

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 706 007**

51 Int. Cl.:

C10L 7/00 (2006.01)

C10G 1/00 (2006.01)

C10L 5/46 (2006.01)

C10G 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.11.2005 PCT/US2005/040544**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.05.2006 WO06053020**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.11.2005 E 05818601 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.08.2018 EP 1799796**

54 Título: **Eliminación de agua de lechada y conversión de biosólidos a un combustible renovable**

30 Prioridad:

10.11.2004 US 626680 P
07.11.2005 US 269499

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.03.2019

73 Titular/es:

ANTACO INC (100.0%)
190 Thomas Avenue
Cheyenne, WY 82001, US

72 Inventor/es:

DICKINSON, NORMAN, L.;
BOLIN, KEVIN, M.;
OVERSTREET, EDWARD y
DOOLEY, BRIAN

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 706 007 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

Eliminación de agua de lechada y conversión de biosólidos a un combustible renovable

5 Campo de la invención

10 El lodo de plantas de tratamiento de aguas negras y aguas residuales, y los biosólidos que dicho lodo contiene, representan un serio problema de disposición. La Federación del Medio Ambiente del Agua (WEF, por sus siglas en inglés) reconoció formalmente el término «biosólidos» en 1991, y ahora es de uso común en todo el mundo. La WEF define biosólidos como el residuo similar a tierra proveniente de materiales removidos de las aguas negras durante el proceso de tratamiento de aguas residuales. Durante el tratamiento, las bacterias y otros organismos diminutos descomponen las aguas negras en formas más simples y más estables de materia orgánica. La materia orgánica, combinada con las masas de células bacterianas, se asienta para formar biosólidos. De acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA por sus siglas en inglés), los biosólidos que cumplen con los criterios de tratamiento y contenido de contaminantes «pueden ser reciclados con seguridad y aplicados como fertilizante para mejorar y mantener sustentablemente los suelos productivos y estimular el crecimiento de las plantas».

20 El lodo es una mezcla de biosólidos (comprendiendo principalmente células orgánicas muertas que son un subproducto del tratamiento de las aguas negras y aguas residuales, de manera que se puede liberar en aguas abiertas) y cantidades variantes de agua libre. El agua libre puede, al menos parcialmente, ser removida por métodos mecánicos de eliminación de agua. Además del agua libre, los biosólidos contienen agua ligada a las células, la que puede constituir hasta 80% del volumen de los biosólidos y es imposible de remover por métodos mecánicos de eliminación de agua. Las grandes cantidades de agua contenida en ese lodo dan un valor de calor altamente negativo que hace el costo de incineración prohibitivo debido a que grandes cantidades de costoso combustible serían requeridas para sacar el agua ligada a las células. En vista de eso, ese lodo se utiliza actualmente como relleno de vertederos o como fertilizante que se puede esparcir sobre la tierra, debido a que el lodo de las aguas negras frecuentemente contiene nitrógeno y fósforo, por ejemplo. Sin embargo, el lodo contiene también sustancias dañinas, genera olores indeseables, y puede conducir a la contaminación seria del suelo o del relleno, entre otros, por metales pesados.

35 En los procesos para tratar aguas negras municipales y agua de lluvia hacia estándares de descarga, los constituyentes sólidos se concentran en un subproducto, que a menudo se denomina como lodo de aguas negras. El lodo de aguas negras es una masa o aglomeración de células orgánicas muertas y otros sólidos, llamados biosólidos, que se mezclan con cantidades variables de agua de viscosidad correspondientemente variable. Independientemente del grado al cual se desague mecánicamente, la masa de biosólidos restante típicamente contiene aproximadamente 80% de agua, debido a que gran parte del agua se halla ligada dentro de las células muertas, dando a la masa de biosólidos un valor de calentamiento negativo, haciendo por lo tanto que los biosólidos sean efectivamente inútiles para los propósitos de extraer valores de calor de ellos. Por lo tanto, los biosólidos todavía se disponen en rellenos sanitarios o esparciéndolos en tierras agrícolas como fertilizante que suministra nitrógeno y fósforo. Sin embargo, los biosólidos también pueden contener virus y patógenos vivos, y metales pesados tóxicos, causando la oposición intensa de los intereses ambientales, mientras que su alto contenido de agua incrementa drásticamente el costo de transportarlo a un lugar de uso.

45 De acuerdo a la presente invención, los biosólidos en bruto se calientan después de su descarga de la planta de tratamiento de aguas negras para romper las células, liberando en consecuencia grandes cantidades de agua ligada a las células. La temperatura es suficientemente alta de modo que la estructura celular se destruye, y el dióxido de carbono se rompe para bajar el contenido de oxígeno de los biosólidos. Esto da como resultado la formación de residuo carbonoso que no es hidrofílico y que se puede desaguar y/o secar eficientemente. Este residuo carbonoso es un combustible renovable viable.

55 En un desarrollo adicional de la presente invención, es posible incrementar la disponibilidad de combustibles renovables al convertir la biomasa (tal como los desechos no tratados de jardín o de cultivos, etc.) en las mismas instalaciones o en otras paralelas. De manera similar, los combustibles hidrofílicos no renovables pueden ser procesados para aumentar la energía que puede ser extraída de los biosólidos, de acuerdo con la invención.

Antecedentes de la invención

60 Hay una creciente ola de apoyo público para la energía renovable que popularmente se denomina «Energía Verde». De acuerdo con la revista Power de mayo de 2003, algunas empresas reconocidas como General Motors, IBM, Dow Chemical y Johnson & Johnson, han anunciado planes para comprar una parte de su necesidad de energía de fuentes «verdes». Algunas empresas incluso han anunciado su intención de reemplazar toda la electricidad utilizada en su manufactura por «energía verde». Pilares del suministro de energía fósil tales como Chevron, British Petroleum (BP) y Shell Oil, han anunciado sus intenciones de apoyar las causas ambientales. De hecho, BP es un importante proveedor de paneles de energía solar. Hay un «Grupo de Desarrollo del Mercado de Energía Verde» del Instituto de Recursos Mundiales (WRI por sus siglas en inglés), enfocado al desarrollo de 1.000 megavatios (MW) de «energía

verde», nueva y con costo competitivo, hacia 2010.

Además, más de una docena de legislaturas estatales exigen a los vendedores de energía que ingresen escalonadamente en porcentajes específicos y crecientes de energía de fuentes renovables. Nueva York ha ordenado que las agencias estatales deben comprar 25% de su energía proveniente de fuentes renovables hacia 2013; actualmente el 19,3% de la energía producida en Nueva York es generada a partir de fuentes renovables (Comisión de Servicio Público de Nueva York). California ha aprobado legislación que requiere que el 20% de la electricidad de las empresas de servicios públicos del estado sea producida a partir de fuentes renovables hacia 2017. De hecho, una empresa de servicio público de California, Pacific Gas and Electricity (PG&E), publicita que más de 30% de su electricidad ahora proviene de fuentes renovables. Por lo menos 36 minoristas de energía de Estados Unidos ahora ofrecen una alternativa de «energía verde». Europa también toma en serio la energía renovable, con el objetivo de 20% de su generación de fuentes renovables hacia 2020.

La energía convencional renovable generalmente cubre la de origen solar, eólica, hidroeléctrica, geotermal, biomasa y gas de relleno sanitario. Existe algún cuestionamiento respecto a cómo se satisfará la demanda de energía renovable. La energía solar y eólica están creciendo, pero a partir de una base muy pequeña. La hidroeléctrica y geotérmica disponen de sitios nuevos limitados y enfrentan oposición ecológica. El gas de relleno sanitario es limitado y también es criticado por la contaminación del aire. Actualmente no existen otras fuentes renovables que puedan ser aprovechadas para cubrir la gran brecha entre suministro y demanda.

La biomasa por mucho tiempo se ha utilizado como fuente de energía renovable. Por ejemplo, se ha usado madera y subproductos de la industria forestal y agrícola como combustibles durante siglos, al encenderlos mecánicamente en hornos y calderas, con alto exceso de aire y baja eficiencia. El Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL por sus siglas en inglés) define a la biomasa como: «materia orgánica disponible de manera renovable. La biomasa incluye residuos forestales y de aserradero, cultivos y desechos agrícolas, madera y desperdicio de madera, desperdicios animales, residuos de la industria ganadera, plantas acuáticas, árboles y plantas de crecimiento rápido, y desperdicios municipales e industriales.» De acuerdo con la Instalación para Investigación de Combustión (CRF por sus siglas en inglés), parte del Laboratorio Nacional Sandia, el 85% del uso mundial de energía involucra combustión. Si es que la biomasa va a contribuir significativamente a la energía renovable, lo será, directamente o indirectamente como combustible.

El lodo de aguas negras, y la gran cantidad de biosólidos que contiene, con su agua ligada a las células, no ha sido anteriormente considerado como fuente de energía. Debido a su gran contenido de agua ligada, los biosólidos tienen un valor negativo de combustible y no pueden ser incinerados, a menos que sean calentados con combustible costoso que debe ser comprado. Tal incineración de biosólidos puede ser deseable, con el fin de evitar el tener que esparcirlos sobre la tierra, de manera que se elimina o al menos se reduce la posible contaminación ambiental, pero a un costo muy sustancial, es decir, el calor adicional que debe provenir de los combustibles para incinerarlos.

La producción de biosólidos en los Estados Unidos se estima entre 7,1 y 7,6 millones de toneladas (cortas) secas por año. El vertimiento en el océano ha sido prohibido desde la década de los 80. La forma de disposición predominante es el esparcido de los biosólidos en la tierra agrícola como fertilizante. Otras formas de disposición son el vertimiento en los rellenos sanitarios y la incineración.

En 1998, la producción de biosólidos en Europa se reportó que fue de 7,2 millones de toneladas métricas secas, y el 25% fue dispuesta en rellenos sanitarios. Se espera que la producción se incremente hasta al menos 9,4 millones de toneladas métricas en 2005, con la aplicación a la tierra siendo el 54%, el relleno sanitario decreciendo a 19%, y el crecimiento de la incineración hasta 24%, aunque se estima que la incineración cuesta hasta cinco veces más que el relleno sanitario.

En 2001, la producción de biosólidos en Japón se informó que fue de 1,7 millones de toneladas métricas secas. El 40% se usó como compost y el resto se incineró o se utilizó para producir cemento.

Después de un trabajoso desaguado mecánico y digestión en plantas de tratamiento de aguas negras, la concentración de sólidos en los biosólidos todavía se halla solo en el rango de 14 a 30%, y típicamente no es mayor al 20%; eso significa que cada tonelada de biosólidos, tratada y desaguada de acuerdo con la técnica anterior, está acompañada por cuatro toneladas de agua, cuyo mayor volumen está ligado en las células muertas. El costo de transportar agua inerte limita la distancia a la que puede ser movida desde la fuente, que usualmente es una planta de tratamiento de aguas residuales (WWTP por sus siglas en inglés). Estos factores dan a los biosólidos un valor negativo. Como resultado, la planta (WWTP) tiene que pagar a alguien para que disponga de los biosólidos. Tal pago a menudo se denomina «tarifa por vertido».

En cuanto las opciones para la disposición de biosólidos se vuelven más problemáticas y las opciones para disposición se alejan de la fuente, los costos de disposición y de transporte se han vuelto cargas económicas crecientemente significativas. Para reducir esta carga, la industria se ha enfocado en la reducción del volumen y el peso. La industria de aguas residuales ha hecho extensos esfuerzos para remover el agua de los biosólidos generados en las plantas de tratamiento. Una planta WWTP típica puede emplear centrifugas, prensas de banda,

prensas rotatorias u otros procesos para forzar físicamente que salga el agua de los biosólidos. Se puede añadir un polímero u otros químicos para ayudar al desagüe. No obstante, tales métodos de eliminación mecánica de agua usados por las plantas WWTP son ineficientes, costosos e incapaces de reducir apreciablemente la cantidad de agua ligada en las células de los biosólidos.

