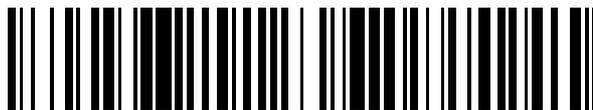


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 430 739**

21 Número de solicitud: 201200527

51 Int. Cl.:

**C02F 3/28** (2006.01)

**C02F 11/04** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

**16.05.2012**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**21.11.2013**

Fecha de la concesión:

**24.09.2014**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**01.10.2014**

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE CÁDIZ (100.0%)  
OTRI-Vicerrectorado de I+D+i C/ Benito Pérez  
Galdós, s/n  
11002 Cádiz (Cádiz) ES**

72 Inventor/es:

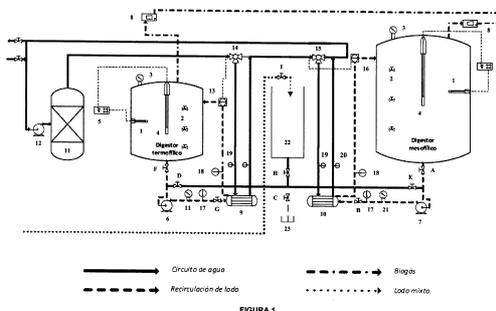
**PÉREZ GARCÍA, Montserrat y  
RIAU ARENAS, Víctor**

54 Título: **Procedimiento y planta para la digestión anaerobia termofílica-mesofílica secuencial de lodos mixtos de depuradora**

57 Resumen:

La invención consiste en una planta diseñada para llevar a cabo tratamientos de digestión anaerobia termofílica (55°C)-mesofílica (35°C) secuencial de lodos mixtos (lodos primarios más secundarios) generados durante la depuración de aguas residuales urbanas para la estabilización de los lodos, así como el correspondiente procedimiento de operación.

La planta consta de dos reactores, operando en régimen termofílico y mesofílico, respectivamente. El reactor termofílico se alimenta con una mezcla de lodos primarios y secundarios de EDAR (estación depuradora de aguas residuales), en una proporción 1:1 aproximadamente. El efluente obtenido tras la digestión termofílica se emplea como sustrato del reactor mesofílico. El efluente final del proceso es el extraído del reactor mesofílico.



ES 2 430 739 B1

## **DESCRIPCIÓN**

### **PROCEDIMIENTO Y PLANTA PARA LA DIGESTION ANAEROBIA TERMOFILICA-MESOFILICA SECUENCIAL DE LODOS MIXTOS DE DEPURADORA**

#### **SECTOR DE LA TÉCNICA.**

5 La presente invención se encuadra dentro de los procesos de tratamiento biológico de los lodos generados en la decantación primaria y secundaria (lodos mixtos) de la depuración de las aguas residuales urbanas mediante la tecnología de digestión anaerobia o biometanización en fases de temperatura termofílica-mesofílica secuencial.

#### **10 ESTADO DE LA TÉCNICA ANTERIOR A LA FECHA DE PRESENTACIÓN.**

En Europa, el volumen de lodos generados se ha incrementado considerablemente en los últimos años desde la implantación de la Directiva 91/271/CEE del Consejo sobre Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas. Este incremento se ha debido principalmente a las mayores restricciones aplicadas a los efluentes, al aumento del nivel de depuración y a la construcción de nuevas y mejores instalaciones de tratamiento. Este incremento en la producción de lodos supone un problema en términos de tratamiento y eliminación, además de un incremento en los costes de gestión, los cuales representan entre un 25% y un 65% de los costes totales de gestión en una EDAR (estación depuradora de aguas residuales).

