

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 645 919**

51 Int. Cl.:

A62D 3/30

(2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.02.2010 PCT/CA2010/000184**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.08.2010 WO10091507**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.02.2010 E 10740872 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.08.2017 EP 2396089**

54 Título: **Proceso para la conversión de material orgánico en gas combustible rico en metano**

30 Prioridad:

11.02.2009 US 151588 P

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

11.12.2017

73 Titular/es:

**NATURAL ENERGY SYSTEMS INC. (100.0%)
6000 Marineland Parkway, Niagara Falls
Ontario L2G 0E3, CA**

72 Inventor/es:

**HALLETT, DOUGLAS, JOHN y
MCEWEN, CRAIG, STEVEN**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 645 919 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

Proceso para la conversión de material orgánico en gas combustible rico en metano

5 Campo de la divulgación

La presente divulgación se refiere a la conversión de material orgánico en un gas combustible de combustión limpia y rica en metano. En particular, la divulgación se refiere a un proceso para el tratamiento de material orgánico que comprende vaporizar el material orgánico en presencia de una cantidad en exceso de hidrógeno gaseoso y vapor de agua sobrecalentado.

Antecedentes de la divulgación

Se espera que las demandas mundiales de energía aumenten un 60 % para 2030 (World Energy Outlook, Paris IEA, 2004-10-26 pp. 31). La Agencia Internacional de Energía (IEA) estima que los combustibles fósiles representarán el 85 % del mercado de energía para 2030. En las plantas de energía de combustibles fósiles, la energía química almacenada en los combustibles fósiles (por ejemplo, carbón, fuelóleo, gas natural y lutita bituminosa) y el oxígeno del aire se convierten sucesivamente en energía térmica, energía mecánica y, finalmente, energía eléctrica para uso y distribución continua. La mayoría de las estaciones generadoras de energía térmica del mundo utilizan combustibles fósiles, superando en número a las centrales nucleares, geotérmicas, de biomasa y térmicas solares.

El gas natural, que es predominantemente metano, es ampliamente utilizado en muchas industrias, como materia prima para la síntesis química y como fuente importante de generación de electricidad mediante el uso de turbinas de gas y vapor. El gas natural experimenta una combustión más limpia que otros combustibles fósiles, como el petróleo y el carbón, y produce menos gases de efecto invernadero por unidad de energía liberada. La generación de energía que usa gas natural es, por lo tanto, la fuente de energía de combustible fósil más limpia disponible y esta tecnología se utiliza allá donde sea competitivo. El gas natural comprimido también se usa como una alternativa limpia para combustibles para automóviles.

El gas natural se puede usar para producir hidrógeno a través del reformado del dióxido de carbono y las reacciones de desplazamiento de agua y gas. El hidrógeno tiene varias aplicaciones, por ejemplo, es un material de alimentación primario para la industria química, un agente de hidrogenación y una fuente de combustible en células de combustible a base de hidrógeno, por ejemplo en vehículos de hidrógeno.

El aumento del precio del gas natural, junto con la disminución de la oferta interna, genera incentivos para otras fuentes de este combustible. La gasificación de los combustibles fósiles, por ejemplo, el carbón, es una opción; sin embargo, la mayoría de los gasificadores de carbón preparados a nivel comercial están diseñados principalmente para producir gas de síntesis que es alto en monóxido de carbono e hidrógeno, al tiempo que se minimiza el contenido de metano.

Los métodos existentes de destrucción de material de desecho orgánico habitualmente se realizan usando incineración a alta temperatura. Estos incineradores consumen mucho capital y, por lo tanto, requieren grandes instalaciones, lo que aumenta la preocupación pública. También son costosos de operar y han presentado un historial de retrocesos simples o explosiones causados durante la carga de los materiales peligrosos.

Los siguientes son un grupo de patentes relacionadas con intentos comerciales de gasificación y reformado de vapor:

TSANGARIS, Andreas, y Marc BACON, Solicitud de Patente PCT n.º WO 2008/138118;
 TSANGARIS, Andreas, y Marc BACON, Solicitud de Patente PCT n.º WO 2008/138117;
 TSANGARIS, Andreas, y Margaret SWAIN, Solicitud de Patente PCT n.º WO/2008/117119;
 TSANGARIS, Andreas, y Marc BACON, Solicitud de Patente PCT n.º WO 2008/104088;
 TSANGARIS, Andreas, y Marc BACON, Solicitud de Patente PCT n.º WO 2008/104058;
 TSANGARIS, Andreas, Margaret SWAIN, Kenneth Craig CAMPBELL, Douglas Michael FEASBY, Thomas Edward WAGLER, Scott Douglas BASHAM, Mao Pei CUI, Zhiyuan SHEN, Ashish CHOTALIYA, Nipun SONI, Alisdair Alan MCLEAN, Geoffrey DOBBS, Pascale Bonnie MARCEAU, y Xiaoping ZOU. Solicitud de Patente PCT n.º WO/2008/011213;
 TSANGARIS, Andreas, y Margaret SWAIN, Solicitud de Patente PCT n.º WO 2007/143673;
 TSANGARIS, Andreas, Margaret SWAIN, Kenneth Craig CAMPBELL, Douglas Michael FEASBY, Thomas Edward WAGLER, Scott, Douglas BASHAM, Zhiyuan SHEN, Geoffrey DOBBS, Mao Pei CUI, y Alisdair Alan MCLEAN, Solicitud de Patente PCT n.º WO/2007/131241;
 TSANGARIS, Andreas, Margaret SWAIN, Douglas Michael FEASBY, Scott Douglas BASHAM, Ashish CHOTALIYA, y Pascale Bonnie MARCEAU, Solicitud de Patente PCT n.º WO 2007/131240;
 TSANGARIS, Andreas, Margaret SWAIN, Kenneth Craig CAMPBELL, Douglas Michael FEASBY, Thomas Edward WAGLER, Xiaoping ZOU, Alisdair Alan MCLEAN, y Pascale Bonnie MARCEAU, Solicitud de Patente PCT n.º WO 2007/131239;

TSANGARIS, Andreas, Margaret SWAIN, Douglas Michael FEASBY, Scott Douglas BASHAM, Nipun SONI, y Pascale Bonnie MARCEAU, Solicitud de Patente PCT n.º WO 2007/131236;
 TSANGARIS, Andreas, Margaret SWAIN, Kenneth Craig CAMPBELL, Douglas Michael FEASBY, Scott Douglas BASHAM, Alisdair Alan McLEAN, y Pascale Bonnie MARCEAU, Solicitud de Patente PCT n.º WO 2007/131235;
 5 TSANGARIS, Andreas y Margaret SWAIN. Solicitud de Patente PCT n.º WO 2007/131234;
 TSANGARIS, Andreas, Kenneth C. CAMPBELL, y Michael D. FEASBY y Ke LI, Solicitud de Patente PCT n.º WO 2006/128286;
 TSANGARIS, Andreas, Kenneth C. CAMPBELL, Michael D. FEASBY, y Ke LI, Solicitud de Patente PCT n.º WO 2006/128285;
 10 TSANGARIS, Andreas V., y Kenneth C. CAMPBELL; Solicitud de Patente PCT n.º WO 2006/081661;
 TSANGARIS, Andreas V., George W. CARTER, Jesse Z., SHEN, Michael D. FEASBY, y Kenneth C. CAMPBELL, Solicitud de Patente PCT n.º WO 2004/072547;
 ZWIERSCHKE, Jayson, y Ernest George DUECK, Solicitud de Patente PCT n.º WO/2006/076801;
 SHETH, Atul C. Solicitud de Patente PCT n.º WO/2007/143376.

15 Las siguientes son otras patentes relacionadas con la destrucción de desechos peligrosos:

Abdullah, Shahid. Method for Degradation of Polychlorinated Biphenyls in Soil. Patente de Estados Unidos 5932472;
 20 Almeida, Fernando Carvalho. Patente de Estados Unidos 6767163;
 Anderson, Perry D., Bhuvan C. Pant, Zhendi Wang, et al. Patente de Estados Unidos 5118429; Baghel, Sunita S., y Deborah A. Haitko. Patente de Estados Unidos 5382736;
 Balko, Edward N., Jeffrey B. Hoke, y Gary A. Gramiccioni. Patente de Estados Unidos 5177268;
 Batchelor, Bill, Alison Marie Hapka, Godwin Joseph Igwe, et al. Patente de Estados Unidos 5789649;
 25 Bender, Jim. Patente de Estados Unidos 6117335;
 Boles, Jeffrey L., Johnny R. Gamble, y Laura Lackey. Patente de Estados Unidos 6599423. Bolsing, Friedrich, y Achim Habekost. Process for the Reductive Deshalogenation of Halogenated Hydrocarbons. Patente de Estados Unidos 6649044;
 Cutshall, Eule R., Gregory Felling, Sheila D. Scott, et al. Patente de Estados Unidos 5197823; Dellinger, Harold Barrett, y John L. Graham. Patente de Estados Unidos 5650549;
 30 Driemel, Klaus, Joachim Wolf, y Wolfgang Schwarz. Process for Nonpolluting Destruction of Polychlorinated Waste Materials. Patente de Estados Unidos 5191155;
 Farcasiu, Malvina, y Steven C. Petrosius. Patente de Estados Unidos 5369214;
 Friedman, Arthur J., y Yuval Halpern. Patente de Estados Unidos 5290432;
 35 Ginosar, Daniel M., Robert V. Fox, y Stuart K. Janikowski. Patente de Estados Unidos 6984768;
 Gonzalez, Luciano A., Henry E. Kowalyk, y Blair F. Sim. Patente de Estados Unidos 6414212; Gonzalez, Luciano A., Dennis F. Mullins, W. John Janis, et al. Patente de Estados Unidos 6380454;
 Greenberg, Richard S., y Thomas Andrews. Patente de Estados Unidos 6319328;
 Levin, George B. Patente de Estados Unidos 5602298;
 40 Patente de Estados Unidos 5100638;
 Newman, Gerard K., Jeffrey H. Harwell, y Lance Lobban. Patente de Estados Unidos 6241856;
 Potter, Raleigh Wayne, y Michael Fitzgerald. Patente de Estados Unidos 6213029;
 Patente de Estados Unidos 6112675;
 Quimby, Jay M. U.S. Statutory Invention Registration H2198 H;
 45 Reagen, William Kevin, y Stuart Kevin Janikowski. Patente de Estados Unidos 5994604; Rickard, Robert S. Patente de Estados Unidos 5103578;
 Ruddick, John N. R., y Futong Cui. Patente de Estados Unidos 5698829;
 Schulz, Helmut W. Patente de Estados Unidos 5245113;
 Sparks, Kevin A., y James E. Johnston. Patente de Estados Unidos 5695732; y Zachariah, Michael R., y Douglas P. DuFaux. Patente de Estados Unidos 593613.

La Patente de Estados Unidos N° 5.050.511 de Hallett describe el tratamiento de material orgánico mediante el uso de un proceso que combina una reducción química en fase gaseosa en una atmósfera reductora a una temperatura elevada por encima de aproximadamente 600 °C, preferentemente por encima de 875 °C y, posteriormente, someter dicho material a oxidación química con un gas agente oxidante a una temperatura superior a aproximadamente 1000 °C. Sin embargo, este proceso da como resultado la producción de un material alquitranado, que puede hacer que el proceso se detenga para eliminar el material alquitranado.

60 Sumario de la divulgación

Ahora se ha encontrado que calentando material orgánico vaporizado en presencia de una cantidad en exceso de hidrógeno gaseoso y, opcionalmente, vapor de agua recalentado para deshalogenar y/o desulfurar el material orgánico, seguido por calentamiento adicional de la mezcla en presencia de una cantidad en exceso del hidrógeno gaseoso y el vapor sobrecalentado para reducir los compuestos orgánicos, da como resultado la conversión del material orgánico en un gas rico en metano y una reducción en la cantidad de material alquitranado que se produce.

Por consiguiente, la presente divulgación incluye un proceso para la conversión de material orgánico de acuerdo con la reivindicación 1. En otra realización de la divulgación, la primera mezcla se mezcla suficientemente para reducir la formación de material alquitranado.

5 En una realización de la divulgación, el material orgánico vaporizado en a) se mezcla con el exceso de hidrógeno gaseoso y, opcionalmente, vapor de agua sobrecalentado a una temperatura de aproximadamente 475 °C a aproximadamente 600 °C.

10 En una realización adicional, la primera mezcla se calienta en b) a una temperatura de aproximadamente 700 °C a aproximadamente 900 °C. En otra realización, la primera mezcla se calienta en b) a una temperatura de aproximadamente 800 °C a aproximadamente 875 °C.

15 En otra realización de la divulgación, se genera hidrógeno en b) mediante el reformado con vapor de metano y las reacciones de desplazamiento de agua y gas. El hidrógeno generado de esta manera reduce el requerimiento general de hidrógeno que debe añadirse para formar la primera mezcla.

20 En otra realización de la divulgación, el proceso para la conversión de material orgánico en metano se lleva a cabo en presencia de un catalizador. En una realización adicional, el catalizador es un catalizador metálico en el que el metal se selecciona entre uno o más de níquel, cobre, hierro, aleaciones de níquel, estaño, estaño en polvo, cromo y metales nobles. En otra realización, los metales nobles se seleccionan entre platino, plata, paladio, oro, rutenio, rodio, osmio e iridio.

25 En otra realización de la divulgación, la mezcla gaseosa se neutraliza en c) a una temperatura de aproximadamente 70 °C a aproximadamente 100 °C. En una realización adicional, la mezcla gaseosa se neutraliza en c) a una temperatura de aproximadamente 85 °C.

30 En una realización, la base comprende un hidróxido de metal alcalino o un carbonato de metal alcalino. En una realización adicional, el hidróxido de metal alcalino es hidróxido de sodio. En otra realización, el carbonato de metal alcalino es carbonato de calcio.

35 En otra realización de la divulgación, el proceso además comprende exponer la mezcla gaseosa de b) a luz UV en presencia de hidrógeno en exceso en condiciones eficaces para reducir los compuestos orgánicos residuales en la mezcla gaseosa. En otra realización, las condiciones eficaces para reducir los compuestos orgánicos residuales en la mezcla gaseosa comprenden calentar a una temperatura de aproximadamente 600 °C a aproximadamente 800 °C. En una realización adicional, las condiciones eficaces para reducir los compuestos orgánicos residuales en la mezcla gaseosa comprenden calentar a una temperatura de aproximadamente 650 °C a aproximadamente 750 °C. En otra realización, las condiciones eficaces para reducir los compuestos orgánicos residuales en la mezcla gaseosa comprenden luz UV a una longitud de onda de aproximadamente 200 nm a aproximadamente 300 nm. En otra realización, las condiciones efectivas para reducir los compuestos orgánicos residuales en la mezcla gaseosa comprenden luz UV a una longitud de onda de aproximadamente 220 nm a aproximadamente 254 nm.

