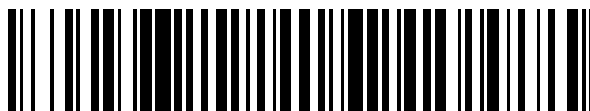


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 719 283**

51 Int. Cl.:

B01D 61/00 (2006.01)

F23C 99/00 (2006.01)

F23G 7/04 (2006.01)

F23G 7/05 (2006.01)

F23G 7/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.04.2012** **PCT/US2012/035248**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.11.2012** **WO12149183**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.04.2012** **E 12775953 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.02.2019** **EP 2701826**

54 Título: **Procedimiento para la reducción volumétrica de líquidos orgánicos**

30 Prioridad:

29.04.2011 US 201161480852 P

07.09.2011 US 201161531895 P

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

09.07.2019

73 Titular/es:

GEOSYNTEC CONSULTANTS, INC. (100.0%)
5901 Broken Sound Parkway NW Suite 300
Boca Raton, FL 33487, US

72 Inventor/es:

GRANT, GAVIN;
MAJOR, DAVID;
GERHARD, JASON;
TORERO, JOSE;
SCHOLES, GRANT;
PIRONI, PAOLO y
SWITZER, CHRISTINE

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 719 283 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

Procedimiento para la reducción volumétrica de líquidos orgánicos

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a procedimientos para reducir el volumen de líquidos orgánicos mediante combustión lenta y, más particularmente, a procedimientos en los que un líquido orgánico se agrega en una matriz porosa dentro de un embalse.

10

Técnica anterior

El manejo de líquidos orgánicos cuando se convierten en desechos es un problema complejo con pocas alternativas rentables para reducir su impacto en la salud, el medio ambiente y la estética. Los procedimientos actuales de gestión se centran en la eliminación de líquidos orgánicos en vertederos, la destrucción en incineradores y el reciclaje. Los avances recientes en la Gestión Integral de Residuos (GIR) han minimizado el impacto de estos materiales a través de los análisis del ciclo de vida y la implementación de estrategias de gestión sostenible de residuos; sin embargo, sigue habiendo un legado de problemas de gestión de residuos líquidos orgánicos para los cuales la incineración y los rellenos sanitarios son actualmente las únicas alternativas prácticas.

20

Los avances recientes en el campo de la hidrogeología de contaminantes han demostrado que la combustión lenta se puede utilizar para tratar volúmenes subterráneos de suelo contaminado con líquidos orgánicos. Este planteamiento está disponible comercialmente como la tecnología Self-sustaining Treatment for Active Remediation (STAR) (Tratamiento autosostenible para el saneamiento activo) y es el tema de la patente de los Estados Unidos 8.132.978. Un procedimiento para la combustión lenta de residuos con las características especificadas en la introducción de la reivindicación 1 se describe en "Small-scale forward smouldering experiments for remediation of coal tar in inert media" por Pironi P. et al (Proceedings of the Combustion Institute, Elsevier, NL, vol. 32, no. 2, XP 026036800).

25

La combustión lenta es una forma de combustión sin llama, que deriva su calor de las reacciones que ocurren en la superficie de un combustible sólido o líquido cuando se calienta en un ambiente oxidante. Un ejemplo de una reacción de combustión lenta es la de un cigarrillo de tabaco o una pieza quemada de espuma de poliuretano. La combustión lenta puede ocurrir solo cuando la velocidad de calentamiento del combustible es inferior a la velocidad a la que el oxidante se difunde en el combustible; por lo tanto, la combustión lenta requiere que la velocidad de difusión del oxidante a la superficie del combustible sea más rápida que la velocidad de adición de calor requerida para gasificar el material. Debido a que los procesos de difusión son relativamente lentos, la combustión lenta solo puede ocurrir en condiciones donde el combustible tiene un área de superficie muy grande expuesta al oxidante (tasa de arrastre del oxidante = flujo difusivo del oxidante X área de superficie del combustible). Esta condición se alcanza más comúnmente dentro de un material poroso donde el material tiene una relación superficie/volumen muy grande. Para el caso de un cigarrillo y otros materiales orgánicos sólidos (por ejemplo, basura, residuos de carbón, espuma de poliuretano, etc.), el tabaco es tanto el combustible como la matriz porosa; mientras que para el proceso STAR, el combustible es el contaminante orgánico y la matriz porosa es el volumen subterráneo del suelo.

35

40

La combustión lenta es distinta de la combustión en llamas. En llamas es un proceso de combustión mediante el cual se gasifica un combustible condensado (ya sea líquido o sólido) por medio de una fuente de calor externa que produce una mezcla de combustible y oxidante en la fase gaseosa que, en presencia de más calentamiento, puede producir una llama. Una llama tiene una pequeña relación área de superficie/volumen; por lo tanto, la velocidad de calentamiento es muy superior a la velocidad de difusión del oxidante. Además, la llama representa una reacción entre el combustible gasificado y el oxígeno en la fase gaseosa. Por lo tanto, la combustión en llamas ocurre en la fase gaseosa entre un combustible gaseoso y un oxidante gaseoso, que es una reacción de combustión homogénea. Por el contrario, la combustión lenta ocurre en la superficie del combustible líquido/sólido cuando el oxidante de la fase gaseosa se difunde en el combustible sólido o líquido condensado; por lo que este proceso es una reacción heterogénea.

45

50

La combustión lenta requiere una entrada de energía de corta duración y la adición de un oxidante (p. ej., oxígeno, aire, perclorato) para iniciar y mantener la reacción de combustión lenta. La combustión lenta es una reacción exotérmica (que produce energía neta) que convierte los compuestos de carbono y un oxidante en dióxido de carbono, agua y energía. Por lo tanto, después de la ignición mediante una entrada baja de corta duración de energía localizada, la reacción de combustión lenta puede continuar de manera autosostenible; por ejemplo, la energía calorífica necesaria para la combustión de contaminantes en STAR proviene principalmente de la energía inherente dentro de los propios

55

60

contaminantes.

- Existen numerosos procedimientos para el saneamiento de suelos contaminados, incluido un grupo de tecnologías que utilizan procesos térmicos para eliminar o destruir contaminantes mediante procesos endotérmicos (que consumen energía neta), como la pirólisis y la volatilización. La ventaja de STAR sobre estos otros remedios térmicos es que STAR aprovecha la energía inherente en los contaminantes para facilitar su destrucción; mientras que los otros remedios térmicos requieren la entrada de grandes cantidades de calor/energía aplicada a los suelos contaminados, lo que a menudo hace que estas tecnologías sean prohibitivamente costosas.
- 10 Las técnicas actuales para el tratamiento de desechos orgánicos sufren un problema similar: la incineración, por ejemplo, es una tecnología de uso intensivo de energía para la reducción/destrucción volumétrica de líquidos orgánicos que requiere un aporte continuo de energía. Como resultado, la incineración es a menudo una tecnología de tratamiento costosa.
- 15 La combustión lenta se ha observado tradicionalmente en combustibles sólidos y se sabe que se produce espontáneamente en pilas de carbón o pilas de desechos orgánicos sólidos. En cuanto al ejemplo del cigarrillo, la combustión lenta de estos materiales requiere la presencia de una fuente de combustible y una matriz porosa, y en la mayoría de los casos la fuente de combustible y la matriz porosa son una y la misma cosa (por ejemplo, el tabaco). Por lo tanto, debido a la falta de matriz porosa, la combustión lenta de un combustible líquido ha sido descartada como
- 20 imposible. Algunas investigaciones han examinado la combustión de un combustible líquido en una matriz porosa, incluidos los incendios retardados que ocurren dentro de los materiales aislantes porosos empapados en aceites y otros líquidos autoinflamables, así como la recuperación mejorada de combustible donde se inician los frentes de combustión en depósitos de petróleo para dirigir el combustible hacia los puntos de extracción. Sin embargo, el uso de la combustión lenta como un medio para tratar o realizar una reducción volumétrica de un líquido orgánico a granel,
- 25 nunca se ha hecho.

Resumen de las formas de realización

- Como se describe a continuación, la combustión lenta solo es posible en presencia de una fuente de combustible y una matriz porosa. Para un residuo orgánico sólido, como las pilas de carbón o la basura, el residuo orgánico actúa como fuente de combustible y como matriz porosa. Para el caso de un líquido orgánico, se debe agregar una matriz porosa al líquido orgánico para crear las condiciones necesarias para que se produzca una reacción de combustión lenta. Esto se puede lograr agregando un material reactivo o inerte, como arena, al líquido orgánico, o agregando el líquido orgánico a un lecho o pila de matriz porosa. Una vez que se establecen estas condiciones, la combustión lenta
- 30 puede iniciarse dentro de la mezcla líquido orgánico/matriz porosa de una manera análoga a la descrita por el proceso STAR: la mezcla se calienta y se agrega oxidante para iniciar el proceso de combustión lenta; luego, la fuente de calentamiento finaliza pero la adición de oxidante continúa de tal manera que se produce una reacción autosostenible (es decir, la fuente de energía para la combustión lenta es el líquido orgánico en oposición a una fuente externa), lo que resulta en una reducción volumétrica del líquido orgánico.
- 40 Las formas de realización de la presente invención aprovechan el descubrimiento sorprendente de que la combustión lenta puede usarse para reducir el volumen de cualquier líquido orgánico agregando primero el líquido orgánico en matrices porosas. No se sabe que los líquidos orgánicos o los combustibles líquidos se quemen en ausencia de la etapa de agregación porque carecen del área de superficie necesaria común a los combustibles sólidos porosos.
- 45 La presente invención se basa en los principios de combustión lenta autosostenible para el tratamiento de líquidos orgánicos. La combustión lenta proporciona beneficios sobre las técnicas de tratamiento tradicionales como un procedimiento de tratamiento con líquido orgánico, como los bajos requisitos de energía, el bajo coste, un tratamiento más rápido y un tratamiento eficaz. Además, la presente invención es superior al relleno sanitario, ya que el proceso de combustión lenta transformará los líquidos orgánicos en gases de combustión principalmente, para evitar la
- 50 necesidad de adquirir y mantener terrenos costosos para el almacenamiento de líquidos orgánicos. Específicamente, la combustión lenta se puede aplicar para reducir el volumen de líquidos orgánicos para destruir el líquido orgánico agregando o mezclando el líquido orgánico en una matriz porosa (es decir, la "mezcla"). El líquido orgánico se mezcla con la matriz porosa para producir una mezcla a través de la cual se fuerza un oxidante y se inicia la combustión con una fuente de calor. La fuente de calor luego se retira o se finaliza mientras el suministro de oxidante se mantiene para
- 55 mantener la progresión de la reacción de combustión a través de la mezcla.

- La energía inherente en algunos líquidos orgánicos (por ejemplo, alquitrán de hulla, hidrocarburos de petróleo, etc.) a menudo es más que suficiente para permitir que ocurra una reacción autosostenible. Parte de este exceso de energía
- 60 (es decir, el exceso de calor) se puede utilizar para afectar el tratamiento secundario del líquido orgánico o de la matriz

porosa en el que el líquido orgánico se mezcla parcial o totalmente. Por ejemplo, los metales pesados son un contaminante común del suelo y se encuentran a menudo presentes en líquidos orgánicos como los hidrocarburos del petróleo. Si bien los metales pesados no son orgánicos y no se queman, algunos metales pesados, como el mercurio, son volátiles y pueden eliminarse de los suelos o líquidos orgánicos para su posterior tratamiento a través del exceso de calor generado por un proceso de combustión lenta autosostenible. De manera similar, se sabe que algunas formas de asbesto se vuelven no tóxicas a temperaturas superiores a 700 grados Celsius; por lo tanto, el exceso de calor de un proceso de combustión lenta autosostenible puede utilizarse para tratar suelos y lodos que contienen minerales de asbesto. Finalmente, el exceso de calor de una reacción de combustión lenta autosostenible puede utilizarse para secar suelos cuando se utilizan suelos húmedos o que contienen agua como matriz porosa en el proceso.

