalmente que forman un patrón determinado. De esta manera, se forman conductos de flujo que pasan verticalmente Y-Y a través de la disposición 180 de deflectores en esta disposición 180 de deflectores. La sección transversal de los conductos en la parte media de la disposición 180 de deflectores es rectangular. Los conductos en el reborde de la segunda sección 130 cónica tienen una pared curva, es decir, la pared de la segunda sección 130 cónica.

En todas las realizaciones, el borde exterior de los deflectores 181, 182 puede estar soldado o incorporado a la pared de la segunda parte 130 cónica del tubo 100 de aspiración.

La Figura 10 muestra una sección transversal de una primera realización de un dispositivo de suministro de gas, que puede ser usado en el reactor según la invención. Las líneas de puntos en la figura muestran un dispositivo 170 de suministro de gas radial. Las bifurcaciones del dispositivo 170 de suministro de gas radial se extienden radialmente en el interior del tubo 100 de aspiración. Cada bifurcación está provista de boquillas o aberturas que están dirigidas hacia abajo, hacia la parte 13 inferior del tanque 11 de reactor.

La Figura 11 muestra una sección transversal de una segunda realización de un dispositivo de suministro de gas, que puede ser usado en el reactor según la invención. Las líneas de puntos en la figura muestran un dispositivo 170 de suministro de gas lateral. Las bifurcaciones del dispositivo 170 de suministro de gas lateral se extienden lateralmente en el interior del tubo 100 de aspiración. Cada bifurcación está provista de boquillas o aberturas

dirigidas hacia abajo, hacia la parte 13 inferior del tanque 11 de reactor.

La Figura 12 muestra una sección transversal de una tercera realización de un dispositivo de suministro de gas, que puede ser usado en el reactor según la invención. Las líneas de puntos en la figura muestran un dispositivo 170 de suministro de gas con forma de anillo. La bifurcación principal del dispositivo 170 de suministro de gas se extiende en un anillo en el interior del tubo 100 de aspiración. La bifurcación principal está provista de boquillas o aberturas dirigidas hacia abajo, hacia la parte 13 inferior del tanque 11 de reactor. Hay partes de conexión a la bifurcación principal.

La Figura 13 muestra el patrón de flujo del reactor en la Figura 1. El reactor 10 según la invención proporciona una elevada velocidad axial del flujo de lodo en el interior del tubo 100 de aspiración y un patrón de flujo favorable para el mezclado y la dispersión de gas. El lodo es conducido hacia abajo, a través del tubo 100 de aspiración por el impulsor 20. El chorro de flujo desde la abertura de salida en el extremo 102 inferior del tubo 100 de aspiración se mueve hacia la parte 13 inferior del reactor, donde cambia de dirección en 180 grados. Después del cambio de dirección, el flujo de lodo se mueve hacia arriba en el espacio entre el tubo 100 de aspiración y el tanque 11 de reactor, hacia la parte 101 superior del tubo 100 de aspiración. Las partículas sólidas en el flujo de lodo serán transportadas con el fluido en el lodo a la parte 101 superior del tubo 100 de aspiración con el fin de ser reintroducidas en la circulación. Aparece un vórtice secundario alrededor del perímetro exterior del tubo 100 de aspiración en el extremo 102 inferior del tubo 100 de aspiración. Esta disposición resultará en una fuerte acción de mezclado y de agitación en el interior del volumen del reactor 10, que previene que las partículas sólidas se depositen en la región de la parte 13 inferior del reactor 10. No hay formación de lecho de partículas sólidas en la región de la parte 13 inferior del reactor 10. Las partículas sólidas se hacen recircular en el interior de todo el volumen del reactor 10.

En la parada requerida ocasionalmente, las partículas sólidas se asientan en la parte 13 inferior del tanque 11 de reactor y forman un lecho sólido en la misma. Cuando el reactor se pone en marcha, no es necesario, en modo alguno, eliminar el lecho sólido de la parte 13 inferior del tanque 11 de reactor. El reactor 10 puede proporcionar una agitación suficientemente fuerte como para eliminar automáticamente el lecho sólido cuando el reactor 10 comienza a funcionar de nuevo. De esta manera, no se necesitan medidas y/o equipos auxiliares antes o durante el arranque del reactor 10.

El rendimiento del reactor agitado en su parte superior según la invención se demuestra mediante el uso de modelado de dinámica de fluidos computacional (Computational Fluid Dynamics, CFD) para un reactor a escala industrial. Las dimensiones del reactor en el cálculo son las siguientes. El diámetro D1 del reactor es de 7,5 m y la altura H1 del reactor es de 22,3 m. El diámetro D2 de la segunda parte 140 cilíndrica es de 2,0 m y el espacio H2 libre inferior es $1,3 \cdot D2$. Se usa un impulsor de flujo axial con un diámetro D4 de 2,8 m y sumergido a una profundidad de 3,7 m desde la superficie SL1 libre del lodo. La velocidad de la punta del impulsor era de aproximadamente 6,2 m/s en ambos casos. Se considera una fracción de masa sólida del 15%, con tamaños de partícula de 50 μm y 100 μm . Para una comparación, se usa un reactor de lixiviación directa, según la publicación WO 01/12307, mencionada anteriormente, provisto de un impulsor de doble acción montado en la abertura de salida en el extremo 102 inferior del tubo 100 de aspiración.

