

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 372 326**

51 Int. Cl.:  
**B09C 1/10** (2006.01)  
**B09C 1/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08425453 .1**  
96 Fecha de presentación: **26.06.2008**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2138245**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **30.12.2009**

54 Título: **PROCESO PARA DESCONTAMINAR SUELOS CONTAMINADOS CON AL MENOS UN CONTAMINANTE ENTRE HIDROCARBUROS, DIOXINA Y FENOLES.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**18.01.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**18.01.2012**

73 Titular/es:  
**BIODERMOL S.R.L.**  
**VIA G. DI VITTORIO 91**  
**38015 LAVIS (TN), IT**

72 Inventor/es:  
**Baruchelli, Dario y**  
**Baruchelli, Mauro**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 372 326 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Proceso para descontaminar suelos contaminados con al menos un contaminante entre hidrocarburos, dioxina y fenoles.

5 La presente invención se refiere a un proceso para descontaminar suelos contaminados con al menos un contaminante entre hidrocarburos, dioxina y fenoles.

10 El tratamiento y la descontaminación de materiales que contienen sustancias peligrosas es de notable y creciente importancia en los sectores más variados. Un ejemplo está dado por la frecuente solicitud de recuperar suelos que han sido contaminados con productos orgánicos, tales como compuestos de hidrocarburos. Normalmente, estos últimos contaminantes tienen origen en procesos industriales: en efecto, la producción, el transporte y el almacenamiento de productos químicos peligrosos (por ejemplo combustibles) ha provocado la contaminación medioambiental que ha perjudicado el ecosistema.

En particular, el perjuicio causado por la contaminación del suelo incluye la acumulación de contaminantes en plantas y animales. Asimismo, tales contaminantes pueden disolverse parcialmente en el agua, dañando así las aguas superficiales y los niveles freáticos.

15 Existen varios métodos conocidos para el tratamiento de suelos contaminados con al menos un contaminante entre hidrocarburos, dioxina y fenoles.

Las tecnologías de descontaminación brindan la posibilidad de eliminar o volver inocuas las sustancias que contaminan el suelo. Dependiendo del mecanismo principal en el cual se basan, se pueden distinguir tecnologías químicas, físicas, térmicas y biológicas.

20 Los tratamientos químicos, que emplean adecuadas reacciones del tipo oxidación – reducción (reacciones redox), transforman los contaminantes en sustancias menos tóxicas.

Los tratamientos físicos (por ejemplo extracción usando vapor) se basan en sistemas capaces de separar contaminantes de la matriz y obtenerlos en forma concentrada. Posteriormente, los contaminantes concentrados vienen sometidos a un tratamiento final (por ejemplo extracción con disolvente).

25 Los tratamientos térmicos apuntan tanto a destruir el contaminante (pirólisis) como a inmovilizarlo fundiendo el medio que lo contiene.

Normalmente, los tratamientos biológicos usan microorganismos para los cuales los contaminantes son alimento, con degradación del contaminante en dióxido de carbono y agua.

30 Es posible aplicar procesos de descontaminación directamente en el lugar de la contaminación, es decir, *in situ*, o después de excavar el suelo contaminado, es decir, *ex situ*. A su vez, los tratamientos *ex situ* vienen definidos *on site* si se los lleva a cabo en el lugar de la excavación o vienen definidos *off site* si se debe recurrir a plantas distantes.

Los tratamientos químicos presentan la desventaja que se deriva del hecho que, en la mayoría de los casos, en los suelos contaminados, vienen empleados productos químicos sintéticos agresivos, que conllevan en sí mismos el riesgo de perjudicar el medioambiente.

35 En segundo lugar, los tratamientos químicos, físicos y térmicos dan origen a productos contaminantes residuales, que, por ende, requieren a su vez dispositivos especiales para impedir una contaminación adicional.

Asimismo, en la mayoría de las aplicaciones esos métodos de descontaminación implican la excavación del suelo contaminado y su transporte a un lugar distante de descontaminación, lo cual, por consiguiente, conlleva un aumento de los costos y del tiempo necesarios para la descontaminación.

40 Finalmente, hablando en términos generales, los métodos descritos duran un período de tiempo relativamente largo.

45 Los límites de los tratamientos mencionados arriba implican que la práctica de descargar suelo contaminado, que no representa una solución efectiva de la contaminación sino que, por el contrario, simplemente desplaza el problema de un lugar a otro, todavía siga siendo muy difundida. El documento US 5.545.801 describe un proceso genérico para la descontaminación de suelo contaminado con hidrocarburos, que comprende varias etapas de agitación.

En esta situación, el cometido técnico que constituye el fundamento de la presente invención es el de proporcionar un proceso para descontaminar suelos contaminados con compuestos orgánicos, en particular con al menos un contaminante entre hidrocarburos, dioxina y fenoles, que elimine las desventajas mencionadas con anterioridad.