40 En otra realización de la divulgación, el proceso además comprende enfriar la mezcla gaseosa neutralizada de c). En otra realización, la mezcla gaseosa se enfría a una temperatura de aproximadamente 5 °C a aproximadamente 35 °C.

45 En otra realización de la divulgación, el proceso además comprende exponer la mezcla gaseosa neutralizada y enfriada en presencia de hidrógeno en exceso, a condiciones eficaces para reducir los compuestos orgánicos residuales. En otra realización, las condiciones para reducir los compuestos orgánicos residuales en la mezcla gaseosa neutralizada y enfriada comprenden luz UV a una longitud de onda de aproximadamente 200 nm a aproximadamente 300 nm. En una realización adicional, las condiciones para reducir los compuestos orgánicos residuales en la mezcla gaseosa neutralizada y enfriada comprenden luz UV a una longitud de onda de aproximadamente 220 nm a aproximadamente 254 nm. En otra realización, las condiciones para reducir los compuestos orgánicos residuales en la mezcla gaseosa neutralizada y enfriada además comprenden calentar a una temperatura de aproximadamente 300 °C a aproximadamente 500 °C. En una realización, las condiciones para reducir los compuestos orgánicos residuales en la mezcla gaseosa neutralizada y enfriada además comprenden calentar a una temperatura de aproximadamente 400 °C.

50 En otra realización de la divulgación, el proceso además comprende separar el exceso de hidrógeno del metano después de neutralizar la mezcla gaseosa en c). En una realización, el hidrógeno se recicla para su uso en a).

55 En otra realización, el metano comprende de aproximadamente el 10 % a aproximadamente el 20 % en volumen de hidrógeno.

60 En otra realización, a), b) y c) del proceso de la divulgación se realizan a una presión mayor que 0 indicador de atmósfera a aproximadamente 2 indicador de atmósfera, adecuadamente mayor que 0 indicador de atmósfera a aproximadamente 0,5 indicador de atmósfera.

65

En otra realización de la divulgación, el material orgánico también comprende material inorgánico que no se vaporiza y se retira de la cámara cerrada.

5 En otra realización de la divulgación, el material orgánico comprende material de desecho orgánico. En una realización adicional, el material de desecho orgánico comprende agentes de guerra química clorados u organofosforados; agentes de guerra biológica; aguas residuales; residuos sólidos o basura urbanos e industriales; material de desecho agrícola; disolventes orgánicos; disolventes orgánicos halogenados; compuestos orgánicos halogenados, tales como bifenilos policlorados, hexaclorobenceno, pesticidas clorados, retardantes de fuego bromados, propulsores fluorados o refrigerantes fluorados; compuestos organofosforados tales como pesticidas; 10 explosivos como trinitrotoluenos; combustible para cohetes; neumáticos; plásticos como el polietileno; hidrazinas; desechos de fabricación/procesamiento de refinería y productos químicos, por ejemplo, residuos de destilación; carbón; o residuos de procesamiento de aceite y/o bitumen, por ejemplo de arenas bituminosas. En otra realización, el agente de guerra química clorado u organofosforado comprende gas mostaza o agente nervioso VX. En una realización, el agente de guerra biológica comprende ántrax. En una realización adicional, el material de desecho agrícola comprende aves de corral, ganado bovino, porcino u otro material residual de ganado. En otra realización, el material orgánico comprende biomasa, tal como residuos de madera o residuos de pulpa. En otra realización, la biomasa comprende astillas de madera. En otra realización de la divulgación, el material orgánico comprende combustibles fósiles tales como todos los tipos de carbones, aceite o turba.

20 En una realización adicional de la divulgación, el gas metano generado en el proceso se convierte en energía eléctrica usando sistemas convencionales de fabricación de energía. Por lo tanto, estos gases se introducen, por ejemplo, en turbinas de gas, turbinas de vapor o pilas de combustible. En una realización, el sistema de fabricación de energía está en estrecha proximidad o en combinación con el aparato para llevar a cabo el proceso de la divulgación.

25 En otra realización de la divulgación, el gas metano generado en el proceso se usa para síntesis químicas.

Además, la presente divulgación incluye un aparato de reacción, mezcla o molienda. El aparato se puede usar como vaporizador de reducción continua (CRV). En una realización de la divulgación, el aparato comprende un recipiente 30 giratorio alrededor de un eje, el recipiente que incluye un primer extremo que tiene una entrada o salida coaxial para, respectivamente, introducir o descargar materiales del recipiente, el primer extremo que incluye una sección de brida que generalmente tiene una forma radial que extiende la primera cara. El aparato comprende además un miembro de cierre dispuesto adyacente al primer extremo, el miembro de cierre que incluye una segunda cara que generalmente se extiende radialmente en relación generalmente opuesta a la primera cara. El aparato comprende 35 además elementos de sellado internos y externos adicionales dispuestos entre la primera y segunda caras, los elementos de sellado interno y externo que definen un espacio generalmente anular, el espacio anular que encierra un fluido de sellado en su interior para formar un sello entre el recipiente y el miembro de cierre.

40 Otras características y ventajas de la presente divulgación se harán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada. Sin embargo, debe entenderse que la descripción detallada y los ejemplos específicos, aunque indican realizaciones preferidas de la divulgación, se proporcionan solo a título ilustrativo, ya que los expertos en la materia apreciarán diversos cambios y modificaciones dentro del alcance de la divulgación a partir de esta descripción detallada.

45 Breve descripción de los dibujos

Las realizaciones de la divulgación se describirán en relación con los dibujos en los que:

50 La Figura 1 es un diagrama esquemático de una realización del proceso de la presente divulgación;
 La Figura 2 es un diagrama esquemático de un sistema de tratamiento previo de residuos orgánicos en una realización de la presente divulgación;
 La Figura 3 es un diagrama esquemático de un aparato en una realización de la presente divulgación;
 La Figura 3a es una vista detallada del aparato que se muestra en la Figura 3;
 La Figura 3b es una vista de sección del aparato que se muestra en la Figura 3;
 55 La Figura 4 es un diagrama esquemático de un mezclador en una realización de la presente divulgación;
 La Figura 5 es un diagrama esquemático de una cámara cerrada en una realización de la presente divulgación;
 La Figura 6 es un diagrama esquemático de una cámara cerrada con UV en una realización de la presente divulgación;
 La Figura 7 es un diagrama esquemático de un extintor y un sistema de depuración primario en una realización de la presente divulgación;
 60 La Figura 8 es un diagrama esquemático de un depurador secundario en una realización de la presente divulgación;
 La Figura 9 es un diagrama esquemático de un separador de hidrógeno gaseoso y un sistema de recuperación en una realización de la presente divulgación; y
 65 La Figura 10 es un diagrama esquemático de una realización del proceso de la presente divulgación.

Descripción detallada de la divulgación

(I) Definiciones

5 A menos que se indique lo contrario, las definiciones y realizaciones descritas en esta y otras secciones están destinadas a ser aplicables a todas las realizaciones y aspectos de la divulgación descrita en este documento, para los cuales son adecuados, como entenderá un experto en la materia.

10 El término "material orgánico", tal como se usa en la presente memoria, se refiere a cualquier compuesto o compuestos orgánicos, biomasa, microorganismo o microorganismos, mezclas tóxicas o cualquier compuesto o mezcla a base de carbono que se pueda convertir en gas metano. El término "material de desecho orgánico" se refiere al material que requiere tratamiento antes de su eliminación. El tratamiento del material de desecho orgánico puede ser necesario porque el material es tóxico, infeccioso, contaminante ambiental, etc. Ejemplos de material de desecho orgánico incluyen, pero no se limitan a, agentes de guerra química clorados u organofosforados, tales como gas mostaza o VX; agentes de guerra biológica como ántrax; aguas residuales, basura o residuos sólidos urbanos o industriales; material de desecho agrícola, como aves de corral, ganado bovino, porcino u otro ganado; disolventes orgánicos; disolventes orgánicos halogenados; compuestos orgánicos halogenados tales como bifenilos policlorados, hexaclorobenceno, pesticidas clorados, retardantes de fuego bromados, propulsores fluorados o refrigerantes fluorados; compuestos organofosforados tales como pesticidas; explosivos como trinitrotoluenos; combustible para cohetes; hidrazinas; neumáticos; plásticos como el polietileno; desechos de fabricación/procesamiento de refinería y productos químicos, tales como residuos de destilación; carbón; o residuos de procesamiento de aceite y/o bitumen, por ejemplo de arenas bituminosas. El material orgánico que se puede convertir en gas metano comprende cualquier tipo de combustible fósil, por ejemplo, carbón o turba, o cualquier tipo de biomasa de combustible renovable, por ejemplo, astillas de madera, que debido a que está basado en carbono, puede convertirse en gas metano. Además, la biomasa comprende biomasa residual, como residuos de madera o residuos de pulpa.

25 El término "carbón", tal como se utiliza en este documento, incluye todas las formas de rocas sedimentarias negras o parduzcas fácilmente combustibles, tales como lignito (o carbón marrón), carbón sub-bituminoso, carbón bituminoso, carbón de vapor, antracita y grafito.

30 El término "sustancialmente libre de oxígeno", tal como se usa en este documento se refiere al proceso de deshalogenación, desulfuración y reducción de compuestos orgánicos en ausencia de oxígeno. El objetivo de llevar a cabo las reacciones en ausencia de oxígeno es evitar que los compuestos orgánicos se oxiden, lo que puede dar como resultado productos secundarios no deseados. Por consiguiente, el contenido de oxígeno en la cámara cerrada es inferior a aproximadamente el 0,10 %, opcionalmente menos aproximadamente el 0,08 %, adecuadamente inferior a aproximadamente el 0,04 % en volumen.

35 El término "cantidad en exceso", como se usa en este documento se refiere a una cantidad de hidrógeno gaseoso que se mezcla con el material orgánico que supera la cantidad requerida para la estequiometría. La cantidad en exceso de hidrógeno restante después de la finalización de las reacciones de reducción es (en % en moles) de aproximadamente el 10 % a aproximadamente el 80 %, adecuadamente de aproximadamente el 20 % a aproximadamente el 60 %, más adecuadamente de aproximadamente el 25 % a aproximadamente el 50 %.

40 El término "mezclar" y "suficientemente mezclado" como se usa en la presente memoria se refiere a la mezcla homogénea del material orgánico vaporizado con un exceso de hidrógeno y vapor sobrecalentado, de modo que el material orgánico se deshalogena completamente y se reduce mediante el hidrógeno gaseoso. Una mezcla exhaustiva permite que el hidrógeno gaseoso bombardee los compuestos orgánicos en el material orgánico desde todas las direcciones y ayuda a que la deshalogenación, la desulfuración y las reacciones de reducción se terminen casi por completo. Si el material orgánico vaporizado no se mezcla lo suficiente con la cantidad en exceso de hidrógeno gaseoso y vapor de agua sobrecalentado, los compuestos en el material orgánico no se deshalogenarán por completo y se reducirán, dando como resultado la formación y condensación de un material alquitranado. La mezcla se realiza utilizando cualquier medio conocido, por ejemplo, un mezclador estático o asegurando las condiciones que producen flujo turbulento.

45 El término "material alquitranado", tal como se usa en este documento se refiere a los hidrocarburos poliaromáticos condensados que resultan de la mezcla insuficiente del material orgánico con una cantidad en exceso de hidrógeno gaseoso y vapor sobrecalentado. Cuando el material orgánico no se mezcla lo suficiente con una cantidad excesiva de hidrógeno gaseoso y vapor de agua sobrecalentado, los compuestos orgánicos en el material orgánico se deshalogenan y/o desulfuran de manera incompleta y posteriormente se reducen de forma incompleta. Como resultado, los compuestos aromáticos en el material orgánico se condensan y forman material alquitranado que se acumula en el reactor del proceso haciendo que el proceso se cierre. Además, entonces debe eliminarse el material alquitranado.

50 El término "deshalogenar", tal como se utiliza en este documento se refiere a un proceso en el que los compuestos orgánicos que contienen átomos de halógeno, tales como yodo, flúor, cloro o bromo, reaccionan con hidrógeno,

dando como resultado la pérdida del átomo de halógeno del compuesto orgánico y la sustitución con un átomo de hidrógeno. La reacción también genera ácido.

5 El término "desulfurar" tal como se usa en este documento se refiere a un proceso en el que los compuestos orgánicos que contienen átomos de azufre, reaccionan con hidrógeno dando como resultado la pérdida del átomo de azufre del compuesto orgánico y la sustitución con un átomo de hidrógeno. La reacción también genera sulfuro de hidrógeno (H₂S).

10 El término "compuestos orgánicos reducidos" tal como se usa en este documento significa la reducción de compuestos orgánicos a metano u otros hidrocarburos alifáticos pequeños, tales como, pero sin limitación, etano, etileno o propano.

15 El término "neutralizar" tal como se usa en este documento significa el ajuste del pH de una solución a pH aproximadamente neutro (pH 7) o a un pH que no es dañino para el medio ambiente o los organismos. Por ejemplo, la neutralización de una solución ácida a un pH de aproximadamente 7 se puede hacer añadiendo una base a la solución ácida.

20 El término "vapor sobrecalentado", tal como se usa en este documento se refiere al agua que se ha calentado a una temperatura de aproximadamente 600 °C a 900 °C a una presión mayor a 0 atmósfera a aproximadamente 2 atmósfera.

El término "vaporizado", tal como se usa en este documento se refiere a un líquido que se ha convertido en su forma de vapor mediante la aplicación de calor.

25 El término "base", tal como se usa en este documento se refiere a cualquier compuesto que sea capaz de aceptar un protón y, por lo tanto, neutralizar una solución ácida. Los ejemplos de bases incluyen, pero no se limitan a, hidróxidos de metales alcalinos tales como hidróxido de sodio y potasio y carbonatos de metales alcalinos tales como carbonato de calcio.

30 A menos que se indique lo contrario, los términos "un", "una" o "el/la", tal como se usan en este documento, no solo incluyen aspectos con un miembro, sino que también incluyen aspectos con más de un miembro. Por ejemplo, una realización que incluye "un catalizador" debe entenderse que presenta ciertos aspectos con un catalizador o dos o más catalizadores diferentes adicionales.