El modelado CFD demuestra que el reactor según la invención funciona bien bajo diversas condiciones de funcionamiento y proporciona una agitación y un mezclado fuertes, de manera que se consigue una distribución de partículas homogénea en todo el volumen del reactor.

La Figura 14 muestra gráficos de vectores de velocidad y la Figura 15 muestra líneas de trayectoria de velocidad para el flujo de lodo en un reactor agitado en su parte inferior de la técnica anterior. La Figura 16 muestra gráficos de vectores de velocidad y la Figura 17 muestra líneas de trayectoria de velocidad para el flujo de lodo en un reactor agitado en su parte superior según la invención.

La simulación CFD se basa en el uso de un lodo que comprende líquido y partículas sólidas. La parte de partículas sólidas en el lodo es del 15%, calculada a partir del peso del lodo. El 6,5% del volumen del lodo está formado por pequeñas partículas ($dp = 50 \mu\text{m}$) y el 1,1% del volumen del lodo está formado por partículas gruesas ($dp = 100 \mu\text{m}$).

Las Figuras 14 y 15, relacionadas con un reactor agitado en su parte inferior de la técnica anterior, muestran que aparece una zona de recirculación en sentido horario en la parte inferior, una zona principal de recirculación en sentido anti-horario y vórtices secundarios en la región principal. Se observa también algún flujo con remolinos, aunque los deflectores se usan en la parte inferior del tubo de aspiración.

Las Figuras 16 y 17, relacionadas con un reactor agitado en su parte superior según la invención, muestran que el patrón de flujo es bastante similar al mostrado en la Figura 13. Esto significa que las partículas sólidas recirculan en el interior de todo el volumen del reactor.

- 5 La Figura 18 muestra las fracciones de volumen de la solución, la Figura 19 muestra fracciones de volumen de pequeñas partículas y la Figura 20 muestra fracciones de volumen de partículas gruesas en un reactor agitado en su parte superior según la invención. A partir de estas figuras, se observa claramente que se consigue una distribución de partículas homogénea. No hay tampoco un lecho de partículas sólidas formado en la parte inferior del reactor.
- Los valores característicos de un reactor agitado en su parte superior según la invención se comparan con los de un reactor agitado en su parte inferior de la técnica anterior. El caudal másico a través del tubo de aspiración se usa para calcular un índice N_q de bombeo del reactor.
- 10 Cabe señalar que el caudal másico a través del tubo de aspiración es casi el mismo que el caudal másico alrededor del impulsor en el reactor agitado en su parte superior según la invención. Esto indica que toda la potencia aplicada al impulsor ha sido usada para la recirculación del lodo en el reactor agitado en su parte superior según la invención.
- 15 El caudal másico a través del tubo de aspiración es sólo aproximadamente el 50% del caudal másico alrededor del impulsor en el reactor agitado en su parte inferior de la técnica anterior. Esto significa que, en el reactor agitado en su parte inferior de la técnica anterior, sólo se usa aproximadamente la mitad del caudal másico para la recirculación de lodo en el volumen del reactor.
- 20 La comparación muestra las diferencias entre un reactor agitado en su parte inferior de la técnica anterior y un reactor agitado en su parte superior de la invención, pero la comparación no significa que uno cualquiera de estos reactores sea mejor y el otro peor. Las diferencias muestran simplemente que dichos reactores son adecuados para diferentes propósitos.
- En el reactor agitado en su parte superior según la invención, la energía necesaria en el agitador es aproximadamente el 20% de la energía necesaria en el agitador en el reactor agitado en su parte inferior de la técnica anterior.
- 25 En el reactor agitado en su parte superior de la invención, el índice N_p de energía, definido como $N_p = P/(\rho N^3 D^5)$, donde P es la energía del agitador, N es la velocidad de rotación y D es el diámetro del impulsor, es aproximadamente 0,17 veces el índice N_p de energía en el reactor agitado en su parte inferior de la técnica anterior.
- 30 En el reactor agitado en su parte superior según la invención, el caudal m_p másico bombeado, definido como $m_p = m/P$, es aproximadamente 4,2 veces el caudal m_p másico bombeado en el reactor agitado en su parte inferior de la técnica anterior.
- En el reactor agitado en su parte superior según la invención, el índice N_q de bombeo, definido como $N_q = m/(\rho N D^3)$, es aproximadamente 0,7 veces el índice N_q de bombeo en el reactor agitado en su parte inferior de la técnica anterior.
- 35 En el reactor agitado en su parte superior según la invención, la eficacia η_e de bombeo, definida como $\eta_e = N_q/N_p$, es aproximadamente 4,3 veces la eficacia η_e de bombeo en el reactor agitado en su parte inferior de la técnica anterior.
- En el reactor agitado en su parte superior según la invención, la eficiencia λ_p de bombeo, definida como $\lambda_p = N_q/(N_p)^{1/3}$, es aproximadamente 1,3 veces la eficiencia λ_p de bombeo en el reactor agitado en su parte inferior de la técnica anterior.
- 40 Tras la lectura de la presente solicitud, será obvio para una persona con conocimientos en la materia que el concepto inventivo puede ser implementado de diversas maneras. La invención y sus realizaciones no están limitadas a los ejemplos descritos anteriormente, sino que pueden variar dentro del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Reactor para mezclar líquido, gas y material sólido, en el que dicho reactor (10) comprende:

- 5 un tanque (11) de reactor cilíndrico que se extiende verticalmente que tiene un extremo (12) superior y una parte (13) inferior cerrada, en el que dicho tanque (11) de reactor tiene además un diámetro (D1) y una altura (H1) que es varias veces el diámetro (D1),
- 10 un tubo (100) de aspiración que se extiende vertical y concéntricamente en el interior del tanque (11) de reactor y que está soportado (14, 15) en el tanque (11), en el que dicho tubo (100) de aspiración tiene una altura (H8), un extremo (101) superior abierto que forma una abertura de entrada, y un extremo (102) inferior abierto que forma una abertura de salida, en el que el extremo (101) superior está posicionado a una altura que forma un espacio (H3) libre superior debajo del nivel (SL1) de superficie libre del material en el tanque (11) de reactor, en el que el extremo (102) inferior está posicionado a una altura que forma un espacio (H2) libre inferior por encima de la parte (13) inferior del tanque (11) de reactor,
- 15 un impulsor (20) conectado a un eje (35) vertical que está posicionado en el interior del tubo (100) de aspiración,
- una disposición (180) de deflectores que está posicionada en el interior del tubo (100) de aspiración debajo del impulsor (20), y
- un dispositivo (170) de suministro de gas que está posicionado en el interior del tubo (100) de aspiración debajo del impulsor (20),

caracterizado por que

- 20 el tubo (100) de aspiración está formado por una construcción continua que comprende cuatro partes (110, 120, 130, 140), en el que dichas partes (110, 120, 130, 140) están formadas desde el extremo (111) superior hacia el extremo (142) inferior de:
 - 25 una primera parte (110) cónica que se contrae hacia un extremo (112) inferior, en el que dicha primera parte (110) cónica tiene una altura (H4) y un ángulo (α_1) cónico, en el que un extremo superior de la primera parte (110) cónica forma el extremo (101) superior del tubo (100) de aspiración,
 - una primera parte (120) cilíndrica que tiene un diámetro (D3) y una altura (H5), en el que un extremo superior de la primera parte (120) cilíndrica coincide con el extremo (112) inferior de la primera parte (110) cónica,
 - una segunda parte (130) cónica que se contrae hacia un extremo (132) inferior, en el que dicha segunda parte (130) cónica tiene una altura (H6) y un ángulo (α_2) cónico, en el que un extremo superior de la segunda parte (130) cónica coincide con un extremo (122) inferior de la primera parte (120) cilíndrica, y
 - 30 una segunda parte (140) cilíndrica que tiene un diámetro (D2) y una altura (H7), en el que un extremo superior de la segunda parte (140) cilíndrica coincide con el extremo (132) inferior de la segunda parte (130) cónica, en el que un extremo inferior de la segunda parte (140) cilíndrica forma el extremo (142) inferior del tubo (100) de aspiración,
 - 35 de manera que el impulsor (20), que es un impulsor de flujo axial, está posicionado en un extremo (122) inferior de la primera parte (120) cilíndrica y el eje (35) vertical se extiende concéntricamente hacia arriba a través del extremo (12) superior del tanque (11) de reactor, en el que la disposición (180) de deflectores está formada por deflectores (181, 182) que se extienden verticalmente posicionados en el interior de la segunda parte (130) cónica.

40 2. Reactor según la reivindicación 1, **caracterizado por que** las dimensiones del reactor son las siguientes:

- el diámetro (D2) de la segunda parte (140) cilíndrica del tubo (100) de aspiración está comprendido preferiblemente en el intervalo de 0,2 a 0,5 veces el diámetro (D1) del tanque (11) de reactor,
- el diámetro (D3) de la primera parte (120) cilíndrica en el tubo (100) de aspiración es preferiblemente de 1,45 a 1,6 veces el diámetro (D2) de la segunda parte (140) cilíndrica del tubo (100) de aspiración,
- 45 el espacio (H2) libre inferior entre el extremo (102) inferior del tubo (100) de aspiración y la parte (13) inferior del tanque (11) de reactor es preferiblemente de 1,0 a 1,4 veces el diámetro (D2) de la segunda parte (140) cilíndrica del tubo (100) de aspiración,
- la altura (H5) de la primera parte (120) cilíndrica del tubo (100) de aspiración es preferiblemente de 0,8 a 1,1