50 En particular, el cometido técnico de la presente invención es el de proporcionar un proceso para descontaminar suelos contaminados con al menos un contaminante entre hidrocarburos, dioxina y fenoles que no implique el uso de

productos químicos sintéticos agresivos, los cuales representan en sí mismos un peligro para el medioambiente.

Un segundo cometido técnico de la presente invención es el de proporcionar un proceso para descontaminar suelos contaminados con al menos un contaminante entre hidrocarburos, dioxina y fenoles que no produzca residuos contaminantes.

5 Además, la presente invención tiene como objetivo proporcionar un proceso para descontaminar suelos contaminados con al menos un contaminante entre hidrocarburos, dioxina y fenoles que pueda ser aplicado directamente en el lugar (on site) excavando el suelo contaminado y tratándolo en el mismo lugar (in situ).

10 Además, la presente invención tiene como objetivo proporcionar un proceso para descontaminar suelos contaminados con al menos un contaminante entre hidrocarburos, dioxina y fenoles cuya duración sea relativamente breve y que proporcione una óptima reducción de los niveles de contaminación.

Finalmente, otro cometido técnico de la presente invención es el de proporcionar un proceso para descontaminar suelos contaminados con al menos un contaminante entre hidrocarburos, dioxina y fenoles que sea fiable y relativamente económico.

15 Esos y otros objetivos, que se aclararán aún más en la descripción que sigue, se logran mediante un proceso para descontaminar suelos contaminados con al menos un contaminante entre hidrocarburos, dioxina y fenoles que comprende las características técnicas descritas en la reivindicación 1. En las reivindicaciones dependientes se describen otras ejecuciones ventajosas de la presente invención.

20 Otras ventajas y características se pondrán aún más de manifiesto en la descripción detallada que sigue, de una ejecución preferente y no limitativa de un proceso para descontaminar suelos contaminados con al menos un contaminante entre hidrocarburos, dioxina y fenoles de conformidad con la presente invención.

A continuación se proporciona dicha descripción haciendo referencia a los dibujos anexos, provistos únicamente a título ejemplificador y, por ende, no limitativo, en los cuales:

25 - la figura 1 es una vista esquemática de una planta para descontaminar suelos contaminados con al menos un contaminante entre hidrocarburos, dioxina y fenoles, adecuada para poner en acto el proceso de conformidad con la presente invención;

- la figura 2 es un diagrama de bloques de funcionamiento de la planta de la figura 1.

30 El proceso de descontaminación de conformidad con la presente invención es para descontaminar suelos contaminados con al menos un contaminante entre hidrocarburos, dioxina y fenoles. Por lo que concierne a los hidrocarburos, el proceso es para descontaminar tanto hidrocarburos livianos ( $C \leq 12$ , es decir hidrocarburos con doce o menos átomos de carbono) como hidrocarburos pesados ( $C > 12$ , es decir hidrocarburos con más de doce átomos de carbono), reduciendo o eliminando las cantidades de los mismos hidrocarburos: por ejemplo, llevando sus concentraciones a niveles aceptables para suelos en terrenos destinados a la construcción de viviendas (niveles normalmente definidos por la legislación nacional).

En general dicho proceso comprende varias etapas operativas.

35 Al comienzo, el suelo a descontaminar viene excavado y preferentemente homogeneizado de modo de eliminar el problema de cualquier presencia de alta concentración de contaminantes tóxicos y de alta concentración de arcilla. El suelo, preferentemente, viene homogeneizado simplemente mezclando el mismo suelo.

40 El suelo contaminado excavado, preferentemente, al comienzo viene tamizado para separar la parte con un tamaño de partículas que mide menos que un valor umbral predeterminado de la parte con un tamaño de partículas que mide más que dicho valor umbral predeterminado. El valor umbral predeterminado, preferentemente, está comprendido entre 30 y 100 mm, en función de la curva del tamaño de partículas del suelo. En particular, el valor umbral predeterminado será seleccionado hacia los límites inferiores del intervalo cuando la curva de tamaño de partículas no tiene altos porcentajes de arcilla, y hacia los límites superiores del intervalo si hay un alto nivel de presencia de arcilla.

45 Dicha etapa inicial de tamizado viene llevada a cabo porque la parte del suelo con el mayor tamaño de partículas (normalmente compuesta de piedras) no suele estar contaminada y, por ende, puede ser almacenada y excluida del tratamiento, puesto que ya es adecuada para ser vuelta a colocar en el terreno como suelo no contaminado. Por consiguiente, la etapa inicial de tamizado implica una reducción de la cantidad de suelo a tratar, lo cual representa una notable ventaja en términos económicos.

50 Posteriormente, el suelo contaminado (tamizado o sin haber sido tamizado) viene mezclado con una primera solución acuosa, que contiene una o varias enzimas, cuya función es la de acelerar la degradación microbiana de los contaminantes. De este modo se obtiene una masa sólida – líquida.