35 Para comprender el alcance de la presente divulgación, el término "que comprende" y sus derivados, tal como se usan en este documento, están destinados a ser términos abiertos que especifican la presencia de las características, elementos, componentes, grupos, números enteros y/o pasos indicados, pero no excluyen la presencia de otras características, elementos, componentes, grupos, números enteros y/o pasos no indicados. Lo anterior también se aplica a las palabras que tienen significados similares tales como los términos "que incluye",
40 "que tiene" y sus derivados. Finalmente, los términos de grado tales como "sustancialmente", "alrededor de" y "aproximadamente", tal como se usan en este documento, significan una cantidad razonable de desviación del término modificado de tal manera que el resultado final no se modifica significativamente. Estos términos de grado deben interpretarse como que incluyen una desviación de al menos el ±5 % del término modificado si esta desviación no invalida el significado de la palabra que modifica

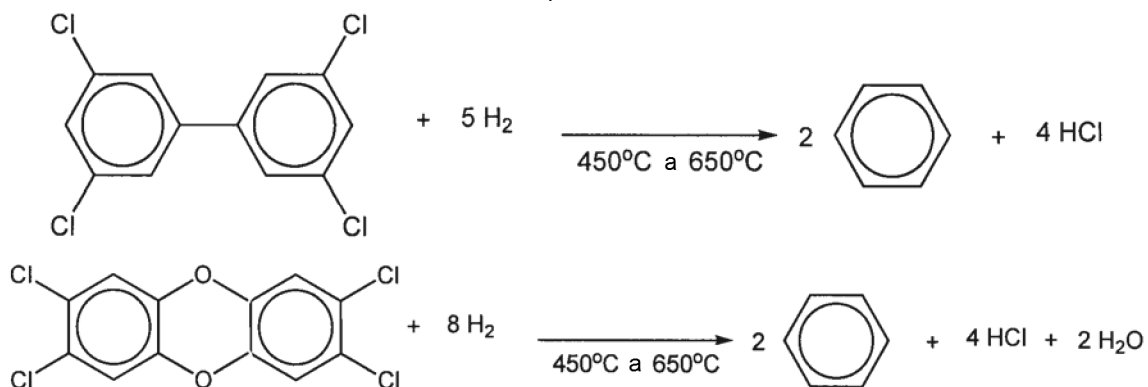
45 (II) Procesos y aparatos de la divulgación

50 La presente divulgación incluye un proceso para la conversión de material orgánico a un gas rico en metano de acuerdo con la reivindicación 1. En otra realización de la divulgación, la primera mezcla se mezcla suficientemente para reducir, adecuadamente para evitar, la formación de material alquitranado. La mezcla a fondo del material orgánico vaporizado con el hidrógeno gaseoso y, opcionalmente, el vapor sobrecalentado, permite un contacto suficiente de los compuestos orgánicos con el hidrógeno y reduce o evita la formación de material alquitranado.

55 En una realización de la divulgación, el material orgánico vaporizado se mezcla con el exceso de hidrógeno y, opcionalmente, vapor de agua sobrecalentado para formar una primera mezcla a una temperatura de aproximadamente 475 °C a aproximadamente 600 °C.

60 A la temperatura en a) de aproximadamente 450 °C a aproximadamente 650 °C, una gran parte de los hidrocarburos aromáticos y alifáticos presentes en el material orgánico pierden átomos de halógeno en una reacción de deshalogenación, que se muestra, por ejemplo, en el Esquema 1. La reacción también genera un ácido. En consecuencia, cuando la primera mezcla entra en b), por encima de aproximadamente el 50 %, opcionalmente por encima de aproximadamente el 70 %, adecuadamente por encima de aproximadamente el 80 %, más adecuadamente por encima del 90 % y más adecuadamente por encima del aproximadamente 95 % de los compuestos orgánicos en el material orgánico se han deshalogenado. De manera similar, los compuestos orgánicos
65 que contienen átomos de azufre se desulfuran en presencia de una cantidad excesiva de hidrógeno gaseoso.

Esquema 1

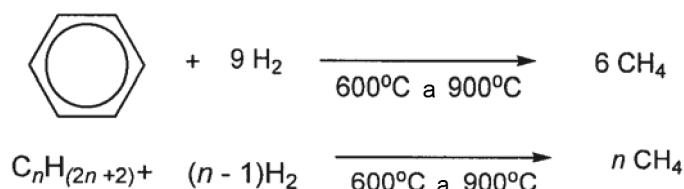


5 La presencia de vapor sobrecalentado en a) es opcional. No se requiere si el material orgánico ya comprende agua ya que el calentamiento de dichas mezclas producirá vapor. En la realización, el vapor sobrecalentado se añade durante el proceso en algún punto antes de b).

10 En una realización adicional, la primera mezcla en b) se calienta a una temperatura de aproximadamente 700 °C a aproximadamente 900 °C. En otra realización, la primera mezcla en b) se calienta a una temperatura de aproximadamente 800 °C a aproximadamente 875 °C.

15 A la temperatura en b) de aproximadamente 600 °C a aproximadamente 900 °C, una gran parte de los compuestos de hidrocarburos aromáticos y alifáticos deshalogenados y desulfurados en la primera mezcla se reducirán a metano u otros hidrocarburos alifáticos pequeños, como se muestra por ejemplo en el Esquema 2. La mezcla suficiente del material orgánico con la cantidad en exceso de hidrógeno gaseoso y vapor sobrecalentado asegura que los compuestos orgánicos se reduzcan sustancialmente y, por lo tanto, reduce o evita la formación de material alquitranado.

Esquema 2



20 En otra realización de la divulgación, se genera hidrógeno en b) a través del reformado con metano a vapor y las reacciones de desplazamiento de agua y gas. El vapor en la primera mezcla se combina con el metano producido en el Esquema 2 para producir hidrógeno y monóxido de carbono. El monóxido de carbono se combina además con el vapor para producir hidrógeno y dióxido de carbono. El hidrógeno generado de esta manera reduce el requerimiento general de hidrógeno que debe añadirse para formar la primera mezcla.

30 En otra realización de la divulgación, el proceso para la conversión de material orgánico en metano, las reacciones de reformado de vapor y metano y las reacciones de desplazamiento de agua y gas se llevan a cabo en presencia de un catalizador. En una realización adicional, el catalizador es un catalizador metálico en el que el metal se selecciona entre uno o más de níquel, cobre, hierro, aleaciones de níquel, estaño, estaño en polvo, cromo y metales nobles. En otra realización, los metales nobles se seleccionan entre uno o más de platino, plata, paladio, oro, rutenio, rodio, osmio e iridio.

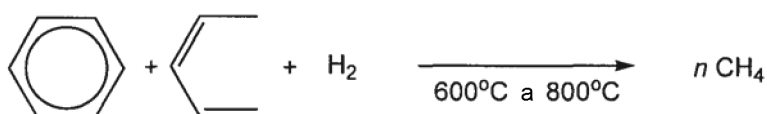
35 En otra realización de la divulgación, la mezcla gaseosa se neutraliza en c) a una temperatura de aproximadamente 70 °C a aproximadamente 100 °C. En una realización adicional, la mezcla gaseosa se neutraliza en c) a una temperatura de aproximadamente 85 °C. Como resultado de las reacciones de deshalogenación y/o de desulfuración, el subproducto ácido (HCl en el Esquema 1) se neutraliza antes de separar y purificar el hidrógeno gaseoso y el metano.

40 En una realización, la base comprende cualquier compuesto que neutralice un ácido. En otra realización, la base es un hidróxido de metal alcalino o un carbonato de metal alcalino. En una realización adicional, el hidróxido de metal alcalino es hidróxido de sodio. En otra realización, el carbonato de metal alcalino es carbonato de calcio.

45 En otra realización de la divulgación, el proceso además comprende exponer la mezcla gaseosa de b) a luz UV en presencia de una cantidad en exceso de hidrógeno gaseoso en condiciones eficaces para reducir los compuestos

orgánicos residuales en la mezcla gaseosa. En otra realización, las condiciones eficaces para reducir los compuestos orgánicos residuales en la mezcla gaseosa comprenden calentar a una temperatura de aproximadamente 600 °C a aproximadamente 800 °C. En una realización adicional, las condiciones eficaces para reducir los compuestos orgánicos residuales en la mezcla gaseosa comprenden calentar a una temperatura de aproximadamente 650 °C a aproximadamente 750 °C. En otra realización, las condiciones eficaces para reducir los compuestos orgánicos residuales en la mezcla gaseosa comprenden luz UV a una longitud de onda de aproximadamente 200 nm a aproximadamente 300 nm. En otra realización, las condiciones eficaces para reducir los compuestos orgánicos residuales en la mezcla gaseosa comprenden luz UV a una longitud de onda de aproximadamente 220 nm a aproximadamente 254 nm. La mezcla gaseosa está expuesta a la luz UV para reducir cualquier compuesto orgánico residual que no haya sido reducido por las temperaturas en b). La luz UV ayuda a reducir cualquier resto de estructuras aromáticas o parcialmente aromáticas a temperaturas inferiores a las requeridas en b). La luz UV posee una longitud de onda de 254 nm, 248 nm o 220 nm que ayuda a reducir los compuestos residuales para formar compuestos orgánicos alifáticos saturados o totalmente reducidos sin dobles enlaces, preferentemente, metano, como se muestra por ejemplo en el Esquema 3.

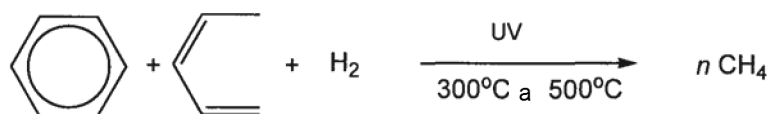
Esquema 3



En otra realización de la divulgación, el proceso además comprende enfriar la mezcla gaseosa neutralizada de c). En otra realización, la mezcla gaseosa se enfría a una temperatura de aproximadamente 5 °C a aproximadamente 35 °C.

En otra realización de la divulgación, el proceso además comprende exponer la mezcla gaseosa neutralizada y enfriada a condiciones efectivas para reducir los compuestos orgánicos residuales. En otra realización, las condiciones para reducir los compuestos orgánicos residuales en la mezcla gaseosa neutralizada y enfriada comprenden luz UV a una longitud de onda de aproximadamente 200 nm a aproximadamente 300 nm en presencia de una cantidad en exceso de hidrógeno gaseoso. En una realización adicional, las condiciones para reducir los compuestos orgánicos residuales en la mezcla gaseosa neutralizada y enfriada comprenden luz UV a una longitud de onda de aproximadamente 220 nm a aproximadamente 254 nm. En otra realización, las condiciones para reducir los compuestos orgánicos residuales en la mezcla gaseosa neutralizada y enfriada además comprenden calentar a una temperatura de aproximadamente 300 °C a aproximadamente 500 °C. En una realización, las condiciones para reducir los compuestos orgánicos residuales en la mezcla gaseosa neutralizada y enfriada además comprenden calentar a una temperatura de aproximadamente 400 °C. En este punto del proceso, si todavía quedan niveles inaceptables de compuestos aromáticos, como el benceno, la mezcla gaseosa se calienta y se expone a UV de nuevo en presencia de una cantidad excesiva de hidrógeno gaseoso para reducir los niveles residuales de compuestos orgánicos insaturados, como se muestra, por ejemplo, en el Esquema 4.

Esquema 4



En otra realización de la divulgación, el proceso además comprende separar el hidrógeno gaseoso del metano después de neutralizar la mezcla gaseosa en c). En una realización, el hidrógeno gaseoso se recicla para su uso en a). En una realización, el proceso de separación del hidrógeno del metano se realiza usando un separador de hidrógeno, que son conocidos por los expertos en la materia.

En otra realización de la divulgación, el gas metano se comprime y se puede usar como combustible de combustión limpia. En una realización, el gas metano posee de aproximadamente el 0 % a aproximadamente el 30 % de hidrógeno, opcionalmente de aproximadamente el 5 % a aproximadamente el 25 % de hidrógeno, adecuadamente de aproximadamente el 10 % a aproximadamente el 20 % de hidrógeno en volumen.

En otra realización de la divulgación, el material orgánico también comprende material inorgánico que no se vaporiza y se elimina del proceso. Como resultado de la incapacidad del material inorgánico para vaporizarse, el material inorgánico se separa del material de desecho orgánico vaporizado. En una realización, el material inorgánico se deja sedimentar en el fondo de la cámara cerrada y posteriormente se elimina drenándolo desde el fondo de la cámara.

En otra realización de la divulgación, el material de desecho orgánico comprende agentes de guerra química clorados u organofosforados; agentes de guerra biológica; aguas residuales; basura o residuos sólidos urbanos o industriales; material de desecho agrícola; disolventes orgánicos; disolventes orgánicos halogenados, compuestos

- orgánicos halogenados tales como bifenilos policlorados, hexaclorobenceno, pesticidas clorados, retardantes de fuego bromados, propulsores fluorados o refrigerantes fluorados; compuestos organofosforados tales como pesticidas; explosivos como trinitrotoluenos; combustible para cohetes; hidrazinas; neumáticos; plásticos como el polietileno; desechos de fabricación/procesamiento de refinería y productos químicos, tales como residuos de destilación; carbón; o residuos de procesamiento de aceite y/o bitumen, por ejemplo de arenas bituminosas. En otra realización, el agente de guerra química clorado u organofosforado comprende gas mostaza o agente nervioso VX.
- En una realización, el agente de guerra biológica comprende ántrax. En una realización adicional, el material de desecho agrícola comprende aves de corral, ganado vacuno, porcino u otro material de desecho de ganado tales como excrementos y desechos de procesamiento. En otra realización, el material orgánico comprende biomasa, tal como residuos de madera o residuos de pulpa. En otra realización, la biomasa comprende astillas de madera.
- En una realización de la divulgación, el material orgánico usado en el método de la divulgación comprende combustibles fósiles tales como todos los tipos de carbones, aceite o turba. En esta realización, el proceso representa un método para la vaporización de combustibles fósiles y para la conversión de estas fuentes de combustible en metano e hidrógeno de combustión limpia.
- En una realización, el material orgánico se pretrata para formar una alimentación uniforme y fácilmente transportable. En una realización adicional, cuando el material orgánico comprende humedad, el proceso además comprende tratar el material para eliminar el agua antes de la vaporización del material orgánico en (a).
- En referencia a la Figura 1, se muestra una descripción general del proceso. En una realización de la divulgación, antes de procesarse, y dependiendo de la naturaleza del material orgánico, el material se pretrata en un aparato triturador/amolador 2 para formar una alimentación uniforme y fácilmente transportable. En una forma de realización, cuando el material orgánico es tierra, sedimentos, aguas residuales, lodos, residuos sólidos urbanos o cualquier otro material de tipo sólido, el aparato triturador/amolador 2 muele el material hasta un tamaño uniforme y permite transferir el material a través del proceso. En una realización adicional, cuando el material orgánico comprende agua, opcionalmente se trata previamente para eliminar el agua antes de procesarse.
- En otra realización, el material orgánico se transporta a un aparato que puede vaporizar el material orgánico, por ejemplo, un vaporizador de reducción continua (CRV) 3. En una realización, el material se transporta al CRV 3 usando un tornillo sin fin. En una realización adicional, cuando el material es fluido, se transporta al CRV usando una bomba de lodos.
- En una realización de la divulgación, el CRV 3 es un aparato rotativo de reacción, mezcla y/o molienda (descrito con más detalle a continuación), que se calienta y, por lo tanto, vaporiza el material orgánico que se ha transportado al CRV 3. En una forma de realización de la divulgación, el material orgánico, además de los compuestos orgánicos que pueden vaporizarse, también contiene material de desecho inorgánico que no se vaporiza. En una realización, el material de desecho inorgánico que no se vaporiza en el CRV 3, sale del CRV 3 como un sólido 10 tratado. El material de desecho inorgánico tratado que está libre de material orgánico, es adecuado para su reciclaje o eliminación en un vertedero. Los ejemplos de material de desecho inorgánico incluyen cualquier tipo de material que no se vaporice con el calor del CRV 3 e incluye, pero no se limita a, metales, minerales, piedras, arena o sílice.
- En una realización adicional, el material orgánico vaporizado se transporta desde el CRV 3 a un mezclador, tal como un mezclador estático 4, donde el material orgánico vaporizado se mezcla a fondo con una cantidad en exceso de hidrógeno gaseoso y vapor sobrecalentado. La mezcla a fondo del material orgánico vaporizado con la cantidad en exceso de hidrógeno gaseoso y el vapor sobrecalentado permite que los componentes de la mezcla se mezclen lo suficiente y se reduzca la formación de material alquitranado. La mezcla también se puede conseguir utilizando cualquier otro medio conocido.
- En otra realización de la divulgación, el material orgánico vaporizado, mezclado y calentado a fondo, el hidrógeno gaseoso y el vapor sobrecalentado se transportan a una cámara cerrada sustancialmente libre de oxígeno, por ejemplo, el reactor de proceso 5. En una realización adicional, la mezcla se calienta adicionalmente en el reactor de proceso 5 para producir gas metano.
- En una realización adicional, la mezcla gaseosa sale del reactor de proceso 5 y entra en la cámara de reacción secundaria 6 que emplea luz UV en presencia de una cantidad en exceso de hidrógeno gaseoso para reducir los compuestos orgánicos residuales en la mezcla gaseosa.
- En otra realización, la mezcla gaseosa entra luego en un extintor y un depurador primario 7 donde la mezcla se enfría, y se elimina el ácido, el agua y cualquier materia particulada de la mezcla. En una realización adicional, la mezcla entra en un depurador secundario 8 para eliminar el ácido residual y el agua.
- En otra realización, la mezcla gaseosa ahora comprende predominantemente el hidrógeno gaseoso y el metano. En otra realización, la mezcla entra luego en un separador 9, tal como un separador de hidrógeno, que comprime y enfría la mezcla antes de entrar en un separador de tipo membrana. El separador 9 separa el hidrógeno gaseoso de

