

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 525 452**

51 Int. Cl.:

**C02F 1/78** (2006.01)

C02F 1/72 (2006.01)

C02F 101/30 (2006.01)

C02F 101/36 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.09.2012 E 12185490 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.10.2014 EP 2573053**

54 Título: **Aparato de dispersión de gas para la transferencia de masa gas - líquido mejorada**

30 Prioridad:

**22.09.2011 US 201113240000**

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

**23.12.2014**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**DHOLAKIA, VIPUL P.;  
OTT WEIST, ANNEMARIE y  
MITCHELL, JR., DAVID LEE**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 525 452 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 de dispersión de gas para la transferencia de masa gas - líquido mejorada

## 5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

El ozono es un poderoso desinfectante y se utiliza para oxidar los contaminantes orgánicos del agua potable, incluyendo los compuestos de origen natural que producen el sabor y mal olor. El ozono también se utiliza en el efluente del tratamiento secundario de las aguas residuales para eliminar las trazas de los contaminantes orgánicos y compuestos disruptores endocrinos (EDC) del agua antes de su reutilización como agua potable indirecta o su descarga a un cuerpo de agua. Los EDC se puede encontrar, por ejemplo, en residuos farmacéuticos, pesticidas y herbicidas, y muchos ingredientes de productos de cuidado personal. Esta aplicación de ozono para el tratamiento terciario de las aguas residuales está aumentando más rápidamente que los otros usos del ozono debido a la escasez de agua y las preocupaciones sobre el impacto de los EDC en la vida acuática. En la mayoría de las aplicaciones que implican el tratamiento de agua potable o de aguas residuales municipales antes de su eliminación en ríos y lagos, la dosis típica de ozono está en el rango de 3 mg de ozono por litro de agua a 5 mg /l. El caudal de agua en estas aplicaciones depende de la población a la que sirve y es habitualmente de aproximadamente 700 m<sup>3</sup> / h o mayor. La dosis de ozono para el tratamiento de aguas residuales industriales y para aplicaciones especializadas tales como la eliminación de color se encuentra en el rango de 10 mg / l a varios cientos de mg / l pero el caudal de agua es menor a aproximadamente 150 m<sup>3</sup> / h, o menos.

Para los contaminantes orgánicos sintéticos tales como MTBE, TCE, 1,4 dioxano, etc., que se encuentran típicamente en los sitios de agua subterránea contaminada con productos químicos, se utiliza un proceso de "oxidación avanzada" en el tratamiento del agua. El proceso de oxidación avanzada combina peróxido de hidrógeno con ozono disuelto en agua para producir radicales hidroxilo altamente reactivos que oxidan los contaminantes orgánicos recalcitrantes. Los radicales hidroxilo son producidos por la reacción entre el ozono y el peróxido de hidrógeno o un catalizador en la fase acuosa. El proceso de oxidación avanzada se utiliza para tratar el agua de procesos industriales para su reutilización en la planta, o antes de la descarga del efluente contaminado a las alcantarillas municipales o al medio ambiente.

El gas de ozono se produce comúnmente en un generador basado en la descarga de corona de aire o de oxígeno de alta pureza. La concentración típica del ozono en fase gaseosa varía del 3% al 14%, dependiendo de la potencia del generador y de la concentración de oxígeno en la alimentación de gas utilizado para la generación del ozono. Los procesos de tratamiento de agua a base de ozono dependen de la transferencia de ozono desde la fase gaseosa a la fase acuosa para la oxidación de los contaminantes orgánicos. Varios procesos han sido utilizados para transferir ozono desde la fase gaseosa a la fase líquida con los propósitos de realizar el tratamiento de agua.

Todos estos procesos dependen de la creación de una mezcla o movimiento relativo en la interfase gas - líquido, y de la solubilidad del ozono en las condiciones de operación del proceso de transferencia del ozono de la fase gaseosa a la fase líquida. Los criterios clave para la selección de los equipos incluyen la energía consumida durante la operación, la tasa de dosificación de ozono deseada, el costo y el tamaño de los equipos, y la eficiencia de la transferencia de masa del ozono. La eficiencia de la transferencia de masa del ozono se define como el porcentaje del gas de ozono que se introduce durante el proceso que se disuelve en la fase acuosa. Para aumentar la cantidad de ozono transferido y por lo tanto la eficiencia de la transferencia de masa de ozono, es deseable utilizar ozono a alta concentración de aproximadamente el 8% o superior (en peso) a una presión de operación superior a la presión atmosférica. La alta concentración de ozono reduce la cantidad de gas que tiene que ser manejado en el aparato de mezcla de gas - líquido y aumenta la solubilidad del ozono en el agua. La operación del proceso a presión superior a la atmosférica también aumenta la solubilidad del ozono en el agua. El efecto combinado de la alta concentración de ozono y mayor presión de operación es de una fuerza impulsora de la transferencia de masa de gas aumentada, lo que mejora la eficiencia de la transferencia de masa de ozono. El ozono residual en la corriente de gas efluente del proceso representa la energía que se desperdicia en el generador de ozono y produce un aumento de los costes de oxígeno. La corriente de gas efluente tiene que ser pasada a través de una unidad de destrucción de ozono con el fin de eliminar el ozono sin disolver antes de descargar el gas de manera segura a la atmósfera.

Los generadores de ozono comerciales normalmente producen ozono a una presión de gas de 15 psig a 30 psig (100 kPa a 210 kPa). A presiones más altas, la eficiencia energética y la capacidad de generación de los generadores de descarga de corona se reducen, por lo que es más caro producir ozono a presiones mayores de 15 psig (100 kPa). Esto limita la fuente de gas de ozono económica a 15 psig (100 kPa). Para aprovechar la mejor eficiencia de transferencia de masa a alta presión de gas, un proceso basado en un eductor Venturi es favorecido sobre otros métodos que operan en o ligeramente por encima de la presión atmosférica. Sin embargo, el eductor Venturi por sí mismo proporciona una baja disolución del ozono desde la fase de gas a agua. La transferencia de masa se produce sobre todo en la sección de garganta en la que el gas es aspirado por la corriente de agua motriz. Aguas abajo del eductor, la mezcla es ineficiente y proporciona solamente una transferencia limitada de masa adicional. Para mejorar la disolución de ozono aguas abajo del eductor, se utilizan mezcladores estáticos. El mezclador estático requiere altas velocidades de fluido que pasa a través del mismo con el fin de mezclar el gas en el agua para la transferencia del ozono. La velocidad mínima requerida es específica para el mezclador estático y produce una gran pérdida de presión a través del mezclador, aumentando así los requisitos de energía del proceso.

Un proceso conocido para la transferencia de ozono desde la fase gaseosa a la fase líquida para los fines de tratamiento de agua es un reactor de columna de burbujas o de cubeta, que comprende una gran columna o cubeta y difusores de gas situados en la parte inferior de la columna o cubeta. En algunas realizaciones, los difusores de gas pueden estar situados por debajo de aproximadamente 15 a 20 pies (4,6 a 6,1 metros) de agua. La columna o cubeta se llena continuamente con agua contaminada y el gas de ozono se introduce a través de los difusores de gas. Unas pequeñas burbujas de gas de ozono suben a través del agua en la columna o cubeta, lo cual proporciona la mezcla y la turbulencia del agua en la cubeta y promueve la disolución del ozono dentro del agua (también denominada en la presente memoria descriptiva como "transferencia de ozono"). La eficiencia de la transferencia de ozono puede ser mejorada mediante la captura y la recirculación del ozono no disuelto desde la parte superior de la columna o de la cubeta y / o haciendo pasar el ozono a través de una serie de columnas o pozos utilizando deflectores. Dependiendo de la dosis de ozono y del diseño de la cubeta, en algunas realizaciones se utilizan una o dos secciones de la cubeta para la aspersion del gas y las secciones restantes se utilizan para lograr la eliminación del gas disuelto y el tiempo de contacto (CT) deseado de ozono con el agua. El agua tratada se retira de la cubeta después de que se haya alcanzado el CT deseado.

El proceso de contactor de cubeta opera dentro de un rango estrecho de caudales totales de gas con el fin de lograr un buen mezclado y transferencia de masa en la cubeta. Si se reduce el caudal total de gas, las burbujas de gas ascienden a través de la columna de agua sin mezcla o turbulencia significativa en el agua. Esto reduce la eficiencia de la transferencia de masa de ozono en el contactor. Puesto que la generación de gas de ozono es el principal costo del proceso, la eficiencia reducida de la transferencia de masa de ozono en el contactor hace que el proceso sea menos económico. La falta de una mezcla adecuada debido al flujo de gas reducido también conduce a una distribución no uniforme del ozono en la cubeta, y podría reducir el CT por debajo de lo requerido por las normas de desinfección de agua pertinentes. Para superar estos problemas, el caudal total de gas se mantiene constante reduciendo la concentración de ozono en el gas. Un proceso típico de tratamiento con ozono utiliza oxígeno de alta pureza como gas de alimentación para generar ozono. Cuando la concentración de ozono en el gas de alimentación se reduce en respuesta a la baja demanda de ozono, ya sea debido a un bajo caudal de agua o a una baja concentración de contaminantes, se requiere una mayor cantidad de oxígeno de alta pureza por unidad de masa de ozono para mantener el flujo total constante de gas a través de los difusores de burbujas. El uso de una gran fracción de oxígeno de alta pureza aumenta el coste unitario del tratamiento de agua y produce una pérdida de energía durante los períodos de baja demanda de ozono.

Otro inconveniente del uso de un contactor de cubeta es que los poros pequeños en el difusor de gas (a menudo de un tamaño de micrómetros) se obstruyen con el tiempo, y por lo tanto afectan significativamente el rendimiento del contactor. La obstrucción de los difusores requiere que sean limpiados o sustituidos periódicamente, lo que lleva a un tiempo de inactividad del proceso y el aumento de los costos de mantenimiento. El tratamiento de las aguas residuales es también un reto principal para el método tradicional de contactor de cubeta basado en un difusor de burbujas pequeñas puesto que las aguas residuales llevan una mayor concentración de los sólidos finos suspendidos en los mismos lo que conducen a la obstrucción frecuente del difusor y el bajo rendimiento en el contactor. Los caudales de agua en ambas plantas de agua potable y de tratamiento de aguas residuales varían significativamente durante el día y en las estaciones, lo que hace que la operación de la mayoría de los métodos tradicionales de contacto sean caros durante los períodos de baja demanda de ozono. Otros inconvenientes del proceso basado en difusor incluyen que: se requieren grandes pozos profundos para la transferencia eficaz de ozono al agua, aumentando así los costes y los requisitos de espacio; la canalización de burbujas de gas reduce la eficiencia de la transferencia de masa; y el proceso no es susceptible a una operación a alta presión, lo que aumentaría la disolución del gas de ozono en el agua.

Otro método conocido de transferencia de ozono es el uso de un eyector Venturi, en el que el agua fluye a través del Venturi y el gas de ozono es educido en la garganta del Venturi. Este método basado en Venturi sólo se puede utilizar con eficacia en sistemas con caudales de agua relativamente bajos. En los sistemas que operan a caudales relativamente grandes, una parte del agua se puede desviar en una "corriente secundaria" en la que se encuentra el Venturi. La corriente secundaria se inyecta de nuevo en la corriente principal y se mezcla con la corriente principal por el flujo turbulento. El método Venturi de corriente desviada es eficaz típicamente sólo en la transferencia de ozono a dosis relativamente bajas (por ejemplo, 10 mg / l o menos). Este método también requiere una elevada velocidad de flujo transversal del agua influente en la tubería principal para proporcionar una mezcla de flujo de dos fases desde el chorro en el flujo principal y para llevar la corriente mezclada una distancia más larga en el tubo que en un flujo de agua de movimiento lento. El propósito del chorro de alta velocidad es lograr la transferencia de ozono adicional en el flujo principal por medio de una rápida disipación de la energía turbulenta de los chorros. La alta velocidad del chorro de dos fases requerida para el mezclado y transferencia de masa efectivas de ozono en el flujo principal conduce a una elevada pérdida de presión a través de las toberas de inyección. La elevada pérdida de presión representa la energía que se desperdicia para lograr la transferencia de ozono y es suministrada por la bomba de corriente lateral. El requisito de energía para este método es típicamente mucho mayor que para el contactor de cubeta.