La mezcla tiene lugar en un reactor con un agitador en el cual se ha colocado una primera cantidad predeterminada de suelo contaminado, que naturalmente ya comprende microorganismos, aceptores de electrones

(principalmente oxígeno) y agentes tensoactivos.

La función de los agentes tensoactivos es la de promover la captura de los hidrocarburos en un medio acuoso en el cual contrariamente podrían ser prácticamente insolubles y el de facilitar el pasaje de los mismos hidrocarburos a través de la pared celular de los microorganismos, que, como es sabido, es hidrófila. La función de las enzimas en la primera solución acuosa es la de acelerar la degradación microbiana de los contaminantes. Dicha degradación se produce gracias a la acción de los microorganismos y de los aceptores de electrones ya presentes en el suelo.

Ventajosamente, la primera solución acuosa comprende una o varias enzimas seleccionadas a partir del grupo que incluye hidrolasa, proteasa, lipasa, amilasa, celulasa, carboxilasa, catalasa y fosfolipasa.

Más en particular, vienen utilizadas las enzimas derivadas de bacterias de la familia Bacilli (entre las cuales "Bacillus licheniformis") o Pseudomonas o de hongos de la familia Thermomyces (entre los cuales "Thermomyces lanuginosus") o de "Aspergillus Oryzae". Asimismo, preferentemente vienen utilizadas las enzimas contenidas en pancreatina.

Luego el proceso pasa a la etapa operativa de agitar la masa sólida – líquida por un tiempo predeterminado, de modo que dicha una o varias enzimas puedan llevar a cabo su acción catalítica para la rotura de los contaminantes por parte de los microorganismos presentes en el suelo contaminado. La agitación tiene el cometido de mejorar el contacto sólido – líquido y el agua crea las mejores condiciones para que los microorganismos ataquen el contaminante.

La relación entre la cantidad de la primera solución acuosa y la cantidad de suelo contaminado, la concentración de enzimas en la primera solución acuosa y la duración de la etapa operativa de agitación de la masa sólida – líquida depende de varios parámetros. En particular, depende de la curva del tamaño de partículas del suelo contaminado, de la magnitud de la contaminación (cantidad de contaminante) y del tipo de contaminación (en el caso de hidrocarburos, relación de hidrocarburos livianos e hidrocarburos pesados  $C \leq 12 / C > 12$ ) del mismo suelo. Por consiguiente, la relación de la cantidad de la primera solución acuosa y la cantidad de suelo contaminado, la concentración de enzimas y la duración de la etapa operativa de agitación debe ser definida en base a cada caso específico en función de los requerimientos, por medio de pruebas iniciales de puesta a punto en una planta piloto.

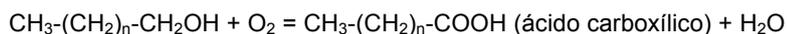
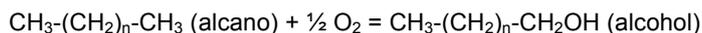
La presencia del medio acuoso permite llevar a cabo dos acciones fundamentales:

- mejora la prestación de los microorganismos porque la eficacia de su acción es proporcional al valor de actividad del agua (aw) del medio en que se hallan (masa sólida – líquida);
- le permite a las enzimas llevar a cabo su acción catalítica puesto que para ellas es más fácil entrar en contacto con los componentes de la reacción a catalizar en comparación con lo que podría suceder de existir únicamente suelo contaminado.

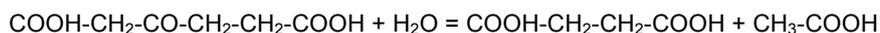
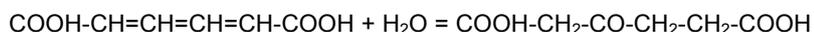
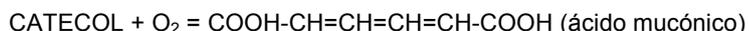
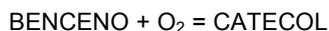
Los agentes tensoactivos (producidos, por ejemplo, por los microorganismos presentes en el suelo) fomentan la formación de emulsiones de contaminante - agua. Los contaminantes emulsionados adquieren propiedades hidrófilas con lo cual pueden pasar a través de la pared celular del microorganismo. Una vez entrados en la célula microbiana, los contaminantes vienen gradualmente rotos por medio de una sucesión de reacciones químicas de oxidación y de otros tipos. Para que ello tenga lugar, cada una de esas reacciones necesita un aceptor de electrones, generalmente oxígeno, y un catalizador constituido por una proteína específica (enzima).

De este modo viene activado un recorrido metabólico con dos o más etapas, que implica una reacción química, con la intervención de una enzima, que cataliza la transformación de un contaminante en un primer subproducto. Dicho primer subproducto, a su vez, viene transformado en un segundo subproducto, gracias a una posterior enzima, con otra reacción química. El recorrido metabólico sigue con similares y sucesivas reacciones químicas, hasta que el contaminante haya sido mineralizado, parcial o totalmente, y transformado en dióxido de carbono y agua.

