(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 430 552**

(51) Int. Cl.:

A61L 2/14	(2006.01)
A61L 9/22	(2006.01)
H05H 1/24	(2006.01)
B01J 19/08	(2006.01)
C02F 1/46	(2006.01)
A61L 2/10	(2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.05.2006** **E 06741298 (1)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.07.2013** **EP 1883429**

(54) Título: **Aparato y procedimiento para la purificación y desinfección de sustancias líquidas o gaseosas**

(30) Prioridad:

29.04.2005 EP 05447095
31.10.2005 EP 05077494

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.11.2013

(73) Titular/es:

VLAAMSE INSTELLING VOOR TECHNOLOGISCH ONDERZOEK N.V. (VITO) (100.0%)
Boeretang 200
2400 Mol, BE

(72) Inventor/es:

VANGENEUGDEN, DIRK;
REGO, ROBBY;
HAVERMANS, DANNY y
BLOK, HERMAN

(74) Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 430 552 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 procedimiento para la purificación y desinfección de sustancias líquidas o gaseosas.

Campo de la invención

La presente invención se refiere a la utilización de tecnología de fotocatálisis química y plasma atmosférico para el tratamiento de líquidos y/o gases. La invención es de interés en los campos de la desinfección y la purificación de agua potable y aguas residuales industriales, antiincrustación de sistemas de aguas de refrigeración industriales, remediación de emplazamientos contaminados de aguas subterráneas y superficiales, agricultura biológica incluyendo cultivo hidropónico, y limpieza y desinfección de sistemas de aguas domésticas y recreativas, tales como por ejemplo, piscinas, duchas y *jacuzzis*, estanques, etc.

Adicionalmente, la invención puede aplicarse para la desinfección, limpieza y purificación de gases, tales como por ejemplo, aire, en sistemas de tratamiento de aire y acondicionamiento de aire domésticos e industriales.

Antecedentes de la invención

Se ha recurrido a la tecnología de plasma para el tratamiento de líquidos, tales como por ejemplo, agua, durante algún tiempo (Hoeben, 2000; Lee & Lee, 2003; Yamabe *et al*., 2004; Grabowski *et al*., 2004; Lambert & Kresnyak, 2000; Johnson, 1996, Johnson, 1997; Denes, 2004; Anpilov *et al*., 2004). El problema es habitualmente producir un plasma de descarga de barrera dieléctrica homogéneo con suficiente área superficial en o por encima de una capa de fase líquida. El tratamiento que está asociado habitualmente con la generación de arcos, también denominados descargas iniciales (*streamers*), se denomina tratamiento corona más que tratamiento con plasma de descarga de barrera dieléctrica homogéneo. La tecnología corona se utiliza a menudo en un entorno de aire en combinación con tratamiento con ozono o UV para potenciar la naturaleza oxidativa de las reacciones químicas que tienen lugar durante estos procesos. La generación de luz UV, radicales, oxígeno singlete, peróxidos y especies oxidadas durante estos procesos de descarga es subyacente a la desinfección y purificación de la fase líquida. Sin embargo, lograr un mezclado suficiente de estas especies activas con la fase líquida que va a tratarse a menudo es un problema.

También se utiliza fotocatálisis UV para la desinfección y la eliminación de microcontaminantes en líquidos tales como agua. Para este fin, pueden cargarse o recubrirse membranas porosas o productos granulados con catalizadores tales como TiO_2. Bajo la influencia de luz UV o visible, pueden tener lugar reacciones oxidativas catalizadas sobre la superficie de un portador. Los productos de tales reacciones presentan un fuerte potencial de desinfección.

Aunque algunos compuestos tóxicos orgánicos pueden destruirse utilizando tratamiento corona o fotocatálisis UV, una amplia variedad de especies microcontaminantes residuales no pueden eliminarse utilizando estas técnicas.

Lo más comúnmente, se desinfecta agua utilizando aditivos químicos tales como cloro o biocidas. Son inconvenientes conocidos que tales agentes a menudo se ven dificultados en su eficiencia para destruir especies no bacterianas o producir la formación de productos secundarios no deseados tales como halógenos orgánicos sometidos a absorción (AOX) a través de la interacción de por ejemplo, cloro con la materia orgánica en el agua. Además, el cloro y los biocidas presentan un impacto negativo sobre la calidad del agua potable. Además, cierta demanda química de oxígeno (DQO) restante puede provocar en determinados nichos el crecimiento posterior de bacterias y puede conducir a infección e incrustación de equipos y servicios.

Se identifican varios problemas técnicos referentes a la utilización de tecnología de plasma sumergido destinado a la desinfección y purificación de líquidos, tales como por ejemplo, agua, y también gases, tales como por ejemplo, aire. Un primer problema es cómo generar un plasma de descarga de barrera dieléctrica (DBD) en una fase gaseosa que se sumerge en o está rodeado por una fase líquida.

La geometría y colocación de los electrodos así como la manera y las condiciones en las que se mezclan ambas fases entre sí son cruciales para obtener un plasma de descarga de barrera dieléctrica homogéneo dentro de la fase mezclada.

La importancia de utilizar un plasma de descarga de barrera dieléctrica homogéneo en vez de un plasma de descarga corona se manifiesta por la eficiencia y eficacia de tratamiento, el consumo de energía y el desgaste de los electrodos en el reactor de plasma.

A menudo se plantea un segundo problema relacionado con la utilización de tecnología de plasma que se dirige a la desinfección y purificación de medios líquidos o gaseosos en el requisito de capacidad industrial. Utilizando equipos de tratamiento del estado de la técnica, a menudo se observan limitaciones prácticas con velocidades de flujo de corrientes de fases o líquidos de sustratos. Como consecuencia, los costes energéticos de funcionamiento y ampliación a escala para cumplir los requisitos de capacidad pueden ser altos.

Un problema asociado con los procesos de eliminación de microcontaminantes fotocatalizados es la degeneración del catalizador que se utiliza. Esto requiere la regeneración, o a veces incluso la sustitución, del catalizador lo que implica costes de inactividad y adicionales para la sustitución del catalizador. Los documentos US5876663 y US6558638 experimentan varios de los problemas descritos anteriormente. En particular, el documento US6558638 describe un sistema en el que se produce un plasma en agua. En este sistema, se proporciona un tubo, producido a partir de un material dieléctrico, y rodeado por varios electrodos de anillo. Este aparato se sumerge en el líquido que va a tratarse, normalmente agua. Se bombea aire a través del tubo dieléctrico, y entra el agua a través de aberturas en el tubo dieléctrico. La zona de descarga de plasma está presente entre los electrodos de anillo sucesivos, es decir se crea plasma en el exterior del volumen del tubo, en el agua y/o en las burbujas de aire que entran en el agua. Un electrodo puede presentar una parte alargada que se extiende en el centro del tubo dieléctrico, pero esto no es un elemento esencial: esta parte central meramente ayuda a disminuir la capacitancia del primer hueco entre electrodos (en el exterior del tubo), y a poner de ese modo una parte máxima de la tensión sobre dicho primer hueco, y entonces producir una secuencia de rupturas sucesivas (descarga de la “superficie deslizante”). Esta técnica presenta varios inconvenientes, siendo el principal una pérdida de potencia debida a la existencia de corriente en el agua. Este sistema también experimenta el hecho de que el flujo de líquido a través del aparato está sometido a restricciones de flujo considerables, lo que pone un límite sobre las posibles velocidades de flujo que pueden procesarse. Este sistema también es difícil de ampliar a escala, debido a la geometría específica, en el que el campo eléctrico es coaxial a la dirección de flujo del líquido tratado.

El documento WO 2004/076052 A2 da a conocer un aparato para purificar un líquido que comprende un volumen de reacción en el que se admite el líquido mezclado con gas y electrodos polarizados de manera opuesta separados del volumen de reacción por barreras dieléctricas.