- veces el diámetro (D3) de la primera parte (120) cilíndrica del tubo (100) de aspiración,
- la altura (H4) de la primera parte (110) cónica del tubo (100) de aspiración es preferiblemente de 0,2 a 0,35 veces el diámetro (D3) de la primera parte (120) cilíndrica del tubo (100) de aspiración,
- 5 el ángulo (α_1) cónico de la primera parte (110) cónica del tubo (100) de aspiración es preferiblemente de 20 a 45 grados, más preferiblemente de 30 grados,
- la altura (H6) de la segunda parte (130) cónica del tubo (100) de aspiración es preferiblemente de 0,9 a 1,1 veces el diámetro (D2) de la segunda parte (140) cilíndrica del tubo (100) de aspiración y, más preferiblemente, es igual al diámetro (D2) de la segunda parte (140) cilíndrica del tubo (100) de aspiración,
- 10 el ángulo (α_2) cónico de la segunda parte (110) cónica del tubo (100) de aspiración es preferiblemente de 8 a 12 grados, más preferiblemente de 10 grados, y
- la altura (H7) de la segunda parte (140) cilíndrica del tubo (100) de aspiración se calcula restando la altura del espacio (H3) libre superior, la altura (H4) de la primera parte (110) cónica, la altura (H5) de la primera parte (120) cilíndrica, la altura (H6) de la segunda parte (130) cónica y la altura del espacio (H2) libre inferior de la altura (H1) del tanque (11),
- 15 de manera que el espacio (H3) libre superior definido como la distancia entre el extremo (101) superior del tubo (100) de aspiración y el nivel (SL1) de superficie libre del material en el interior del tanque (11) de reactor es de 0,4 a 0,6 veces el diámetro (D2) de la segunda parte (140) cilíndrica del tubo (100) de aspiración.
3. Reactor según la reivindicación 2, **caracterizado por que** el diámetro (D4) del impulsor (20) está comprendido preferiblemente en el intervalo de 1,4 a 1,6, más preferiblemente es 1,5 veces el diámetro (D2) de la segunda parte (140) cilíndrica del tubo (100) de aspiración.
- 20 4. Reactor según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** el impulsor (20) tiene un bajo esfuerzo de cizallamiento y una alta capacidad de bombeo.
5. Reactor según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** el número de palas (40, 50, 60, 70) en el impulsor (20) está comprendido en el intervalo de 3 a 5.
- 25 6. Reactor según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** el dispositivo (170) de suministro de gas está posicionado en la primera parte (120) cilíndrica del tubo (100) de aspiración entre el impulsor (20) y la disposición (180) de deflectores posicionada en la segunda parte (130) cónica del tubo (100) de aspiración.
- 30 7. Reactor según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** el dispositivo (170) de suministro de gas está posicionado en la parte inferior de la segunda parte (130) cónica del tubo (100) de aspiración, justo debajo de la disposición (180) de deflectores.