la mezcla gaseosa con aproximadamente un 85 % de eficacia para formar dos corrientes de gas separadas. La corriente 11 es una corriente de gas rico en metano que contiene entre un 10 % y un 20 % de hidrógeno, que posteriormente se puede usar, por ejemplo, como combustible limpio, para generar calor o electricidad o para cualquier otro uso conocido de metano. En una realización adicional, la corriente de gas rico en metano se reformada adicionalmente para producir hidrógeno y se usa como combustible, por ejemplo en celdas de combustible, o para cualquier otro uso conocido de hidrógeno. La corriente 12 es sustancialmente hidrógeno gaseoso recuperado de la mezcla gaseosa que se recicla para usarse nuevamente en el proceso y se dirige de nuevo al CRV 3 o al mezclador 4. El agua es un subproducto de las reacciones que ocurren en los reactores de proceso, y sale del proceso como la corriente 79 del depurador primario 7 y la corriente 89 del depurador secundario 8. Las corrientes 79 y 89 se combinan y luego se tratan y se analizan antes de salir del proceso como efluente.

La Figura 2 ilustra un aparato para el pretratamiento del material orgánico de acuerdo con una realización de la presente divulgación. En esta realización, el material orgánico 1 ingresa a una tolva de alimentación primaria 20. En una realización adicional, el material orgánico ingresa a un aparato triturador/amolador 2 que muele el material en una alimentación uniforme que se transporta fácilmente a través del proceso. Los trituradores/amoladores son conocidos por los expertos en la materia y están disponibles en el mercado. En una forma de realización, el material orgánico se introduce a través del triturador/amolador 21, que también es conocido por los expertos en la materia y es un artículo disponible en el mercado. En una realización adicional, el material uniforme triturado cae en una tolva secundaria 22, donde se dosifica en el proceso a través de una válvula 23, por ejemplo, una válvula giratoria. El material orgánico ingresa luego a una tolva terciaria 24, que posteriormente es transportado por un transportador 25, por ejemplo, un transportador de tornillo o bomba de lodos, a la entrada 26 del vaporizador reductor continuo 3.

En una realización, la tolva terciaria 24 se purga con un gas inerte, tal como nitrógeno, argón o dióxido de carbono, a través de una entrada 27, para eliminar el oxígeno del sistema. La purga permite que el proceso se realice en un entorno que esté sustancialmente libre de oxígeno.

En otra realización, la tolva terciaria 24 se calienta y se purga con vapor de agua.

En otra realización, el volumen de material orgánico en la tolva secundaria 22 está controlado por la válvula 23, que mide el material orgánico en la tolva terciaria 24. En otra realización, la tolva secundaria 22 también proporciona una contrapresión para la atmósfera inerte en la tolva terciaria 24, que por lo tanto proporciona un sello de presión positiva para el proceso, y permite que las reacciones se realicen en una atmósfera sustancialmente libre de oxígeno. En una realización adicional, el transportador 25 también proporciona una contrapresión para la atmósfera inerte entre el transportador 25 y la tolva terciaria 24.

En una realización de la divulgación, el transportador 25 es un transportador de tornillo que comprende dos sinfines contrarrotativos para transportar el material de desecho orgánico a la entrada 26 del CRV 3. Este diseño para los sinfines de tornillo permite que los sinfines estén completamente llenos y la acción de rotación inversa proporciona una alimentación positiva sin taponamiento.

En otra realización, cuando el material orgánico es fluido, por ejemplo, el lodo de las aguas residuales, el material se dosifica y se transporta al CRV usando una bomba de lodos. Las bombas de lodos son conocidas por los expertos en la materia y están disponibles en el mercado.

En referencia a la Figura 3, un aparato se muestra en general en 64. En algunas realizaciones, el aparato 64 se puede implementar como el CRV 3. El aparato 64 es un ejemplo de un aparato adecuado que se puede implementar como el CRV 3, y no debe interpretarse como limitante de las diversas formas de realización proporcionadas en esta divulgación. Además, el aparato 64 no debe limitarse a la implementación particular como el CRV 3, y puede implementarse en otras aplicaciones de vaporización de materiales orgánicos. El aparato 64 se puede usar de manera más general como, por ejemplo, pero no limitado a, un aparato de reacción, un aparato de mezcla o como aparato de molienda (por ejemplo, como un molino de bolas, molino de varillas o molino de piedra).

El aparato 64 incluye un recipiente 30 giratorio alrededor del eje 28. El eje 28 en general puede ser horizontal. El recipiente 30 puede incluir un primer extremo que tiene una entrada 68 y un segundo extremo que tiene una salida 69, la entrada y la salida 68, 69 para introducir o descargar respectivamente materiales del recipiente 30. La entrada y la salida 68, 69 en general pueden ser coaxiales con el eje 28. Pueden proporcionarse vuelos helicoidales 32 en el interior del recipiente 30 adyacente a la salida 69 para ayudar a descargar materiales sólidos de la salida 69 (ver Figura 3b). En algunas realizaciones, el recipiente 30 puede incluir una sección de barril principal 30a, secciones cónicas 30b situadas a cada lado de la sección de barril 30a y secciones de brida 30c ubicadas a cada lado de las secciones cónicas 30b. Dependiendo de la implementación particular, el recipiente 30 puede estar formado por diversos materiales, que incluyen, por ejemplo, pero no se limitan a, materiales inertes, aceros inoxidables y superaleaciones.

Haciendo referencia ahora a la Figura 3a, las secciones de brida 30c pueden incluir paredes de brida interior y exterior 46a, 46b. Las paredes de brida 46a, 46b en general pueden ser cilíndricas y coaxiales con el eje 28. Una pared de banda radial 47 puede conectar las paredes de brida 46a, 46b. La pared de la banda 47 puede incluir una

primera cara 73 que en general se extiende radialmente. Las paredes de brida 46a, 46b y la pared de banda 47 pueden formar una estructura de tipo viga en I que es relativamente rígida. El aparato 64 puede incluir cojinetes de soporte 54 para soportar de manera que puedan rodar las paredes externas de brida 46b de las secciones de brida 30c, las secciones de brida 30c que soportan de ese modo todo el peso del recipiente 30 y su contenido. El aparato 64 además puede incluir un mecanismo de accionamiento (no mostrado) para hacer girar el recipiente 30.

El aparato 64 incluye miembros de cierre 66 que se pueden organizar adyacentes a la entrada y salida 68, 69. El elemento de cierre 66 puede incluir una segunda cara que en general se extiende de forma radial 74 en relación generalmente opuesta a la primera cara 73 de la pared de banda 47. El miembro de cierre 66 adyacente a la entrada 68 puede incluir al menos una entrada para introducir materiales en el recipiente 30. Como se ilustra, el miembro de cierre 66 adyacente a la entrada 68 incluye la alimentación del transportador de tornillo 26 y la alimentación de gas 12 para introducir materiales al recipiente 30. El miembro de cierre 66 adyacente a la salida 69 puede incluir al menos una salida para descargar materiales del recipiente 30. Como se ilustra, el miembro de cierre 66 adyacente a la salida 69 está conectado directamente a una cámara ciclónica 33 de un aparato de separación 65.

El aparato 64 incluye además un mecanismo de sellado 29 en al menos un extremo del recipiente 30 para proporcionar un sello entre el recipiente giratorio 30 y los elementos de cierre no giratorios 66. El mecanismo de sellado 29 puede incluir elementos de sellado internos y externos 48a, 48b dispuestos entre la primera y segunda caras 73, 74. Los elementos de sellado interno y externo 48a, 48b definen un espacio generalmente anular 49. El espacio anular 49 encierra un fluido de sellado que forma un sello entre el recipiente 30 y el miembro de cierre 66. Los elementos de sellado 48a, 48b en general pueden estar en forma de anillo y estar dispuestos concéntricamente. Los elementos de sellado 48a, 48b pueden fijarse a cualquiera de la primera y segunda caras 73, 74 y están en relación de deslizamiento con respecto a la otra. Como se ilustra, ambos elementos de sellado 48a, 48b pueden montarse en la segunda cara 74 utilizando el elemento base 78, y se mantienen en relación deslizante con la primera cara 73. Como se ilustra, la longitud de la dimensión radial de la primera cara 73 entre las paredes interior y exterior de brida 46a, 46b pueden permitir el desplazamiento radial de la segunda cara 74 con respecto a la primera cara 73 para tolerar la expansión térmica y la contracción del recipiente 30 en la dirección radial. Los elementos de sellado interno y externo 48a, 48b pueden estar formados de un material antiadherente, tal como un fluoropolímero (por ejemplo, TEFLON™).

Los miembros de cierre 66 pueden incluir corrientes de entrada y salida 38, 39 en conexión fluida con el espacio anular 49 para hacer circular el fluido de cierre en el espacio anular 49. La salida 39 en general puede ubicarse por encima de la entrada 38 de manera que la circulación fluya en contra de la gravedad. El flujo de fluido de sellado se puede controlar entre las corrientes de entrada y salida 38, 39 para mantener el espacio anular 49 sustancialmente lleno con el fluido de sellado. La fuga del fluido de sellado de los mecanismos de sellado 29 puede tolerarse si el fluido de sellado no es perjudicial para las reacciones que ocurren dentro del recipiente 30. El fluido de sellado puede proporcionar el enfriamiento de los mecanismos de sellado 29 y el recipiente 30. En algunas realizaciones, el fluido de sellado puede incluir agua. En algunas realizaciones, el fluido de sellado se puede reciclar después de ser devuelto a través de la salida 39.

El miembro de cierre 66 además puede incluir la primera y segunda partes de pared 66a, 66b separadas por una sección de expansión 67. La primera parte de pared 66a incluye la segunda cara 74. La segunda parte de pared 66b se puede fijar a la alimentación del transportador de tornillo 26 y a la alimentación de gas 12. La sección de expansión 67 puede permitir el desplazamiento axial de la primera parte de pared 66a con respecto a la segunda parte de pared 66b para tolerar la expansión térmica y la contracción del recipiente 30 en la dirección axial. Para evitar que se forme un espacio entre los elementos de sellado 48a, 48b y la primera cara 73, la sección de expansión 67 puede desviar la segunda cara 74 para que se apoye contra la primera cara 73 para mantener un buen sellado entre los elementos de sellado 48a, 48b y la primera cara 73. Como alternativa, se puede usar una abrazadera externa u otros medios de aplicación de fuerza para empujar la segunda cara 74 para que se apoye contra la primera cara 73 para mantener un buen sellado entre los elementos de sellado 48a, 48b y la primera cara 73.

El aparato 64 además puede incluir una carcasa aislada 31 que rodea al menos una parte del recipiente 30. La carcasa 31 puede incluir una fuente de calor (o una fuente de refrigeración, ninguna de las cuales se muestra), de modo que la temperatura interna a la carcasa 31 se pueda controlar. En una forma de realización, la carcasa 31 puede calentarse usando, por ejemplo, pero sin limitación, calentamiento indirecto por gas, calentamiento eléctrico indirecto o directo, energía de microondas, energía ultravioleta o vapor sobrecalentado. El calor se puede transferir al recipiente 30 por transferencia de calor por radiación, por transferencia de calor por convección o por transferencia de calor por conducción, por ejemplo mediante un baño de aceite caliente. Como se ilustra en la Figura 3, la carcasa 31 en general puede rodear la sección de barril 30a y terminar en las secciones cónicas 30b, dejando las secciones de brida 30c externas a la carcasa 31 y accesibles para su mantenimiento u otros fines.

El aparato 64 puede conectarse en combinación con el aparato de separación 65. El aparato de separación 65 puede incluir la cámara ciclónica 33 en conexión fluida y alineada tangencialmente con la salida 69 del recipiente 30 para recibir materiales descargados. Se puede colocar un conducto de salida 40 encima de la cámara ciclónica 33 para recoger materiales gaseosos de la cámara ciclónica 33. Una tolva 35 se puede colocar debajo y conectarse en

conexión fluida con la cámara ciclónica 33 para recoger materiales líquidos y sólidos de la cámara ciclónica 33. Las válvulas 34a, 34b se pueden proporcionar para separar la cámara ciclónica 33 y la tolva 35. Entre las válvulas 34a, 34b, se puede proporcionar una corriente de purga de vapor 37. Se puede proporcionar una fuente de fluido 36 en la tolva 35 para enfriar los materiales líquidos y sólidos.