En otra variación de transferencia de ozono basada en Venturi, se pueden utilizar mezcladores estáticos aguas abajo del eductor o tobera de inyección de gas para lograr un mezclado adicional y la disolución de ozono en la fase

acuosa. El sistema es más fácil de diseñar, ya que no tiene partes móviles. Pero la mezcla y la dispersión de gas para conseguir una buena transferencia de ozono a través de un mezclador estático requiere un flujo altamente turbulento de gas y líquido. Esto requiere una elevada velocidad de gas - líquido a través del mezclador estático lo que resulta en una mayor pérdida de presión a través del mismo que cualquier otro proceso de disolución de gas. La velocidad mínima de gas - líquido requerida es específica del mezclador estático utilizado y el proceso sólo puede ser operado en un rango estrecho de caudales de agua y de gas para lograr el flujo turbulento necesario para la disolución del ozono. La eficiencia de la transferencia de ozono sufre espectacularmente cuando el caudal de agua se reduce por debajo del rango de operación óptimo para el mezclador estático. Este es un gran reto para las operaciones de la planta debido a que en plantas de agua potable y de aguas residuales, los caudales de agua cambian considerablemente con la demanda a lo largo del día y de las estaciones.

Se han realizado intentos para realizar la transferencia de ozono usando contactores de turbinas, que funcionan aspirando gas a través de los árboles y agitadores huecos de turbinas. Los contactores de turbina no parecen estar bien adaptados para aplicaciones de transferencia de ozono por varias razones. En comparación con los métodos de transferencia de ozono que se han descrito más arriba, los contactores de turbina tienen requisitos de potencia relativamente altos. Además, la relación de gas de ozono a agua que entra en el contactor de la turbina debe mantenerse relativamente constante para una operación eficiente, lo que limita la capacidad de ajustar la dosificación de ozono. Los contactores de turbina no están bien adaptados para la ozonización catalítica debido a que el catalizador en polvo tapaná los canales por los que se aspira el gas de ozono.

Las columnas de relleno rara vez se utilizan para la transferencia de ozono a la fase líquida ya que este tipo de reactor tiene eficiencia de transferencia de masa de ozono muy baja, y por lo tanto se requiere una columna muy alta para alcanzar la dosis típica de ozono. Las columnas de relleno también tienen un volumen vacío bajo, lo 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 a la baja eficiencia de la transferencia de masa de ozono, son caras de construir y de operar.

También se han utilizado chorros impactantes para mejorar la mezcla entre las fases gaseosa y líquida en los sistemas de transferencia de ozono. En tales sistemas, un chorro de alta velocidad de un flujo de dos fases es impactado por otro chorro de flujo de dos fases o por una superficie estacionaria. En estos procesos de chorros impactantes, dos chorros de una corriente de gas - líquido son impactados a alta velocidad desde lados opuestos. Una parte del agua tratada puede ser reciclada y se mezcla con el agua influente contaminada, y luego es alimentada a través de una bomba para formar los chorros. Además, el ozono no disuelto puede ser capturado aguas abajo en un separador de fases y es reciclado a través de los chorros. Los chorros impactantes se pueden utilizar como el único reactor de mezcla, o se pueden utilizar en combinación con otros reactores de mezcla. El diseño y operación de un sistema de transferencia de ozono que incluye chorros impactantes es complejo debido a la necesidad de la localización con precisión de las zonas de impacto. Además, los chorros tienen requisitos de alta potencia y la gama de caudales que pueden ser acomodados por este tipo de sistema es limitada. Por consiguiente, este método se utiliza raramente para aplicaciones de tratamiento de agua de gran volumen, por ejemplo en aplicaciones de agua potable y tratamiento de aguas residuales.

Por consiguiente, existe una necesidad de un método mejorado de transferencia de ozono que supere las deficiencias de los métodos de la técnica anterior.

#### BREVE SUMARIO DE LA INVENCION

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

- a) dirigir una corriente de agua a través de un conducto de pretratamiento;
- b) introducir la corriente de agua desde el conducto de pretratamiento dentro de una sección de expansión que incluye un extremo de aguas arriba que tiene una primera superficie de sección transversal y un extremo de aguas abajo que tiene una segunda superficie de sección transversal, siendo mayor la segunda superficie de sección transversal que la primera superficie de sección transversal, más preferiblemente siendo la segunda superficie de sección transversal al menos el doble de la primera superficie de sección transversal;
- c) proporcionar una corriente de gas que contiene gas de ozono, más preferiblemente, al menos un 3% de gas de ozono;
- d) introducir la corriente de gas en el interior de la sección de expansión en al menos un punto de inyección mientras que la corriente de agua está fluyendo a través de la sección de expansión, lo que resulta en una corriente de fase mixta gas - líquido que comprende gas de ozono y agua en el extremo de aguas abajo; y
- e) hacer pasar la corriente de fase mixta a través de un monolito situado aguas abajo de la sección de expansión, lo que resulta en un producto de reacción en el que al menos una porción del gas de ozono está disuelta en el agua.

En una realización, la etapa (d) comprende:

- i) desviar una porción del agua de la corriente de agua en el conducto de pretratamiento en al menos un conducto de corriente lateral para formar al menos una corriente lateral;

- ii) introducir la corriente de gas en el interior de la al menos una corriente lateral para formar una mezcla de gas - líquido; e
- iii) inyectar la mezcla de gas y líquido en el interior de la sección de expansión en el al menos un punto de inyección.

5 El método puede comprender, además, aumentar la presión del agua en el al menos un conducto de corriente lateral a una segunda presión, teniendo la corriente de agua en el conducto de pretratamiento una primera presión, siendo la segunda presión mayor que la primera presión. La citada etapa de aumentar la presión del agua puede ser realizada por un aparato de bombeo situado en comunicación de flujo con el al menos un conducto de corriente lateral.

15 El método puede comprender, además, dividir la al menos una corriente lateral en una pluralidad de corrientes laterales aguas abajo de donde se ejecuta la etapa (d) (ii). Alternativamente, el método puede comprender, además, dividir la al menos una corriente lateral en una pluralidad de corrientes laterales aguas arriba de donde se ejecuta la etapa (d) (ii), en el que la etapa (d) (ii) comprende, además, introducir la corriente de gas en cada uno de la pluralidad de corrientes laterales para formar una mezcla de - líquido en cada uno de la pluralidad de flujos secundarios. En cualquier caso, la etapa (d) (iii) puede comprender, además, inyectar la mezcla gas - líquido de cada una de la pluralidad de corrientes laterales en la sección de expansión en un punto de inyección diferente de una pluralidad de puntos de inyección.

20 En otra realización, la etapa (d) comprende introducir la corriente de gas en la sección de expansión en al menos un punto de inyección, comprendiendo el al menos un punto de inyección un difusor de gas.

25 En realizaciones preferidas, el método comprende, además, los pasos de: separar cualquier gas no disuelto en el producto de reacción de una porción en fase líquida del producto de reacción; y desviar al menos una porción de la porción en fase líquida del producto de reacción a una corriente de efluente. El método puede comprender, además, la etapa de recircular al menos parte de la porción en fase líquida del producto de reacción en la corriente de agua en el conducto de pretratamiento. El método puede comprender adicionalmente o alternativamente, además, las etapas de desviar una porción de una corriente de agua para formar una corriente de influente; inyectar la corriente de influente en el conducto de pretratamiento; e inyectar la corriente de efluente en la corriente de agua aguas abajo de la corriente de influente.

35 El método puede comprender, además, la etapa de inyectar peróxido de hidrógeno en la corriente de agua aguas arriba del monolito.

40 El monolito puede tener un catalizador impregnado sobre el mismo, y la etapa (e) puede comprender hacer pasar la corriente de fase mixta a través del monolito situado aguas abajo de la sección de expansión, lo que hace que al menos una porción del gas de ozono se disuelva en la corriente de agua y la transferencia de al menos una porción de ozono disuelto a la superficie del catalizador para la reacción.

45 En realizaciones preferidas, el monolito comprende una pluralidad de canales paralelos.

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

- 45 un conducto de pretratamiento para suministrar una corriente de agua;
- una sección de expansión conectada en comunicación de flujo con el conducto de pretratamiento, comprendiendo la sección de expansión un extremo de aguas arriba que tiene una primera superficie de sección transversal y un extremo de aguas abajo que tiene una segunda superficie de sección transversal, siendo mayor la segunda superficie de sección transversal que la primera superficie de sección transversal,
- 50 siendo más preferiblemente la segunda superficie de sección transversal al menos el doble de la primera superficie de sección transversal;
- un conducto de corriente de gas para suministrar una corriente de gas que contiene gas de ozono, preferiblemente una corriente de gas que contiene al menos un 3% de gas de ozono, estando el conducto de corriente de gas en comunicación de flujo con la sección de expansión en al menos un punto de inyección; y
- 55 un monolito que tiene un extremo de salida y un extremo de entrada y estando en comunicación de flujo con el conducto de pretratamiento, estando los extremos de salida y de entrada aguas abajo de la sección de expansión, teniendo el monolito una pluralidad de canales en el mismo a través de los cuales la corriente de agua y la corriente de gas se pueden desplazar.

60 El aparato puede comprender, además, un generador de ozono conectado al conducto de corriente de gas, para generar y suministrar la corriente de gas que contiene gas de ozono al conducto de corriente de gas.

65 En una realización, el aparato comprende, además, al menos un conducto de corriente lateral situado aguas arriba de la sección de expansión, teniendo el conducto de corriente lateral al menos un primer extremo que se bifurca del conducto de pretratamiento y un segundo extremo opuesto al primer extremo que está en comunicación de flujo con la sección de expansión, en el que una porción del agua de la corriente de agua en el conducto de pretratamiento es

dirigida a través del al menos un conducto de corriente lateral. Preferiblemente, el conducto de corriente de gas está conectado en comunicación de flujo con la al menos una corriente lateral en al menos una junta. El aparato de tratamiento de agua puede comprender, además, un aparato de presurización situado en el al menos un conducto de corriente lateral que incrementa la presión del agua situada en el al menos un conducto de corriente lateral.

5 El al menos un conducto de corriente lateral se puede dividir en una pluralidad de conductos de corriente lateral en un punto de bifurcación en el que cada una de la pluralidad de corrientes laterales termina en, y está en comunicación de flujo con, la sección de expansión en un punto de inyección respectivo de una pluralidad de puntos de inyección. El conducto de corriente de gas puede estar en comunicación de flujo con el al menos un conducto de corriente lateral en una junta aguas arriba del punto de bifurcación. Alternativamente, el conducto de corriente de gas puede estar en comunicación de flujo con cada uno de la pluralidad de conductos de corriente lateral en una junta diferente de una pluralidad de juntas, estando situada cada una de la pluralidad de juntas aguas abajo del punto de bifurcación.

15 En otra realización, el aparato de tratamiento de agua comprende, además, un difusor de gas situado en la sección de expansión, estando conectado el conducto de corriente de gas en comunicación de flujo con el difusor de gas.

En realizaciones preferidas, el monolito comprende una pluralidad de canales paralelos.

20 En realizaciones preferidas, el aparato de tratamiento de agua comprende, además, una lumbrera de peróxido de hidrógeno que está en comunicación de flujo con el conducto de pretratamiento y está conectada a un fuente de alimentación de peróxido de hidrógeno.