5 La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) clasifica los biosólidos de acuerdo con la reglamentación «40 CFR Parte 503» como Clase A y Clase B. Esta reglamentación se ocupa principalmente de la aplicación de biosólidos a las tierras agrícolas, ante lo cual existe una estruendosa y creciente oposición ambiental. Por ejemplo, los ambientalistas condenan el uso de biosólidos como fertilizante por su contenido de organismos
10 vivientes causantes de enfermedades (patógenos y virus) y de metales pesados (tales como plomo, mercurio, cadmio, zinc y níquel), así como su daño a la calidad del agua del subsuelo. Además, los ambientalistas expresan preocupaciones acerca de los problemas de «calidad de vida», tales como insectos y olores, asociados con los biosólidos. Así que, la aplicación a la tierra de los biosólidos de Clase B está prohibida en una cantidad de condados, y se espera que más condados y estados hagan lo mismo. En un caso, donde el 70% de los biosólidos eran de Clase
15 B, la prohibición de aplicación en tierra en condados adyacentes casi duplica la tarifa por vertido de alrededor de \$125 por tonelada seca a alrededor de \$210 - \$235.

Más aun, el alto contenido de agua ligada a las células de los biosólidos hace que su incineración sea difícil para
20 muchas industrias. Por ejemplo, la industria del cemento tiene la reputación de ser la tercera mayor usuaria de energía del mundo. Requiere el equivalente de 470 libras de carbón para hacer cada tonelada de cemento. Para ahorrar combustible fósil, 15 plantas de cemento de los Estados Unidos queman desperdicios peligrosos con calidad combustible, y alrededor de otras 35 plantas usan llantas desechadas para suplementar al combustible fósil. Un método creciente de disposición de los biosólidos es incinerarlos en hornos de cemento. Puesto que su valor neto de combustible es negativo, esta práctica solo es viable debido al ingreso recibido por el operador del horno, por
25 ejemplo, proveniente de la tarifa por vertido, puesto que se debe encender combustible adicional, tal como carbón, para eliminar el agua ligada en los biosólidos. Además, en la fabricación de cemento, ciertos elementos contenidos en los biosólidos, tales como cloro, fósforo, sodio y potasio, no son deseados porque afectan adversamente a la calidad del cemento.

30 En el pasado, el requerimiento para disposición de la biomasa en general estaba acoplado con los intentos de extraer energía calórica de la misma, con el fin de reducir los costos de disposición y la carga ambiental de los rellenos sanitarios. Los intentos de extraer energía de tales materiales estuvieron limitados a la combustión de combustibles de grado bajo y de desechos sólidos. Por ejemplo, los procesos para derivar combustible del desecho sólido municipal (MSW por sus siglas en inglés) generalmente se enfocan en añadir álcali para ayudar en la remoción de
35 la mayoría del cloro contenido en forma de PVC que se encuentra en el desecho MSW. Además, varios métodos para procesamiento de combustible carbónico de grado relativamente bajo, tales como carbonos de lignito y sub-bituminosos, son conocidos para quienes tienen habilidad ordinaria en la técnica. Sin embargo, en ambos escenarios, los combustibles de grado bajo se usan como materia en bruto.

40 Se ha propuesto una cantidad de esquemas para la pirolisis de los biosólidos. Sin embargo, todos ellos han sido obligados a enfrentar el hecho de que los biosólidos contienen casi cuatro veces más agua que material sólido, incluso por ejemplo después del desaguado convencional en la planta de tratamiento. Es imposible alcanzar temperaturas de pirolisis hasta que toda el agua haya sido vaporizada, lo cual requiere por lo menos 4000 Btu por libra de sólidos, que en el mejor de los casos, puede ser igual a su valor como combustible, antes de tomar en cuenta los costos operativos
45 y de capital.

US 2004/0192980 A1 devela un proceso para convertir una materia prima en al menos un material útil que comprende la preparación de una lechada a partir de la materia prima, la reacción de la lechada en una primer reacción para producir una alimentación reaccionada que comprende al menos un producto sólido reactivo, al menos un producto
50 líquido reaccionado y agua, y separando al menos un producto sólido, el agua y al menos un producto líquido reaccionado a partir de la alimentación reaccionada, antes el al menos un producto líquido reaccionado es convertido en al menos un material útil en una segunda reacción.

US 5,485,728 se relaciona a un método operable continuamente de utilización de la energía de combustible carbonoso con grado relativamente bajo que tenga un valor de combustible comprendiendo los pasos de i) proveer el combustible en una lechada, ii) presurizar la lechada para mantenerla sustancialmente en su estado líquido, iii) calentamiento de la lechada presurizada a una temperatura a la cual una porción sustancial del oxígeno químicamente ligado en las moléculas del combustible carbonoso se rompe como dióxido de carbono, y por tanto forma un residuo carbonoso, iv)
55 reaccionar las partículas de residuo carbonoso con un gas que incluye oxígeno para en consecuencia convertir el valor de combustible de la parte de residuo carbonoso en energía térmica, y v) usar la energía térmica

US 5,292,442 devela un proceso para eliminación de lodo de aguas negras que comprende i) desaguar un lodo acuoso, ii) calentamiento del lodo acuoso desaguado a una temperatura entre 120 y 210° F a presión atmosférica por contacto directo con el vapor, iii) calentamiento, mezclado y cizallado de la lechada acuosa por intercambio
65 indirecto de calor en ausencia de aire a una temperatura en el rango de 210 a 350° F y a una presión de 50 a 100 psig sobre la presión de vapor de agua a esa temperatura, iv) tratamiento hidrotérmico de la lechada acuosa, v)

reducir repentinamente la presión de la lechada a 25 a 25 psig y desalojar el agua evaporada, vi) centrifugado de la lechada acuosa y vii) quemar la lechada bombeable.

5 Como lo demuestra lo anterior, la disposición de biosólidos se ha vuelto crecientemente cara y controversial. Existe en la técnica la necesidad de un método para disponer los biosólidos de forma limpia y económica. La presente invención proporciona un método para disposición de los biosólidos al tiempo que se produce un combustible renovable económicamente más viable.

10 En la medida en que los biosólidos por si solos no pueden satisfacer la demanda de energía renovable, la conversión de biosólidos a combustible utilizable de acuerdo con la presente invención puede ser combinada con la extracción de energía de otras fuentes tales como la biomasa. Por tanto, la presente invención proporciona un método y sistema para convertir biosólidos, solos o con biomasa, hacia un combustible renovable viable de una manera ambientalmente benigna.

15 Resumen de la invención

La presente invención se relaciona a un proceso de conversión de biosólidos a combustible según lo especificado en la reivindicación 1.

20 Según lo entendido por los solicitantes, los biosólidos están compuestos principalmente por células muertas que contienen agua ligada a las células. Cuando se someten a presión suficiente para mantener el agua como líquido, el calentamiento de una lechada o lodo que contiene biosólidos

25 a una temperatura primero relativamente más baja, causa la ruptura de las células de los biosólidos, lo cual libera el agua ligada dentro de las células y por lo tanto convierte a los biosólidos de una sustancia que no puede ser desaguada de forma práctica, a un nuevo combustible del cual se puede remover fácilmente el agua en forma mecánica. El calentamiento adicional de los biosólidos además rompe el dióxido de carbono, por tanto rebajando el contenido de oxígeno de los biosólidos y convirtiendo los biosólidos en residuo carbonoso. Luego de ser desaguado, el residuo carbonoso tiene un valor positivo de calentamiento y puede ser usado directamente como combustible, liberando de esta manera la energía calórica que estuvo previamente ligada de manera inaccesible en los biosólidos.

30 Por ejemplo, en combinación con una planta de tratamiento de aguas residuales (WWTP), la presente invención proporciona un método para producir un combustible renovable viable a partir de biosólidos, al convertir los biosólidos en un material combustible relativamente seco. En muchos casos, el proceso se puede integrar con la infraestructura existente de la WWTP. Puesto que los biosólidos tratados no tienen sustancialmente ninguna agua ligada, el agua liberada de las células puede ser devuelta a la WWTP. Los restantes materiales de células se vuelven mucho menos hidrofílicos, lo que les da valor de calentamiento positivo y permite que sean enviados al destino deseado a un costo muy reducido. Si la WWTP está equipada con una etapa de digestión anaeróbica, el gas producido puede dar soporte a la desoxidación del fluido con combustible usado en su operación. Los patógenos se destruyen, y cuando los biosólidos desaguados son suficientemente calentados para carbonizarlos, el producto de residuo carbonoso resultante contiene niveles reducidos de las impurezas más solubles en agua, incluyendo sodio, potasio, azufre, nitrógeno, cloro y compuestos orgánicos, los cuales son separados con el exceso de agua. El residuo carbonoso de los biosólidos es un nuevo participante en la escena energética y es un combustible renovable de bajo costo para muchas industrias que consumen energía.

35 40 45 A pesar de que es aceptable para los incineradores y rellenos sanitarios, el residuo carbonoso de los biosólidos se usa más productivamente cuando su contenido energético es utilizado. Por ejemplo, en una materialización, el método y sistema de la presente invención se usa en conjunto con un horno de cemento para incrementar la eficiencia térmica del horno de cemento y de la fabricación de cemento, al tiempo que se dispone de los biosólidos que en caso contrario constituirían un desecho indeseable. Además, el material inerte que se encuentra en los biosólidos puede llegar a ser una parte del producto. En consecuencia, no solo es usado el valor de calentamiento de los biosólidos, sino que el material inerte no deja subproductos negativos de esta configuración.

50 55 60 Puesto que los biosólidos son producidos como una lechada viscosa, se requiere poca preparación, excepto el mezclado para conseguir uniformidad. Luego del calentamiento de la lechada de biosólidos bajo presión a una temperatura a la cual se rompen las paredes de las células, el calentamiento adicional de los biosólidos da por resultado un re-arreglo molecular significativo de las células, desprendiéndose de una proporción sustancial de su oxígeno como dióxido de carbono, el cual carboniza las sustancias orgánicas y produce el así llamado residuo carbonoso que se incinera fácilmente. La temperatura necesaria para este re-arreglo molecular varía pero se halla típicamente entre 177°C y 315°C (350°F y 600°F). Las condiciones agresivamente hidrolizantes liberan aniones para disolverse en la fase acuosa. Los cationes previamente ligados, tales como el sodio y el potasio, de igual manera se vuelven accesibles a la disolución acuosa y a la subsecuente remoción y/o disposición.

65 Comparado con la incineración de biosólidos (en bruto), en hornos cementeros o incineradores dedicados, el contenido positivo de energía del residuo carbonoso de los biosólidos disminuye sustancialmente la cantidad de combustible suplementario que debe ser adquirido. Más aun, los cationes solubles, fuentes de escoria de baja temperatura en

calderos e indeseables en el cemento, han sido ampliamente removidos con el agua liberada.

5 Las instalaciones de hornos de cemento e incineradores pueden preferir que el residuo carbonoso sea desaguado al máximo, dando como resultado el suministro y carga de un «residuo carbonoso» que contiene solo alrededor de un 40% a 50% de agua, que es aproximadamente un quinceavo de lo hallado en los biosólidos en bruto. Alternativamente, las consideraciones de transporte y manipulación pueden causar que tales instalaciones prefieran un residuo carbonoso que ha sido secado y compactado o pelletizado. La presente invención tiene la capacidad de suministrar residuo carbonoso en cualquiera de las formas.

10 Además, el residuo carbonoso de los biosólidos producido con esta invención, con o sin residuo carbonoso de otras sustancias tales como biomasa, por ejemplo, proporciona un combustible que es útil a una variedad de otras industrias que consumen combustible, incluyendo altos hornos, fundiciones, calderos de empresas de servicios públicos, industria energética, industria papelera, y otras industrias que utilizan combustibles fósiles. Por ejemplo, la presente invención contempla una estación de energía verde donde el residuo carbonoso de los biosólidos es cargado a un
15 combustiónador de combustible pulverizado o de lecho fluidizado para generar vapor, o a un gasificador que alimenta gas de combustible limpio a un ciclo combinado integrado de turbina de gas encendida por gas.