El principal problema que plantean los lodos deriva de su elevado contenido en materia orgánica, que puede suponer entre el 40 % y el 80 % del peso seco, dependiendo del tipo y extensión del tratamiento empleado. La fracción orgánica es una mezcla de grasas, proteínas, carbohidratos, lignina, aminoácidos, material húmico, ácidos grasos y microorganismos, vivos y muertos. La mayor carga orgánica de los lodos procedentes del tratamiento de las aguas domésticas es de origen fecal fundamentalmente, por lo que tiende a descomponerse; de ahí la importancia de someterlos a tratamientos de estabilización y la necesidad de establecer normas reguladoras y pautas a seguir para una adecuada evacuación final.

Esta creciente y continua generación de lodos requiere de estrategias de tratamiento y gestión bien definidas y altamente eficientes. Por ello se han de considerar siempre como un subproducto susceptible de ser valorizado, tanto desde un punto de vista energético como agronómico.

35 Siguiendo el principio de prevención de la contaminación, la jerarquía de actuación en materia de gestión de lodos pasa por reducir su generación, seguida por su reciclaje y valorización con recuperación energética. Es por ello que el uso agrícola de los mismos es la alternativa más plausible, pues implica el concepto de reciclaje al considerar los biosólidos como una materia prima con valor económico. Ello, unido al actual problema existente en la agricultura en relación

con el drástico descenso de materia orgánica de los suelos españoles, principalmente en las regiones del sur, hace que la aplicación agrícola se esté convirtiendo en una práctica habitual. Sin embargo, la aplicación agrícola es una práctica con grandes restricciones, encuadrada dentro de un amplio marco legal. Los riesgos asociados a la utilización de los lodos en agricultura, una vez estabilizados, están relacionados, principalmente, con la presencia de microorganismos patógenos de origen fecal como coliformes (Lang, N.L., Smith, S.R., 2008. *Time and temperature inactivation kinetics of enteric bacteria relevant to sewage sludge treatment processes for agricultural use. Water Res. 42, 2229- 2241*; Forster, T., Riau, V., Pérez, M., 2010. *Mesophilic anaerobic digestion of sewage sludge to obtain class B biosolids: Microbiological methods development. Biomass Bioenerg. 34(12), 1805-1812*; Pritchard, D.L., Penney, N., McLaughlin, M.J., Rigby, H., Schwarz, K., 2010. *Land application of sewage sludge (biosolids) in Australia: risks to the environment and food crops. Water Sci. Technol. 62(1), 48-57*), *Salmonella* (Forster et al., 2010), y/o huevos de helminto (Jiménez, B., 2007. *Helminth ova control in sludge: A review. Water Sci. Technol. 56(9), 147-155*; Navarro, I., Jiménez, B., Cifuentes, E., Lucariol, S., 2008. *A quantitative microbial risk assessment of helminth ova in reusing sludge for agricultural production in developing countries. WIT Transactions on Information and Communication Technologies 39, 65-74*); algunos de los cuales se encuentran en altas cantidades.

Las tecnologías tradicionalmente implantadas en las EDARs españolas para la estabilización de los lodos, como la digestión aerobia y la digestión anaerobia mesofílica (35 °C), no son, en ocasiones, lo suficientemente eficaces. Así, los biosólidos derivados de estos procesos no cumplen, en muchos casos, los requisitos mínimos para su reciclaje y reutilización, al suponer un riesgo para la salud de los animales, las personas y del medio ambiente en general.

El desarrollo de tecnologías que permitan reducir la cantidad de lodos generados y producir un producto altamente higienizado, es una opción más que interesante. Si además se consigue mediante este tratamiento valorizar el residuo, se habrá conseguido dar un paso más hacia la gestión eficiente y sostenible de los lodos de EDAR. Se hacen por tanto necesarios estudios de viabilidad para la implantación de nuevos procesos más eficaces y capaces, no solo de minimizar los costes de operación y gestión, sino también de producir beneficios tanto económicos como medioambientales.

La digestión anaerobia en fases de temperatura de los lodos de EDAR va mas allá de un proceso anaerobio convencional, respecto al cual ha demostrado múltiples ventajas. Sin embargo, se trata de un concepto nuevo y requiere de estudios completos que permitan determinar las condiciones óptimas de operación. Por otro lado, con el fin de valorizar agrónomicamente el residuo, se debe estudiar con detalle su influencia sobre los parámetros más relevantes como las concentraciones de metales pesados y de microorganismos patógenos, entre otros.