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

un conducto de pretratamiento, incluyendo una corriente de agua; una sección de expansión conectada en comunicación de flujo a lo largo del conducto de pretratamiento, comprendiendo la sección de expansión un extremo de aguas arriba que tiene una primera superficie de sección transversal y un extremo de aguas abajo que tiene una segunda superficie de sección transversal, siendo la segunda superficie de sección transversal mayor que la primera superficie de sección transversal; una corriente de gas que contiene al menos un 3% de gas de ozono, estando la corriente de gas en comunicación de flujo con la sección de expansión en al menos un punto de inyección; y un monolito que tiene un extremo de salida y un extremo de entrada y estando en comunicación de flujo con el conducto de pretratamiento, estando situados los extremos de salida y de entrada aguas abajo de la sección de expansión, teniendo el monolito una pluralidad de canales en el mismo a través de los cuales la corriente de agua y la corriente de gas se pueden desplazar.

Los aspectos preferidos de la presente invención incluyen los siguientes aspectos, numerados del 1 al 28:

40 Aspecto 1 - Un método para el tratamiento de agua, comprendiendo el método:

- (a) dirigir una corriente de agua a través de un conducto de pretratamiento;
- (b) introducir la corriente de agua desde el conducto de pretratamiento dentro de una sección de expansión que incluye un extremo de aguas arriba que tiene una primera superficie de sección transversal y un extremo de aguas abajo que tiene una segunda superficie de sección transversal, siendo la segunda superficie de sección transversal mayor que la primera superficie en sección transversal;
- (c) proporcionar una corriente de gas que contiene al menos un 3% de gas de ozono;
- (d) introducir la corriente de gas dentro de la sección de expansión en al menos un punto de inyección mientras que la corriente de agua está fluyendo a través de la sección de expansión, lo que produce una corriente de fase mixta gas - líquido que comprende gas de ozono y agua en el extremo de aguas abajo; y
- (e) hacer pasar la corriente de fase mixta a través de un monolito situado aguas abajo de la sección de expansión, lo que produce un producto de reacción en el que al menos se disuelve una parte del gas de ozono en el agua.

55 Aspecto 2 - El método del Aspecto 1, en el que la etapa (d) comprende:

- (i) desviar una parte de la corriente de agua desde el conducto de pretratamiento dentro de al menos una corriente lateral;
- (ii) introducir la corriente de gas en la corriente lateral para formar una mezcla de gas - líquido; e
- (iii) inyectar la mezcla de gas - líquido en la sección de expansión en al menos un punto de inyección.

60 Aspecto 3 - El método de cualquiera de los Aspectos 1 a 2, que comprende además:

- (f) aumentar la presión de la porción de la corriente de agua en la al menos una corriente lateral hasta una segunda presión, teniendo la corriente de agua en el conducto de pretratamiento una primera presión, siendo la segunda presión mayor que la primera presión.

Aspecto 4 - El método del Aspecto 3, en el que la etapa (f) se realiza mediante un aparato de bombeo situado en comunicación de flujo con la al menos una corriente lateral.

5 Aspecto 5 - El método de cualquiera de los Aspectos 2 a 4, que comprende, además, dividir la al menos una corriente lateral en una pluralidad de corrientes laterales aguas abajo de donde se ejecuta la etapa (d) (ii).

10 Aspecto 6 - El método de cualquiera de los Aspectos 2 a 5, que comprende, además, dividir la al menos una corriente lateral en una pluralidad de corrientes laterales aguas arriba de donde se ejecuta la etapa (d) (ii), en el que la etapa (d) (ii) comprende, además, introducir la corriente de gas en cada una de la pluralidad de corrientes laterales para formar una mezcla de gas - líquido en cada una de la pluralidad de corrientes laterales, y en el que la etapa (d) (iii) comprende, además, inyectar la mezcla de gas - líquido desde cada una de la pluralidad de corrientes laterales dentro de la sección de expansión en el al menos un punto de inyección.

15 Aspecto 7 - El método del Aspecto 6, comprendiendo el al menos un punto de inyección una pluralidad de puntos de inyección, en el que la etapa (d) (iii) comprende, además, inyectar la mezcla de gas - líquido de cada una de la pluralidad de corrientes laterales en el interior de la sección de expansión en un punto de inyección diferente de la pluralidad de puntos de inyección.

20 Aspecto 8 - El método de cualquiera de los Aspectos 2 a 7, en el que la etapa (b) comprende introducir la corriente de agua desde el conducto de pretratamiento dentro de una sección de expansión que incluye un extremo de aguas arriba que tiene una primera superficie de sección transversal y un extremo de aguas abajo que tiene una segunda superficie de sección transversal, siendo la segunda superficie de sección transversal al menos el doble de la primera superficie de sección transversal.

25 Aspecto 9 - El método de cualquiera de los Aspectos 2 a 8, en el que la etapa (d) comprende introducir la corriente de gas en la sección de expansión en al menos un punto de inyección, comprendiendo el al menos un punto de inyección un difusor de gas.

30 Aspecto 10 - El método de cualquiera de los Aspectos 1 a 9, que comprende, además:

- (g) separar cualquier gas no disuelto en el producto de reacción de una porción en fase líquida del producto de reacción; y
- (h) desviar al menos una porción de la porción en fase líquida del producto de reacción a una corriente de efluente.

35 Aspecto 11 - El método del Aspecto 10, que comprende además:

- (i) recircular al menos parte de la porción en fase líquida del producto de reacción en la corriente de agua en el conducto de pretratamiento.

40 Aspecto 12 - El método de cualquiera de los Aspectos 1 a 11, que comprende además:

- (j) inyectar peróxido de hidrógeno en la corriente de agua, aguas arriba del monolito.

45 Aspecto 13 - El método de cualquiera de los Aspectos 1 a 12, en el que la etapa (e) comprende hacer pasar la corriente de fase mixta a través de un monolito aguas abajo desde el al menos un punto de inyección, teniendo el monolito un catalizador impregnado sobre el mismo, lo que resulta en que al menos una porción del gas de ozono se disuelva en la corriente de agua y la transferencia de al menos una porción de ozono disuelto a la superficie del catalizador para la reacción.

50 Aspecto 14 - El método de cualquiera de los Aspectos 1 a 13, que comprende además:

- (k) desviar una porción de la corriente de agua para formar una corriente de influente;
- (l) inyectar la corriente de influente en la corriente de pretratamiento; e
- (m) inyectar la corriente de efluente en la corriente de agua, aguas abajo de la corriente de influente.

55 Aspecto 15 - Un sistema de tratamiento de agua, que comprende:

60 un conducto de pretratamiento, incluyendo una corriente de agua;  
una sección de expansión conectada en comunicación de flujo a lo largo del conducto de pretratamiento, comprendiendo la sección de expansión un extremo de aguas arriba que tiene una primera superficie de sección transversal y un extremo de aguas abajo que tiene una segunda superficie de sección transversal, siendo la segunda superficie de sección transversal mayor que la primera superficie de sección transversal;  
una corriente de gas que contiene al menos un 3% de gas de ozono, estando la corriente de gas en comunicación de flujo con la sección de expansión en al menos un punto de inyección; y

65

un monolito que tiene un extremo de salida y un extremo de entrada y estando en comunicación de flujo con el conducto de pretratamiento, estando los extremos de salida y de entrada aguas abajo de la sección de expansión, teniendo el monolito una pluralidad de canales en el mismo a través de los cuales la corriente de agua y la corriente de gas se pueden desplazar.

5 Aspecto 16 - El sistema de tratamiento de agua del Aspecto 15, que comprende, además, al menos una corriente lateral situada aguas arriba de la sección de expansión, teniendo la al menos una corriente lateral un primer extremo que se bifurca del conducto de pretratamiento y un segundo extremo opuesto al primer extremo que está en comunicación de flujo con la sección de expansión, en el que una porción de agua de la corriente de agua en el conducto de pretratamiento es dirigida a través de la al menos una corriente lateral.

10 Aspecto 17 - El sistema de tratamiento de agua del Aspecto 16, en el que la al menos una corriente lateral comprende una pluralidad de corrientes laterales, en el que cada una de la pluralidad de corrientes laterales comienza en un punto de bifurcación y termina en, y está en comunicación de flujo con, la sección de expansión en un punto de inyección respectivo de una pluralidad de puntos de inyección.

15 Aspecto 18 - El sistema de tratamiento de agua del Aspecto 17, en el que la corriente de gas está en comunicación de flujo con cada una de la pluralidad de corrientes laterales en una juntura diferente de una pluralidad de juntas, estando situada cada una de la pluralidad de juntas aguas abajo del punto de bifurcación.

20 Aspecto 19 - El sistema de tratamiento de agua del Aspecto 16, en el que la corriente de gas está en comunicación de flujo con la al menos una corriente lateral en una juntura.

25 Aspecto 20 - La sección de tratamiento de agua del Aspecto 19, en el que la juntura se encuentra situada aguas arriba de un punto de bifurcación, en el que en el punto de bifurcación la al menos una corriente lateral se divide en una pluralidad de corrientes laterales, en el que cada una de la pluralidad de corrientes laterales termina a, y está en comunicación de flujo con, la sección de expansión en un punto respectivo de una pluralidad de puntos de inyección.

30 Aspecto 21 - El sistema de tratamiento de agua de uno cualquiera de los Aspectos 16 a 20, que comprende, además, un aparato de presurización situado en la al menos una corriente lateral que aumenta la presión del agua situada en la al menos una corriente lateral.

35 Aspecto 22 - El sistema de tratamiento de agua de uno cualquiera de los Aspectos 15 a 21, en el que el monolito comprende una pluralidad de canales paralelos.

Aspecto 23 - El sistema de tratamiento de agua de uno cualquiera de los Aspectos 15 a 22, que comprende, además, una lumbrera de peróxido de hidrógeno que está en comunicación de flujo con la corriente de agua y está conectado a un fuente de alimentación de peróxido de hidrógeno.

40 Aspecto 24 - El sistema de tratamiento de agua de uno cualquiera de los Aspectos 15 a 23, en el que la segunda superficie de sección transversal es al menos el doble de la primera superficie de sección transversal.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE VARIAS VISTAS DE LOS DIBUJOS

45 La figura 1 es un diagrama esquemático de una primera realización ejemplar de la presente invención;  
 La figura 2 es un diagrama esquemático de una segunda realización ejemplar de la presente invención;  
 La figura 3 es una vista parcial en sección tomada por la línea 3 - 3 de la figura 1;  
 La figura 4 es un diagrama esquemático de una sección de expansión ejemplar y el monolito de acuerdo con la presente invención;  
 50 La figura 5 es un diagrama esquemático que muestra una configuración de conexión ejemplar para un sistema de tratamiento de agua;  
 La figura 6 es un diagrama esquemático que muestra una segunda configuración de la conexión ejemplar para un sistema de tratamiento de agua;  
 La figura 7 es un diagrama esquemático de una porción de una tercera realización ejemplar de la presente invención; y  
 55 La figura 8 es un diagrama esquemático de una porción de una cuarta realización ejemplar de de la presente invención.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES DE LA INVENCION

60 A no ser que se indique lo contrario en la presente memoria descriptiva, cualquiera y todos los porcentajes indicados en la memoria descriptiva, dibujos y reivindicaciones se deben entender que están en base de porcentaje por peso.

A no ser que se indique lo contrario en esta memoria descriptiva, cualquiera y todas las presiones identificadas en la memoria descriptiva, dibujos y reivindicaciones se debe entender que significan presiones manométricas.

65 Tal como se utiliza en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones, el término "comunicación de flujo" pretende significar que dos o más elementos están conectados (ya sea directa o indirectamente) de una manera que permite

que los fluidos fluyan entre los elementos, incluyendo conexiones que pueden contener válvulas, compuertas u otros dispositivos que puedan restringir selectivamente el flujo de fluido.

5 Tal como se utiliza en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones, todos los términos "transferencia de ozono", "transferencia de masa de ozono," y "disolución de ozono" pretenden referirse a la disolución de gas de ozono en el agua.

10 Para ayudar en la descripción de la invención, los términos direccionales se pueden usar en la memoria descriptiva y reivindicaciones para describir partes de la presente invención (por ejemplo, superior, inferior, izquierda, derecha, etc.). Estos términos direccionales están destinados meramente a ayudar en la descripción y reivindicaciones de la invención y no se pretende que limiten la invención de ninguna manera.