En contraste, algunos líquidos orgánicos carecen de energía suficiente para permitir que se produzca una reacción autosostenible. Como son orgánicos, estos compuestos se quemarán, pero sin suficiente energía inherente, se requiere un suministro externo de energía para mantener la reacción. Esto se puede resolver mediante la adición por lotes de un aditivo de combustible para aumentar la energía inherente de la mezcla; por lo tanto, posibilitando que la combustión autosostenible continúe. También puede ser beneficioso agregar un aditivo de combustible para afectar las características de la reacción de combustión lenta (por ejemplo, la temperatura), incluso si la reacción de combustión es autosostenible sin la adición del aditivo de combustible.

En algunas formas de realización de la invención, el proceso de combustión lenta no requiere el uso de cerámica, yesca o combustible de arranque para iniciar la combustión lenta. Además, no es necesario crear canales en la mayor parte del agregado para mantener la combustión lenta, como puede ser necesario en la combustión lenta de un sólido.

En una primera forma de realización de la invención, se proporciona un procedimiento para la reducción volumétrica de líquido orgánico. El procedimiento comprende mezclar un material de matriz porosa con el líquido para producir una mezcla, calentar la mezcla, forzar el oxidante a través de la mezcla, iniciar y mantener la combustión lenta autosostenible de la mezcla y finalizar la fuente de calentamiento, para causar una reducción volumétrica del líquido orgánico. En ciertas formas de realización, las condiciones de reacción se mantienen para provocar la propagación de la combustión lenta a través de la mezcla lejos del punto de ignición.

En formas de realización particulares, el líquido orgánico se agrega antes de la reducción volumétrica. Los procedimientos de estas formas de realización comprenden, además, agregar el líquido orgánico en un recipiente de reacción. Las formas de realización adicionales comprenden, además, agregar el líquido orgánico en una pila de matriz que incluye el material de matriz porosa. Otras formas de realización adicionales comprenden, además, la agregación de la matriz porosa en una laguna de residuos líquidos orgánicos.

Otras formas de realización comprenden la alimentación continua de la mezcla en una zona de combustión lenta.

De acuerdo con la invención, la mezcla del material de matriz porosa comprende la alimentación por lotes del líquido orgánico y el material poroso en el recipiente.

Las formas de realización adicionales comprenden el uso de una herramienta de mezcla para mezclar el material de matriz porosa con el líquido orgánico para producir la mezcla. En formas de realización particulares, la herramienta de mezcla incluye una cuchilla helicoidal giratoria.

En otra forma de realización de la invención, se proporciona un procedimiento para la reducción volumétrica de líquidos orgánicos en el que la mezcla del material de matriz porosa con el líquido orgánico para producir la mezcla comprende formar un lecho de confinamiento permanente o semipermanente que comprende el material de matriz porosa y verter continuamente el líquido orgánico en el lecho de confinamiento. En otra forma de realización de la invención, mezclar el material de matriz porosa con el líquido orgánico para producir la mezcla comprende formar un lecho de confinamiento de líquido orgánico que comprende el líquido orgánico, y verter continuamente el material de matriz porosa en el lecho de confinamiento del líquido orgánico.

En formas de realización particulares, forzar el oxidante a través de la mezcla incluye inyectar aire en la mezcla a través de un puerto de inyección. En ciertas formas de realización, forzar oxidante a través de la mezcla incluye inyectar aire en la mezcla a través de una pluralidad de puertos de inyección. En otras formas de realización, forzar el oxidante a través de la mezcla incluye inyectar oxígeno en la mezcla a través de un puerto de inyección. En ciertas formas de realización, forzar oxidante a través de la mezcla incluye inyectar oxígeno en la mezcla a través de una pluralidad de puertos de inyección. En otras formas de realización, forzar el oxidante a través de la mezcla incluye inyectar un oxidante líquido en la mezcla a través de un puerto de inyección. En ciertas formas de realización, forzar oxidante a través de la mezcla incluye inyectar aire en la mezcla a través de una pluralidad de puertos de inyección.

En ciertas formas de realización, forzar el oxidante a través de la mezcla incluye crear un vacío para aspirar el oxidante a través de la mezcla. En otras formas de realización, el oxidante se localiza dentro de la mezcla antes de iniciar la combustión lenta.

- 5 En ciertas formas de realización, iniciar la combustión lenta incluye aplicar calor a la mezcla desde al menos una de una pluralidad de fuentes de calentamiento durante un tiempo suficiente para iniciar la combustión lenta. En formas de realización particulares, al menos una de la pluralidad de fuentes de calentamiento es una fuente de calentamiento por convección externa a la mezcla. En aún otras formas de realización particulares, al menos una de la pluralidad de fuentes de calentamiento es una fuente de calentamiento por convección situada dentro de la mezcla. En otras formas de realización más, al menos una de la pluralidad de fuentes de calentamiento es una fuente de calentamiento interna conductora en contacto directo con la mezcla. En otras formas de realización, al menos una de la pluralidad de fuentes de calentamiento aplica calor radiactivo a la mezcla.

- 15 En otras formas de realización adicionales, el inicio de la combustión lenta incluye la aplicación de calor a la mezcla desde una fuente de calentamiento conductora interna en contacto directo con la mezcla. En otras formas de realización, el inicio de la combustión lenta incluye aplicar calor a la mezcla desde una fuente de calentamiento por convección acoplada a la mezcla. En formas de realización particulares, la fuente de calentamiento por convección es externa a la mezcla. En otras formas de realización, la fuente de calentamiento por convección está situada dentro de la mezcla. En otras formas de realización de la invención, el inicio de la combustión lenta incluye la aplicación de calor radiactivo a la mezcla. En otras formas de realización de la invención, iniciar la combustión lenta incluye aplicar calor a la mezcla a través de una reacción de combustión. En otras formas de realización de la invención, iniciar la combustión lenta incluye aplicar calor a la mezcla a través de una reacción química exotérmica.

- 25 En ciertas formas de realización, la fuente de calentamiento de la mezcla se finaliza después del inicio de la combustión lenta. En otras formas de realización, al menos una de la pluralidad de fuentes de calentamiento de la mezcla se finaliza después del inicio de la combustión lenta.

- 30 En otras formas de realización de la invención, los procedimientos para la reducción volumétrica de líquidos orgánicos comprenden además la mezcla del material de matriz porosa con el líquido orgánico utilizando una herramienta de mezcla helicoidal para producir la mezcla, lo que suministra la mezcla a través de un primer sistema de transporte a la zona de combustión lenta y retira el producto quemado a través de un segundo sistema de transporte.

- 35 Ciertas formas de realización comprenden, además, agregar el líquido orgánico por encima del nivel del suelo. Otras formas de realización comprenden, además, agregar el líquido orgánico por debajo del nivel del suelo.

- 40 En formas de realización particulares, el material de matriz porosa se selecciona de un grupo que comprende arena, suelos, limo, marga, relleno, guijarros, grava, piedra triturada, vidrio, cerámica, zeolita, astillas de madera, carbón vegetal, carbón, recortes de perforación y combinaciones de los mismos. Ciertas formas de realización comprenden, además, llevar a cabo la combustión lenta a una temperatura dentro de un intervalo entre 200 y 2000 grados Celsius. Otras formas de realización comprenden, además, forzar aire a través de la mezcla a una velocidad lineal de entre 0,0001 y 100 centímetros por segundo.

- 45 Otra forma de realización de la invención comprende, además, mezclar un combustible suplementario con el material de matriz porosa y el líquido orgánico antes de la combustión.

- En ciertas formas de realización, el líquido orgánico es un líquido. En otras formas de realización, el líquido orgánico es un lodo. En otras formas de realización, el líquido orgánico es una suspensión. En otras formas de realización, el líquido orgánico es una emulsión.

- 50 En otra forma de realización de la invención, se proporciona un procedimiento para la reducción volumétrica de líquidos orgánicos que comprende agregar el líquido orgánico en un recipiente de reacción, pila de matriz o laguna para formar un agregado. La forma de realización comprende, además, la adición de un combustible suplementario seleccionado de un grupo que comprende aceite vegetal, alquitrán, oxidantes químicos, lodos de perforación e hidrocarburos de petróleo al agregado. La forma de realización también comprende mezclar un material de matriz porosa seleccionado de un grupo que comprende arena, suelos, limo, marga, rellenos, adoquines, grava, piedra triturada, vidrio, cerámica, zeolita, astillas de madera, carbón vegetal, carbón, recortes de perforación y sus combinaciones con el líquido orgánico para producir una mezcla que permita una combustión lenta autosostenible. La forma de realización comprende, además, forzar el aire a través de la mezcla desde al menos un puerto de suministro de aire e iniciar una combustión lenta autosostenible de la mezcla desde al menos un calentador radiactivo, convectivo o conductor para provocar una reducción volumétrica del líquido orgánico.

En términos generales, en cada una de las formas de realización descritas anteriormente, se desea promover/mantener la combustión lenta autosostenible como un procedimiento para reducir volumétricamente el líquido orgánico.

5

Breve descripción de los dibujos

Las características anteriores de las formas de realización se entenderán más fácilmente por referencia a las siguientes descripciones detalladas, tomadas con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

10

La Fig. 1 es una vista esquemática en sección transversal de un recipiente de mezcla de formas de realización de la invención y una herramienta de mezcla ejemplar.

La Fig. 2 es una vista esquemática en sección transversal de un recipiente de mezcla que contiene una matriz porosa fija o suelta.

15

La Fig. 3 es una vista esquemática en sección transversal de una laguna de líquido orgánico que contiene un volumen de líquido orgánico en el que se agrega un material de matriz.

La Fig. 4 es una vista esquemática en sección transversal de una pila de matriz o pila de tierra a la que se aplica y se mezcla un material líquido orgánico.

La Fig. 5 es una vista esquemática ampliada de una mezcla de líquido orgánico/matriz porosa de acuerdo con realizaciones de la invención.

20

La Fig. 6 es una sección transversal esquemática de un recipiente de reacción de combustión que comprende una fuente de oxidante, un orificio de suministro de aire y elementos de calentamiento.

La Fig. 7A es un esquema transversal de una laguna de líquido orgánico que comprende una mezcla de líquido orgánico y matriz porosa con una pluralidad de puertos de suministro de aire y elementos de calentamiento.

25

La Fig. 7B es un esquema de una sección transversal de una pila de tierra que comprende una mezcla de líquido orgánico y matriz porosa con una pluralidad de puertos de suministro de aire y elementos de calentamiento.

La Fig. 8A es un esquema transversal de una laguna de líquido orgánico que comprende una mezcla de un líquido orgánico y una matriz porosa, una fuente de oxidante, un orificio de suministro de aire dentro de la laguna y elementos de calentamiento alternativos. La Fig. 8B es un esquema de una sección transversal de una pila de suelo que comprende una mezcla de un líquido orgánico y una matriz porosa, una fuente de oxidante, puertos de suministro de aire dentro de la pila y elementos de calentamiento alternativos.

30

La Fig. 9 es una ilustración de un frente de combustión que avanza a través de la mezcla de un líquido orgánico y un material de matriz porosa a lo largo de la dirección del flujo de aire.

La Fig. 10 es una vista en sección transversal de un recipiente de reacción donde se utiliza un transportador o dispositivo de barrena para transportar un suministro continuo o semicontinuo de una mezcla de un líquido orgánico y material de matriz porosa a un frente de reacción de combustión lenta.

