

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 005 336**

51 Int. Cl.:

B01J 19/08 (2006.01)

A62D 3/19 (2007.01)

H05H 1/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.03.2012** **PCT/CA2012/000305**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.09.2012** **WO12126101**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.03.2012** **E 12760405 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2024** **EP 2686100**

54 Título: **Hidrólisis por arco de plasma de vapor de agua de sustancias que agotan la capa de ozono**

30 Prioridad:

18.03.2011 US 201161454368 P
23.09.2011 CA 2753043

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
14.03.2025

73 Titular/es:

PYROGENESIS CANADA INC. (100.00%)
1744 William Street, Suite 200
Montréal, QC H3J 1R4, CA

72 Inventor/es:

CARABIN, PIERRE y
RAO, LAKSHMINARAYANA MYADALA
PRAHLADA

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 3 005 336 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

Hidrólisis por arco de plasma de vapor de agua de sustancias que agotan la capa de ozono

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere al agotamiento del ozono en la atmósfera y, más particularmente, a la destrucción de las sustancias que agotan la capa de ozono.

10 Antecedentes de la invención

El Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica (GETE) del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) ha revisado y aprobado un total de doce tecnologías para la destrucción de sustancias que agotan la capa de ozono (SAO) [1]. Con fines descriptivos, estas tecnologías aprobadas pueden clasificarse en términos generales como tecnologías de incineración, tecnologías de plasma, incluidos el plasma con radiofrecuencia y el arco de plasma, y otras tecnologías sin incineración [1]. La práctica actual más extendida, tanto por la tasa de transformación de SAO como por el número de unidades de transformación, para la destrucción de SAO es la incineración o la tecnología de plasma de argón [1-2]. Ambas tecnologías utilizan la oxidación térmica como principal mecanismo de destrucción. Las SAO se introducen en reactores revestidos de material refractario que funcionan con niveles reducidos de oxígeno provocan la formación de hollín, que es difícil de eliminar. La tecnología de plasma de argón requiere grandes caudales de argón de alta pureza, lo que encarece su uso.

Dado que las SAO son intrínsecamente ignífugas, se necesitan unas condiciones del proceso extremas para su destrucción. Las incineradoras requieren grandes cantidades de combustibles fósiles para alcanzar la alta temperatura necesaria para la destrucción de las SAO. Las sustancias que agotan la capa de ozono se introducen en la zona de alta temperatura de las incineradoras en cantidades relativamente pequeñas, junto con aire u oxígeno [2-5]. A menudo, estas incineradoras no disponen de cámaras de combustión secundarias y los gases de escape generados simplemente se diluyen, antes de emitirse a la atmósfera. En consecuencia, estas incineradoras requieren grandes cantidades de combustibles fósiles para destruir pequeñas cantidades de SAO, generan grandes cantidades de gases de combustión que contienen una cantidad significativa de CH_4 , F_2 , NO_x , SO_x , VOC, que son difíciles de eliminar de los gases de combustión [2-5]. Asimismo, los procesos de incineración presentan un potencial muy elevado de emisión de productos tóxicos de combustión incompleta, tales como las dioxinas y los furanos [6].

El documento US 2003/0171635 A1 se refiere a un método y un aparato para tratar residuos orgánicos peligrosos, en los que los residuos fluidos se pulverizan en una antorcha de plasma en una zona de alta temperatura. Dentro de esta zona de alta temperatura, se calientan y luego se oxidan en una segunda zona. Se crea un gas de combustión, que luego se conduce a una zona de enfriamiento, donde se enfría rápidamente mediante pulverización de agua.

Las tecnologías de destrucción por plasma utilizan argón, nitrógeno o CO_2 como medio de formación del plasma para transferir la energía desde un arco eléctrico hacia altas temperaturas de destrucción [4, 7-10]. Estas tecnologías siguen utilizando la oxidación térmica como principal método de destrucción. Las antorchas de plasma de corriente continua se utilizan para calentar los reactores revestidos de material refractario hasta alcanzar las altas temperaturas de destrucción. Las SAO, el aire y el vapor de agua se introducen en la zona de destrucción y las SAO se queman. El principal mecanismo de destrucción en estos sistemas sigue siendo la oxidación térmica y, por tanto, presenta problemas similares, tales como la producción de Cl_2 , F_2 y CF_4 , que son difíciles de eliminar de los gases de combustión. En estos procesos, la presencia de un exceso de oxígeno y aire en la zona de alta temperatura sigue presentando el problema de la formación potencial de NO_x , mientras que el funcionamiento con niveles reducidos de oxígeno conduce a la formación de hollín, que es difícil de eliminar. La tecnología de plasma de argón requiere grandes caudales de argón de alta pureza, lo que encarece su uso.

Por lo tanto, existe la necesidad en la técnica de una tecnología mejorada para la destrucción de sustancias que agotan la capa de ozono.

55 Sumario de la invención

Por lo tanto, uno de los objetivos de la presente invención es proporcionar un nuevo sistema para destruir las sustancias que agotan la capa de ozono.

