(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 663 342**

(51) Int. CI.:

B01F 3/04 (2006.01)
B01F 5/04 (2006.01)
B01F 5/06 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.03.2015 PCT/IB2015/051705**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **11.09.2015 WO15132773**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.03.2015 E 15714025 (2)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.01.2018 EP 3113867**

(54) Título: **Procedimiento y dispositivo de dispersión de gas en un líquido**

(30) Prioridad:

07.03.2014 FR 1451870

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.04.2018

(73) Titular/es:

SUEZ INTERNATIONAL (100.0%)
16 Place de l'Iris - Tour CB 21
92040 Paris la Défense Cedex, FR

(72) Inventor/es:

BAIG, SYLVIE;
FONSECA, PEDRO y
LE QUESNE, FRANÇOIS

(74) Agente/Representante:

ILLESCAS TABOADA, Manuel

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo de dispersión de gas en un líquido

La invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo de dispersión de gas en una corriente descendente de líquido.

La invención se refiere más particularmente a un procedimiento y a un dispositivo de dispersión en chorro de gas en líquido hídrico mezclador e inyector en chorro El procedimiento tiene por objeto dispersar de forma homogénea el gas en forma de burbujas finas en un líquido motor para poner en contacto gas con líquido o a fin de ponerlo en contacto ulterior con la masa de líquido en un contactor próximo en el cual está implantado el dispositivo. El dispositivo se compone de un cabezal de inyección que comprende una cámara de mezcla en chorro líquido en la parte superior y de un tubo coaxial vertical en chorro difásico en la parte inferior, formando una tobera. Dicha dispersión homogénea de gas en líquido se produce por una retención gaseosa comprendida entre un 5 y un 70%, preferentemente entre un 30 y un 50%.

La invención se refiere más particularmente a un procedimiento y a un dispositivo de inyección de ozono, o de una mezcla de ozono y de oxígeno y/o de aire, en una corriente de agua, para purificarla.

El rendimiento de la dispersión de gas puede expresarse, por una parte, en función del tamaño de las burbujas de gas producidas y, por otra, en función de una relación volumétrica de gas/líquido de la mezcla difásica de gas-líquido resultante de la dispersión, basándose dicha relación en la retención gaseosa definida como la relación del volumen de la fase gaseosa con respecto al volumen total del contactor igual a la suma de los volúmenes de gas y de líquido que contiene o, como la relación del caudal volumétrico de la fase gaseosa con respecto a la suma de los caudales volumétricos de gas y de líquido. Los procedimientos y dispositivos de inyección del estado de la técnica permiten obtener una dispersión homogénea de gas en forma de burbujas con un consumo de energía aceptable para una relación volumétrica de gas/líquido relativamente baja, que no sobrepasa 0,5 en general.

Los contactores difásicos gas-líquido corresponden a numerosas aplicaciones industriales, tales como oxidaciones e hidrogenaciones en fase líquida o, absorciones de un gas por un líquido con o sin reacción química.

Los aparatos de puesta en contacto de las fases gaseosa y líquida están concebidos para responder de la forma más eficaz posible a la exigencia de garantizar la transferencia de las cantidades de materia necesarias, al mejor coste, incluyendo, además, nociones ligadas al funcionamiento, tales como flexibilidad en lo que respecta a las cantidades de materia que se utilizarán, seguridad y estabilidad de funcionamiento, rapidez de ejecución de las etapas de arranque y de puesta en marcha, duración potencial de funcionamiento (corrosión, mantenimiento,...).

En todos los casos, la cantidad de materia intercambiada dentro de un equipo difásico, denominado N, puede evaluarse mediante:

N = Coeficiente de transferencia de materia × Área de interfase × Potencial de intercambio

Por tanto, los contactores de gas-líquido están concebidos para ofrecer la mayor superficie de intercambio compatible con condiciones hidrodinámicas relativas a los caudales circulantes de fluidos y las propiedades fisicoquímicas de estos últimos. Además, es primordial que la pérdida de carga del lado del gas sea lo más moderada posible, a fin de evitar consumos energéticos inadmisibles o condiciones de presión incompatibles con las condiciones de aplicación.

Los contactores en los cuales se dispersa el gas en forma de burbujas en un líquido cubren las tecnologías de columna de burbujas, tanque agitado mecánicamente, columna con placas perforadas, contactor tubular de flujo paralelo tal como mezclador estático, eyector en chorro sumergido y eyector venturi con líquido motor (M. Roustan, Transferts gaz-liquide dans les procédés de traitement des eaux et des effluents gazeux, Editions Lavoisier 2003; Pierre Trambouze, Réacteurs chimiques - Technologie, J4020, Editions Techniques de l'Ingénieur, 1993). Estos diferentes contactores se caracterizan por niveles de retención de líquido y área de interfase variables. Entre estos, los contactores tubulares que funcionan con flujo paralelo de gas y de líquido ofrecen las ventajas de admitir un régimen de funcionamiento mayor a la vez en retención de fase dispersa gaseosa (definida como la relación del volumen de la fase gaseosa con respecto al volumen total del contactor igual a la suma de los volúmenes de gas y de líquido que contiene o como la relación del caudal volumétrico de la fase gaseosa con respecto a la suma de los caudales volumétricos de gas y de líquido) y de generar un área de interfase muy considerable. Su principal inconveniente reside en la pérdida de carga ocasionada para producir la dispersión del gas, lo cual limita, por tanto, bien la retención de la fase gaseosa dispersa a un 30% a lo sumo, en el caso de los sistemas con mezclador estático, eyector en chorro sumergido y eyector venturi con líquido motor, bien la altura de inmersión a menos de algunos metros como máximo. para los eyectores en chorro sumergido que funcionan con retenciones gaseosas superiores a un 50 %, porque una instalación de inyección de gas a una mayor profundidad puede presentar el inconveniente mayor de necesitar una fuente de gas a presión, por ejemplo, un compresor y sus tuberías asociadas.