15 Tal como se usa en la presente memoria descriptiva, se pueden usar letras para identificar los pasos de un método o proceso (por ejemplo, (a), (b) y (c)). Estas letras se utilizan para ayudar a referirse a las etapas del método y no están destinadas a indicar el orden en que se ejecutan las etapas, a menos que y sólo en la medida en que tal orden sea descrito específicamente.

20 El método de acuerdo con la presente invención proporciona un proceso de contacto gas - líquido eficiente en un sistema simple y compacto, con muy pocas piezas móviles que requieran un mantenimiento costoso o consuman gran cantidad de energía. Los procesos tradicionales para el tratamiento y desinfección del agua con el uso de ozono, ya sea con difusores de burbujas para la inyección de gas que contiene ozono en un contactor de cubeta de flujo continuo, o inyección de gas a través de un eductor Venturi o tobera, con o sin mezcladores estáticos, en una tubería. El contactor de cubeta con difusores de burbujas proporciona una pobre mezcla de gas y agua en la sección de contacto y es ineficiente en la transferencia de gas de ozono. Opera dentro del estrecho rango de diseño para el flujo de gas que conduce a una operación de caudal de gas constante mediante la reducción de la concentración de ozono en el gas durante los periodos de bajo caudal de agua. Cuando la concentración de ozono se reduce para mantener el caudal de gas constante, se deben utilizar cantidades más altas de gas oxígeno puro por unidad de volumen de agua tratada. Esto representa un desperdicio de energía y mayores costos de operación durante los periodos de caudales bajos de agua. El contactor de cubeta también opera a presión atmosférica de manera que no se puede añadir una etapa de ozonización como un reacondicionamiento sin bombas adicionales o métodos de presurización de agua que se utilizan para retirar el agua tratada de la cubeta.

35 El contactor de tubería en línea es un reactor de flujo de pistón con introducción de gas en la corriente de agua a través de una tobera de gas, eductor Venturi, o chorro de dos fases. Este tipo de contactor también opera dentro de las estrechas especificaciones de rangos de agua y velocidades de gas y tiene una baja eficiencia de transferencia de masa de ozono. Si se utilizan mezcladores estáticos en el reactor de tubo para la mezcla aguas abajo del punto de inyección de gas, la utilización de ozono se mejora dentro de la gama de diseño de los mezcladores estáticos. Pero esto conduce a un diseño de reactor complejo y mayores costos de operación debido a la gran pérdida de presión del flujo turbulento requerido para la mezcla en los mezcladores estáticos.

40 Se desea un proceso de transferencia de ozono más versátil que tenga un rango de operación más amplio, menor consumo de energía y una mayor eficiencia de transferencia de ozono. La invención descrita en la presente memoria descriptiva logra uno o más de estos objetivos. El proceso tradicional de inyección de gas, tal como el uso de un eductor Venturi en línea, un mezclador estático en línea, o tobera de gas no producirá el mismo grado de dispersión de gas requerido en la entrada de la sección de relleno como la que era alcanzada por el aparato que se ha descrito en esta solicitud. El aparato descrito en la presente memoria descriptiva se puede incorporar fácilmente en una planta de tratamiento de agua existente con modificaciones menores como un reacondicionamiento. Esta invención se puede utilizar con fuentes de alimentación de agua a cualquier presión, a diferencia del proceso de contactor de cubeta en el que la fuente de alimentación de agua se debe mantener a presión atmosférica. También permite el uso de generadores de ozono económicos, que operan a alrededor de 15 psig (100 kPa) con muy buena eficiencia de transferencia de masa de ozono, incluso si el agua a tratar está a una presión superior a 15 psig (100 kPa).

55 La invención de acuerdo con la presente solicitud permite la transferencia de ozono desde la fase gaseosa a la fase de agua con una alta tasa de utilización de ozono. En algunas realizaciones para poner en contacto el gas que contiene ozono con agua de acuerdo con la presente invención, el agua influente pasa sobre una sección de relleno estructurada que contiene un monolito después de que las burbujas de gas que contiene ozono se dispersen en el agua influente usando toberas de inyección de dos fases o difusores de gas. La sección de relleno estructurada es eficiente en la transferencia de gas soluble a fase líquida sólo cuando el gas se dispersa bien antes de entrar en la sección de relleno. Una buena dispersión de las burbujas de gas en el agua se logra mediante la retirada de una porción del agua influente como una corriente lateral, presurizando el agua en la corriente lateral usando una bomba de flujo de líquido adecuada, y a continuación inyectando la mezcla de gas - líquido por delante de la sección de relleno. La corriente de gas que contiene ozono se introduce dentro de la corriente lateral a través de una tobera de gas o de un eductor Venturi. La mezcla de gas - líquido en la corriente lateral se divide en múltiples flujos y es canalizada a diferentes lugares a lo largo del conducto de flujo. Todos las corrientes de dos fases divididas de la corriente lateral se inyectan en el flujo principal de agua justo por delante de la sección de relleno con el fin de

minimizar la coalescencia de las burbujas y la segregación de fases. La orientación y las localizaciones de los puntos de inyección dependerán de la orientación y forma de la sección de relleno.

5 Como una alternativa a la inyección del flujo de dos fases delante de la sección de relleno, el gas que contiene ozono puede ser inyectado también a través de los difusores de gas directamente delante de la sección de relleno. En este caso, sólo el gas se inyecta en el flujo de líquido a través del difusor de una fuente de generación de ozono. La colocación de los difusores cerca de la sección de relleno asegura una coalescencia reducida de las burbujas, y el uso de múltiples difusores conformados para que coincidan con la forma de la sección de relleno asegurará una distribución uniforme de las burbujas de gas en la entrada de la sección de relleno. La sección de relleno puede estar orientada horizontalmente, verticalmente hacia arriba, o verticalmente hacia abajo con respecto al flujo de fluido. En algunas realizaciones, la orientación preferida de la sección de relleno es horizontal con microcanales de sección transversal redonda o cuadrada en el monolito para maximizar el flujo de fluido y la mezcla dentro de los microcanales. En algunas realizaciones, el gas de ozono empobrecido y el líquido tratado se pueden retirar aguas abajo de la sección de relleno por cualquiera de los medios tradicionales disponibles. Por ejemplo, la salida de la sección de relleno se puede conectar a una cubeta para lograr el tiempo de contacto deseado (CT) y separar el gas residual de ozono empobrecido. El tiempo de separación de gas y de residencia también se puede lograr por el uso de un recipiente de desgasificación para la separación de gases seguido por un contactor de tubería para el CT. El método para producir ozono es intensiva en potencia y costoso, por lo que es deseable maximizar la utilización de ozono en el proceso de oxidación sin gastar energía sustancial en la mezcla de las fases gaseosa y líquida.

10 El proceso utilizando realizaciones de acuerdo con la invención que se describen a continuación, supera los retos de los procesos conocidos para la disolución de ozono en agua y proporciona un sistema compacto para tal disolución. Es útil para el tratamiento y desinfección del agua en plantas de todos los tamaños, pero es especialmente atractivo para las plantas de tratamiento de agua que gestionan caudales de 700 metros cúbicos por hora o superiores.

15 Una de las principales ventajas de la presente invención es que este proceso se puede utilizar con agua que se encuentra a una presión mayor que la presión de operación del generador de ozono. En los procesos de tratamiento convencionales en los que el gas de ozono se inyecta directamente en la corriente principal de agua, la presión en la corriente principal de agua debe ser inferior a la presión del gas de ozono. En estos procesos de tratamiento, esto se añade a los costes de operación del sistema porque el generador de ozono no se utiliza de manera eficiente en la obtención de la presión necesaria.

20 En algunas realizaciones de acuerdo con la presente invención, se utiliza un educor Venturi para aspirar gas de ozono. El educor Venturi puede ser diseñado para operar por debajo de la presión del agua y del generador de ozono deseada para aspirar una cantidad deseada de gas de ozono. Esto desacopla la presión del agua influente de la presión del generador de ozono y, por lo tanto, ambos pueden funcionar en sus condiciones óptimas. Los aparatos y métodos de acuerdo con la presente invención podrían usarse para tratar presiones de operación que varían desde la presión atmosférica hasta aproximadamente 100 psig (690 kPa), y en la mayoría de los casos operan a presiones de agua entre 15 psig y 50 psig (100 kPa y 350 kPa).

25 En las realizaciones ejemplares descritas en la presente memoria descriptiva, la velocidad del agua que entra en la sección de relleno se reduce por medio del uso de una sección de expansión que tiene una superficie de sección transversal mayor que la de la tubería de influente adyacente. Este enfoque puede ser contrario a la intuición para las personas que tienen una experiencia ordinaria en la técnica debido a que muchos enfoques conocidos para el tratamiento de oxidación restringen el flujo de agua influente con el propósito de aumentar la velocidad del agua en la sección de mezcla. La manera con la que la presente invención mejora la transferencia de ozono se explicará en detalle a continuación con referencia a las realizaciones ejemplares descritas.

30 Una primera realización de un sistema de tratamiento de agua ejemplar 10 se muestra esquemáticamente en la figura 1. En el sistema 10, el agua a tratar se introduce dentro de un conducto de pretratamiento 16 por medio de una corriente de alimentación de influente a presión 12. Una porción del agua en el conducto de pretratamiento 16 se desvía en una porción de corriente lateral 60 que incluye una corriente lateral 62, una bomba 64 que hace circular agua a través de la porción de corriente lateral 60, y una pluralidad de corrientes 70, 72, 74 que se dividen de la corriente lateral 62 en un punto de bifurcación 69. El conducto de pretratamiento 16 transporta el agua no desviada a una sección de expansión 31.

35 En esta realización, el punto de bifurcación 69 y las corrientes 70, 72, 74 están situados aguas abajo de una junta 68 en la que el ozono generado por un subsistema de generación de ozono 18 es introducida dentro de la corriente lateral 62 por un línea de alimentación de ozono 66. A diferencia de los sistemas anteriores, en la presente invención se utiliza sólo una parte del volumen de agua influente para crear la dispersión del gas para la sección de relleno de la sección de mezcla 22. También, la presente invención incluye un dispositivo de bombeo (es decir, la bomba 64) sólo en la corriente lateral 62 con el fin de bombear el agua en la corriente lateral 62 a una presión que es mayor que la presión del agua situada en el conducto de pretratamiento 16. Esto reduce el consumo de energía mediante la presurización de solamente la porción de corriente lateral 60 del flujo de agua influente 12 en comparación con realizaciones en las que el flujo de agua influente completo 12 se bombea a través de un educor Venturi en línea.

En esta realización, el gas que contiene ozono en la línea de alimentación de ozono 66 se inyecta en la corriente lateral 62 en la junta 68, ya sea por medio de una tobera de gas o de un eductor Venturi. La corriente de gas - líquido en la corriente lateral 62 puede ser mezclada entonces opcionalmente adicionalmente por un mezclador estático para dispersar más las burbujas de gas en el agua. En esta realización, después de que el agua en la corriente lateral 62 se haya mezclado con ozono en la junta 68, la corriente lateral de dos fases 62 se divide entonces en una pluralidad de corrientes secundarias 70, 72, 74. Se debe entender que la corriente lateral 62 podría dividirse en cualquier número de corrientes secundarias dentro del alcance de esta invención. Preferiblemente, cada una de las corrientes secundarias se proporciona con un caudal volumétrico aproximadamente igual. En esta realización, la mezcla de gas - líquido en las corrientes 70, 72, 74 se alimenta a continuación a la sección de expansión 31 de la sección de mezcla 22 en los puntos de inyección respectivos 84, 86, 88, por delante de una sección de relleno de la sección de mezcla 22. En esta realización, la sección de relleno comprende un monolito 26.

