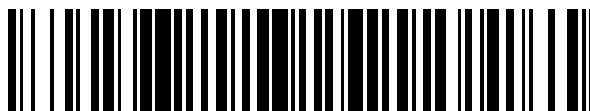


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 460 016**

51 Int. Cl.:

C02F 1/72 (2006.01)

C02F 101/30 (2006.01)

C02F 1/78 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.03.2011** **E 11158304 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.04.2014** **EP 2366671**

54 Título: **Aparato y método para la disolución de ozono en agua y la oxidación catalítica**

30 Prioridad:

18.03.2010 US 726702

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

13.05.2014

73 Titular/es:

**AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. (100.0%)
7201 HAMILTON BOULEVARD
Allentown, PA 18195-1501, US**

72 Inventor/es:

DHOLAKIA, VIPUL P.

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 460 016 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

Aparato y método para la disolución de ozono en agua y la oxidación catalítica

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

El ozono es un potente desinfectante y se utiliza para oxidar impurezas orgánicas biodegradables del agua potable. Es útil en la eliminación de los compuestos causantes del sabor y el olor que se producen debido a las algas azules-verdes en el agua superficial. Asimismo, se utiliza ozono para el tratamiento terciario a efectos de eliminar las trazas de impurezas del agua residual municipal filtrada, antes de reutilizarla como agua potable indirecta o de ser descargada a zonas medioambientalmente sensibles. Para las impurezas orgánicas sintéticas tales como MTBE, TCE, 1,4 dioxano, etc., encontradas típicamente en lugares con agua subterránea químicamente contaminada, se usa un proceso de oxidación avanzado.

Se puede utilizar ozono, en combinación con peróxido de hidrógeno y/o catalizadores, para producir radicales hidroxilo que oxidan las impurezas orgánicas más resistentes. Los radicales hidroxilo se producen por la reacción entre el ozono y el peróxido de hidrógeno o un catalizador en la fase acuosa. Este tipo de tratamiento se denomina, en la industria, proceso "de oxidación avanzada".

El gas de ozono se produce comúnmente en un generador basado en descargas en corona, a partir de aire o de oxígeno de alta pureza. La concentración típica de ozono en fase gaseosa varía desde el 3 al 14%, dependiendo de la potencia del generador y la concentración de oxígeno en la alimentación de gas utilizada para la generación de ozono. Los procesos de tratamiento de agua basados en ozono dependen de la transferencia de ozono desde la fase gaseosa hasta la fase acuosa, para la oxidación de impurezas orgánicas. Se han utilizado diversos procesos para transferir ozono desde la fase gaseosa hasta la fase líquida con el fin del tratamiento de agua.

Uno de dichos procesos conocidos es con un reactor de columnas o cubetas de burbujeo, que comprende una gran columna o cubeta y unos difusores de gas situados en la parte inferior de la columna o cubeta. La columna o cubeta está llena de agua y el gas de ozono se introduce a través de los difusores de gas. Finas burbujas de gas de ozono suben a través del agua en la columna o cubeta, lo que favorece la disolución del ozono en el agua (denominada asimismo en esta memoria "transferencia de ozono"). El rendimiento de la transferencia de ozono se puede mejorar capturando y haciendo recircular ozono no disuelto desde la parte superior de la columna o cubeta y/o haciendo pasar el ozono a través de una serie de columnas o cubetas utilizando tabiques. Un problema con este método de disolución es que los poros de difusión del difusor de gas se atascan típicamente con el paso del tiempo, lo que afecta de forma desfavorable al comportamiento. Otro problema con un proceso de transferencia de ozono basado en difusores es que se requieren cubetas grandes y profundas para una transferencia eficaz del ozono al agua. Además, los procesos de transferencia de ozono basados en difusores son métodos relativamente ineficientes para dicha transferencia de ozono.

Otro método conocido de transferencia de ozono es la utilización de un inyector venturi, en el que el agua circula a través del dispositivo venturi y el gas de ozono se inyecta en la garganta de dicho dispositivo venturi. Este método basado en dispositivos venturi solamente se puede utilizar en sistemas con caudales de agua relativamente bajos. En sistemas que funcionan con caudales relativamente grandes, una parte del agua puede ser desviada hacia el interior de una "corriente deslizante" en la que está situado el venturi. La corriente deslizante se vuelve a inyectar a continuación en la corriente principal y se mezcla en dicha corriente principal mediante un flujo turbulento. Típicamente, el método de dispositivos venturi con corriente desviada solamente es eficaz para transferencia de ozono en dosis relativamente bajas (por ejemplo, 10 mg/l o menos).

