

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 417 011**

51 Int. Cl.:

**C02F 1/66** (2006.01)  
**C02F 1/72** (2006.01)  
**C02F 9/00** (2006.01)  
**C02F 11/06** (2006.01)  
**C02F 101/20** (2006.01)  
**C02F 101/30** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.09.2010 E 10793292 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.03.2013 EP 2342164**

54 Título: **Procedimiento para eliminar desechos, en particular lodos derivados de la depuración de aguas residuales**

30 Prioridad:

**28.09.2009 IT RM20090494**

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

**05.08.2013**

73 Titular/es:

**NEWLISI S.P.A. (100.0%)**  
**Via San Primo, 4**  
**20121 Milano , IT**

72 Inventor/es:

**MONTEMURRO, MICHELE**

74 Agente/Representante:

**CURELL AGUILÁ, Mireia**

ES 2 417 011 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 eliminar desechos, en particular lodos derivados de la depuración de aguas residuales.

- 5 La presente invención se refiere a un procedimiento para eliminar desechos, particularmente lodos derivados de la depuración de aguas residuales.

En más detalle, la invención se refiere a un procedimiento para eliminar desechos, particularmente lodos derivados de la depuración de aguas residuales, mediante medios químicos, hasta su eliminación sustancialmente completa.  
10 Cualquier lodo agotado que pueda quedar al final del tratamiento presenta todas las características físicas, químicas, organolépticas y microbiológicas para utilizarse, por ejemplo, en el campo agronómico, como fertilizante biológico natural.

Actualmente, la eliminación controlada de todos los tipos de desecho está regulado por Directrices y reglamentos de la UE que los Estados Miembros están obligados a incorporar y aplicar en sus territorios. Según la legislación actual, un desecho se clasifica en los siguientes tipos: (i) desechos sólidos urbanos (o comparables) y (ii) desechos especiales; estos últimos, a su vez, se dividen en desechos especiales no peligrosos y desechos especiales peligrosos. El desecho que debido a su composición química, física y/o organoléptica particular se clasifique como desecho peligroso, debe someterse a un procedimiento diferenciado de eliminación del mismo.  
15

El procedimiento predominante, que es el más antiguo y practicado universalmente hasta el día de hoy para eliminar desechos en todos los países del mundo, consiste en transferirlos a un vertedero, porque este procedimiento ofrece una degradación natural de los constituyentes orgánicos y hace posible, si bien es cierto que a lo largo de una escala temporal extremadamente larga (aproximadamente de 25 años) para llegar a la mineralización y descomposición total, mediante un procedimiento de fermentación por oxidación natural, tanto de la fracción de carbono orgánico, que se oxida hasta la etapa de máxima oxidación (CO<sub>2</sub>) como de los demás componentes esenciales tales como nitrógeno, fósforo e hidrógeno. La eliminación de desechos en vertederos fue el procedimiento más antiguo en todo el mundo, porque es sencillo, práctico y (hubo una época en que) barato. Actualmente, sin embargo, debido al agotamiento más rápido de los sitios de vertedero en uso y también debido a las consecuencias indirectas ecológicas, para la salud y medioambientales negativas, la gente ha tomado conciencia de la necesidad de desarrollar tecnologías alternativas, tales como fertirrigación, biocompostaje y otras tecnologías rápidas para eliminar desechos alternativos (biogasificación, termodestrucción, procedimientos "waste-to-energy" de producción de energía a partir de desechos, pirólisis y otros).  
20

Sin embargo, en términos económicos, tanto el procedimiento tradicional de eliminación de desechos en vertederos, como las tecnologías rápidas para eliminar desechos, que han surgido con el tiempo como una alternativa a los vertederos y que habían prometido mejores resultados a un coste considerablemente menor, han mostrado por sí mismos en funcionamiento que son cada vez menos ventajosos, dado que la suma de los costes directos e indirectos son muy caros y no siempre justificados, y el funcionamiento final correspondiente muestra generalmente una pérdida.  
25

Cada una de estas tecnologías rápidas para eliminar desechos alternativos, a lo largo del transcurso de lo que ahora es el funcionamiento durante muchos años, han manifestado consecuencias indirectas sin lugar a dudas negativas, a veces muy graves, tanto con respecto al entorno circundante (cultivos, suelo, pastos, capas freáticas, etc.) como con respecto a la salud humana (empleados internos, población que vive en la zona circundante, etc.), así como a los animales que se alimentan de esa vegetación y, en el análisis final, a la cadena alimentaria en su totalidad.  
30

Con respecto a la fertirrigación, éste es un procedimiento aplicado esencialmente sólo a desechos especiales no peligrosos, que consiste en la dispersión directa del desecho en dosis controladas sobre un suelo adecuado para recibirlo. Por un lado, esta técnica requiere de una estructura modesta y un funcionamiento relativamente sencillo, con una inversión económica muy pequeña y costes de ejecución medios-bajos, pero por otro lado las desventajas son considerables, siendo éste un procedimiento peligroso tanto para el operario debido a la carga microbiana muy alta, como para el entorno debido a las exhalaciones tóxicas y malolientes, la contaminación del suelo superficial, la contaminación de incluso posiblemente la capa freática profunda, y la acumulación de metales pesados biotóxicos y potencialmente carcinogénicos en la vegetación (cadena alimentaria). Además, el suelo se convierte en un reservorio para insectos, aves y roedores y el procedimiento sólo puede practicarse en periodos particulares del año y en concentraciones de utilización particulares en proporción a la zona tratada.  
35

Con respecto al biocompostaje, éste está indicado para desechos especiales clasificados como no peligrosos que se han detoxificado previamente. Consiste en la producción de compost orgánico-biológico con acción de mejora y de fertilización baja, y debe mezclarse antes de su utilización con aproximadamente el 70% de materia vegetal de buena calidad (generalmente, derivados de celulosa). Aunque por un lado, este procedimiento se caracteriza por una simplicidad técnica, operativa y organizativa relativa, por otro lado requiere de una buena disponibilidad de material vegetal de primera calidad de origen exclusivamente biológico. Además, sólo se obtienen buenos resultados si el compost resultante se comercializa como producto muy especializado. Además, este compost no puede  
40

sustituir a los fertilizantes tradicionales, dado su bajo valor fertilizante total, y presenta un alto precio de venta en comparación con el rendimiento real que suministra, y además, debe utilizarse junto con fertilizantes tradicionales.

Con referencia a la termocombustión tradicional, ésta es un tratamiento reservado para desechos especiales no peligrosos, que consiste en incineración, emitiéndose los gases de combustión directamente al entorno. Aunque por un lado, esta tecnología es bastante sencilla, por otro lado, también es una tecnología antigua y en desuso, debido a la emisión directa a la atmósfera de todos los materiales volátiles producidos en la combustión, incluyendo los que son de hecho peligrosos para el entorno, para la cadena alimentaria y para la salud humana. Además, esta técnica produce escoria tóxica y peligrosa que hay que eliminar en un vertedero, con costes adicionales. Finalmente, los costes de ejecución son altos, tanto porque no se puede recuperar la energía, como porque hay que eliminar la escoria en un vertedero.

Con respecto a la producción de energía a partir de desechos, es decir la incineración de desechos con recuperación de energía parcial, este método puede aplicarse a desechos especiales no peligrosos, pero sin embargo está más indicado para desechos sólidos urbanos. Uno de los problemas relacionados con esta tecnología es el hecho de que los gases de combustión liberados a la atmósfera circundante portan sustancias volátiles clasificadas como teratogénicas o carcinogénicas: metales pesados volátiles, dioxinas, furanos, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y policlorobifenilos (PCB). También existen pruebas experimentales y prácticas de que estas sustancias entran en la cadena alimentaria de seres humanos y animales porque caen de nuevo sobre el territorio que circunda la fuente de la emisión. Esto también puede provocar molestias respiratorias en la población implicada. La escoria tóxica y peligrosa también se produce durante la termocombustión, que debe ser eliminada de todos modos en un vertedero controlado, con costes extra. Se considera que los costes operativos son altos a pesar de la recuperación de energía, y los costes de inversión fijos son muy altos, ya que las estructuras son de grandes dimensiones.

Con referencia a la gasificación, esta tecnología es aplicable a desperdicios especiales siempre que no sean peligrosos, ni conduzcan a la producción de metano y dióxido de carbono, generados por fermentación anóxica de carbono orgánico. Esta tecnología es más adecuada para el tratamiento de sustancias vegetales leñosas sobrantes y excrementos de animales procedentes de la producción intensiva, a un alto título de carbono orgánico. Además, aunque este procedimiento permite una producción considerable de energía alternativa (metano), incluso a partir de desecho y material sobrante, con costes de ejecución limitados, por otro lado esta tecnología sólo es sencilla teóricamente, y resulta ser problemática en funcionamiento, reportando rendimientos oscilantes que son mucho menores que los declarados por los proveedores. De hecho, existen muchos factores que afectan a los resultados, tales como, por ejemplo, la calidad de la materia prima, y también la variación estacional en la temperatura exterior. Además, esta tecnología requiere de una alta inversión inicial y continuidad de suministro de grandes cantidades de material orgánico que va a tratarse; requiere de la utilización de una biomasa de buena calidad, con un alto nivel de poder calorífico inferior (PCI), incluyendo preferentemente materia vegetal con un alto contenido en carbono orgánico. Aunque puede utilizarse, en realidad la tecnología no es adecuada para eliminar lodo biológico en exceso. Además, produce una escoria peligrosa que resulta del tratamiento anóxico, que hay que eliminar de todas maneras de en un vertedero al final del ciclo, con costes adicionales.