Por lo tanto, de acuerdo con la presente invención, se proporciona un proceso en dos etapas para la destrucción de un material precursor utilizando plasma de vapor de agua en un reactor, en donde el material precursor se hidroliza como primera etapa en una zona de alta temperatura del reactor, seguida de una segunda etapa de oxidación a temperatura intermedia de la corriente de reactantes en una zona de combustión del reactor, en la que se inyecta oxígeno o aire de combustión, y de enfriamiento inmediato de la corriente de gas resultante para evitar la formación de subproductos no deseados.

También de acuerdo con la presente invención, se proporciona un aparato para llevar a cabo el proceso anterior, que

incluye una antorcha de plasma de vapor de agua de corriente continua no transferida, un reactor de plasma de vapor de agua de tres zonas enfriado externamente que incluye un revestimiento de material refractario resistente a la corrosión, medios de fijación de la antorcha de plasma al reactor, medios para introducir el material precursor en forma de vórtice de gas o pulverización fina de líquido o partículas sólidas en el penacho de plasma de la antorcha de plasma, medios para introducir el aire u oxígeno de combustión en la zona de combustión del reactor, medios para la salida de la mezcla de reactantes del reactor y medios para enfriar la mezcla de reactantes situados en el extremo de salida del reactor.

Además, de acuerdo con la presente invención, se proporciona un aparato para la destrucción de un material precursor, que comprende un reactor con una zona de alta temperatura y una zona de combustión, estando adaptada la zona de alta temperatura para hidrolizar el material precursor, estando adaptada la zona de combustión para efectuar la oxidación a temperatura intermedia de la corriente de reactantes, en la que se inyecta oxígeno o aire de combustión, y se proporciona un medio de enfriamiento en un extremo de salida del reactor para enfriar la corriente de gas resultante a fin de evitar la formación de subproductos no deseados.

Otros objetos, ventajas y características de la presente invención serán más evidentes tras la lectura de la siguiente descripción no restrictiva de realizaciones de la misma, que se ofrecen a título de ejemplo únicamente con referencia a los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

A continuación, se hará referencia a los dibujos adjuntos, que muestran, a modo de ilustración, una realización ilustrativa de la presente invención, y en los que:

la figura 1a es una representación esquemática de un sistema completo para destruir sustancias que agotan la capa de ozono de acuerdo con una realización de la presente invención;

la figura 1b es una representación esquemática de un sistema completo para destruir sustancias que agotan la capa de ozono de acuerdo con otra realización de la presente invención; y

la figura 2 es una vista transversal vertical de una sección de destrucción del presente sistema para destruir sustancias que agotan la capa de ozono.

Descripción de realizaciones ilustrativas de la invención

La presente invención utiliza un sistema de hidrólisis por plasma de vapor de agua S para la destrucción de SAO. El principal mecanismo de destrucción en la presente invención es la hidrólisis por plasma de vapor de agua. En este sistema, se utiliza una antorcha de plasma de vapor de agua diseñada a medida como única fuente de energía para calentar la cámara de reacción primaria revestida de material refractario hasta temperaturas cercanas a los 1500 °C. Se utiliza vapor de agua sobrecalentado formado a partir de agua normal como principal gas formador de plasma, junto con una pequeña cantidad de gas inerte. Se utiliza plasma de vapor de agua altamente reactivo, es decir, con iones hidrógeno e hidroxilo presentes en el plasma de vapor de agua, para convertir las SAO en CO, HCl y HF, en un entorno privado de oxígeno. El CO producido se quema más adelante en el proceso, seguido de un enfriamiento instantáneo con agua. El entorno privado de oxígeno elimina la formación de sustancias tóxicas, tales como Cl₂, F₂ y CF₄, y un enfriamiento rápido elimina la formación de dioxinas y furanos. Los gases ácidos formados en el proceso pueden (i) neutralizarse con un álcali o (ii) depurarse primero con agua para recuperar una mezcla de ácido débil y, a continuación, neutralizar la parte no recuperable de los gases ácidos. En ambos casos, se emite a la atmósfera una corriente de gas efluente lavado que comprende principalmente CO₂.

Pasando ahora a las figuras de los dibujos adjuntos, se describirá con más detalle el presente sistema de hidrólisis por plasma de vapor de agua S.

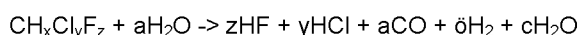
Se inyecta un material precursor 1, ya sea en forma de vórtice de gas o de fina pulverización de líquido o corriente de sólidos, en el sistema S, como se muestra en la figura 2. El material precursor 1, que va a destruirse, se introduce junto a una antorcha de plasma 4 a través de una brida especialmente diseñada 12. Esta brida 12 se enfría con agua, y está hecha de un material resistente a los ácidos y especialmente diseñada para facilitar la mezcla íntima del material precursor 1 introducido con el penacho de plasma de vapor de agua viscoso a alta temperatura.