Objetivos de la invención

La presente invención tiene como objetivo proporcionar un procedimiento y aparato que no experimenten los inconvenientes de los sistemas de la técnica anterior.

Sumario de la invención

La presente invención se refiere a un aparato y procedimiento tal como se describe en las reivindicaciones adjuntas. El aparato y procedimiento emplean la utilización de tecnología de plasma de descarga por inyección controlada multifásica atmosférica (AMPCID) que puede combinarse con fotocatálisis para lograr un efecto sinérgico sobre la desinfección y purificación, es decir, sobre la eliminación de microcontaminantes residuales, en medios tales como por ejemplo, agua y aire. Según el procedimiento de la invención, se genera plasma en una primera fase, que es preferentemente una fase gaseosa, que se mezcla después con una segunda fase, tal como por ejemplo, una fase líquida. Puede producirse conjuntamente luz UV y/o luz visible con el propio plasma y puede inducir fotocatálisis, tras el transporte hasta la segunda fase. Aunque el centro principal de esta invención es sobre el tratamiento de agua y/o aire, el alcance de sus aplicaciones no se limita a estos medios preferidos sino que también incluyen medios orgánicos, tales como por ejemplo, aceites y líquidos que contienen hidrocarburos, mezclas de disoluciones acuosas con fases orgánicas, y gases distintos de aire, tal como por ejemplo, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, ozono, dióxido de carbono, helio, argón, etc., así como mezclas de los mismos.

La presente invención emplea un principio multifásico mediante el cual el procesamiento de alto rendimiento de fases tanto líquidas como gaseosas no se ve dificultado por restricciones de velocidad de flujo. Además el concepto multifásico es modular y puede ampliarse a escala fácilmente para cumplir requisitos de mayor rendimiento.

La presente invención permite la utilización de tecnología de plasma en combinación con fotocatálisis, haciendo de ese modo que sea óptimo la utilización de la sinergia entre ambos procesos con respecto a la regeneración del catalizador así como el consumo de energía global. Se producen radicales y especies activadas químicamente dentro del plasma que se consumen directa o indirectamente por la reacción de catálisis fotoinducida. La reacción de catálisis puede tener lugar directamente sobre una superficie expuesta de manera proximal al plasma generado, o, de manera remota a determinada distancia del plasma generado. La eficiencia y eficacia del tratamiento dependerán, en el último caso, por una parte de la vida de la especie química formada y la distancia que necesitan recorrer para alcanzar la zona catalítica, y por otra parte de las características espectrales del plasma generado y la absorbancia de la luz por las matrices con las que se encuentra en la trayectoria entre su origen y la zona catalítica.

A través del empleo de separadores de fases transparentes a la luz UV y/o visible entre las múltiples fases, la presente invención puede aprovechar adicionalmente la sinergia de la utilización combinado de generación de plasma y fotocatálisis. La luz UV y visible producida durante la descarga de plasma dieléctrica puede utilizarse o bien directamente para la desinfección y purificación o bien indirectamente para regenerar el fotocatalizador.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 ilustra una vista en sección de un reactor tubular según la invención

La figura 2 es una vista lateral del reactor de la figura 1.

Las figuras 3 a 5 muestran otras realizaciones de un reactor tubular según la invención.

Las figuras 6 y 7 muestran vistas de un reactor en forma de panel según la invención.

Descripción detallada de la invención

La invención se refiere a un aparato para la desinfección y purificación de un medio que comprende una fase líquida o gaseosa, o una mezcla de las mismas, y a un procedimiento realizado con dicho aparato, en el que se genera plasma en condiciones atmosféricas en un primer medio que es preferentemente una fase gaseosa, tal como por ejemplo, aire, que se introduce entonces mediante inyección en un segundo medio, que es preferentemente una fase líquida, tal como por ejemplo, agua, de tal manera, que se establece un flujo de mezclado entre el primer y el segundo medio y se utiliza el plasma para desinfectar y purificar el primer y/o el segundo medio.

La figura 1 muestra una sección transversal de una primera realización del aparato de la invención, también denominado a continuación en la presente memoria un reactor, que presenta una geometría tubular. Sin embargo, son igualmente posibles otras geometrías, tales como la geometría plana (panel plano) mostrada en las figuras 6 a 7. Las geometrías de las figuras 1 a 6 son simétricas, comprendiendo un electrodo plano o redondo central rodeado por varias áreas, que van a describirse a continuación en la presente memoria.

Se hace referencia ahora, sin embargo, a la primera realización de un reactor tubular, mostrada en las figuras 1 y 2. La siguiente descripción general comprende tanto características de aparato como características de procedimiento, tal como resultará evidente a partir de la redacción aplicada. La principal característica del aparato tubular según la invención, es que comprende al menos un electrodo central 1, rodeado por una capa dieléctrica 2, en contacto con el electrodo. El electrodo 1 y la capa de barrera dieléctrica 2 se sitúan de manera centrada en un área 3 en la que se introduce el primer medio, preferentemente una fase gaseosa (véanse las flechas en la parte superior o área 3). La fase gaseosa en el área 3 está contenida por un recipiente de generación de plasma, cuyos límites actúan como pared de separación permeable 4 que actúa como separador de fases, permitiendo el paso (a través de poros o agujeros) del primer medio a un área circundante 5, que está dispuesta para contener el segundo medio, preferentemente una fase líquida, y que está rodeada por una zona de barrera externa 7. La fase líquida en la realización de la figura 2 fluye a través del área 5 (véanse las flechas), y se trata durante dicho flujo. En otras configuraciones, el segundo medio puede tratarse en modo discontinuo, introduciendo un volumen fijado del medio en el área 5 y tratando dicho volumen. En configuraciones especiales, el reactor también puede operar sin el separador de fases.

Según la realización preferida de la figura 2, sólo hay un electrodo real 1, mientras que el líquido en el área 5 es suficientemente conductor y desempeña el papel del segundo electrodo, preferentemente conectado a tierra. Por ejemplo, si el líquido que va a tratarse es agua procedente de una red de distribución pública, esta corriente de agua está conectada a tierra, y cuando está presente en el área 5, actuará como contraelectrodo. No es necesario en ese caso que las partes 4 ó 7 que están en contacto con el agua, sean conductoras. Si el propio líquido no está conectado a tierra o conectado a una referencia adecuada, se produce preferentemente el separador 4 de fases a partir de un material conductor, y puede conectarse a tierra o a dicha referencia, tal como se muestra en la figura 2. En este montaje, el separador de fases y el líquido en el área 5 actúan como el segundo electrodo durante el funcionamiento del reactor.

El aparato comprende además medios para aplicar una tensión adecuada entre el electrodo principal 1 y el electrodo “líquido”, para crear un plasma en el primer medio, presente en el área 3. Según el procedimiento de la invención, este plasma se inyecta entonces con o sin el separador de fases en el líquido en el área 5 para purificar así dicho líquido.

La cuestión de si puede utilizarse o no el líquido como el segundo electrodo, depende de la conductividad de dicho líquido. El agua es en general lo suficientemente conductora como para desempeñar este papel. Sin embargo, en el caso en el líquido es insuficientemente conductor, puede aplicarse un segundo electrodo físico, preferentemente conectado a tierra, 8 alrededor de la zona de barrera 7 (véanse las figuras 3 y 4) o puede sustituirse la zona de barrera externa 7 y disponerse en contacto directo con el líquido en el área 5 (figura 5). Esto también ayuda a potenciar y generar plasma adicional en la zona de fase gaseosa/fase líquida en el área 5. En el caso de la figura 5, el líquido en el área 5 también puede ser conductor, y desempeñar el papel (junto con el electrodo 8) del segundo electrodo. El separador 4 de fases puede ser entonces conductor o no.