35

La Fig. 11 es un esquema transversal de un recipiente de reacción con una matriz porosa fija o semipermanente donde se agrega un suministro continuo o semicontinuo de un líquido orgánico al material de la matriz porosa.

La Fig. 12 es un diagrama de flujo que ilustra pasos particulares de acuerdo con las formas de realización de la invención.

40

La Fig. 13 es un gráfico de la evolución de la temperatura a lo largo del tiempo en una combustión lenta de una mezcla de aceite/arena.

La Fig. 14 es una tabla que presenta concentraciones de hidrocarburos de petróleo en el rango F1 y BTEX, rango F2-F4 y compuestos de HAP de la mezcla de aceite/arena antes y después del tratamiento de acuerdo con el procedimiento de la presente invención.

45

La Fig. 15 muestra las fotografías de arena gruesa como la matriz porosa sola (A); la mezcla de la arena con aceite antes del tratamiento (C); y la matriz porosa después del tratamiento (B).

Descripción detallada de las formas de realización específicas

50

Definiciones. Tal como se usan en la presente descripción y las reivindicaciones adjuntas, los términos siguientes tendrán los significados indicados, salvo que el contexto requiera lo contrario:

El término "matriz porosa" significa un material sólido sintético o natural que tiene poros (espacios abiertos) y en el que el material sólido puede ser una pieza única que tiene poros o una colección de sólidos granulares que tienen poros entre ellos. Los ejemplos de materiales adecuados para comprender las matrices porosas de las formas de realización de la presente invención incluyen arena, suelos, limo, marga, rellenos, adoquines, grava, perlas de vidrio, astillas de madera, zeolita, piedra triturada, astillas o perlas de cerámica, carbón vegetal, carbón, recortes de perforación y sus combinaciones.

60

El término "combustión lenta" de una composición significa el acto o proceso de combustión sin llama; una oxidación rápida acompañada de calor y luz pero no de llama; la combustión ocurre en la superficie de la composición (es decir, no en la fase gaseosa por encima de la composición como con una llama), en este caso, la composición es una mezcla de un líquido orgánico y una matriz porosa.

5

El término "líquido orgánico" significa un material orgánico que puede fluir como un líquido o tiene plasticidad como sustancia pegajosa que contiene compuestos orgánicos de carbono e incluye materiales que son parcialmente líquidos, como lodos de hidrocarburos, suspensiones o emulsiones.

10 "Autosostenible" significa condiciones de reacción en las que la combustión lenta se mantiene en un líquido orgánico o se propaga a través de un líquido orgánico sin la aplicación de energía externa; es decir, cuando el líquido orgánico ya en combustión produce suficiente calor para elevar la temperatura en la materia adyacente a su punto de combustión. Las condiciones pueden ser autosostenibles incluso si inicialmente se requiere la aplicación de calor para iniciar la combustión lenta.

15

El término "pila de matriz" significa cualquier pila, montículo o conglomeración o agregación vertical de un material de matriz porosa. La pila de matriz puede ser permanente o semipermanente.

El término "ignición" significa el proceso de iniciar la combustión.

20

El término "calentamiento conductivo" significa la transferencia de energía térmica por contacto físico directo.

El término "calentamiento por convección" significa la transferencia de energía térmica por el movimiento de líquidos.

25 El término "calentamiento radiactivo" significa la transferencia de energía térmica por radiación electromagnética.

El término "herramienta de mezcla" significa un implemento que cuando está en uso combina o mezcla el líquido orgánico y la matriz porosa en una masa o mezcla.

30 Un "embalse" de líquido orgánico es una agregación de un líquido orgánico en un recipiente, o en una pila en el suelo, o en una cavidad por debajo del nivel del suelo. De manera similar, un "embalse" de una mezcla de un líquido orgánico con una matriz es una agregación de la mezcla en un recipiente, o en una pila en el suelo, o en una cavidad por debajo del nivel del suelo.

35 La combustión lenta es una reacción de combustión heterogénea porque el oxidante (gas) y el combustible (líquido o lodo) son fases distintas. Esto contrasta con la combustión en llamas, que es una reacción homogénea que se produce en una sola fase (gas).

En las formas de realización de la presente invención, la matriz porosa sirve como un andamio para atrapar el líquido orgánico en un entorno que facilita la combustión lenta. La combustión lenta se mantiene a través del reciclaje eficiente de energía dentro del sistema. Primero, el líquido orgánico se quema, lo que emite energía térmica que es retenida o absorbida por la matriz porosa. En segundo lugar, la energía térmica retenida o absorbida se vuelve a irradiar o se devuelve al sistema desde la matriz porosa o se transfiere a través de la mezcla moviendo fluidos (por ejemplo, gas oxidante) para precalentar el material líquido orgánico más alejado del punto en el espacio donde se inició el proceso

40 de combustión. Por lo tanto, después de una entrada de energía de corta duración para iniciar el proceso, la combustión lenta es autosostenible (es decir, utiliza la energía de los líquidos orgánicos en combustión, junto con un suministro de oxidante, para mantener la reacción) y es capaz de propagarse desde el punto de ignición al interior de la materia combustible. La combustión lenta es el único tipo de reacción de combustión que puede propagarse a través de una mezcla de residuos/matriz porosa (es decir, las llamas no son capaces de propagarse a través de dicho sistema). En un proceso autosostenible, la fuente de calentamiento se termina después del inicio de la combustión

45 lenta.

El proceso de combustión lenta autosostenible se puede extender al tratamiento de líquidos orgánicos si se cumplen las siguientes condiciones: (1) el líquido orgánico contiene suficiente energía inherente para sostener un proceso de combustión lenta (es decir, es un material combustible); (2) se mezcla con una matriz porosa para permitir el proceso de combustión lenta; (3) se proporciona una fuente de calor para iniciar el proceso; (4) se proporciona un suministro de oxidante (p. ej., oxígeno, aire, perclorato) para iniciar y mantener el proceso; y (5) la fuente de calor se termina después del inicio de la combustión lenta.

60 El procedimiento de tratamiento de combustión lenta autosostenible se aplica a líquidos orgánicos, lodos, lechadas o

emulsiones y puede realizarse en medios porosos naturales o sintéticos o en matrices sólidas granulares. En muchas aplicaciones, se espera que los desechos puedan estar al menos parcialmente en la fase líquida; por ejemplo, como un lodo, suspensión o emulsión de hidrocarburos.

- 5 El proceso de combustión latente autosostenible tiene numerosas ventajas para el tratamiento de líquidos orgánicos. Por un lado, los productos de combustión del proceso son dióxido de carbono, monóxido de carbono, energía y agua; por lo tanto, no se requiere el relleno sanitario del líquido orgánico. En segundo lugar, el proceso es autosostenible (es decir, utiliza la energía de los líquidos orgánicos en combustión, junto con un suministro de oxidante, para mantener la reacción). Por lo tanto, el proceso de combustión lenta evita la necesidad de la adición continua de energía, calor o
10 combustibles como en un proceso de incineración.

La Fig. 1 ilustra un recipiente de mezcla (11), de acuerdo con ciertas formas de realización de la invención, al que se añaden el líquido orgánico y la matriz porosa. Se utiliza una herramienta de mezcla (12) para crear una mezcla de residuos orgánicos y material de matriz porosa (13). En formas de realización particulares de la invención, la mezcla
15 puede ocurrir dentro del recipiente de reacción o embalse en el cual se inicia la combustión lenta. En la forma de realización particular de la Fig. 1, se representa una herramienta de mezcla helicoidal (12), aunque se puede usar cualquier forma, incluidas herramientas de mezcla en forma de paleta o sacacorchos.

Un recipiente de mezcla (11) puede ser una columna cilíndrica fabricada o una caja rectangular (por ejemplo, un
20 recipiente con paredes de acero inoxidable) o contenedor, un agujero excavado, una pila designada o un recinto amurallado en el cual se coloca un medio poroso y se mezcla con el líquido orgánico en preparación para la aplicación del proceso de combustión.

Los medios porosos pueden ser un material poroso suelto o fijo (13). Una matriz porosa fija puede ser un material
25 fabricado (por ejemplo, malla de acero, placa porosa, etc.) o natural (por ejemplo, roca de lava, coral, etc.). Se puede fabricar una matriz porosa suelta (granalla de acero, perlas de vidrio, etc.) o materiales naturales (por ejemplo, grava, arena, etc.).

El emplazamiento de la mezcla se puede lograr manualmente, a través de una retroexcavadora o excavadora,
30 automáticamente a través de un transportador de tornillo o sistemas de cintas transportadoras. El emplazamiento del líquido se puede lograr mediante suministro por vertido, bombeo, transportador o gravedad (por ejemplo, sifón).

Cualquier líquido orgánico puede reducirse volumétricamente por los procedimientos descritos en este documento. Los ejemplos de líquidos orgánicos para los cuales los procedimientos son particularmente efectivos incluyen mezclas
35 de hidrocarburos tales como alquitrán de hulla y creosota, hidrocarburos de petróleo, lodos de perforación y lodos de desecho.

La combustión lenta utilizada en este documento se inicia y mantiene preferiblemente en condiciones en las cuales se vuelve autosostenible. Algunos materiales pueden contener suficiente energía, de modo que la combustión lenta
40 puede iniciarse y mantenerse sin agregar sustancias que aumentan la energía a los desechos o mezclas. Sin embargo, ciertas sustancias de desecho pueden requerir la adición por lotes de uno o más suplementos de combustible antes de la ignición para garantizar que la combustión que se produce a continuación se convierta en autosostenible, o que la combustión que se produce a continuación tenga ciertas características, como una temperatura más alta. Los suplementos de combustible ejemplares incluyen aceite vegetal, alquitrán, lodos de perforación e hidrocarburos de
45 petróleo.

La Fig. 2 representa otra forma de realización de la invención en la cual un recipiente de mezcla o reacción (21) contiene una matriz porosa fija o suelta (22) en la que se agrega líquido orgánico (23) para crear una mezcla de líquido orgánico y material de matriz porosa. En formas de realización particulares donde un material orgánico líquido o
50 semilíquido se reduce volumétricamente, se crea una mezcla a medida que el líquido orgánico se filtra entre las partículas de la matriz. En formas de realización donde la matriz porosa está suelta, la mezcla puede ser asistida utilizando una herramienta de mezcla como se describe en este documento.

La herramienta de mezclado puede ser un mezclador mecánico (12) como una barrena o un tornillo u otros dispositivos
55 giratorios. La mezcla también se puede lograr a través de la vibración, o rotación (volteo) de todo el recipiente. La mezcla también se puede lograr de manera pasiva al agregar el líquido a los medios porosos dentro del recipiente y permitir que se disperse naturalmente debido a la gravedad o la capilaridad o por inyectado bajo presión en el fondo del recipiente, lo que llenaría el espacio de poros del medio a medida que migra a la parte superior del recipiente. El líquido orgánico se puede agregar a la matriz porosa como un flujo o torrente de líquidos a través de una tubería,
60 canaleta u otro emisor.

El proceso de mezcla puede tener lugar dentro del mismo recipiente utilizado para el proceso de combustión lenta en un proceso continuo, por lotes o semilotes, o completarse en un recipiente o aparato de mezcla dedicado por separado.

- 5 La adición del material de matriz suelta (22 o 33 de la Fig. 3 a continuación) se puede lograr manualmente, a través de una retroexcavadora o excavadora, o automáticamente a través de un transportador de tornillo o sistemas de cintas transportadoras.

- 10 El sistema de transporte puede ser un sistema de tornillo o cinta transportadora que va desde un recipiente de mezcla al recipiente de reacción y desde el recipiente de reacción a una pila de suelo de matriz tratado. El transportador de mezclas puede ser un transportador de tornillo u otro dispositivo de transporte mecánico o un mecanismo de liberación para permitir el paso del material tratado suministrado por gravedad a través del recipiente de reacción.