El documento WO 2012025214 presenta un dispositivo y un procedimiento de absorción de ozono en contactor tubular para el tratamiento de líquidos según el cual la inyección de gas ozonado tiene lugar en el flujo de líquido circulante mediante al menos dos mezcladores estáticos separados de las zonas de contacto.

El documento WO 2013082132 trata de un procedimiento y de un aparato para inyectar un gas en un líquido, en el cual una hélice helicoidal rotatoria, situada en el interior de un tubo de aspiración sumergido en el líquido, crea una corriente descendente de líquido en el interior del tubo de aspiración alimentado por un gas a través de boquillas dispuestas, bien por encima, bien por debajo, bien a lo largo de la hélice helicoidal. El líquido se aspira en el tubo de aspiración a una velocidad superficial superior a una velocidad de ascensión terminal de las burbujas de gas, de modo que se permita el arrastre de las burbujas de gas no disueltas en la masa del líquido al interior del líquido que se aspira en el tubo de aspiración. En el contactor se obtiene un rendimiento de transferencia de un 90% para una retención gaseosa de un 5% en el tubo de menos de un metro de longitud.

El documento EP 0 086 019 se refiere a un contactor híbrido en dos etapas que combina una columna de lluvia y una columna de burbujas para la disolución de un gas en un líquido, preferentemente para la ozonización del agua, según el cual la inyección de gas se realiza gracias a un tubo sumergido. De acuerdo con este procedimiento, una fracción del flujo de líquido sirve para inyectar el gas en forma de burbujas con ayuda de un tubo sumergido que introduce la mezcla difásica en una corriente vertical descendente del flujo principal de líquido, alimentada por derrame en la parte anular exterior superior del contactor. Por lo tanto, este dispositivo aplica un espacio libre de derrame de un volumen significativo que favorece la desgasificación, de modo que el rendimiento de disolución del gas se encuentra disminuido. La retención gaseosa en el tubo de inyección se indica como igual a un 13% como máximo.

El documento FR 2 762 232 describe asimismo un procedimiento y un dispositivo para poner en contacto el ozono en los líquidos, especialmente agua, según el cual una mezcla difásica de flujo parcial del líquido que va a tratarse y de un gas cargado de ozono a presión se realiza en un tubo vertical de flujo paralelo descendente de gas y de líquido que contiene eventualmente dispositivos de cizallamiento de burbujas, constituyendo esto una parte de un contactor de absorción del ozono en el líquido en forma de tubo en U tal como el descrito en el documento FR 2 545 732. La dispersión del gas en forma de burbujas se obtiene en el tubo descendente por el efecto de la velocidad del líquido de aproximadamente 1,5 m/s. La altura del contactor está comprendida entre 20 y 35 m. Este tipo de contactor implica un funcionamiento con una retención gaseosa inferior a un 20% para controlar la mezcla difásica de agua y gas (Degrémont, Mémento Technique de l'eau, Editions Lavoisier, 2005).

El documento US6001247 expone nuevamente un contactor compuesto por un compartimento de difusión provisto de un tubo vertical sumergido de flujo paralelo descendente de gas ozonado y de agua para introducir uniformemente el gas. El interior del tubo contiene elementos porosos coaxiales para distribuir el gas ozonado en forma de burbujas en el agua que circula en él.

El documento FR 2 776 942 detalla también un dispositivo de dispersión de un gas en un líquido por chorro sumergido. El dispositivo de dispersión está constituido por una boquilla emisora única de un chorro de líquido vertical dirigido hacia la parte inferior, por un tubo coaxial al chorro y por una placa de impacto localizada cerca del extremo inferior del tubo. El nivel de la dispersión se mantiene lo más cerca posible de la salida de la boquilla gracias al mantenimiento del nivel en el contactor próximo. El chorro producido por la boquilla aspira el gas admitido lateralmente en la boquilla y lo conduce al tubo simultáneamente con la dispersión que penetra del exterior hacia el interior del tubo gracias a espacios sumergidos El conjunto se dispersa en la masa del contactor próximo por impacto sobre la placa. Ninguna burbuja alcanza el volumen situado por debajo de la placa de donde se extrae el líquido que alimenta la boquilla gracias a una bomba. Como se comprenderá fácilmente, este dispositivo con boquilla emisora única es apropiado para la dispersión del gas en un contactor de volumen reducido, típicamente menos de un metro cúbico como se presenta. Este dispositivo es más difícil de construir a gran escala por la fragilidad aportada a la estructura por los orificios de recirculación que deben hacerse en el tubo descendente. Por último, el límite superior de la velocidad de inyección dado a 12 m/s es inaceptable en lo que respecta a la abrasión de los materiales para la construcción del tubo descendente. El documento DE 20 2006002983 describe un procedimiento y un dispositivo de acuerdo con los preámbulos de las reivindicaciones 1 y 9. El procedimiento de acuerdo con la invención tiene por objeto, sobre todo, evitar los numerosos inconvenientes de los contactores tubulares que funcionan con flujo paralelo de gas y de líquido capaces de producir un área de interfase considerable y descritos en el estado de la técnica anterior. Los principales inconvenientes se recuerdan a continuación:

- la pérdida de carga considerable ocasionada para producir la dispersión del gas;

- la limitación de funcionamiento de estos contactores con retenciones de la fase gaseosa dispersa a un 30%, o con relaciones volumétricas de gas/líquido de 0,5 a lo sumo, en el caso de sistemas con mezclador estático, eyector de chorro sumergido y eyector venturi con líquido motor en aplicación a escala industrial;

- la limitación de la altura de inmersión a menos de algunos metros como máximo para los eyectores de chorro sumergido que funcionan con retenciones gaseosas superiores a un 50% que corresponden a relaciones volumétricas de gas/líquido superiores a 1 mientras que la presión estática se beneficia de la transferencia de materia gas-líquido;

- la limitación de concepción de los chorros sumergidos a volúmenes y alturas de contactor reducidos como consecuencia de probables dificultades de ingeniería para la extrapolación de los sistemas a una escala mayor;

- la utilización de elementos de construcción tales como elementos de mezcladores estáticos, elementos helicoidales, boquillas de eyección de líquido sensibles al taponamiento por depósitos y que necesitan un mantenimiento incrementado;

- condiciones de funcionamiento en velocidad del líquido superior a 10 m/s inaceptables con respecto a la vida útil de los equipos;

- la escasa flexibilidad de los sistemas en lo que respecta a la variación de las condiciones de funcionamiento.

La invención también tiene por objeto permitir obtener una mezcla difásica con una relación volumétrica de gas/líquido superior a 0,3, sin consumir, sin embargo, demasiada energía y sin aplicar presiones de líquido elevadas, del orden de 4 bares. Es deseable, además, que el procedimiento y el dispositivo de dispersión sean fáciles de implementar y que su mantenimiento no se vuelva difícil por la presencia de partículas en el líquido. La invención se define por las características de las reivindicaciones 1 y 9. De acuerdo con la invención, el procedimiento de dispersión de gas en una corriente descendente de líquido se caracteriza porque:

- el líquido se distribuye en al menos un chorro dirigido hacia la parte inferior, preferentemente en una pluralidad de chorros;

- el gas se distribuye radialmente hacia el o los chorros de líquido para ser arrastrado por el líquido;

- y la mezcla de líquido-gas se canaliza en un tubo vertical de una corriente descendente.

De forma ventajosa, el gas se distribuye a una presión inferior a 2 bares, preferentemente inferior a 1,5 bares.

La velocidad de los chorros de líquido puede estar comprendida entre 4 y 10 m/s, preferentemente entre 6 y 8 m/s.

La sección transversal del tubo vertical es al menos igual a la superficie total de emisión de los chorros de líquido y, como máximo, igual a 2 veces esta misma superficie, estando comprendida preferentemente dicha sección transversal entre 1,2 y 1,5 veces la superficie total de emisión de los chorros.

De forma ventajosa, el líquido se dirige por encima de una placa horizontal que consta de una pluralidad de orificios en el interior de una zona, para fluir hacia la parte inferior en una pluralidad de chorros,

- el gas se distribuye radialmente hacia el interior de dicha zona de orificios para el líquido,

- la mezcla de líquido-gas se canaliza según una sección decreciente hasta reunirse con el tubo vertical de corriente descendente.

Preferentemente, la mezcla de líquido-gas se canaliza en el tubo vertical descendente durante al menos 0,2 segundos.

El gas inyectado puede seleccionarse entre aire, oxígeno, ozono, dióxido de carbono, inyectándose estos gases solos o en mezclas.

Preferentemente, el líquido es acuoso, incluyendo las aguas naturales dulces o saladas, las aguas residuales y más generalmente los efluentes acuosos, estando comprendidos en ellos las aguas de procedencia industrial en el sector de producción de agua para consumo.

Asimismo, la invención se refiere a un dispositivo de dispersión de gas en un líquido de acuerdo con la reivindicación 9, en particular para la implementación de un procedimiento tal como se define anteriormente, que consta de un conducto de entrada del líquido que va a tratarse. El dispositivo comprende:

- en la parte superior, de un cabezal de inyección unido al conducto de entrada y que comprende una cámara de mezcla en chorro líquido;

- y en la parte inferior, de un tubo vertical, preferentemente coaxial, de corriente difásica.

El cabezal de inyección comprende un compartimento con, en la parte inferior, una placa horizontal de distribución para el líquido perforada por al menos un orificio, y una cámara anular prevista bajo la placa en su periferia y que comprende al menos una abertura de distribución del gas siguiendo una dirección radial centrípeta,

- estando la cámara de mezcla, situada por debajo de la placa, en forma de una sección convergente de unión al tubo vertical descendente.

De forma ventajosa, el diámetro de los orificios de la placa es suficiente, en particular al menos igual a 10 mm, para evitar un taponamiento debido a partículas contenidas en el líquido, en particular aguas residuales.