En otra variación de la transferencia de ozono basada en dispositivos venturi, se pueden utilizar máquinas mezcladoras estáticas, aguas abajo del inyector, para conseguir la mezcla adicional de ozono en la fase acuosa. El sistema es más sencillo de diseñar dado que no tiene partes móviles. Pero la dispersión de la mezcla y el gas para una transferencia de ozono satisfactoria a través de una máquina mezcladora estática requiere un flujo altamente turbulento de gas y líquido. Esto conduce a una caída superior de presión y solamente puede funcionar en una estrecha gama de caudales de agua y gas.

Se han realizado intentos de llevar a cabo la transferencia de ozono utilizando dispositivos contactores de turbina, que funcionan aspirando gas a través de ejes de turbina huecos y de dispositivos agitadores. Los dispositivos contactores de turbina no parecen ser muy adecuados para las aplicaciones de transferencia de ozono por varias razones. Si se comparan con los métodos de transferencia de ozono descritos anteriormente, los dispositivos contactores de turbina tienen requisitos de potencia relativamente altos. Además, la relación entre el gas de ozono y el agua que entra en el dispositivo contactor de turbina se debe mantener relativamente constante para un funcionamiento eficiente, lo que limita la capacidad para ajustar la dosificación de ozono. Los dispositivos contactores de turbina no son muy adecuados para la ozonización catalítica porque el catalizador en polvo taponará los canales a través de los que se aspira el gas de ozono.

El documento EP-A-0625482 enseña un proceso en el que una corriente en dos fases de agua y gas de ozono se hace pasar a través de una columna de relleno, tal como un lecho de alúmina activada, estando compuesto dicho

lecho, por ejemplo, por partículas granulares que varían en tamaño desde aproximadamente 500 μm hasta 15 mm. No obstante, las columnas de relleno se utilizan raramente en la transferencia de ozono puesto que este tipo de reactor tiene un rendimiento muy bajo para dicha transferencia de ozono y, por lo tanto, se requiere una columna muy alta para conseguir una dosificación de ozono típica. Las columnas de relleno tienen asimismo un bajo volumen vacío, que limita el caudal de agua a través de una columna de diámetro dado. Las columnas de relleno se pueden utilizar para reacciones catalíticas de lecho fijo con ozono pero, debido al bajo rendimiento de la transferencia de masa de ozono, son caras de construir y de hacer funcionar.

Se han utilizado chorros incidentes para mejorar la mezcla entre las fases gaseosa y líquida en sistemas de transferencia de ozono. En dichos sistemas, un chorro a alta velocidad de flujo en dos fases impacta con otro chorro o con una superficie estacionaria. Una parte del agua se puede reciclar mediante los chorros. Además, el ozono no disuelto se puede capturar aguas abajo en un separador de fases y reciclar mediante los chorros. Los chorros incidentes se pueden utilizar como el único reactor de mezcla o se pueden utilizar en combinación con otros reactores de mezcla. El diseño y funcionamiento de un sistema de transferencia de ozono que incluye chorros incidentes es complejo debido a la necesidad de situar con precisión las zonas de impacto. Además, los chorros tienen requisitos de potencia relativamente altos y el régimen de caudales que se pueden conseguir mediante este tipo de sistemas es limitado. Un ejemplo de un proceso que utiliza chorros incidentes es el proceso enseñado en el documento WO-A-97/14657, en el que una corriente en fase mezclada de agua y gas de ozono se hace pasar a través de un contactor de gas-líquido para efectuar la disolución del ozono en el agua, favoreciéndose dicha disolución del ozono al llevar dos chorros de flujo en dos fases a que contacten entre sí desde sentidos opuestos.

En consecuencia, existe la necesidad de un método mejorado de transferencia de ozono que supere las desventajas de los métodos de la técnica anterior.

BREVE SUMARIO DE LA INVENCION

En un aspecto, la invención comprende un método para tratar agua, comprendiendo el método:

introducir una corriente de gas, que contiene gas de ozono, más preferentemente, al menos, el 3% de gas de ozono, en una corriente de pretratamiento, que comprende agua, en un punto de inyección, dando como resultado una corriente en fase mezclada que comprende gas de ozono y agua;
hacer pasar la corriente en fase mezclada a través de un monolito situado aguas abajo del punto de inyección, dando como resultado un producto de reacción en el que, al menos, una parte del gas de ozono se disuelve en el agua;
separar de una cantidad en fase líquida del producto de reacción cualquier gas de ozono no disuelto en dicho producto de reacción; y
retirar una corriente de efluente que comprende, al menos, una parte de la cantidad en fase líquida del producto de reacción;
en el que el monolito comprende una pluralidad de canales paralelos que se extienden, cada uno, a través de dicho monolito desde aguas arriba hasta su extremo aguas abajo, estando dispuesta la pluralidad de canales paralelos con una densidad de entre 15 y 190 canales por centímetro cuadrado (100 y 1.200 canales por pulgada cuadrada), y el flujo de gas-líquido a través del monolito es laminar.

El método puede comprender además hacer recircular, al menos, parte de la cantidad en fase líquida del producto de reacción hacia el interior de la corriente de pretratamiento.