Si se utiliza el separador 4 de fases, puede consistir en un material no conductor, tal como una membrana porosa, por ejemplo una membrana cerámica o una membrana capilar o un tubo de vidrio o de cuarzo que es poroso o que

contiene capilares. Alternativamente, el separador 4 de fases puede producirse a partir de un material no conductor tal como cerámica, vidrio, cuarzo o un polímero en el que se introducen orificios de una geometría bien definida en áreas diferenciadas o por la totalidad de la superficie del separador 4 de fases según un determinado patrón para permitir un flujo controlado de gas desde el compartimento 3 hacia el área 5 que contiene el segundo medio, que es preferentemente una fase líquida, pero que también puede ser una fase gaseosa, o una mezcla de las mismas.

Alternativamente, el separador 4 de fases puede consistir en un material conductor, tal como por ejemplo, acero inoxidable, que contiene poros, capilares u orificios.

En el caso en que el segundo medio es una fase líquida o gaseosa, puede contener adicionalmente una fase sólida o de sol-gel, que puede ser porosa o sólida, actuando como material portador, y que puede cargarse o recubrirse con un resto fotocatalítico, o con nanopartículas que contienen restos fotocatalíticos, tales como por ejemplo, TiO_2, $CaBi_2O_4$ o $PbBi_2Nb_2O_9$. La actividad catalítica puede o bien estar contenida dentro del área 5 dentro de una red o cesta permeable en una zona 6 (véase la figura 1) que puede estar situada de manera proximal o contigua a un separador 4 de fases, o bien, puede estar contenida dentro de la totalidad del área 5, que entonces se llena con un material portador poroso, o bien, alternativamente, puede recubrirse en o sobre el separador 4 de fases y/o en la zona de barrera externa 7. En todos los casos, la fase sólida o porosa que contiene el material portador debe permitir el paso de luz y/o especies químicas activadas procedentes del plasma. El área superficial del portador sobre el que se proporciona el catalizador es preferentemente grande para aumentar la interacción, por una parte con las especies reactivas y UV procedentes del plasma remoto que alimentan la catálisis, y por otra parte con el segundo medio que va a tratarse y que sirve como sustrato para la catálisis oxidativa.

Alternativamente, el catalizador puede suministrarse dentro de los capilares o poros del propio material del separador 4 de fases. Debido a las fuerzas capilares, la fase líquida se absorbe en el material del separador de fases poroso o capilar. En el caso en que el segundo medio es una fase líquida, sin embargo puede no pasar a través de los poros o capilares al interior de la primera fase gaseosa a menos que se aplique una diferencia de presión relativamente grande entre la fase gaseosa y la líquida. El contenido de los poros o capilares puede purgarse periódicamente de manera síncrona con la generación de plasma pulsando la presión en la fase gaseosa por encima del valor de presión crítico.

El material del separador 4 de fases debe ser en cualquier caso tanto compatible con el plasma como químicamente para los productos de reacción que se generan dentro de la zona catalítica. Adicionalmente, es deseable que el material portador sea transparente en condiciones sumergidas para la luz UV y visible generada de manera remota por el plasma para maximizar los rendimientos de conversión de las reacciones de fotocatálisis. Un material de este tipo podría ser cuarzo poroso u óxido de aluminio poroso y puede contener tanto poros paralelos pasantes rectilíneos alineados como poros pasantes, ramificados, no rectilíneos.

Tal como se mencionó anteriormente, la totalidad del sistema puede estar encerrada por un contraelectrodo 8 que puede estar conectado a tierra. Entre el electrodo 8 y el área 5 que contiene el segundo medio, puede estar presente una zona de barrera externa 7. La zona de barrera externa 7 puede, dependiendo del material utilizado, o bien funcionar como capa de barrera dieléctrica, o bien simplemente puede determinar sólo los límites externos del dispositivo. En cualquier caso y en todas las configuraciones, el sistema debe contener al menos un electrodo que esté rodeado por una zona de barrera dieléctrica para impedir plasmas de canalización que dan como resultado un aumento del desgaste de los electrodos.

El plasma se genera inicialmente en el primer medio, que es una fase gaseosa, en el área 3, en un modo continuo o pulsado, y se introduce entonces en el segundo medio. En el caso en que el segundo medio es un fluido, la fase líquida o gaseosa puede o bien tratarse de manera discontinua dentro de un sistema cerrado, o bien puede bombearse en el reactor de manera que se forme un flujo paralelo o cruzado con relación al flujo que contiene el primer medio, es decir, la fase (preferentemente) gaseosa. También es posible una combinación de tratamiento discontinuo del segundo medio con circulación interna.

En una realización preferida, el segundo medio es una fase líquida que se conecta a tierra y se utiliza como un electrodo puesto a tierra si es conductor. Se impide que la fase líquida entre en el área 3, por ejemplo, aplicando una sobrepresión en el área 3 y posiblemente en combinación con la utilización de orificios, capilares o poros con dimensiones y/o propiedades de materiales controladas. Dependiendo de la situación de los electrodos, la conexión a tierra de los electrodos y la presencia o ausencia de barreras dieléctricas, la geometría del reactor, el estado iónico del segundo medio y las condiciones de procedimiento tales como el régimen eléctrico y la velocidad de flujo del primer y el segundo medio, el plasma en la primera fase gaseosa puede continuar existiendo, o incluso potenciarse, durante un determinado periodo de tiempo mientras que se inyecta en el segundo medio. En este último caso, puede hablarse de una generación de plasma de descarga por inyección controlada multifásica atmosférica (AMPCID) sostenida. En la burbuja que se forma posteriormente, especies altamente reactivas procedentes del plasma reaccionarán con el segundo medio en la interfase de superficie entre el primer medio y el segundo medio mientras que está disolviéndose en el segundo medio (si ambos medios se disuelven por completo uno en otro, probablemente se obtiene la mayor eficiencia de tratamiento).

En la figura 6, se muestra un dibujo esquemático de vista desde arriba de una implementación de panel plano simétrico del principio. La segunda fase, preferentemente líquida se bombea a través de la entrada 9 a la cámara de reacción y entra en el área 5 en la que está expuesta a y se mezcla con el primer medio, preferentemente una fase gaseosa, que se inyecta en los compartimentos 3 y 10, que pueden conectarse el uno al otro. Situado de manera centrada hay un electrodo 1 rodeado por una capa de barrera dieléctrica 2. La primera fase gaseosa en la que se genera plasma en los compartimentos 3 y 10 se inyecta en la segunda fase, preferentemente líquida en el área 5 por ejemplo, aplicando una sobrepresión en los compartimentos 3 y 10 con relación al área 5. La segunda fase tratada abandona la cámara de reacción a través de la salida 11. Para el tratamiento discontinuo (circuito cerrado) de la segunda fase pueden cerrarse las entradas y salidas del sistema mediante válvulas (no mostradas).

En la figura 7, se muestra una vista lateral de una implementación de panel plano del mismo principio. La segunda fase, preferentemente líquida se bombea en la cámara de reacción a través de la entrada 9 al área 5. La entrada 9 y la salida 11 pueden cerrarse opcionalmente mediante válvulas 12 y 13, respectivamente, para el tratamiento discontinuo del segundo medio. Se genera plasma dentro de la primera fase gaseosa y dichas especies activas se mezclan con el segundo medio. La primera fase gaseosa se inyecta en la cámara de reacción a través de la entrada 14. La fase gaseosa se recoge de los compartimentos 3, 10 y 15, y se guía a través de un dispositivo 16 de recogida hacia la salida 17. La entrada 14 y la salida 17 pueden cerrarse mediante válvulas 18 y 19, respectivamente, para el tratamiento discontinuo de la fase gaseosa. Se obtiene un sistema cerrado en el que la fase gaseosa puede reutilizarse y recircularse utilizando la bomba 20 para transportar la fase gaseosa desde la salida 17 hacia la entrada 14 de nuevo. La bomba 20 también actúa como los medios para aplicar una sobrepresión a la fase gaseosa en el área 3, de modo que el plasma creado en esta fase, puede inyectarse en el área 5. Medios de este tipo para inyectar el plasma están presentes en cualquier realización según la invención. En general, se entiende que los “medios para inyectar el plasma” en un aparato de la invención comprenden al menos medios de bombeo de este tipo, y posiblemente el separador 4 de fases (si está presente).