El dispositivo consta de una entrada radial del gas en la cámara anular distribuidora, prolongándose a partir de un conducto de gas prolongándose más allá de la entrada radial para una posible salida al exterior.

Dicha salida al exterior es particularmente ventajosa, especialmente porque mejora la seguridad durante el transcurso del funcionamiento de dicho dispositivo, en particular durante una secuencia de parada del dispositivo. Durante dicha secuencia de parada, se empieza típicamente por evacuar el gas contenido en el dispositivo, reemplazándolo por aire exterior, mediante la prolongación, o tubería de salida de aire, de dicho conducto de gas. Típicamente, se abre progresivamente una válvula de escape a fin de introducir el aire exterior dentro de la cámara de mezcla por esta tubería de salida de aire, después se cierra una válvula de entrada de gas a fin de interrumpir la entrada de gas en la cámara de mezcla por dicho conducto de gas. La salida al exterior permite, de este modo, evitar todo fenómeno de implosión del dispositivo. Esto es especialmente muy ventajoso en los casos en que el gas introducido en la cámara de mezcla por el conducto de gas es peligroso, típicamente ozono.

Además, dicha salida al exterior permite respetar dichas restricciones de seguridad especialmente cuando el dispositivo realiza una inyección de gas en un nivel de agua situado a una altitud relativamente baja con respecto a la altitud del cabezal de inyección, es decir, cuando dicho tubo vertical descendente tiene una longitud relativamente considerable antes de su inmersión, por ejemplo 10 metros.

La salida al exterior permite también mejorar la flexibilidad del dispositivo durante una secuencia de arranque en el transcurso de la cual se inyecta un líquido en la cámara de mezcla por dicho conducto de entrada del líquido que va a tratarse. Típicamente, durante dicha secuencia de arranque, se abre la válvula de escape, permitiendo la evacuación de al menos una parte del gas presente en la cámara de mezcla. La salida al exterior permite también cerrar la entrada de gas hasta que se obtenga el régimen hidráulico deseado. Se abre entonces la entrada de gas y se cierra la válvula de escape.

La sección transversal del tubo vertical es al menos igual a la superficie total de los orificios de la placa y, como máximo, igual a 2 veces esta misma superficie, y está comprendida preferentemente entre 1,2 y 1,5 veces la superficie total de los orificios de la placa.

La longitud del tubo descendente puede estar comprendida entre 1 y 30 metros, y está comprendida preferentemente entre 1 y 15 metros.

La sección convergente de la cámara de mezcla puede ser troncocónica, estando comprendido el ángulo de inclinación de las generatrices del tronco de cono con respecto al eje entre 15 y 45.

El sistema de inyección objeto de la invención es un sistema de dispersión en chorro de gas en líquido hídrico mezclador e inyector con chorro. Dicho sistema se compone de un cabezal de inyección que comprende una cámara de mezcla en chorro líquido en la parte superior y de un tubo coaxial vertical en chorro difásico en la parte inferior, formando una tobera. Tiene la función de dispersar de forma homogénea el gas en forma de finas burbujas en un líquido motor como contactor de gas con líquido o a fin de ponerlo en contacto ulterior con la masa de líquido en un contactor próximo. Dicha dispersión de gas en líquido se produce por una retención gaseosa comprendida entre un 5 y un 70%, preferentemente entre un 30 y un 50%.

El cabezal de inyección está concebido a fin de funcionar con una premezcla del líquido y del gas en sentido ascendente por la tobera, volviéndose homogénea la mezcla a lo largo de la bajada por la tobera.

El gas y el líquido puede estar implicados ambos en toda la operación que requiere la formación de una dispersión de gas en líquido.

Preferentemente, el gas inyectado se seleccionará entre aire, oxígeno, ozono, dióxido de carbono, inyectándose estos gases solos o en mezclas.

Preferentemente, el líquido será acuoso, incluyendo las aguas naturales dulces o saladas, las aguas residuales y más generalmente los efluentes acuosos, estando comprendidos en ellos las aguas de procedencia industrial en la industria en el sector de producción de agua para consumo.

De acuerdo con un modo preferente de realización, el cabezal de inyección está alimentado por el líquido expulsado por un sistema de bombeo y el gas proveniente del sistema de distribución está a una presión igual o superior a la presión atmosférica. El cabezal de inyección realiza una premezcla del líquido y del gas como consecuencia de uno a varios chorros turbulentos de líquido emitidos en la corriente de gas admitida radialmente. Los chorros de líquido se producen gracias a un elemento de distribución en forma de chorros de gran velocidad, típicamente entre 4 y 10 m/s, preferentemente entre 6 y 8 m/s.

El elemento de distribución es preferentemente una placa de distribución con orificios. Una cámara de mezcla situada por debajo del elemento de distribución tiene como forma de sección superior la forma de la sección de la placa de distribución La cámara de mezcla tiene forma de tulipa o troncocónica convergente o cilíndrica o paralelepipédica.