Por ejemplo, el recorrido metabólico de degradación de alcanos puede ser resumido de la siguiente manera:



mientras que el recorrido metabólico por degradación de benceno puede ser resumido de la siguiente manera:



Cada etapa de los procesos mencionados arriba implica la intervención de al menos una enzima, si bien por

motivos de claridad esto no está indicado en las fórmulas de arriba.

Tanto los alcoholes como los ácidos carboxílicos, formados durante las reacciones químicas, vienen secretados por la célula del microorganismo. Luego vienen rotos en dióxido de carbono y agua en el mismo proceso o en un tratamiento biológico posterior y a su vez vienen usados como agentes tensoactivos para mejorar la dispersión de hidrocarburos en agua.

Después de lo cual, completada la etapa operativa de agitación del suelo con la primera solución acuosa que contiene una o más enzimas, el proceso sigue con la etapa operativa de separar la masa sólida – líquida. Dicha etapa incluye la división de la masa sólida – líquida en una suspensión acuosa residual y en una parte sólida que, por lo tanto, contiene una reducida cantidad de contaminante. Dicha etapa puede ser llevada a cabo de varias maneras, por ejemplo mediante tamizado o centrifugación.

Preferentemente, la última etapa operativa comprende otras dos etapas operativas. En primer lugar, el proceso incluye el tamizado de la masa sólida – líquida, de modo de dividirla en la parte sólida y en una segunda suspensión acuosa. El tamizado se lleva a cabo de manera que la parte sólida incluya el suelo con un tamaño de partículas mayor que 500 micrones (obviamente, si al comienzo del proceso ha sido efectuado el tamizado inicial, la parte sólida tendrá un tamaño de partículas comprendida entre 500 micrones y el valor de umbral predeterminado). Sucesivamente, el proceso pasa a la etapa operativa de filtrado de la segunda suspensión acuosa para obtener la suspensión acuosa residual.

El suelo descontaminado por filtración, que contiene el 15 – 20% de agua con la parte de enzimas no deterioradas durante el proceso, viene mezclado con el suelo descontaminado con un tamaño de partículas comprendido entre 500 micrones y el valor umbral predeterminado, proveniente de la etapa de tamizado de la masa sólida – líquida (que contiene el 15 – 20% de agua con sus enzimas no deterioradas), obteniendo así la parte sólida constituida por un suelo descontaminado húmedo.

Gracias a la presencia de aire incorporado en las operaciones de mezclado, de humedad, de microorganismos y de enzimas presentes en el suelo descontaminado húmedo, continúa la biodegradación microbiana de cualquier contaminante residual que pudiera haber en el suelo y, además, se producen reducciones de toda carga contaminante que pudiera haber de aproximadamente el 70 – 90% en un período de tiempo de 1 – 2 meses.

Después de la etapa operativa de separar la parte sólida de la suspensión acuosa residual, la parte sólida viene almacenada y, de ser necesario, unida y mezclada con la parte del suelo descontaminado con un tamaño de partículas mayor que el valor umbral predeterminado, que fue almacenado con anterioridad durante la etapa operativa inicial de tamizado.

El proceso, luego, puede incluir varias etapas operativas.

En un caso, el proceso puede incluir la etapa operativa de agregar enzimas frescas a la suspensión acuosa residual, luego usar esta solución acuosa a la cual han sido agregadas las enzimas frescas como primera solución acuosa. Por lo tanto, dicha solución acuosa a la cual han sido agregadas enzimas frescas viene usada y mezclada en el reactor con el suelo contaminado, durante una nueva etapa operativa de agregado de la primera solución acuosa al suelo contaminado.

Alternativamente, el proceso podría incluir la etapa operativa de enviar la suspensión acuosa residual a un tratamiento biológico y, por consiguiente, la primera solución acuosa viene reemplazada en su totalidad.

Ventajosamente, el proceso podría incluir el uso parcial de ambas soluciones mencionadas arriba. En particular, en la ejecución preferente, parte de la suspensión acuosa residual posee enzimas frescas agregadas a la misma y viene usada como primera solución acuosa, y parte viene enviada para un tratamiento biológico y viene reemplazada por una solución fresca. Durante el tratamiento biológico sigue el metabolismo de los productos que se formaron durante el tratamiento y disueltos o dispersos en la solución acuosa.

Ventajosamente, el proceso para descontaminar suelos contaminados con al menos un contaminante entre hidrocarburos, dioxina y fenoles descrito arriba puede ser llevado a cabo on site (es decir, cerca del lugar a descontaminar, evitando así la necesidad de transportar el suelo contaminado lejos de allí) o transportando el suelo contaminado a plantas alejadas de allí (off site).