Más aun, el residuo carbonoso producido por la presente invención puede ser el material en bruto para las celdas de combustible de hidrógeno a través de la oxidación parcial hacia un gas combustible (principalmente monóxido de carbono e hidrógeno), seguido del desplazamiento del gas del agua y la separación del dióxido de carbono, como se realiza en la tecnología de amoniaco sintético. Puede ser «refinado» hacia combustibles líquidos por medio de adaptaciones de «craqueo catalítico», «coqueo demorado» e «hidrocraqueo», modelados en base a los procesos bien conocidos por la industria de refinación del petróleo.

25 Aunque la presente invención está enfocada a la disposición económica y ecológicamente segura de los biosólidos, puede ser combinada con otras sustancias adecuadamente tratadas, principalmente biomasa que requiere disposición, incluyendo, entre otros, lodo de planta de celulosa, desechos de alimentos, desechos agrícolas, estiércol de cerdo, desechos de crianza de pollos, estiércol de vaca, cáscara de arroz, bagazo, desecho verde, desechos municipales sólidos, desechos médicos, desecho de papel, madera y desecho de madera, residuo de aceite de palma, rechazo de derivados de combustibles, licor negro de proceso Kraft, y cultivos energéticos de ciclo corto, así como combustibles hidrofílicos no renovables tal como carbones de baja calidad.

En particular, la presente invención se relaciona a un proceso de conversión de biosólidos hacia un combustible económicamente viable que comprende los pasos de:

- 35
- proporcionar biosólidos que comprenden células y agua ligada a las células;
 - aplicar presión suficiente a los biosólidos para mantener la liquidez;
 - calentamiento de biosólidos presurizados a una primera temperatura suficiente para la ruptura de las células y para formar lechada de células rotas de biosólidos;

40

 - calentar los biosólidos a una segunda temperatura suficiente para desarrollar dióxido de carbono a partir de los biosólidos, y formar lechada de residuo carbonoso que comprende células de biosólidos rotas y carbonizadas;
 - enfriamiento de lechada de residuo carbonoso de células de biosólidos rotas y carbonizadas, hasta cerca de la temperatura ambiente mientras que la lechada de residuo carbonoso se mantiene bajo presión suficiente para evitar la vaporización;

45

 - despresurización de la lechada enfriada de residuo carbonoso de células de biosólidos rotas y carbonizadas a una presión nominal sobre la presión atmosférica para formar una lechada de residuo carbonoso líquido;
 - separación del dióxido de carbono a partir de la lechada líquida de residuo carbonoso y
 - remoción de al menos una porción del agua de la lechada líquida de residuo carbonoso para proveer un producto al menos parcialmente desaguado de biosólidos rotos.

50

En resumen, la presente invención proporciona una disposición ambientalmente aceptable de los biosólidos, así como energía para varios consumidores de energía, tales como hornos de cemento y plantas de energía eléctrica. Además, la presente invención puede ser usada en:

- 55
- un método para incrementar la disponibilidad y aceptabilidad ambiental de los combustibles renovables;
 - un método para minimizar la cantidad de desechos a ser usados en relleno sanitario;
 - un proceso para reducir el contenido de humedad (agua) del desecho que va al relleno sanitario;
 - un proceso para elevar el punto de reblandecimiento de la ceniza de combustible renovable para reducir el ensuciamiento y escoriación;

60

 - un método para convertir un combustible sólido no uniforme, tal como desechos agrícolas y forestales, y/o lodo de planta de celulosa, a combustible uniforme;
 - un método para convertir un combustible voluminoso a un combustible que sea compacto y fácil de almacenar y transportar;
 - un proceso para convertir un combustible perecible a un combustible estéril que sea almacenable sin deterioro;

65

 - un método para proporcionar un medio económico de encendido conjunto a un combustible no satisfactorio;

- un método para proporcionar una combinación térmicamente eficiente de desoxidación de líquido y al menos una de entre una planta de tratamiento de aguas residuales, un horno de cemento, y una estación de energía térmica;
- un método para secar biosólidos antes de la introducción a un horno de cemento u otra instalación similar;
- un método para reducir la cantidad de agua introducida a un horno de cemento y otros combustidores;
- 5 • un proceso para procesar conjuntamente múltiples materias primas utilizando desoxidación de fluido;
- un método para utilizar la ceniza de los biosólidos y otra biomasa;
- un método para remover (y recuperar) elementos encontrados en biosólidos u otra biomasa tal como fósforo, cloro o CO₂; y
- 10 • un proceso para remover el agua de los biosólidos y biomasa con el fin de refinar adicionalmente estos materiales o para reducir costos de disposición o para utilizar para fertilizar.

Por tanto, la presente invención proporciona un método que podría ser usado para la disposición de lodo generado en las plantas de tratamiento de aguas negras y aguas residuales de una forma económica y ambiental benigna. Este método es económicamente benigno porque el producto final es ceniza libre de olores, así como de sustancias dañinas tales como virus o patógenos, y la ceniza tiene un pequeño volumen y es fácilmente disponible. El método es además económicamente viable porque para empezar se beneficia del deseo de los operadores de la planta de tratamiento de pagar una tarifa por vertido con el fin de realizar la disposición del lodo de aguas negras que es difícil de manejar, y más aún porque, al otro extremo del ciclo, el lodo habrá sido convertido en combustible con valor positivo de calentamiento que puede ser usado para generar ingresos adicionales u otros ítems de valor en forma de pagos para generar energía calórica, o por ejemplo, para intercambiar el calor extraído por créditos, productos deseados y similares.

Materializaciones adicionales de la presente invención serán evidentes a partir de la descripción y los dibujos de esta solicitud.

Breve descripción de los dibujos

Características adicionales y ventajas de la invención pueden ser verificadas de la siguiente descripción detallada que se proporciona en relación con los dibujos descritos a continuación:

FIG. 1 es un diagrama de flujo esquemático que ilustra el proceso de la presente invención para convertir biosólidos a lechada con alta densidad de energía o combustible sólido como fuente de energía renovable;

FIG. 2 es un diagrama de flujo en el cual el proceso de la presente invención se usa en una planta de tratamiento de aguas residuales;

FIG. 3 es un diagrama de flujo en el cual el proceso de la presente invención se usa en la operación de un horno cementero;

FIG. 4 es un diagrama de flujo en el cual el proceso de la presente invención se emplea en la operación de una estación de energía térmica usando combustibles adicionales, tal como carbón de baja calidad; y

FIG. 5 es un diagrama en el cual el proceso de la presente invención se combina con un secador térmico y se usa en un horno cementero.

Descripción detallada de la invención

Fig. 1 ilustra la conversión de biosólidos a un combustible renovable viable. Los biosólidos pueden ser suministrados como lodo por medio de una tubería 107 desde una planta de tratamiento de aguas residuales o aguas negras (WWTP) a un tanque de alimentación en bruto 106. Alternativamente, los biosólidos pueden ser suministrados por medio de un camión 108 y bombeados por medio de una bomba de lodo 109 por la vía de una línea 110 al tanque 106.

Alternativamente, el tanque de alimentación en bruto 106 puede recibir biosólidos proveniente de múltiples fuentes y puede ser utilizado como un recipiente de mezclado mediante el cual biosólidos más diluidos se mezclan con biosólidos más espesos y viscosos para producir una alimentación más bombeable. Una instalación de mezclado y formación de lechada 104 puede ser utilizada para este propósito.

Además, el tanque de alimentación en bruto 106 o la instalación de desmenuzado, mezclado y formación de lechada 104 pueden ser los puntos en donde se añade el polímero para reducir el contenido de agua de la lechada de biosólidos, o alternativamente, donde se añade el agua si la viscosidad de la lechada es un problema.

Se puede añadir calor al tanque 106 para mejorar la viscosidad de los biosólidos. Además, una etapa de cizallado o molienda se puede añadir, por ejemplo entre el tanque de alimentación en bruto 106 y un aparato de bombeo 111. Este cizallado o molido rebajará la viscosidad así como logrará la uniformidad de tamaño de partículas necesaria para

operación óptima de una bajada de presión con la *válvula* 116. La adición de calor, cizallado y molienda también mejorará el rendimiento del aparato de bombeo 111 y permitirá un material con más alto contenido de sólidos en el sistema.

5 En una materialización, se añade un dispositivo de cribado para remover los ítems con tamaño grande de partícula para mejorar el rendimiento de cualquier molienda, del aparato de bombeo 111 y/o de la *válvula* de bajada de presión 116. Por ejemplo, el dispositivo de cribado puede ser colocado entre el tanque de alimentación en bruto 106 y el aparato de bombeo 111. En otra materialización, el tanque de alimentación en bruto 106 o un dispositivo similar puede ser usado para añadir un agente quelante u otro químico adecuado para eliminar el fósforo u otros elementos hallados en los biosólidos.

10 Desde el tanque de alimentación en bruto 106, la lechada de biosólidos se bombea a una presión que mantendrá el agua en la lechada en fase líquida durante las subsecuentes operaciones de calentamiento. Por ejemplo, en una materialización, la lechada se halla a una presión en el rango de 400 a 1200 psi. En otra materialización, la presión de la lechada se halla entre 250 a 1600 psi. Se debe tener cuidado en proveer un aparato de bombeo 111 con una adecuada altura neta de succión positiva (NPSH por sus siglas en inglés), sea con asistencia mecánica o hidráulica, como con un transportador de tornillo, considerando que la lechada puede ser muy viscosa y puede llevar gases disueltos.

15 Una alternativa (no mostrada), para reducir el servicio del aparato de bombeo 111, es la adición de bombas reforzadoras en el proceso en cualquier sitio entre el aparato de bombeo 111 y la *válvula* de bajada de presión 116. Una alternativa adicional (no mostrada) para reducir el servicio del aparato de bombeo 111 es la adición de agua libre o lechada reaccionada antes del aparato de bombeo 111.

20 La lechada de biosólidos se bombea a través de intercambiadores de calor 112 y 113 antes de pasar a un reactor 114. Mientras pasa por el intercambiador de calor 112 la lechada se calienta por intercambio con el fluido de transferencia de calor (HTF) de líquido caliente, tal como Therminol 59. En otra materialización (no mostrada), la lechada puede ser calentada por medio de intercambio de calor con vapor, sea directa o indirectamente. La temperatura de salida de la lechada que sale del intercambiador de calor 112 puede estar en el rango de aproximadamente 150°C a 315°C (300°F a 600°F), y está preferentemente entre aproximadamente 200°C a 260°C (400°F a 500°F). Mientras pasa por el intercambiador de calor 113, la lechada es calentada adicionalmente a la temperatura deseada a la cual las paredes de las células de los biosólidos se romperán y liberarán agua ligada en las células. La temperatura se fija además preferentemente de manera que otros constituyentes de las células de los biosólidos sean carbonizados para convertir estos constituyentes en residuo carbonoso por intercambio de calor con el HTF de líquido caliente. En una alternativa de materialización, el vapor de condensación de un HTF vaporizable, tal como Therminol VP-1, se usa para calentar la lechada a la temperatura deseada. En una materialización, esta temperatura se halla entre aproximadamente 200°C a 260°C (400°F a 500°F). En otra materialización, esta temperatura se halla entre aproximadamente 150°C a 260°C (300°F a 500°F). En otra materialización adicional, esta temperatura se halla entre aproximadamente 260°C a 350°C (500°F a 650°F).

25 Aunque el diseño de los intercambiadores de calor para usar con la presente invención no es crítico, cada uno puede comprender dos o más carcasas. Las carcasas pueden estar en serie o en paralelo. En una materialización, los intercambiadores de calor 112 y 113 están arreglados en serie de manera que la lechada de biosólidos pasa a través del intercambiador de calor 112 antes del intercambiador de calor 113.

30 El reactor 114 (que puede comprender uno más reactores en paralelo o en serie) proporciona tiempo a temperaturas elevadas para romper primero las células de los biosólidos y además para completar las reacciones de desoxidación para convertir los constituyentes a residuo carbonoso. Aunque aquí se detalla una reacción continua, la presente invención también contempla una reacción en lote (batch) o semi-batch. Como es conocido por quienes tienen conocimientos ordinarios de la técnica, los métodos para calentar los reactores en lote pueden ser similares a los de un reactor continuo. Por ejemplo, un reactor en lote puede ser calentado por inyección directa de vapor, bobinas de calentamiento, o una combinación de ellas.