- 15 Un aspecto de la invención incluye la agregación de líquido orgánico en una matriz porosa. En formas de realización descritas en el presente documento, la agregación se produce cuando el depósito de líquido orgánico está en un recipiente por encima del suelo. Sin embargo, también es posible practicar una forma de realización de la invención cuando el líquido orgánico está en un embalse debajo del suelo (es decir, debajo de la superficie de la tierra) en una cavidad como una laguna o estanque. La Fig. 3 ilustra una forma de realización en la que el embalse es una laguna de líquido orgánico (31). La laguna incluye un volumen de líquido orgánico o semisólido (32) y en el que se agrega un material de matriz suelta (33) y se mezcla con una herramienta de mezcla (34) para crear una mezcla de líquido orgánico y material de matriz porosa. Un ejemplo de una laguna líquida orgánica (31) puede ser una excavación revestida o no alineada, una piscina convertida o una depresión natural utilizada para acumular y almacenar un líquido orgánico (32). Debe apreciarse que el orden de adición no es particularmente importante. También son posibles formas de realización donde la laguna se llena primero con material de matriz porosa y el líquido orgánico se agrega posteriormente o cuando el material de matriz porosa es suelo natural de relleno y el líquido orgánico se derrama sobre el suelo natural o se llena y se filtra hacia el suelo natural o relleno. De cualquier manera, se forma una mezcla en el espacio subterráneo de proporciones adecuadas para permitir la combustión y la reducción del líquido.

- 30 Otras formas de realización son posibles donde el depósito de líquido orgánico está sobre el suelo en una pila de matriz o montículo. La Fig. 4 ilustra una forma de realización de este tipo donde una pila de matriz (42) descansa sobre la superficie de la tierra (41) en la que se aplica un material líquido orgánico (43). Se puede utilizar una herramienta de mezcla (44) para hacer circular el líquido orgánico y crear la mezcla. La pila de matriz puede ser independiente o puede apoyarse dentro de estructuras adicionales o mediante estructuras adicionales. Por ejemplo, las paredes se pueden utilizar para encerrar la pila.

- 35 Un ejemplo de una pila de matriz (42) puede ser una pila de material excavado para la construcción de una depresión, una pila de material contaminado excavado como parte de una estrategia de saneamiento del sitio, o una reserva de material granular. El material orgánico se puede aplicar o mezclar con la pila de matriz vertiendo el líquido orgánico sobre la superficie de la pila de matriz a través de una tubería de suministro por gravedad o presurizado, canaleta o emisor, y permitiendo que se filtre en la pila de matriz por gravedad o presión forzada, excavada en la pila de matriz mediante arados cincel o azadones, mezclada mediante retroexcavadora, excavadora o plataformas de mezcla/perforación del suelo.

- 45 La Fig. 5 ilustra una mezcla líquido orgánico/matriz porosa que incluye partículas sólidas (51) y burbujas o ganglios continuos o discontinuos de líquido orgánico (52) ubicados dentro de los espacios porosos (53) de la matriz porosa. Incrustar el material combustible en una matriz porosa tiene varias ventajas. Primero, permite la concentración del líquido orgánico en un lecho de confinamiento. Las dimensiones y el volumen del lecho de confinamiento se pueden fijar para controlar con precisión la cantidad y la ubicación espacial de la reducción volumétrica de líquidos. En segundo lugar, cuando las reacciones exotérmicas (es decir, la combustión) liberan suficiente energía, la reacción puede ser autosostenible en medios porosos.

- 50 Aunque el principio de recirculación de calor es fácil de entender, su aplicación práctica requiere equilibrar muchas variables para garantizar la eficiencia, la intensidad de combustión controlada (es decir, para mantener la combustión lenta) y controlar las emisiones de contaminantes. Los atributos particulares de la matriz porosa que requieren optimización incluyen el tamaño de partícula de la matriz porosa (por ejemplo, desde micrómetros hasta muchas pulgadas), tamaño de poro, permeabilidad (1×10^{-5} centímetros por segundo a cientos de centímetros por segundo) y mineralogía (por ejemplo, arena de sílice, arena carbonatada, etc.). Los atributos particulares del líquido orgánico que requieren optimización incluyen la composición química (por ejemplo, contenido de carbono y energía calorífica inherente), viscosidad (por ejemplo, 1 centistoke a cientos de centistokes), densidad (por ejemplo, 200 a miles de kilogramos por metro cúbico), volatilidad (por ejemplo, volátil, semivolátil, no volátil), y humectabilidad (por ejemplo,

humectación orgánica o no orgánica). Los atributos particulares del sistema de combustión que requieren optimización incluyen el tiempo de precalentamiento (minutos a días), la intensidad del precalentamiento (temperaturas que van desde los cien grados centígrados hasta los dos mil grados centígrados), el caudal de oxidante inicial (de unos pocos milímetros por segundo a decenas de centímetros por segundo), tasa de flujo de oxidante mantenida (desde unos pocos milímetros por segundo a decenas de centímetros por segundo), presión del aire (ambiente a decenas de libras por pulgada cuadrada de presión de aire) y contenido de oxidante (por ejemplo, aire a oxígeno purificado).

En formas de realización de la invención, se ha encontrado que los siguientes materiales de matriz porosa forman mezclas adecuadas con el líquido orgánico: arena, suelos, limo, marga, relleno, adoquines, grava, cuentas cerámicas y cuentas de vidrio. Estos materiales, si se dimensionan correctamente, crearán una mezcla con un líquido orgánico con una relación de área de superficie a volumen de modo que las tasas de difusión del oxidante puedan exceder las velocidades de calentamiento y que una cantidad suficiente de calor generado durante el proceso de combustión se transfiera y almacene en el material de la matriz, a fin de hacer que el calor almacenado en el material de la matriz esté disponible para ayudar a una mayor combustión del líquido orgánico. El material de la matriz tiene características adicionales de suficiente espacio poroso para recibir un líquido orgánico mezclado con él, y características de superficie, forma y clasificación que son susceptibles al flujo de aire a través de los espacios porosos. El proceso operará a través de una gama de relaciones de líquido orgánico a matriz porosa, pero generalmente está restringido a los contenidos de líquido orgánico que ocupan entre el 0,01 % y el 100 % del espacio poroso de la matriz porosa.

La ignición de la combustión lenta requiere tanto una fuente de calor para iniciar la combustión como una fuente de oxidante para iniciar y mantener la combustión. La Fig. 6 ilustra un recipiente de reacción de combustión (61) que contiene una mezcla de líquido orgánico y matriz porosa (62). El oxidante se suministra al recipiente de reacción desde una fuente de oxidante (63) a través de un puerto de suministro de aire (64). El puerto de suministro de aire puede comprender una única abertura en el recipiente de reacción o puede comprender un colector con múltiples aberturas colocadas dentro del recipiente de reacción. Se muestran dos fuentes de calentamiento distintas, que se pueden utilizar solas o en combinación. Por ejemplo, una fuente de calentamiento (65) puede colocarse en línea con el oxidante suministrado para suministrar calor por convección a la mezcla. Las fuentes de calentamiento por convección también pueden colocarse dentro del recipiente de reacción o dentro de las paredes del recipiente de reacción. Además, se puede colocar una fuente de calefacción interna (66) dentro del recipiente de reacción para suministrar calor conductor o radiactivo para la ignición y el mantenimiento de la combustión lenta. Como se muestra en la Fig. 6, la fuente de calor interna conductora/radiactiva se puede colocar hacia el fondo del recipiente de reacción para propagar un frente de combustión "de abajo hacia arriba". Se pueden colocar fuentes de calor conductoras adicionales a lo largo de las paredes interiores del recipiente de reacción para iniciar la combustión a niveles variables dentro de la mezcla.

La fuente de oxidante puede ser un compresor de aire conectado al recipiente de reacción a través de tuberías o tubos con presión o flujo regulados o no regulados. El puerto de suministro de aire puede ser una serie de o sección única de un tubo perforado o una cavidad abierta (plenum) para distribuir el oxidante en el patrón deseado a través de la base de la mezcla. El elemento de calentamiento puede ser un calentador de cable de alimentación eléctrica, un calentador de cartucho de alimentación eléctrica, un calentador de tubo radiactivo en el cual el propano u otra fuente externa de combustible se suministran internamente y se queman.

Los orificios de suministro de aire pueden estar perforados directamente en acero al carbono, acero inoxidable u otras varas de material, acero al carbono, acero inoxidable u otros pozos de material con rejillas perforadas o enrolladas con alambre instaladas verticalmente o casi verticalmente a través de la pila de matriz o laguna. Los elementos de calentamiento pueden ser calentadores resistivos eléctricos o calentadores radiactivos instalados o colocados dentro de la vara o pozos, instalados en la pila de matriz que rodea la vara o pozo, o un elemento que se encuentra sobre el suelo y que calienta el aire que pasa a través de la vara o pozo y entra en la pila de matriz.

En formas de realización particulares, el oxidante es oxígeno suministrado como un componente del aire atmosférico. La reacción es controlable de manera que al terminar el suministro de oxígeno al frente de reacción se termina la reacción. Aumentar o disminuir la velocidad del flujo de oxígeno al frente de reacción también aumentará o disminuirá la velocidad de combustión y, por lo tanto, la velocidad de propagación del frente de reacción, respectivamente.

Debe apreciarse que la combustión se puede controlar de acuerdo con procedimientos conocidos por los expertos en la técnica para determinar las cantidades de oxígeno, aire u otro oxidante requerido para mantener la combustión lenta. Las temperaturas de combustión suelen controlarse con termopares que se pueden colocar en todo el volumen de material a tratar. Los gases de combustión también pueden recogerse en la salida del recipiente de reacción o en la superficie de la mezcla de líquido orgánico y material de matriz porosa para caracterizar las velocidades de destrucción de masa de líquido orgánico y la eficiencia de la combustión. Tales procedimientos son de práctica común para el control de muchos procesos de combustión, incluidos los sistemas de incineración.

Como se ilustra en la Fig. 7, las formas de realización de la presente invención pueden utilizar depósitos con múltiples puertos de suministro de aire y elementos de calefacción. La Fig. 7A representa una forma de realización en la que el depósito es una laguna de líquido orgánico que contiene una mezcla de líquido orgánico y matriz porosa (711). El oxidante se puede suministrar a la laguna de líquido orgánico o pila de matriz desde una fuente de oxidante (712) que se acopla a los puertos de suministro de aire (713). Los puertos de suministro de aire pueden ser perforados en una mezcla suficientemente sólida. Alternativamente, el orificio de suministro de aire puede estar perforado con ejes huecos insertados en mezclas suficientemente sólidas o incluso relativamente líquidas. Los puertos de suministro de aire se pueden espaciar de acuerdo con las dimensiones generales de la laguna para que el oxidante se administre en cantidad suficiente y a una velocidad suficiente en toda la laguna; lo que facilita la combustión lenta en toda la laguna. De manera similar, se puede colocar una o varias unidades de calentamiento por convección (714) en línea con el aire suministrado para iniciar la combustión lenta en múltiples puntos dentro de la laguna. Adicional o alternativamente, múltiples elementos de calentamiento conductivos, convectivos o radiactivos (715) pueden colocarse dentro de los orificios o ejes o dentro de materiales rellenos para que estén dentro de la laguna.