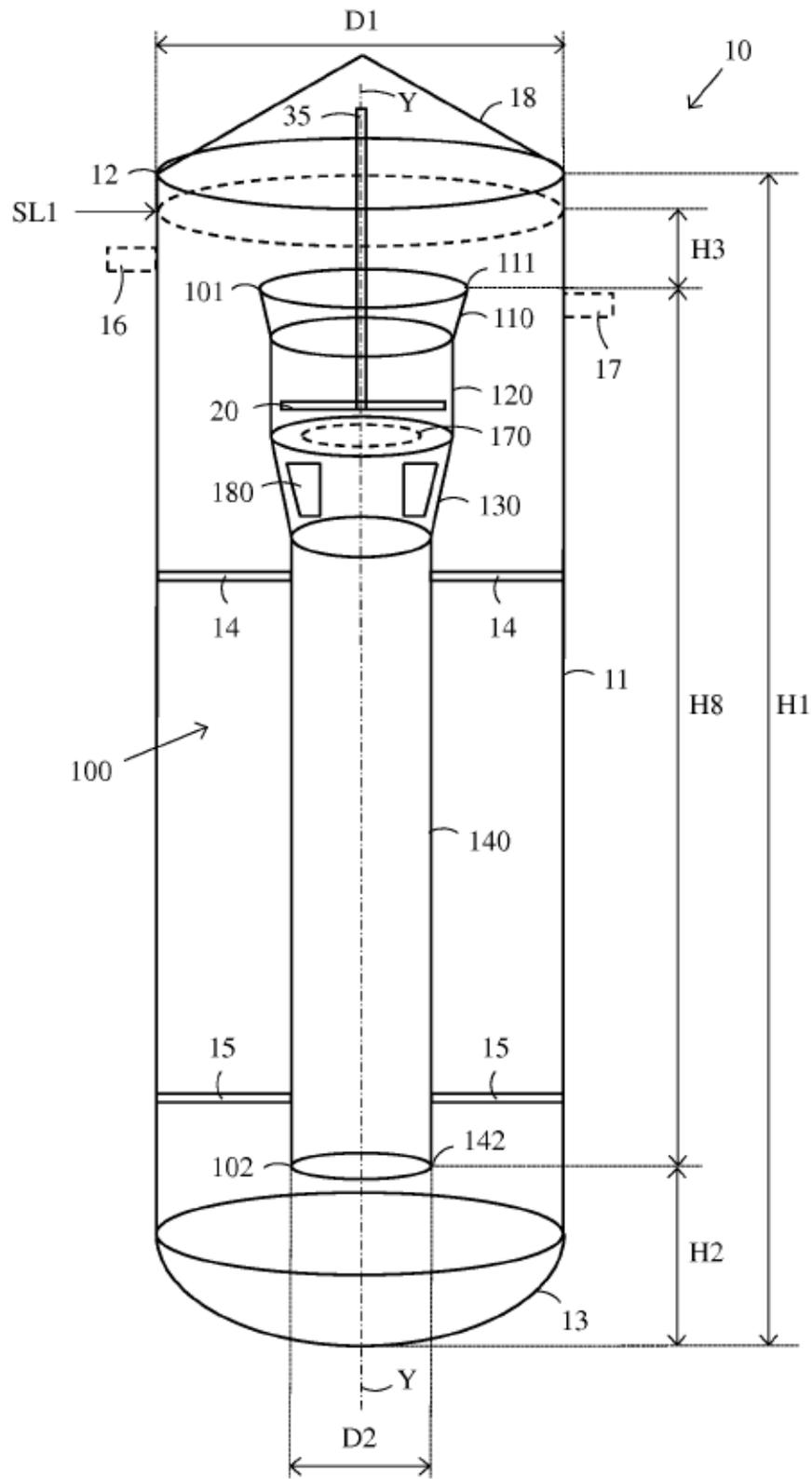


FIG. 1

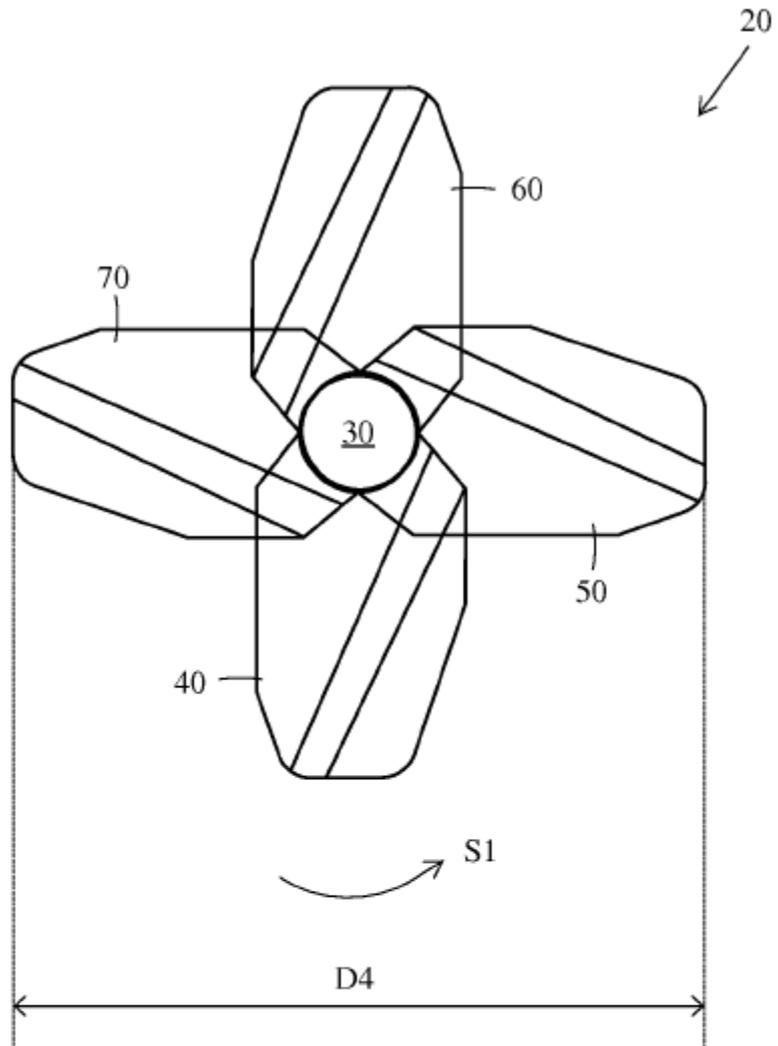


FIG. 3

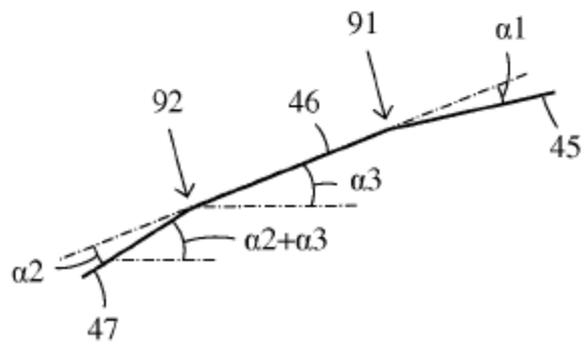


FIG. 5

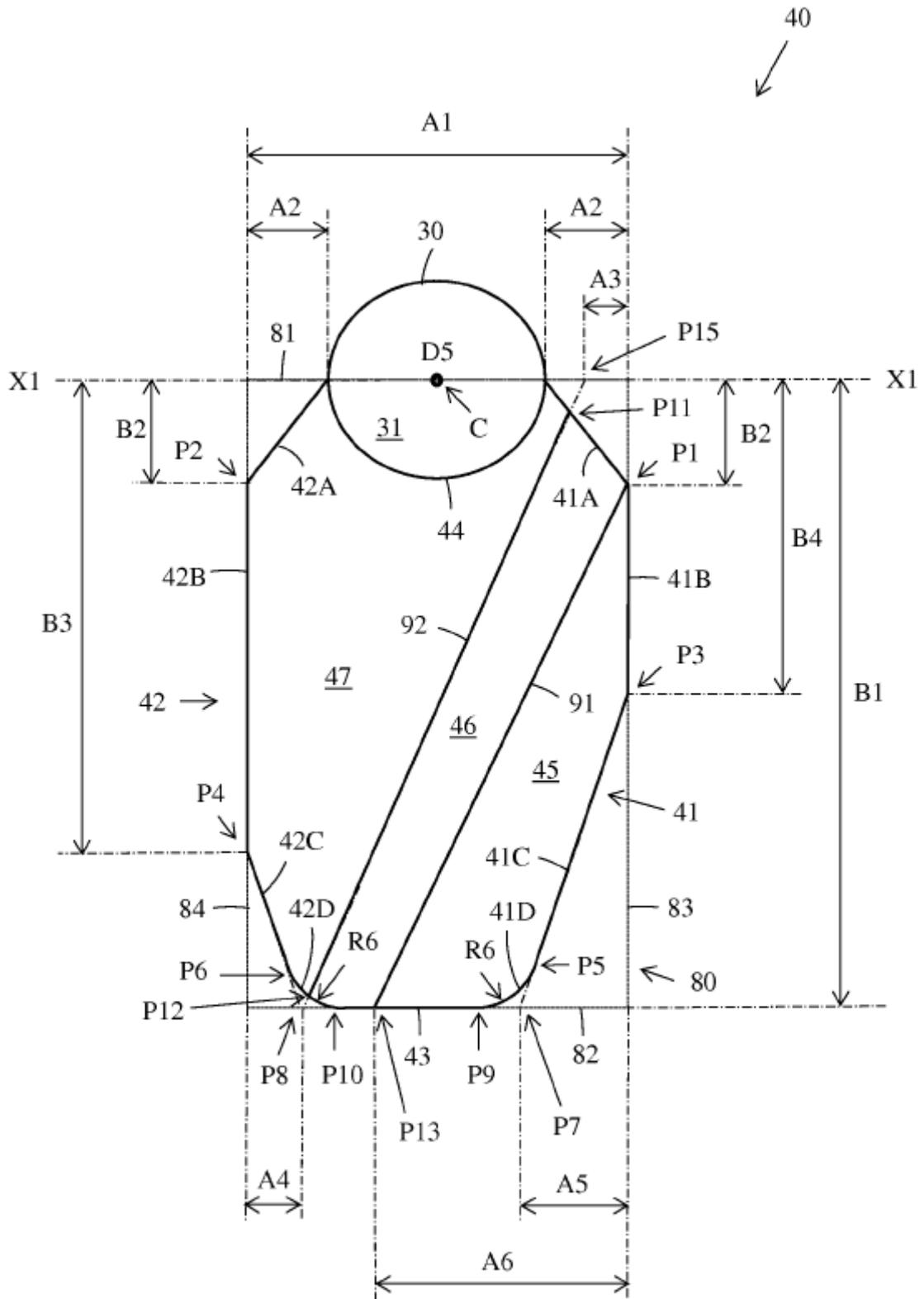


FIG. 4

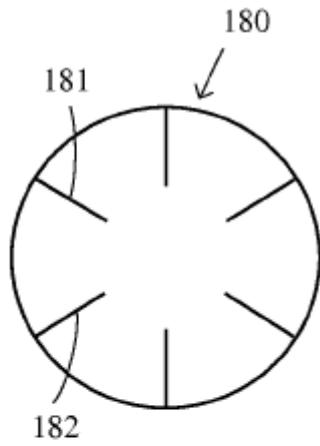