35 Una alternativa adecuada (que no se muestra) para el reactor 114 es una torre de reactor-separador. Dicha torre tiene deflectores lado a lado (u otro medio de contacto vapor-líquido) arreglados para que el flujo descendente de la lechada parcialmente calentada proveniente del intercambiador 112 contacte un flujo ascendente de vapor y dióxido de carbono separado de un «recalentador» (el equivalente del intercambiador 113), recibiendo lechada de residuo carbonoso de la base de la torre. La torre preferentemente tiene un gradiente de temperatura de arriba hacia abajo desde aproximadamente la temperatura de salida de la lechada del intercambiador 112 a una temperatura algo más baja que la de salida del reactor simple ilustrado. En una materialización, el gradiente de temperatura se halla en el rango de aproximadamente 200°C a 260°C (400°F a 500°F). En otra materialización, el gradiente de temperatura se halla en el rango de aproximadamente 150°C a 315°C (300°F a 600°F). El dióxido de carbono que sale del tope del reactor-separador contiene apreciable cantidad de vapor de agua que necesita ser condensado en un nuevo condensador hacia agua destilada y ser separada del dióxido de carbono que sale por medio de la línea 118. Mientras que la *válvula* de bajada de presión 116 y el separador 117 todavía se requieren, poco dióxido de carbono queda por ser separado en el separador.

5 La lechada que sale del reactor (o reactores), conocida como lechada de residuo carbonoso, consiste de células destruidas de biosólidos de las cuales se ha liberado el agua ligada y que también han sufrido desoxidación fluida, es decir un rearrreglo molecular caracterizado por la separación del dióxido de carbono, dando como resultado un incremento sustancial en contenido de carbono de sólidos y un decrecimiento sustancial en contenido de oxígeno de sólidos. Por ejemplo, las muestras de residuo carbonoso están compuestas de aproximadamente 2% a 15% de incremento en contenido de carbono de sólidos, preferiblemente con aproximadamente un 4% a 12% de incremento. En una materialización, el contenido de oxígeno de sólidos decrece en aproximadamente 35% a 50%. En otra materialización, la lechada sufre un decrecimiento de contenido de oxígeno de sólidos de alrededor de 30% a 70%.

10 La lechada de residuo carbonoso fluye del reactor 14 al intercambiador de calor 115, donde es parcialmente enfriada al entregar calor al HTF líquido que llega desde el intercambiador 112 por medio de la línea 142. En una materialización, la lechada de residuo carbonoso se enfría a una temperatura en el rango de alrededor de 150°C a 200°C (300°F a 400°F). En otra materialización, la temperatura de la lechada después de salir del intercambiador de calor 115 se halla entre alrededor de 100°C a 260°C (200°F a 500°F). El circuito de HTF líquido se completa con un receptor de HTF líquido 139, una bomba de HTF líquido 140 y líneas conectoras 141, 142 y 143.

15 Los servicios de los intercambiadores de calor 112 y 115 pueden ser ejecutados por un solo intercambiador que tenga la alimentación de lechada fría en un lado y la lechada de residuo carbonoso caliente en el otro lado, lo que requeriría que pasen lechadas por los lados tanto del tubo como de la carcasa. Cualquier depósito en el lado del tubo del servicio de transferencia de calor sería relativamente fácil de limpiar. El ensuciamiento en el lado de la carcasa en cambio sería difícil de corregir, y los coeficientes de transferencia de calor son mucho más bajos con un intercambiador de producto a producto. Así que, la presente invención contempla dividir el servicio en dos intercambiadores, con el HTF limpio actuando como un «intermediario», entonces ambas lechadas, la caliente y la fría se hallan en ambos lados del tubo, con solo HTF limpio en los lados de la carcasa. Las tareas de los dos intercambiadores son esencialmente las mismas (diferenciando solo por la pérdida de radiación), los rangos de temperatura del HTF circulante buscando su propio equilibrio.

20 En una materialización (no mostrada), residuo carbonoso de biosólidos reaccionados sale del reactor 114, mientras que todavía bajo presión, se recicla de vuelta a la lechada de biosólidos presurizada antes de entrar al reactor 114 con el fin de facilitar el calentamiento y reducir la viscosidad de la lechada antes de la destrucción de las células de biosólidos y la subsecuente desoxidación.

25 HTF vaporizado fluye de un receptor 144, a través de la línea 145, al lado caliente del intercambiador 113, en el cual se condensa por la transferencia de calor para calentar parcialmente la lechada de biosólidos, y luego fluye por medio de una línea 146 de vuelta al receptor 144. HTF líquido fluye desde el receptor 144 por convección natural (o una bomba de carga de horno, no mostrada, si la caída de presión lo requiere) por medio de los serpentines de un calefactor encendido 147, donde es parcialmente vaporizado por el calor suministrado por una fuente de combustible 148 y fluye de vuelta al receptor 144. En una materialización, la fuente de combustible es gas natural, propano, fuel oil, lechada de residuo carbonoso, residuo carbonoso, o cualquier combinación de los mismos. En una materialización alternativa (no mostrada), un dispositivo de combustión, tal como lecho de fluido, se emplea para usar residuo carbonoso, lechada de residuo carbonoso, o una combinación de residuo carbonoso con una fuente externa de combustible o fuente de desecho. En otra materialización (no mostrada), se emplea un gasificador para usar residuo carbonoso, lechada de residuo carbonoso, o una combinación de residuo carbonoso con una fuente externa de combustible o fuente de desecho. En otra materialización adicional, se usa un caldero para generar vapor para calor de proceso. El caldero puede usar residuo carbonoso, lechada de residuo carbonoso, o una combinación de residuo carbonoso con una fuente externa de combustible o fuente de desecho.

30 Una bomba HTF 149 realiza succión desde el fondo del receptor 144 y circula HTF vaporizable líquido a una instalación 135 como fuente de energía para secado de residuo carbonoso. Después de servir este propósito, se lo regresa, por medio de la línea 150, al receptor 144. La bomba 149 también puede servir a otros servicios de calentamiento auxiliar (no mostrados) tal como una cubierta para el reactor 114 para prevenir la pérdida de calor.

35 Después de ser parcialmente enfriado en el intercambiador de calor 115, la lechada de residuo carbonoso que ahora es fluida, fluye a través del enfriador 119, en el cual su temperatura se baja a cerca de la ambiental por intercambio con el agua de enfriamiento de la planta de una línea 120. La lechada enfriada de residuo carbonoso fluye desde el enfriador 119 a una *válvula* de bajada de presión automática 116, que ha sido responsable de mantener las lechadas acuosas bajo suficiente presión para evitar la vaporización. La *válvula* de bajada de presión 116 reduce la presión de la lechada de residuo carbonoso a una presión nominal por sobre la atmosférica. Esto se consigue liberando dióxido de carbono gaseoso y disuelto, que se separa de la lechada de residuo carbonoso en un tambor separador 117. El dióxido de carbono emitido sale del tambor separador 117 por medio de una línea 118.

40 La *válvula* de bajada de presión 116 está sujeta a condiciones arduas y tiene un alto potencial de atascamiento. Sin embargo, se puede ejecutar ciertas acciones para minimizar estas condiciones difíciles. Por ejemplo, como se mencionó antes, la molienda o criba se puede realizar en cualquier momento antes de la *válvula* de bajada de presión 116. Además, un paso anterior a la *válvula* de bajada de presión 116 de enfriamiento adicional de la lechada reaccionada después del intercambiador de calor 115, como se muestra, reducirá la cantidad de gas emitido y reduce

la aceleración de partículas a través de la *válvula* de bajada de presión 116. Quienes tienen conocimientos normales de la técnica, apreciarán que varias técnicas de enfriado son adecuadas para el uso con la presente invención. Las técnicas de enfriamiento pueden incluir carcasa y tubo contracorriente, o intercambiador de doble tubo enfriado por el agua de enfriamiento de la planta.

Puesto que puede ocurrir formación de espuma sea en el tanque de almacenamiento 121 o en el tambor 117, puede ser ventajoso controlar la formación de espuma dejando que baje la presión en dos o más etapas. En otra materialización, la formación de espuma puede ser controlada usando una boquilla de rociado (spray) desde la parte inferior del tambor 117 para rociar una corriente lateral hacia el tambor 117.

Algo de dióxido de carbono disuelto se separa en el tanque 121 y sale por medio de la línea 137. Si hay algún uso o mercado para el dióxido de carbono, este gas, junto con el emitido en el tambor 117, que sale por vía de la línea 118, puede sujetarse a purificación. De otra manera, será recogido y descargado por medio de la llama de un calefactor encendido 147 para destruir las trazas de gases que causan olores y/o para recuperación de energía. Aproximadamente 25 a 27 libras de dióxido de carbono son liberadas por tonelada de biosólidos húmedos procesados. Cualquier compuesto de azufre en el dióxido de carbono será tratado con los elementos de control de contaminación necesarios. Todos los gases ventilados son conducidos al calefactor encendido 147 para destruir trazas de gases que causen olores.

La lechada de residuo carbonoso líquido fluye desde el fondo del tanque 121 a una instalación de desaguado 122, donde se emplean uno o más aparatos comercialmente disponibles para separación de líquidos y sólidos, con el fin de separar el agua libre de los sólidos de residuo carbonoso. Aparatos adecuados de separación pueden ser, entre otros, espesadores, hidroclones, centrifugas, filtros rotatorios de presión y vacío, filtros horizontales, prensas de banda y rotatorias, y similares.

La lechada de residuo carbonoso líquido en el tanque 121 contendrá algo de calor y puede ser ideal para un paso adicional de añadir un agente quelante u otros químicos para remover el fósforo u otros elementos que se hallan en los biosólidos originales. Los agentes quelantes mencionados anteriormente son también adecuados para el uso en esta etapa del proceso.

Los sólidos del residuo carbonoso salen de la instalación de desaguado 122 por medio de la transportadora 123. Todos o algunos de ellos pueden ser dirigidos a un eductor 124 en el cual se mezclan con agua suficiente de la línea 125 para formar una lechada de combustible de alta densidad de energía. La lechada de combustible se acumula en un tanque 126 para descarga a una tubería o camión tanquero, según se requiera, por medio de una bomba de lechada de combustible 151 y una línea 152. Alternativamente, el residuo carbonoso húmedo puede ser transportado por medios de transporte 127 y 128 a una tolva de residuo carbonoso húmedo para ser descargado según se requiera, hacia camiones por el fondo de la tolva 156.

Alternativamente, parte o todo el residuo carbonoso que sale de la instalación de desaguado 122 puede ser dirigido a una instalación de secado y/o peletizado 135 por medios de transporte 127, la cual, utilizando equipo comercialmente disponible, seca y compacta o peletiza los sólidos. El calor requerido para el secado es suministrado por una corriente de HTF líquido caliente desde un receptor HTF vaporizable 144 por medio de una bomba HTF 149 el cual, luego de proporcionar el calor necesario, es retornado, por vía de la línea 150, al receptor. El combustible de residuo carbonoso secado se acumula en un silo de residuo carbonoso secado 153, para ser descargado a camiones en el fondo de la tolva 155 y transportado al mercado. En una materialización (no mostrada), el combustible de residuo carbonoso secado es enfriado antes de ser acumulado en el silo de residuo carbonoso secado 153. En otra materialización, el producto secado se almacena bajo una capa de nitrógeno para prevenir las explosiones de polvo y el incendio en el evento de que el producto no sea transportado directamente desde la instalación. El agua evaporada del secador 135 fluye a través de un condensador 138, y el condensado es transportado por vía de una línea al tanque de agua libre.

En una materialización (no mostrada), el calor requerido por la instalación de secado 135 puede ser producido por al menos uno de los métodos de un lecho de fluido, caldero o gas combustionado de un gasificador. La fuente de combustible para el calor requerido para el secado puede ser al menos uno de entre residuo carbonoso, lechada de residuo carbonoso, o una combinación de residuo carbonoso y una fuente externa de combustible o fuente de desecho.