La turbulencia de los chorros se ha demostrado por números de Reynolds superiores a 10^5. La emisión de los chorros líquidos produce una velocidad de fricción de interfase en el gas que puede alcanzar, de este modo, más de 0,3 m/s, es decir, una velocidad superior a la velocidad terminal de burbujas de gas del orden de 3 mm. Un diagrama de flujo del líquido muestra las líneas de caudal de líquido y pone de relieve las zonas de recirculación de líquido en el interior

de la cámara de mezcla igualmente llena de gas. Los chorros líquidos a gran velocidad cizallan, de este modo, el gas y aspiran las bolsas de gas producidas hacia el tubo descendente. Además, los chorros líquidos inician la transferencia de materia de gas a líquido. Considerando un tiempo de contacto medio de los chorros líquidos de 0,15 s, el coeficiente de transferencia es del orden de $1,10^{-4}$ m/s en función de la naturaleza del gas. El potencial de intercambio es igual a la concentración de equilibrio entre el gas y el líquido. Por ejemplo, en el caso del dióxido de carbono como gas a dispersar en agua y de chorros de distribución líquida a la velocidad de 10 m/s sobre una superficie total de 0,3 m^2 y de 1 m de altura, la cantidad de dióxido de carbono transferida se eleva a 0,3 kg/s.

La cámara de mezcla está seguida en la parte inferior de un tubo coaxial preferentemente cilíndrico. La sección del tubo es como mínimo igual a la superficie total de emisión de los chorros líquidos en la cámara de mezcla y como máximo igual a 2 veces esta misma superficie. La relación de estas superficies está preferentemente comprendida entre 1,2 y 1,5.

Es conocido en el estado de la técnica anterior que la corriente en el conducto vertical puede adoptar varias formas según las condiciones de funcionamiento y las dimensiones del conducto. La transición entre los diferentes regímenes funciona según la relación de los caudales de gas y líquido:

- La corriente de burbujas aparece para valores bajos de la relación de los caudales de gas y líquido. Se caracteriza por una fase líquida continua muy turbulenta con una dispersión homogénea de burbujas de gas de tamaño relativamente uniforme.

- Para relaciones de caudales de gas y líquido más elevados, se ponen en marcha los regímenes intermitentes de burbujas y de bolsas y agitados.

- Los regímenes de película y anular aparecen para relaciones volumétricas de gas y líquido muy elevadas.

El gráfico de corriente en conducto vertical depende, por orden de importancia: de las velocidades superficiales del gas y del líquido, del diámetro del conducto y de las propiedades de los fluidos.

En el presente caso, el dispositivo de dispersión de acuerdo con la invención vuelve homogénea la mezcla difásica durante el transcurso de la corriente de flujo paralelo descendente en el tubo coaxial al distribuidor de líquidos, como se ha constatado para una retención de gas de un 40%.

La longitud del tubo descendente puede alcanzar 30 metros a fin de promover la transferencia de materia al interior del tubo y, eventualmente, en el contactor próximo cuya altura corresponde con la altura útil del sistema de dispersión. La altura está preferentemente comprendida entre 1 y 25 m. Una retención gaseosa en el volumen difásico igual a un 50 % corresponde al apilamiento compacto de inclusiones de gas en el líquido. Por consiguiente, la consecución de un tamaño de burbujas homogéneo en el tubo descendente requiere cizallar nuevamente el volumen de gas aspirado como consecuencia de la turbulencia de la mezcla, mientras que la frecuencia de coalescencia de las burbujas es de hecho mayor si la retención gaseosa es elevada. La turbulencia de la mezcla se demuestra por niveles del número de Reynolds de la mezcla difásica superiores a 10^4. Esta turbulencia se mantiene aplicando una velocidad relativa del líquido igual a la velocidad del líquido de los chorros de distribución en la cámara de mezcla para la mejor continuidad de la corriente, es decir, típicamente entre 4 y 10 m/s. Esta velocidad tiene una tendencia a disminuir ligeramente en el transcurso de la bajada como consecuencia de la compresión del gas, como consecuencia de la columna de líquido y, como consecuencia de la transferencia de materia que se produce. El régimen se establece en el dominio de corriente de burbujas desde la parte superior del tubo. La calidad de la mezcla al comienzo del tubo descendente determina la presión necesaria para el gas inyectado.

En efecto, la presión de la mezcla de gas-líquido depende de la presión de salida de la tobera (principalmente depende de la altura de inmersión), de las pérdidas de carga y del peso de la columna de líquido en el sistema de inyección (que puede considerarse el componente estático). Resulta que un régimen de corriente de tipo de película de líquido anular tal como el observado en los primeros metros de un tubo provisto de una boquilla y sin premezcla del gas y del líquido que funciona con una retención gaseosa de un 40% impide la transmisión de presión estática hacia la parte inferior.

La pérdida de altura de líquido se traduce directamente en la necesidad de aumentar la presión del gas a su inyección. El dispositivo de acuerdo con la invención permite, por el contrario, una transmisión regular de la presión porque procura una buena calidad de dispersión desde el comienzo de la bajada por el tubo. El tamaño de las burbujas producidas se correlaciona con la energía disipada, dependiente por su parte de las tasas de retención locales y de las propiedades fisicoquímicas de los fluidos que componen la dispersión. Una dispersión de oxígeno en el agua a un 40% de gas se caracteriza por burbujas de diámetro medio igual a 2,5 mm a la salida del tubo de 10 mm de longitud.