5 En algunas realizaciones con el aparato 64 implementado como CRV 3, el material orgánico se introduce al CRV 3 a través de la entrada 26 desde el transportador 25. El recipiente giratorio 30 está alojado dentro de una carcasa aislada 31, y el material orgánico se vaporiza en el recipiente 30.

10 En algunas realizaciones con el aparato 64 implementado como CRV 3, la carcasa 31 se puede calentar usando, por ejemplo, pero sin limitación, calentamiento de gas indirecto, calentamiento eléctrico indirecto o directo, energía de microondas, energía ultravioleta o vapor sobrecalentado. El calor se puede transferir al recipiente 30 por transferencia de calor por radiación, por transferencia de calor por convección o por transferencia de calor por conducción, por ejemplo mediante un baño de aceite caliente. En una realización de la divulgación, el material orgánico en el recipiente 30 se puede calentar directamente permitiendo la introducción de cantidades controladas de oxígeno. El recipiente 30 puede garantizar una vaporización uniforme del material orgánico y ayuda en la mezcla a fondo del material y el hidrógeno gaseoso que entra en el CRV 3 a través de la corriente 12. La temperatura dentro del recipiente 30 se puede controlar entre aproximadamente 300 °C y aproximadamente 650 °C dependiendo de la temperatura de ebullición o sublimación del material orgánico. Un experto en la materia podrá determinar la temperatura necesaria para vaporizar el material orgánico y comenzar las reacciones de deshalogenación y desulfuración, que dependerán de la naturaleza del material.

25 En algunas realizaciones con el aparato 64 implementado como CRV 3, el recipiente 30 puede ayudar a mezclar a fondo el material orgánico vaporizado con la cantidad en exceso de hidrógeno gaseoso. La mezcla a fondo del material orgánico vaporizado con la cantidad en exceso de hidrógeno gaseoso da como resultado una mezcla homogénea y ayuda a deshalogenar y desulfurar los compuestos orgánicos y, en consecuencia, a reducir o evitar la formación de material alquitranado.

30 En algunas realizaciones, a medida que se incrementa la temperatura en el CRV 3, los compuestos orgánicos en el material residual que contiene halógeno comienzan a perder átomos de halógeno unidos en una reacción de deshalogenación tal como se muestra en el Esquema 1. De forma similar, los compuestos orgánicos en el material orgánico también pierden átomos de azufre en una reacción de desulfuración.

35 En algunas realizaciones, el CRV 3 funciona de manera continua permitiendo que una corriente constante de material orgánico se convierta en gas metano sin la necesidad de interrumpir el proceso.

40 En algunas realizaciones con el aparato 64 implementado como CRV 3, el material orgánico contiene material de desecho inorgánico que no se vaporizará. El material de desecho sólido inorgánico puede eliminarse del recipiente 30, por ejemplo usando los vuelos helicoidales 32. Los vuelos 32 pueden levantar los materiales sólidos del recipiente 30 y transportarlos a la cámara ciclónica 33 del aparato de separación 65. El material de desecho sólido inorgánico puede salir del fondo de la cámara ciclónica 33 a través de las válvulas 34, que puede incluir la corriente de purga de vapor 37. La purga de vapor 37 puede proporcionar al material de desecho sólido inorgánico un enfriamiento inicial de la alta temperatura de la carcasa 31. El material de desecho sólido inorgánico cae dentro de la tolva de sólidos procesados 35 donde se puede enfriar adicionalmente por la pulverización de agua 36. El material inorgánico puede salir de la tolva 35 a través de un transportador 10, tal como un transportador de tornillo. En algunas realizaciones, la pulverización de agua 36 sobre el material inorgánico caliente y la corriente de purga de vapor 37 da como resultado una presión positiva en el interior del sistema, lo que ayuda a mantener una atmósfera sustancialmente libre de oxígeno.

50 En algunas realizaciones con el aparato 64 implementado como CRV 3, la corriente de hidrógeno gaseoso reciclado 12 se introduce en el aparato 64 y proporciona un flujo positivo de gas de barrido a través del recipiente giratorio 30. La corriente 12 puede ayudar a transportar el material de desecho orgánico vaporizado a través del recipiente 30 y fuera del aparato 64 a través de la salida del ciclón 40 a un mezclador 44, por ejemplo, un mezclador estático.

55 En algunas realizaciones con el aparato 64 implementado como CRV 3, el recipiente 30 puede estar diseñado para un entorno reductor de alta temperatura. El recipiente 30 puede estar expuesto a altas temperaturas, productos químicos agresivos tales como compuestos halogenados, azufre, fósforo y metales pesados, y también un entorno reductor como resultado de la corriente de hidrógeno gaseoso 12. Por consiguiente, en algunas realizaciones de la divulgación, los materiales usados para construir el recipiente giratorio 30 consisten en superaleaciones de níquel y cromo resistentes a la temperatura y la corrosión, como 253MA®, Hastelloy® X o Haynes® 188.

65 En algunas realizaciones, el proceso de la presente divulgación se realiza en presencia de un catalizador. En una realización adicional, el catalizador es un catalizador metálico en el que el metal se selecciona entre uno o más de níquel, cobre, hierro, aleaciones de níquel, estaño, estaño en polvo, cromo y metales nobles. En otra realización, los metales nobles se seleccionan entre uno o más de platino, plata, paladio, oro, rutenio, rodio, osmio e iridio. En una

realización, los componentes mecánicos del proceso, tales como el recipiente giratorio 30, están compuestos por los metales que catalizan el proceso de la divulgación.

5 En otra realización de la invención, el CRV 3 se reemplaza por un recipiente de tipo autoclave que trataría el material orgánico por lotes. En una realización, se cargan uno o más vaporizadores por lotes de secuenciación (SBV) con material orgánico y luego el recipiente se sella y se purga de aire con un gas inerte tal como nitrógeno, argón o dióxido de carbono. En una realización, el recipiente se calienta y el material orgánico vaporizado se transporta mediante un gas de barrido a un mezclador 44, por ejemplo, un mezclador estático.

10 En otra realización de la divulgación, cuando el material orgánico está en forma líquida, por ejemplo, disolvente orgánico residual o pesticidas, el material orgánico simplemente se hierva para formar el material orgánico vaporizado. En una realización, esta operación se realiza en un Vaporizador de Residuos Líquidos (LWV) diseñado específicamente que es similar en diseño al SBV, pero con un tamaño más pequeño. Las toberas atomizadoras rocían el material orgánico líquido sobre bandejas calientes en el recipiente de tipo autoclave. Algunas de las gotas
15 líquidas se vaporizan o se evaporan directamente cuando golpean las bandejas calientes. El LWV podría cerrarse periódicamente para limpiar las bandejas calientes ya que los materiales inorgánicos se acumularían allí. En otra realización de la divulgación, se usan una o más de cualquier combinación de CRV, SBV o LWV, por ejemplo como se ilustra en la Figura 10.

20 Como se ilustra en la Figura 4, una vez que el material orgánico se ha vaporizado en el CRV 3, el material orgánico vaporizado se mezcla adicionalmente con una corriente de hidrógeno gaseoso 41 y una corriente de vapor supercaliente 42. En una realización, la corriente de gas combinada 43 a continuación ingresa a un mezclador 44, por ejemplo un mezclador estático, que consiste en un tubo aislado para mantener la temperatura de la corriente de gas combinada 43 y elementos mezcladores estáticos 45. En una realización adicional, el mezclador 44 mezcla a
25 fondo la corriente de gas combinada 43 para preparar los gases combinados para la reacción en el reactor de proceso 5. El mezclador 44 está disponible en el mercado y su operación es bien conocida por los expertos en la materia.

30 En una forma de realización de la divulgación, una vez que el material orgánico se calienta a las temperaturas en el CRV3, el material orgánico se deshalogena y desulfura continuamente mientras se desplaza a través del CRV 3, a través de la cámara ciclónica 33 y al mezclador 44. Por consiguiente, en una realización de la divulgación, antes de entrar en el reactor de proceso 5, más arriba, aproximadamente el 50 %, opcionalmente por encima de aproximadamente el 70 %, adecuadamente por encima de aproximadamente el 80 %, más adecuadamente por encima del 90 % y más adecuadamente por encima de aproximadamente el 95 % de los compuestos orgánicos en
35 el material orgánico se deshalogenan y se desulfuran.

40 En una realización adicional de la divulgación, la corriente de gas combinada 43 se mezcla suficientemente para permitir la reacción en el reactor de proceso 5. En otra realización, la corriente de gas combinada 43 sale del mezclador 44 y se transporta a la entrada 50 del reactor de proceso 5. En otra realización, la temperatura en la entrada 50 de la corriente de gas combinada 43 se mantiene controlando la temperatura de la corriente de hidrógeno gaseoso 41 y la corriente de vapor supercaliente 42. Manteniendo la temperatura de la corriente de gas combinada 43 y asegurando una mezcla completa de dicha corriente 43 en el mezclador 44, aumenta la eficacia de las reacciones subsiguientes y reduce la formación de productos secundarios no deseados, tales como la formación de material alquitranado (hidrocarburos poliaromáticos condensados), lo que disminuye la eficiencia operativa de todo
45 el proceso.

50 La Figura 5 ilustra la cámara cerrada o el reactor de proceso 5 en una realización de la presente divulgación. En una realización, la corriente de gas combinada 43 entra en la entrada 50 del reactor de proceso 5. En una realización, el reactor de proceso 5 está diseñado para que el flujo de gas sea turbulento y también está diseñado para actuar como un reactor de proceso de flujo pistón. Un experto en la materia entenderá que el flujo turbulento se caracteriza por remolinos y vórtices que están presentes en todo el campo de flujo. Un reactor de proceso de flujo pistón significa que el flujo se mezcla bien en cualquier sección transversal dada pero no se mezcla en la dirección axial.

55 En una realización, el flujo de gas turbulento ayuda a mezclar a fondo los compuestos orgánicos en el material orgánico con la cantidad en exceso de hidrógeno gaseoso. Como se describe, la mezcla a fondo de los compuestos orgánicos con la cantidad en exceso de hidrógeno gaseoso reduce la formación de material alquitranado.

60 En una realización de la divulgación, la reacción de deshalogenación se realiza principalmente en el CRV 3, la cámara ciclónica 33 y el mezclador 44, mientras que la reacción de reducción de los compuestos orgánicos se realiza principalmente en el reactor de proceso 5. En otra realización, las reacciones de deshalogenación y desulfuración y la reacción de reducción se llevan a cabo en el mismo reactor de proceso. En esta realización, después de completarse la reacción de deshalogenación, se aumenta la temperatura para llevar a cabo la reacción de reducción.

65 En una realización de la divulgación, el reactor de proceso 5 incluye una zona de calentamiento 51 y una zona de tiempo de residencia 52. La zona de calentamiento 51 se define como el volumen requerido para calentar la

corriente de gas combinada 43 a una temperatura efectiva para que las reacciones de deshalogenación y reducción ocurran con un 90 % de eficiencia, opcionalmente con un 95 % de eficiencia, opcionalmente con un 99 % de eficiencia, opcionalmente con un 99,9 % de eficiencia y adecuadamente con un 99,9999 % de eficiencia. La eficiencia de la reacción es el porcentaje de cualquier compuesto orgánico particular destruido o convertido químicamente por el proceso de reducción. Matemáticamente, la eficiencia de destrucción (DE) se define como:

$$DE = (W_{in} - W_{out}) \times 100$$

en la que

W_{in} = velocidad de alimentación en masa del compuesto diana; y

W_{out} = velocidad de emisión en masa del compuesto diana

En una realización, la temperatura para conseguir esta eficacia para las reacciones de deshalogenación y desulfuración es de aproximadamente 450 °C a aproximadamente 650 °C, adecuadamente de aproximadamente 475 °C a aproximadamente 600 °C. En otra realización, la temperatura para conseguir esta eficacia para las reacciones de reducción es de aproximadamente 600 °C a aproximadamente 900 °C, adecuadamente de aproximadamente 700 °C a aproximadamente 900 °C, adecuadamente de aproximadamente 800 °C a aproximadamente 875 °C. Un experto en la materia reconocerá que la temperatura exacta dependerá del material orgánico que esté siendo tratado por el proceso.

En otra realización de la divulgación, la zona de tiempo de residencia 52 se define como el volumen al cual la temperatura del gas ha alcanzado la temperatura para reducir los compuestos orgánicos en el material orgánico vaporizado (la primera mezcla). En una realización, el tiempo de residencia en la zona de tiempo de residencia 53 es de aproximadamente 1 a aproximadamente 10 segundos, opcionalmente de aproximadamente 1 a aproximadamente 5 segundos, adecuadamente de aproximadamente 2 a aproximadamente 4 segundos. En otra realización de la divulgación, la mezcla gaseosa producida a partir de la reacción de reducción asciende por el tubo central 53 del reactor de proceso 5.

En otra realización, el reactor de proceso 5 se calienta usando uno o más calentadores de tipo de tubo radiante 55 ubicados en la zona de calentamiento anular 51 del reactor de proceso. En una realización, los calentadores de tubos radiantes son de gas o eléctricos. En otra realización, el calentador o calentadores radiantes 55 están conectados al reactor de proceso 5 en una zona en la parte superior 58 del reactor de proceso 5 que se llena con un gas inerte tal como nitrógeno, argón o dióxido de carbono. Este diseño asegura que el aire exterior no pueda filtrarse en el reactor de proceso 5 si se forma una fuga en los tubos radiantes 55.

En otra realización de la divulgación, el reactor de proceso 5 comprende un recipiente aislado que consiste en una carcasa exterior 57 hecha de, por ejemplo, acero al carbono, con un revestimiento flotante 56 hecho, por ejemplo, de una aleación de níquel. El revestimiento flotante 56 permite el movimiento debido a la expansión térmica como resultado de las altas temperaturas en el reactor de proceso 5. En una realización adicional, el reactor de proceso 5 también posee material aislante, tal como, fibra cerámica para ayudar a mantener las altas temperaturas en el reactor de proceso 5. En otra realización, el revestimiento flotante 56 y el calentador o calentadores de tubo radiante 55 están contruidos con materiales que pueden soportar el entorno reductor a alta temperatura en el reactor de proceso, además de soportar productos químicos tales como compuestos halogenados, de azufre, fósforo y metales pesados. En una realización, el revestimiento flotante 56 y el calentador o calentadores de tubo radiante (55) están contruidos de superaleaciones de níquel y cromo resistentes a la temperatura y a la corrosión tales como Kanthal APM®, 253MA®, Hastelloy® X o Haynes® 188. En otra realización, el reactor de proceso 5 incluye un tapón inferior desmontable 59 para permitir el acceso al vaso del reactor de proceso durante las paradas para inspección, mantenimiento y limpieza.

En otra realización de la divulgación, el reactor de proceso 5 comprende un diseño de reactor de proceso tubular que consiste en varios tubos dispuestos en paralelo y calentados desde el exterior en lugar de un gran recipiente con elementos de calentamiento internos.