En una materialización (no mostrada), el gas de un digestor en una planta de tratamiento de aguas residuales es utilizado como combustible para al menos uno del calefactor y el secador del proceso.

A pesar de que no se muestra en la Fig. 1, ni es enteramente renovable, el residuo carbonoso secado en la instalación de secado 135, pero no peletizado, puede ser desviado a un aparato de mezclado mediante el cual se lo incorpora a fuel oil. La tecnología se parece a la de los programas de mezcla de carbón-petróleo (COM) desarrollados y probados en los años 80. Aunque no cumplen con las especificaciones existentes de fuel oil, tal adición añadiría valor de calentamiento y, en algunos casos, reduce el contenido de azufre a bajo costo. Este nuevo combustible es de interés para los usuarios en donde la ceniza no es problema, tal como en hornos cementeros y altos hornos. A pesar de que se puede usar cualquier grado de fuel oil destilado o residual, los candidatos más probables son los aceites de rechazo fuera de especificación, combustible de refinería, aceite lubricante usado, y similares. La lechada de petróleo-residuo carbonoso también es atractiva para uso como combustible en planta.

El agua libre separada del residuo carbonoso húmedo en la instalación 122 fluye a través de una línea 129 a un tanque de agua libre 130, desde el cual es bombeada por una bomba de agua libre 131, sea por vía de la línea 132 a una instalación de desmenuzado y formación de lechada 104 y/o al tanque 106, y/o es retornada a la planta de tratamiento de aguas residuales (WWTP) por vía de la línea 134. Dependiendo de la escala de grado de tratamiento en la WWTP, puede ser económico emplear algún pre-tratamiento, por medios comerciales conocidos, en una instalación de pre-tratamiento 133. Cualquier lodo que se derive de la instalación de pre-tratamiento puede ser transportado a la instalación de secado 135. Como se detalló más antes, el producto secado puede ser almacenado bajo una capa de nitrógeno o con otro método para prevenir las explosiones de polvo.

Aunque el diagrama de flujo de proceso en la Fig. 1 ha sido descrito con respecto al tratamiento de grandes cantidades de biosólidos, ya que se acumulan más frecuentemente en las plantas de tratamiento municipales de aguas negras y aguas residuales, quienes tienen conocimientos normales de la técnica apreciarán que otras sustancias, tales como biomasa, pueden ser desaguadas con el proceso general de invención, además de los biosólidos para mejorar la cantidad de combustible que se genera. Por ejemplo, los desechos fluidos de biomasa, tal como lodos de planta de celulosa y reciclado de papel, pueden ser cargados por medio de un camión tanquero 108 o una tubería 107 o una bomba 109 y línea 110. Si el desecho contiene cantidades apreciables de compuestos de cloro, se añade álcalis de al menos el equivalente químico del cloro (no se muestra). Los desechos de biomasa sólida, como de la agricultura y forestales, pueden ser cargados por vía de un transportador 101 a la instalación de desmenuzado y formación de lechada 104, empleando tecnología conocida descrita, por ejemplo, en la patente 5,685,153 de Estados Unidos, cuya divulgación completa se incorpora en la presente por referencia. Los combustibles carbonosos de baja calidad, tales como el carbón bituminoso de Powder River Basin, pueden ser cargados alternativamente o adicionalmente a la instalación 104 por vía de un medio de transporte 102. Se añade agua reciclada a la instalación según se requiera para la viscosidad especificada de lechada por medio de la línea 132, y/o agua dulce por medio de la línea 103. Como se resume anteriormente con respecto a los biosólidos, la materia prima hidrofílica en lechada se transfiere por vía de una línea 105 a un tanque de almacenamiento 106.

Se ha observado la alta reactividad del residuo carbonoso de biosólidos, según lo producido por una unidad ejemplificada en la Fig. 1. Esta propiedad de sus moléculas carbonosas será útil para una instalación de gasificación, o para una planta química que lo use como material en bruto para compuestos orgánicos oxigenados, sea de bajo peso molecular (tal como ácido acético, alcoholes, aldehídos y cetonas) o de peso molecular más alto (detergentes, surfactantes, plastificantes, aditivos de aceite lubricante y similares). Entre las posibilidades futuras para la gasificación de residuo carbonoso se halla el desplazamiento del contenido de CO del gas hacia dióxido de carbono e hidrógeno, con la subsecuente separación del dióxido de carbono para producir hidrógeno para las celdas de combustible. Esta separación bien puede ser realizada por las nuevas membranas de metal-cerámica que se están desarrollando para el proyecto FutureGen del Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE), en colaboración con el Oak Ridge National Laboratory y Eltron Research.

La Fig. 2 es un diagrama de flujo de una combinación de una planta de tratamiento de aguas residuales (WWTP) operando de conformidad con la presente invención y, adyacente a la misma, una instalación eficiente de procesamiento de biosólidos operando de acuerdo con la presente invención y empleando desoxidación de fluido para convertir biosólidos de manera económica a un material combustible, lo que resulta en la eliminación de la mayor parte del agua de los biosólidos de la WWTP, y particularmente del agua ligada en las células de los biosólidos, que en caso contrario infla el costo de transportar y/o evaporar el agua de los biosólidos y por tanto hace que el uso de biosólidos sea factible. El gas combustible de la digestión anaeróbica de la WWTP puede ser usado para proveer el calor necesario para la desoxidación, y de esa forma se ahorra el costo del combustible comprado. Más aun, el agua tratada de la planta WWTP puede ser usada para el agua de lechada para la unidad de desoxidación fluida. Más aun, la WWTP puede tratar también el efluente de la unidad de desoxidación.

En particular, WWTP 201 recibe drenaje de lluvia por vía de uno o más conductos 203 y aguas negras por vía de uno o más conductos 204. Usando tecnología conocida, una planta WWTP típicamente emplea aire atmosférico que entra por vía de un conducto 205 y varios aditivos habituales, tales como floculantes y cal, por medio de un sistema de transporte 206. Este tratamiento convencional de aguas negras y aguas residuales en la producción de un gas digestor, el cual, saliendo de la WWTP por vía de un conducto 207, se utiliza como fuente de combustible para la presente invención. El tratamiento produce un lodo viscoso de aguas negras, es decir una lechada de biosólidos que sale a través de la línea 208. La concentración de sólidos típicamente se hallará en el rango de aproximadamente 3% a 40% y promediando alrededor de 20%. Puesto que los biosólidos contienen alrededor de 80% de agua ligada, es caro acarrearlos a sitios aceptables para disposición, combustionarlos con el agua presente, o intentar desaguarlos físicamente.

Una unidad de desoxidación 202, empleando el proceso de la Fig. 1, se instala tan cerca como sea factible a la fuente de los biosólidos. Al romper la estructura celular y separar el dióxido de carbono de las moléculas que forman los biosólidos, la lechada es desaguada fácilmente de forma mecánica para contener 35% a 65% de sólidos. El agua (liberada) ahora separable (cerca de 90% de ella en los biosólidos en bruto) es reciclada a la planta WWTP por medio de una línea 211, donde puede ser pre-tratada con membranas, tecnologías de remoción de amoníaco, tecnologías de digestión anaeróbica, o tecnologías de ósmosis inversa. Luego del secado, el residuo carbonoso restante tiene solo alrededor de 15% a 17% de peso de los biosólidos en bruto, resultando en un gran ahorro de costo de transporte

de residuo carbonoso hasta un punto de uso o de disposición.

El residuo carbonoso no secado de baja humedad, que sale por medios adecuados 210, puede ser aceptable en un relleno sanitario cercano, al cual es transportado por un transportador adecuado o un portador 212. Puede, de manera similar, ser transportado a un incinerador cercano, por el medio 213, donde su incineración requerirá mucho menos combustible que lo que consumirían los correspondientes biosólidos en bruto. Además, sea secado o no secado, el residuo carbonoso puede ser transportado a un horno cementero cercano, por medio de 214, donde requiere significativamente menos combustible comprado que el que sería necesario para una cantidad equivalente de biosólidos en bruto. El residuo carbonoso también puede ser transportado, por medio de 215, a una planta química donde (ayudado por alta reactividad) es fácilmente convertido a combustible o gas sintetizado, a compuestos oxigenados, a fibras de carbón, a producción de fertilizante, y/o a relleno sanitario. El residuo carbonoso de baja humedad puede ser transportado, por medio de 216, sea como lechada bombeable o como pellets secos, a una estación de energía térmica, donde su alta reactividad permite combustión eficiente con bajo exceso de aire y alta quema del carbón.

Tan significativo como el flujo de materiales y energía, es el flujo de dinero, en la forma de tarifa por vertido, de parte de la planta WWTP hacia la unidad de procesamiento de biosólidos, según lo indicado por la línea de puntos en 217. La tarifa por vertido es la tarifa pagada por la planta WWTP al propietario de la unidad de procesamiento, por el manejo de los biosólidos.

Puesto que el suministro del nuevo combustible detallado antes, será inicialmente pequeño, es óptimo para uso local. Como tal, uno de los primeros usuarios de combustible en aceptar son probablemente los operadores de hornos cementeros, puesto que pueden tolerar en gran medida su alto contenido de ceniza. Otras áreas adecuadas de uso son los altos hornos y las fundiciones, puesto que están acostumbrados a encender carbón o coque y a disponer de ceniza con otras impurezas como escoria. Mientras el suministro de residuo carbonoso de biosólidos se incrementa, se volverá interesante para los usuarios de carbón en general, incluyendo las estaciones de energía térmica. Tales aplicaciones se enfocan en más detalle en las restantes figuras.

Por ejemplo, la Fig. 3 es un diagrama de flujo que ilustra una instalación eficiente para procesamiento de biosólidos, con el fin de convertir biosólidos en combustible, preferentemente material carbonizado que se combina con un horno cementero. Este aspecto de la presente invención resalta la drástica reducción de agua que de otra forma iría acompañando a los biosólidos en bruto al horno, lo que permite un incremento sustancial del monto de biosólidos consumidos, con un incremento proporcional en ingresos por vertido recibidos por el procesador y en BTUs cargados al horno.

En particular, una unidad de desoxidación de fluido 301, que emplea el proceso descrito con respecto a la Fig. 1, se instala tan cerca como sea posible a una o más plantas WWTP, la fuente de los biosólidos, según lo indicado por un medio de transporte 303. Al romper las paredes de las células de los biosólidos y descargar dióxido de carbono que puede ser formado al mismo tiempo (línea 304), el residuo carbonoso resultante puede ahora ser mecánicamente desaguado de forma fácil para comprender alrededor de 35% a 65% de sólidos. El agua ahora separable (alrededor de 90% de la presente en biosólidos en bruto) se recicla a la planta WWTP por medio de una línea 305 o se usa como agua reciclada para formar lechada de proceso.

El residuo carbonoso, sea como lechada concentrada, sólido mojado, o sólido seco, se transporta a un horno cementero 302 por un medio de transporte 306. Los ingredientes básicos del cemento Portland (piedra caliza, arcilla y esquisto) se cargan por medio de los conductos 307, 308 y 309, y se muelen, mezclan y cargan al horno por medio de un conducto 310. En la sección de pre-calentado, estos ingredientes se ponen en contacto en contra corriente con gas caliente de chimenea, el cual eleva la temperatura para expulsar el agua de cristalización y calcina la piedra caliza. Cerca del fondo de la sección precalentada, combustibles de desecho, tales como llantas usadas y asfalto roto, se cargan por el conducto 311. Si es necesario para alcanzar la temperatura deseada, combustibles como carbón, petróleo o gas se encienden, junto con el aire de combustión, en la parte más baja de la sección de precalentamiento. La mezcla precalentada se descarga luego en un extremo de un horno rotatorio horizontal.

Mientras los ingredientes precalentados viajan al extremo opuesto del horno rotatorio, se calientan más a la temperatura necesaria para que reaccionen y formen clinker de cemento al encender, en el extremo de descarga, el combustible primario suministrado por medio de un conducto 312 (que puede incluir residuo carbonoso de biosólidos), junto con el correspondiente aire de combustión suministrado mediante un ventilador de aire de combustión (no se muestra) y un conducto 313.