Cualquier tipo de tobera de inyección tradicional puede ser utilizado para inyectar el flujo de dos fases en la sección de expansión 31. Los puntos de inyección se encuentran en la sección de expansión 31 de tal manera que crean una distribución sustancialmente uniforme de burbujas de gas y reducen la coalescencia de las burbujas de gas y la separación de fases. La división de la corriente lateral 62 en una pluralidad de corrientes (por ejemplo, corrientes 70, 72, 74) después de la mezcla de gas de ozono en la corriente lateral 62 reduce el número de líneas de alimentación de ozono necesarias a solamente una (como se ve por la utilización una línea de alimentación de ozono única 66 en la figura 1).

La mayoría de los generadores de ozono comerciales producen una corriente de gas de salida a una presión de 15 a 30 libras por pulgada cuadrada (100 a 210 kPa). Las presiones típicas de flujo de gas de salida son más bajas en los generadores de ozono de descarga de corona, en los que la eficiencia de generación de ozono comienza a sufrir si la presión de la corriente de gas de salida excede de 15 psi (100 kPa). En la realización que se muestra en la figura 1, el rango de presión preferido para el conducto de pretratamiento 16 es de entre 5 y 50 libras por pulgada cuadrada (30 y 350 kPa). Será obvio para un experto normal en la técnica que el rango preferido podría cambiar a medida que los generadores de ozono capaces de funcionar a presiones de salida de la corriente de gas más altas se encuentren disponibles comercialmente.

Una segunda realización de un sistema de tratamiento de agua ejemplar 110 se muestra esquemáticamente en la figura 2. En esta realización, a los elementos del sistema 110 que son los mismos que los elementos de la primera realización del sistema 10, se les da un número de referencia aumentado en 100. Por ejemplo, el conducto de pretratamiento 16 de la primera realización del sistema 10 es el mismo que el conducto de pretratamiento 116 de la segunda realización del sistema 110. Con el objetivo de claridad, algunas de las características de esta realización que se comparten con la primera realización están numeradas en la figura 2, pero no se repiten en la memoria descriptiva. Por ejemplo, la corriente de alimentación influente 12 en el sistema 10 se corresponde a una corriente de alimentación influente 112 en el sistema 110, la corriente de alimentación influente 312 en el sistema 310, la corriente de alimentación influente 412 en el sistema 410.

En la realización que se muestra en la figura 2, el gas que contiene ozono se divide en tres líneas de alimentación de ozono 166a, 166b y 166c, estando conectada cada una de las cuales, respectivamente, a una de las corrientes secundarias 170, 172, 174 en las juntas respectivas 176, 178, 180. Al igual que en la realización de la figura 1, se debe entender que la corriente lateral 162 se puede dividir en cualquier número de corrientes secundarias. Un eductor Venturi o cualquier otro dispositivo de inyección adecuado podría ser utilizado como dispositivo de inyección de gas para las corrientes secundarias 170, 172, 174. Las corrientes secundarias 170, 172, 174 a continuación alimentan una mezcla de gas - líquido dentro del agua influente en la sección de expansión 131. Esto reduce la necesidad de una tobera de gas adicional que puede causar una pérdida de presión en la corriente lateral 162, reduciendo, por lo tanto, aún más la cantidad de energía consumida por el proceso. La elección de la configuración de la corriente lateral, método de inyección de flujo de dos fases, y la localización precisa de las toberas de inyección, dependerán de muchos factores tales como, por ejemplo, el caudal volumétrico total de agua, la dosis de ozono, la orientación de la sección de relleno, y la naturaleza del relleno en la sección de relleno.

A continuación se describirán elementos adicionales del sistema 10. Se debe entender que los elementos correspondientes de la divulgación del sistema que siguen es igualmente aplicable a las realizaciones del sistema 110 de la figura 2, del sistema 310 de la figura 7 y del sistema 410 de la figura 8. Los elementos del sistema 10 que se describen en la memoria descriptiva y están presentes en todos los sistemas 110, 310, 410 pueden estar representados en los dibujos por números de referencia que se incrementan en un factor de 100, 300 y 410, respectivamente, pero pueden no estar descritos específicamente en la memoria descriptiva. Por ejemplo,

En el ejemplo que se muestra en la figura 1, el subsistema de generación de ozono 18 incluye un generador de ozono de descarga de corona. El generador de ozono incluye un línea de alimentación ya sea de aire ambiental, de aire enriquecido con oxígeno, u oxígeno puro, dependiendo de la concentración de ozono deseada y de la cantidad total de ozono en la línea de alimentación de ozono 66. En este ejemplo, se proporciona una línea de alimentación que comprende al menos el 90% de oxígeno. Un generador típico de ozono de descarga de 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 de generación de ozono 18 no contendrá menos del 3% de ozono en condiciones

normales de operación. En otras realizaciones, cualquier método alternativo adecuado para generar ozono podría ser utilizado.

Una mezcla de gas de ozono (desde la línea de alimentación de ozono 66) y agua del conducto de pretratamiento 16 fluye entonces dentro de la sección de mezcla 22. En este ejemplo, la sección de mezcla comprende un monolito alveolar 26. Haciendo referencia ahora a la figura 3, el monolito 26 comprende una estructura unitaria que tiene paredes 30 que definen microcanales paralelos 28, que preferiblemente llenan la superficie de sección transversal del monolito 26. En este ejemplo, las paredes 30 están formadas de un material cerámico. Cordierita, óxido de cerio - circonio, alúmina, carbono, y dióxido de titanio son ejemplos de otros materiales de sustrato adecuados para las paredes 30. Metales, tales como acero inoxidable, también serían materiales de sustrato adecuados para las paredes 30. Para monolitos de mayor diámetro, la estructura puede comprender una pluralidad de monolitos segmentados para ajustarse a la sección transversal deseada.

En este proceso, el agua influente de la corriente de pretratamiento 16 se transporta a la sección de mezcla 22 para el tratamiento de ozono. La velocidad típica del agua oscila entre 1 m/s y 2 m/s en el conducto de pretratamiento 16 y está más cerca a 2 m/s para mantener pequeño el tamaño de la tubería y al mismo tiempo mantener la pérdida de presión en niveles aceptables. El agua se hace pasar a continuación a través de una sección que tiene una mayor superficie de sección transversal que la tubería de agua influente y contiene el relleno estructurado o monolito de relleno 26 con microcanales 28 diseñados específicamente para lograr una buena transferencia de masa de gas a líquido. El relleno tiene generalmente un volumen vacío del 60% al 85% para el flujo de fluido a través del mismo. La velocidad superficial a través de la sección de relleno es menor que en la tubería de agua influente y está en el rango de 0,25 m/s a 1 m/s. La velocidad superior del agua a través del relleno conduce a una transferencia de masa mejorada pero también resulta en una alta pérdida de presión. La pérdida de presión y el consumo de energía se incrementan más rápidamente en comparación con la mejora en la transferencia de masa de la fase gaseosa a la fase líquida con el aumento de la velocidad del fluido a través del relleno estructurado. Por lo tanto, hay un rango de velocidad óptimo en el que tanto la transferencia de masa como la pérdida de presión están en el rango aceptable para hacer que la presente invención sea un proceso de disolución de ozono eficiente. El rango de velocidad sobre el cual algunos de los rellenos estructurados, tales como monolitos alveolares con microcanales operan con una pérdida de presión aceptable y una buena transferencia de masa, es mucho más amplio que para el mezclador estático. La pérdida de presión a través de este relleno también es considerablemente menor en comparación con los mezcladores estáticos, lo que lo hace un método muy atractivo para la disolución de gas.

En el ejemplo de la figura 3, la forma de la sección transversal del monolito 26 es circular y la forma de la sección transversal de cada uno de los microcanales 28 es cuadrada. Muchas formas alternativas son posibles y el monolito 26 y los microcanales 28 podrían ser bien de la misma forma o de formas diferentes. Por ejemplo, la forma de la sección transversal general del monolito 26 y la forma de la sección transversal de los microcanales 28 podría ser hexagonal. Las especificaciones preferidas para el monolito 26 en una aplicación específica dependerán de una serie de factores operativos, incluyendo (pero no limitados a) los rangos de dosificación de ozono y el catalizador deseados, así como el rango esperado de los caudales de agua.

En algunas realizaciones, las paredes 30 se pueden impregnar con un catalizador para aplicaciones de tratamiento de agua en las que se desean reacciones catalíticas, tales como la oxidación catalítica de contaminantes orgánicos, tales como nitrobenzeno, aguas residuales de colorante de anilina, fenol, polifenoles, etc. Ejemplos de catalizadores de oxidación comunes incluyen carbono, paladio, hierro, titanio, dióxido de titanio, cobre, manganeso, magnesio, rutenio, y plata.

En una realización, el relleno basado en monolito alveolar 26 tiene microcanales 28 de aproximadamente 1 mm a 3 mm de ancho. Debido a las paredes 30, estos microcanales 28 no están interconectados de manera que una vez que el fluido entra en el canal no hay mezcla de fluido entre los canales adyacentes. Un intercambio de fluido mínimo se produce al final del bloque de monolito, que son típicamente de una longitud de 3" a 6" (76,2 mm a 152,4 mm) y apilados extremo con extremo con otro bloque de monolito para lograr la longitud deseada del relleno. El proceso, por lo tanto, requiere una buena dispersión de gas en la entrada del relleno de manera que la mayoría de los canales o la mayoría del volumen de la sección de relleno se utiliza para la transferencia de masa de ozono. Una vez que la dispersión adecuada de las burbujas de gas en el agua entra en los microcanales 28 del monolito alveolar 26, se alcanza una alta tasa de transferencia de masa gas - líquido. Esto se logra por el movimiento relativo en el límite de fase gas - líquido establecido por el flujo de circulación en las fases líquida y de gas debido a la fricción del fluido con las paredes del canal 30. El perfil de flujo deseado para una buena transferencia de masa es un flujo de Taylor en el que los bloques de gas y de líquido se mueven hacia abajo del canal capilar en flujo laminar. Esta invención también permite la operación del proceso a alta presión de fluido para aprovechar las fuerzas impulsoras de transferencia de ozono más altas para el tratamiento de agua. La longitud total de la sección de relleno estructurado se puede variar y es elegida para que alcance la eficiencia deseada de transferencia de masa de ozono de una dosis de ozono dada. En la sección de relleno estructurado, los bloques de monolito están dispuestos para cubrir todo el volumen de la sección de tubo o conducto para evitar cualquier derivación del gas o líquido a lo largo de los bordes entre el monolito y la tubería.

La mezcla de gas - líquido se suministra preferiblemente al monolito 26 a una presión elevada (es decir, por encima de la presión atmosférica), lo cual, como se ha explicado más arriba, aumenta la eficiencia de transferencia de masa de ozono. Como se ha señalado más arriba, las realizaciones de acuerdo con la presente invención reducen el consumo de energía por medio de la presurización solamente de la porción de corriente lateral 60 del flujo de agua influente 12 en comparación con realizaciones en las que el flujo de agua influente completo 12 es bombeado a través de un eductor Venturi en línea.

Para conseguir la distribución deseada de la fase gaseosa en la sección de relleno estructurado para una elevada eficiencia de la transferencia de masa de gas, las burbujas de gas tienen que ser dispersadas uniformemente aguas arriba de la entrada de la sección de relleno estructurado. En esta realización, la dispersión uniforme tiene que conseguirse mientras la velocidad del agua se reduce desde la velocidad de la tubería de influente de alrededor de 2 m/s a la velocidad de la sección de relleno de 0,25 m/s a 1 m/s. Esta reducción de la velocidad se logra alojando la sección de relleno estructurado en una tubería o conducto de mayor superficie de sección transversal que el tubo de influente (es decir, el conducto de pretratamiento 16). El tubo de influente se conecta entonces a la tubería con mayor superficie de sección transversal de la sección de relleno a través de la sección de expansión 31.