Asimismo, dicho proceso, preferentemente, viene llevado a cabo a temperatura ambiente. En particular, si el proceso se lleva a cabo on site, la temperatura depende del período del año y del área en la cual está ubicado el suelo. Sin embargo, el proceso también puede ser llevado a cabo a temperaturas por encima de la temperatura ambiente, introduciendo un fluido de calentamiento dentro de la camisa del reactor. Ventajosamente, la temperatura a la cual viene llevado a cabo el proceso está comprendida entre 30 y 40°C, preferentemente entre 36 y 37°C y aún más preferiblemente a 36,5°C.

Ventajosamente, el proceso de descontaminación provoca una concentración de hidrocarburos livianos ( $C \leq 12$ ) menor que 10 mg/kg en el suelo y/o una concentración de hidrocarburos pesados ( $C > 12$ ) menor que 50 mg/kg.

El proceso de descontaminación puede ser llevado a cabo, usando una planta adecuada, de dos maneras: como proceso intermitente o como proceso continuo.

El proceso intermitente, ventajosamente, viene llevado a cabo con una planta para descontaminar suelos contaminados con al menos un contaminante entre hidrocarburos, dioxina y fenoles, como se puede ver en las figuras 1 y 2.

Dicha planta se compone de un sistema para cargar el suelo contaminado, preferentemente una tolva de carga (1) que al comienzo elimina el suelo con un tamaño de partículas muy elevado que podría dañar los aparatos que siguen (por ejemplo tamaño de partículas > 100 mm).

Posteriormente el suelo viene transportado a un sistema de tamizado inicial en seco, para separar el suelo con un tamaño de partículas mayor que el valor umbral predeterminado del suelo con un tamaño de partículas menor que dicho valor. Preferentemente, este tamizado viene llevado a cabo usando un primer tamiz vibrador (2).

Preferentemente, el movimiento del suelo entre las distintas etapas operativas del proceso viene realizado mediante cintas transportadoras (3).

El suelo con un tamaño de partículas mayor que el valor umbral predeterminado no viene tratado y, por ende, viene transportado fuera de la planta.

Por el contrario, el suelo con un tamaño de partículas menor que el valor umbral predeterminado viene enviado a un reactor (4), preferentemente vertical y que posee un propulsor interno y deflectores en las paredes.

Además del suelo contaminado, dentro del reactor (4) también viene introducida la primera solución acuosa (5) que contiene las enzimas. Luego, la masa sólida – líquida obtenida viene agitada por un lapso de tiempo predeterminado.

Una vez terminada la etapa de agitación, la masa sólida – líquida viene transferida a un sistema para separar la parte sólida de la suspensión acuosa residual.

Preferentemente, la masa sólida – líquida viene transportada a un segundo tamiz vibrador (7). En dicho tamiz el suelo con un tamaño de partículas mayor que 500 micrones viene separado de la segunda suspensión acuosa. Dicho suelo puede ser considerado descontaminado (lo que equivale a decir, que tiene una concentración de contaminante igual a cero o menos que un límite predeterminado) y, por ende, viene transportado fuera de la planta. Por el contrario, preferentemente la segunda suspensión acuosa viene enviada a un tanque de almacenamiento (8) luego viene filtrada usando una prensa filtradora (9), para obtener la suspensión acuosa residual.

Alternativamente al tamizado y filtrado, para separar la parte sólida de la parte líquida es posible utilizar otros métodos, por ejemplo la sedimentación.

A la suspensión acuosa residual viene agregada una solución fresca de enzimas y viene reciclada o bien viene reemplazada por una solución fresca y enviada para un tratamiento biológico (10).

La estructura de la planta con proceso continuo para descontaminar suelos contaminados con al menos un contaminante entre hidrocarburos, dioxina y fenoles es prácticamente igual a la de la planta con proceso intermitente. La única etapa operativa que difiere es la de mezclar y agitar la masa sólida – líquida.

El suelo contaminado que posee un tamaño de partículas menor que el valor umbral predeterminado que preferentemente sale del primer tamiz vibrador (2) viene enviado, junto con la primera solución acuosa (5) a un reactor (4), que preferentemente es horizontal. El reactor (4) posee un propulsor interno que lleva el suelo contaminado contra el flujo de la primera solución acuosa (5). Por lo tanto, el suelo contaminado, preferentemente, viene introducido a través de una primera boca de entrada del reactor (4), mientras que la primera solución acuosa (5) viene alimentada desde una segunda boca de entrada, situada del lado opuesto con respecto a la primera boca de entrada.

Las demás etapas operativas de la planta de proceso continuo son iguales a aquellas de la planta de proceso intermitente.

Todos los aparatos que componen las plantas descritas arriba (intermitentes y continuas) pueden ser proyectados de modo que puedan ser transportados, permitiendo que la descontaminación pueda ser llevada a cabo on site.

A título ejemplificador a continuación se describe una prueba llevada a cabo en el campo.