En una forma de realización, como se muestra en la Figura 6, se utiliza una cámara de reacción secundaria 61 para asegurar la ruptura completa de los dobles enlaces y compuestos aromáticos que puedan permanecer en la mezcla gaseosa. En esta realización, la mezcla gaseosa 60 entra en la cámara de reacción secundaria 61 donde la mezcla gaseosa está expuesta a la luz ultravioleta (UV) producida por una o más lámparas UV 62 en presencia de una cantidad en exceso de hidrógeno gaseoso. La mezcla gaseosa sale entonces de la cámara de reacción secundaria 61 como mezcla gaseosa tratada con luz UV 70. En otra realización, la cámara de reacción secundaria 61 comprende una cubierta de acero al carbono con un revestimiento flotante 63, construido, por ejemplo, de aleación de níquel. En otra realización, la cámara de reacción secundaria 61 está aislada, por ejemplo, con fibra cerámica.

En una realización adicional y como se ejemplifica en la Figura 7, la mezcla gaseosa opcionalmente tratada con luz UV 70 entra en un extintor 71 de la cámara de reacción secundaria 61. En una realización, el extintor 71 incluye un pulverizador de agua 72 que enfría rápidamente la mezcla gaseosa a una temperatura de aproximadamente 100 °C

- a aproximadamente 300 °C. En una realización adicional, la mezcla gaseosa enfriada se desplaza a través de un tubo 75 a un depurador 77. En una realización de la divulgación, el depurador 77 es un depurador Venturi que tiene una porción de garganta 76 donde se añade agua. La sección de garganta fuerza a la corriente de gas para que se acelere a medida que el conducto se estrecha y luego se expande. El agua del depurador se atomiza en pequeñas gotas por la turbulencia en la garganta, mejorando en gran medida el contacto entre la mezcla gaseosa y el agua. El extintor 71 y el depurador 77 eliminan el calor, el agua, la materia particulada y los gases ácidos que se desarrollan como subproductos de las reacciones de deshalogenación y reducción de los compuestos halogenados (particularmente compuestos clorados, fluorados o bromados).
- 5
- 10 En una realización de la divulgación, los gases ácidos se neutralizan y se eliminan de la mezcla gaseosa mediante la adición de una base, por ejemplo, hidróxido de sodio. La adición de una base da como resultado la producción de agua y sales.
- 15 En otra realización, el agua añadida en la porción de garganta 76 del depurador 77 se recoge en el fondo del depurador y sale como corriente de agua 79. En una realización adicional, el agua del extintor 71 también se une a la corriente de agua 79. En una realización adicional, la corriente de agua 79 que contiene el efluente del depurador va a un sistema de tratamiento de agua para la filtración y análisis antes de la descarga. En otra realización, la corriente de gas procesada por el depurador 80 sale del recipiente depurador 77 y se desplaza a través de un tubo hasta un depurador secundario 81.
- 20 En otra realización de la divulgación, el extintor y el depurador Venturi se reemplazan con un depurador de tipo cal seca. Se usa un depurador de cal seca cuando el material orgánico que se procesa está muy halogenado, por ejemplo, hexaclorobenceno. Un depurador de cal seca para este tipo de material orgánico reduce en gran medida el efluente del agua del proceso.
- 25 En otra realización de la divulgación, como se ilustra en la Figura 8, la corriente de gas procesada del depurador 80 ingresa a un depurador secundario 81, donde el gas procesado 80 se depura nuevamente para reducir aún más la temperatura del gas procesado 80 y eliminar la mayor cantidad de agua posible del gas procesado 80. En otra realización, el gas 80 se enfría mediante una pulverización de agua enfriada 82 a una temperatura de aproximadamente 5 °C a aproximadamente 35 °C. En otra forma de realización, el depurador secundario 81 incluye un elemento separador 83 que elimina la posibilidad de transporte de gotitas de agua en el flujo de gas procesado del depurador secundario 90. En una realización adicional, la corriente de gas procesado de depurador secundario 90 sale a través de un tubo cerca de la parte superior del depurador secundario 81. En esta realización, el agua 85 recogida en el depurador secundario 81 se descarga como una corriente de agua 89 a través de un tubo situado en la parte inferior del depurador secundario 81 y la corriente de agua 89 que contiene el efluente del depurador va a un sistema de tratamiento de agua para su filtración y análisis antes de la descarga.
- 30
- 35 En otra realización de la divulgación, el depurador secundario 81 se usa además para eliminar compuestos indeseables, por ejemplo, compuestos que contienen fósforo tales como gas de fosfina. En esta realización, se usa una solución de permanganato en el depurador secundario 81 para eliminar el gas de fosfina.
- 40 En otra realización de la divulgación, como se ejemplifica en la Figura 9, la corriente de gas procesado del depurador secundario 90 ingresa a un separador 9, por ejemplo, un sistema de separación de hidrógeno. En otra realización, la corriente 90 entra en un compresor 91, por ejemplo, un compresor de tornillo, donde el gas se comprime a una presión superior a aproximadamente 100 psig (aproximadamente 690 kPa), que es la presión requerida para una membrana de separación de hidrógeno para separar hidrógeno del gas metano. En una realización, el gas procesado presurizado se desplaza desde el compresor 91 a los módulos separadores de hidrógeno 93 a través de la tubería de proceso 92. En una realización, se usan varios módulos de separación de hidrógeno 93 en paralelo. En una realización adicional, cada módulo de separación de hidrógeno consiste en un elemento de membrana 94, que filtra el hidrógeno gaseoso. En una realización de la divulgación, el elemento de membrana 94 es un sistema de membrana PRISM® suministrado por Air Products, por ejemplo. Los sistemas de membrana para la separación de hidrógeno son conocidos por los expertos en la materia y están disponibles en el mercado. En una realización, la corriente 90 entra en el módulo de separación de hidrógeno 93 que consiste en un tubo que contiene un elemento de membrana cilíndrico 94. En esta realización, el hidrógeno gaseoso a presión se infiltra a través de la membrana con una tasa de recuperación de aproximadamente el 85 %, mientras que la membrana rechaza el metano con una eficiencia de aproximadamente el 90 % (la tasa de rechazo de monóxido de carbono es de aproximadamente el 85 %). En una realización, el permeado rico en hidrógeno sale del módulo de separación de hidrógeno como corriente 12 y se recicla dentro del proceso como se ha descrito anteriormente (los cálculos muestran que el requerimiento general de hidrógeno en el proceso de reducción de la fase gaseosa se reduce en un 67 % usando esta tecnología para reciclar el hidrógeno) y el gas no permeado que es rico en metano e hidrógeno reducido sale del módulo de separación de hidrógeno como corriente 11. En una realización adicional, el gas rico en metano 11 se dirige hacia un área de almacenamiento de gas para realizar pruebas antes de estar disponible para su uso como combustible de combustión limpia o para otros usos. En una realización, el metano comprende de aproximadamente el 10 % a aproximadamente el 20 % en volumen de hidrógeno.
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65

En otra realización de la divulgación, el gas rico en metano experimenta una reacción de metanización adicional que convierte el monóxido de carbono y el hidrógeno disponibles en el gas en metano y agua. Esto no aumenta el valor combustible del gas en general, pero la mayor proporción de metano a hidrógeno y monóxido de carbono puede ser deseable para ciertas aplicaciones, como el uso en vehículos.

5 En otra realización de la invención, el dióxido de carbono se elimina de la corriente rica en metano 11 y se secuestra. Esto aumenta el poder calorífico del gas producido y minimiza las emisiones de gases de efecto invernadero del proceso.

10 Una realización de la presente divulgación es que los gases producidos en el proceso se usen como combustibles limpios. Por ejemplo, el gas combustible rico en metano se puede usar como fuente de combustible en cualquier sistema de generación de energía conocido, por ejemplo, pero no limitado a turbinas de gas, turbinas de vapor y otros motores. La operación y construcción de dichos sistemas de generación de energía es bien conocida en la técnica. El metano también se puede convertir en hidrógeno usando procesos conocidos de reformado de dióxido de carbono y de desplazamiento de gas y agua, y el hidrógeno se usa posteriormente como combustible en sistemas conocidos de generación de energía de hidrógeno, por ejemplo, pilas de combustible. La operación y construcción de celdas de combustible basadas en hidrógeno es bien conocida en la técnica e incluye, celdas de combustible para automóviles u otros sistemas de generación de energía más grandes, como los desarrollados por Fuel Cell Energy de Danbury Connecticut. El metano y/o el hidrógeno se recogen y transportan al sistema generador de energía o se pueden introducir directamente a dichos sistemas, que en una realización de la divulgación, se encuentran en estrecha proximidad o en combinación con el aparato de proceso.

25 A continuación se describen tres modalidades de la presente divulgación para proporcionar ejemplos del gas combustible rico en metano producido a partir de la conversión de tres materiales orgánicos específicos. Esta información se generó usando un modelo de ordenador que toma la composición química del material orgánico como entrada y calcula la composición del gas combustible usando principios de ingeniería convencionales conocidos por los expertos en la materia. Los cálculos suponen que se añade metano como reactivo para producir hidrógeno a través del reformado del metano a vapor y las reacciones de desplazamiento de agua y gas. Los cálculos suponen las siguientes eficiencias para el sistema de separación y recuperación de hidrógeno: 85 % de recuperación de hidrógeno, 92 % de rechazo de metano, 100 % de rechazo de CO, 50 % de rechazo de CO₂ y 100 % de rechazo de agua.

35 En una realización, se convierte el lodo de aguas residuales digerido. El lodo de aguas residuales tiene la siguiente composición química en base seca (en % en mol): 4,7 % de nitrógeno, 34 % de carbono, 20 % de oxígeno, 4,9 % de hidrógeno, 1,3 % de azufre, 0,1 % de cloro y 35 % de ceniza. El proceso se ejecuta de modo que la cantidad en exceso de hidrógeno que queda después de completar las reacciones de reducción es del 40 % en moles. El gas combustible producido contiene la siguiente composición química (en % en mol): 19 % de hidrógeno, 40 % de metano, 29 % de CO y 12 % de CO₂. La conversión de 1 tonelada seca de lodo de aguas residuales produce un gas combustible de combustión limpia con alto contenido de metano con un mayor poder calorífico de 18.500 MJ.

40 En una forma de realización, se convierten residuos sólidos urbanos. Los residuos sólidos urbanos tienen la siguiente composición química de base seca (en % en mol): 3,5 % de nitrógeno, 39 % de carbono, 26 % de oxígeno, 6,4 % de hidrógeno, 0,3 % de azufre, 1,2 % de cloro, 0,2 % de fósforo y 23,4 % de ceniza. El proceso se realiza de manera que la cantidad en exceso de hidrógeno que queda después de completar las reacciones de reducción es del 35 % en moles. El gas combustible producido contiene la siguiente composición química (en % en mol): 16 % de hidrógeno, 40 % de metano, 31 % de CO y 13 % de CO₂. La conversión de 1 tonelada seca de residuos sólidos urbanos produce un gas combustible de combustión limpia con alto contenido de metano con un mayor poder calorífico de 19.400 MJ.

45 En una realización, se convierte lignito. El lignito tiene la siguiente composición química en base seca (en % en mol): 2,0 % de nitrógeno, 77 % de carbono, 10,6 % de oxígeno, 5,5 % de hidrógeno, 4,5 % de azufre, 0,1 % de cloro y 0,3 % de ceniza. El proceso se realiza de manera que la cantidad en exceso de hidrógeno que queda después de completar las reacciones de reducción es del 30 % en moles. El gas combustible producido contiene la siguiente composición química (en % en mol): 12 % de hidrógeno, 42 % de metano, 32 % de CO y 14 % de CO₂. La conversión de 1 tonelada seca de lignito produce un gas combustible con combustión limpia con alto contenido de metano con un mayor poder calorífico de 39.600 MJ.

50 En una realización, se convierte lignito. El lignito tiene la siguiente composición química en base seca (en % en mol): 2,0 % de nitrógeno, 77 % de carbono, 10,6 % de oxígeno, 5,5 % de hidrógeno, 4,5 % de azufre, 0,1 % de cloro y 0,3 % de ceniza. El proceso se realiza de manera que la cantidad en exceso de hidrógeno que queda después de completar las reacciones de reducción es del 30 % en moles. El gas combustible producido contiene la siguiente composición química (en % en mol): 12 % de hidrógeno, 42 % de metano, 32 % de CO y 14 % de CO₂. La conversión de 1 tonelada seca de lignito produce un gas combustible con combustión limpia con alto contenido de metano con un mayor poder calorífico de 39.600 MJ.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para la conversión de material orgánico en un gas rico en metano que comprende:
 - 5 a) vaporizar el material orgánico en una cámara cerrada sustancialmente libre de oxígeno y mezclar el material orgánico vaporizado con una cantidad en exceso de hidrógeno gaseoso y, opcionalmente, vapor sobrecalentado, a una temperatura de 450 °C a 650 °C para formar una primera mezcla;
 - 10 b) calentar la primera mezcla en una segunda cámara cerrada sustancialmente libre de oxígeno a una temperatura de 600 °C a 900 °C en presencia de una cantidad en exceso de hidrógeno gaseoso y vapor sobrecalentado para formar una mezcla gaseosa que comprende metano, hidrógeno y ácido; y
 - c) neutralizar la mezcla gaseosa con una base.
2. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el material orgánico vaporizado se mezcla con el exceso de hidrógeno gaseoso y vapor sobrecalentado a una temperatura de 475 °C a 600 °C para formar una primera mezcla, y en el que la primera mezcla se calienta en b) a una temperatura de 700 °C a 900 °C, más preferentemente a una temperatura de 800 °C a 875 °C.
3. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el proceso se lleva a cabo en presencia de un catalizador metálico, preferentemente seleccionado entre uno o más de níquel, cobre, hierro, aleaciones de níquel, estaño, estaño en polvo, cromo y metales nobles, más preferentemente en el que los metales nobles se seleccionan entre uno o más de platino, plata, paladio, oro, rutenio, rodio, osmio e iridio.
4. El proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la mezcla gaseosa se neutraliza en c) a una temperatura de 70 °C a 100 °C, más preferentemente a una temperatura de aproximadamente 85 °C.
5. El proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la base comprende un hidróxido de metal alcalino o un carbonato de metal alcalino.
6. El proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que además comprende exponer la mezcla gaseosa de b) a luz UV en presencia de una cantidad en exceso de hidrógeno gaseoso en condiciones eficaces para reducir los compuestos orgánicos residuales en la mezcla gaseosa, en el que las condiciones eficaces para reducir los compuestos orgánicos residuales en la mezcla gaseosa comprenden:
 - 35 (i) calentar a una temperatura de 600 °C a 800 °C, más preferentemente a una temperatura de 650 °C a 750 °C;
 - o
 - (ii) luz UV a una longitud de onda de 200 nm a 300 nm, más preferentemente a una longitud de onda de 220 nm a 254 nm.
7. El proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que además comprende enfriar la mezcla gaseosa neutralizada de c), preferentemente a una temperatura de 5 °C a 35 °C.
8. El proceso de acuerdo con la reivindicación 7, que además comprende exponer la mezcla gaseosa neutralizada y enfriada en presencia de una cantidad en exceso de hidrógeno gaseoso a condiciones eficaces para reducir los compuestos orgánicos residuales, en el que las condiciones comprenden luz UV a una longitud de onda de 200 nm a 300 nm, más preferentemente luz UV a una longitud de onda de 220 nm a 254 nm.
9. El proceso de acuerdo con la reivindicación 8, en el que las condiciones para reducir los compuestos orgánicos residuales en la mezcla gaseosa neutralizada y enfriada además comprenden calentar a una temperatura de 300 °C a 500 °C.
10. El proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, realizado a una presión mayor que 0 atmósferas y menor que 2 atmósferas.
11. El proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, que además comprende separar el hidrógeno gaseoso y el metano después de neutralizar la mezcla gaseosa en c) y, preferentemente, reciclar el hidrógeno gaseoso para su uso en a) y/o b).
12. El proceso de acuerdo con la reivindicación 11, en el que el metano comprende del 10 % al 20 % en volumen de hidrógeno, comprendiendo dicho proceso además transferir el metano a un sistema de producción de energía, preferentemente una turbina alimentada por gas, un motor o una pila de combustible.
13. El proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que el material orgánico también comprende material inorgánico que no se vaporiza y se retira de la cámara cerrada.
- 65 14. El proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en el que el material orgánico comprende agentes de guerra química clorados u organofosforados, agentes de guerra biológica, aguas residuales,

basura o residuos sólidos urbanos o industriales, residuos agrícolas, disolventes orgánicos, disolventes orgánicos halogenados, compuestos orgánicos halogenados, compuestos organofosforados, explosivos, combustible para cohetes, hidrazinas, neumáticos, plásticos, carbón, aceite, turba, biomasa, residuos de fabricación/procesamiento de refinerías o compuestos químicos tales como residuos de destilación, o residuos de procesamiento de aceite y/o bitumen.