La canibalización, una tecnología que puede utilizarse sólo para el tratamiento de lodo biológico en exceso, es un tratamiento biológico alternativamente oxidante/anóxico llevado a cabo en el lodo en exceso recirculado entre el tanque de oxidación biológica y una unidad externa con actividad anóxica. Aunque por un lado, parece ser una tecnología limpia desde un punto de vista medioambiental y de salud, además de ser un procedimiento en línea *in situ*, por otro lado permite una reducción relativamente moderada (40%) en el lodo en exceso. En relación con los resultados logrados, en todo caso, el coste del tratamiento es alto y el funcionamiento de la tecnología es bastante exigente, especialmente si también se considera la alta inversión fija requerida.

Finalmente, la ozonización es una tecnología que puede utilizarse sólo para lodo biológico en exceso, y consiste en un acción oxidante potente realizada con ozono (O<sub>3</sub>), producido *in situ* a partir de un aparato ozonizante de arco eléctrico adecuado que actúa sobre aire u oxígeno líquido vaporizado. Aunque por un lado, esta tecnología es limpia en términos medioambientales y de salud, y puede funcionar en línea *in situ*, por otro lado en este caso también la reducción en lodo en exceso obtenida es relativamente moderada (40%), y además el coste del tratamiento es alto de todas maneras en relación con los resultados logrados, especialmente si también se considera la alta inversión fija requerida.

En conclusión, las consecuencias indirectas negativas que pueden tenerse en cuenta para todos los tratamientos rápidos para eliminar desechos anteriores pueden atribuirse esencialmente a la formación de subproductos que se emiten a la atmósfera, que se ha encontrado con el tiempo que son tóxicos o mutagénicos o teratogénicos o directamente carcinogénicos, porque el sistema de filtración final sólo los atrapa parcialmente. Entre las sustancias incriminadas de la manera más intensa están: hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), dioxinas de diversa composición, policlorobifenilos (PCB), furanos (TE) y microcontaminantes inorgánicos volátiles, constituidos por metales pesados de toxicidad probada (cadmio, plomo, estaño, zinc y otros). Los efectos negativos sobre la población circundante son indiscutibles y se aclaran mediante estudios epidemiológicos serios, llevados a cabo en Italia y en otros lugares en las poblaciones y zonas circundantes de sitios en funcionamiento.

Finalmente, debe dársele la debida importancia a la consideración ecológica-medioambiental, de que dichos procedimientos rápidos para eliminar desechos liberan como subproducto del procedimiento un desecho especial que puede clasificarse como peligroso, puesto que está compuesto por sales inorgánicas de metales pesados y de sus derivados complejos, tales como cromo, manganeso, níquel, cobre y otros elementos de transición, para los que, en la actualidad, no se conocen otras maneras de eliminarlos de manera segura excepto por el vertedero.

Además de los desechos urbanos (SUW), otro sector que produce un peso importante de desechos de derivación orgánico-biológica es el del tratamiento de aguas contaminadas (aguas residuales), de origen tanto urbano como industrial. De hecho, en estos procedimientos se produce una cantidad considerable de desechos o lodo biológico y/o químico-biológico en exceso, que es inherente e imposible de eliminar y cuya composición cualitativa y cuantitativa es variable, dependiendo del procedimiento de depuración del que procede. De hecho, cada tipo de tratamiento, y también cada tecnología adoptada, puede producir una calidad y cantidad diferentes de lodo en exceso.

El procedimiento de depuración químico-física produce un lodo en exceso orgánico-inorgánico, compuesto esencialmente por cal hidratada junto con cantidades más pequeñas de floculantes primarios inorgánicos (sales de hierro (II), hierro (III), aluminio, etc.) y polielectrolitos orgánicos, añadidos para mejorar la etapa de floculación-sedimentación. Se estima que la cantidad promedio de lodo producido mediante estos procedimientos está en 4-10 kg de materia seca por metro cúbico de aguas residuales tratadas, pero puede alcanzar hasta 20 kg/m<sup>3</sup> en algunos sectores especiales (por ejemplo, papel, grasas, detergentes).

El procedimiento biológico de depuración produce un lodo en exceso biológico-orgánico, con una composición muy compleja, parte de la cual está representada por una fracción de proteínas considerable de peso molecular variable, combinada generalmente con unidades glucosídicas (glicoproteínas) y lípidos (lipoproteínas), de los que la cantidad promedio producida es directamente proporcional a la carga orgánica entrante (BOD) y se estima que en promedio es de 4 kg/m<sup>3</sup> de aguas residuales depuradas.

El procedimiento mixto (químico-físico + biológico o viceversa) se aplica en un número más pequeño de casos, específicamente cuando la carga orgánica entrante es particularmente alta, o cuando los contaminantes presentes en las aguas residuales son escasamente biodegradables; los tipos y las cantidades producidos son sumamente variables y, por tanto, no pueden clasificarse.

El lodo en exceso, clasificado según los reglamentos actuales como desecho especial, dependiendo del contenido de elementos clasificados como tóxicos o perjudiciales presentes en el mismo, puede a su vez clasificarse adicionalmente como: (i) desecho especial peligroso, si supera el máximo umbral permitido para sustancias tóxicas presentes en el mismo, o (ii) desecho especial no peligroso, si no supera el máximo umbral permitido para sustancias tóxicas presentes.

Los lodos producidos tras la depuración de aguas residuales, con el fin de poder enviarse para su eliminación, requieren de un tratamiento de espesamiento previo/concentración, y posteriormente de un tratamiento de eliminación de agua por medio de filtración, teniendo ambos tratamientos en última instancia el objetivo de aumentar el contenido de sólidos totales (ST), y por tanto de reducir el volumen y el peso del lodo. Después de estos tratamientos, el lodo se envía finalmente para eliminarlo de modo controlado, de la misma manera que los demás desechos.

Puesto que en el estado actual del mejor conocimiento técnico, aún no se ha encontrado ningún procedimiento económicamente ventajoso para reutilizar este lodo en exceso, la eliminación del mismo de modo inevitable en un régimen controlado, con cualquier sistema o tecnología en uso actualmente que se realice, incluyendo deshacerse del mismo en vertederos, representa un coste pasivo económico significativo para el operario. Entre las diversas opciones, el deshacerse de desechos en vertederos representa en la actualidad una de las elecciones más desventajosas económicamente, si bien es cierto que muy a menudo es obligatorio, tanto cuando es necesario eliminar los desechos tóxicos que quedan del tratamiento de desechos con otras tecnologías/otros tipos para eliminarlos, como para permitir eliminar desechos en zonas que no cuentan con tecnologías alternativas.

Independientemente de la eficiencia y eficacia de las diversas tecnologías para eliminar desechos en uso actualmente, el procedimiento para eliminar desechos en vertederos controlados representa, incluso en la actualidad, todavía la solución predominante, a pesar de que no es la más barata.

La eliminación del lodo en exceso, en el procedimiento de depuración para aguas residuales y aguas cloacales, representa, en términos de impacto económico, el mayor asiento de débito en todo el ciclo: de hecho, representa más del 50-55% de todo el coste del procedimiento de depuración.

Por tanto, es totalmente normal que en la actualidad el interés de investigación deba concentrarse predominantemente en los siguientes aspectos: (i) reducir el coste unitario de tratamiento; (ii) minimizar la cantidad

de lodo producido en el procedimiento de depuración; (iii) minimizar/eliminar los problemas ecológicos, medioambientales, sociales y de salud colaterales.

En vista de lo anterior, parece evidente que existe una necesidad de disponer de un procedimiento que pueda satisfacer todas las necesidades que acaban de indicarse, y de proporcionar una alternativa que no sólo sea extremadamente efectiva, sino también una mejora tanto desde los puntos de vista técnico y tecnológico, como ecológico, de salud y económico, y por tanto que elimine los problemas graves que se han manifestado por sí mismos con el tiempo como desventajas de las tecnologías rápidas para eliminar desechos conocidas.

Éste es el contexto en el que encaja la solución según la invención, que propone proporcionar una alternativa que es una mejora, desde los puntos de vista técnico, ecológico y económico, con respecto a otras tecnologías conocidas y utilizadas actualmente, en comparación con lo que presume de las siguientes características adicionales y de mejora:

- efectividad superior en la reducción del peso de desechos;
- economía superior del procedimiento;
- ausencia total de problemas ecológicos, medioambientales, higiénicos y de salud provocados al entorno circundante, la población residente, animales o vegetación y, por tanto, a la propia cadena alimentaria;
- seguridad total del personal empleado en la planta;
- potenciación agronómica de cualquier residuo agotado que pueda estar presente al final del tratamiento.

En particular, el procedimiento de la invención es aplicable en numerosos campos en la química orgánica, ecología, protección ambiental, rehabilitación de sitios contaminados, tratamiento de desechos y cualquier otro caso en el que la descomposición, disolución (también parcial) y/o modificación de la estructura química y la obtención de moléculas más sencillas con una biodegradabilidad mucho mayor pueden demostrar ser útiles o ventajosas.