La sección de expansión 31 se muestra sólo esquemáticamente en las figuras 1, 2, 7, y 8. La figura 4 muestra con mayor precisión una forma ejemplar de la sección de expansión 31, que se encuentra situada entre el conducto de pretratamiento 16 y el monolito 26. Como se ve en la figura 4, el conducto de pretratamiento 16 se conecta a un extremo de aguas arriba 33 de la sección de expansión 31. El extremo de aguas arriba 33 tiene una superficie de sección transversal que es aproximadamente igual al extremo adyacente del conducto de pretratamiento 16. Moviéndose hacia el extremo de aguas abajo 35 de la sección de expansión 31 (es decir, más cerca del monolito 26, o hacia la derecha como se muestra en la figura 4), la superficie de sección transversal de la sección de expansión 31 aumenta de manera que es mayor que la superficie de sección transversal en el extremo de aguas arriba 33. En algunas realizaciones, la superficie de sección transversal en el extremo de aguas abajo 35 es preferiblemente al menos el doble que la de la primera superficie de sección transversal en el extremo de aguas arriba 33.

Como se ha indicado más arriba, la presente invención representa una mejora con respecto a los sistemas conocidos, ya que disminuye la velocidad del agua que entra en la sección de relleno por el uso de la sección de expansión 31. Este concepto puede ser contrario a la intuición para aquellos que tienen un conocimiento ordinario en la técnica puesto que la desaceleración de la velocidad del agua en la sección de expansión 31 puede mejorar la coalescencia de las burbujas y la separación de fases. Un mezclador estático tampoco se puede utilizar para distribuir con eficacia las burbujas de gas en la sección de expansión aguas arriba del monolito porque la velocidad del fluido es inferior a la óptima requerida para los mezcladores estáticos. Se debe hacer notar que en los métodos que utilizan un mezclador estático junto con un dispositivo de inyección de gas tal como un eductor Venturi o toberas de gas, la velocidad del fluido se mantiene constante aguas abajo de la inyección de gas de ozono con el fin de evitar la separación de las fases fluidas.

Cuando el aparato está orientado horizontalmente, si el gas se inyecta en la tubería de influente utilizando los métodos tradicionales de inyección de gas tal como una tobera de gas o un eductor Venturi, las burbujas de gas se elevarán y realizarán la coalescencia en la sección de expansión 31 por delante del monolito 26 para crear una fase de gas separada en la parte superior de la sección de expansión 31. Además, cuando se hace pasar el flujo volumétrico total del agua entrante a través del eductor Venturi en línea, entonces se incurre en pérdidas de energía considerables debido a la gran pérdida de presión a través del eductor.

La presente invención soluciona este problema mediante el uso de sólo una fracción del volumen de agua influente para crear la dispersión del gas que entra en el monolito 26. La figura 4 también muestra cómo el gas de ozono se inyecta directamente en la sección de expansión en los puntos de inyección 84, 86, 88 en la realización de la figura 1.

Se hará referencia a continuación a las realizaciones de las figuras 7 y 8. Para aplicaciones en las que el agua a tratar es bastante clara de partículas suspendidas, tales como agua potable después de la coagulación y la filtración, es decir, cuando la dosis de ozono requerida para el tratamiento de agua es relativamente baja, los difusores de gas (que pueden adoptar la forma de rociadores de gas) se colocan delante del monolito en la sección de expansión, sin la necesidad de una corriente lateral. Haciendo referencia a la realización de la figura 7, se pueden usar múltiples difusores (es decir, rociadores de gas 382a, 382b) para distribuir más uniformemente el gas dentro de la sección de expansión 331 y para evitar la coalescencia de las burbujas de gas cuando el monolito 326 está orientado horizontalmente. Se debe entender que se podría utilizar cualquier número de difusores en cualquier número de puntos de inyección en la sección de expansión 331 dentro del alcance de esta invención. El flujo transversal del agua influente que entra en la sección de expansión 331 a través de la corriente de agua influente 312 llevará las burbujas de gas generadas por el gas inyectado en el monolito 326 a la transferencia de masa de ozono dentro de los microcanales 328 del mismo. Los difusores se podrían hacer de cerámica, polímero o metal sinterizado y pueden ser conformados como tubos semi circulares o rectos, dependiendo de la forma del monolito, con el fin de lograr la distribución de gas sustancialmente uniforme a través de toda el superficie de sección transversal del extremo de entrada (es decir, aguas arriba) del monolito 326.

- Haciendo referencia a la realización que se muestra en la figura 8, en realizaciones en las que el monolito 426 está orientado verticalmente hacia arriba (es decir, en las que el extremo de aguas abajo del monolito 426 se opone a la gravedad), entonces el difusor (rociador de gas 482) se puede colocar en una rejilla cuadrada o rectangular en el centro de la sección de expansión 431. Debido a la orientación de esta realización, las burbujas de gas no coalescerán fácilmente, y el rociador de un solo gas 482 mantendrá las burbujas de gas suficientemente separadas hasta que entren en los microcanales 428 del monolito 426. Se debe entender que cualquier número de difusores se podría utilizar en cualquier número de puntos de inyección en la sección de expansión 431 dentro del alcance de esta invención.
- Se debe entender que la sección de relleno estructurado (monolito) se puede orientar para un flujo de fluido vertical hacia arriba, vertical hacia abajo, u horizontal. El número, la orientación y localización de la o las toberas de inyección o difusores pueden ser modificados en base a la orientación de la sección de relleno, dentro del alcance de esta invención. Para la orientación horizontal de la sección de relleno, la o las toberas de inyección se encuentran localizadas con el fin de minimizar la separación y la coalescencia de las burbujas de gas en la parte superior de la sección de expansión.
- Se debe entender, además, que el aparato de las realizaciones que se muestran en las figuras 7 y 8 podrían incorporarse dentro de los sistemas generales como aproximadamente se muestra en las figuras 1 y 2, es decir, dentro de un recipiente separador, que tiene una unidad de destrucción de ozono, etc.
- El aparato con el relleno estructurado (monolito) y los difusores es superior al reactor de cubeta con difusores debido a que en esta invención, el o los difusores sólo se utilizan para la distribución de burbujas de gas y no para la mezcla en la fase de agua. La transferencia de masa del ozono a partir de las burbujas de gas a la fase líquida se produce en el interior del monolito 426. Por lo tanto, a diferencia de los sistemas de reactores de cubeta, en estas configuraciones la transferencia de masa de ozono no sufre cuando el flujo de gas se reduce durante los períodos de demanda baja de ozono.
- La cantidad de gas que contiene ozono que se inyecta en la corriente lateral depende del tipo y de la concentración del contaminante en el agua influente, y de la concentración de ozono en la corriente de gas. La relación de gas a líquido en la corriente lateral depende de la fracción de volumen de flujo de corriente lateral en comparación con el flujo total. La dosis de ozono podría variar desde 2 mg de ozono por litro de agua bombeada a través de la corriente lateral, a 80 mg / l. Para agua altamente contaminada, tal como que el agua que se encuentra en escorrentías agrícolas, en la que la oxidación avanzada puede ser necesaria para tratar la contaminación química producida por los pesticidas, herbicidas, etc., la necesidad total de ozono puede ser mucho mayor que la requerida para la desinfección básica. La mayoría de las aplicaciones de desinfección de ozono requieren hasta 5 mg por litro de agua tratada. Para aplicaciones de eliminación de EDC, la demanda de ozono podría estar en el rango de 2 mg / l hasta un máximo de 20 mg / l de agua tratada.
- En este ejemplo, el sistema 10 está configurado de manera que la mezcla de gas y líquido fluye hacia abajo a través del monolito 26. En otras realizaciones, el monolito 26 podría estar orientado para un flujo vertical hacia arriba u horizontal. Se debe hacer notar que las orientaciones de flujo vertical y horizontal son más prácticas en aplicaciones en las que la demanda de ozono, y por lo tanto la relación gas - líquido de la mezcla que entra en el monolito 26, es menor. La longitud del monolito 26 se puede seleccionar para lograr una eficiencia de transferencia de masa de ozono deseada, produciéndose una mayor eficiencia en un monolito más largo 26.
- En esta realización, el monolito 26 descarga dentro de un recipiente separador de fases de gas - líquido 34. En esta realización, el gas que se acumula en el recipiente 34 se ventila a un conducto de purga de gas 40 que está conectado preferiblemente a una unidad de destrucción de ozono 42. La unidad de destrucción de ozono 42 convierte cualquier ozono remanente del conducto de purga de gas 40 en oxígeno y ventila el gas oxígeno a la atmósfera. Opcionalmente, un conducto de reciclado de gas 44 puede recircular gas desde el recipiente 34 para el subsistema de generación de ozono 18 (o a un punto que se encuentre aguas arriba o aguas abajo del generador de ozono).
- El agua tratada se retira del recipiente 34 a través de un conducto de salida 38 situado en el extremo inferior del recipiente 34. En algunas realizaciones, una bomba puede estar incluida en el conducto de salida 38 para permitir que al menos una parte del agua tratada sea recirculada a través del conducto de pretratamiento 16. El agua también puede ser descargada desde el sistema 10 a través de un conducto de efluente 46.
- En algunas realizaciones, una lumbrera de entrada 52, que está conectada a una fuente de alimentación de peróxido de hidrógeno, se proporciona preferiblemente en el conducto de pretratamiento 16 para permitir que el peróxido de hidrógeno se añada al proceso de tratamiento (en el que la oxidación avanzada es requerida o deseable).
- El sistema 10 puede estar adaptado para proporcionar un amplio rango de dosificación de ozono, es decir, la cantidad de gas de ozono que se disuelve en el agua durante el tratamiento. Si se desea un alto nivel de dosificación de ozono, los caudales de las corrientes influente y efluente 12, 46 se pueden reducir, de manera que una mayor fracción de agua en el conducto de salida 38 es reciclada a través del conducto de pretratamiento 16.

- 5 Como se usa en la presente memoria descriptiva, "dosis de ozono" pretende referirse a la cantidad de ozono que ha sido consumido por el agua cada vez que realiza un ciclo a través de la sección de mezcla 22 y que típicamente se mide comparando el contenido de ozono de la línea de alimentación de ozono 66 con el contenido de ozono en el conducto de purga de gas 40. "Dosis de ozono promedio total" pretende referirse a la dosis total de ozono en el agua tratada cuando sale del sistema 10 a través del conducto de efluente 46. La relación entre la "dosificación de ozono" y "dosis de ozono promedio total " es una función de la fracción de agua en el conducto de salida 38 que se recicla a través del conducto de pretratamiento 16.
- 10 La figura 5 ilustra la configuración del sistema 10 en el que se desea una dosificación de ozono relativamente alta. En esta realización, toda la corriente de agua no tratada 50 es dirigida hacia el sistema de tratamiento 10 por la corriente de influente 12. La figura 6 ilustra una configuración del sistema 10 en el que se desea una dosificación relativamente baja de ozono (por ejemplo, 2 - 5 mg / l de agua). En esta configuración, sólo una parte del agua en el
- 15 conducto de agua 50 se desvía hacia el sistema de tratamiento 10 a través de la corriente de influente 12. El agua tratada se devuelve a la corriente de agua 50 a través de la corriente de efluente 46, en la que se mezcla con el agua no tratada para proporcionar una dosificación de ozono deseada en la corriente de agua 50. Como se muestra en la figura 6, el conducto de efluente 46 preferentemente reinyecta agua en el conducto de agua 50 en una localización que se encuentra situada aguas abajo del conducto de influente 12.
- 20 De esta manera, una invención ha sido descrita en términos de realizaciones preferidas y realizaciones alternativas de la misma. Por supuesto, diversos cambios, modificaciones y alteraciones de las enseñanzas de la presente invención pueden ser contemplados por los expertos en la técnica sin apartarse del alcance de la misma, tal como se define por las reivindicaciones adjuntas.