5

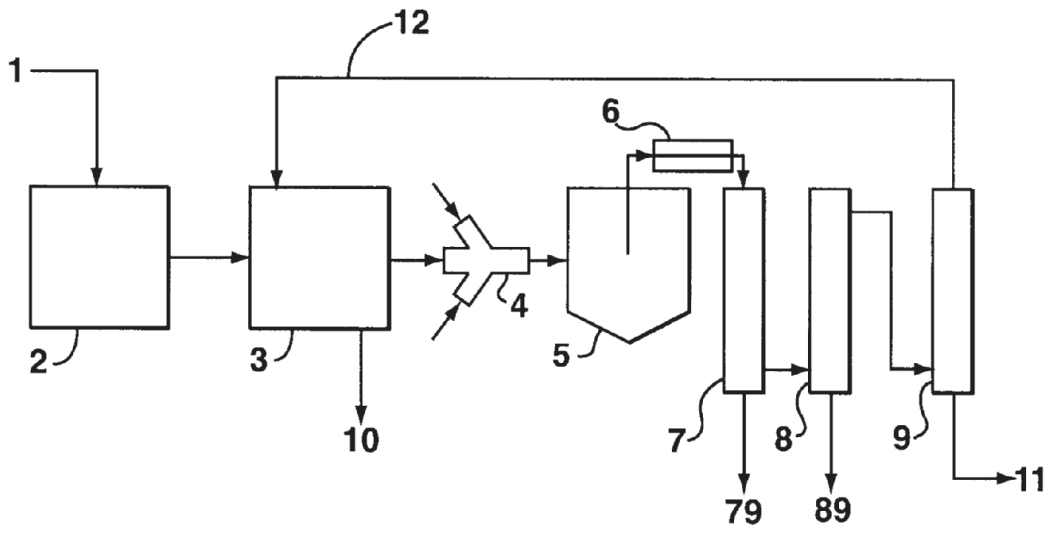


FIG. 1

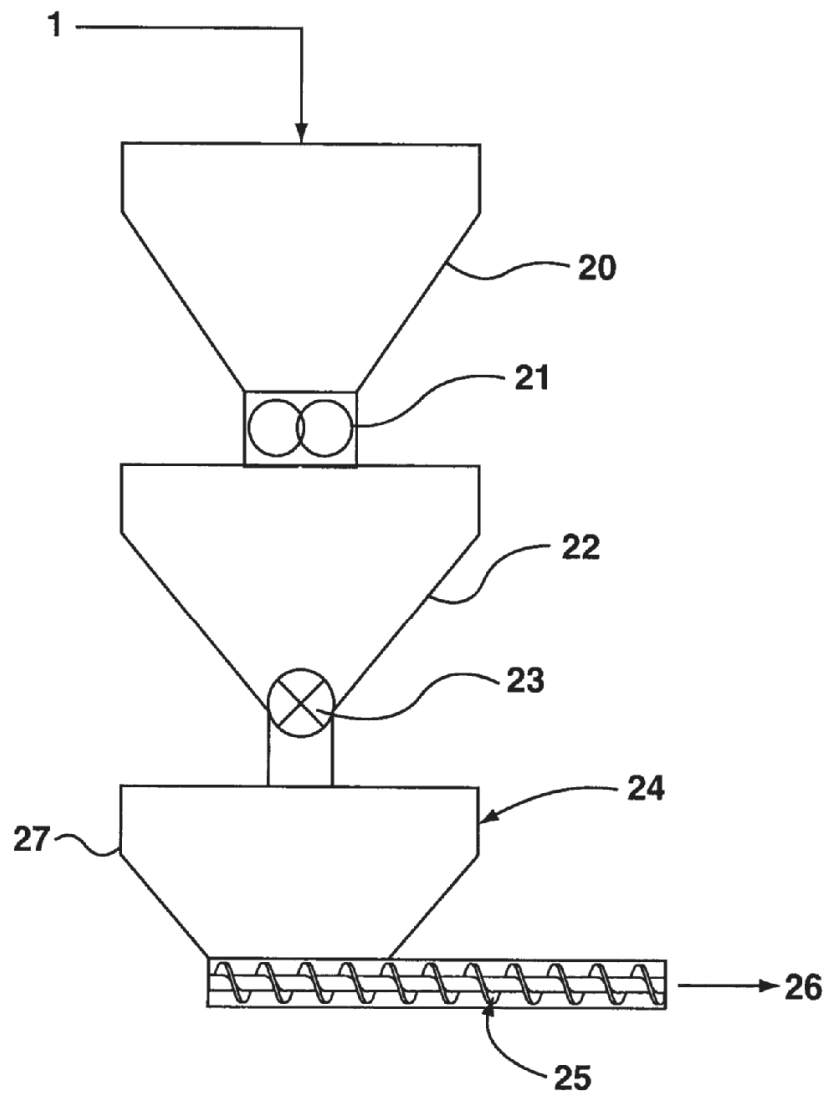


FIG. 2

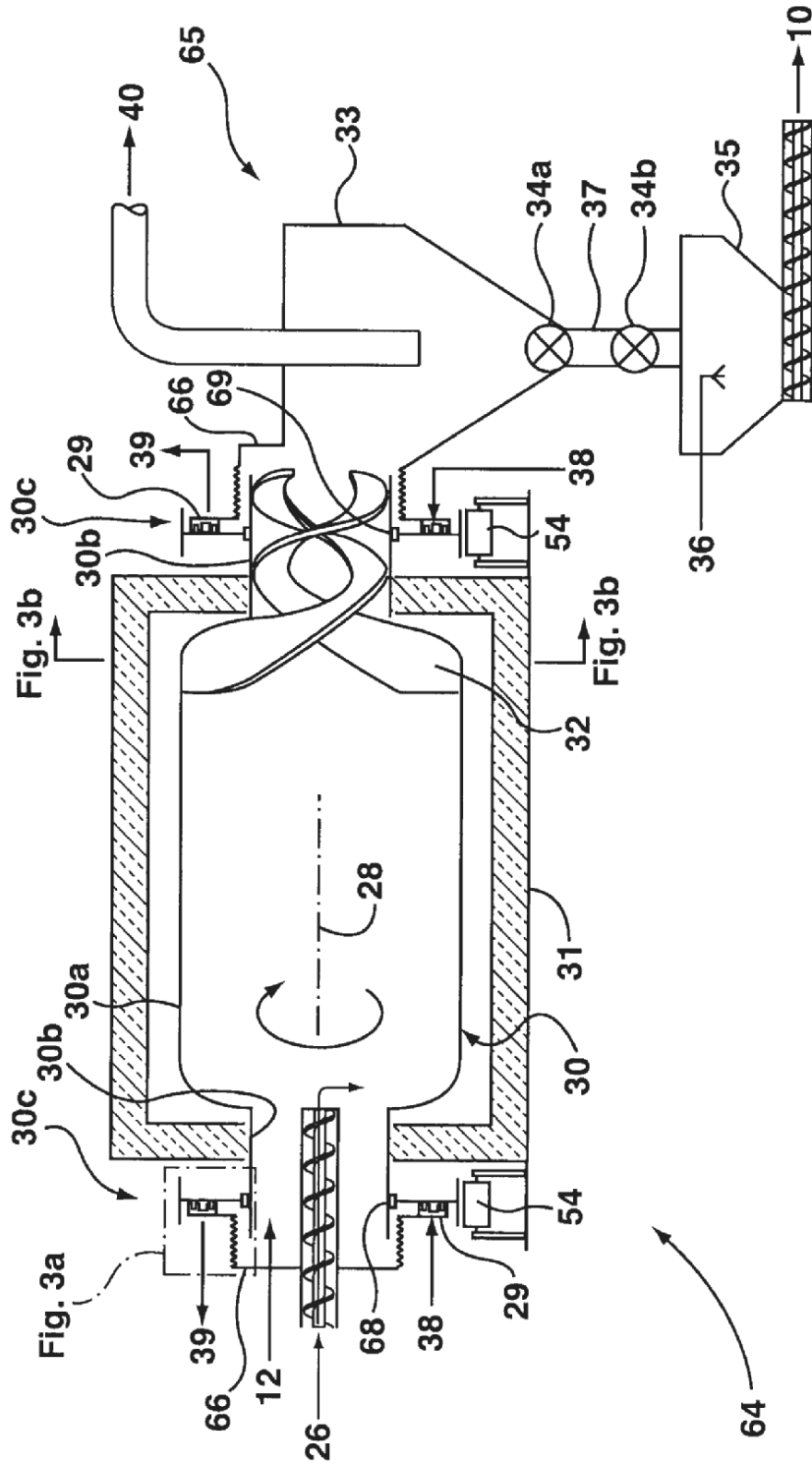


FIG. 3

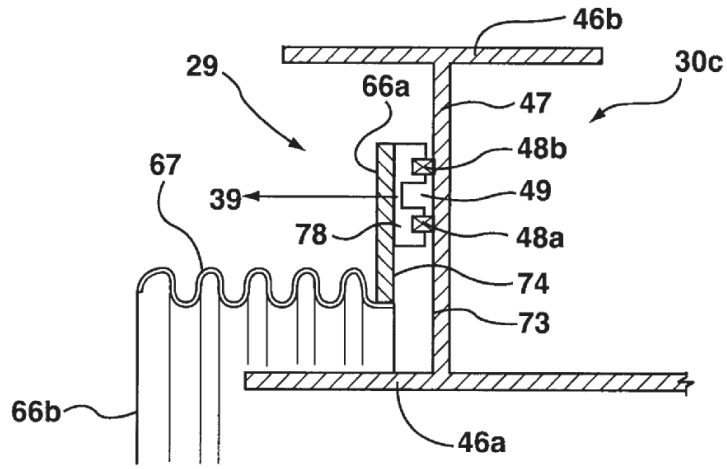


FIG. 3a

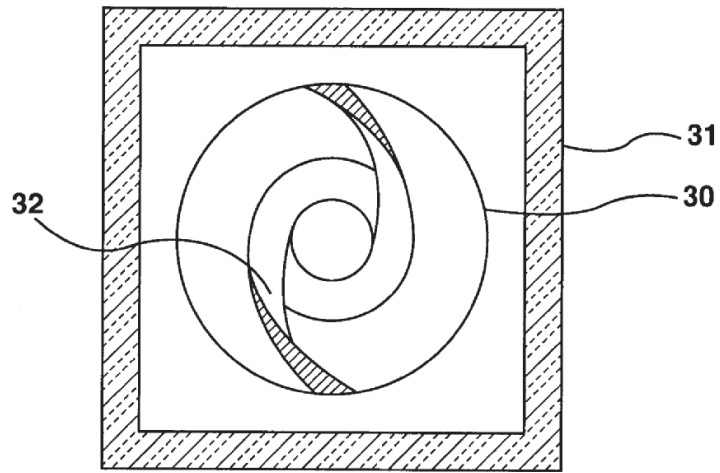


FIG. 3b

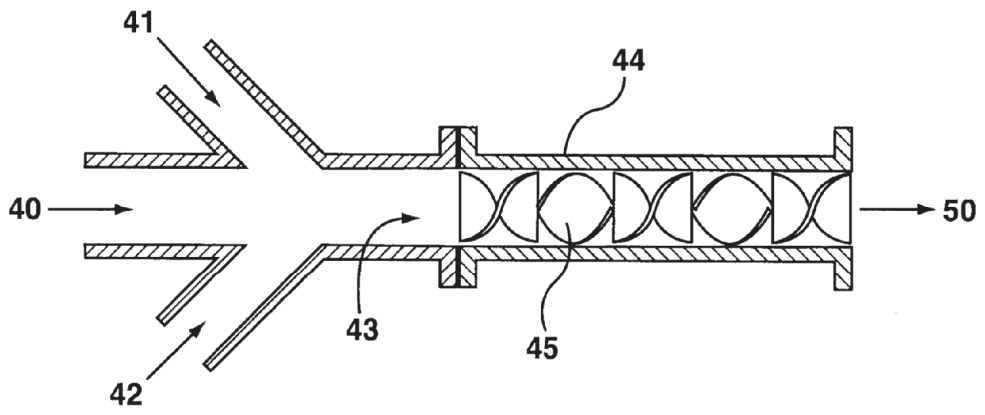


FIG. 4