A diferencia de las tecnologías destructivas aceleradas que se han comentado anteriormente, que se basan o bien en una destrucción térmica rápida (simple termocombustión y producción de energía a partir de desechos), o bien en biogaseficación del material de carbono orgánico (biogás) a lo largo de un periodo de tiempo relativamente largo (aproximadamente de 30 días), el procedimiento que es el objeto de la presente invención se diferencia de éstos por los siguientes aspectos peculiares:

- a) oxida químicamente a CO<sub>2</sub> una fracción que está lejos de ser insignificante del carbono orgánico en los desechos tratados, que varía entre el 25% y el 40% de la materia seca, dependiendo de su calidad y tipo;
- b) modifica estructuralmente la fracción restante, que resulta al final del tratamiento, que tiene lugar en un entorno acuoso, en un eluato que contiene, esencialmente, solutos rápida y totalmente biodegradables disueltos por completo en una disolución acuosa transparente;
- c) al final del procedimiento, el material residual que puede estar presente en forma de un cuerpo insoluble, que consiste esencialmente en material vegetal inerte introducido (suelo, celulosa vegetal, fracción de alimentos insolubles, otras sustancias insolubles, generalmente vegetales) puede eliminarse mediante simple filtración o sedimentación o prensado mecánico;
- d) dicho material agotado, que puede quedar del procedimiento, con referencia a las leyes que gobiernan la utilización agronómica, se identifica como: "desecho especial no peligroso", con características que cumplen con lo que especifican los reglamentos para desechos compostables. Por tanto, dicho material es un producto que puede utilizarse por completo para fines agronómicos.

Por tanto, un objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento que hace posible superar los límites de las soluciones según la tecnología conocida y obtener los resultados técnicos descritos anteriormente.

Un objetivo adicional de la invención es que dicho procedimiento pueda implementarse con costes sustancialmente contenidos, tanto con respecto a los costes de puesta en marcha como con respecto a los costes operativos.

Un objetivo que no es el menos importante de los objetivos de la invención es el de crear un procedimiento que sea sustancialmente sencillo, seguro y fiable.

Por tanto, según un primer aspecto, la presente invención se refiere un procedimiento para eliminar desechos, que comprende:

- realizar una hidrólisis oxidante ácida del desecho entrante (carga);

- realizar una hidrólisis oxidante alcalina de la masa saliente de la hidrólisis oxidante ácida;
- acondicionar químicamente la masa saliente de la hidrólisis oxidante alcalina mediante la adición de un reactivo ácido;
- separar cualquier residuo sin disolver.

Se especifican características adicionales del procedimiento según la invención en las reivindicaciones dependientes sucesivas adjuntas a la presente descripción.

La eficacia del procedimiento de la presente invención resulta evidente: ha mostrado por sí mismo ser particularmente efectivo en el tratamiento destructivo o reductor de un amplio número de sustancias sobrantes y/o de desecho y/o sólidas y líquidas en exceso, que se clasifican como desechos especiales, tanto de origen orgánico, a veces complejo, como de origen inorgánico y/o mixto, como también de origen natural, artificial o sintético.

El procedimiento de la presente invención, aunque es particularmente adecuado para el tratamiento de desechos especiales, y en particular de lodo que se deriva de la depuración de aguas residuales, puede aplicarse al tratamiento de una enorme gama de desechos, tal como, a modo de ejemplo que no es exhaustivo: la fracción orgánica de desechos sólidos urbanos (OFSUW); agua de procesamiento industrial; materiales sobrantes orgánicos y recortes de procesamiento de alimentos; agua vegetal de molienda; material sobrante de proceso de prensado de uvas, proceso de acetificación y fermentación y proceso de destilación alcohólica; percolado de vertederos; sueros del proceso de fabricación de quesos; sedimentos; aguas cloacales de pozos negros; incluso desechos residuales de tratamiento de desechos llevado a cabo utilizando otras tecnologías, tales como, por ejemplo: producción de biogás obtenido mediante fermentación anóxica de fracciones orgánicas; incineración de SUW; pirólisis de fracciones orgánicas, etcétera.

El procedimiento de la invención ofrece la notable ventaja de descomponer satisfactoriamente, destruir químicamente, transformar estructuralmente, disolver y reducir finalmente el peso de estos desechos especiales, en algunos casos hasta el punto de eliminarlos por completo, preferentemente en el mismo sitio en el que se producen. En particular, en el caso de eliminar el lodo derivado de la depuración de aguas residuales, el procedimiento según la presente invención puede realizarse ventajosamente de manera continua e integrarse en el mismo ciclo de depuración que aguas residuales primarias tratadas *in situ*. De esta manera es posible eliminar costes y riesgos relacionados con las operaciones habituales que acompañan a tales desechos: manipulación, movimiento interno, transporte, almacenamiento, eliminación de los mismos, etc. Alternativamente, el procedimiento puede realizarse en sitios de tratamiento especiales donde los desechos que van a tratarse proceden de otros sitios de producción.

El procedimiento según la presente invención hace posible obtener una reducción muy marcada tanto en el peso como el volumen del desecho que se somete al tratamiento, de manera sencilla, efectiva, ecológica, higiénica, sanitaria y económica.

Además, el procedimiento de la presente invención es particularmente útil y ventajoso cuando existe la necesidad de tratar aguas cloacales o desechos con un bajo grado de biodegradabilidad (BOD), una característica muy frecuente de las sustancias sintéticas o semisintéticas denominadas "duras" (es decir, biológicamente resistentes), que apenas son biodegradables o no lo son en absoluto.

En particular, en comparación con las demás tecnologías conocidas y ya en uso, el procedimiento según la presente invención no produce ni emite a la atmósfera ningún tipo de exhalación, porque la planta es de ciclo cerrado.

Además, dependiendo del tipo y origen del desecho tratado, al final del procedimiento puede quedar una cantidad moderada de producto sólido agotado que no puede reducirse adicionalmente, que puede clasificarse como "desecho especial no peligroso", con características que cumplen con lo que se especifica para composts por el Decreto del Ministerio de Medioambiente del 5/2/98, Decreto Ministerial n.º 186/06 y Decreto Legislativo n.º 99/92, Anexos 1A-1B, y Decisiones 2001/118/EC, 2001/119/EC y 2001/573/EC.

Por tanto, aunque quedara un residuo sólido al final del tratamiento, este residuo puede utilizarse como fertilizante/mejorador de suelo que puede esparcirse mediante fertirrigación directamente sobre el suelo, siguiendo lo que está establecido por el Decreto Legislativo n.º 99/92, Anexos 1A-1B; o como producto adecuado para la producción de biocompost; producto que se puede eliminar como desecho comparable a desecho urbano.

La presente invención se describirá a continuación, a modo de ilustración que no es limitativa, según una realización preferida en la que el desecho entrante consiste en lodo que se deriva de la depuración de aguas residuales (denominado "lodo en exceso") con referencia particular a los dibujos en las ilustraciones adjuntas, en los que:

- la figura 1 muestra un diagrama de bloques que ilustra las diferentes etapas del procedimiento según la presente invención,

- la figura 2 muestra un diagrama del tiempo de reacción, expresado en minutos, frente al valor de pH, a una temperatura fijada de 70°C, en la etapa de hidrólisis oxidante ácida del procedimiento de la presente invención,

- la figura 3 muestra un diagrama del tiempo de reacción, expresado en minutos, frente al valor de pH, a una temperatura fijada de 70°C, en la etapa de hidrólisis oxidante alcalina del procedimiento de la presente invención,

- la figura 4 muestra un diagrama del tiempo de reacción, expresado en minutos, frente a una temperatura de 70°C, en la etapa de hidrólisis oxidante ácida (pH=3) del procedimiento de la presente invención,

- la figura 5 muestra un diagrama del tiempo de reacción, expresado en minutos, frente a una temperatura de 70°C, en la etapa de hidrólisis oxidante alcalina (pH=11) del procedimiento de la presente invención.

El procedimiento según la presente invención permite el tratamiento reductor de desechos, y particularmente de lodo en exceso, en tiempos aceptables acelerados, comparables a los tiempos totales para el tratamiento de termodestrucción.

Las condiciones de procedimiento indicadas en la descripción detallada que sigue, aunque se refieren específicamente al tratamiento de lodo en exceso, pueden aplicarse sin embargo al tratamiento de desechos en general. Pueden hacerse pequeñas modificaciones a estas condiciones partiendo de la base de la experiencia del técnico medio, dependiendo del desecho específico tratado.

Con referencia a la figura 1, el esquema general del procedimiento de tratamiento según la presente invención comprende en general una primera etapa de descomposición mecánica preliminar, realizada directamente en el lodo en exceso entrante, sometiendo dicho lodo a un corte vigoroso, con el fin de desfibrar/romper las sustancias con una consistencia sólida y producir una ruptura celular de la biomasa, fugándose el material intracelular resultante. Sin embargo, esta etapa no siempre es estrictamente necesaria, especialmente en plantas pequeñas, pero hace posible reducir el tiempo de ejecución de las etapas posteriores y/o obtener una mayor eficiencia.