Tanto para configuraciones tubulares como de panel plano, las fases primera y segunda se separan tras el tratamiento con plasma. Tanto el primer medio como el segundo medio, si es un fluido, pueden procesarse independientemente en un sistema cerrado (circuito cerrado o discontinuo) o en uno abierto (directo). Con un sistema cerrado, los medios líquidos y/o gaseosos se recirculan de manera continua y se bombean de vuelta al dispositivo de tratamiento con plasma multifásico. Con una configuración directa abierta, se logra un único pase a través del reactor y puede realizarse un procesamiento de alto rendimiento.

Las ventajas de la presente invención son:

- El concepto de reactor de plasma multifásico es modular y adecuado para la ampliación a escala a aplicaciones de mayor rendimiento (industriales).

- Debido a su modularidad, pueden intercambiarse fácilmente diferentes formulaciones de fotocatalizadores químicos, someterse a prueba y utilizarse dependiendo de la aplicación y el tipo de medio líquido o gaseoso que vaya a tratarse.

- En el dispositivo de plasma multifásico, pueden desinfectarse o purificarse tanto medios gaseosos como líquidos utilizando un modo o bien continuo o bien discontinuo de funcionamiento, para cualquiera o ambos medios.

- El procedimiento subyacente a la fotocatálisis asistida por plasma en el sistema de tratamiento presenta muchos parámetros y características controlables. Por ejemplo, pueden elegirse las fases gaseosas o líquidas, o mezclas de las mismas, para obtener resultados óptimos para diferentes aplicaciones; pueden variarse las velocidades de flujo de las fases tanto líquidas como gaseosas en un amplio intervalo dinámico; pueden variarse condiciones eléctricas, tales como frecuencia, diferencia de potencial, potencia y modo de funcionamiento pulsado o continuo; la geometría y situación de los electrodos y las capas de barrera dieléctrica así como los orificios, capilares o poros dentro del separador de fases es flexible; es posible operar el sistema multifásico en combinación con otros procedimientos de desinfección y purificación ortogonales y convencional, tales como por ejemplo tratamiento con UV, tratamiento con ozono o peróxido o tratamiento con partículas metálicas, tales como por ejemplo, de Ag, sin tener que reconstruir o rediseñar el reactor o procedimiento.

- El diseño robusto y sencillo facilita el mantenimiento y aumenta la vida útil del reactor mientras que se minimiza el tiempo de inactividad operativa. Dependiendo de la elección de los materiales utilizados, puede ser mínimo el desgaste del electrodo y mantenerse bajos los costes de sustitución de materiales. Por ejemplo, un sistema que consiste en un electrodo situado de manera centrada 1 (figura 1), que consiste en por ejemplo, una tira de aluminio o un polvo metálico empaquetado estrechamente, que está rodeado por una capa de barrera dieléctrica 2, tal como por ejemplo cerámica, y que se sitúa, por ejemplo, en un tubo de cuarzo con pequeños orificios pasantes previstos, puede ser robusto en funcionamiento y requiere poco o ningún mantenimiento para un tratamiento con corrientes bifásicas de agua-aire cuando está contenido por un material 7 dieléctrico, tal como por ejemplo, cuarzo o vidrio.

- Una ventaja adicional de utilizar materiales transparentes tales como vidrio o cuarzo es que el procedimiento con plasma es visible y puede inspeccionarse y monitorizarse en la totalidad de sistema completo.

- El concepto permite el tratamiento del primer medio que puede contener una pluralidad de gases diferentes, o, alternativamente, la segunda fase, preferentemente líquida puede tratarse simultáneamente con una pluralidad de gases diferentes. Se facilita un ejemplo en la figura 2, en la que la primera fase gaseosa contiene dos gases diferentes que residen respectivamente en las áreas 3 y 10. Puede obtenerse un sistema de activación o desactivación binario en este caso, cuando se seleccionan los dos gases y se utilizan de manera antagonista o agonista, respectivamente. Por ejemplo, puede producirse una reacción catalítica cuando la primera fase gaseosa que contiene un gas A (inyectado en el área 3) y que contiene un gas B (inyectado en el compartimento 10), siendo el gas A y el gas B reactivos uno con otro, o con los productos intermedios formados consecutivamente entre cualquier gas y el segundo medio, entran en contacto y se mezclan entre sí en una ubicación tal como por ejemplo, la salida 11 en la figura 2. El principio de utilizar una pluralidad de gases diferentes naturalmente también es aplicable a una geometría tubular. Adicionalmente, en lugar de un sistema de tratamiento paralelo, también podría utilizarse un sistema de tratamiento en serie en el que una pluralidad de gases diferentes se introduce secuencialmente en una disposición en serie de diferentes reactores de plasma.

- El concepto permite la utilización de una geometría tubular así como de panel plano. Un diseño tubular ofrece ventajas referentes a la fabricación, ampliación a escala y consumo de energía del sistema.

- La energía (luz) y las especies reactivas químicas generadas a partir del plasma pueden recircularse de manera continua y regenerarse en el proceso de catálisis química. Este proceso es sostenible con respecto al medio ambiente y el consumo de energía global.

- El procedimiento de desinfección y purificación no se basa en aditivos tales como cloro o biocidas en la segunda fase, preferentemente líquida que va a tratarse. Por tanto también es sostenible y respetuoso con el medio ambiente desde este punto de vista.

- En el caso en que el segundo medio es una fase líquida, la fase (o fases) gaseosa puede(n) estar contenida(s) dentro de un sistema cerrado para desinfectar de manera más efectiva la fase líquida, permitiendo que las condiciones del procedimiento se dirijan a mayores rendimientos de especies químicas que se generan tales como por ejemplo, ozono. El ozono no se libera directamente al medio ambiente como gas, sino que se captará parcialmente y se disolverá en cierto grado en la fase líquida en la que presenta una capacidad de desinfección remota; la fracción principal de la(s) fase(s) gaseosa(s) puede recircularse y estar contenida dentro del sistema cerrado.

- En el dispositivo de tratamiento con plasma multifásico, las fases líquidas, que pueden contener adicionalmente restos catalíticos incorporados en materiales portadores en fase sólida, también pueden consistir en medios orgánicos, o mezclas de medios inorgánicos y orgánicos. Las fases orgánicas, o mezclas de fases inorgánicas y orgánicas pueden servir entonces como sustrato para la fotocatálisis asistida por plasma.

- La eficiencia, eficacia y el poder de destrucción de la presente invención con respecto a contaminantes orgánicos persistentes (POP) y residuales pueden ser devastadores en comparación con cualquier otra técnica del estado de la técnica conocida debido a la combinación sinérgica de varios efectos complementarios contribuyentes tales como por ejemplo, irradiación con UV, formación de radicales, formación de otras especies químicas (derivatizadas) que muestran fuertes propiedades oxidativas, efectos de calentamiento localizado, efectos acústicos provocados por burbujas inducidas por plasma pulsado que implosionan y procesos de conversión catalítica que están relacionados con la generación de plasma.