La Fig. 7B es una forma de realización en la que el depósito es una pila de matriz (721). Como se indicó anteriormente, se pueden usar tanto puertos de suministro de aire como elementos de calentamiento. Por ejemplo, se puede suministrar oxidante a la pila de matriz orgánica desde una fuente de oxidante (722) que se acopla a los puertos de suministro de aire (723). Los puertos de suministro de aire pueden ser perforaciones perforadas en una mezcla suficientemente sólida o ejes huecos perforados insertados en mezclas suficientemente sólidas o incluso relativamente líquidas. Los puertos de suministro de aire pueden estar espaciados de acuerdo con las dimensiones generales de la pila, de modo que el oxidante se administra en cantidad suficiente y a una velocidad suficiente en todo el espacio; lo que facilita la combustión lenta en toda la pila. De manera similar, uno solo o una pluralidad de elemento/s de calentamiento por convección (724) se pueden colocar en línea con el aire suministrado para iniciar la combustión lenta en múltiples puntos dentro de la pila de matriz. Adicional o alternativamente, múltiples elementos de calentamiento conductivos, convectivos o radiactivos (725) pueden colocarse dentro de los orificios o ejes o dentro de materiales rellenos para que sean internos a la pila de matriz.

La Fig. 8 ilustra formas de realización adicionales de depósitos con puertos de suministro de aire y elemento/s de calentamiento. En la Fig. 8A, se muestra una laguna de líquido orgánico que contiene una mezcla de líquido orgánico y matriz porosa (811). El oxidante se suministra a la laguna de líquido orgánico desde una fuente de oxidante (812) a través de uno o más puertos de suministro de aire (813) dentro o debajo de la laguna. Los puertos de suministro de aire pueden comprender múltiples puntos de entrada a la laguna o, como se muestra, una instalación de tipo múltiple colocada hacia el fondo de la laguna. Los elementos de calentamiento (814) pueden colocarse en línea con el oxidante suministrado o dentro o debajo de la laguna. Como se mencionó anteriormente, la posición particular del/de los elemento/s de calentamiento y los puertos de suministro de aire puede optimizarse para facilitar la combustión lenta según sea necesario para un material líquido orgánico dado.

La Fig. 8B es una forma de realización correspondiente en la que el depósito es una pila de matriz. En la Fig. 8B, se muestra una pila de matriz que contiene una mezcla de líquido orgánico y matriz porosa (821). El oxidante se suministra a la pila desde una fuente de oxidante (822) a través de un puerto de suministro de aire (823) dentro o debajo de la pila. Como se describe para las formas de realización de la laguna, varias configuraciones de puertos de suministro de aire son posibles, incluidas múltiples entradas y estructuras de tipo de colector único. Los elementos de calentamiento (824) se pueden colocar en línea con el oxidante suministrado para proporcionar calor por convección. Adicional o alternativamente, se puede colocar una fuente de calor conductora, convectiva o radiactiva (825) dentro o debajo de la pila. Las fuentes de calor más pequeñas, individuales, de convección o de radiación también pueden colocarse en múltiples ubicaciones dentro de la pila.

Los orificios de suministro de aire pueden estar perforados directamente en acero al carbono, acero inoxidable u otras varas de material, acero al carbono, acero inoxidable u otros pozos de material con rejillas perforadas o enrolladas con alambre instaladas verticalmente o casi verticalmente a través de la pila de matriz o laguna. Los elementos de calentamiento pueden ser calentadores resistivos eléctricos o calentadores radiactivos instalados o colocados dentro de la vara o pozos, instalados en la pila de matriz que rodea la vara o pozo, o un elemento que se encuentra sobre el suelo y que calienta el aire que pasa a través de la vara o pozo y entra en la pila de matriz.

Las formas de realización de la presente invención pueden diseñarse de modo que un frente de combustión se propague a través de un recipiente de reacción, laguna de matriz o pila de matriz. El frente de combustión puede dirigirse a través de las manipulaciones espaciales del flujo de aire y calentamiento para avanzar hacia arriba o lateralmente en cualquier dirección.

La Fig. 9 ilustra el progreso (91) del frente de combustión (92) a través de una mezcla de líquido orgánico y material de matriz porosa (93). En estas formas de realización, la propagación del frente de combustión avanza a lo largo de la dirección del flujo de aire (94). A medida que el frente de combustión avanza a través de la matriz porosa, el líquido orgánico dentro del frente de combustión se quema y el líquido orgánico antes del frente de combustión se calienta.

5 En esta forma de realización particular, la combustión del líquido orgánico procede esencialmente a completarse, lo que deja atrás un área de matriz porosa (95) donde el líquido orgánico ha sufrido una reducción volumétrica como resultado de la combustión lenta.

Formas de realización adicionales pueden transportar el líquido orgánico/matriz porosa en relación con el frente de combustión. La Fig. 10 ilustra un recipiente de reacción (101) de acuerdo con una forma de realización de este tipo, donde se utiliza un primer dispositivo transportador o de barrena (102) para transportar un suministro continuo o semicontinuo de una mezcla de líquido orgánico y material de matriz porosa (103) a un frente de reacción de combustión lenta pseudoestacionaria (104). El suministro de la mezcla se mantiene mediante el uso del sistema transportador (102), que transporta una mezcla premezclada de líquido orgánico y material de matriz porosa (103) al

10 recipiente de reacción. El frente de reacción de combustión lenta se mantiene mediante la adición de oxidante (105). Se puede utilizar una herramienta mezcladora o transportadora (106) para propagar la mezcla a través del recipiente de reacción. Aunque se describe una herramienta de mezcla helicoidal, se pueden utilizar herramientas de forma alternativa (por ejemplo, sacacorchos, paletas). La herramienta de mezcla también puede servir para hacer circular el oxidante a través de la mezcla. En el frente de combustión, el líquido orgánico en la mezcla se consume esencialmente

15 como resultado de la combustión lenta, y se logra una reducción volumétrica (106). La matriz porosa tratada (107) se retira del recipiente de reacción de una manera continua o semicontinua y se transporta a lo largo de un segundo sistema transportador (108) como una matriz porosa tratada (109).

En formas de realización adicionales, el líquido orgánico se puede mezclar con una matriz porosa que es combustible (por ejemplo, virutas de madera). Es decir, toda la mezcla se puede consumir esencialmente en el frente de combustión, lo que deja solo residuos de matriz no orgánica (por ejemplo, ceniza). En tales formas de realización, el residuo puede eliminarse mediante un dispositivo transportador o de barrena como se muestra en la Fig. 10.

En ciertas formas de realización, se puede utilizar una matriz porosa fija o semipermanente. En lugar de mezclar el líquido orgánico y la matriz porosa, estas formas de realización permiten que el líquido orgánico se filtre a través de un lecho de matriz fija o semipermanente. En formas de realización particulares con una matriz semipermanente, sin embargo, la filtración puede ser asistida con una herramienta de mezcla.

La Fig. 11 ilustra una forma de realización particular con una matriz porosa fija o semipermanente. Se muestra un

35 recipiente de reacción (111) con un lecho de matriz porosa fija o semipermanente (112) a la que se agrega un suministro continuo o semicontinuo de un líquido orgánico (no mostrado). Una vez formada la mezcla, se puede iniciar la combustión lenta en el frente de reacción de combustión (113). La combustión lenta puede ser iniciada por elementos de calentamiento convectivo, conductor o radiactivo colocados en el exterior, sobre el o en el recipiente de reacción proximal donde se debe iniciar la combustión lenta. La combustión lenta se puede mantener mediante la adición de

40 oxidante (114) a través de un puerto de suministro de aire (115). El frente de combustión avanza a lo largo de la dirección del flujo de aire a través de la mezcla de matriz porosa permanente o semipermanente y líquido orgánico. La posición del frente de reacción de combustión (124) se rige por la velocidad de adición de oxidante (123), la velocidad de adición de líquido orgánico y las propiedades de la mezcla de líquido orgánico y material de matriz porosa, y por parámetros operativos (p. ej., velocidad del flujo de aire). A medida que avanza el frente de combustión, el líquido

45 orgánico se reduce volumétricamente. Por debajo del frente de combustión se trata la matriz porosa (116).

La Fig. 12 es un diagrama de flujo de formas de realización de la invención. Primero, una matriz porosa se mezcla con un líquido orgánico (131). Como se describió anteriormente, se puede elegir una relación y combinación de líquido/matriz particular para facilitar la combustión lenta para tipos específicos de líquido orgánico. A continuación, el

50 oxidante es forzado a través de la mezcla (132). La presencia de oxidante permite iniciar y mantener la combustión (133). Como se describió anteriormente, la cantidad de oxidante, velocidad de flujo y componentes adicionales (por ejemplo, combustibles suplementarios agregados antes de la ignición) se puede utilizar para garantizar que la combustión se mantenga en un estado de combustión lenta y para optimizar la combustión para una mezcla particular.

55 **Ejemplo 1:**

Se llevaron a cabo pruebas de combustión lenta para el tratamiento de un material oleoso líquido (producto de desecho de refinería de petróleo y gas) en una columna de vidrio de cuarzo de 138 milímetros (mm) de diámetro y 275 mm de altura. Para preparar el material contaminado, el material oleoso se mezcló en una proporción de masa de 259 gramos

60 de aceite por kilogramo de arena de cuarzo disponible comercialmente (# 12ST Silica Sand, Bell & Mackenzie Co.

Ltd., Hamilton, Canadá) que se caracteriza por una densidad aparente de 1.600 kilogramos por metro cúbico, un tamaño de grano medio de 0,88 mm y una porosidad media del 37 % cuando se envasa en seco. La mezcla se homogeneizó mediante mezcla mecánica antes de envasarla en el dispositivo hasta un espesor de once centímetros. La mezcla fue subyugada por un difusor de aire suministrado por un compresor de aire y un calentador de cable con revestimiento de Inconel (Bluewater Heater Inc., Canadá). Se insertaron once termopares tipo K con revestimiento de Inconel en el paquete de arena a lo largo del eje central de la columna y espaciados a intervalos de 10 mm por encima del calentador de cable para rastrear las temperaturas dentro del aparato y, por lo tanto, la ubicación del frente de combustión a medida que se propaga a través de la mezcla. Los termopares se conectaron a un sistema de adquisición de datos (Interruptor multifunción/Unidad de medida 34980A, Agilent Technologies).

Al comienzo del experimento, la mezcla se calentó aplicando una corriente al calentador de cable y se inició el flujo de aire a través del difusor de aire a un flujo (Darcy) de 5,0 centímetros por segundo hasta que la temperatura de umbral de 280 grados Celsius se excedió dos centímetros por encima de la ubicación del calentador de cable. Este procedimiento de calentamiento simula una fuente de calor combinada conductiva y convectiva. Luego, la inyección de aire se aumentó y se mantuvo hasta el final del experimento a un flujo (Darcy) de 9,0 centímetros por segundo. El calentador del cable se apagó cuando la temperatura un centímetro por encima de la ubicación del calentador de cable comenzó a disminuir con el tiempo (es decir, después del pico), aproximadamente 9 minutos después de aumentar el flujo de aire de 5,0 a 9,0 centímetros por segundo. El experimento finalizó cuando la temperatura a once centímetros por encima del calentador de cable (es decir, en la parte superior de la mezcla) comenzó a disminuir con el tiempo (es decir, después del pico), aproximadamente 23 minutos después de aumentar el flujo de aire de 5,0 a 9,0 centímetros por segundo. La potencia máxima utilizada por el calentador de cable fue de aproximadamente 390 W.