La siguiente etapa es una hidrólisis oxidante ácida, llevada a cabo en el lodo ya desfibrado, con el fin de oxidar directamente a dióxido de carbono toda sustancia susceptible de oxidación en las condiciones de procedimiento, así como modificar químicamente el material sin oxidar residual, que consiste generalmente en compuestos de polisacáridos estructurados, representados por derivados de celulosa de peso molecular medio y alto (celulosa cristalina y/o amorfa), celulosa vegetal son digerir de origen alimentario (verduras, frutas y similares), otros polisacáridos inferiores, incluyendo compuestos glicosídicos, susceptibles de hidrolizarse en cadenas más cortas mediante hidrólisis ácida, con el fin de hidrolizar los enlaces éter y liberar las agliconas unidas a los mismos; glicéridos y otros ésteres, que consisten en ácidos grasos de cadena larga, generalmente de origen alimentario (grasas y aceites), unidos al glicerol con uno o más radicales R (en los que  $R > C_6$ ), sino también de ésteres sencillos, lineales y/o ramificados, de diversas fuentes, entre ellas la cadena alimentaria de peces y los lubricantes sintéticos; las proteínas complejas, entre ellas glicoproteínas, lipoproteínas, fosfolípidos, aminoazúcares y sulfoproteínas; sustancias azufradas, entre ellas los compuestos sulfitados ( $R-OSO_2-R'$ ), sulfatados ( $R-OSO_3-R'$ ) y sulfonados ( $R-SO_3R'$ ), en los que R es un radical orgánico genérico y R' puede ser hidrógeno (H), un metal (M) o cualquier otro radical orgánico y/o inorgánico; compuestos orgánicos de tioderivados, tioalcoholes, tioéteres, mercaptanos, sulfoxidos, sulfonas, etc.; compuestos reductores inorgánicos, tales como azufre elemental, sulfuros, sulfitos, tiosulfatos, tetraionatos, hidrosulfitos, etc.; otras sustancias con acción reductora, hidrazina y derivados, hidroxilamina y derivados, fosfina y derivados, derivados fenólicos y polifenólicos, metales de transición (denominados pesados) con una valencia menor y todos los demás compuestos de naturaleza reductora, susceptibles de oxidarse a una valencia mayor en el entorno de reacción; sustancias con acción oxidante: halógenos cerivalentes activos (por ejemplo, cloro activo) y sus derivados orgánicos (cloraminas) y derivados inorgánicos (hipocloritos, dióxido de cloro, etc.); compuestos oxidantes de nitrógeno, fósforo y azufre, así como de manganeso, cromo y otros metales de transición pesados con una valencia mayor y un carácter oxidante; todos los demás compuestos orgánicos y/o inorgánicos con carácter oxidante y que pueden alterar la actividad normal de la biomasa; ácidos húmicos y fúlvicos; todos los demás compuestos conocidos y desconocidos, susceptibles de modificación en el entorno de reacción.

Sigue una fase de hidrólisis oxidante alcalina, realizada con el fin de tanto hidrolizar, mediante saponificación, esas sustancias complejas, entre ellas las agliconas liberadas en la fase ácida previa, que pertenecen generalmente, a modo de ejemplo, a las clases indicadas a continuación, como de precipitar los metales pesados (elementos de transición) oxidados a una valencia mayor, cuyos hidróxidos son generalmente menos solubles en un entorno acuoso y que, por tanto, se separan mediante floculación, sedimentación y filtración: compuestos orgánicos que presentan una unión amida ( $-CO-NH-$ ), proteínas celulares complejas, proteínas sencillas (peptosa, peptonas), hasta que la reacción se fuerza en la obtención de aminoácidos libres y, finalmente, amoniaco libre (esto se produce si el tiempo de tratamiento se prolonga excesivamente), otros compuestos de amida incluyendo sintéticos; compuestos orgánicos saponificables con una unión éster ( $-COOR$ ); triglicéridos de grasas y aceites animales y vegetales no hidrolizados, o sólo parcialmente hidrolizados, en la fase ácida previa, fosfátidos vegetales y de animales con diferente radical terminal nitrificado y/o diferente radical graso, compuestos orgánicos fosforados, fosfonados,

fosfatados y similares; oxidación alcalina de compuestos glucosídicos y glicosídicos; se utiliza la eliminación de beta-alcoxilo para obtener el desprendimiento progresivo de las cadenas glucosídicas terminales de los derivados de celulosa, que se oxidan inmediatamente para dar moléculas carboxílicas con un bajo peso molecular, entre ellas ácidos iso y meta-sacarínicos; prolongando los tiempos de tratamiento o aumentando la concentración de reactivo alcalino (aumentando el pH), es posible continuar con la reacción de modo que la ruptura de los compuestos glucosídicos que se han formado, con diversas transposiciones posibles que son difíciles de controlar; cualquier otro compuesto, conocido o desconocido, susceptible de modificación en el entorno de reacción.

La carga saliente de la etapa de hidrólisis alcalina, privada opcionalmente de cualquier hidróxido metálico insoluble que pueda haberse separado de la fase líquida tal como se describe mejor a continuación, se somete entonces a una etapa de acondicionamiento químico. De hecho, se ha observado que una reducción en el pH desde un valor de aproximadamente 11,0-12,0 al final de la etapa de hidrólisis alcalina hasta un valor de entre 3,5 y 5,5 mejora perceptiblemente tanto la etapa de coalescencia/floculación como la velocidad de sedimentación del residuo agotado final, es decir sin reaccionar. Tras la retirada de los hidróxidos metálicos insolubles, por tanto, el eluato se somete a corrección de pH, hasta el valor deseado comprendido entre 3,5 y 5,5, con la adición de un reactivo ácido, preferentemente ácido sulfúrico, que no es volátil.

Debe observarse que este acondicionamiento químico es igualmente ventajoso en el caso en que, tras la etapa posterior de separación del residuo sin disolver, el eluato resultante se recircula aguas arriba, concretamente al procedimiento de depuración que es la fuente de los lodos. De hecho, sin este acondicionamiento, el eluato acabaría con un valor de pH muy alcalino (11,0-12,0), que no es adecuado para recircularse directamente a las unidades o los tanques utilizados para el tratamiento biológico, que funcionan en un intervalo de pH mucho menor, próximo a la neutralidad y comprendido generalmente entre 7,0 y 8,5.

Tras la etapa de acondicionamiento, la masa se hace pasar a una etapa de separación del residuo sin disolver. Esta etapa puede llevarse a cabo, por ejemplo, en un tanque de sedimentación estática en el que puede separarse mediante decantación cualquier residuo sin disolver que quede todavía. La adición de un polielectrolito catiónico puede acelerar adicionalmente la etapa de decantación y agrandar considerablemente la estructura y el tamaño de los flóculos en el residuo. Sin embargo, debido a la cantidad muy pequeña de residuo presente generalmente al final del ciclo de tratamiento según la invención, la operación de sedimentación estática puede ser superflua, ya que es mucho más sencillo, más práctico y más barato someter la masa a una simple manga u otro tipo de filtración, según las técnicas de filtración ya conocidas y en uso.

Finalmente, tal como se explicó anteriormente, puede seguir posiblemente una etapa de recirculación del eluato al procedimiento de depuración primario, en casos en los que el lodo se trata *in situ*. El eluato filtrado, es decir privado del lodo sin solubilizar residual, se recircula en la misma planta de depuración biológica como aguas residuales primarias, con las que puede mezclarse en las siguientes secciones: (i) en el tanque de igualación/almacenamiento primario; o (ii) en el acondicionador químico junto con las aguas residuales primarias entrantes; o (iii) en la sección biológica (lodos activos, biodiscos, percoladores, estanques aireados, etc.).

### Ejemplo 1. Análisis detallado de las etapas de procedimiento

Para revisar a continuación todas las etapas del procedimiento en más detalle: puede realizarse la etapa de descomposición mecánica preliminar con el fin de utilizar desfibrado o laceración mecánica de las membranas celulares para extraer la mayor cantidad posible de líquido intracelular y, al mismo tiempo, aumentar al máximo el área de contacto de la fracción vegetal en el lodo en exceso, con el fin de preparar mejor el lodo para las etapas de tratamiento posteriores. Por ejemplo, es posible proceder a un batido mecánico preliminar, que puede llevarse a cabo en condiciones en frío o, incluso mejor, en condiciones en caliente: lo mejor es si es de 65°C como máximo y preferentemente a un pH ácido, porque el lodo acidificado tiende a fluidizarse perceptiblemente, permitiendo una efectividad mecánica mayor en el desfibrado y, por tanto, tiempos de tratamiento más cortos. Esta operación puede realizarse con cualquier dispositivo conocido (molino de bolas, sistema de batidor, con engranajes etc.) y puede durar desde unos cuantos segundos hasta varios minutos, dependiendo de la velocidad de rotación del disgregador utilizado y la consistencia física del lodo tratado.

La siguiente etapa de hidrólisis oxidante ácida se realiza con el fin de hidrolizar la masa ya desfibrada en un entorno ácido. Se realiza preferentemente a un pH ácido comprendido en el intervalo de 0,1 a 5,0, más preferentemente de entre 2,5 y 3,5. Se calienta preferentemente la carga hasta entre 35° y 100°C (más preferentemente entre 60° y 75°C), con agitación mecánica más o menos suave (70-125 rpm es suficiente) o incluso simple aireación. En general, esta etapa puede durar desde 60 hasta 90 minutos, sin embargo preferentemente siempre que sea posible, hasta asegurarse que hayan tenido lugar la extracción total del líquido intracelular y la hidrólisis total de los productos vegetales.