- El sistema de la invención no experimenta la pérdida de potencia debida a corriente en el líquido, porque el plasma no se crea en el propio líquido, sino en una fase gaseosa, tras lo cual se inyecta el plasma en el líquido. Esto también provoca que se observe una menor tensión de ruptura (normalmente de 0,1-6 kV para configuraciones tubulares y de 0,1-25 kV para de panel plano) en sistemas según la invención, en comparación con sistema de la técnica anterior.

- En comparación con el sistema del documento US6558638, el aparato de la invención presenta menos restricciones de flujo para el líquido que va a tratarse.

- El campo eléctrico creado en el aparato de la invención es perpendicular a la dirección de flujo del líquido tratado. Esto hace que sea más fácil ampliar a escala el aparato simplemente haciendo que sea más largo.

Modos de poner en práctica la invención

Existen varios modos para llevar a cabo la presente invención. Los diferentes conceptos emplean sistemas multifásicos que presentan un efecto de activación y sinérgico con respecto al potencial de desinfección y

purificación así como con respecto al consumo de energía global y el desgaste de materiales. El *modus operandi* de la presente invención puede ser en una geometría tubular o en una de panel plano. Las realizaciones a las que ya se hizo referencia anteriormente, se describen a continuación en la presente memoria con detalle adicional.

En una primera realización preferida, el principio se reduce a una geometría tubular (figura 2). En las figuras 2a y 2b, se muestra una vista desde arriba y una vista lateral del sistema, respectivamente. Un electrodo de alta tensión situado de manera centrada 1 está rodeado por un tubo de barrera dieléctrica 2. La capa de barrera dieléctrica consiste preferentemente en cerámica, vidrio o cuarzo no porosos. Este elemento se sitúa de nuevo de manera centrada en un tubo 4 con un mayor diámetro. El tubo está compuesto preferentemente por un material conductor tal como acero inoxidable y sirve como electrodo conectado a tierra y separador 4 de fases. En el área 3, se inyecta gas. El tubo contiene orificios, capilares o poros en la parte inferior a través de la que se bombea gas en el área 5, que está contenida por un tubo de barrera dieléctrica 7 con un mayor diámetro que rodea el separador 4 de fases. Se inyecta un líquido, tal como agua, en el área 5, preferentemente de manera que hay un flujo cruzado en relación a la corriente de gas que se introduce en el área 3. Alternativamente, en vez de líquido, también puede inyectarse en el área 5 gas o mezclas de gas y líquido. Se genera plasma en el área 3 en un modo continuo o pulsado. El líquido, gas o mezcla de líquido/gas bombeado en el área 5 se trata inyectando el plasma generado desde el área 3 a través del separador 4 de fases en el área 5. El área 5 puede contener zonas adicionales 6 en las que se incorporan catalizadores, preferentemente fotocatalizadores, tales como TiO_2, que pueden contribuir adicionalmente al tratamiento (no mostrados en la figura 2).

En una segunda realización preferida, se introduce un segundo electrodo de alta tensión 8 en el sistema tal como se describió anteriormente en la primera realización preferida para potenciar y generar plasma adicional en la zona de fase gaseosa/fase líquida en el área 5 (figura 3). En las figuras 3a y 3b, se muestra una vista desde arriba y una vista lateral del sistema, respectivamente.

En una tercera realización preferida, el segundo electrodo de alta tensión 8 es sitúa aguas abajo a lo largo de cierta distancia desde el área en la que el separador 4 de fases contiene orificios, capilares o poros y donde se inyecta la fase gaseosa en la fase líquida (figura 4). Esto impide la formación de descargas iniciales de plasma en el área 5 en ubicaciones yuxtapuestas a los orificios, capilares o poros en el separador 4 de fases donde se inyecta la fase gaseosa en la fase líquida. En las figuras 4a y 4b, se muestra una vista desde arriba y una vista lateral del sistema, respectivamente.

En una cuarta realización preferida, el sistema es similar al sistema mostrado en la figura 4, excepto porque se omite la capa de barrera dieléctrica 7 (figura 5). En las figuras 5a y 5b, se muestra una vista desde arriba y una vista lateral del sistema, respectivamente.

REIVINDICACIONES

1. Aparato para la desinfección y purificación de un medio que comprende una fase líquida o gaseosa, o una mezcla de las mismas, comprendiendo dicho aparato:

- un primer electrodo (1),
- una capa dieléctrica (2) adyacente a dicho primer electrodo (1),
- una primera área (3) adyacente a dicha capa dieléctrica (2), y unos medios para introducir un primer medio en dicha primera área,
- una segunda área (5) adyacente a dicha primera área, y unos medios para introducir un segundo medio en dicha segunda área, siendo dicho segundo medio dicho medio que comprende una fase líquida o gaseosa,
- unos medios para crear un plasma en dicho primer medio, mientras que dicho primer medio está presente en la primera área, aplicando una tensión entre dicho primer electrodo (1) y un segundo electrodo,
- unos medios para inyectar dicho plasma en la segunda área (5), para mezclarse con el segundo medio,

  comprendiendo dichos medios para inyectar dicho plasma una pared de separación (4) entre dichas dos áreas, comprendiendo dicha pared unos orificios en al menos una parte de su superficie.

2. Aparato según la reivindicación 1, en el que dicha capa dieléctrica (2) y dicha primera área (3) están rodeando dicho primer electrodo (1), y dicha segunda área (5) está rodeando dicha primera área.

3. Aparato según la reivindicación 1, en el que dicha primera área (3) está formada por un recipiente de reactor, en el que el primer electrodo (1) está situado de manera centrada, y en el que la pared de separación (4) es la pared externa de dicho recipiente de reactor, y en el que la segunda área está delimitada por una pared de barrera (7), dispuesta alrededor de dicho recipiente de reactor.

4. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha capa dieléctrica (2) está dispuesta adyacente a dicho electrodo (1) y en contacto con dicho electrodo (1).

5. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dichos medios para crear una descarga de plasma están dispuestos para crear una descarga de plasma entre dicho primer electrodo (1) y el segundo medio, cuando dicho segundo medio está presente en la segunda área (5), actuando dicho segundo medio como el segundo electrodo.

6. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende además un segundo electrodo (8), adyacente a la segunda área, y en el que dichos medios para crear una descarga de plasma están dispuestos para crear dicha descarga entre el primer electrodo (1) y dicho segundo electrodo (8).

7. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que dicha pared de separación (4) se produce a partir de un material poroso, estando dichos orificios formados por los poros de dicho material.

8. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que dicha pared de separación está producida a partir de un material no poroso y en el que orificios están realizados en dicho material en la totalidad o una parte de la superficie de la pared de separación.

9. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha segunda área (5) comprende además un material portador que puede producir actividad fotocatalítica.

10. Aparato según la reivindicación 9, en el que dicho material portador está contenido en una red o cesta (6) dispuesta en la segunda área (5).

11. Aparato según la reivindicación 9, en el que dicho material portador está recubierto en o sobre al menos una parte de la pared de separación (4).

12. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, presentando dicho aparato una geometría tubular.

13. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, presentando dicho aparato una geometría plana.

14. Aparato según la reivindicación 13, en el que dicho aparato presenta una estructura simétrica, que comprende un primer electrodo plano (1), y dos capas dieléctricas (2) adyacentes a cada lado de dicho electrodo, y

comprendiendo la primera área (3) dos subáreas adyacentes a dichas capas dieléctricas, y siendo la segunda área (5) adyacente a dicha primera área.

15. Aparato según la reivindicación 13, en el que dicho aparato presenta una estructura asimétrica, que comprende un electrodo plano (1), y una capa dieléctrica adyacente a dicho electrodo (1), y la primera área adyacente a dicha capa dieléctrica, y la segunda área adyacente a dicha primera área.