FIG. 6

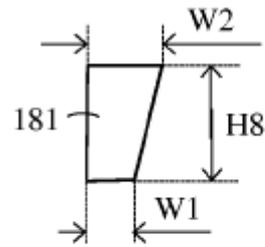


FIG. 7

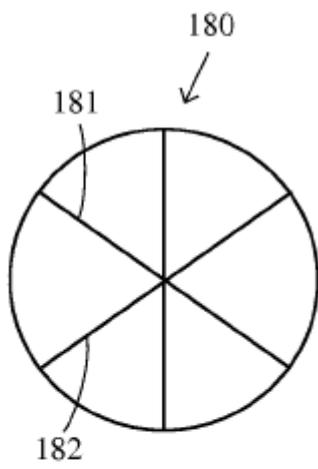


FIG. 8

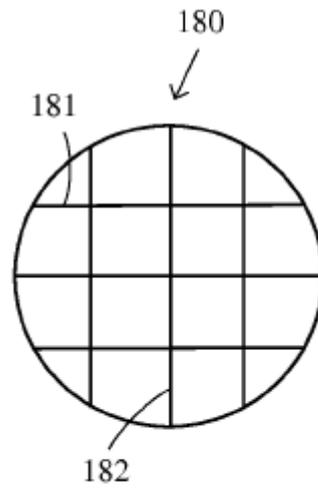


FIG. 9

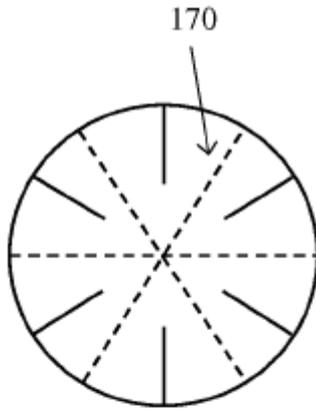


FIG. 10

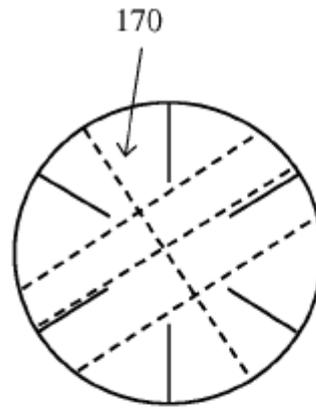