El método puede comprender además: recuperar en un recipiente separador el producto de reacción desde el monolito; y retirar del recipiente separador la cantidad en fase líquida del producto de reacción.

El método puede comprender además mantener en el recipiente separador una cantidad en fase líquida del producto de reacción suficiente para cubrir un extremo de salida del monolito.

El método puede comprender además hacer pasar la corriente en fase mezclada a través de una máquina mezcladora estática, aguas arriba del monolito y aguas abajo del punto de inyección.

El método puede comprender además introducir peróxido de hidrógeno en la corriente de pretratamiento o en fase mezclada, aguas arriba del monolito.

El método puede comprender además: desviar una parte de una corriente de agua para formar una corriente de afluente; formar toda o parte de la corriente de pretratamiento a partir de la corriente de afluente; e inyectar la corriente de efluente en la corriente de agua, aguas abajo de la corriente de afluente.

Preferentemente, la corriente en fase mezclada se hace pasar a través del monolito a una velocidad del líquido que está entre 0,2 m/s y 1,0 m/s.

Preferentemente, la corriente en fase mezclada se suministra al monolito por encima de la presión atmosférica.

El monolito puede estar impregnado con un catalizador, de manera que haciendo pasar la corriente en fase mezclada a través del monolito se tiene como resultado, al menos, que una parte del gas de ozono se disuelve en el agua y, al menos, que una parte del gas de ozono disuelto se transfiere a la superficie del catalizador para su reacción. Preferentemente, el catalizador es un catalizador de oxidación.

En otro aspecto, la invención comprende un sistema de tratamiento de agua, que comprende:

una conducción de suministro de agua;
un generador de ozono para generar una corriente de gas de salida que contiene ozono;
una conducción de suministro de ozono que está configurada para llevar la corriente de gas de salida desde el generador de ozono y para conectarse, en un punto de inyección, a la conducción de suministro de agua;
un monolito con un extremo de salida y un extremo de entrada que está aguas abajo del punto de inyección y está en comunicación de fluido con la conducción de suministro de agua;
un recipiente que está en comunicación de fluido con el extremo de salida del monolito;
una conducción de purga de gas situada sobre el recipiente;
una conducción de salida del recipiente situada sobre dicho recipiente, para extraer líquido del recipiente, estando situada la conducción de salida del recipiente por debajo de la conducción de purga de gas; y
una abertura del efluente situada sobre la conducción de salida del recipiente;
en el que el monolito comprende una pluralidad de canales paralelos que se extienden, cada uno, a través de dicho monolito desde aguas arriba hasta su extremo aguas abajo, estando dispuesta la pluralidad de canales paralelos con una densidad de entre 15 y 190 canales por centímetro cuadrado (100 y 1.200 canales por pulgada cuadrada), de manera que el flujo de gas-líquido a través del monolito es laminar.

El extremo de salida del monolito puede estar situado dentro del recipiente.

El sistema de tratamiento de agua puede comprender además una conducción de reciclaje que está configurada para devolver, al menos, algo del líquido desde la conducción de salida del recipiente hasta la conducción de suministro de agua.

El sistema de tratamiento de agua puede comprender además una bomba, en comunicación de fluido con la conducción de suministro de agua, para proporcionar un flujo a presión de agua a través de dicha conducción de suministro de agua.

El sistema de tratamiento de agua puede comprender además una abertura del peróxido de hidrógeno que está en comunicación de fluido con la conducción de agua y está conectada a un suministro de peróxido de hidrógeno.

El sistema de tratamiento de agua puede comprender además una conducción de reciclaje de ozono que está configurada para desviar, al menos, una parte del gas recogido desde la conducción de purga de gas hasta la conducción de suministro de ozono.

El monolito puede estar impregnado con un catalizador. Preferentemente, el catalizador es un catalizador de oxidación.

BREVE DESCRIPCIÓN DE VARIAS VISTAS DE LOS DIBUJOS

La figura 1 es un diagrama esquemático de una realización a título de ejemplo de la presente invención;
la figura 2 es una vista en corte parcial según la línea 2-2 de la figura 1;
la figura 3 es un diagrama esquemático que muestra una configuración de conexión a título de ejemplo para un sistema de tratamiento de agua; y
la figura 4 es un diagrama esquemático que muestra una segunda configuración de conexión a título de ejemplo para un sistema de tratamiento de agua.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES DE LA INVENCION

A menos que se indique de otro modo en esta memoria, se debería entender que cualquier porcentaje y todos los porcentajes identificados en la descripción, los dibujos y las reivindicaciones son en base a un porcentaje en peso.

A menos que se indique de otro modo en esta memoria, se debería entender que cualquier presión y todas las presiones identificadas en la descripción, los dibujos y las reivindicaciones significan presión manométrica.