El gas de chimenea, del cual la mayor parte del calor sensible ha sido recuperado, sale del horno mediante un ventilador de escape y equipo de recuperación de polvo (no se muestra) a través de la línea 314. El clinker de cemento sale del horno por medio del intercambio de calor con aire de combustión, por medio de un conducto 315. El clinker enfriado es molido y mezclado con yeso para formar el cemento Portland.

La mayor parte de la ceniza constituyente del residuo carbonoso de biosólidos es tolerable en el cemento Portland, con la excepción de los cationes solubles, tales como sodio y potasio y los sulfatos y cloruros, que van principalmente

al efluente de la unidad de desoxidación líquida y se los retorna por medio de un conducto 305 a la planta de tratamiento de agua residual (WWTP). La excepción es el fósforo, que a menudo se halla ligado en forma insoluble por hierro. Es posible que el contenido de fósforo pueda limitar la cantidad de residuo carbonoso de biosólidos que puede aceptar un horno cementero dado. Si es que el contenido de fósforo en el residuo carbonoso producido por la

5 unidad 301 es tan alto como para limitar la cantidad de residuo carbonoso de biosólidos que puede ser aceptado en el clinker del cemento, se podría emplear una solución de quelato (u otro agente solubilizante) por medio de una línea 316 para extraer algo de este elemento. El extracto que contiene fósforo luego se descarga a través de una línea 317 y debe ser dispuesto de una manera que evite el retorno a la planta WWTP.

10 La fracción inorgánica de biosólidos puede ser tan alta como un 50% en referencia seca. Esta ceniza inherente hallada en biosólidos puede reducir las cantidades de ingreso de piedra caliza, arcilla y esquistos en las líneas 307, 308 y 309 respectivamente si la unidad 301 está localizada cerca del horno cementero 302, una porción del flujo de aguas residuales 305 puede ser utilizado en el horno de cemento 302 para enfriado u otros propósitos, en una

15 reducción NOx. El calor de desecho del flujo 314, u otros flujos de calor de desecho, incluyendo el calor de radiación, puede ser utilizado por la unidad 301 como calor de proceso para el sistema incluyendo el calentamiento de material de alimentación, calor de proceso, o secado de producto reaccionado. El dióxido de carbono emitido del flujo 302 puede ser conducido al horno cementero 302 para recuperación del calor o para reducción de olor.

20 Igualmente significativo como el flujo de materiales y energía es el flujo de dinero, en la forma de tarifa por vertido, desde la planta WWTP a la combinación de unidades 301 y 302, como lo indica la línea punteada 318. Una parte de la tarifa va al propietario de la unidad 301, como lo indica la línea punteada 319, y el resto va al propietario del horno cementero 302, como lo indica la línea punteada 320.

25 La Fig. 4 es un diagrama simplificado de flujo de una instalación eficiente para procesamiento de biosólidos 401 que emplea desoxidación para convertir biosólidos a material combustible en un sitio muy cercano a la estación de energía térmica 402 y combinada con dicha planta. La unidad 401 está tipificada por la Fig. 1, cargando biosólidos desde una planta de tratamiento WWTP. Sin embargo, puesto que el suministro de biosólidos disponibles para una estación de tamaño económico es improbable que sea suficiente para sus necesidades de combustible, también representa una familia de procesos de desoxidación líquida que carga un espectro de biomasa renovable y/o combustible fósil de bajo

30 nivel. Con cualquiera o todos estos combustibles potenciales, la desoxidación líquida los hace menos hidrofílicos y más uniformes y térmicamente eficientes para la combustión en la estación de energía 402. La estación 402 representa un espectro de sistemas de combustión convencional y no convencional que culminan, por medio de ciclos combinados de turbina a vapor o turbina a gas, en la producción de electricidad para el mercado local y/o la red nacional.

35 Los biosólidos se cargan a la unidad 401 vía una línea 403. Alternativa o adicionalmente, desecho de biomasa, como lodo de planta de celulosa o de la agricultura o producción forestal, es enviado por un medio de transporte 404, y (opcionalmente) combustible fósil hidrofílico de baja calidad se envía a través de un medio de transporte 405. Por medio de la línea 406, se añade agua según se requiera para formar una lechada bombeable. Después de haber sido procesada de acuerdo con la Fig. 1, el agua que ahora es de exceso se devuelve a la planta WWTP, o se la trata para descarga por medios conocidos, por medio de la línea 407. Lechada (desaguada) de residuo carbonoso con alta densidad uniforme de energía, o residuo carbonoso secado y peletizado, se suministra por medio de un

40 transporte 408 a la estación 402.

45 El residuo carbonoso o lechada de residuo carbonoso transportado por el medio 408 es combustionado por uno de los métodos conocidos para rendir energía térmica para la generación de vapor, que es expandido por turbinas convencionales de vapor que impulsan generadores eléctricos, o puede ser parcialmente oxidizado (sea con aire u oxígeno comercial) para producir un gas combustible subsecuentemente quemado en un combustionador de una turbina a gas que impulsa un generador de electricidad; el gas de escape caliente del mismo genera vapor para un

50 generador integrado impulsado por una turbina a vapor. La combustión parcial del residuo carbonoso puede ser lograda de acuerdo con procesos conocidos que separan la ceniza como escoria fluida, o de conformidad con la Patente No. 5,485,728 de Estados Unidos, cuya divulgación completa se incorpora en el presente por referencia, la cual enseña la separación de partículas de ceniza en una lechada acuosa.

55 Puesto que la cantidad de residuo carbonoso disponible puede tener insuficiente energía combustible para generar la cantidad de electricidad para la cual hay mercado, se puede suministrar combustible fósil suplementario por un medio de transporte 410. El aire para la combustión o la combustión parcial de la biomasa y/o del residuo carbonoso de combustible fósil es suministrado por medio de la línea 411. Después de sujetarlo a las medidas conocidas y apropiadas de control de contaminación, el gas (o gases) de chimenea proveniente(s) de la combustión de la estación

60 402 es (son) descargado(s) por medio de una chimenea de escape 412.

La compensación de agua tratada de alimentación al caldero se suministra a través de una línea 413, y la purga requerida para mantener el agua del caldero dentro de las especificaciones se descarga por medio de una línea 414 a la unidad 401, donde podría comprender algo del agua necesaria para formar una lechada de alimentación

65 suficientemente fluida para la operación de desoxidación. La ceniza, el residuo no combustible de quemar el residuo carbonoso y los combustibles auxiliares, lechada de ceniza, se retira para disposición por medio de un conducto 415.

Uno de los métodos conocidos para controlar la emisión de óxidos de nitrógeno de los calderos a presión atmosférica es sobre-encender con un combustible reactivo encima de la zona de llama principal. Debido a su contenido volátil y alta reactividad, el residuo carbonoso de biosólidos es un combustible adecuado para este propósito, y una porción del mismo proveniente del medio de transporte 408 puede ser desviado a través de un medio de transporte 416 para la reducción del óxido de nitrógeno. El producto de la combinación, que es la electricidad, se suministra desde el sitio por medio de cables eléctricos 417.

Para simplificar, la unidad de tratamiento de biosólidos 401 se muestra como si tuviese la capacidad y el suministro de material en bruto para proporcionar suficiente combustible de residuo carbonoso a la estación de energía 402. En una instalación práctica, una unidad de tratamiento 401 puede estar ubicada adyacente a la estación de energía 402, y una o más de tales unidades 401 puede estar instalada en otro(s) sitio(s) cercanos a las fuentes de material en bruto. Esto da al operador la flexibilidad para emplear temperaturas de desoxidación adecuadas, optimizadas para la materia prima particular. En un caso así, el residuo carbonoso seco puede ser embarcado a la estación de energía 402 por carretera o tren, o si la economía lo exige, puede ser suministrado como lechada acuosa por medio de una tubería. El flujo de dinero, en forma de tarifa por vertido, de la planta WWTP a la unidad de desoxidación se indica con la línea de puntos 418.

La Fig. 5 es un diagrama de flujo simplificado de una combinación que comprende una unidad térmica 501 y un horno cementero 502. La unidad de secador térmico 501 se instala tan cerca como sea posible a uno o más hornos cementeros 502, empleando principalmente la misma configuración que se muestra y se describe en conjunto con la Fig. 3, pero sin desoxidación de los biosólidos. Los biosólidos se suministran por el medio de transporte 503. Al aplicar calor a las células de biosólidos en bruto, el agua contenida en las células se evapora y sale por la línea 505 para limpieza y condensación, o alternativamente, se conduce por la línea 517 de regreso al horno para ser usada en el horno como agua de compensación o para reducción de NOx.

Los biosólidos secados resultantes son conducidos al horno por medio de la línea 506 donde el valor en BTUs así como el valor de la ceniza se utiliza. Los ingredientes primarios, tales como se muestran en la Fig. 3, se añaden al horno en las líneas 507, 508, 509 a través de un conducto 510. Como en la Fig. 3, en una sección de precalentamiento, se añaden combustibles de desecho, tales como llantas usadas y asfalto roto, cargados a través de un conducto 511. Como en la Fig. 3, el aire de combustión y el combustible primario arriban por medio de los conductos 513 y 512, respectivamente. El clinker del cemento sale del horno por medio del conducto 515.

A pesar de que el secado térmico tiene una inherente penalidad de energía del calor latente en la evaporación de agua, esta penalidad puede ser completa o parcialmente superada al integrar con el horno cementero y utilizar calor del horno por medio del conducto 518. Más específicamente, el gas de chimenea, que normalmente viaja a través del conducto 514 a una descarga apropiada, puede ser dirigido por medio de un conducto 516 al secador térmico, y por tanto reduciendo la necesidad de combustibles primarios en el secador térmico 501 para evaporar el agua liberada de los biosólidos.

Como se explicó brevemente antes, puesto que el suministro potencial de residuo carbonoso de biosólidos es más pequeño, en órdenes de magnitud,

que el mercado general de combustibles. Otras sustancias, por ejemplo biomasa, pueden ser co-procesadas en una unidad de desoxidación líquida, o procesadas en equipo paralelo, y el residuo carbonoso resultante, ser mezclado antes de ser usado como combustible, por ejemplo de acuerdo con las enseñanzas de la Patente 5,485,728 de los Estados Unidos. Varias localidades, tales como Hawái (biosólidos, desechos de piña y caña de azúcar), y Sacramento en California (biosólidos y cáscara y paja de arroz), ofrecen sitios para la desoxidación concurrente o paralela de lechada. Lodos de planta de celulosa y reciclaje de papel, aunque pueden requerir la adición de álcalis para neutralizar el cloro, son otras fuentes prometedoras de biomasa hidrofílica suplementaria. Estos métodos permiten solventar un medio de consolidar diversas fuentes en un combustible de líquido uniforme o de lechada de residuo carbonoso sólido.

Ejemplos

Los siguientes ejemplos son solo representativos de los métodos y sistemas a usarse en la práctica de la presente invención, y no deben ser interpretados como limitantes en alguna manera del alcance de la invención.

Ejemplo 1

Biosólidos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales, una en Atlanta, Georgia, y una en Riverside, California, se sujetaron al tratamiento descrito antes en una planta piloto continua, dando como resultado el siguiente análisis de productos e insumos, reportado en una referencia libre de humedad y ceniza:

ES 2 706 007 T3

| | Biosólidos en bruto de Atlanta | Biosólidos en bruto de Riverside |
|--------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Carbono | 57,73 | 62,53 |
| Hidrógeno | 7,48 | 9,26 |
| Nitrógeno | 7,90 | 7,52 |
| Azufre | 3,02 | 1,17 |
| Oxígeno | 23,86 | 19,52 |
| Total | 100,00 | 100,00 |

| | Producto de residuo carbonoso de Atlanta | Producto de residuo carbonoso de Riverside |
|--------------|---|---|
| Carbono | 70,19 | 69,98 |
| Hidrógeno | 8,85 | 7,68 |
| Nitrógeno | 8,63 | 8,45 |
| Azufre | 1,42 | 8,86 |
| Oxígeno | 10,91 | 5,04 |
| Total | 100,00 | 100,00 |

Como sería de esperar, la separación de dióxido de carbono ha dado como resultado un incremento en el contenido de carbono y un correspondiente decremento en el contenido de oxígeno.