## REIVINDICACIONES

1. Un método para el tratamiento de agua, comprendiendo el método:

- 5 (a) dirigir una corriente de agua a través de un conducto de pretratamiento;  
 (b) introducir la corriente de agua del conducto de pretratamiento dentro de una sección de expansión que incluye un extremo de aguas arriba que tiene una primera superficie de sección transversal y un extremo de aguas abajo que tiene una segunda superficie de sección transversal, estando conectado el extremo de aguas arriba al conducto de pretratamiento y siendo la segunda superficie de sección transversal mayor que la primera superficie de sección transversal;  
 10 (c) proporcionar una corriente de gas que contiene gas de ozono;  
 (d) introducir la corriente de gas en la sección de expansión en al menos un punto de inyección mientras la corriente de agua está fluyendo a través de la sección de expansión, lo que produce una corriente de fase mixta gas - líquido que comprende gas de ozono y agua en el extremo de aguas abajo; y  
 15 (e) hacer pasar la corriente de fase mixta a través de un monolito en una sección que tiene una superficie más grande que la sección transversal del conducto de pretratamiento y que está conectada al extremo de aguas abajo de la sección de expansión, lo que produce un producto de reacción en el que al menos una parte del gas de ozono está disuelto en el agua

20 en el que la sección de expansión disminuye la velocidad del agua que entra en la sección que contiene el monolito, y  
 en el que la etapa (d) comprende:

- 25 desviar una porción del agua de la corriente de agua en el conducto de pretratamiento en al menos un conducto de corriente lateral para formar al menos una corriente lateral, introducir la corriente de gas en la al menos una corriente lateral para formar una mezcla de gas - líquido, e inyectar la mezcla de gas - líquido en la sección de expansión en al menos un punto de inyección; o  
 introducir la corriente de gas en la sección de expansión en al menos un punto de inyección, comprendiendo el al menos un punto de inyección un difusor de gas.

30 2. El método de la reivindicación 1, en el que la etapa (d) comprende:

- 35 (i) desviar una parte del agua de la corriente de agua en el conducto de pretratamiento dentro de al menos un conducto de corriente lateral para formar al menos una corriente lateral;  
 (ii) introducir la corriente de gas en la al menos una corriente lateral para formar una mezcla de gas - líquido; e  
 (iii) inyectar la mezcla de gas - líquido en la sección de expansión en el al menos un punto de inyección.

40 3. El método de la reivindicación 2, que comprende, además, incrementar la presión del agua en el al menos un conducto de corriente lateral a una segunda presión, teniendo la corriente de agua en el conducto de pretratamiento una primera presión, siendo la segunda presión mayor que la primera presión.

45 4. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 3, que comprende, además: dividir la al menos una corriente lateral en una pluralidad de corrientes laterales aguas abajo de donde la etapa (d) (ii) se ejecuta; o dividir la al menos una corriente lateral en una pluralidad de corrientes laterales aguas arriba de donde la etapa (d) (ii) se ejecuta, en el que la etapa (d) (ii) comprende, además, introducir la corriente de gas en cada una de la pluralidad de corrientes laterales para formar una mezcla de gas - líquido en cada una de la pluralidad de corrientes laterales; y en el que la etapa (d) (iii) comprende, además, inyectar la mezcla de gas - líquido de cada una de la pluralidad de corrientes laterales dentro de la sección de expansión en un punto de inyección diferente de una pluralidad de puntos de inyección.

50 5. El método de la reivindicación 1, en el que la etapa (d) comprende introducir la corriente de gas en la sección de expansión en al menos un punto de inyección, comprendiendo el al menos un punto de inyección un difusor de gas.

55 6. Un aparato de tratamiento de agua que comprende:

- un conducto de pretratamiento para suministrar una corriente de agua;  
 una sección de expansión conectada en comunicación de flujo con el conducto de pretratamiento, comprendiendo la sección de expansión un extremo de aguas arriba que tiene una primera superficie de sección transversal y un extremo de aguas abajo que tiene una segunda superficie de sección transversal, estando conectado el extremo de aguas arriba con el conducto de pretratamiento y siendo la segunda superficie de sección transversal mayor que la primera superficie de sección transversal;  
 60 un conducto de corriente de gas para suministrar una corriente de gas que contiene gas de ozono, estando el conducto de corriente de gas en comunicación de flujo con la sección de expansión en al menos un punto de inyección; y

- 5 un monolito en una sección que tiene un superficie más grande que la sección transversal del conducto de pretratamiento y que está conectado con el extremo de aguas abajo de la sección de expansión, teniendo el monolito un extremo de salida y un extremo de entrada y estando en comunicación de flujo con el conducto de pretratamiento, teniendo el monolito una pluralidad de canales en el mismo a través de los cuales la corriente de agua y la corriente de gas se pueden desplazar, en el que la sección de expansión funciona para disminuir la velocidad del agua que entra en la sección que contiene el monolito, y en el que el aparato comprende además:
- 10 al menos un conducto de corriente lateral situado aguas arriba de la sección de expansión, teniendo el al menos un conducto de corriente lateral un primer extremo que se bifurca del conducto de pretratamiento y un segundo extremo opuesto al primer extremo que está en comunicación de flujo con la sección de expansión, en el que una porción del agua de la corriente de agua en el conducto de pretratamiento es dirigida a través del al menos un conducto de corriente lateral, estando conectado el
- 15 conducto de corriente de gas en comunicación de flujo con la al menos una corriente lateral en al menos una junta; o un difusor de gas situado en la sección de expansión, estando conectado el conducto de corriente de gas en comunicación de flujo con el difusor de gas.
- 20 7. El aparato de tratamiento de agua de la reivindicación 6, que comprende, además, al menos un conducto de corriente lateral situado aguas arriba de la sección de expansión, teniendo el al menos un conducto de corriente lateral un primer extremo que se bifurca del conducto de pretratamiento y un segundo extremo opuesto el primer extremo que está en comunicación de flujo con la sección de expansión, en el que una porción del agua de la corriente de agua en el conducto de pretratamiento es dirigida a través del al menos un conducto de corriente lateral, estando conectado el conducto de corriente de gas en comunicación de flujo con la al menos una corriente lateral en
- 25 al menos una junta.
8. El aparato de tratamiento de agua de la reivindicación 7, en el que el al menos un conducto de corriente lateral se divide en una pluralidad de conductos de corriente lateral en un punto de bifurcación, en el que cada una de la pluralidad de corrientes laterales termina en, y está en comunicación de flujo con, la sección de expansión en un punto de inyección respectivo de una pluralidad de puntos de inyección; y en el que el conducto de corriente de gas está en comunicación de flujo con el al menos un conducto de corriente lateral en una junta aguas arriba del punto de bifurcación, o el conducto de corriente de gas está en comunicación de flujo con cada uno de la pluralidad de conductos de corriente lateral en una junta diferente de una pluralidad de juntas, encontrándose cada una de la pluralidad de juntas aguas abajo del punto de bifurcación.
- 30 9. El aparato de tratamiento de agua de la reivindicación 7 u 8, que comprende, además, un aparato de presurización situado en el al menos un conducto de corriente lateral que aumenta la presión del agua situada en el al menos un conducto de corriente lateral.
- 40 10. El aparato de tratamiento de agua de la reivindicación 6, que comprende, además, un difusor de gas situado en la sección de expansión, estando conectado el conducto de corriente de gas en comunicación de flujo con el difusor de gas.
- 45 11. El método o aparato de cualquier reivindicación precedente, en el que el monolito comprende una pluralidad de canales paralelos.