Se utiliza una fuente de calor exterior, normalmente una antorcha de plasma de vapor de agua 4, como fuente para calentar el reactor revestido de material refractario hasta una temperatura de 1500 °C. La antorcha de plasma 4 está diseñada y construida con determinadas características para evitar la condensación del vapor de agua sobrecalentado en el interior de la antorcha antes de alcanzar el arco de plasma. Estas características de la antorcha de plasma incluyen, (i) inyección directa 3 del vapor de agua sobrecalentado, que es el principal gas formador de plasma, al vórtice de la antorcha para que no se condense en su camino hacia el penacho del arco y se reduzca al mínimo el paso de vapor de agua sobrecalentado al interior del cuerpo de la antorcha; (ii) enfriamiento del cuerpo de la antorcha de plasma con un fluido caliente (mezcla de propilenglicol y agua), que circula en un circuito cerrado de alta presión,

para evitar la condensación de vapor de agua sobrecalentado; y (iii) utilización de polímeros resistentes a altas temperaturas, tales como Vespel™ o PEEK, para los componentes internos de la antorcha.

La antorcha de plasma de vapor de agua 4 incluye un cátodo metálico 2, un ánodo metálico de ignición 6 y un ánodo metálico de trabajo 8, que están dispuestos como se muestra en la figura 2. Se inicia un arco de plasma con helio u otro gas monoatómico entre el cátodo 2 y el ánodo de ignición 6. Una vez estabilizado el arco 10,7 se inyecta vapor de agua formador de plasma en 3 y el arco se transfiere del ánodo de ignición 6 al ánodo de trabajo 8. Se usa nitrógeno, helio, argón o una mezcla de los mismos como gas de protección 5. El gas de protección 5 protege el cátodo metálico 2 de la oxidación prematura y, por tanto, aumenta la vida útil del cátodo 2. Se utiliza vapor de agua sobrecalentado como principal gas formador de plasma 3.

La antorcha de plasma de vapor de agua 4, además de actuar como fuente de calor, proporciona iones oxígeno, hidroxilo e hidrógeno reactivos necesarios para la destrucción del material precursor 1 y evita la formación de productos secundarios no deseados, tales como Cl₂, F₂, CF_x. La reacción global puede resumirse como:



Para destruir el material precursor 1 se utiliza un reactor 14 revestido de material refractario. Como material refractario de trabajo en el reactor 14 se utiliza un revestimiento de material refractario 16 de alta durabilidad y resistente a la corrosión. Por ejemplo, se emplea un material refractario de alto contenido en alúmina (>98 % de contenido en alúmina), tal como Kricon 34™ o similar, que se sabe que resiste a los gases corrosivos de HF y HCl, como material refractario de trabajo.

Las paredes internas del reactor 14 están recubiertas con un revestimiento metálico resistente a los ácidos y a las altas temperaturas, tal como Hastealloy™ o similar. Las paredes exteriores del reactor 14 se enfrían externamente, ya sea por aire o por agua, por razones de seguridad y para limitar el calentamiento de la sala del horno.

El reactor con revestimiento de material refractario 14 comprende tres zonas, tal como se muestra en la figura 2. Estas tres zonas son:

- 1) una zona de hidrólisis de vapor de agua 11 de alta temperatura y convergencia cónica, en donde el material precursor 1 introducido se somete a hidrólisis de vapor de agua;
- 2) una zona tubular estrecha 13, que crea una mezcla turbulenta a alta temperatura de los gases y facilita la finalización de la reacción de hidrólisis; y
- 3) una zona de combustión 15 de temperatura intermedia y divergencia cónica, en donde los gases se queman con el aire u oxígeno de combustión.

Se añade aire de combustión u oxígeno 9 al reactor 14, tal como se muestra en la figura 2. El aire de combustión u oxígeno 9 se dosifica al reactor 14 para controlar la temperatura en la zona de baja temperatura del reactor 14, al tiempo que se consigue una combustión completa y se elimina la formación de subproductos no deseados, tales como Cl₂.

Justo a la salida de la zona de combustión 15 del reactor 14 se encuentra una unidad de enfriamiento con agua 20, tal como se observa en la figura 2. Un conjunto de boquillas de pulverización 18 crea una fina pulverización de agua 17 en la unidad de enfriamiento 20, y dicha pulverización de agua 17 enfría instantáneamente los gases. Este enfriamiento instantáneo de los gases impedirá la reformación de dioxinas y furanos. La unidad de enfriamiento 20 está construida como una sección de tubería de doble pared enfriada por agua con material resistente a los ácidos.

En la parte inferior de la unidad de enfriamiento rápido 20 hay un depósito de depuración 22, tal como se muestra mejor en la figura 2. El depósito de depuración 22 utiliza material de sellado de plástico resistente a los ácidos en todas las superficies de sellado. Las paredes internas del depósito de depuración 22 están revestidas con un revestimiento a base de Teflon™ resistente a los ácidos, tal como Halar® CCTFE o similar. El depósito de depuración 22 sirve de depósito para recoger el agua de enfriamiento 19 y proporciona la altura de elevación necesaria para una bomba de recirculación de agua de depuración 28 (véase la figura 1a).

Se emplea una tecnología convencional de lavado de gases de combustión, es decir, una tecnología de lavado de gases de escape en húmedo mediante un depurador neutralizador de gases ácidos 24 (tal como se muestra en la figura 1a) o una tecnología de lavado de gases en seco, para eliminar los gases ácidos de los gases de combustión.