La caracterización del experimento se llevó a cabo mediante los termopares ubicados dentro de la mezcla emplazada y mediante el análisis de muestras de mezcla de aceite/arena y muestras de emisiones gaseosas. Se recogió una muestra de suelo de 180 mililitros (ml) de un lote homogeneizado de la mezcla de tratamiento previo, y otra muestra de suelo de un lote homogeneizado de la arena tratada y se envió a Maxxam Analytics (London, Ontario) para el análisis de: 1) hidrocarburos de petróleo F1 y BTEX en suelo (Procedimiento CCME CWS); 2) hidrocarburos de petróleo F2-F4 en suelo (Procedimiento CCME CWS); 3) F4G (Procedimiento CCME Hidrocarburos Gravimétricos); y 4) compuestos de hidrocarburos poliaromáticos (HAP) en el suelo mediante GC/MS (Procedimiento EPA 8270). Una muestra representativa de las emisiones gaseosas se extrajo de la parte superior del dispositivo a una velocidad constante durante la duración del experimento para lograr una muestra integrada durante todo el procedimiento. La humedad y los componentes condensables se eliminaron de la corriente de gas y se recogieron en una trampa de condensado, mientras que la muestra de gas seco se recogió en una bolsa Tedlar de 5 litros. Las muestras de gas seco y de condensado se enviaron a Maxxam Analytics (London, Ontario) para el análisis de: 1) monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂) mediante GC/TCD (Procedimiento EPA 3C); 2) BTEX y compuestos orgánicos volátiles (COV) en la fase gaseosa (Procedimiento EPA TO-15A); 3) y BTEX y COV en el condensado (Procedimiento EPA 8260).

El protocolo de encendido descrito anteriormente (aplicar una corriente al calentador de cable con flujo de aire iniciado a través del difusor de aire a un flujo (Darcy) de 5,0 centímetros por segundo, seguido por un aumento en el flujo de aire a un flujo (Darcy) de 9,0 centímetros por segundo y la terminación de la fuente de calor) dio como resultado una combustión latente autosostenible de la mezcla. El comportamiento de combustión autosostenible se muestra en los gráficos de temperatura-tiempo presentados en la Fig. 13. Se sabe que el comportamiento autosostenible ocurre cuando se cruzan los gráficos de temperatura-tiempo decrecientes desde una ubicación al aumentar los gráficos de temperatura-tiempo desde una segunda ubicación adyacente. Este cruce de temperatura demuestra que la reacción crea un exceso de energía que permite que la reacción de combustión se propague (en este caso, en una dirección ascendente). Las temperaturas pico (máximas) se midieron con termopares en el rango de la mezcla de aproximadamente 480 a 520 grados durante el experimento, incluido el período de tiempo posterior a la terminación del calentador de cable. El análisis de los tiempos de llegada a la temperatura pico en cada termopar dentro de la mezcla indica que la velocidad de propagación de la combustión en combustión lenta es de aproximadamente 0,63 cm/min (1,26 pies por hora).

La Fig. 14 presenta una tabla de concentraciones de hidrocarburos de petróleo en el rango F1 y BTEX, rango F2-F4 y compuestos de HAP de la mezcla de aceite/arena antes del tratamiento. El contenido de agua medido antes de la prueba de la mezcla de aceite/arena fue del 12 % y la concentración de aceite por análisis gravimétrico fue de 259.000 mg/kg. Esto equivale a una concentración de aceite en peso seco de 139.000 mg/kg. La suma de la fracción F1-F4 de los aceites es de aproximadamente 76.500 mg/kg. La Fig. 14 también presenta el análisis de las fracciones F1 y BTEX, F2-F4 y HAP en el suelo después del tratamiento. Para la muestra posterior al tratamiento, se encontró que todos los compuestos analizados estaban por debajo de los límites mínimos de detección de la instrumentación analítica, lo que indica una reducción volumétrica del 100 % del líquido orgánico para los constituyentes examinados (suponiendo que

la falta de detección equivale a la ausencia completa de los constituyentes) .Este nivel de eliminación de aceite se puede ver en la Fig. 15, que muestra las fotografías de las muestras "antes" del tratamiento y "después" del tratamiento.

Las concentraciones de CO y CO₂ (gases de combustión) medidas durante la prueba fueron no detectada y 0,4 %, respectivamente. Los compuestos volátiles detectados en la fase de vapor por encima de 1 parte por millón por volumen (ppmv) incluyen: disulfuro de carbono, propeno, clorometano, 2-propanona, heptano y benceno. Los compuestos volátiles detectados en el condensado recolectado de la fase de vapor por encima de 1 parte por millón (ppm) incluyen: benceno, clorobenceno, etilbenceno, o-xileno, p+m-xileno y tolueno.

10 Se llevaron a cabo múltiples experimentos repetidos y se obtuvieron resultados muy similares a los descritos en la Fig. 13. Las modificaciones al protocolo de encendido, que incluyen el uso de un circuito puramente conductor (sin flujo de aire antes del encendido) o un procedimiento de calentamiento puramente convectivo (sin contacto entre el calentador de cable y la mezcla), también producen resultados similares a los descritos en la Fig. 13.

15 Los datos experimentales anteriores demuestran claramente que el procedimiento de la presente invención es una tecnología de tratamiento viable para la reducción volumétrica de líquidos orgánicos.

Se pueden hacer varias modificaciones a lo anterior sin apartarse del alcance de la presente invención. Por ejemplo, mientras los experimentos descritos anteriormente demuestran la propagación del frente de combustión en una dirección vertical hacia arriba, la propagación también puede realizarse horizontalmente o en cualquier otra dirección si se manipula suficientemente por la ubicación del encendido y la dirección del flujo de aire dentro de la mezcla.

Las formas de realización de la invención descritas anteriormente pretenden ser meramente ejemplares; numerosas variaciones y modificaciones serán evidentes para los expertos en la técnica. Se pretende que todas estas variaciones y modificaciones estén dentro del alcance de la presente invención como se define en cualquier reivindicación adjunta.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para la reducción volumétrica de un líquido orgánico residual en un volumen que es sustancialmente una fase líquida, comprendiendo el procedimiento:
 - mezclar el líquido orgánico residual con un material de matriz porosa para producir una mezcla;
 - calentar una porción de la mezcla;
 - forzar el oxidante a través de la mezcla; y
 - finalizar la fuente de calor aplicada a la mezcla; a fin de iniciar la combustión de la mezcla de combustión lenta autosostenible para causar una reducción volumétrica del líquido orgánico residual,
- caracterizado porque** la mezcla del material de matriz porosa comprende:
 - suministrar por lotes el líquido orgánico residual y del material poroso en un recipiente; o formar un lecho de confinamiento que comprende uno entre el material de matriz porosa y el líquido orgánico residual y verter continuamente en el lecho de confinamiento el otro entre el material de matriz porosa y el líquido orgánico residual.
2. El procedimiento para la reducción volumétrica del líquido orgánico residual de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende, además, provocar la propagación de la combustión lejos de un punto de ignición de la combustión.
3. El procedimiento para la reducción volumétrica del líquido orgánico residual de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además, agregar el líquido orgánico residual en un recipiente de reacción.
4. El procedimiento para la reducción volumétrica del líquido orgánico residual de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende, además, agregar el líquido orgánico residual en una pila que incluye el material de matriz porosa.
5. Procedimiento para la reducción volumétrica del líquido orgánico residual de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende, además, agregar la matriz porosa en una laguna líquida orgánica.
6. El procedimiento para la reducción volumétrica del líquido orgánico residual de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende, además, alimentar continuamente la mezcla en una zona de combustión lenta.
7. El procedimiento para la reducción volumétrica del líquido orgánico residual de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende, además, usar una herramienta de mezcla para mezclar el material de matriz porosa con el líquido orgánico residual para producir la mezcla.
8. El procedimiento para la reducción volumétrica del líquido orgánico residual de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la herramienta de mezcla incluye una cuchilla helicoidal giratoria.
9. El procedimiento para la reducción volumétrica de un líquido orgánico residual de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 3-8, en el que la mezcla del material de matriz porosa con el líquido orgánico residual para producir la mezcla comprende:
 - formar un lecho de confinamiento permanente o semipermanente que comprende el material de matriz porosa; y
 - verter continuamente el líquido orgánico residual en el lecho de confinamiento.
10. El procedimiento para la reducción volumétrica del líquido orgánico residual de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que forzar el oxidante a través de la mezcla incluye inyectar aire en la mezcla a través de un puerto de inyección.
11. El procedimiento para la reducción volumétrica del líquido orgánico residual de acuerdo con las reivindicaciones 1, 2, 4, 5, 6 o 9, que comprende, además:
 - mezclar el material de la matriz porosa con el líquido orgánico residual utilizando una herramienta de mezcla helicoidal para producir la mezcla;
 - suministrar la mezcla a través de un primer sistema de transporte a la zona de combustión lenta; y
 - retirar el producto quemado a través de un segundo sistema de transporte.

12. El procedimiento para la reducción volumétrica del líquido orgánico residual de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la mezcla contiene un material no combustible y el procedimiento comprende, además, la etapa de mantener la combustión latente autosostenible hasta que parte o todo el material no combustible se vuelve menos tóxico por la exposición al calor de la combustión.

5

13. El procedimiento para la reducción volumétrica del líquido orgánico residual de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además:
añadir un combustible suplementario seleccionado de un grupo que comprende aceite vegetal, alquitrán, oxidantes químicos, lodos de perforación e hidrocarburos de petróleo al agregado.

10

14. El procedimiento para la reducción volumétrica del líquido orgánico residual de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que:

el material de la matriz porosa se selecciona del grupo que consiste en arena, suelos, limo, marga, relleno, adoquines, grava, piedra triturada, vidrio, cerámica, zeolita, astillas de madera, carbón vegetal, carbón, recortes de perforación y

15 combinaciones de los mismos con el residuo líquido orgánico para producir una mezcla, en el que la mezcla es suficientemente uniforme para permitir una combustión lenta autosostenible.