El chorro difásico altamente concentrado en gas disuelto producido a la salida del tubo puede dispersarse de este modo en un contactor próximo o liberarse hacia la salida del reactor según el tiempo de contacto necesario para la absorción y, eventualmente, para la reacción implicada en la aplicación. El contactor próximo puede ser cualquier contactor conocido en la técnica anterior con corriente ascendente de gas.

La invención consiste, dejando de lado las disposiciones expuestas anteriormente, en un número determinado de otras disposiciones que se tratarán de forma más explícita a continuación a propósito de un ejemplo de realización descrito con referencia al dibujo anexo, pero que no es en absoluto limitativo. En este dibujo:

La Figura 1 es una vista esquemática de la parte superior en perspectiva del dispositivo de dispersión de acuerdo con la invención.

La Figura 2 es una vista esquemática en perspectiva según otro ángulo de visión y con partes cortadas del dispositivo de la Figura 1, y

La Figura 3 es una vista en perspectiva de la parte inferior del dispositivo de la Figura 1.

Remitiéndose al dibujo, se puede ver que el dispositivo de dispersión D comprende dos conjuntos: un cabezal de inyección H y un tubo P de dispersión en chorro, que forma una tobera. El cabezal de inyección H es la estructura que conecta las entradas de líquido y de gas, mezcla estos fluidos y dirige la mezcla resultante por el tubo descendente P.

El cabezal de inyección H está conectado al conducto de entrada de líquido 1 y comprende un compartimento B con, en la parte inferior, un elemento de distribución del líquido, preferentemente una placa 2 horizontal de distribución para el líquido, perforada con orificios 2a. El líquido fluye verticalmente por debajo de la placa, siguiendo los chorros esquematizados por las flechas A en la Figura 2.

Una canalización de entrada 4 del gas que va a inyectarse está conectada, por una caja radial 4a, a una cámara anular 5 situada bajo la placa 2 que rodea la periferia inferior. Una pared E que limita radialmente hacia el interior la cámara 5 consta de boquillas o de aberturas O de distribución del gas siguiendo direcciones radiales centrípetas representadas por las flechas F en la Figura 2.

Una cámara de mezcla 3 está situada bajo la placa 2. La cámara de mezcla 3 es preferentemente en forma de tulipa o troncocónica convergente, pero podría ser en forma cilíndrica o paralelepipédica.

En el caso en que la cámara 3 está en forma troncocónica convergente hacia la parte inferior, la inclinación de las generatrices del cono con respecto al eje geométrico está comprendida preferentemente entre 15 y 45. La cámara 3 garantiza la conexión al tubo vertical descendente P, preferentemente coaxial y cilíndrico.

Un sistema 6 de salida al exterior para la fase de arranque está previsto en el extremo del conducto 4 más allá de la conexión con la cámara anular 5. Una válvula de escape, no representada, está prevista en el sistema 6, así como una válvula de entrada de gas no representada.

El tubo P de dispersión en chorro se describe hidráulicamente como una sección recta del conducto vertical.

El funcionamiento del dispositivo es el siguiente:

La secuencia de arranque del dispositivo, integrado a un contactor próximo no representado, permite comprender mejor la concepción general del dispositivo en su integridad.

- Cuando se para el dispositivo o sistema, el nivel de agua en el interior del tubo sumergido P es igual al nivel de agua en el exterior. Por encima de este nivel, la cámara de mezcla 3 y el tubo P se llenan de gas.

- La alimentación en líquido se arranca según un caudal igual a la tercera parte del caudal de funcionamiento deseado. El líquido llena la canalización 1 de la alimentación del sistema.

- La placa de distribución 2 produce chorros de líquido a poca velocidad.

- El sistema de salida al exterior 6 permite evacuar el gas inicialmente contenido en el cabezal de inyección y las bolsas de gas causadas por el arranque en sentido ascendente en la parte superior del tubo P.

- Cuando el caudal de purga se convierte en inexistente, la válvula del conducto de salida de aire del sistema de salida al exterior 6 se invierte progresivamente hacia la alimentación de gas por el conducto 4 y el sistema puede entrar en producción.

- El caudal de líquido se lleva a su valor de funcionamiento.

- En régimen estacionario, la mezcla de gas y de agua formada en la cámara 3 circula hacia la parte inferior del tubo.

La secuencia de parada del dispositivo de dispersión se articula como sigue:

- La primera etapa consiste en evacuar el gas contenido en el dispositivo remplazándolo por aire exterior o un gas inerte. Para ello, la válvula de escape del sistema 6 se abre progresivamente al aire exterior o un gas inerte, después de lo cual se cierra la válvula de entrada de gas del sistema 6.

- El dispositivo continúa funcionando, se reemplaza la totalidad del gas presente.

- Después de un breve periodo correspondiente a la renovación por 5 veces del volumen total del dispositivo, el dispositivo puede pararse en condiciones completamente seguras, disminuyendo progresivamente el caudal de agua.

Aunque las descripciones anteriores relativas al arranque y la parada del dispositivo mencionan varias veces la variación progresiva de las condiciones de funcionamiento en el caudal de gas y de líquido, cabe destacar que el dispositivo en capaz de reaccionar correctamente a variaciones bruscas de las condiciones, derivadas, por ejemplo, de un corte de corriente o de cualquier otro evento capaz de producir una parada no programada.