Un ventilador de tiro inducido 26 aspira los gases de escape a través del sistema S y crea una presión ligeramente negativa en el sistema S, tal como se muestra en la figura 1. Todo el sistema S se mantiene bajo una ligera presión negativa (unos cinco centímetros (un par de pulgadas) de columna de H₂O) para evitar cualquier escape de gases ácidos del sistema S. A la salida del ventilador ID, los gases de escape se expulsan a una chimenea 23.

En funcionamiento, la antorcha de plasma de vapor de agua 4 calienta el reactor 14 hasta las condiciones de funcionamiento deseadas y el material precursor 1 se inyecta en el penacho de plasma. Los iones hidrógeno e hidroxilo altamente reactivos presentes en el plasma de vapor de agua hidrolizan el material precursor 1 en la zona de hidrólisis a alta temperatura 11. Se añade vapor de agua adicional 7 a la zona de hidrólisis 11. La corriente reaccionada fluye a través de la zona tubular estrecha 13 que proporciona la turbulencia y el tiempo de residencia necesarios para que la reacción llegue a la zona de combustión 15 del reactor 14. El aire de combustión u oxígeno 9 se añade al reactor 14 y los gases de escape que salen del reactor 14 entran en el enfriador de agua 20 situado a la salida de la zona de combustión 15. Los gases de escape se enfrían rápidamente gracias a la fina pulverización 10 de agua 17 creada por las boquillas de pulverización 18. La corriente líquida se deposita en el depósito de depuración 22, mientras que los gases de escape salen del depósito de depuración 22 y pasan a través de una tecnología convencional de lavado de gases de escape. Para lavar los gases de escape de los gases ácidos, tales como el HF y el HCl, y convertirlos en sales inocuas, se utiliza la tecnología de depuración en húmedo o la tecnología de depuración en seco. El ventilador de tiro inducido 26 se utiliza para impulsar los gases de escape a través del sistema S y crear una presión ligeramente negativa en el sistema S.

Se introduce sosa cáustica u otro álcali, procedente de un depósito o tambor 25, en la línea de recirculación de agua de depuración 31 mediante una bomba dosificadora 30 para ajustar continuamente el pH de la solución de depuración, neutralizando los posibles componentes ácidos (HCl, HF) de los gases de escape. El agua neutralizada 21 se extrae del depósito de depuración mediante un conducto de purga 32.

Con respecto a la figura 1b, se describe una variante del sistema de hidrólisis por plasma de vapor de agua S' que incluye una opción de lavado de gases (ii) mediante la cual se produce un ácido débil, seguido de la neutralización de los gases ácidos.

Los gases que salen de la unidad de enfriamiento 20 se envían a un depósito de recuperación de ácidos 22b, en donde se utiliza ácido diluido para depurar los gases ácidos que salen de la unidad de enfriamiento 20. El depósito de recuperación de ácidos 22b está fijado directamente en la parte inferior de la unidad de enfriamiento 20, tal como se muestra mejor en la figura 2. El depósito de recuperación de ácidos 22b utiliza un material de sellado de plástico resistente a los ácidos en todas las superficies de sellado. El depósito de recuperación de ácidos 22b sirve de depósito para recoger el agua de enfriamiento 19 y proporciona la altura de líquido necesaria para una bomba de recirculación 41 (figura 1b). Para controlar la concentración de ácidos, se añade agua dulce 42 al depósito de recuperación de ácidos 22b, bien de forma continua, bien en modo de encendido/apagado.

Los gases se desplazan a contracorriente del flujo de líquido de depuración en una unidad de depuración de ácidos 43 cargada. Los gases ácidos se depuran al pasar por la unidad de depuración de ácidos 43. La corriente de mezcla de ácidos débiles 44, que se acumula en el fondo del depósito de recuperación de ácidos 22b, se retira periódicamente de la unidad de depósito de depuración de ácidos 22.

La corriente de gas depurado, la corriente 45, que sale de la unidad de depuración de ácidos 43 entra en una unidad de depuración y lavado de gases 46. En la parte inferior de la unidad de depuración y lavado de gases 46 se encuentra una unidad de depósito de depuración 47. La unidad de depósito de depuración 47 utiliza material de sellado plástico resistente a los ácidos en todas las superficies de sellado. La unidad de depósito de depuración 47 sirve como depósito para recoger el agua de depuración y proporciona la altura de elevación de agua necesaria para una bomba de recirculación de agua de depuración 48.

Se introduce sosa cáustica u otro álcali, procedente de un depósito o tambor 52, en una línea de recirculación de agua de depuración 54 mediante una bomba dosificadora 51 para ajustar continuamente el pH de la solución de depuración, neutralizando los posibles componentes ácidos (HCl, HF) de los gases de escape. El agua neutralizada 49 se retira del depósito de depuración y lavado de gas mediante una línea de purga 53.

Se emplea una tecnología convencional de lavado de gases de combustión, es decir, una tecnología de lavado de gases de escape en húmedo mediante el depurador neutralizador 46 (tal como se muestra en la figura 1b) o una tecnología de lavado de gases en seco, para lavar los gases de combustión.