16. Procedimiento para tratar un medio que comprende una fase líquida o gaseosa, o una mezcla de las mismas, que comprende las etapas siguientes:

- proporcionar un aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15,

- introducir un primer medio en la primera área (3) de dicho aparato,

- introducir el segundo medio en la segunda área (5) de dicho aparato,

- crear un plasma en dicho primer medio, mientras que dicho primer medio está en la primera área (3),

- inyectar dicho plasma en la segunda área (5).

17. Procedimiento según la reivindicación 16, en el que dicho primer medio es un medio gaseoso.

18. Procedimiento según la reivindicación 16 ó 17, en el que dicho plasma se crea en condiciones atmosféricas.

19. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 18, en el que el segundo medio fluye a través de la segunda área (5), y es tratado durante dicho flujo.

20. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 18, en el que dicho segundo medio se trata en modo discontinuo, en el que se introduce un volumen de dicho segundo medio en dicha segunda área (5), tras lo cual se trata dicho volumen.

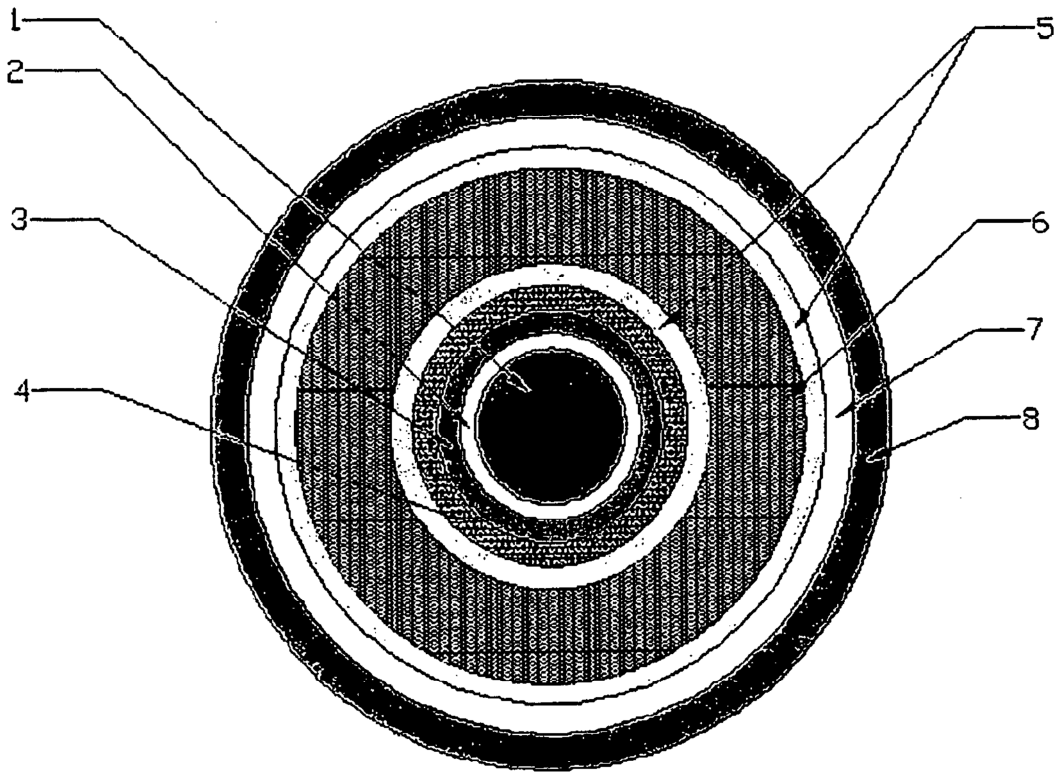

Figura 1

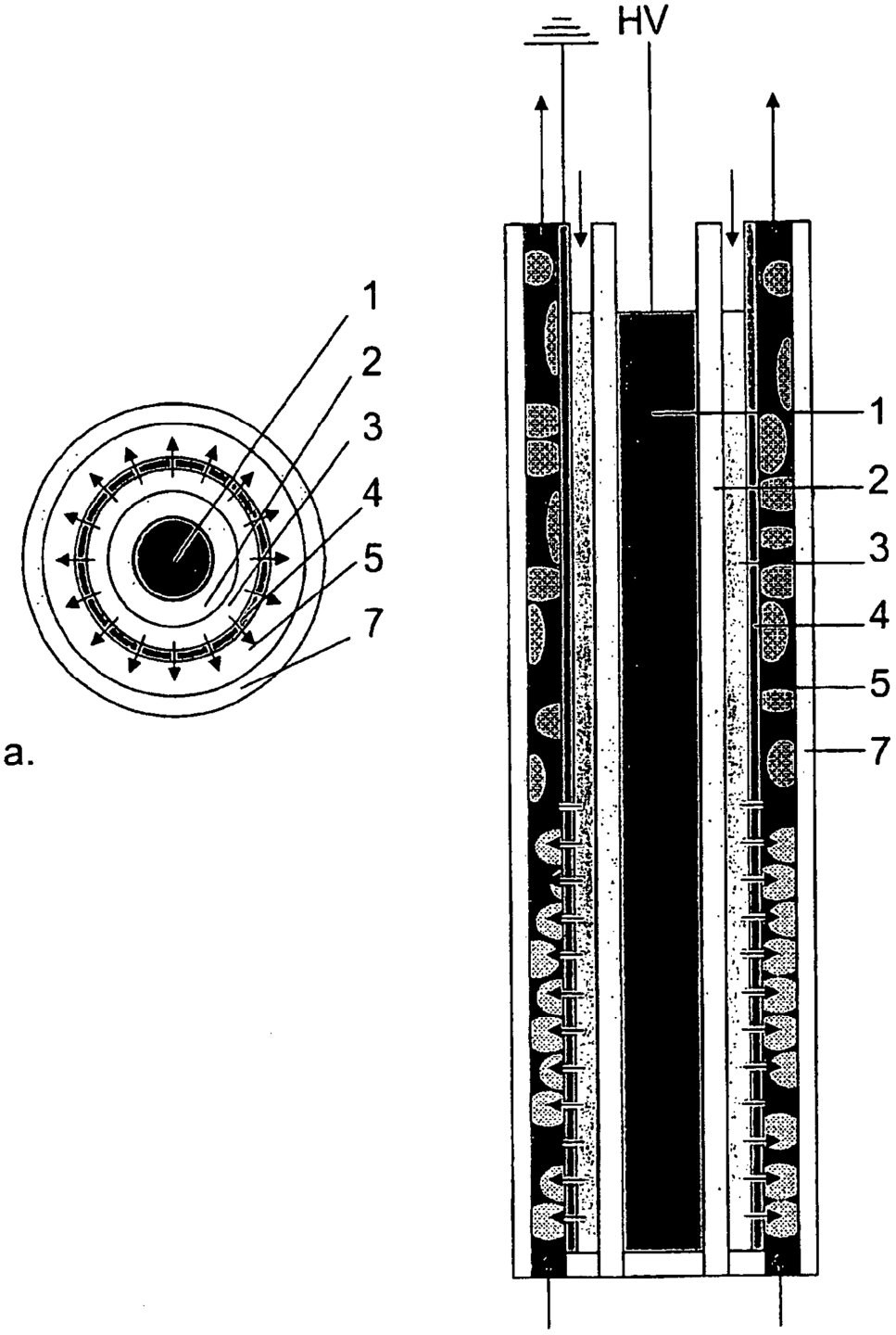

Figura 2

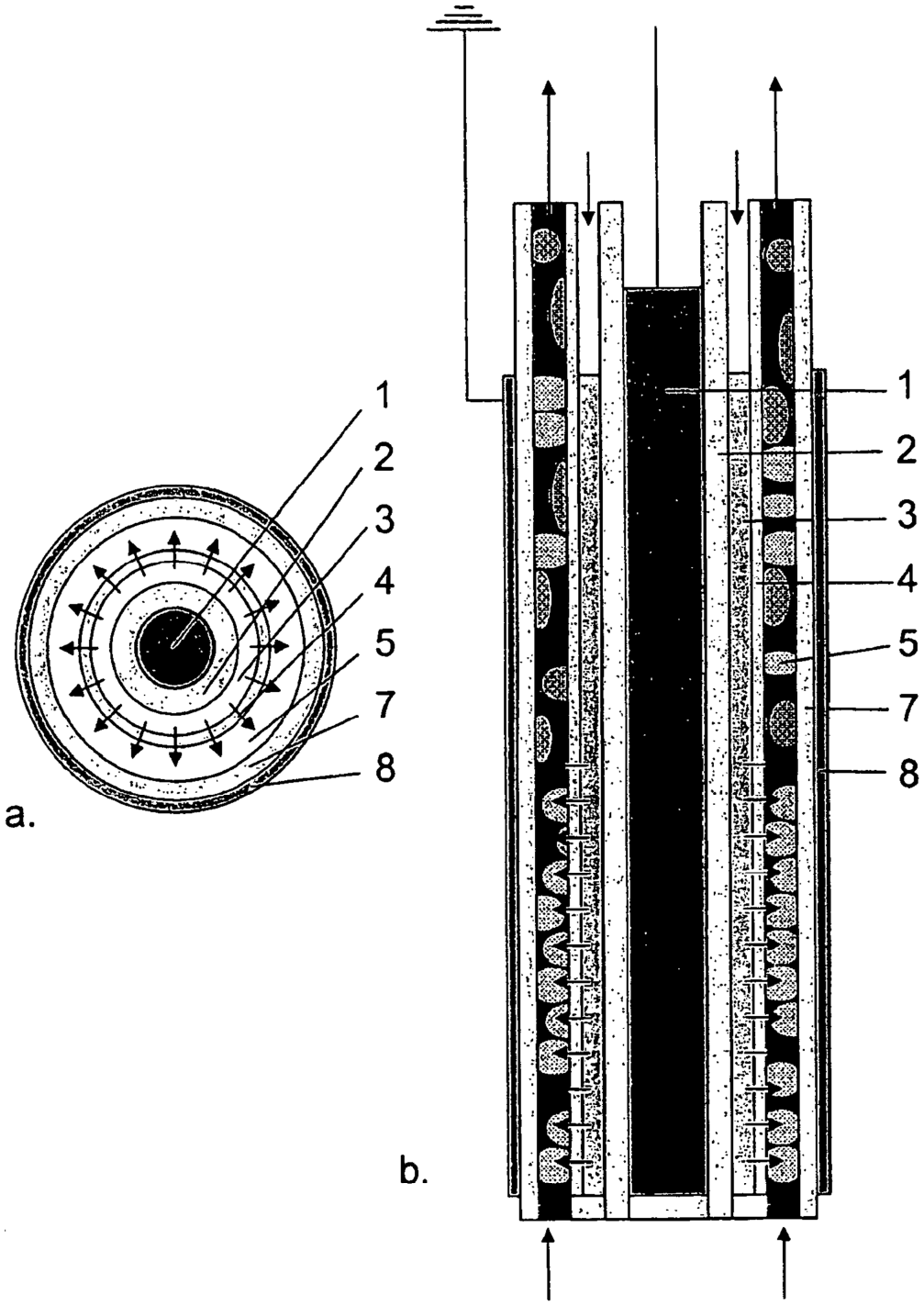

Figura 3

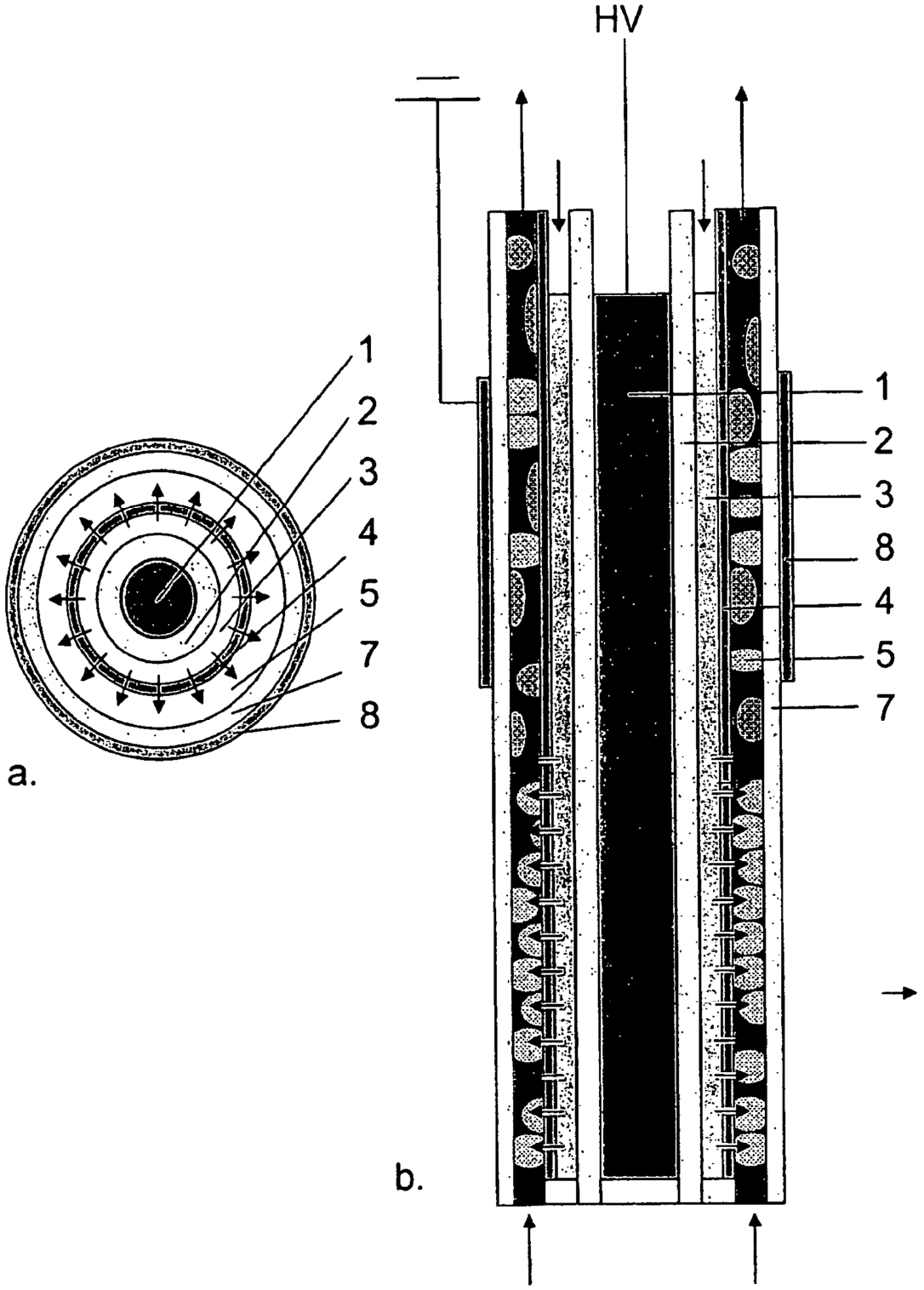

Figura 4

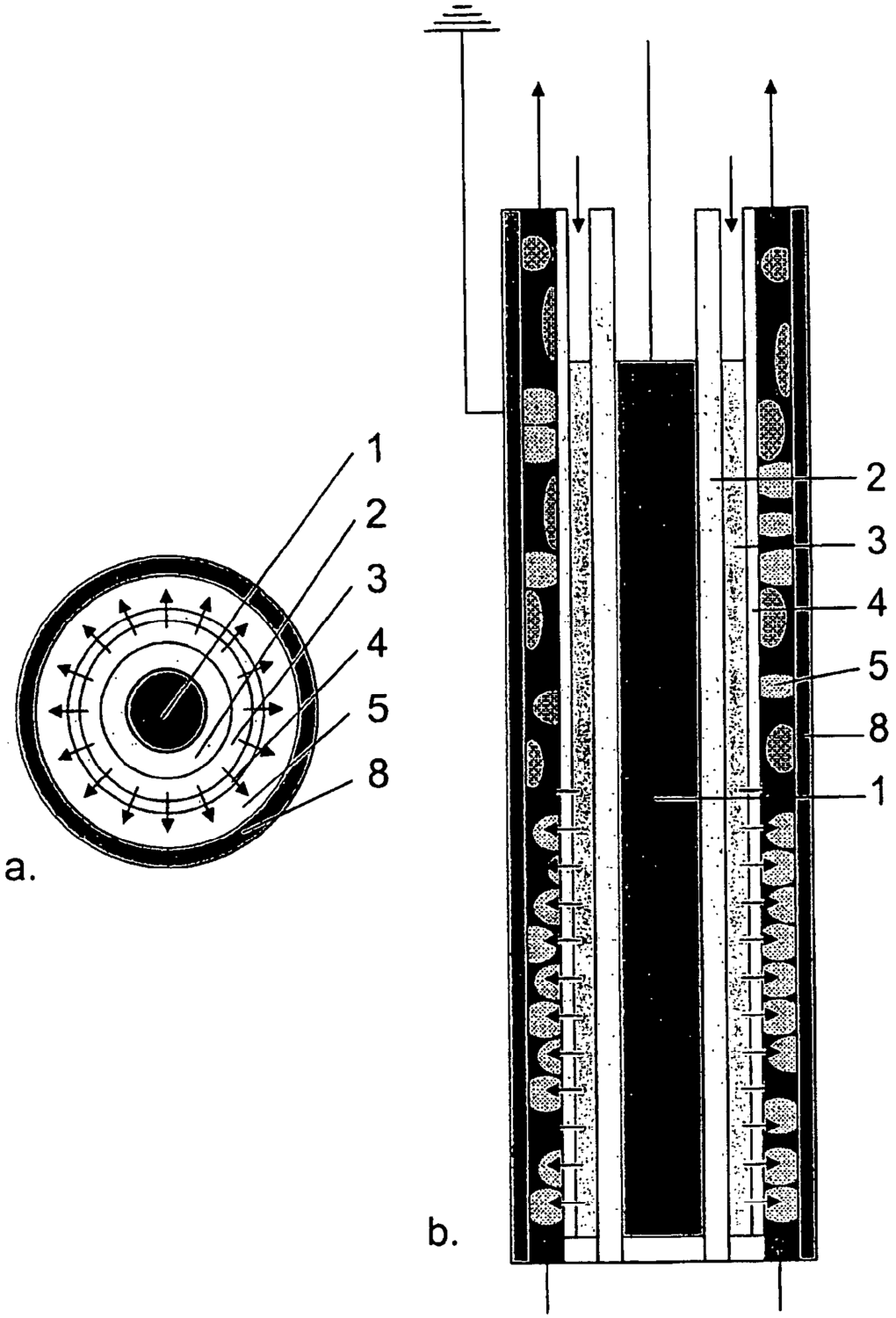

Figura 5

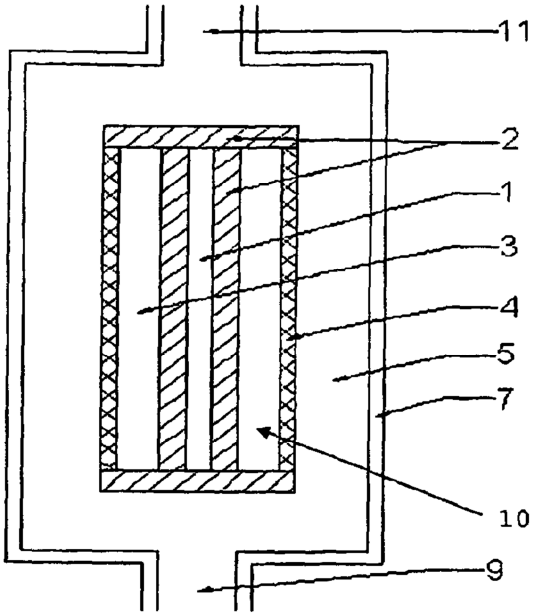

Figura 6

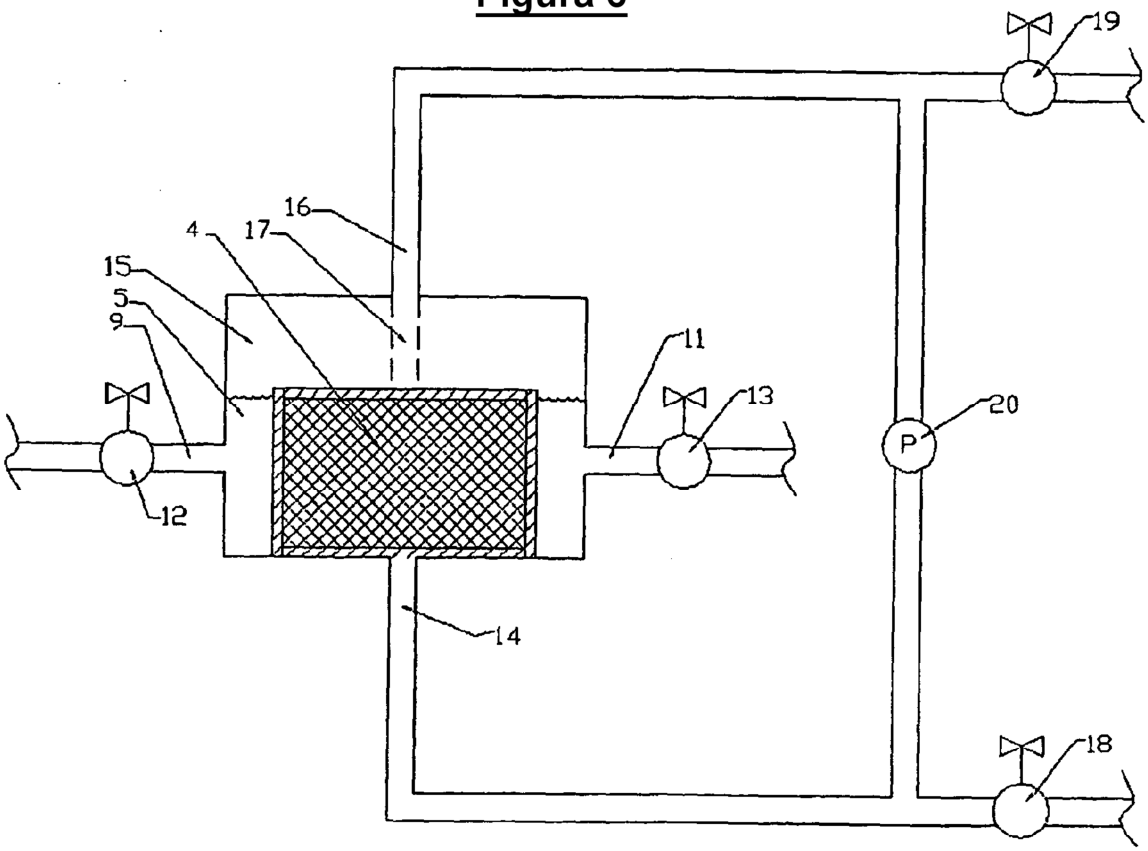

Figura 7