FIG. 11

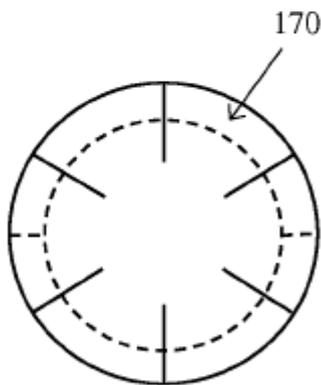


FIG. 12

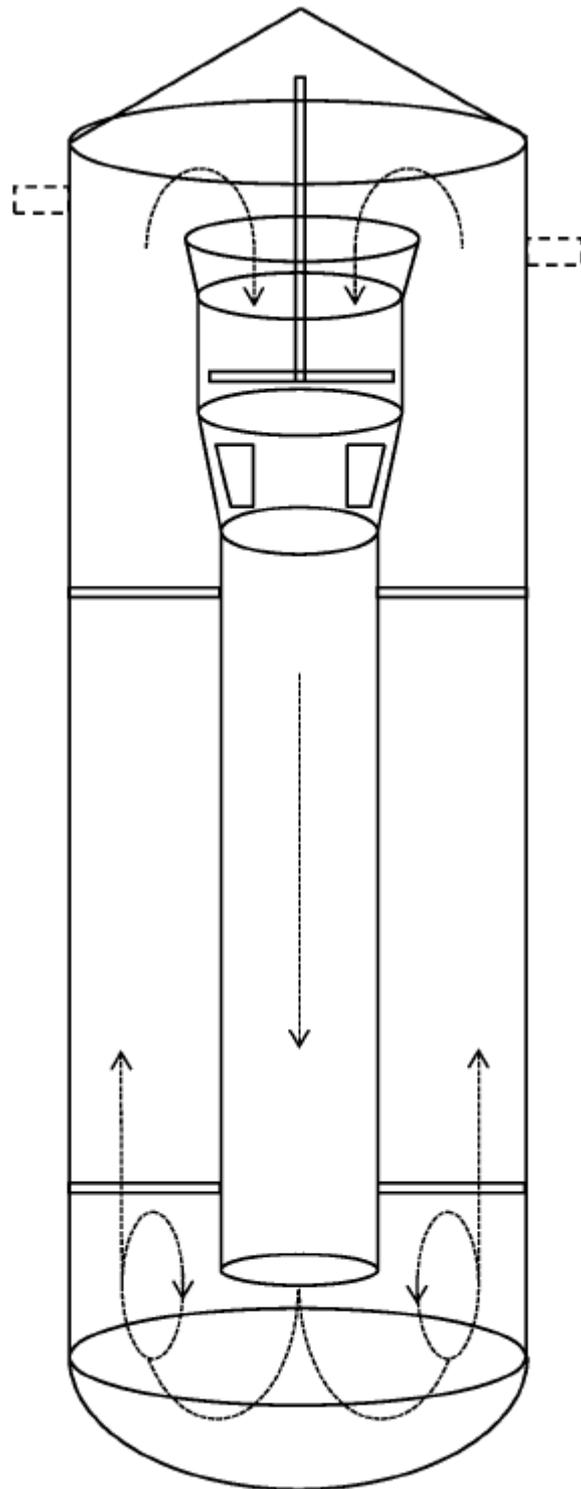


FIG. 13

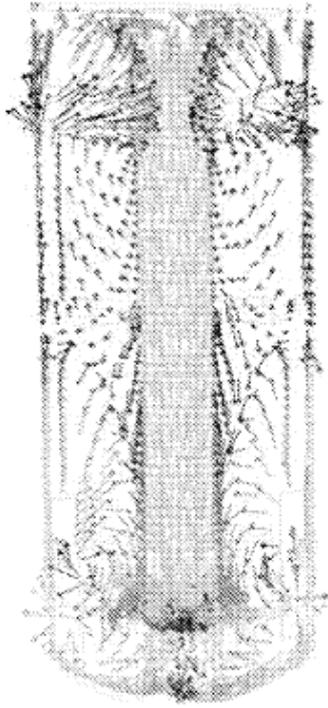


FIG. 14

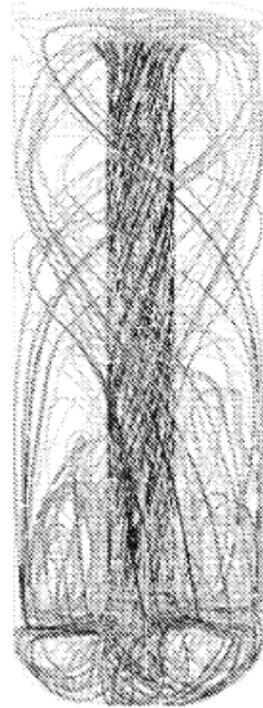


FIG. 15