Por otro lado, la aplicabilidad industrial del proceso necesita de estudios previos a escala de planta piloto que permitan reproducir, lo más fielmente posible, las condiciones de operación de los digestores anaerobios industriales. De esta manera se podría predecir la viabilidad de la implantación del proceso a escala real e incluso obtener, realizando un estudio económico minucioso, una aproximación de los costes y beneficios a corto y largo plazo.

Dentro de los procesos anaerobios, la digestión anaerobia mesofílica (35 °C) es la opción más ampliamente extendida a nivel industrial para la estabilización de los lodos de depuradora. Este proceso requiere usualmente de TRS superiores a 20 días para estabilizar el lodo (*De La Rubia, M.A., Pérez, M., Romero, L.I., Sales, D., 2002. Anaerobic Mesophilic and Thermophilic Municipal Sludge Digestion. Chem. Biochem. Eng. Q. 16(3), 119-124; Song, Y., Kwon, S., Woo, J., 2004. Mesophilic and thermophilic temperature co-phase anaerobic digestion compared with single-stage mesophilic and thermophilic digestion of sewage sludge. Water Res. 38, 1653-1662*). Aun así, 20 días son, en ocasiones, insuficientes para una reducción efectiva de la materia orgánica y/o la desactivación de organismos patógenos. Para superar estas limitaciones surge la digestión anaerobia termofílica (55 °C), que aprovecha las altas temperaturas y las altas tasas metabólicas de los microorganismos termofílicos

(*Kobayashi, T., Li, Y.Y., Harada, H., 2008. Analysis of microbial community structure and diversity in the thermophilic anaerobic digestion of waste activated sludge. Water Sci. Technol. 57(8), 1199 -1205*). Estos microorganismos son capaces de operar a bajos TRS, tratando altas cargas orgánicas y presentando elevadas tasas de crecimiento específico en comparación con sus homólogos mesofílicos (*Zinder, S.H., Anguish, T., Cardwell, S.C., 1984. Effects of temperature on methanogenesis in a thermophilic anaerobic digester. Appl. Environ. Microbiol. 47(4), 808-813; Harris W.L., Dague R.R., 1993. Comparative*

*performance of anaerobic filters at mesophilic and thermophilic temperatures; De La Rubia, M.A., Pérez, M., Romero, L.I., Sales, D., 2006. Effect of solids retention time (SRT) on pilot scale anaerobic thermophilic sludge digestion. Process Biochem. 41, 79-86*). Lo anterior tiene como resultado un incremento del potencial metanogénico y la posibilidad de disminuir el tamaño del reactor.

Aunque de manera general se obtienen mayores rendimientos en la eliminación de sólidos volátiles y en la desactivación de organismos patógenos con el proceso termofílico, la calidad, en términos de concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) y la capacidad de deshidratación de los lodos residuales son menores que en el tratamiento mesofílico. Además, se requiere de energía adicional para el calentamiento del digestor (*Lee, M.Y., Suh, C.W., Ahn, Y.T., Shin, H.S., 2009. Variation of ADM1 by using temperature-phased anaerobic digestion (TPAD) operation. Bioresource Technol. 100(11), 2816-2822*).