Del lugar a descontaminar con un área de 1.200 m<sup>2</sup> y contaminado con hidrocarburos hasta una profundidad de 3 metros se ha tomado una muestra representativa del suelo contaminado. El terreno donde fue localizado el suelo previamente fue empleado como depósito de combustible y, el contenido promedio de hidrocarburos totales estaba comprendido entre 1.000 y 1.500 mg/kg dependiendo de las áreas del suelo. Los hidrocarburos hallados fueron hidrocarburos pesados con C > 12 y C < 40.

El peso total de la muestra representativa del suelo a descontaminar (8 toneladas) corresponde a la carga del mezclador industrial.

5 El suelo fue descontaminado usando una planta prototipo para descontaminar suelos contaminados con al menos un contaminante entre hidrocarburos, dioxina y fenoles con un proceso intermitente, del tipo móvil y constituida por un reactor con un propulsor interno, un tamiz en húmedo y un sistema de filtrado.

La capacidad de la planta prototipo era de 200 kg/h de suelo a tratar. El suelo contaminado al comienzo fue tamizado en seco para separar la fracción con un tamaño de partículas mayor que 100 mm (seleccionado como valor umbral predeterminado y que representaba el 10 – 15% del total).

10 Sucesivamente, la fracción con un tamaño de partículas mayor que 100 mm fue almacenada en el área de suelo descontaminado porque, en términos generales, venía considerada no estar contaminada de modo significativo.

Por el contrario, la fracción de suelo contaminado con un tamaño de partículas menor que 100 mm fue cargada en el reactor en una cantidad de 200 kg por vez.

15 Luego al reactor se agregó una primera solución acuosa. La solución comprendía agua, enzimas (obtenidas a partir de pectatina, Bacillus licheniformis, Thermomyces lanuginosus y Aspergillus Oryzae) y carbonato de sodio (para llevar el pH a un valor óptimo para la acción enzimática). La magnitud (en peso) del agua era igual a la magnitud de suelo tratado. La magnitud (en peso) de enzimas era igual a 1,5% del peso con respecto a la magnitud de agua. La magnitud de carbonato de sodio era igual al 0,5% del peso con respecto a la magnitud de agua (dicha cantidad de carbonato de sodio es necesaria para ajustar el pH de la solución al valor ideal).

20 Luego la masa sólida – líquida fue agitada por un período de tiempo de aproximadamente una hora a temperatura ambiente generalmente comprendida entre 15 y 30°C.

25 Luego la masa sólida – líquida fue descargada del reactor y enviada para su tamizado en húmedo que separó el suelo húmedo con un tamaño de partículas comprendido entre 500 micrones y 100 mm. El suelo separado presentaba las siguientes propiedades: porcentaje con relación al suelo total cargado 10 – 15%, humedad 25% y contenido de hidrocarburos menor que 50 mg/kg. Los hidrocarburos que quedaron en el suelo eran residuos de los que había al comienzo del tratamiento y que no fueron eliminados.

El agua y el suelo con un tamaño de partículas menor que 500 micrones de salida del tamiz (segunda suspensión acuosa) fueron enviados a un sistema de filtrado que separó el suelo descontaminado de la suspensión acuosa residual.

El suelo descontaminado fue enviado al área de almacenamiento de suelo descontaminado.

30 El 50% de la suspensión acuosa residual proveniente de cada ciclo fue reutilizada para una nueva primera solución acuosa (y, por ende, fue agregado al 50% de nueva solución) mientras que el otro 50% fue enviado a una planta de tratamiento biológico, tal como el purificador biológico.

35 Del análisis de la suspensión acuosa residual surgieron únicamente residuos no peligrosos (clasificados como 161002 en la lista de residuos peligrosos contenida en el anexo a la decisión enmendada de la Comisión Europea 2000/532/EC).

El proceso para descontaminar suelos contaminados con al menos un contaminante entre hidrocarburos, dioxina y fenoles que se acaba de dar a conocer logra los objetivos fijados de antemano.

40 En primer lugar, el proceso para descontaminar suelos contaminados con al menos un contaminante entre hidrocarburos, dioxina y fenoles de conformidad con la presente invención no implica la utilización de productos químicos sintéticos agresivos, los cuales representan en sí mismos un peligro para el medioambiente.

En segundo lugar, el proceso para descontaminar suelos contaminados con al menos un contaminante entre hidrocarburos, dioxina y fenoles dado a conocer no produce residuos contaminantes.

En tercer lugar, el proceso para descontaminar suelos contaminados con al menos un contaminante entre hidrocarburos, dioxina y fenoles puede ser llevado a cabo directamente on site.

45 Asimismo, el proceso para descontaminar suelos contaminados con al menos un contaminante entre hidrocarburos, dioxina y fenoles es de una duración relativamente corta y proporciona una óptima reducción de los niveles de contaminación.

Finalmente, cabe hacer notar que la presente invención es fiable y que incluso el costo relacionado a la puesta en acto de la invención es relativamente bajo.