La acidez del entorno de reacción puede proporcionarse indiferentemente mediante cualquier compuesto inorgánico y/u orgánico con una acción ácida suficiente, entre ellos, estrictamente a modo de indicación no limitativa: ácidos hidrácidos halogenados binarios (clorhídrico, bromhídrico, yodhídrico, fluorhídrico), ácidos oxigenados ternarios de nitrógeno, fósforo, azufre, halógenos; sulfatos y fosfatos ácidos de metales alcalinos y/o alcalinotérreos solubles;

ácidos orgánicos sencillos y/o sustituidos: ácidos oxálico, malónico, succínico, glutárico, adípico, tartárico, málico, maleico, fumárico, fórmico, acético y acético halosustituido; ácido benzoico y/o sustituido con uno o más grupos activantes: nitroso, sulfúrico, sulfato, carboxílico, fosfónico, hidrácido halogenado; orgánicos sulfonados, sulfatados, sulfitados, fosfonados, fosfatados y fosfitados de alquilbenceno, alquilfenol, alquilo y naftaleno; fenol y sus derivados, incluyendo los sustituidos con grupos activantes habituales.

La reacción oxidante se realiza preferentemente mediante la inclusión en el medio de reacción de al menos uno de los siguientes agentes oxidantes.

a) Oxígeno molecular, por ejemplo mediante insuflación con aire. En plantas de tratamiento más grandes, puede sustituirse la insuflación con aire, por motivos de economía, por una administración de oxígeno líquido, regasificado *in situ*. El oxígeno molecular en un entorno ácido da lugar a un semipar redox de fuerza considerable, según la semirreacción indicada a continuación, que puede oxidar en el tiempo de tratamiento previsto numerosas sustancias con acción reductora:



b) Agente oxidante de tipo peróxido, orgánico y/o inorgánico, entre ellos, estrictamente a modo de ejemplo no limitativo:

- compuestos de peróxido inorgánico: ozono, compuestos de boro (perboratos), carbono (percarbonatos), urea (perurea), azufre (peroximonosulfato y peroxidisulfato), fósforo (peroxifosfatos), hiperóxidos, peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), cuya reacción en el entorno de tratamiento ácido puede seguir o bien la vía de oxidorreducción sencilla o bien la adición del átomo de oxígeno, dependiendo de las características del aceptor, según las reacciones:



- compuestos orgánicos de carácter peroxídico: perácidos ( $\text{R-CO-OO-H}$ ), peróxidos de monoalquilo ( $\text{R-OO-H}$ ), peróxidos de dialquilo ( $\text{R-OO-R'}$ ), peróxidos de acilo ( $\text{R-CO-OO-CO-R'}$ ), peróxidos cíclicos, ozónidos, cualquier otro peróxido;

- compuestos oxidantes inorgánicos no peroxídicos: compuestos de manganeso, cromo, yodo, flúor, bromo, cloro, nitrógeno, plomo, plata, cobalto, cerio, xenón, hierro, selenio; oxígeno nascente, radicales hidroxilo generados *in situ* por sistemas fuertemente oxidantes, entre ellos  $\text{Fe(II)} + \text{H}_2\text{O}_2$  (reacción de Fenton) o activación de persulfatos con sales de plata.

El tiempo de reacción total está condicionado perceptiblemente por los siguientes factores: (i) fuerza del reactivo acidificante utilizado; (ii) fuerza del reactivo oxidante utilizado; (iii) temperatura de trabajo. La influencia de estos factores sobre la efectividad de reacción se muestra en las figuras 2 y 3.

Con referencia a la etapa de hidrólisis oxidante alcalina, este tratamiento se realiza en un entorno básico medio, preferentemente en el intervalo de pH comprendido entre 8,0 y 12,0. Preferentemente, el procedimiento se lleva a cabo con agitación mecánica leve y con calentamiento de la masa preferentemente hasta entre 40° y 100°C (más preferentemente entre 60° y 75°C). La alcalinidad del entorno de reacción puede proporcionarse indistintamente mediante cualquier compuesto orgánico y/o inorgánico con una reacción fuertemente básica, entre ellos, para fines estrictamente indicativos: hidróxidos de metales alcalinos y/o alcalinotérreos; sales ternarias oxigenadas: carbonatos, silicatos, boratos, fosfatos, etc.; compuestos orgánicos con reacción básica: alcoholatos, etc.

La reacción oxidante en un entorno alcalino se produce por la presencia simultánea de un agente oxidante, del mismo tipo que los indicados para la hidrólisis oxidante ácida.

Los tiempos de reacción están condicionados tanto por el valor de pH del entorno, como por la temperatura de trabajo, tal como se representa en las figuras 4 a 5.

Si están presentes metales de transición pesados en el lodo tratado, que no se desean generalmente debido a su alta toxicidad, ya oxidados en un entorno ácido a la valencia superior menos soluble en un entorno acuoso, puede llevarse a cabo una separación de dichos metales pesados, que están presentes como hidróxidos. La concentración molar es la que se deriva del producto de solubilidad ( $K_{sp}$ ), cuyo valor se reduce adicionalmente como resultado de la concentración molar de iones hidróxido ( $\text{OH}^-$ ), que genera el entorno alcalino. Estos hidróxidos insolubles se extraen como un precipitado, es decir una suspensión espesa en la parte inferior, y se envían para eliminarlos de manera diferenciada.

Entonces se acondiciona la masa que resulta de los tratamientos previos, con agitación mecánica, mediante la adición de un reactivo ácido de modo que alcanza preferentemente un valor de pH de entre 3,5 y 4,5. Este intervalo favorece la floculación y la sedimentación final de cualquier residuo sin disolver agotado, si lo hubiera.

5 Tras el acondicionamiento, se envía la masa a la siguiente etapa de separación, llevada a cabo en general mediante sedimentación o filtración directa. Cuando se desea acelerar incluso más la sedimentación de este residuo, es posible recurrir a la adición de cantidades pequeñas de una disolución acuosa de polielectrolitos.

10 Tras la separación, el residuo puede someterse opcionalmente a prensado, por medio de dispositivos habituales, con el fin de extraer la mayor cantidad posible de agua presente y separar físicamente el residuo agotado húmedo para enviarlo para su utilización agronómica, o, debido a la pequeña cantidad final, puede filtrarse adecuadamente en un filtro de manga u otro dispositivo similar. Toda el agua recogida, tanto del prensado como de la filtración, se combina con el eluato que puede recircularse, tal como se especificará de manera más completa a continuación.

15 Cuando el procedimiento según la invención se lleva a cabo con lodo en exceso directamente en el sitio en el que tiene lugar la depuración de aguas residuales, el eluato puede recircularse ventajosamente en la misma planta de tratamiento de depuración de aguas residuales como aguas residuales primarias entrantes, con las que puede mezclarse, o puede enviarse directamente a la sección biológica de la misma planta (lodo activo, percolación, biodiscos, etc.).

## 20 **Ejemplo 2. Rendimiento del procedimiento**

El procedimiento según la presente invención demuestra los siguientes rendimientos, concretamente una reducción de peso de la materia seca del lodo en exceso entre la entrada y la salida del tratamiento, utilizando la siguiente fórmula de peso sencilla:

$$\% \text{ de R} = 100 (P_1 - P_s) / P_i = 100 (P_c \% \text{ de SST} - P_s)$$

en la que:

30 % de R representa la reducción de peso en porcentaje de la materia seca total en el lodo en exceso sometido a tratamiento;

$P_i$  es el peso de la materia seca inicial;

35  $P_c$  es el peso de la muestra de lodo en exceso sometida a la prueba de tratamiento;

$P_s$  es el peso del sólido residual final, filtrado, lavado y secado a 110°C hasta que alcanza un peso constante;

40 % de SST es el porcentaje de materia seca total determinado para el lodo en exceso, secando una muestra representativa promedio hasta que alcanza un peso constante, expresado tal como sigue:

$$\% \text{ de SST} = (\text{peso de muestra secada} / \text{peso de muestra inicial}) * 100$$

45 a) Reducción de peso referida a la materia seca: esta reducción varía desde un mínimo del 84% hasta el 100%.

b) Reducción de peso referida al producto prensado en el estado húmedo que puede moverse con pala: cuando se desee referirse no a la reducción en la materia seca total (MST) sino a la reducción total en la masa húmeda que puede moverse con pala deshidratada (que después de todo, de hecho, es la masa residual que hay que eliminar), debido al poder drenante superior (es decir, liberación de agua libre) del residuo final agotado después del tratamiento en comparación con el lodo en exceso original, como tal y no tratado, la efectividad de minimización surge del mínimo mencionado anteriormente del 84% al 92%. Este mayor rendimiento que puede obtenerse para el lodo deshidratado, en comparación con el rendimiento indicado en el punto a) anterior, solamente puede atribuirse a una capacidad de drenado, es decir a una mayor cantidad unitaria de agua libre liberada, de manera que el contenido de materia seca es considerablemente superior después del tratamiento.

Estos resultados se han confirmado repetidamente utilizando el mismo tipo de lodo en las pruebas de laboratorio llevadas a cabo por lotes y en pruebas dinámicas, llevadas a cabo tanto en una planta piloto como en una planta a escala completa; los valores hallados son, de hecho, perfectamente sistemáticos entre ellas, dentro de una desviación máxima del  $\pm 1\%$ .