Aunque la presente invención se ha descrito en el presente documento a través de sus realizaciones, puede modificarse, sin apartarse de la naturaleza y las enseñanzas de la presente invención tal como se describe en el presente documento.

Referencias bibliográficas

1. PNUMA (2002), <http://www.ozone.unep.org/teap/Reports/Other Task Force/TEAP02V3b.pdf>
2. Hai Yu, Kennedy E. M., Adesina A. A. y Dlugogorski B. Z., A review of CFC and halon treatment technologies - The nature and role of catalysts, *Catalysis Surveys from Asia*, vol. 10, n.º 1, marzo de 2006
3. Hug *et al.*, Reactor for thermal cracking of hydrocarbons, patente de EE. UU. n.º 4751076, 1988
4. Bereczky *et al.*, Method for treatment of hazardous fluid organic waste materials, patente de EE. UU. 2003/0171635 A1, 2003

5. PNUMA (2000) <http://www.unep.fr/ozonaction/information/mmcfiles/3521-e-file1.pdf>
6. Hassel G.R., Experimental Investigation of PIC Formation in CFC Incineration, Energy and Environ (Res. Corp., Irvine, CA, EE. UU., 1991)
7. Deam *et al.*, Material Processing, patente de EE. UU. n.º 5866753, 1999
- 5 8. Ramakrishnan *et al.*, Electric arc reactor having upstream and downstream electrodes, patente de EE. UU. n.º 5296672, 1994
9. Doolette *et al.*, Electric arc generating device having three electrodes, patente de EE. UU. 5227603, 1993
- 10 10. Shimeiwa *et al.*, Plasma arc decomposition method for chlorofluorocarbon equivalent material used as coolant, involves oxidizing carbon monoxide or carbon atoms generated during decomposition of carbon dioxide by oxidizing gas, patente japonesa 2000334294-A, 1999

REIVINDICACIONES

1. Un proceso en dos etapas para la destrucción de un material precursor mediante plasma de vapor de agua en un reactor, en donde el material precursor se hidroliza como primera etapa en una zona de alta temperatura del reactor, seguida de una segunda etapa de oxidación a temperatura intermedia de la corriente de reactantes en una zona de combustión del reactor, en la que se inyecta oxígeno o aire de combustión, y de enfriamiento inmediato de la corriente de gas resultante para evitar la formación de subproductos no deseados, en donde el plasma de vapor de agua se crea mediante una antorcha de plasma de vapor de agua de corriente continua no transferida, de modo que un arco eléctrico creado entre los electrodos metálicos y el vapor de agua sobrecalentado forma un penacho de plasma de alta temperatura en un extremo de salida de la antorcha de plasma, que es rico en iones hidrógeno e hidroxilo reactivos, y en donde la antorcha de plasma utiliza preferentemente una pequeña cantidad de un gas inerte, tal como nitrógeno, argón o helio, o una mezcla de los mismos, como gas de protección para proteger el electrodo posterior de una oxidación excesiva.
2. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el material precursor se hidroliza a altas temperaturas utilizando los iones hidroxilo e hidrógeno reactivos del penacho de plasma de vapor de agua en la zona de alta temperatura del reactor.
3. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en donde la mezcla de gases que sale de la zona de hidrólisis del reactor se quema a temperaturas intermedias en la zona de combustión del reactor en un entorno rico en oxígeno, en donde se inyecta el oxígeno o aire de combustión necesario.
4. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el reactor de hidrólisis incluye tres zonas, en concreto, una zona de hidrólisis de vapor de agua de alta temperatura y convergencia cónica, que proporciona el tiempo de residencia necesario para la hidrólisis completa del material precursor, seguida de una zona tubular estrecha que proporciona la turbulencia necesaria y un tiempo de residencia adicional para las reacciones, y una zona de combustión de temperatura intermedia y divergencia cónica, que proporciona el tiempo de residencia para la combustión completa de la corriente del proceso, y en donde el penacho de plasma de la antorcha de plasma se extiende preferentemente hacia la zona de hidrólisis del reactor y está contenida en el reactor.
5. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el material precursor se inyecta en el núcleo del penacho de plasma de vapor de agua adyacente a la antorcha de plasma de vapor de agua y entre la antorcha de plasma y la zona de hidrólisis del reactor, utilizando un vórtice de gas que crea turbulencias y una mezcla suficiente del material precursor con el penacho de plasma del núcleo, y en donde el material precursor se inyecta preferentemente en el núcleo bien como gas, bien como una fina pulverización líquida, bien como finas partículas sólidas.
6. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde existe plasma de vapor de agua con hidrógeno e hidroxilo reactivos en la zona de hidrólisis del reactor y/o en donde existe un entorno privado de oxígeno en la zona de hidrólisis del reactor y un entorno rico en oxígeno en la zona de combustión del reactor.
7. Un aparato para la destrucción de un material precursor, que comprende un reactor con una zona de alta temperatura y una zona de combustión, estando adaptada la zona de alta temperatura para hidrolizar el material precursor, estando adaptada la zona de combustión para efectuar la oxidación a temperatura intermedia de la corriente de reactantes, en la que se inyecta oxígeno o aire de combustión, y se proporciona un medio de enfriamiento en un extremo de salida del reactor para enfriar la corriente de gas resultante a fin de evitar la formación de subproductos no deseados, en donde la zona de alta temperatura del reactor incluye una zona de hidrólisis de vapor de agua de alta temperatura y convergencia cónica, que proporciona el tiempo de residencia necesario para la hidrólisis completa del material precursor, en donde se proporciona una zona tubular estrecha entre la zona de alta temperatura y las zonas de combustión para proporcionar la turbulencia necesaria y un tiempo de residencia adicional para las reacciones, y en donde la zona de combustión del reactor incluye una zona de combustión de temperatura intermedia y divergencia cónica, que proporciona el tiempo de residencia para la combustión completa de la corriente del proceso.
8. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 7, en donde se proporciona una antorcha de plasma de vapor de agua de corriente continua no transferida, medios de fijación de la antorcha de plasma al reactor, medios para introducir el material precursor en forma de vórtice de gas o pulverización fina de líquido o partículas sólidas en el penacho de plasma de la antorcha de plasma, medios para introducir el aire u oxígeno de combustión en la zona de combustión del reactor, medios para la salida de la mezcla de reactantes del reactor y medios para enfriar la mezcla de reactantes situados en el extremo de salida del reactor.
9. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 8, en donde la antorcha de plasma incluye una configuración de electrodos metálicos, en concreto, un cátodo, un ánodo de ignición y un ánodo de trabajo dispuestos en una relación espaciada de modo que exista un arco eléctrico de corriente continua entre el cátodo y el ánodo de trabajo, y utiliza un gas inerte, tal como helio, nitrógeno, argón o una mezcla de los mismos, como gas de protección, y utiliza vapor de agua como principal gas formador de plasma y tiene un penacho de plasma que sale por el extremo del ánodo.

10. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en donde los medios de enfriamiento producen una pulverización de agua fría a través de la cual pasa la corriente de proceso que sale del reactor.
- 5 11. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde la temperatura en la zona de alta temperatura del reactor es preferentemente cercana a 1500 °C, y en donde el material precursor preferentemente se hidroliza en la zona de alta temperatura del reactor, de modo que el material precursor reacciona químicamente con el plasma de vapor de agua rico en iones hidrógeno H^+ e hidroxilo OH^- de reacción, y en donde el material precursor que se va a tratar se introduce preferentemente de forma directa en un penacho de plasma mediante una
- 10 brida, y en donde la brida se enfría preferentemente con agua, se fabrica preferentemente con un material resistente a los ácidos y se adapta preferentemente para facilitar la mezcla íntima del material precursor con el penacho de plasma de vapor de agua viscoso a alta temperatura.
- 15 12. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, en donde los medios para introducir el material precursor en el penacho de plasma de la antorcha de plasma incluyen una brida, en donde el material precursor se introduce directamente en el penacho de plasma, y en donde la brida se enfría preferentemente con agua, se fabrica preferentemente con un material resistente a los ácidos y se adapta preferentemente para facilitar la mezcla íntima del material precursor con el penacho de plasma de vapor de agua viscoso a alta temperatura.
- 20 13. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10 y 12, en donde el reactor de hidrólisis incluye tres zonas, en concreto, una zona de hidrólisis de vapor de agua de alta temperatura y convergencia cónica, que proporciona el tiempo de residencia necesario para la hidrólisis completa del material precursor, seguida de una zona tubular estrecha que proporciona la turbulencia necesaria y un tiempo de residencia adicional para las reacciones, y una zona de combustión de temperatura intermedia y divergencia cónica, que proporciona el tiempo de
- 25 residencia para la combustión completa de la corriente del proceso.
14. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 8, en donde el reactor de plasma de vapor de agua de tres zonas se enfría externamente e incluye un revestimiento de material refractario resistente a la corrosión.