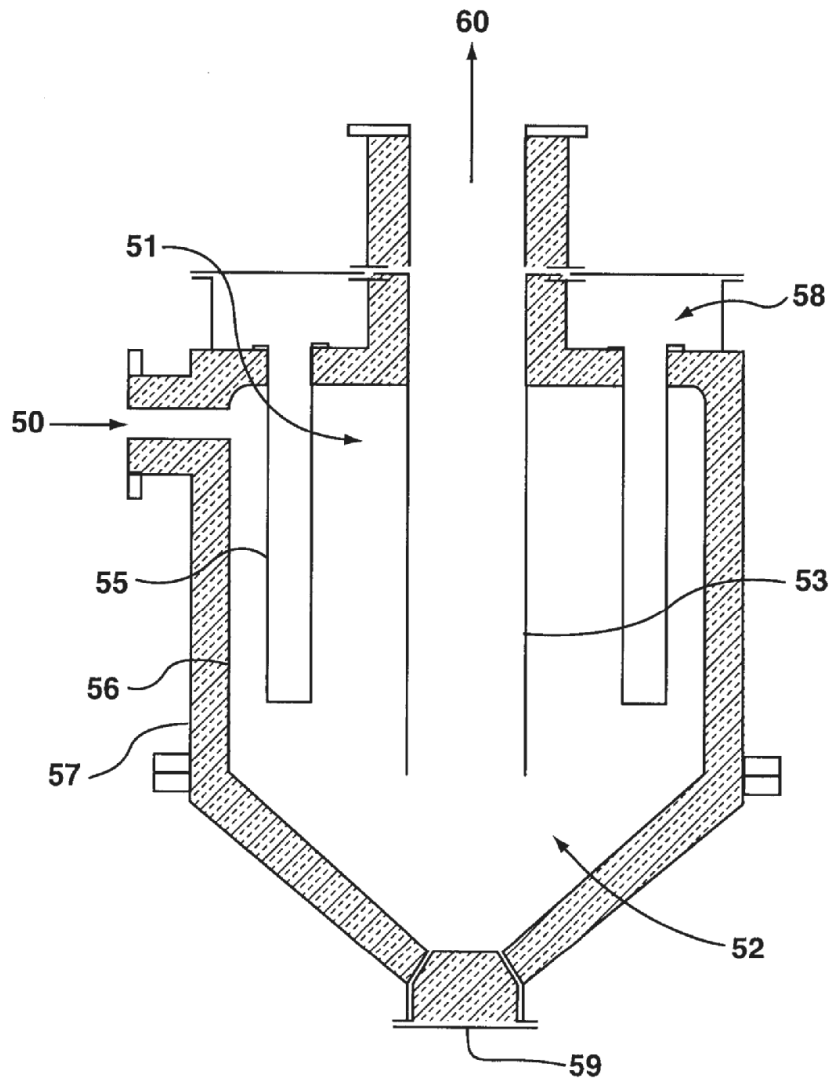


FIG. 5

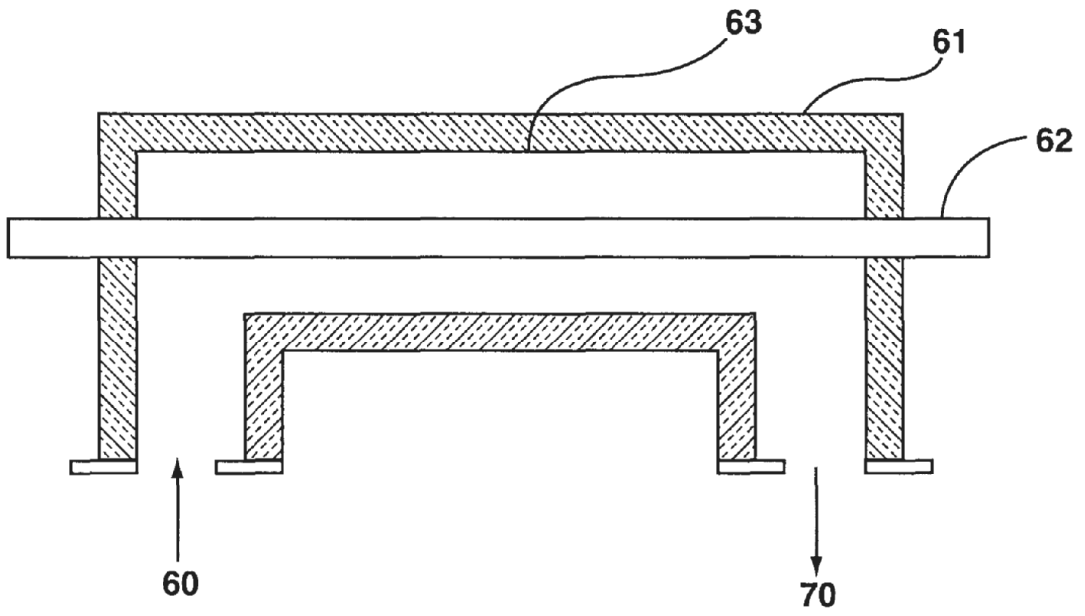


FIG. 6

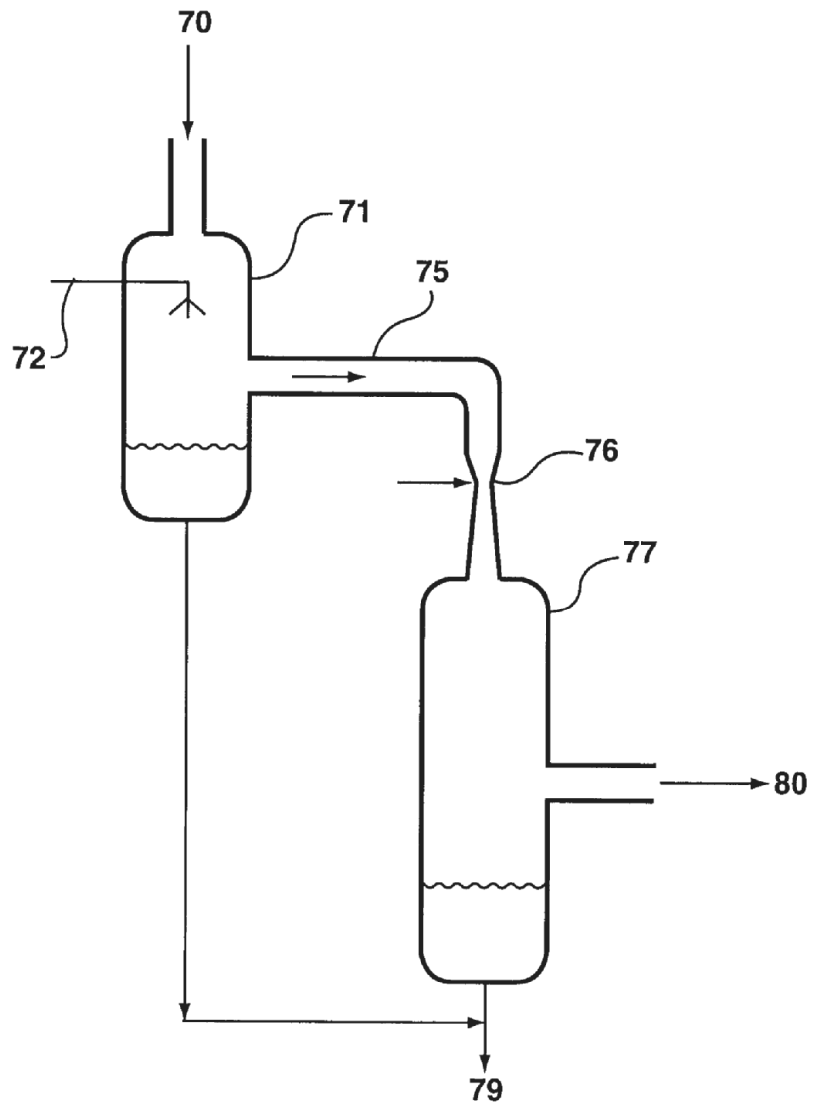


FIG. 7

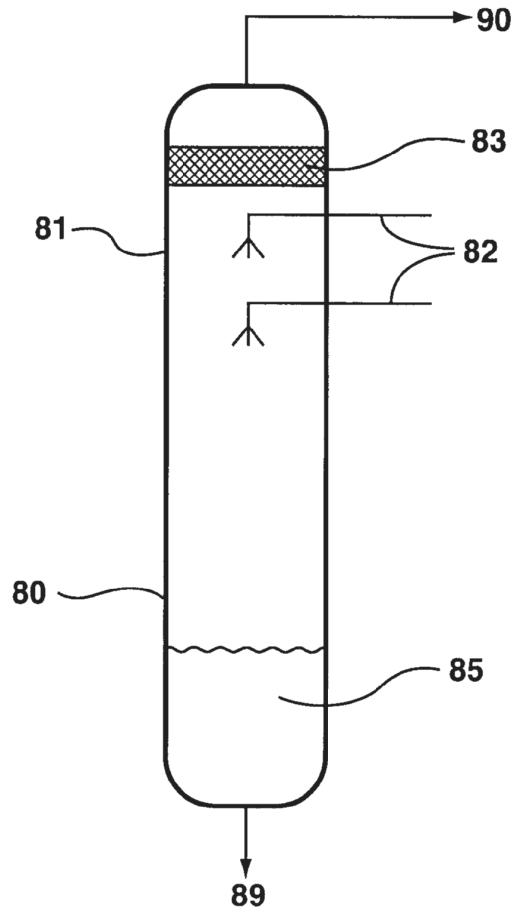


FIG. 8

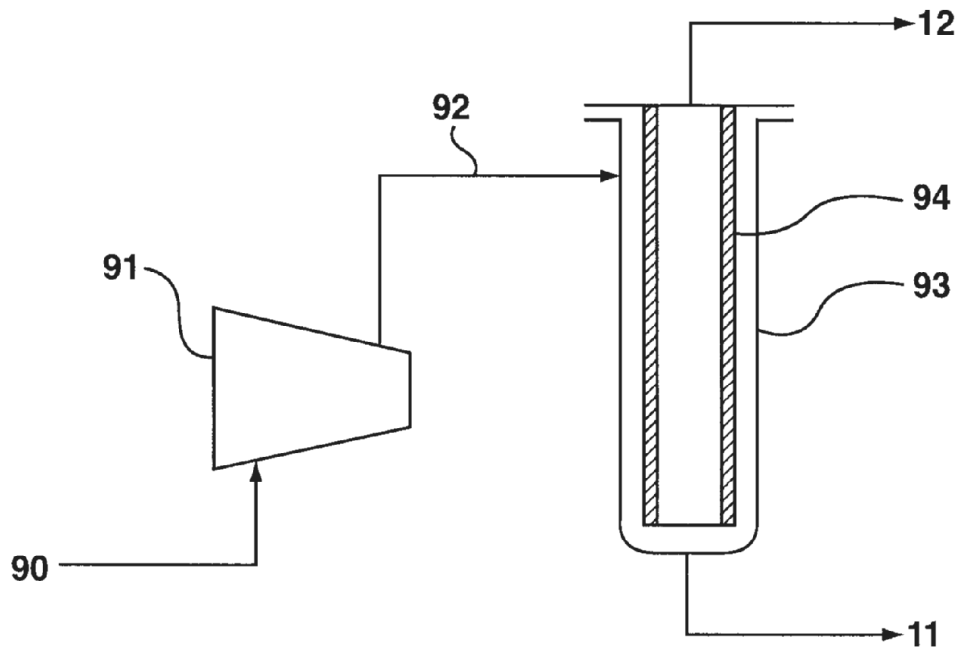


FIG. 9

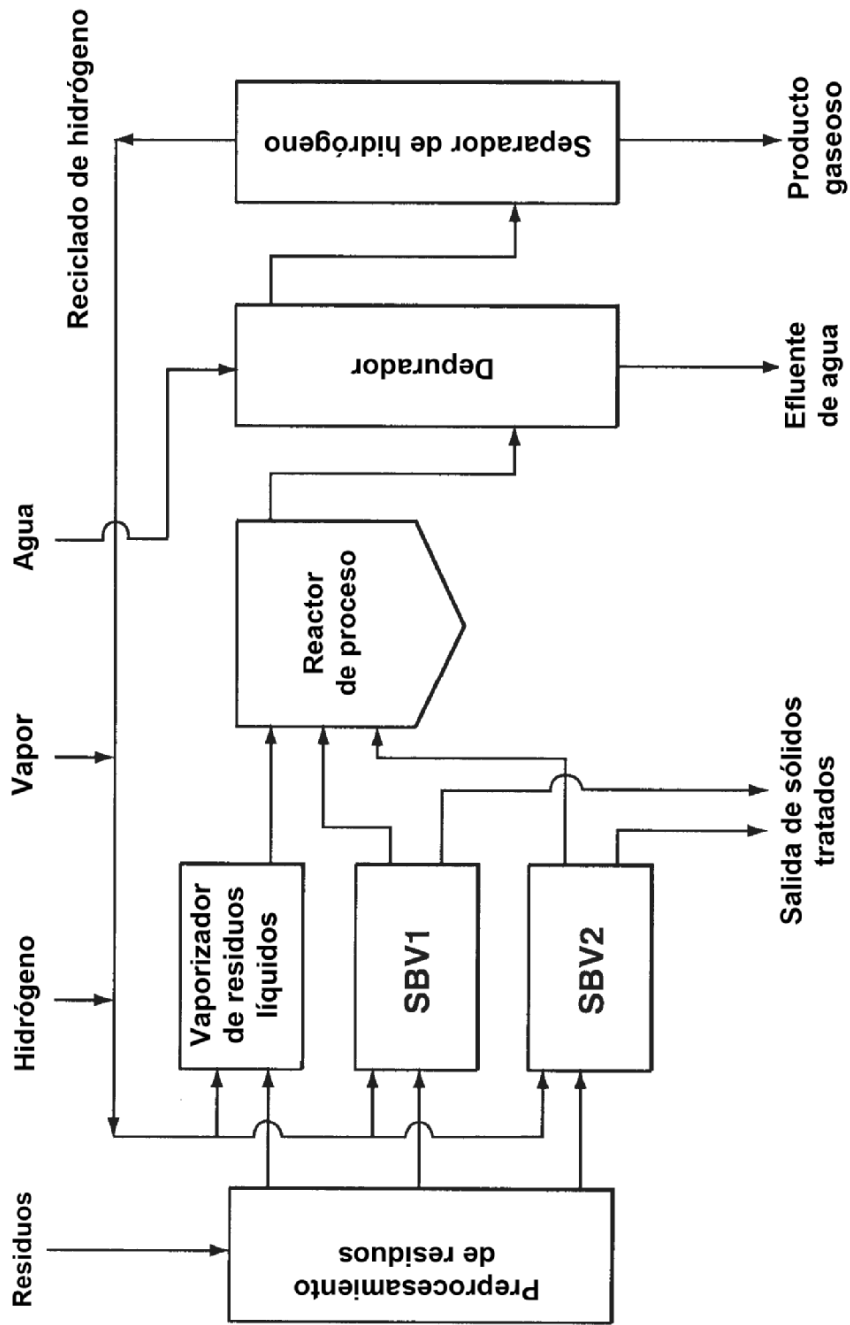


FIG. 10