En realidad, se ha observado que los rendimientos del procedimiento según la invención sólo se ven afectados en un grado insignificante por el contenido de la sustancia orgánica extraíble, por el contrario se ven afectados por la cantidad de residuos inertes presentes originariamente en las aguas residuales en bruto tratadas. Más precisamente, el efecto está condicionado por la presencia de material no hidrolizable o sólo parcialmente

hidrolizable y por el contenido de sustancias inertes introducidas: suelo, residuos vegetales, celulosa alimentaria sin disolver, celulosa vegetal cristalina, cáscara vegetal, follaje y otras diversas sustancias extrañas, que en las condiciones del procedimiento pueden demostrar ser insolubles.

c) Posible reducción adicional del residuo mediante secado parcial: en casos en los que puede ser ventajoso debido a la gran cantidad de lodo producido (plantas grandes), el residuo húmedo, prensado o filtrado en la salida mediante el tratamiento según la presente invención, puede someterse opcionalmente a una etapa adicional de reducción del contenido de humedad mediante secado parcial, sometiendo el residuo que sale de la deshidratación a un secado parcial a vacío o con otras técnicas conocidas. Esto puede resultar ventajoso porque el residuo agotado que sale del tratamiento está a una temperatura de aproximadamente 65°-75°C, punto en que el agua que va a evaporarse presenta una presión de vapor lejos de ser insignificante, de aproximadamente 200 mBar.

### **Ejemplo 3. Parámetros que afectan a los resultados del procedimiento**

Efecto de pH: con referencia a las figuras 2 y 3, pueden observarse las siguientes tendencias:

- en el tratamiento oxidante ácido: un valor de pH=4,0 requiere de tiempos de reacción de aproximadamente 120 minutos, mientras que a un valor de pH=2,5 el tiempo requerido es de sólo 60 minutos para el mismo resultado;

- en el tratamiento oxidante alcalino: un valor de pH mayor que 12,0 produce una serie de reacciones de degradación y/o conversión tan rápidas de las moléculas glucosídicas, liberadas en el entorno ácido previo, para dar compuestos sacarínicos, de modo que se hace que el control de las reacciones y la repetibilidad del ensayo sean muy difíciles. Además, en este entorno, la degradación de las proteínas celulares es perceptible, que no sólo se hidrolizan para dar peptonas, sino también para dar aminoácidos, y entonces estos últimos se desnaturalizan hasta el punto que conducen a la liberación posterior del grupo amino (-NH<sub>2</sub>), con la formación de amoníaco libre. Un intervalo de pH comprendido entre 11,0 y 12,0 parece ser un buen compromiso, ya que los tiempos de reacción requeridos son todavía relativamente breves (menos de 3 horas), pero el control de la reacción y la reproducibilidad de las pruebas son satisfactorios. Para valores de pH incluso menores, comprendidos entre 8 y 11, los tiempos de reacción requeridos se alargan perceptiblemente pero, en compensación, mejora el control de la reacción.

Con respecto a la temperatura, con referencia a las figuras 4 y 5, pueden observarse las siguientes tendencias:

a) en el tratamiento oxidante ácido, los valores de temperatura mayores favorecen generalmente la cinética de la reacción, particularmente valores mayores que 70°C; por el contrario, temperaturas menores que 60°C requieren de tiempos de reacción más prolongados; también se ha observado que temperaturas por encima de 80-85°C tienden a favorecer un oscurecimiento pronunciado del eluato, con la formación de, probablemente, bases de Schiff, que pueden formarse en disolución entre sacáridos y proteínas o aminoácidos libres;

b) en el tratamiento oxidante alcalino, los valores de temperatura mayores que 80°C producen reacciones complejas con una degradación rápida, en las que el control y la repetibilidad (tal como se mencionó ya en relación con el pH) son muy difíciles de controlar; por tanto debe considerarse un intervalo de temperatura de entre 65°C y 70°C como un buen compromiso, puesto que la reacción es mucho más controlable y los tiempos de reacción requeridos son todavía técnicamente aceptables, ya que son de 3 horas como máximo; para valores de temperatura incluso menores, los tiempos de reacción se alargan excesivamente.

Con respecto a la concentración de los reactivos ácidos y alcalinos, ésta es una función directa de los valores de pH elegidos para el funcionamiento, tanto en el intervalo ácido como en el alcalino. Sin embargo, la cantidad de agente(s) oxidante(s) es principalmente una función no sólo del pH de trabajo sino también del tipo y la cantidad de sustancias oxidables contenidas en el lodo tratado. El consumo puede regularse, por ejemplo, por medio de un medidor redox, es decir un aparato de medición para determinar el potencial redox (E) expresado en mV.

Con el fin de que el procedimiento según la invención consiga los mejores resultados en términos de calidad, cantidad y economía, se une una importancia considerable al orden progresivo de las diversas etapas de tratamiento; se obtuvieron los mejores resultados según el esquema resumido en la tabla 1 a continuación.

Tabla 1

| Etapas                           | t (min.)  | T (°C)  | pH          |
|----------------------------------|-----------|---------|-------------|
| Descomposición mecánica          | < 5       | 55 - 65 | 4,5 - 2,5   |
| Hidrólisis oxidante ácida        | 60 - 90   | 65 - 70 | 2,5 - 3,5   |
| Hidrólisis oxidante alcalina     | 150 - 180 | 65 - 70 | 11,0 - 12,0 |
| Acondicionamiento químico        | En línea  | 60-65   | 3,0 - 4,5   |
| Sedimentación + filtración       | En línea  | 60-65   | 3,0 - 4,5   |
| Recirculación de eluato filtrado | En línea  | 60-65   | 3,0 - 4,5   |

En cuanto a la eficacia cualitativa y cuantitativa del procedimiento de la invención, la secuencia mostrada anteriormente, relativa al orden de ejecución de las etapas de tratamiento es la que proporcionó los resultados de minimización de peso más altos, combinados con la mejor calidad del eluato. Esta secuencia, de hecho, representa una característica crítica significativa, en el sentido de que sigue un deterioro marcado en los resultados cualitativos y la minimización de peso, cuando el orden de tratamiento de las etapas es diferente del mostrado anteriormente, y en particular:

- cuando en la etapa de hidrólisis oxidante ácida, el reactivo ácido no se utiliza en una mezcla con el reactivo oxidante, sino que se utiliza o bien sólo el reactivo ácido o bien sólo el reactivo oxidante (pero no la mezcla de los dos), para las mismas condiciones de temperatura y tiempo de reacción, tal como se muestra en la tabla 2 a continuación.

Tabla 2

| Tratamiento realizado                                           | Resultado promedio para la minimización de peso |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Tratamiento oxidante ácido completo: ácido sulfúrico + peróxido | 38%                                             |
| Tratamiento con ácido sulfúrico solo, sin peróxido              | 13%                                             |
| Tratamiento con peróxido solo sin ácido sulfúrico               | 7%                                              |

- cuando en la etapa de hidrólisis oxidante alcalina, el reactivo alcalino no se utiliza en una mezcla con el reactivo oxidante, sino que se utiliza o bien sólo el reactivo alcalino o bien sólo el reactivo oxidante (pero no la mezcla de los dos), para las mismas condiciones de temperatura y tiempo de reacción, tal como se muestra en la tabla 3 a continuación.

Tabla 3

| Tratamiento realizado:                                                | Resultado promedio para la minimización de peso |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Tratamiento oxidante alcalino completo: hidróxido de sodio + peróxido | 56%                                             |
| Tratamiento con hidróxido de sodio solo, sin peróxido                 | 23%                                             |
| Tratamiento con peróxido solo                                         | 7%                                              |

- cuando no se realiza la etapa de hidrólisis oxidante ácida antes de la etapa de hidrólisis oxidante alcalina, pero se realiza de manera posterior a esta última, tal como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4

| Orden de etapas en el tratamiento realizado                                      | Resultado promedio para la minimización de peso |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1- etapa oxidante ácida (90 minutos)<br>2- etapa oxidante alcalina (180 minutos) | 84%                                             |
| 1- etapa oxidante alcalina (180 minutos)<br>2- etapa oxidante ácida (90 minutos) | 63%                                             |

Las demás etapas del tratamiento, que son tratamientos auxiliares o de acabado, no afectan significativamente al rendimiento del procedimiento.

**Ejemplo 4. Características del eluato**

El eluato, que contiene disuelto en el mismo los productos de reacción finales, puede recircularse en línea en el mismo procedimiento de depuración en el que se mezcla con las aguas residuales primarias en bruto (tanque de igualación, acondicionamiento químico preliminar) o enviarse a la sección biológica (lodo activo, percoladores, etc.).

Las características del eluato obtenido en el transcurso de las pruebas son tal como sigue:

**A - Características organolépticas**

Aspecto: líquido transparente;

Color: de ámbar claro vívido a ámbar medio oscuro;

Olor: ligero y agradable, como de panadería.

**B - Composición cualitativa típica**

Proteínas y/o peptonas y/o aminoácidos libres; oligosacáridos y polisacáridos inferiores; fosfolípidos; ácidos grasos libres; anión sulfato; anión cloruro; nitrógeno amoniacal

Biodegradabilidad total > 95%.

Además, los siguientes compuestos están ausentes: nitrógeno nitroso; nitrógeno nítrico; aldehídos, cetonas y alcoholes; compuestos orgánicos aromáticos; compuestos orgánicos clorados; grasas y aceites esterificados; tensioactivos sintéticos; fenoles y polifenoles; mientras que los siguientes están presentes en cantidades limitadas: cobre (<0,01 mg/litro) y otros elementos de transición (< 0,01 mg/litro).

Por tanto, el eluato recirculado es un excelente nutriente para biomasa y esto hace posible eliminar cualquier otra sustancia añadida como nutriente. La biodegradabilidad de los solutos orgánicos contenidos en el mismo, además, mejora la razón BOD/COD.

**Ejemplo 5. Sobrecarga orgánica e hidráulica producida por el eluato recirculado**

Debido a la recirculación del eluato en la planta de depuración biológica *in situ*, este último resulta estar sobrecargado habitualmente tal como se indica en la tabla 5 a continuación, teniendo en cuenta un coeficiente de recirculación promedio de 1:150 como razón entre la velocidad de flujo de las aguas residuales entrantes (Qin) y la velocidad de flujo del eluato recirculado (Qe).