Este dispositivo permite garantizar una entrada de gas considerablemente variable comprendida entre 0,01 y 2 (si se expresa como relación de los caudales de gas y de líquido volumétrica), al mejor coste como consecuencia de la reducción de presión necesaria, para producir una dispersión homogénea de gas en el líquido apta para garantizar la transferencia de las cantidades de materia requeridas.

Simultáneamente, ofrece como ventajas:

- la seguridad y estabilidad de funcionamiento;
- la rapidez de ejecución de las etapas de arranque y puesta en marcha;
- la duración potencial de funcionamiento (corrosión, mantenimiento, ...).

Este dispositivo resuelve los inconvenientes de los sistemas descritos en el estado de la técnica anterior y es además capaz de reemplazar la totalidad o parte de los sistemas de inyección y de difusión de gas de contactores de tipo columnas de burbujas, de los sistemas de inyección de gas y de agitación de contactores agitados. Los contactores que se derivan de ello tienen un rendimiento mucho mayor tanto desde el punto de vista técnico como económico.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de dispersión de gas en una corriente descendente de líquido, en el cual:

- el líquido se distribuye en al menos un chorro dirigido hacia la parte inferior (A), preferentemente en una pluralidad de chorros;
- el gas se distribuye radialmente (F) hacia el o los chorros de líquido para ser arrastrado por el líquido;
- y la mezcla de líquido-gas se canaliza en un tubo vertical (P) de corriente descendente, implementándose el procedimiento mediante un dispositivo que consta:
    - de un conducto de entrada (1) del líquido que va a tratarse,
    - en la parte superior, de un cabezal de inyección (H) unido al conducto de entrada y que comprende una cámara de mezcla (3) en chorro líquido;
    - y en la parte inferior, de un tubo vertical (P), preferentemente coaxial, de corriente difásica,
    - comprendiendo el cabezal de inyección (H) un compartimento (B) con, en la parte inferior, una placa (2) horizontal de distribución para el líquido, perforada por al menos un orificio (2a), y una cámara anular distribuidora (5) prevista bajo la placa (2) en su periferia, y que consta al menos de una abertura de distribución del gas siguiendo una dirección radial centrípeta (F),
    - una cámara de mezcla (3), situada por debajo de la placa, **caracterizada porque** la cámara de mezcla es en forma de sección convergente de unión con el tubo vertical (P) descendente y **porque** el dispositivo consta de una entrada radial (4a) del gas en la cámara anular distribuidora (5), a partir de un conducto de gas (4) que se prolonga (6) más allá de la entrada radial para una posible salida al exterior.

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** el gas se distribuye a una presión inferior a 2 bares, preferentemente inferior a 1,5 bares.

3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** la velocidad del o de los chorros de líquido (A) está comprendida entre 4 y 10 m/s, preferentemente entre 6 y 8 m/s.

4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la sección transversal del tubo vertical (P) es al menos igual a la superficie total de emisión de los chorros de líquido (A) y, como máximo, igual a 2 veces esta misma superficie, estando comprendida preferentemente dicha sección transversal entre 1,2 y 1,5 veces la superficie total de emisión de los chorros.

5. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque**:

- el líquido se dirige por encima de una placa (2) horizontal que consta de una pluralidad de orificios (2a) al interior de una zona, para extenderse hacia la parte inferior en una pluralidad de chorros de líquido,
- el gas se distribuye radialmente por debajo y hacia el interior de dicha zona de orificios para el líquido,
- la mezcla de líquido-gas se canaliza según una sección decreciente hasta reunirse con el tubo vertical (P) de corriente descendente.

6. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la mezcla de líquido-gas se canaliza en el tubo vertical (P) descendente durante al menos 0,2 segundos.

7. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el gas inyectado se selecciona entre aire, oxígeno, ozono, dióxido de carbono, inyectándose estos gases solos o en mezclas.

8. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el líquido es acuoso, incluyendo aguas naturales dulces o saladas, aguas residuales y más generalmente efluentes acuosos, estando comprendidos en ellos aguas de procedencia industrial en el sector de producción de agua de consumo.

9. Dispositivo de inyección de gas en un líquido, en particular para la implementación de un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que consta de un conducto de entrada (1) del líquido que va a tratarse, que consta:

- en la parte superior, de un cabezal de inyección (H) unido al conducto de entrada y que consta de una cámara de mezcla (3) en chorro líquido;
- en la parte inferior, de un tubo vertical (P), preferentemente coaxial, de corriente difásica;

- comprendiendo el cabezal de inyección (H) un compartimento (B) con, en la parte inferior, una placa (2) horizontal de distribución para el líquido perforada por al menos un orificio (2a), y una cámara anular distribuidora (5) prevista bajo la placa (2) en su periferia, y que consta al menos de una abertura de distribución del gas siguiendo una dirección radial centrípeta (F),

- la cámara de mezcla (3), situada por debajo de la placa, **caracterizada porque** la cámara de mezcla es en forma de sección convergente de unión con el tubo vertical (P) descendente y **porque** el dispositivo consta de una entrada radial (4a) del gas en la cámara anular distribuidora (5), a partir de un conducto de gas (4) que se prolonga (6) más allá de la entrada radial para una posible salida al exterior.

10. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado porque** el diámetro de los orificios de la placa es suficiente, en particular al menos igual a 10 mm, para evitar un taponamiento debido a partículas contenidas en el líquido, en particular en las aguas residuales.

11. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 9 o 10, **caracterizado porque** la sección transversal del tubo vertical es al menos igual a la superficie total de los orificios (2a) de la placa y, como máximo, igual a 2 veces esta misma superficie, y está comprendida preferentemente entre 1,2 y 1,5 veces la superficie total de los orificios (2a) de la placa.

12. Dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, **caracterizado porque** la longitud del tubo descendente (P) está comprendida entre 1 y 25 metros.

13. Dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, **caracterizado porque** el cono de la cámara de mezcla (3) es troncocónico, estando comprendido el ángulo de inclinación de las generatrices del tronco de cono con respecto al eje entre 15° y 45°.

FIG. 1

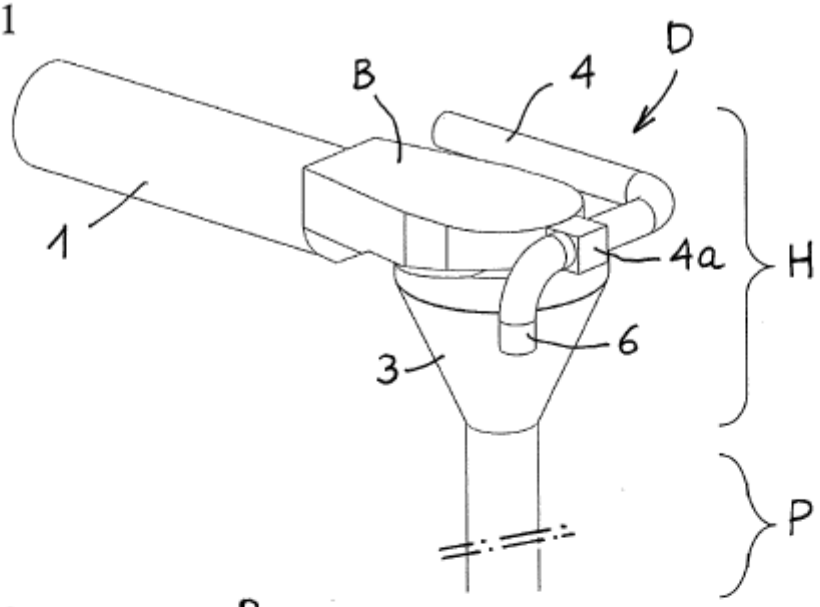


FIG. 2

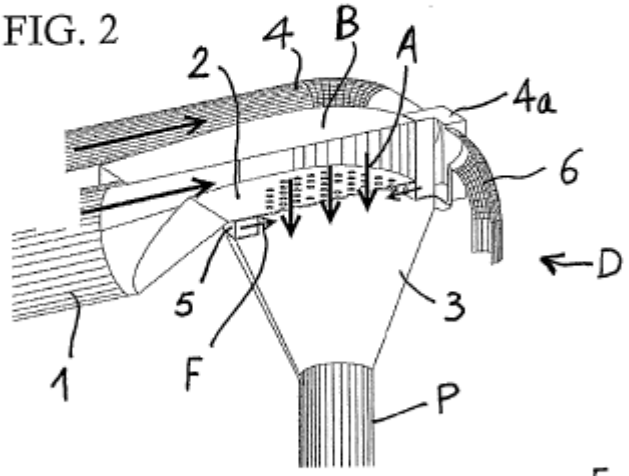
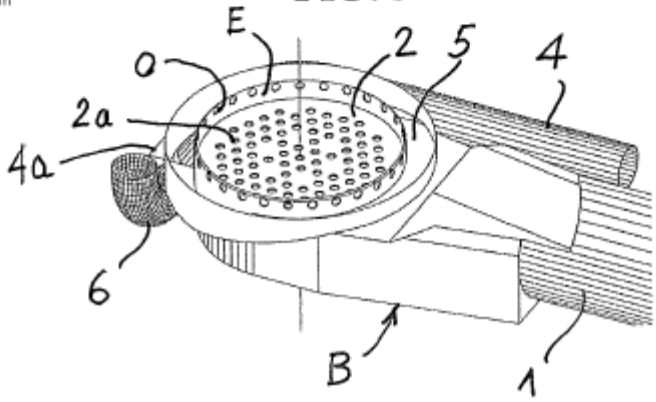


FIG. 3



REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

La lista de referencias citadas por el solicitante es, únicamente, para conveniencia del lector. No forma parte del documento de patente europea. Si bien se ha tenido gran cuidado al compilar las referencias, no pueden excluirse errores u omisiones y la OEP declina toda responsabilidad a este respecto.

Documentos de patente citados en la descripción

- WO 2012025214 A **[0009]**
- WO 2013082132 A **[0010]**
- EP 0086019 A **[0011]**
- FR 2762232 **[0012]**
- FR 2545732 **[0012]**
- US 6001247 A **[0013]**
- FR 2776942 **[0014]**
- DE 202006002983 **[0014]**

Literatura no patente citada en la descripción

- **M. ROUSTAN.** Transferts gaz-liquide dans les procédés de traitement des eaux et des effluents gazeux. 2003 **[0008]**
- **PIERRE TRAMBOUZE.** Réacteurs chimiques - Technologie, J4020. 1993 **[0008]**
- **DEGRÉMONT.** Mémento Technique de l'eau. 2005 **[0012]**