Especialmente, la digestión anaerobia termofílica presenta una mayor sensibilidad ante cambios en las condiciones de operación, tanto de la temperatura y la velocidad de carga orgánica como de las características del fango de alimentación (*Lindorfer, H., Waltenberger, R., Köllner, K., Braun, R., Kirchmayr, R., 2008. New data on temperature optimum and temperature changes in energy crop digesters. Bioresource Technol. 99, 7011-7019*). El control de la concentración de AGV y, por tanto, de los valores de pH y alcalinidad del medio es un factor determinante para evitar la desestabilización del sistema y la inhibición del proceso anaerobio. La evolución de la concentración de AGV permite corroborar el momento de estabilización para cada una de las condiciones de operación que se pretenden ensayar y es de especial importancia en la obtención de un inóculo termofílico a partir de un lodo mesofílico mediante cambio de temperatura (*Boušková, A., Dohányos, M., Schmidt, J.E., Angelidaki, I., 2005. Strategies for changing temperature from mesophilic to thermophilic conditions in anaerobic CSTR reactors treating sewage sludge. Water Research 39 (8) , pp. 1481-1488*). Por todo lo anterior, el proceso termofílico no ha sido implantado como tecnología para la estabilización de los lodos en las EDARs españolas.

La combinación de los procesos termofílicos y mesofílicos (*Dague, R.R., Harris, W.L., Kaiser, S.K., 1998. Temperature-phased anaerobic waste treatment process. US Patent No. 5746919; Riau, V., De la Rubia, M.A., Pérez, M., 2010. Temperature-phased anaerobic digestion (TPAD) to obtain class A biosolids: A discontinuous study. Bioresource Technol. 101, 65-70; Riau, V., De la Rubia, M.A., Pérez, M., 2010. Temperature-phased anaerobic digestion (TPAD) to obtain class A biosolids: A semi-continuous study. Bioresource Technol. 101, 2706-2712*), según se ha demostrado con la presente invención, permitiría su implantación a escala industrial, incrementando a su vez la reducción del volumen de lodos residuales, el potencial energético en metano, la capacidad de deshidratación final del fango, la desactivación de microorganismos patógenos y la estabilidad del proceso global. Por tanto, la aplicación agrícola del subproducto generado tras la digestión se vería también favorecida, disminuyendo también los costes de gestión e inmovilizado. Así, la digestión anaerobia termofílica-mesofílica secuencial de los lodos de EDAR supondría un beneficio, a largo plazo, para las estaciones de tratamiento de aguas residuales, especialmente para aquellas que cuentan con sistemas de cogeneración eléctrica-térmica a partir del biogás generado.

Sin embargo, el proceso anaerobio termofílico-mesofílico secuencial es considerado como una de las tecnologías emergentes en la estabilización de lodos de EDAR y su desarrollo a escala industrial no se encuentra aun muy extendido; de hecho se limita a pruebas experimentales (*Lv, W., Schanbacher, F.L., Yu, Z., 2010. Putting microbes to work in sequence: Recent advances in temperature-phased anaerobic digestion processes. Bioresource Technol. 101(24), 9409-9414*) dado el riesgo que supone para una estación depuradora la implantación de tecnologías novedosas

desde un punto de vista económico y de operación. El proceso requiere todavía de un estudio exhaustivo que permita optimizar cada una de las etapas tanto desde el punto de vista de la estabilización del lodo como desde un punto de vista energético y económico.

5 La presente invención se centra, por tanto, en la fabricación de un equipo, en el que se puedan llevar a cabo los procesos anaerobios en fases de temperatura, pudiendo optimizarse las condiciones de trabajo, adaptando las mismas a la operación de la estación depuradora correspondiente y, por tanto, al tipo de fango derivado del tratamiento del agua residual en cuestión.

## 10 **EXPLICACIÓN DE LA INVENCIÓN.**

La planta que la invención propone, al constar de dos digestores dispuestos en serie, supone una ventaja sustancial con respecto a los reactores mesofílicos convencionales. Así, en el primer reactor, el lodo mixto compuesto por una mezcla de lodos primarios y secundarios en una proporción 1:1 aproximada, es sometido a una predigestión bajo condiciones termofílicas  
15 (55 °C). La alta temperatura de operación permitirá no sólo una mayor hidrólisis del sustrato sino la higienización del mismo. Durante la etapa mesofílica (35 °C) el lodo hidrolizado es más fácilmente degradado hasta metano.