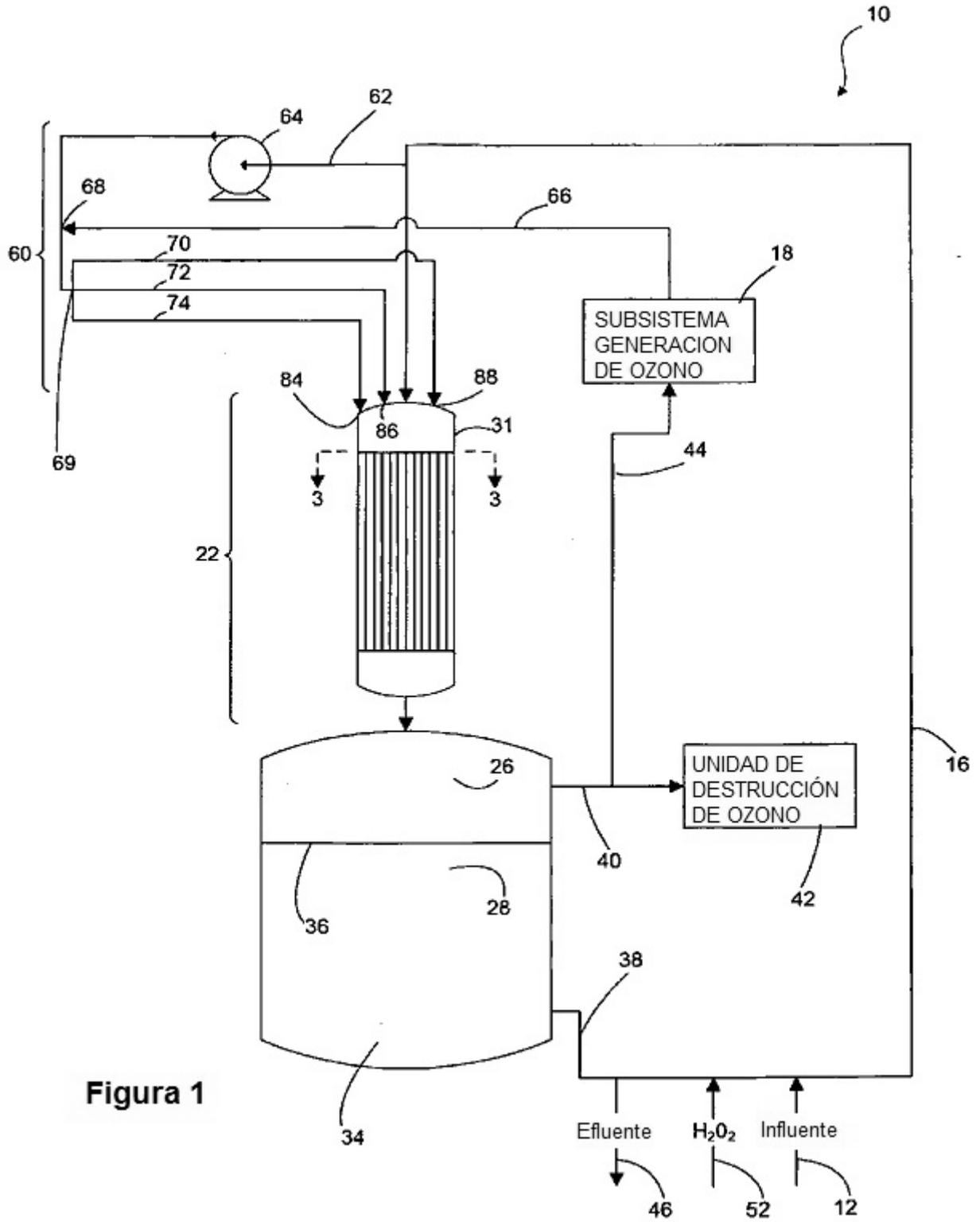


Figura 1

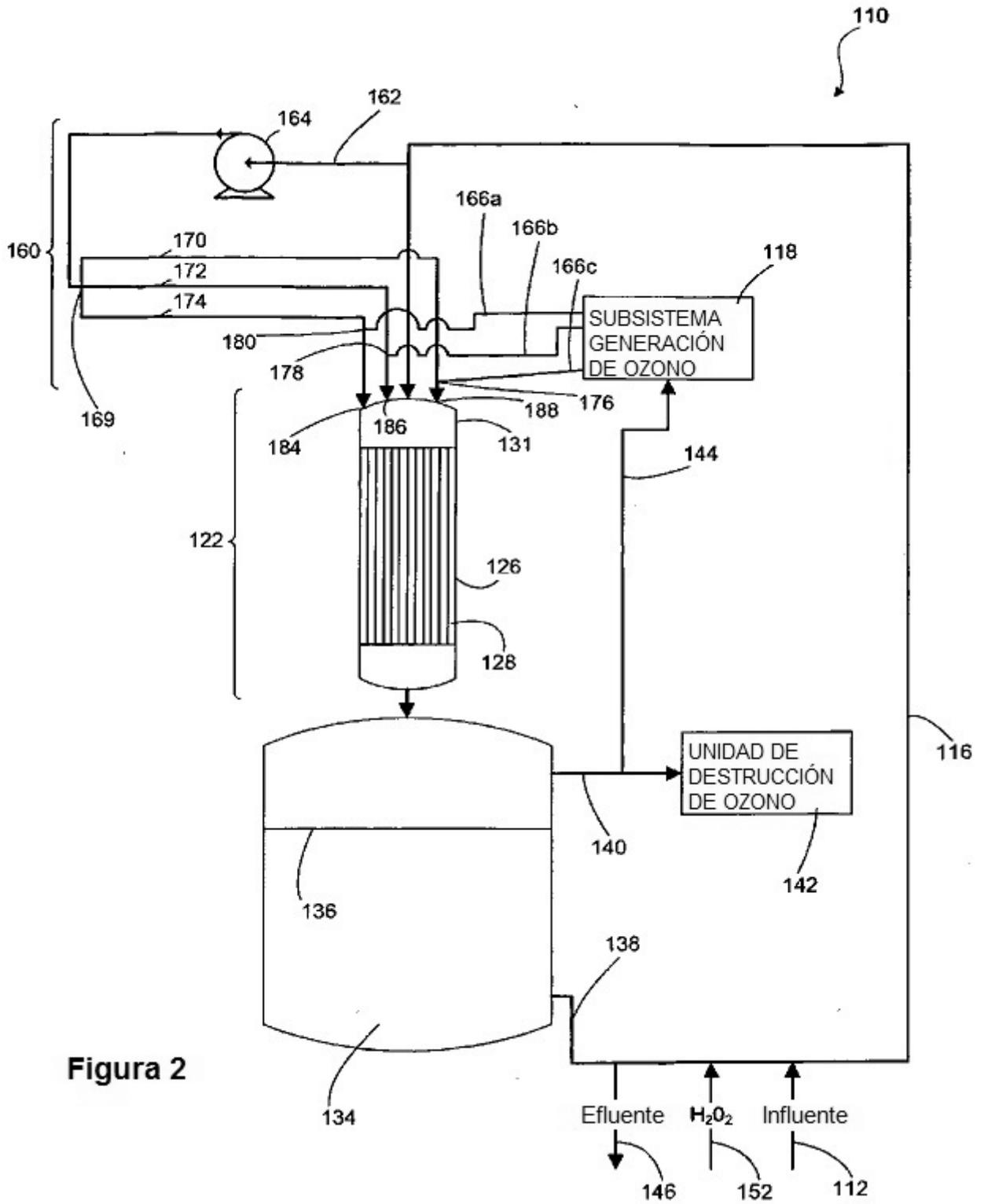


Figura 2

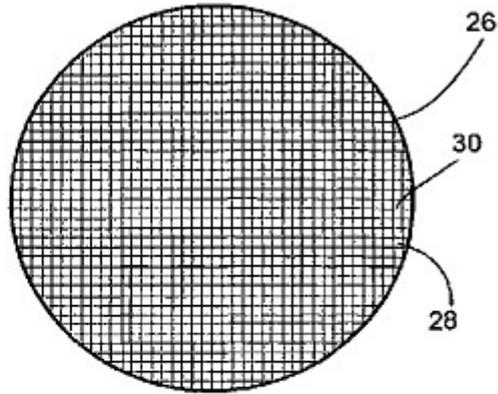


Figura 3

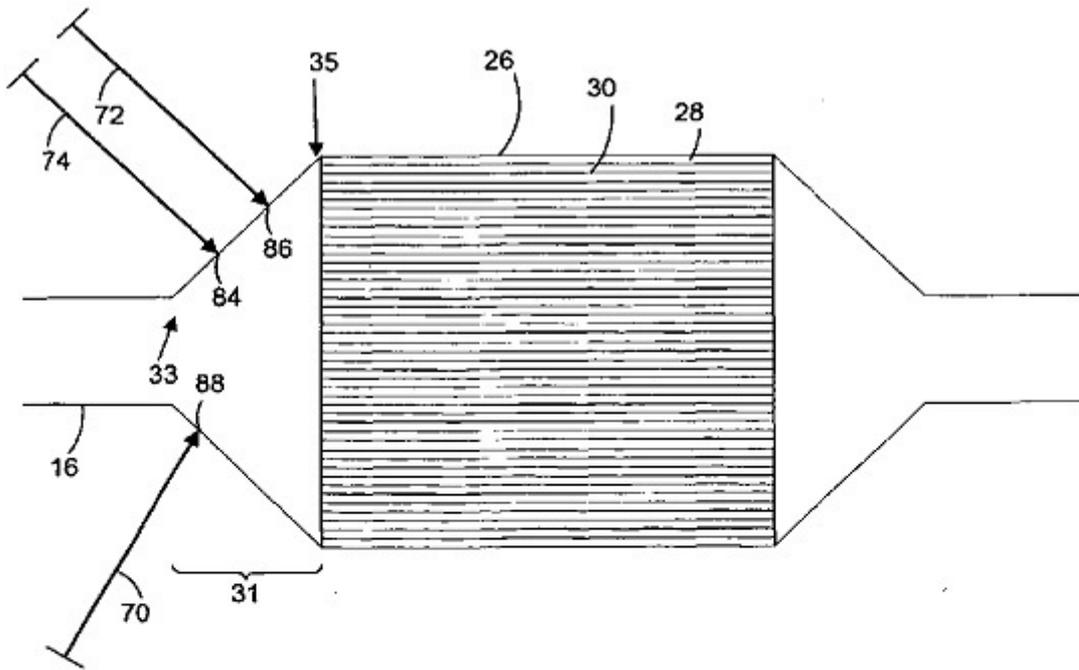
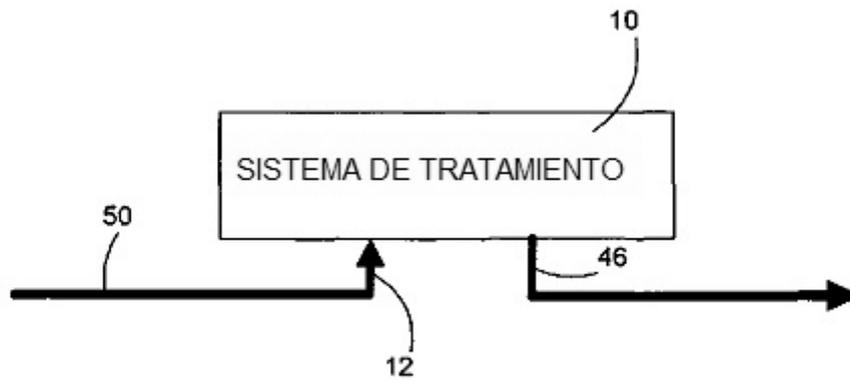
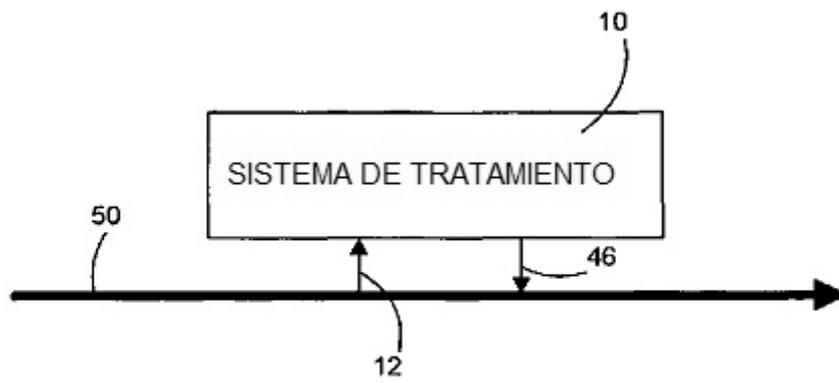


Figura 4



**Figura 5**



**Figura 6**

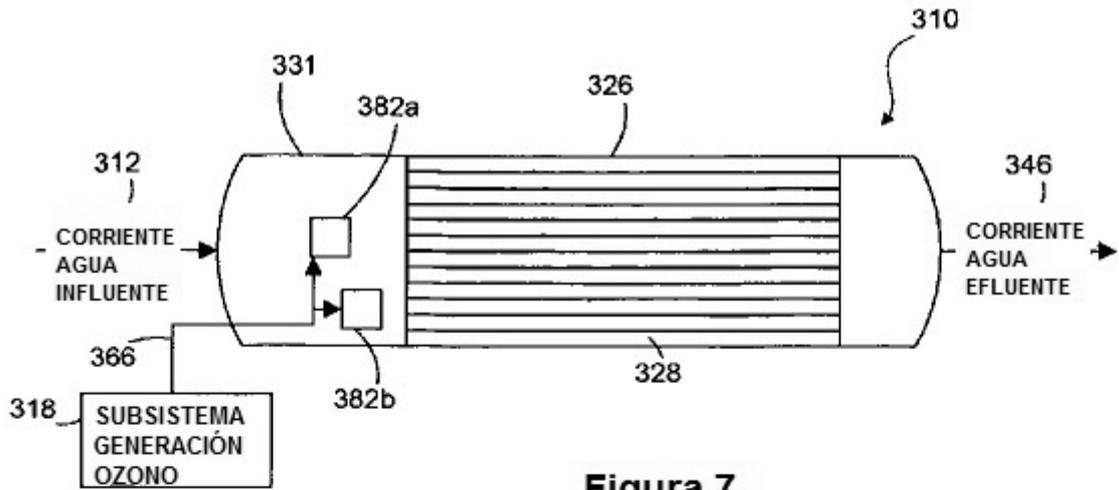


Figura 7

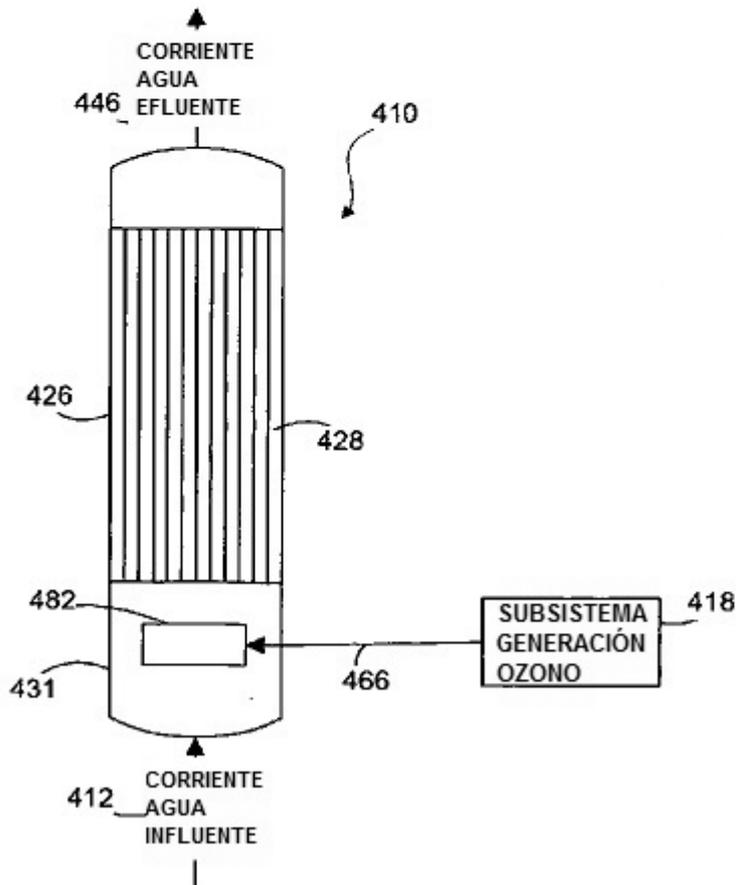


Figura 8