## REIVINDICACIONES

- 1.- Proceso para descontaminar suelos contaminados con al menos un contaminante entre hidrocarburos, dioxina y fenoles, que comprende las etapas operativas de:
- excavación del suelo contaminado;
  - 5 - tamizado del suelo contaminado excavado para separar una primera parte con un tamaño de partículas menor que un valor umbral predeterminado de una segunda parte con un tamaño de partículas mayor que dicho valor umbral predeterminado, el valor umbral predeterminado estando comprendido entre 30 mm y 100 mm;
  - colocación de una primera cantidad predeterminada de la primera parte del suelo contaminado tamizado en un reactor;
  - 10 - agregado a dicha primera cantidad predeterminada de una primera solución acuosa que contiene una segunda cantidad predeterminada de al menos una enzima, obteniendo así una masa sólida – líquida;
  - agitación de la masa sólida – líquida por un lapso de tiempo predeterminado, de modo que dicha al menos una enzima catalice una degradación microbiana del contaminante que hay en el suelo contaminado; durante dicha etapa operativa de agitación, dicha al menos una enzima interactuando con el contaminante y catalizando la transformación de al menos parte del contaminante en subproductos, por medio de reacciones químicas entre el contaminante y agua y oxígeno que hay en la masa sólida – líquida y el contaminante al menos en parte separándose del suelo y pasando dentro de la parte líquida de la masa sólida – líquida; y
  - 15 - una vez terminada la etapa de agitación, separación de una parte sólida de dicha masa sólida – líquida, obteniendo así una suspensión acuosa residual que contiene al menos parte de los subproductos.
- 20 2.- Proceso de descontaminación según la reivindicación 1, donde, durante la etapa operativa de agitación de la masa sólida – líquida, las reacciones químicas se producen hasta por lo menos la parcial mineralización del contaminante.
- 25 3.- Proceso de descontaminación según una cualquiera de las precedentes reivindicaciones, donde, durante la etapa operativa de agitación de la masa sólida – líquida, dicha al menos una enzima lleva a cabo su acción catalítica en la transformación de los contaminantes en subproductos mediante los microorganismos que hay en el suelo; y
- al menos parte de los contaminantes se separan del suelo por medio de la acción mecánica de la primera solución acuosa sobre el suelo.
- 30 4.- Proceso de descontaminación según una cualquiera de las precedentes reivindicaciones, donde, durante la etapa operativa de agitación de la masa sólida – líquida, al menos parte de los microorganismos producen agentes tensoactivos que favorecen la formación de emulsiones contaminante – agua, mejorando la dispersión del contaminante en el agua.
- 35 5.- Proceso de descontaminación según una cualquiera de las precedentes reivindicaciones, donde la por lo menos una enzima viene seleccionada a partir del grupo que comprende hidrolasa, proteasa, lipasa, amilasa, celulasa, carboxilasa, catalasa y fosfolipasa.
- 40 6.- Proceso de descontaminación según una cualquiera de las precedentes reivindicaciones, donde la por lo menos una enzima viene seleccionada a partir de:
- enzimas que se derivan de bacterias de la familia Bacilli, entre las cuales “Bacillus licheniformis”, o que se derivan de Pseudomonas;
  - enzimas que se derivan de hongos de la familia Thermomyces, entre los cuales “Thermomyces lanuginosus”, o que se derivan de “Aspergillus Oryzae”; y
  - enzimas contenidas en pancreatina;
  - y sus mezclas.
- 45 7.- Proceso de descontaminación según una cualquiera de las precedentes reivindicaciones, donde la etapa operativa de separar una parte sólida de la masa sólida – líquida también incluye la siguiente etapa operativa:
- tamizado de la masa sólida – líquida de manera de obtener la parte sólida y una segunda suspensión acuosa; la parte sólida comprendiendo suelo con un tamaño de partículas comprendido entre 500 micrones y 100 mm;
  - filtrado de la segunda suspensión acuosa para obtener la suspensión acuosa residual.
- 8.- Proceso de descontaminación según una cualquiera de las precedentes reivindicaciones, que además comprende la etapa operativa de unir y mezclar la parte sólida con la parte con un tamaño de partículas mayor que el

valor umbral predeterminado; la etapa operativa de unir y mezclar siendo llevada a cabo después de la etapa operativa de separar la parte sólida de la masa sólida – líquida.

9.- Proceso de descontaminación según una cualquiera de las precedentes reivindicaciones, que además comprende, después de la etapa operativa de separar la suspensión acuosa residual:

5 - las etapas operativas de agregar enzimas frescas a por lo menos parte de la suspensión acuosa residual obtenida en la etapa de separación; y

- utilización de dicha solución acuosa a la cual se le ha agregado enzimas frescas como primera solución acuosa para una nueva etapa de agregado de la primera solución acuosa al suelo contaminado tamizado.