Tabla 5

| Parámetros                             | Unidades | Valor promedio |
|----------------------------------------|----------|----------------|
| COD                                    | mg/l     | + 40           |
| BOD20/COD                              | %        | > 95           |
| Anión sulfato (SO <sub>4</sub> )       | mg/l     | + 17           |
| Anión cloruro (Cl)                     | mg/l     | +10            |
| Fósforo total (P)                      | mg/l     | < 1            |
| Nitrógeno amoniacal (NH <sub>3</sub> ) | mg/l     | + 4,3          |

A partir de esto puede deducirse que la sobrecarga orgánica con respecto al procedimiento de depuración primario es totalmente insignificante y que, además, puede considerarse que se encuentra por completo dentro de las fluctuaciones normales de aguas residuales entrantes, tanto en el campo civil como en el industrial.

Con respecto a la sobrecarga hidráulica, el procedimiento según la presente invención no utiliza ninguna otra agua que la que ya está presente en el propio lodo tratado, lo que prueba, por tanto, que es totalmente suficiente para el procedimiento. Además, debe añadirse el volumen de los reactivos utilizados, que es igual a aproximadamente el 2% del volumen de lodo tratado. Por consiguiente, la cantidad total de disolución acuosa que entra en el ciclo de depuración es prácticamente la misma que la presente en un procedimiento de depuración biológica de tipo convencional, ya que el lodo en exceso deshidratado y espesado se envía directamente al prensado final y el líquido liberado del prensado se recircula en el procedimiento.

**Ejemplo 6. Características del residuo agotado del procedimiento**

A diferencia de todas las demás tecnologías conocidas y en uso, cuyos residuos de procedimiento se clasifican como desechos especiales peligrosos (excepto para el procedimiento de biocompostaje, que no se encuentra en la

misma categoría que éstos), el procedimiento de la presente invención proporciona un lodo residual que, si está presente, presenta características tales que puede dispersarse sobre el suelo como fertilizante/mejorador.

- 5 A modo de ejemplo, la tabla 6 muestra un examen comparativo de lodo biológico en exceso espesado, procedente de los trabajos de una industria de teñido químico de materiales textiles, antes y después del tratamiento mediante el procedimiento de la presente invención.

Tabla 6

| Parámetro                                | Unidades    | Lodo inicial            | Lodo tratado            |
|------------------------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|
| Capacidad de putrefacción anóxica (72 h) | -           | fuerte                  | ausente                 |
| Aspecto visual del prensado              | -           | húmedo y gelatinoso     | similar al suelo húmedo |
| Pegajosidad al tacto                     | -           | muy alta                | ausente                 |
| Adhesividad del prensado                 | -           | muy alta                | ausente                 |
| Filtrabilidad por crisol de Gooch (G2)   | -           | difícil con obstrucción | rápida y total (<20")   |
| Residuo a 550°C                          | %           | 2,0                     | 1,2                     |
| Carbono orgánico (TOC)                   | %           | 32                      | 24                      |
| Nitrógeno total (N)                      | %           | 2,1                     | 2,0                     |
| Fósforo total (P)                        | %           | 0,8                     | 0,6                     |
| Disolventes org. clorados                | mg/kg       | <5                      | ausente                 |
| Disolventes org. aromáticos              | mg/kg       | <5                      | ausente                 |
| Aceites minerales                        | mg/kg       | <10                     | ausente                 |
| Potasio total                            | mg/kg de SS | 2400                    | 1900                    |
| Cadmio (Cd)                              | mg/kg de SS | <1                      | <1                      |
| Cromo total                              | mg/kg de SS | 40                      | <10                     |
| Cromo VI                                 | mg/kg de SS | <1                      | <1                      |
| Mercurio (Hg)                            | mg/kg de SS | <1                      | <1                      |
| Níquel (Ni)                              | mg/kg de SS | 38                      | <10                     |
| Plomo (Pb)                               | mg/kg de SS | 190                     | <30                     |
| Cobre (Cu)                               | mg/kg de SS | 80                      | <10                     |
| Zinc                                     | mg/kg de SS | 210                     | 110                     |
| Carga microbiana total                   | MPN/g de SS | >10 <sup>6</sup>        | <10                     |
| <i>Salmonella</i>                        | MPN/g de SS | 195                     | 5                       |

- 10 Tal como aparece claramente a partir de los datos reproducidos anteriormente, a pesar de ser un lodo únicamente industrial, que se deriva del tratamiento biológico de aguas residuales estrictamente químicas de una industria química en el sector del teñido de materiales textiles, y por tanto con una alta carga de contaminantes, con contaminantes muy resistentes a la biodegradación, el residuo del tratamiento presenta un perfil químico y biológico
- 15 excelente, que permite utilizarlo como tanto producto compostable como fertilizante/mejorador del suelo, que puede dispersarse directamente sobre el suelo, según las disposiciones de la legislación aplicable.

**Ejemplo 7. Minimización adicional del residuo**

El lodo que queda del tratamiento, cuando está presente, tras el prensado presenta un aspecto visual apreciablemente diferente del producto no tratado tradicional, porque muestra una capacidad de moverse con pala/friabilidad marcadamente superior a este último (fácilmente perceptible visualmente pero también al tacto), en comparación con la que presenta una concentración claramente superior de materia seca, generalmente el doble del contenido inicial. Esta nueva calidad de residuo, que se produce tras el tratamiento según la presente invención, confiere características particularmente favorables al residuo final, puesto que aparece como una sustancia agotada inerte, inodora, extremadamente friable, y sin ninguna tendencia a pegarse. Estas características físicas son extremadamente favorables si se desea someter este residuo a una concentración adicional de la materia seca, mediante secado, es decir evaporación parcial o total de la humedad absorbida que queda en el mismo. Esta operación se verá favorecida además por la posibilidad de aprovechar el calor que presenta el propio residuo en la salida, que está a una temperatura de 60-70°C.

Algunas ventajas adicionales, no secundarias, relacionadas con la presente invención, se exponen a continuación.

Retirada de compuestos biotóxicos

Numerosas sustancias orgánicas residuales con una baja biodegradabilidad, o incluso con actividad inhibidora de la biomasa activa, que se derivan posiblemente de procedimientos industriales *in situ*, muy a menudo no se destruyen satisfactoriamente mediante el procedimiento biológico, y por tanto todavía pueden estar presentes, y de hecho concentrarse en el lodo en exceso que las incorpora. Por tanto, pueden ejercer tanto una acción biotóxica marcada o, en cualquier tasa, presentar un efecto inhibidor sobre la actividad de la biomasa, como también presentar un efecto irritante y/o tóxico sobre el personal empleado en el sitio. Entre estas sustancias están las siguientes: bactericidas, agentes bacteriostáticos, fungicidas, antifementativos, antioxidantes, repelentes de polillas y compuestos antimoho, anticriptogámicos, antiparasitarios, defoliantes, formaldehído y sus precursores, fenoles sencillos y complejos, polifenoles y derivados, compuestos policíclicos, sales de amonio cuaternario, etc. El procedimiento según la invención hace posible, en la mayoría de los casos tratados, hacer que estas sustancias sean totalmente inofensivas, porque puede modificar sus estructuras químicas e invalidar su efectividad.

Disminución de la carga microbiana

Uno de los problemas más graves relacionados con la manipulación, el almacenamiento y la utilización de lodo en exceso es la presencia de una carga muy alta y heterogénea de microbios, microflora y microfauna, algunos de ellos patógenos, tendiéndose su concentración a multiplicarse rápidamente mediante división celular, tanto (especialmente) en lodo líquido fresco, como también en lodo prensado húmedo. Esto se debe a la presencia considerable de sustancias orgánicas e inorgánicas que todavía son fuertemente putrescibles (proteínas, grasas, polisacáridos, sustancias fosforilantes y/o azotatos, sulfatos, nitritos y nitratos) contenidos en las mismas y susceptibles de reducirse mediante bacterias reductoras, que están presentes indefectiblemente, para dar amoníaco, sulfitos, sulfuros, fosfina, metano, monóxido de carbono, etc. Un importante índice de fermentación biológica en el progreso, es decir del crecimiento de la carga microbiana, está representado ciertamente por el olor putrefacto característico que desarrolla habitualmente en lodo almacenado, especialmente en forma líquida, pero también deshidratada. El procedimiento según la presente invención puede destruir más del 99,999% de la carga microbiana total (microflora y microfauna), porque puede descomponer incluso el contenido intracelular. La observación microscópica del residuo después del tratamiento es suficiente para demostrar esta capacidad del procedimiento.

Simplificación del procedimiento de depuración

El procedimiento de depuración biológica tradicional requiere invariablemente que el lodo en exceso producido se espese previamente antes de deshidratarse. Esto se debe a la presencia en el lodo de materia orgánica que es más pegajosa, más putrescible y más resistente mecánicamente al prensado, cuanto más recientemente se haya formado. De hecho, estas sustancias también son, en general, las mismas que más obstruyen el procedimiento de deshidratación final, debido a un alto contenido de biopolímeros naturales, que se cree son el producto endógeno de la propia biomasa.