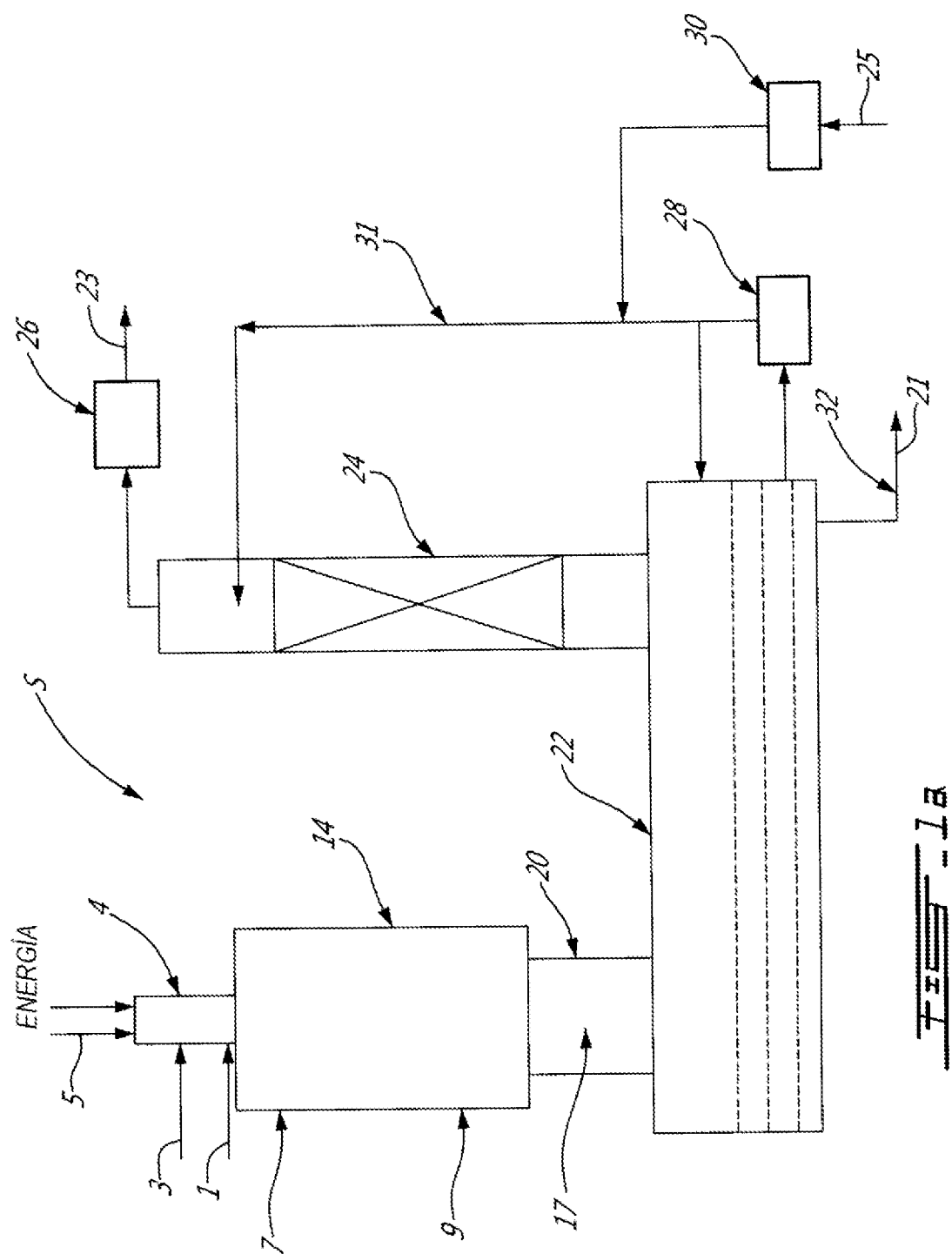


Fig. 1a

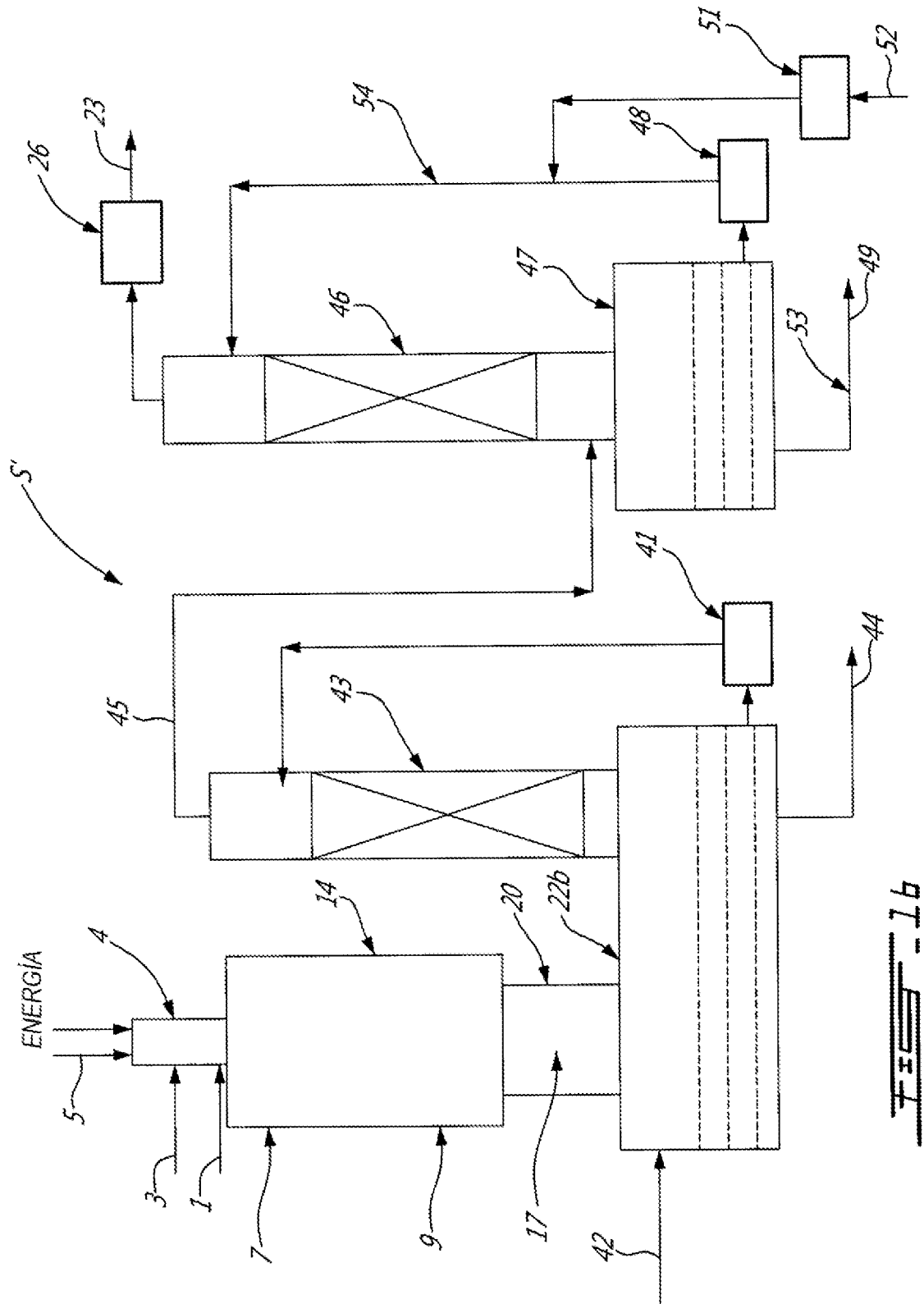