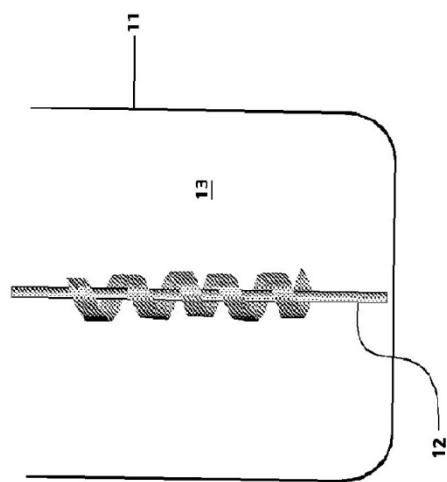


Fig. 1

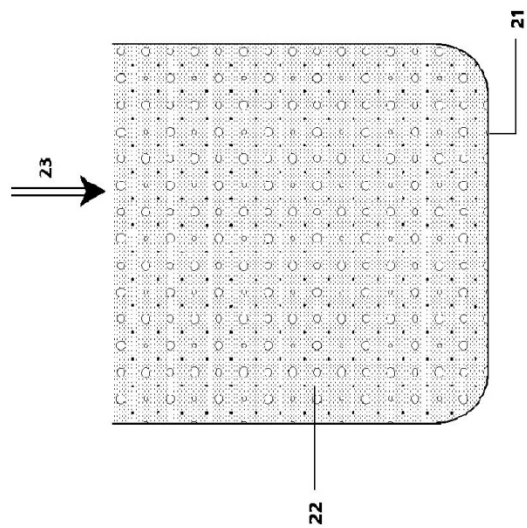


Fig. 2

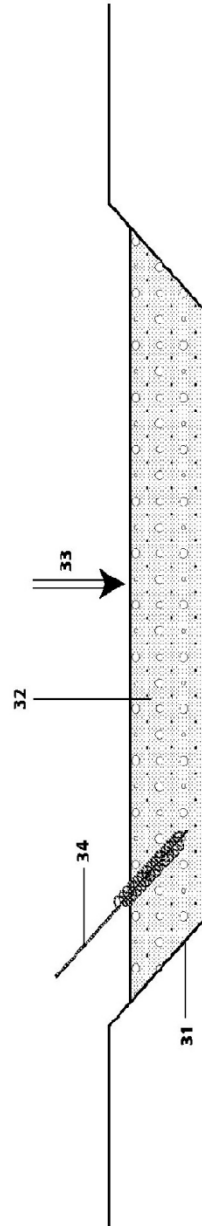


Fig. 3

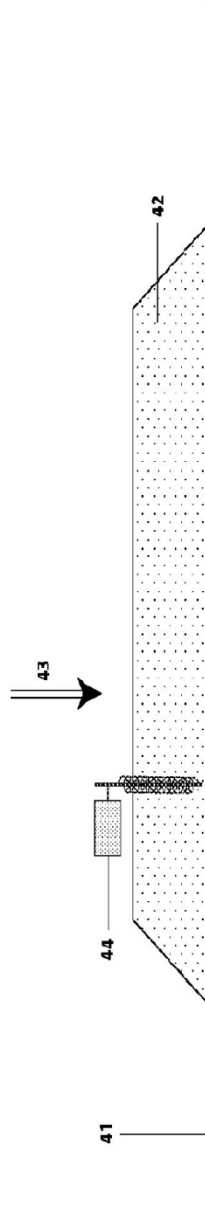


Fig. 4

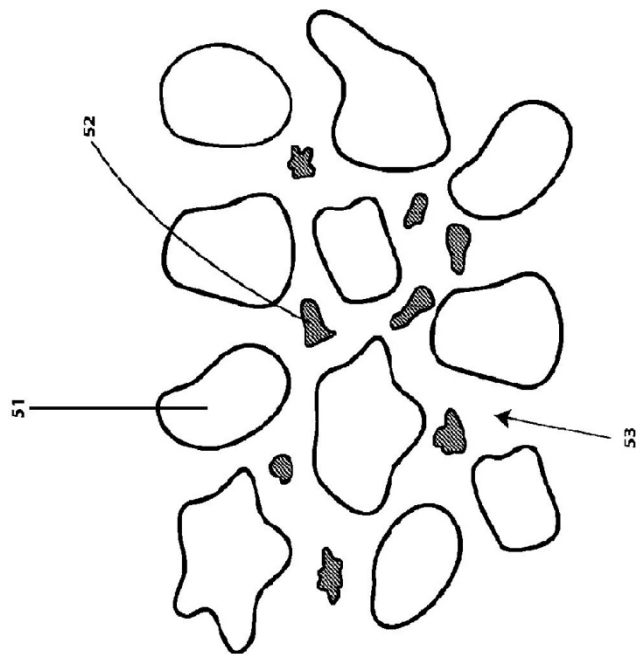


Fig. 5

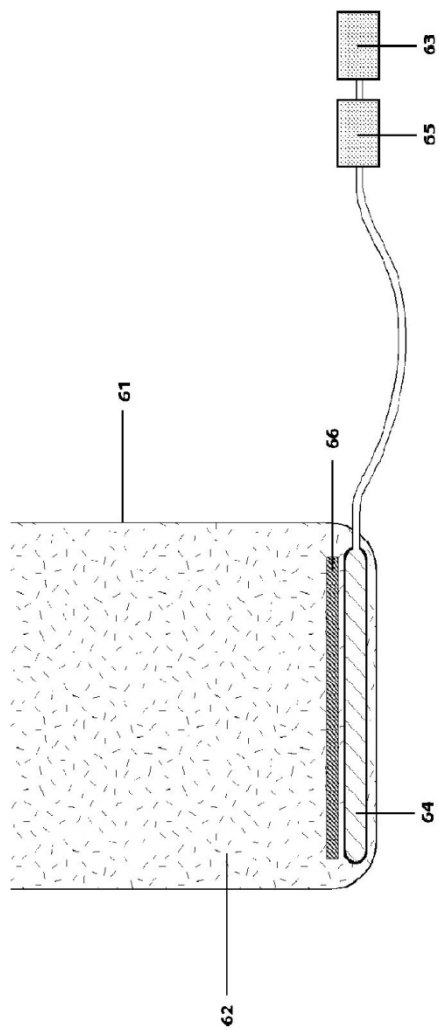


Fig. 6

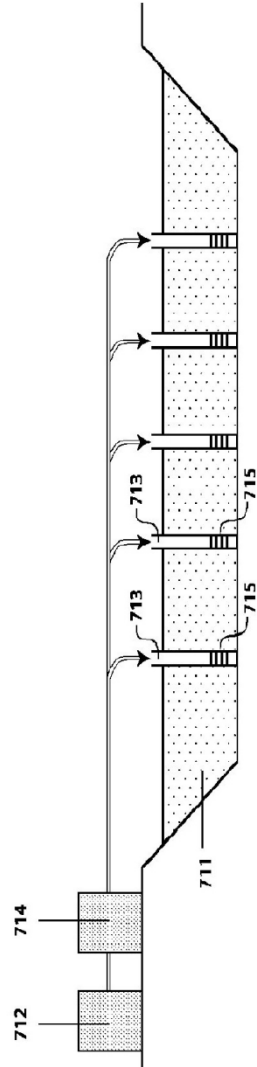


Fig. 7A

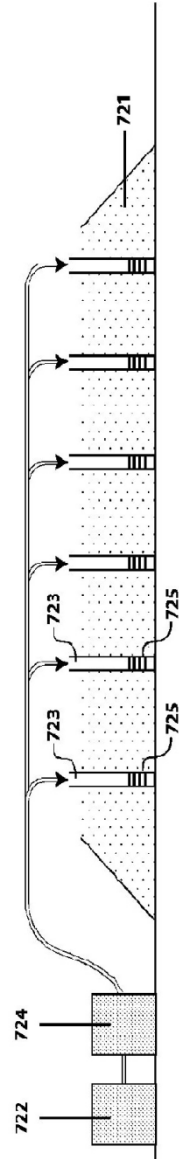


Fig. 7B

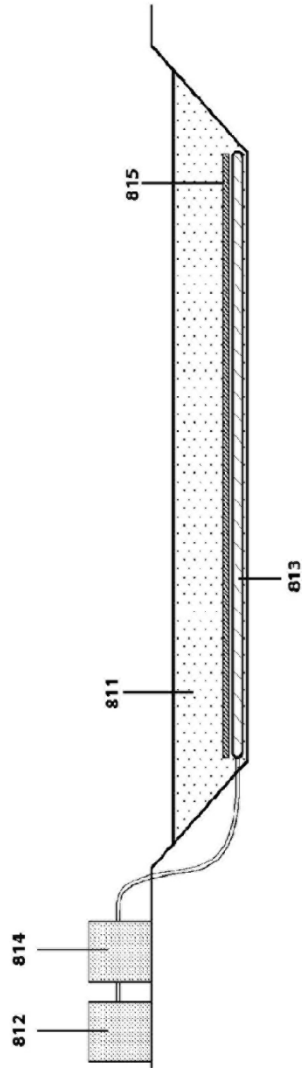


Fig. 8A

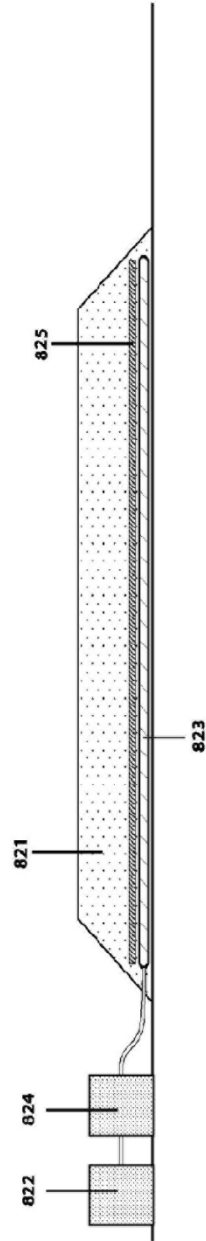


Fig. 8B

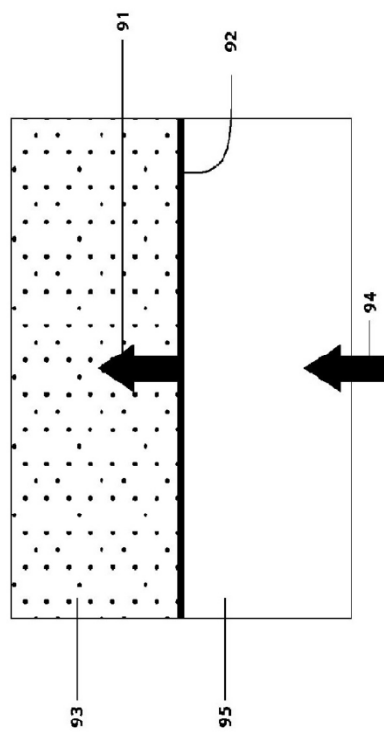


Fig. 9

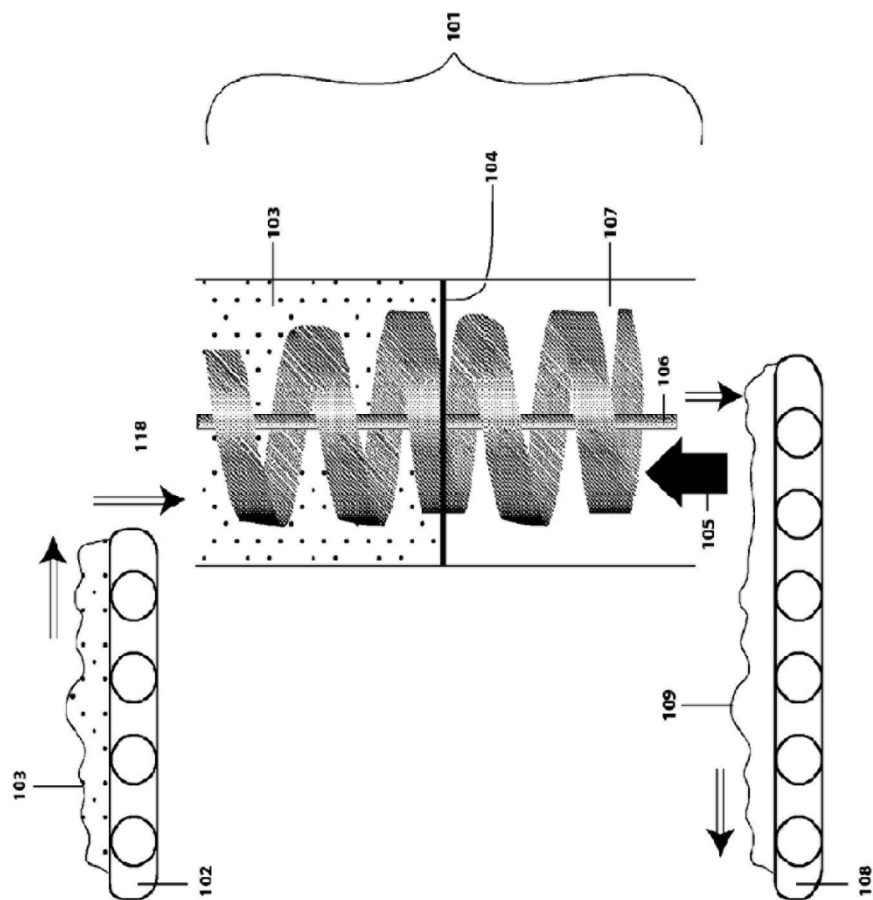


Fig. 10

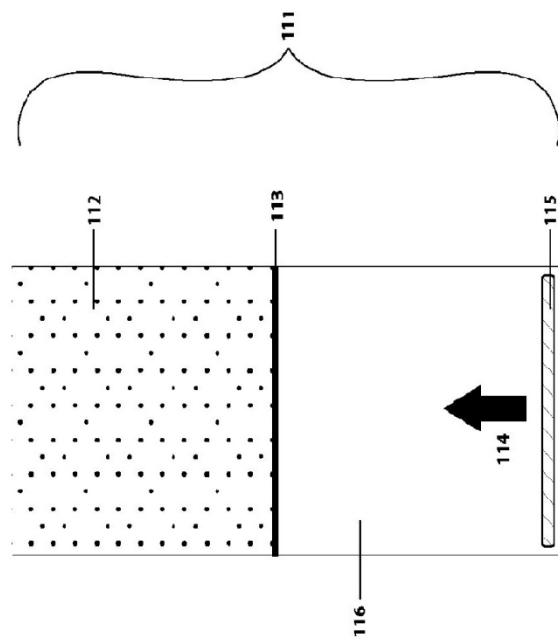


Fig. 11

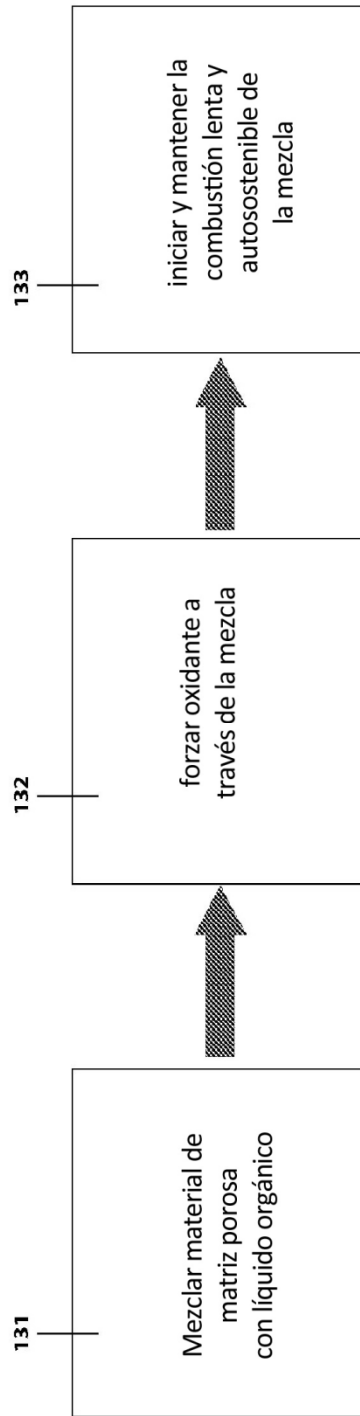


Fig. 12

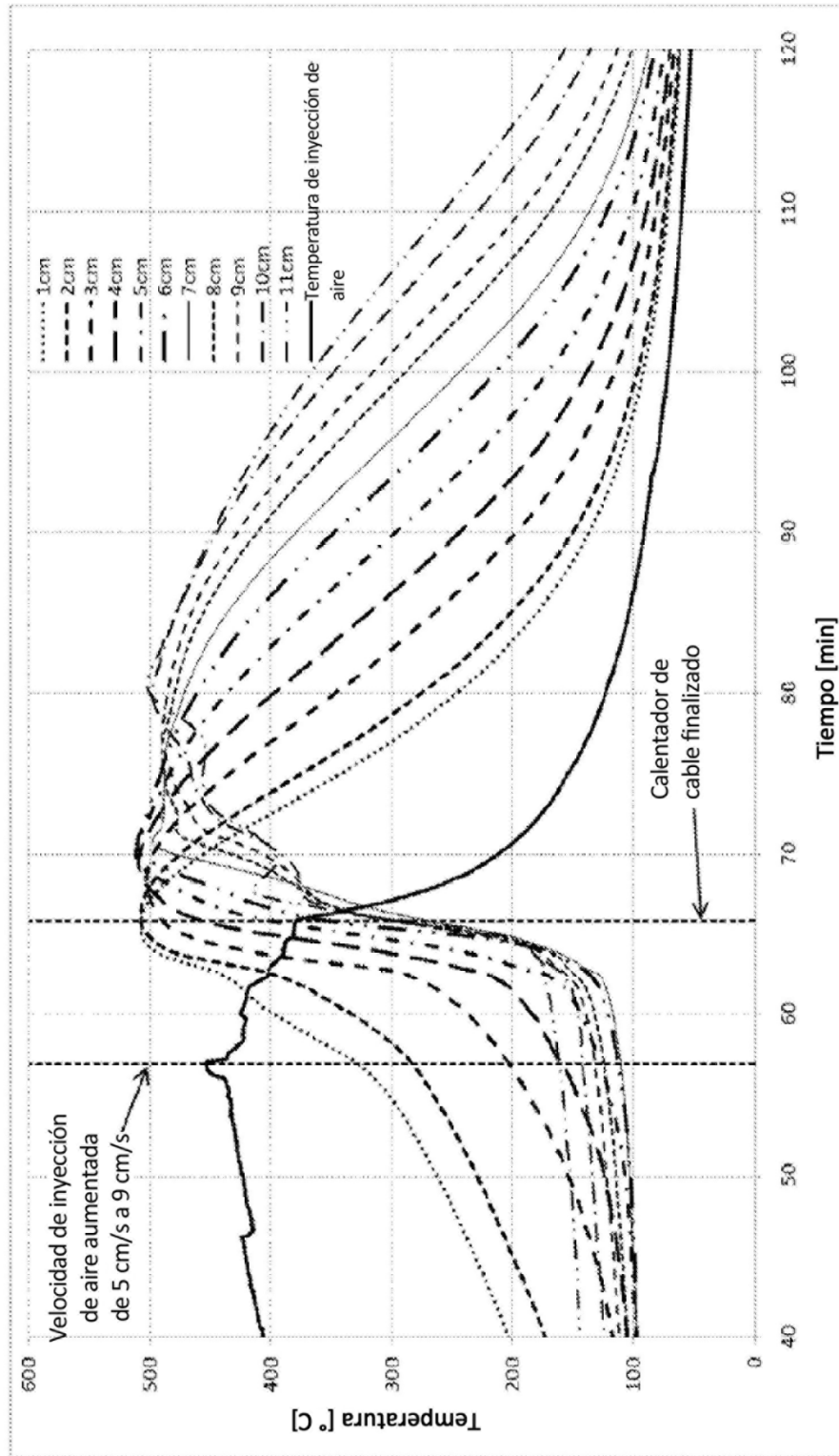


Fig. 13

Concentraciones de BTEX, F1, F2 a través de F4 e hidrocarburos poliaromáticos en suelo

Compuesto	Unidades	“Antes” del tratamiento STAR		“Después” del tratamiento STAR	
		Concentración en suelo	RDL	Concentración en suelo	RDL
BTEX & F1 hidrocarburos					
Benceno	mg/kg	ND	0,4	ND	0,02
Tolueno	mg/kg	8,0	0,4	ND	0,02
Etilbenceno	mg/kg	4,8	0,4	ND	0,02
o-Xileno	mg/kg	23	0,4	ND	0,02
p+m-Xileno	mg/kg	55	0,8	ND	0,04
Xilenos totales	mg/kg	78	0,8	ND	0,04