Se mostrado que el procedimiento según la presente invención es particularmente efectivo en la modificación y extracción de estas sustancias, lo que presenta las siguientes consecuencias prácticas:

- mejorar la filtrabilidad o prensado final del residuo;
- obtener un residuo con un mayor contenido de materia seca;
- poder tratar también directamente el lodo en exceso bombeable que no se ha sometido a espesamiento, sino que se extrajo directamente del tanque de sedimentación biológica, con los mismos resultados que se obtienen en el lodo espesado previamente, evitando de ese modo toda la etapa de espesamiento;

- poder tratar el lodo húmedo, prensado, que puede moverse con pala de la misma manera y con los mismos resultados que se han indicado.

5 La presente invención se ha descrito a modo de ilustración no limitativa, según sus realizaciones preferidas, pero debe entenderse que los expertos en el campo pueden hacer variaciones y/o modificaciones sin, por este motivo, apartarse del alcance de protección de la invención, según se define por las reivindicaciones adjuntas.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para eliminar desechos, que comprende:

- realizar una hidrólisis oxidante ácida del desecho entrante (carga);
- realizar una hidrólisis oxidante alcalina de la masa saliente procedente de la hidrólisis oxidante ácida;
- acondicionar químicamente la masa saliente de la hidrólisis oxidante alcalina añadiendo un reactivo ácido;
- separar el residuo no disuelto, si lo hubiera, mediante sedimentación o filtración directa.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que los desechos que deben ser eliminados son lodos derivados de la depuración de aguas residuales.

3. Procedimiento según la reivindicación 2, que comprende también recircular el eluato obtenido a partir de la etapa de separación en el procedimiento de depuración del que procede la carga entrante.

4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además una etapa preliminar de descomposición mecánica de la carga entrante.

5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además, posteriormente a la etapa de hidrólisis oxidante alcalina, una etapa de separación de los hidróxidos metálicos insolubles.

6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de hidrólisis oxidante ácida se realiza a un valor de pH comprendido entre 0,1 y 5,0, preferentemente entre 2,5 y 3,5.

7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de hidrólisis oxidante ácida se realiza a una temperatura comprendida entre 35° y 100°C, preferentemente entre 60° y 75°C.

8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de hidrólisis oxidante ácida se realiza mediante la inclusión en la masa de oxígeno molecular y/o de un agente oxidante de peróxido orgánico o inorgánico.

9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de hidrólisis oxidante alcalina se realiza a un valor de pH comprendido entre 8,0 y 12,0.

10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de hidrólisis oxidante alcalina se realiza a una temperatura comprendida entre 40° y 100°C, preferentemente entre 60° y 75°C.

11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de hidrólisis oxidante alcalina se realiza mediante la inclusión en la masa de oxígeno molecular y/o de un agente oxidante de peróxido orgánico o inorgánico.

12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de acondicionamiento químico se lleva a cabo añadiendo un reactivo ácido, de modo que se alcance un valor de pH comprendido entre 3,5 y 4,5.

13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que tras la etapa de separación, el residuo se somete a deshidratación.

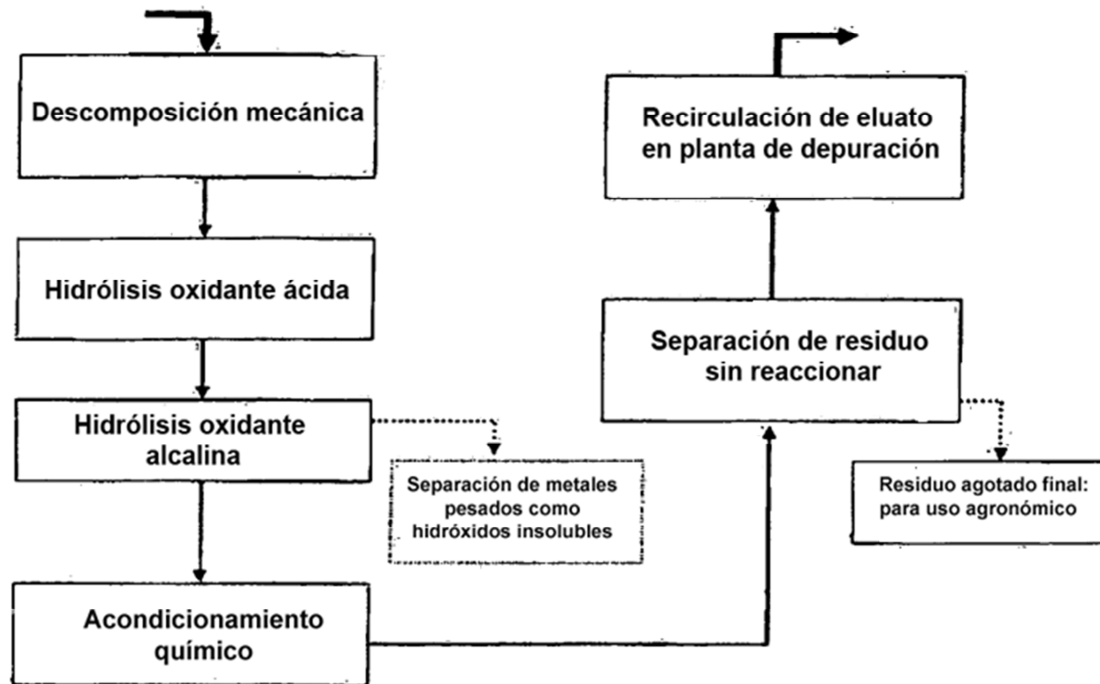


Fig. 1

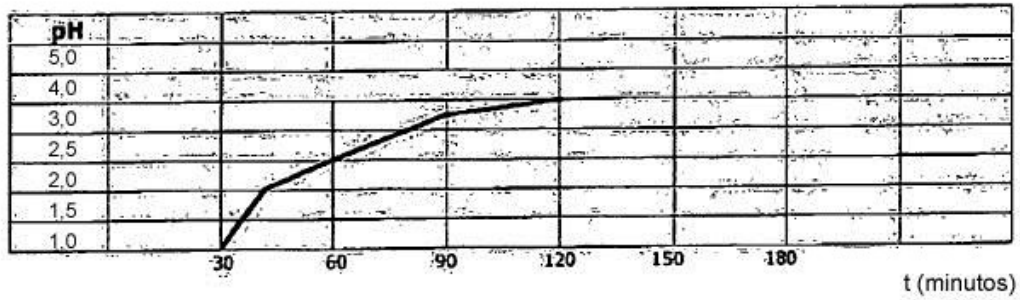


Fig. 2

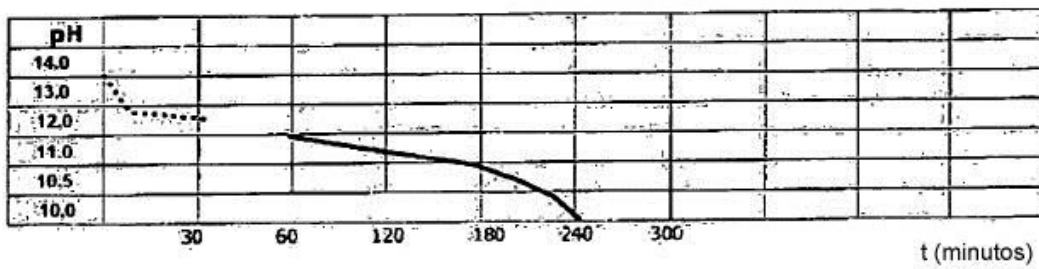


Fig. 3

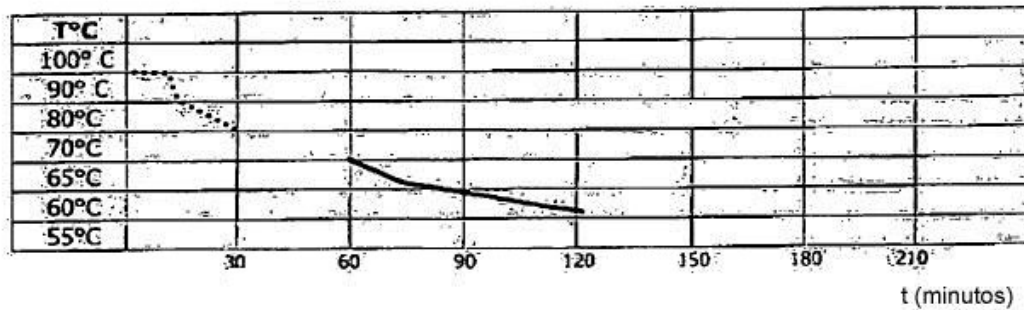


Fig. 4

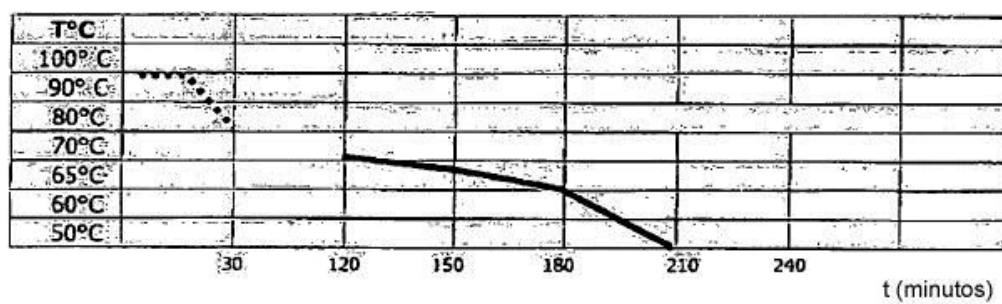


Fig. 5