Como se utiliza en la descripción y en las reivindicaciones, la expresión “en comunicación de fluido” está destinada a significar que dos o más elementos están conectados (directa o indirectamente) de manera que se permite que los fluidos circulen entre los elementos, incluyendo conexiones que pueden contener válvulas, compuertas u otros dispositivos que pueden restringir selectivamente el flujo de fluido.

Como se utiliza en la descripción y en las reivindicaciones, todas las expresiones “transferencia de ozono”, “transferencia de masa de ozono” y “disolución de ozono” están destinadas a hacer referencia a la disolución de gas de ozono en agua.

A efectos de ayudar a describir la invención, se pueden utilizar términos de dirección (por ejemplo, superior, inferior, izquierdo, derecho, etc.) en la descripción y en las reivindicaciones, para describir partes de la presente invención. Dichos términos de dirección están destinados simplemente a ayudar a describir y reivindicar la invención y no están destinados a limitarla de modo alguno.

Como se utiliza en esta memoria, se pueden usar letras para identificar las etapas de un método o proceso (por ejemplo, (a), (b) y (c)). Dichas letras se utilizan para ayudar a hacer referencia a las etapas del método y no están destinadas a indicar el orden en el que se realizan las etapas, a menos que dicho orden esté enumerado específicamente y sólo hasta el grado que así lo esté.

En la figura 1 se muestra esquemáticamente un sistema 10 de tratamiento de agua, a título de ejemplo. En el sistema 10, una corriente 12 de alimentación de caudal introduce agua a tratar en una conducción de pretratamiento 16. La conducción de pretratamiento 16 incluye una bomba 14 que hace circular agua a través de la conducción de pretratamiento 16. Un subsistema 18 de generación de ozono genera ozono y una conducción 20 de alimentación de ozono, que está situada justo aguas arriba de una sección de mezcla 22, introduce en un punto de confluencia 21 dicho ozono en la conducción de pretratamiento 16. La introducción del gas de ozono en la conducción de pretratamiento 16 se puede conseguir utilizando cualquier inyector adecuado. Por ejemplo, se podrían utilizar una boquilla de gas, una boquilla pulverizadora o un inyector venturi.

En este ejemplo, el subsistema 18 de generación de ozono comprende un generador de ozono con descarga en corona. El generador de ozono incluye una conducción de alimentación de aire ambiente, de aire enriquecido con oxígeno o de oxígeno puro, dependiendo de la concentración de ozono deseada en la conducción 20 de alimentación de ozono. En este ejemplo, se prevé una conducción de alimentación que comprende, al menos, el 90% de oxígeno. Un generador típico de ozono con descarga en corona convierte aproximadamente del 4 al 13% del oxígeno en el gas de alimentación en ozono. En consecuencia, la corriente de gas de salida desde el subsistema 18 de generación de ozono contendrá no menos del 3% de ozono bajo condiciones de funcionamiento normales. En otras realizaciones, se podría utilizar cualquier método alternativo adecuado para generar ozono.

Una mezcla de gas de ozono (desde la conducción 20 de alimentación de ozono) y agua desde la conducción de pretratamiento 16 entra a continuación en la sección de mezcla 22. En este ejemplo, la sección de mezcla comprende un monolito 26 alveolar. Haciendo referencia a las figuras 1 y 2, el monolito 26 comprende una estructura unitaria que tiene unas paredes 30 que definen unos canales paralelos 28, que llenan preferentemente el área en sección transversal de dicho monolito 26. En este ejemplo, las paredes 30 están formadas por un material cerámico. Cordierita, ceria-zirconia, alúmina, carbono y dióxido de titanio son ejemplos de otros materiales de sustrato adecuados para las paredes 30. Metales, tales como acero inoxidable, serían asimismo materiales de sustrato adecuados para las paredes 30.

Las paredes 30 están destinadas preferentemente a estar impregnadas con un catalizador para aplicaciones de tratamiento de agua en las que se desean reacciones catalíticas, como es el caso de la oxidación catalítica de impurezas orgánicas tales como nitrobenzeno, agua residual con colorante de anilina, fenol, polifenol, etc. Los ejemplos de catalizadores de oxidación comunes incluyen carbono, paladio, hierro, óxido de titanio, cobre, manganeso, magnesio, rutenio y plata.

La mezcla de gas-líquido se suministra preferentemente al monolito 26 a una presión elevada (es decir, por encima de la presión atmosférica), lo que aumenta el rendimiento de la transferencia de ozono. Es preferible asimismo que la presión en la conducción de pretratamiento 16 sea aproximadamente igual a la presión a la que el generador de ozono suministra gas a la conducción 20 de alimentación de ozono. La diferencia de presión aceptable entre la conducción de pretratamiento 16 y la conducción 20 de alimentación de ozono dependerá de la velocidad del líquido en la conducción de pretratamiento 16 y del caudal deseado de ozono desde la conducción 20 de alimentación de ozono hacia el interior de dicha conducción de pretratamiento 16.