Fig. 1b

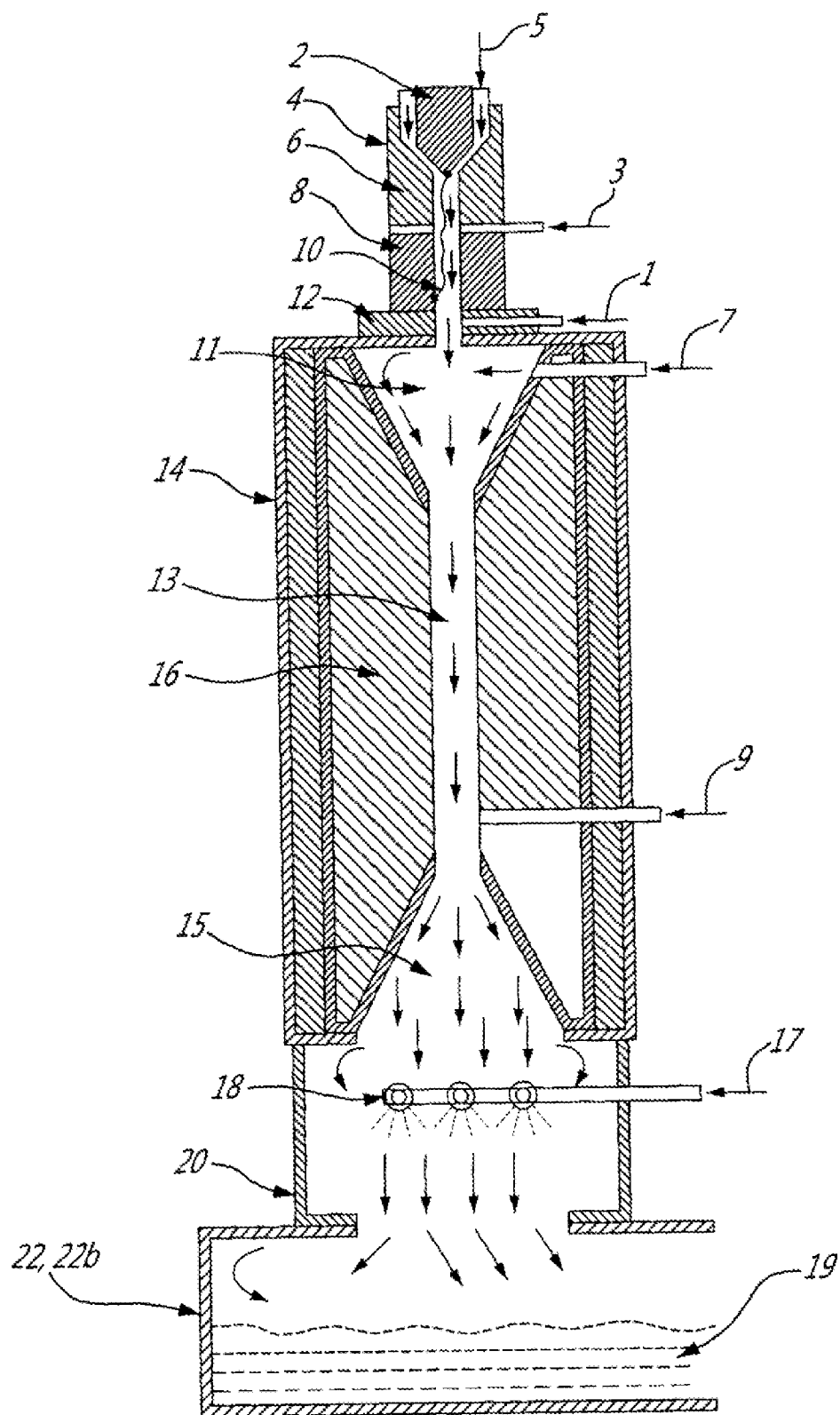


FIG. 2