F1 (C6-C10)	mg/kg	3100	200	ND	10
F1 (C6-C10) - BTEX	mg/kg	3000	200	ND	10
F2-F4 hidrocarburos					
F2 (C10-C16 hidrocarburos)	mg/kg	37000	100	ND	10
F3 (C16-C34 hidrocarburos)	mg/kg	34000	100	ND	10
F4 (C34-C50 hidrocarburos)	mg/kg	2400	100	ND	10
Hidrocarburos poliaromáticos					
Acenafteno	mg/kg	7,3	0,2	ND	0,01
Acenaftileno	mg/kg	ND	4	ND	0,005
Antraceno	mg/kg	ND	0,1	ND	0,005
Benzo(a)antraceno	mg/kg	1,2	0,2	ND	0,01
Benzo(a)pireno	mg/kg	0,3	0,1	ND	0,005
Benzo(b/i)fluoranteno	mg/kg	0,9	0,2	ND	0,01
Benzo(g,h,i)perileno	mg/kg	ND	0,4	ND	0,02
Benzo(k)fluoranteno	mg/kg	ND	0,2	ND	0,01
Criseno	mg/kg	1,8	0,2	ND	0,01
Dibenz(a,h)antraceno	mg/kg	ND	0,4	ND	0,02
Fluoranteno	mg/kg	4,7	0,1	ND	0,005
Fluoreno	mg/kg	16	0,1	ND	0,005
Indeno(1,2,3-cd)pireno	mg/kg	ND	0,4	ND	0,02
1-Metil naftaleno	mg/kg	45	0,1	ND	0,005
2-Metil naftaleno	mg/kg	82	0,1	ND	0,005
Naftaleno	mg/kg	29	0,1	ND	0,005
Fenantreno	mg/kg	49	0,1	ND	0,005
Pireno	mg/kg	2,2	0,1	ND	0,005
Muestra a granel					
Concentración gravimétrica de aceite	mg/kg	259.000	-	ND	-
Contenido de agua	%	12	1	ND	1

Notas:

ND – No detectada

RDL – Límite de detección declarable

mg/kg - miligramos por kilogramo

Fig. 14

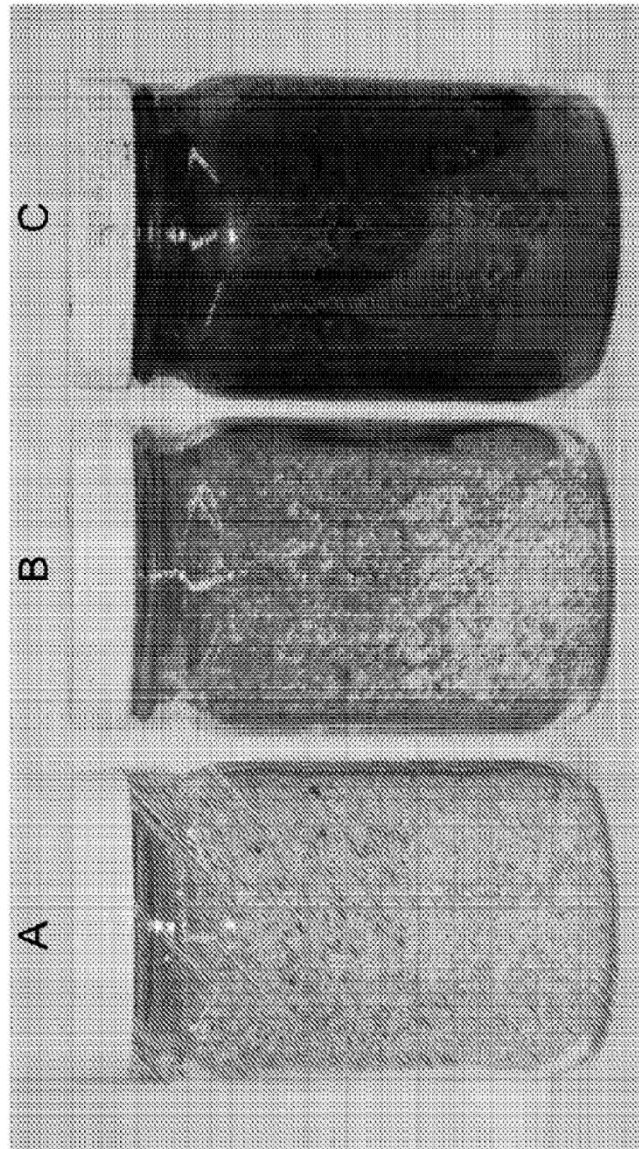


Fig. 15