La mayoría de los generadores de ozono comerciales producen una corriente de gas de salida a una presión de 100 a 210 kPa (15 a 30 libras por pulgada cuadrada). Las presiones normales de la corriente de gas de salida son inferiores para los generadores de ozono con descargas en corona, en los que el rendimiento de la generación de ozono empieza a resentirse si la presión de la corriente de gas de salida excede los 100 kPa (15 psi). En este ejemplo, el intervalo de presión preferente para la conducción de pretratamiento 16 está entre 35 y 350 kPa (5 y 50 libras por pulgada cuadrada). Evidentemente, el intervalo preferente cambiará a medida que lleguen a estar disponibles comercialmente generadores de ozono capaces de funcionar a presiones superiores de la corriente de gas de salida.

En este ejemplo, tanto la forma global en sección transversal del monolito 26 como la de los canales 28 son hexagonales. Son posibles muchas formas alternativas y el monolito 26 y los canales 28 no tienen que tener la misma forma. Por ejemplo, la forma global en sección transversal del monolito 26 podría ser circular y la de los canales 28 podría ser cuadrada. Las especificaciones preferentes para el monolito 26 en una aplicación específica dependerán de varios factores de funcionamiento, incluyendo (pero sin estar limitados a) los intervalos de

dosificación deseada de ozono y catalizador, así como el intervalo esperado de caudales de agua. En este ejemplo, la velocidad del agua que circula a través del monolito 26 está preferentemente en el intervalo de 0,2 m/s a 1,0 m/s y, más preferentemente, en el intervalo de 0,3 m/s a 0,6 m/s, para reducir la caída de presión a través del monolito 26 y conseguir un nivel deseado del rendimiento de la transferencia de ozono.

El área en sección transversal de cada canal y el número total de canales se seleccionan preferentemente para proporcionar una velocidad del flujo de agua a través del monolito 26, dentro de los intervalos preferentes expuestos en el párrafo anterior. El monolito 26 tiene unos canales paralelos 28 con una densidad de entre 15 y 190 canales por centímetro cuadrado (100 y 1.200 canales por pulgada cuadrada) y, más preferentemente, entre 30 y 95 canales por centímetro cuadrado (200 y 600 canales por pulgada cuadrada). Debido a los estrechos canales de flujo 28 de la sección de mezcla del monolito 26, el flujo de gas-líquido es laminar por naturaleza. Esto reduce la caída de presión a través del monolito 26, al tiempo que sigue proporcionando un contacto de gas-líquido satisfactorio debido a un movimiento de circulación de fluido en el interior de los canales 28.

Opcionalmente, la sección de mezcla 22 podría incluir asimismo una máquina mezcladora estática (no mostrada), que podría estar situada entre la conducción 20 de alimentación de ozono y el monolito 26 alveolar cerámico, para proporcionar una distribución más uniforme de burbujas de gas de ozono en el agua antes de entrar en el monolito 26.

Un extremo de descarga 32 del monolito 26 está situado preferentemente dentro de un recipiente separador 34 de fase de gas-líquido y, más preferentemente, por debajo o ligeramente por encima de la conducción de agua 36 en el recipiente 34. Este diseño permite que la sección de mezcla 22 del sistema 10 sea muy compacta, con una pequeña zona de recepción. El flujo hacia abajo de la mezcla de gas-agua que sale del extremo de descarga 32 del monolito 26 hará que el volumen de agua penetre en el recipiente separador 34 y creará una transferencia adicional de la mezcla y el ozono. Puesto que la velocidad de flujo en el extremo de descarga 32 es relativamente baja y es generalmente laminar, se reducirán la profundidad a la que las burbujas de gas penetran por debajo de la conducción de agua 36 en el recipiente 34 y la retención de finas burbujas en la fase líquida. Esto ayuda a una fácil separación de gas-líquido.

En este ejemplo, el sistema 10 está configurado de manera que la mezcla de gas-líquido circula hacia abajo a través del monolito 26. En otras realizaciones, el monolito 26 podría estar orientado para un flujo hacia arriba u horizontal. Se debe hacer notar que las orientaciones del flujo hacia arriba y horizontal son más prácticas en aplicaciones en las que es reducida la demanda de ozono y, por lo tanto, la relación de gas-líquido de la mezcla que entra en el monolito 26. La longitud del monolito 26 se puede seleccionar para conseguir un rendimiento deseado de la transferencia de masa de ozono, resultando un rendimiento superior de un monolito 26 más largo.

El gas que se recoge en el recipiente 34 es evacuado a una conducción 40 de purga de gas que está conectada preferentemente a una unidad 42 de destrucción de ozono. La unidad 42 de destrucción de ozono convierte cualquier cantidad de ozono restante, desde la conducción 40 de purga de gas, en oxígeno y evacúa el gas de oxígeno a la atmósfera. Opcionalmente, una conducción 44 de reciclaje de gas puede hacer recircular gas desde el recipiente 34 hasta el subsistema 18 de generación de ozono (aguas arriba o aguas abajo del generador de ozono).