Por tanto, la combinación secuencial de los procesos anaerobios termofílicos y mesofílicos incorpora las ventajas de ambos (mayor tasa de eliminación de sólidos volátiles, desactivación  
20 de organismos patógenos, deshidratación del lodo) y minimiza, en gran medida, las desventajas de cada uno de ellos. La planta permite operar de forma estable y presenta una mayor eliminación de materia orgánica y producción de metano que un sistema mesofílico operando al mismo tiempo de retención de sólidos (TRS) y alimentado con el mismo sustrato.

La planta propuesta permite desarrollar experimentos de optimización y validación de las  
25 condiciones de operación para el tratamiento de diferentes tipos de lodos de EDAR y, de este modo, obtener resultados experimentales transferibles a la operación a escala industrial. Así pues la operación de la planta propuesta permite optimizar las condiciones de operación y facilitar el arranque de una planta a escala industrial.

El incremento de la eficiencia en la eliminación de materia orgánica permite, para un mismo  
30 nivel de tratamiento, disminuir el tamaño de los reactores y los requerimientos energéticos y de superficie.

El incremento de la producción de biogás puede suplir el incremento de consumo energético derivado del proceso termofílico por lo que las pruebas piloto pueden ser autosuficientes desde un puesto de vista energético.

- La conexión mediante tubería de ambos reactores, y de éstos con un tanque central, así como el completo sistema de válvulas de paso, permite realizar la alimentación, el trasiego y la evacuación del efluente de una manera sencilla y limpia. Este tanque se encuentra situado entre los digestores termofílico y mesofílico y es empleado en el proceso de cambio de temperatura entre las etapas termofílica y mesofílica. Asimismo, mediante este tanque se consigue la regulación de la alimentación de las dichas etapas hasta la recuperación de los niveles de ácidos grasos volátiles (AGV). Como se ha citado anteriormente, el control de la concentración de AGV así como del pH del medio, son factores fundamentales para evitar la desestabilización del sistema y por tanto, la inhibición del proceso anaerobio.
- 5
- 10 El empleo de un calentador de agua y de válvulas termostáticas de tres vías permite mantener la calefacción de ambos digestores, a distintas temperaturas, utilizando un único circuito de agua que utiliza como fluido calefactor el agua procedente de las calderas de la EDAR donde el proceso vaya a ser implantada.

#### Operación del sistema

- 15 La calefacción del sistema tiene lugar de la siguiente manera (Figura 1). En la zona de descarga del fango en el digestor 1 (digestor termofílico), tras haber pasado este por el intercambiador de calor (9), se dispone un sensor de temperatura (13) conectado a una válvula de tres vías (14), situada en la línea de agua de calefacción. En función de la temperatura del lodo de recirculación, la válvula aumenta o disminuye el caudal de entrada de agua, procedente del calentador (11), al intercambiador (9), para mantener la T programada a 55 °C. El agua de salida del primer intercambiador (9) continua su camino pasando de nuevo a través de una nueva válvula de tres vías (15), conectada a un sensor de temperatura (16) situado en la línea de recirculación del digestor 2 (mesofílico).
- 20

- Según la temperatura registrada por el sensor, la válvula deja pasar al segundo intercambiador (10) el caudal necesario para alcanzar la temperatura deseada del lodo (35 °C).
- 25

Tras salir del segundo intercambiador (10), el agua retorna al calentador y vuelve a comenzar el ciclo.

Todas las conducciones se encuentran debidamente aisladas para evitar pérdidas de calor, mediante un aislante de neopreno de 2 cm de espesor.

- 30 Se adopta operación en flujo descendente tanto para la recirculación del lodo como para la alimentación. El caudal de recirculación se mantiene en 90 L/h para el digestor 1 y en 230 L/h para el digestor 2, para asegurar unas buenas condiciones de mezcla.