10 10.- Proceso de descontaminación según una cualquiera de las precedentes reivindicaciones, que además comprende, después de la etapa operativa de separar la suspensión acuosa residual, la etapa operativa de enviar al menos parte de la suspensión acuosa residual a un tratamiento biológico.

11.- Proceso de descontaminación según una cualquiera de las precedentes reivindicaciones, donde las varias etapas operativas determinan una concentración de hidrocarburos livianos,  $C \leq 12$ , en el suelo descontaminado menor que 10 mg/kg.

15 12.- Proceso de descontaminación según una cualquiera de las precedentes reivindicaciones, donde las varias etapas operativas determinan una concentración de hidrocarburos pesados,  $C > 12$ , menor que 50 mg/kg.

13.- Proceso de descontaminación según una cualquiera de las precedentes reivindicaciones, dicho proceso llevándose a cabo a temperatura ambiente.

20 14.- Proceso de descontaminación según una cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 12, dicho proceso llevándose a cabo a una temperatura comprendida entre 30°C y 40°C.

FIG 1

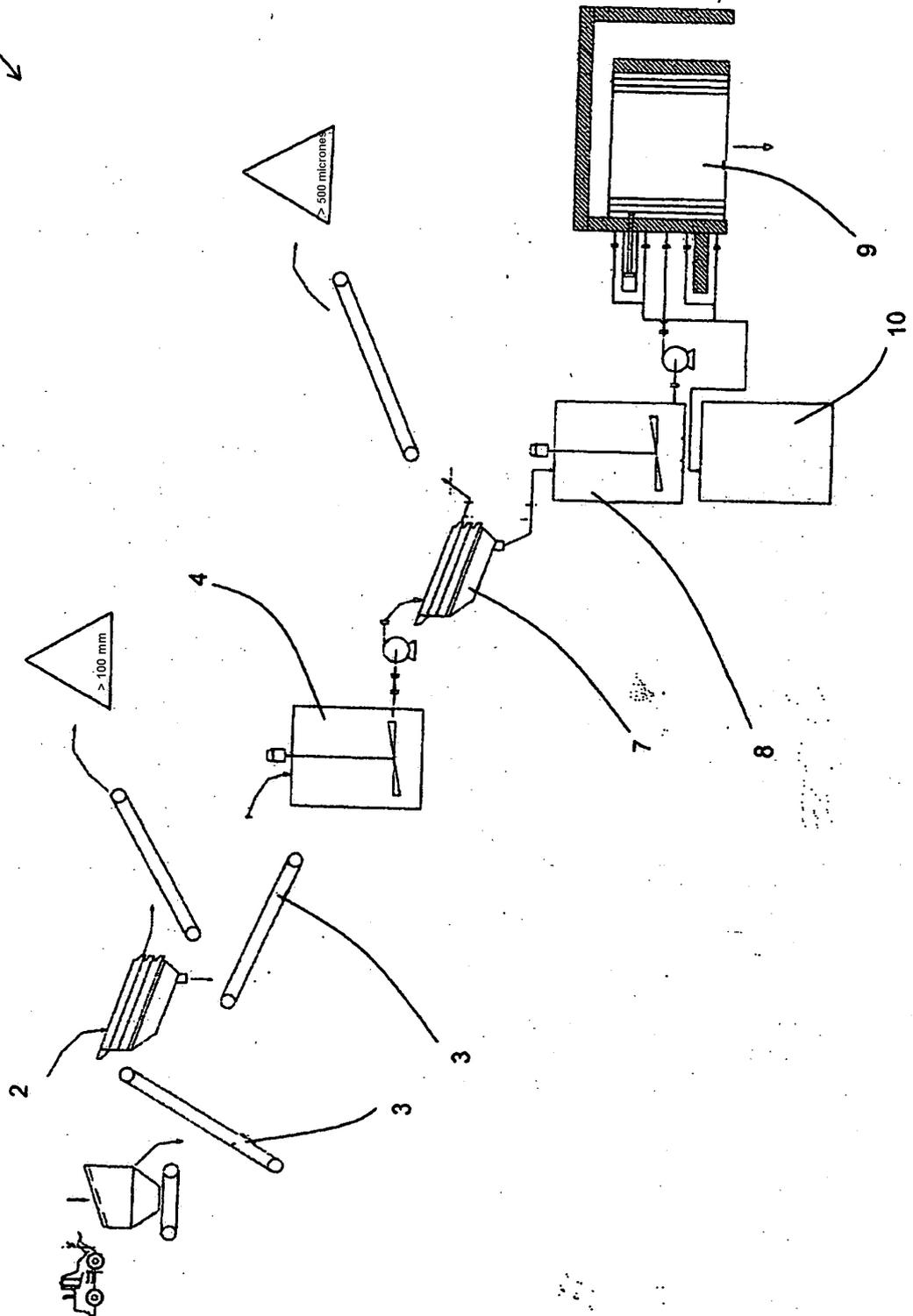


FIG 2