Se extrae agua tratada del recipiente 34 a través de una conducción de salida 38 situada en el extremo inferior del dicho recipiente 34. En este ejemplo, la conducción de salida 38 está conectada a la bomba 14, lo que permite que, al menos, una parte del agua tratada sea recirculada a través de la conducción de pretratamiento 16. Se puede descargar agua desde el sistema 10 a través de una conducción de efluente 46.

Una abertura de entrada 52, conectada a un suministro de peróxido de hidrógeno, está dispuesta preferentemente sobre la conducción de salida 38, para permitir que se añada peróxido de hidrógeno al proceso de tratamiento (denominado oxidación avanzada).

El sistema 10 puede estar adaptado para proporcionar un amplio intervalo de dosificación de ozono, es decir, la cantidad de gas de ozono que se disuelve en el agua durante el tratamiento. El sistema 10 es capaz de suministrar entre aproximadamente 2 y 125 mg de ozono por litro de agua, cada vez que el agua pasa a través de la sección de mezcla 22. Si se desea una dosificación de ozono superior a 125 mg/l, se pueden reducir los caudales de las corrientes de afluente y efluente 12, 46, de manera que una mayor fracción del agua en la conducción de salida 38 se recicla a través de la conducción de pretratamiento 16.

Como se utiliza en esta memoria, la expresión “dosificación de ozono” está destinada a hacer referencia a la parte de ozono que ha sido consumida por el agua cada vez que se hace circular cíclicamente a través de la sección de mezcla 22, y se mediría típicamente comparando el contenido de ozono de la conducción 20 de alimentación de ozono con el contenido de ozono en la conducción 40 de purga de gas. La expresión “dosificación media total de ozono” está destinada a hacer referencia a la dosis total de ozono en el agua tratada mientras sale del sistema 10 a través de la conducción de efluente 46. La relación entre “dosificación de ozono” y “dosis media total de ozono” es una función de la fracción del agua en la conducción de salida 38 que se recicla a través de la conducción de pretratamiento 16.

La figura 3 ilustra la configuración del sistema 10 en el que se desea una dosificación de ozono relativamente alta. Como se muestra en la figura 3, la corriente de afluente 12 dirige toda la corriente de agua 50 no tratada hacia dentro del sistema de tratamiento 10. La figura 4 ilustra una configuración del sistema 10 en el que se desea una dosificación de ozono relativamente baja (por ejemplo, de 2 a 5 mg/l de agua). En esta configuración, solamente una parte del agua en la conducción de agua 50 es desviada hacia dentro del sistema de tratamiento 10 a través de la corriente de afluente 12. Se devuelve el agua tratada a la corriente de agua 50 a través de la corriente de efluente 46, en la que se mezcla con agua no tratada para proporcionar una dosificación de ozono deseada en dicha corriente de agua 50. Como se muestra en la figura 4, la conducción de efluente 46 vuelve a inyectar preferentemente agua hacia dentro de la conducción de agua 50, en un lugar que está aguas abajo de la conducción de caudal 12.

Los siguientes son parámetros de funcionamiento, a título de ejemplo, para el sistema 10.

EJEMPLO 1

En este ejemplo, una corriente de agua residual de 10 gpm (38 l/min) que contiene colorante de anilina se trata con ozono y un catalizador de cobre, cobalto o níquel. El caudal de la corriente de pretratamiento 16 es 20 gpm (76 l/min) y los caudales tanto para la corriente de afluente 12 como para la corriente de efluente 16 son 10 gpm (38 l/min). La dosificación de ozono en el punto de confluencia 21 es 20 mg de ozono por litro de agua en la conducción de pretratamiento 16, dando como resultado una dosis media total de ozono de 40 mg/l para el agua que sale del sistema 10 en la corriente de efluente 16. El monolito 26 para esta aplicación es redondo; 7,6 cm (3 pulgadas) de diámetro, aproximadamente 152 cm (5 pies) de largo y tiene 31 celdas por centímetro cuadrado (200 celdas por pulgada cuadrada).

EJEMPLO 2

En este ejemplo, una corriente de 40 gpm (151 l/min) de agua residual industrial se trata utilizando oxidación avanzada para reducir su demanda de oxígeno químico ("COD") en aproximadamente 30 mg/l. El caudal de la corriente de pretratamiento 16 es 100 gpm (379 l/min) y los caudales tanto para la corriente de afluente 12 como para la corriente de efluente 46 son 40 gpm (151 l/min). La dosificación de ozono en el punto de confluencia 21 es 60 mg de ozono por litro de agua en la conducción de pretratamiento 16, dando como resultado una dosis media total de ozono de 150 mg/l para el agua que sale del sistema 10 en la corriente de efluente 46. Se introduce peróxido de hidrógeno a través de la abertura de entrada 52 a un régimen suficiente para proporcionar aproximadamente 40 mg de peróxido de hidrógeno por litro de agua en la corriente de pretratamiento 16. El monolito 26 para esta aplicación es redondo; 15 cm (6 pulgadas) de diámetro, aproximadamente 183 cm (6 pies) de largo y tiene 31 celdas por centímetro cuadrado (200 celdas por pulgada cuadrada).