- Los equipos están dotados de dos sondas de temperatura (1) y 4 termómetros cada uno (17), (18), (19) y (20). Una ya mencionada, en el cuerpo del digestor; un termómetro a la entrada (17) y otro a la salida (18) de la línea de fango del intercambiador; dos más para el control de la temperatura del agua a la entrada (19) y salida del intercambiador (20), y una última sonda
- 35

(16), también, conectada a la válvula de tres vías (15). Además, se dispone un manómetro (21) antes de la entrada del fango a los intercambiadores (9) y (10) para detectar posibles atascos en los mismos o fallos en el funcionamiento de las bombas de recirculación.

Los reactores están conectados entre si mediante un sistema de tuberías y válvulas para permitir el trasiego del efluente termofílico al reactor mesofílico. Además, ambos equipos están conectados a un depósito central de alimentación (22), de 120 litros de volumen, a partir del cual se realiza la alimentación del digestor 1 con lodo mixto y del digestor 2 con efluente termofílico. Este depósito se encuentra unido mediante conducción controlada por válvula a la bomba de recirculación (6) ó (7) y en el desemboca una manguera conectada directamente a la tubería de alimentación. El tanque central (22) permite recoger un volumen determinado de lodo (en función del TRS implantado) y corregir, si fuese necesario, el pH de la alimentación a los digestores, evitando inhibiciones del proceso debidas a la acumulación de AGV. Además, facilita la alimentación de los digestores y la evacuación del fango residual dado que se encuentra conectado directamente a la arqueta de desagüe (23).

El **procedimiento de alimentación** de los reactores es el siguiente (Figura 1). Durante el funcionamiento normal de la planta, las válvulas [C], [D], [E] y [H] permanecen cerradas por defecto mientras que las válvulas [A], [B], [F] y [G] permanecen abiertas. Inicialmente, se extrae del digestor 2 (mesofílico) el volumen de efluente correspondiente al TRS aplicado. Para ello, se para la bomba de recirculación (7), se cierra la válvula [B] y se abren las válvulas [E] y [H]. De esta forma, el lodo extraído se recoge en el depósito central (22). Una vez recogida la cantidad del efluente mesofílico deseada, se cierra de nuevo la válvula [E] y se abre la válvula [C], evacuándose el contenido del tanque central (22) a una arqueta de desagüe (23). A continuación, se procede a la extracción del efluente del digestor 1 (termofílico), que se emplea como sustrato para el digestor 2 (mesofílico). Con este fin, se para la bomba de recirculación (6), se cierra la válvula [G] y se abren las válvulas [D] y [H]. El efluente termofílico se recoge en el depósito central (22). Posteriormente, se alimenta el digestor 2 cerrando las válvulas [A] y [D] y abriendo las válvulas [E] y [B]. Al accionar la bomba (7), el lodo termofílico es bombeado del tanque central (22) al digestor 2, pasando previamente por el intercambiador (10). El volumen bombeado corresponde con el extraído inicialmente, determinado en función del TRS de operación del reactor mesofílico. El digestor 1 se alimenta con lodo fresco recogido directamente de la tubería de alimentación de los digestores industriales. Con las bombas de alimentación industriales en funcionamiento, se abre la válvula [I], y la cantidad necesaria de lodo fresco para alimentar el reactor termofílico se recoge en el depósito central (22). Una vez que el lodo fresco está en el depósito, se abren las válvulas [D] y [H] y se cierra la válvula [F]. A continuación se activa de nuevo la bomba de recirculación (6) y el lodo fresco es bombeado al digestor 1, pasando previamente por el intercambiador (9). Finalmente, todas las válvulas vuelven a su posición inicial y se activa de nuevo la recirculación del lodo en ambos reactores.

**DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS.**

**Figura 1.** Diagrama esquemático de la planta para la Digestión Anaerobia Termofílica-mesofílica Secuencial de lodos de EDAR

- 5 Se distinguen:
1. Sonda de temperatura PT-100
  2. Salidas para la toma de muestras
  3. Manómetros superiores
  4. Sensores de pH
- 10 5. Multímetros
6. Bomba centrífuga monohelicoidal 1
  7. Bomba centrífuga monohelicoidal 2
  8. Contadores volumétricos de gas
  9. Intercambiador de calor 1
- 15 10. Intercambiador de calor 2
11. Calentador de agua
  12. Bomba centrífuga horizontal
  13. Sonda de temperatura 1
  14. Válvula termostática de tres vías 1
- 20 15. Válvula termostática de tres vías 2
16. Sonda de temperatura 2
  17. Termómetro entrada fango intercambiador
  18. Termómetro salida fango intercambiador
  19. Termómetro entrada agua intercambiador
- 25 20. Termómetro salida agua intercambiador
21. Manómetro entrada fango intercambiador
  22. Tanque central de alimentación
  23. Arqueta de desagüe.
- A, B, C, D, E F, G y H: Válvulas de paso de dos posiciones (abierta y cerrada).

**Figura 2.-** Resultados referidos a eliminación de materia orgánica en términos de porcentaje de sólidos volátiles del sistema Termofílico-Mesofílico (sistema T-M) a 5/15, 3/15, 3/12 y 3/9 días /días TRS.

5

**Figura 3.-** Resultados referidos a producción específica de metano del sistema Termofílico-Mesofílico (sistema T-M) a 5/15, 3/15, 3/12 y 3/9 días /días TRS.

10 **Figura 4.-** Resultados referidos a eliminación de patógenos del sistema Termofílico-Mesofílico (sistema T-M) a 5/15, 3/15, 3/12 y 3/9 días /días TRS., en términos de densidad de coliformes fecales (MPN/ g TS), donde MPN hace referencia a los términos en inglés *Most Probable Number*, esto es Número más probable y TS hace referencia al término en inglés *Total Solids*, esto es sólidos totales.

15 **Figura 5.-** Resultados referidos a capacidad de deshidratación del fango del sistema Termofílico-Mesofílico (sistema T-M) a 5/15, 3/15, 3/12 y 3/9 días /días TRS., donde MPN hace referencia a los términos en inglés *Most Probable Number*, esto es Número más probable y TS hace referencia al término en inglés *Total Solids*, esto es sólidos totales.

20

### **MODO DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION.**

Una posible configuración de la construcción de la planta se recoge en la siguiente descripción.

La planta consta de dos reactores anaerobios fabricados en fibra de poliéster, agitados y calentados. El digestor 1, que se emplea como unida termofílica es de menor tamaño y tiene  
5 una capacidad total de 360 litros, mientras que el digestor 2, que se empleara como unida mesofílica dispone de 800 litros de capacidad total.

Las características de ambos digestores se describen a continuación. Además, en la Figura 1 se detallan cada uno de los elementos descritos:

- 10   ▪ Los reactores presentan un cuerpo central de forma cilíndrica y una parte inferior de forma cónica. La parte central posee una boca de hombre en la que se inserta una sonda de temperatura tipo PT- 100, además posee tres válvulas de tres vías de acero inoxidable, con dos posiciones, abierta y cerrada, distribuida a distintos niveles de altura para la toma de muestras. El elemento dispone también de una entrada de 2 pulgadas situada en la parte inferior del cono para la salida del fango hacia la bomba de recirculación.
- 15   ▪ Un cuerpo superior de forma troncocónica, más pronunciada en el digestor de mayor volumen, que se utiliza como cámara para el biogás generado. Este cuerpo esta coronado por una tapa boca de hombre con varias salidas: una para el biogás producido, otra en la que se inserta un manómetro para controlar la presión en el interior del digestor, y una tercera salida (2") por la cual se introduce un sensor de pH. Tanto la sonda PT100 como el sensor de pH  
20   encuentran conectados a un multímetro que permite obtener una medida en continuo de ambos parámetros.
- 25   ▪ La agitación se lleva a cabo mediante recirculación del fango empleando para ello sendas bombas mono helicoidales con una velocidad máxima de operación de 1750 rpm y con caudal regulable mediante un convertidor de frecuencia. El volumen de la conducción de recirculación es despreciable respecto del volumen del digestor.
- 30   ▪ Un sistema de medición del biogás generado, compuesto por un medidor volumétrico de gas capaz de medir un caudal máximo de 6 m<sup>3</sup>/h.
- 35   ▪ El sistema de calefacción utilizado en ambos digestores consiste en intercambiadores tubulares de calor de acero inoxidable de 480 mm de longitud y 130 mm de diámetro, con tubos interiores de 5,5 x 7 mm. Cada intercambiador se sitúa en la línea de recirculación del fango y utiliza como fluido calefactor agua caliente procedente de las calderas de calefacción de los digestores industriales. Se incorpora, además, un termo eléctrico de 300 L de capacidad, capaz de calentar agua hasta los 65 °C. Este sistema permite alcanzar los 55 °C del rango termofílico, en caso de que las calderas operen para a 35 °C. Para forzar la dirección del agua y asegurar un caudal constante se emplea una bomba horizontal centrifuga multicelular, con un caudal nominal de 5 m<sup>3</sup>/h.