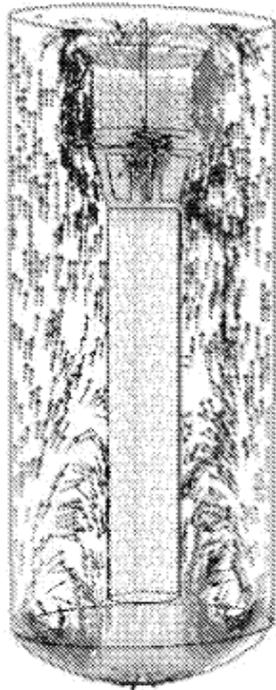


FIG. 16

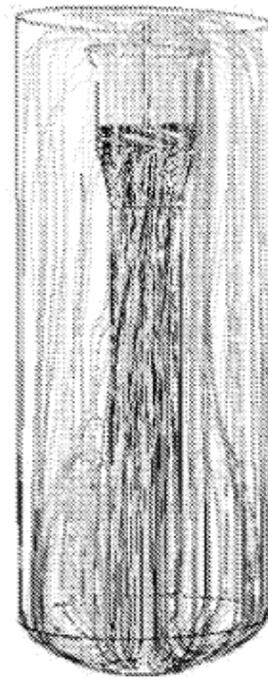


FIG. 17

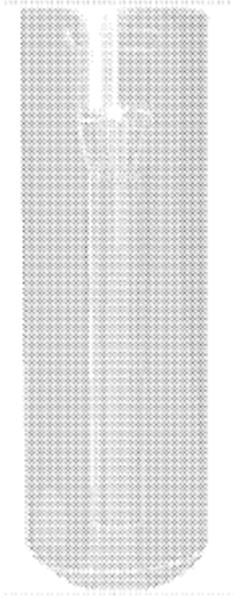


FIG. 18

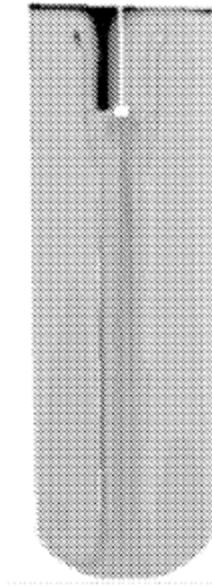


FIG. 19

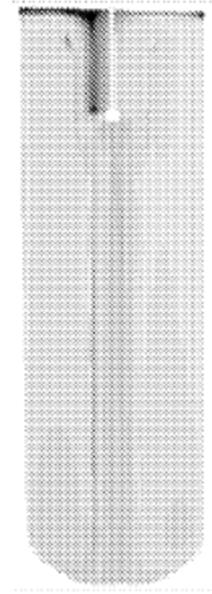


FIG. 20