Como tal, la invención se ha descrito desde el punto de vista de sus realizaciones preferentes y sus realizaciones alternativas. Por supuesto, los expertos en la técnica pueden contemplar diversos cambios, modificaciones y alteraciones de las enseñanzas de la presente invención, sin salirse del alcance de la misma, tal como se define por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para tratar agua, comprendiendo el método:

5 introducir una corriente de gas, que contiene gas de ozono, en una corriente de pretratamiento, que comprende agua, en un punto de inyección, dando como resultado una corriente en fase mezclada que comprende gas de ozono y agua;
 10 hacer pasar la corriente en fase mezclada a través de un monolito situado aguas abajo del punto de inyección, dando como resultado un producto de reacción en el que, al menos, una parte del gas de ozono está disuelta en el agua;
 separar de una cantidad en fase líquida del producto de reacción cualquier gas no disuelto en dicho producto de reacción; y
 retirar una corriente de efluente que comprende, al menos, una parte de la cantidad en fase líquida del producto de reacción;
 15 en el que el monolito comprende una pluralidad de canales paralelos que se extienden, cada uno, a través de dicho monolito desde aguas arriba hasta su extremo aguas abajo, estando dispuesta la pluralidad de canales paralelos con una densidad de entre 15 y 190 canales por centímetro cuadrado (100 y 1.200 canales por pulgada cuadrada), y el flujo de gas-líquido a través del monolito es laminar.

20 2. El método según la reivindicación 1, que comprende además:

hacer recircular parte de la cantidad en fase líquida del producto de reacción hacia el interior de la corriente de pretratamiento.

25 3. El método según cualquier reivindicación anterior, que comprende además:

recuperar en un recipiente separador el producto de reacción desde el monolito; y
 retirar del recipiente separador la cantidad en fase líquida del producto de reacción.

30 4. El método según la reivindicación 3, que comprende además:

mantener en el recipiente separador una cantidad en fase líquida del producto de reacción suficiente para cubrir un extremo de salida del monolito.

35 5. El método según cualquier reivindicación anterior, en el que la corriente en fase mezclada se hace pasar a través del monolito a una velocidad del líquido que está entre 0,2 m/s y 1,0 m/s.

6. El método según cualquier reivindicación anterior, en el que la corriente en fase mezclada se suministra al monolito por encima de la presión atmosférica.

40 7. El método según cualquier reivindicación anterior, que comprende además:

hacer pasar la corriente en fase mezclada a través de una máquina mezcladora estática, aguas arriba del monolito y aguas abajo del punto de inyección.

45 8. El método según cualquier reivindicación anterior, que comprende además:

introducir peróxido de hidrógeno en la corriente de pretratamiento o en fase mezclada, aguas arriba del monolito.

50 9. El método según cualquier reivindicación anterior, que comprende además:

desviar una parte de una corriente de agua para formar una corriente de afluente;
 formar toda o parte de la corriente de pretratamiento a partir de la corriente de afluente; e
 55 inyectar la corriente de efluente en la corriente de agua, aguas abajo de la corriente de afluente.

10. El método según cualquier reivindicación anterior, en el que el monolito está impregnado con un catalizador.

60 11. El método según la reivindicación 10, en el que el catalizador es un catalizador de oxidación.

12. Un sistema (10) de tratamiento de agua, que comprende:

una conducción (16) de suministro de agua;
 un generador de ozono (18) para generar una corriente de gas de salida que contiene ozono;
 65 una conducción (20) de suministro de ozono que está configurada para llevar la corriente de gas de salida desde el generador de ozono y para conectarse, en un punto de inyección (21), a la conducción de suministro

de agua;

un monolito (26) con un extremo de salida (32) y un extremo de entrada (31) que está aguas abajo del punto de inyección (21) y está en comunicación de fluido con la conducción (16) de suministro de agua;

un recipiente (34) que está en comunicación de fluido con el extremo de salida del monolito;

una conducción (40) de purga de gas situada sobre el recipiente;

una conducción de salida (38) del recipiente situada sobre dicho recipiente, para extraer líquido del recipiente, estando situada la conducción de salida del recipiente por debajo de la conducción de purga de gas; y

una abertura (46) del efluente situada sobre la conducción de salida del recipiente;

en el que el monolito (26) comprende una pluralidad de canales paralelos (28) que se extienden, cada uno, a través de dicho monolito desde aguas arriba hasta su extremo aguas abajo, estando dispuesta la pluralidad de canales paralelos con una densidad de entre 15 y 190 canales por centímetro cuadrado (100 y 1.200 canales por pulgada cuadrada), de manera que el flujo de gas-líquido a través del monolito es laminar.