5

La composición del gas de descarga de las dos corridas fue como sigue:

| | Gas de descarga de Atlanta | Gas de descarga de Riverside |
|----------------------|----------------------------|------------------------------|
| Dióxido de carbono | 89,7% | 92,8% |
| Orgánicos volátiles | 10,0% | 6,0% |
| Compuestos de azufre | 0,3% | 1,2% |
| Total | 100,0% | 100,0% |

10 Ejemplo teórico 1

Un horno cementero en el suroeste de los Estados Unidos tiene una capacidad de producción de 3.200 toneladas/día. Para alcanzar las temperaturas requeridas para formar «clinker» de cemento, se enciende carbón de baja calidad, suplementado en alguna medida cargando llantas de caucho de desecho. Se puede aprovechar el calor sensible del gas de chimenea, después de precalentar la carga de mineral y el aire de combustión, para secar e incinerar 20 toneladas/día (en referencia seca) de biosólidos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales del área. Aunque cada tonelada de constituyentes de biosólidos secos está acompañada por alrededor de cuatro toneladas de agua (lo que da a los biosólidos un valor negativo de calentamiento), el ingreso proveniente de la tarifa por vertido compensa el costo del carbón extra que debe ser encendido. Sin embargo, el monto es limitado por la capacidad térmica para evaporar el agua y por el volumen incrementado de gas de chimenea, creciente caída de presión y potencia de ventilador.

15

20

Usando este invento, el horno podría usar biosólidos desaguados y desoxidados de conformidad con la presente invención en una o más de las plantas de tratamiento WWTP cercanas. De esa manera, cerca del 80% al 94% del agua anteriormente cargada con los biosólidos en bruto evita el horno, permitiéndole cargar hasta siete veces de material desoxidado sin exceder los límites de capacidad térmica y potencia de ventilador. Los biosólidos dispuestos por el horno pueden ser incrementados en un factor de aproximadamente 700%, con un correspondiente incremento en tarifa por vertido.

25

Aparte de los ejemplos operativos, o a menos que específicamente se exprese de otra manera, todos los rangos numéricos, cantidades, valores y porcentajes tales como los de cantidades de materiales, tiempos y temperaturas de reacción, relaciones de cantidades, y otros en la siguiente parte de la especificación, podrían ser leídos como si estuvieran precedidos por la advertencia «alrededor de», aun cuando el término «alrededor de» podría no aparecer expresamente con el valor, cantidad o rango. Por consiguiente, a menos que se indique lo contrario, los parámetros numéricos establecidos en la siguiente especificación y en las reivindicaciones adjuntas, son aproximaciones que podrían variar dependiendo de las propiedades deseadas que se busca obtener por medio de la presente invención.

30

35

A pesar de que los rangos numéricos y parámetros que fijan el amplio alcance de la invención son aproximaciones, los valores numéricos establecidos en los ejemplos específicos se reportan tan precisamente como es posible. Sin embargo, cualquier valor numérico contiene inherentemente ciertos errores que necesariamente resultan de la

40

ES 2 706 007 T3

desviación estándar hallada en sus respectivas mediciones de prueba. Más aun, cuando rangos numéricos de variado alcance son establecidos en el presente, se contempla que se podría usar cualquier combinación de estos valores inclusive de los valores mencionados.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para convertir biosólidos a un combustible, comprendiendo las etapas de:
 - 5 proporcionar biosólidos que comprenden células y agua ligada a las células; aplicar presión suficiente a los biosólidos para mantener la liquidez; calentar los biosólidos presurizados a una primera temperatura suficiente para romper las células para formar una lechada de células rotas de biosólidos; calentar los biosólidos a una segunda temperatura suficiente para *emitir* dióxido de carbono de los biosólidos y formar una lechada de residuo carbonoso que comprende células de biosólidos, rotas y carbonizadas;
 - 10 enfriar la lechada de residuo carbonoso de células de biosólidos rotas y carbonizadas a cerca de la temperatura ambiente, mientras la lechada de residuo carbonoso se mantiene bajo suficiente presión para evitar la vaporización; despresurizar la lechada de residuo carbonoso enfriada compuesta de células de biosólidos rotas y carbonizadas, a una presión nominal sobre la presión atmosférica para formar una lechada de residuo carbonoso líquida;
 - 15 separar el dióxido de carbono de la lechada líquida de residuo carbonoso y remover al menos una porción del agua de la lechada líquida de residuo carbonoso para proporcionar un producto de biosólidos rotos al menos parcialmente desaguado.
 2. Un proceso de acuerdo con la Reivindicación 1, que comprende recibir los biosólidos de múltiples fuentes, en donde los biosólidos incluyen una primera alimentación de biosólidos que es más diluida y una segunda alimentación de biosólidos que es más viscosa, y mezclar la primera alimentación más diluida de biosólidos con la segunda alimentación más viscosa de biosólidos para producir una alimentación de biosólidos más bombeable.
 3. Un proceso conforme con la Reivindicación 1, donde remover al menos una porción de agua proporciona un producto de residuo carbonoso al menos parcialmente desaguado, e incluyendo reaccionar el producto de residuo carbonoso con un gas que comprende oxígeno para convertir su valor de combustible a energía térmica, que además comprende al menos una de las etapas de uso de la energía térmica y de incineración de combustible.
 4. Un proceso conforme con la Reivindicación 1, donde la etapa de aplicar suficiente presión comprende proporcionar una bomba y donde se proporciona bombas de refuerzo aguas abajo para reducir la presión de altura de la bomba.
 5. Un proceso conforme con la Reivindicación 1, donde la etapa de aplicar suficiente presión comprende proporcionar una bomba y en donde el agua libre proveniente de la etapa de remoción es recirculada a la etapa de provisión con el fin de reducir el requerimiento de presión de altura de la bomba.
 6. Un proceso conforme con la Reivindicación 3 en donde la etapa de remover al menos una porción del agua comprende remover los constituyentes solubles en agua de la lechada de residuo carbonoso.
 7. Un proceso conforme con la Reivindicación 1, en donde la etapa de remover al menos una porción del agua comprende además la etapa de remover el agua libre de al menos uno de entre la lechada y el producto parcialmente desaguado como vapor, produciendo un producto secado.
 8. Un proceso conforme con la Reivindicación 7 donde el producto secado es un producto de residuo carbonoso secado, y comprende mezclar el producto de residuo carbonoso secado con un fuel oil para formar una mezcla de carbón-petróleo.
 9. Un proceso conforme a la Reivindicación 7, que comprende mezclar la lechada de residuo carbonoso con un fuel oil para formar una mezcla de carbón-petróleo.
 10. Un proceso acorde con la Reivindicación 1 donde el producto de biosólidos rotos al menos parcialmente desaguado es un producto de residuo carbonoso.
 11. Un proceso acorde con la Reivindicación 10, que además comprende transportar el producto de residuo carbonoso a una planta química y convertir el producto de residuo carbonoso a por lo menos uno de entre gas sintético, aceite, compuestos oxigenados, fibras de carbono, aditivo fertilizante, y combinaciones de los mismos.
 12. Un proceso conforme con la Reivindicación 1 donde la etapa de remoción comprende además reciclar al menos una porción del agua para la etapa de provisión.
 13. Un proceso conforme con la Reivindicación 10, que comprende además pre-tratar agua removida de la lechada de residuo carbonoso.
 14. Un proceso conforme con la Reivindicación 13, en donde el pre-tratamiento de al menos una porción del agua produce un gas metano.
 15. Un proceso conforme con la Reivindicación 13, incluyendo reciclar al menos una porción de agua pre-tratada

para la etapa de provisión.

- 5 16. Un proceso conforme con la Reivindicación 13, que comprende además añadir un agente quelante al agua removida de la lechada carbonizada.
- 10 17. Un proceso conforme con la Reivindicación 1 que comprende además añadir al menos uno de entre agua, calor, vapor, y una combinación de los mismos, a los biosólidos antes de la etapa de aplicación de suficiente presión a los biosólidos.
- 15 18. Un proceso conforme a la Reivindicación 1 que comprende al menos uno de entre molienda y cizallado de biosólidos antes de la etapa de aplicación de suficiente presión a los biosólidos.
19. Un proceso conforme a la Reivindicación 1 que comprende cribado de los biosólidos antes de la etapa de aplicación de suficiente presión a los biosólidos.
- 20 20. Un proceso conforme a la Reivindicación 1 que comprende además al menos uno de entre enfriamiento de la lechada antes de la despresurización y enfriamiento de la lechada después de la despresurización.
21. Un proceso conforme a la Reivindicación 20 en donde la etapa de enfriamiento ocurre antes de la etapa de despresurización.
22. Un proceso conforme a la Reivindicación 1 en donde la etapa de separación del dióxido de carbono comprende además al menos una de las etapas de entre:
- 25 secuestro del dióxido de carbono hacia al menos uno de entre la tierra y una gran masa de agua;
purificación y uso de dióxido de carbono para al menos uno de entre carbonatado de bebidas, presurización de extintores de incendios, propelentes de latas de spray, refrigerante, y gas de cobertura inerte;
uso de dióxido de carbono como un agente mezclable para inundación para la recuperación de petróleo terciario;
y
- 30 combinaciones de aquellos.
23. Un proceso conforme con la Reivindicación 3, en donde la ceniza producida se utiliza en al menos uno de entre horno cementero, materiales de construcción, compost, o producto fertilizante.
- 35 24. Un proceso conforme con la Reivindicación 1, en donde el calentamiento comprende el uso de vapor como medio de calentamiento.
- 40 25. Un proceso conforme con la Reivindicación 1, en donde el azufre contenido en el gas de dióxido de carbono es generado en la etapa de separación, e incluye remover el azufre con equipo para control de contaminación.