13. El sistema según la reivindicación 12, en el que el monolito (26) está impregnado con un catalizador.

14. El sistema según la reivindicación 13, en el que el catalizador es un catalizador de oxidación.

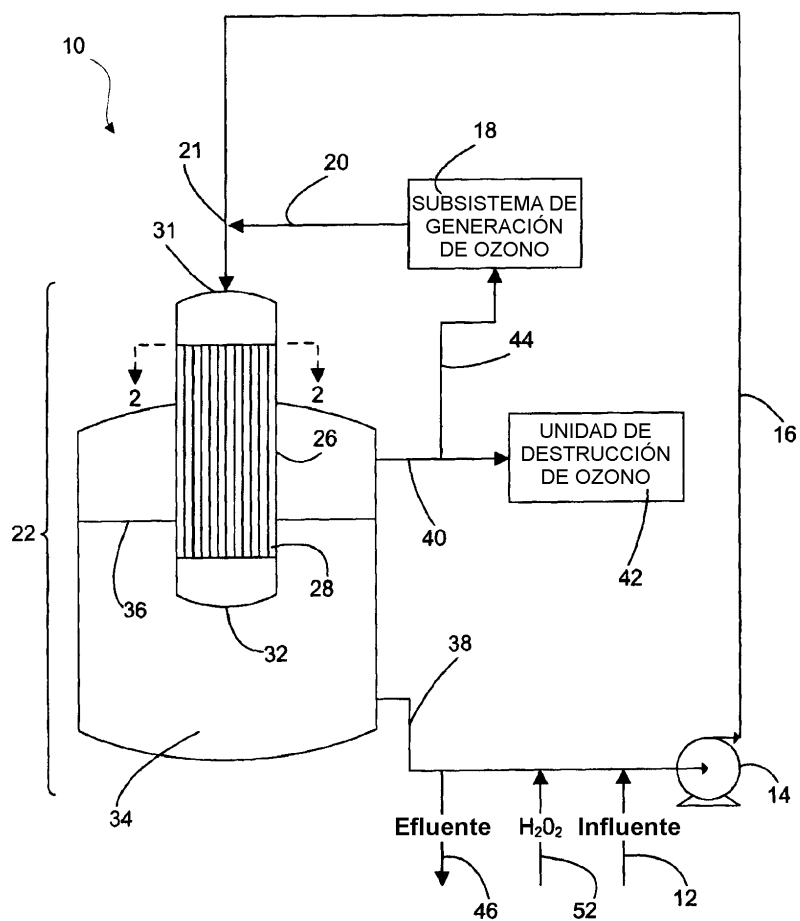


Figura 1

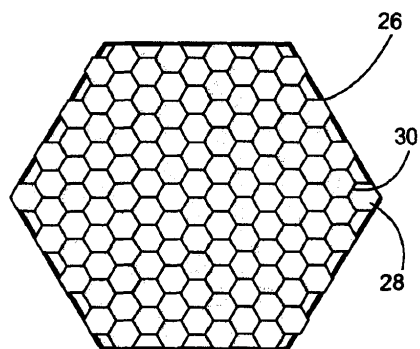


Figura 2

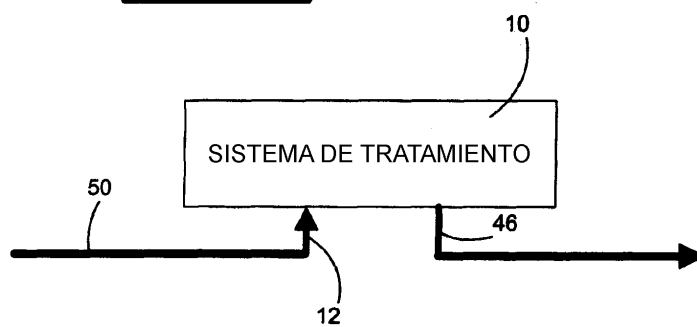


Figura 3

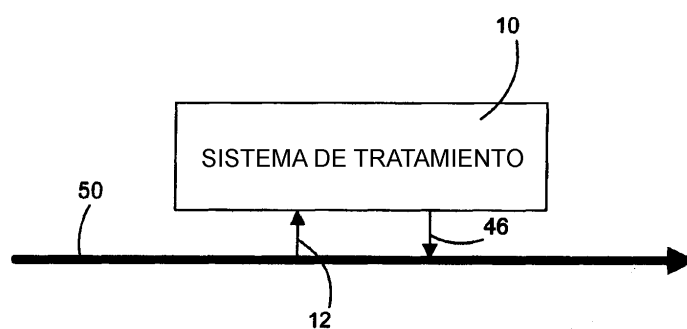


Figura 4