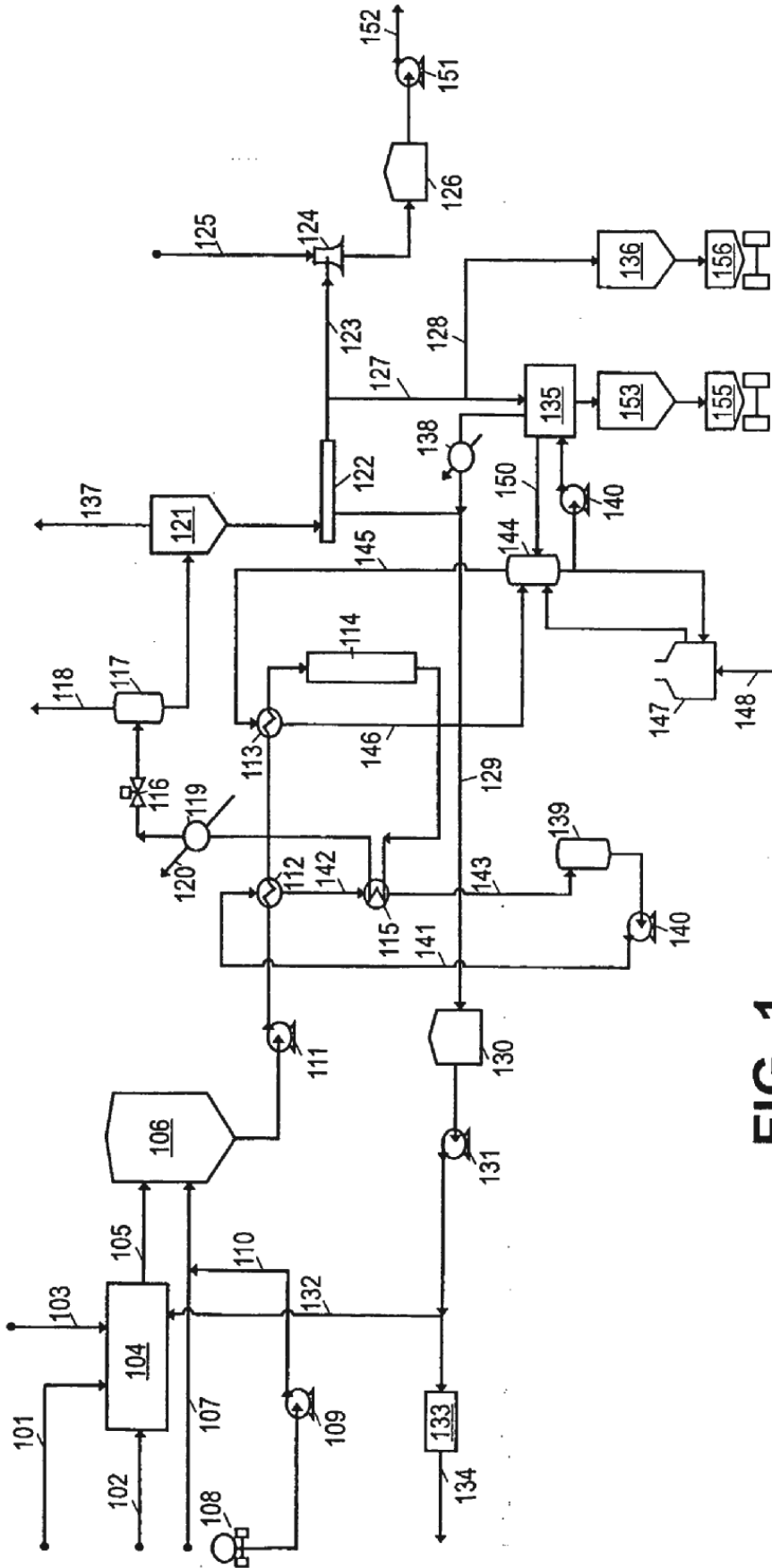


FIG. 1

FIG. 2

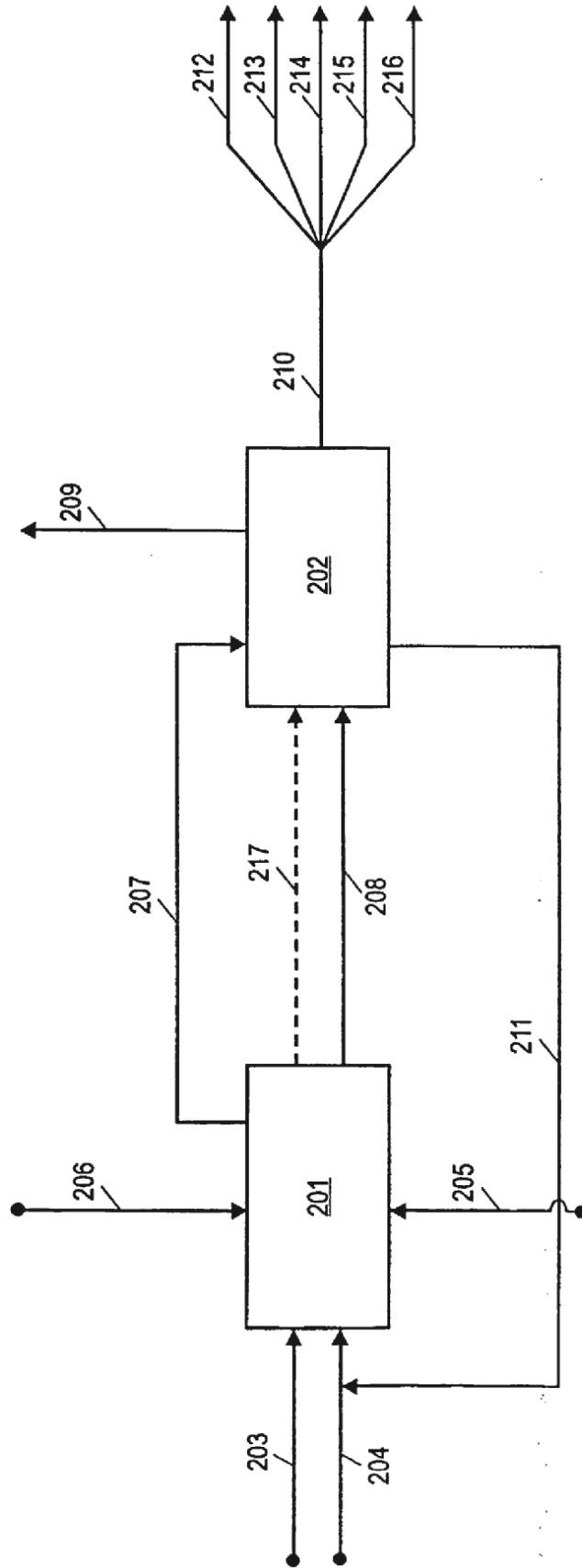


FIG. 3

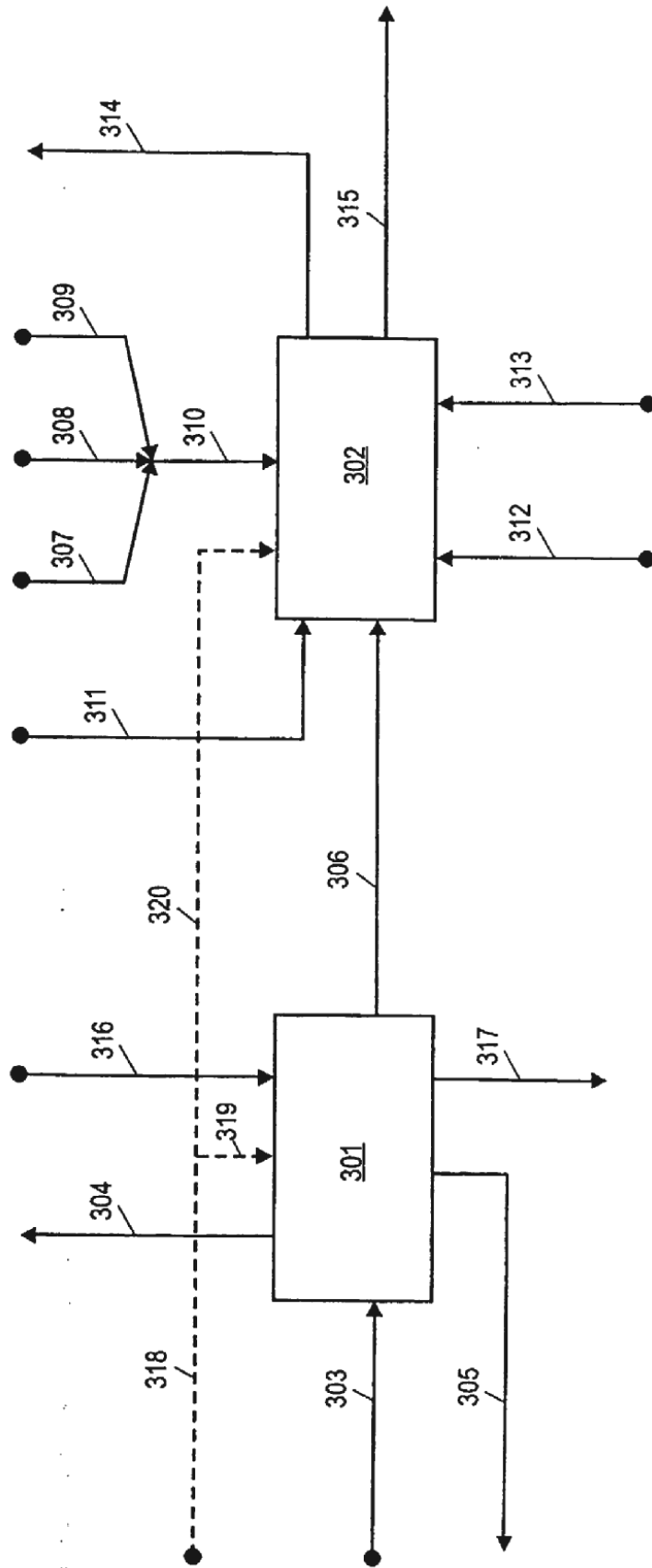


FIG. 4

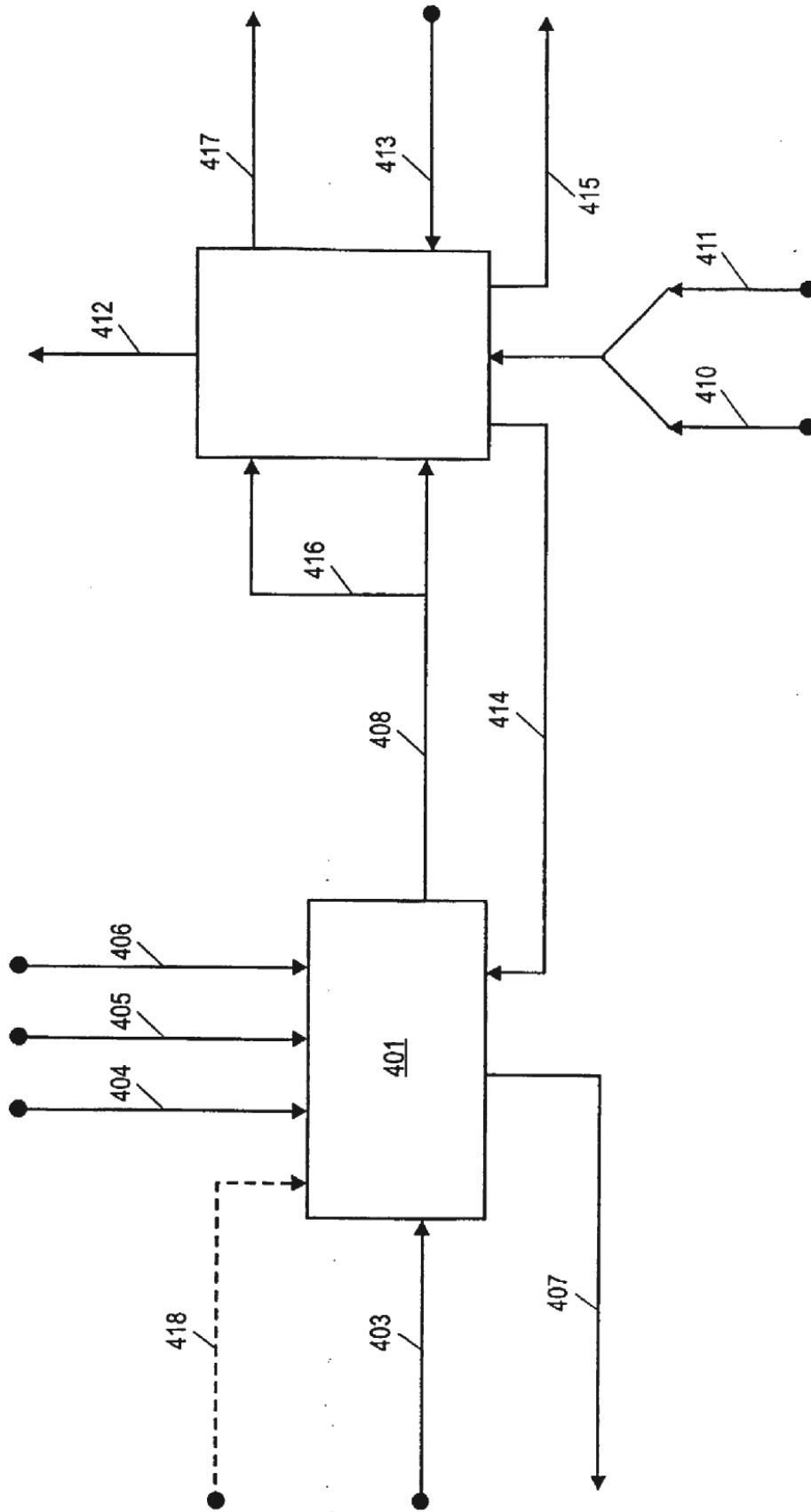


FIG. 5