En la siguiente tabla se representa un ejemplo operativo para la optimización de las condiciones del proceso de Digestión Anaerobia Termofílica-Mesofílica Secuencial para un lodo mixto determinado cuyas características se muestran posteriormente. Se han llevado a cabo a cabo diferentes combinaciones de Tiempo de Retención de Sólidos (TRS) termofílico-mesofílico según se muestra en la siguiente tabla.

Ensayo	TRS (días)		
	Reactor termofílico	Reactor mesofílico	TRS <sub>total</sub> (días)
T-M 5/15	5	15	20
T-M 3/15	3	15	18
T-M 3/12	3	12	15
T-M 3/9	3	9	12
Control	-	15	15

Dichos ensayos están referidos a cuatro pruebas realizadas a 5/15, 3/15, 3/12 y 3/9 (días /días TRS), y donde T-M hace referencia al sistema Termofílico-Mesofílico.

10 Las características medias del lodo mixto a tratar y de los inóculos empleados son las siguientes:

INÓCULO	pH	Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	AGV (mg C <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	ST (g kg <sup>-1</sup> )	SV (g kg <sup>-1</sup> )
Mesofílico	7,7±0,1	4225±274	298±46	37,1±0,4	21,3±0,5
Termofílico	7,6±0,1	3766±113	2116±56	48,8±0,4	35,0±0,7
<b>LODO MIXTO</b>					
TPAD 5/15	6,2±0,2	2785±157	558±80	64,0±2,7	51,8±0,9
TPAD 3/15	6,1±0,2	2885±92	576±29	58,2±2,1	46,3±2,4
TPAD 3/12	6,3±0,2	2445±122	436±19	58,1±1,2	45,3±1,1
TPAD 3/9	6,2±0,2	2405±90	373±29	61,7±1,4	39,1±0,6

Donde:

AGV: Ácidos Grasos Volátiles (expresados en mg de ácido acético por litro)

15 ST: Sólidos totales

SV: Sólidos volátiles

En las gráficas de las figuras 2, 3, 4 y 5 se muestran algunos de los principales resultados obtenidos en los ensayos a escala semindustrial. Fundamentalmente se pretende comparar el equipo con un digester mesofílico convencional operando al mismo TRS.

Dichos resultados se encuentran referidos concretamente a:

- 5
- Eliminación de materia orgánica en términos de sólidos volátiles (figura 2).
  - Producción específica de metano (figura 3).
  - Eliminación de patógenos (figura 4).
  - Capacidad de deshidratación del fango (figura 5).

10 Dichos resultados están referidos a cuatro pruebas realizadas a T-M 5/15, 3/15, 3/12 y 3/9, donde T-M se refiere al sistema Termofílico-Mesofílico y las cifras indican la relación entre días /días TRS.

**REIVINDICACIONES.**

1. Procedimiento para la digestión anaerobia termofílica-mesofílica secuencial de lodos de depuradora caracterizado porque en el proceso de cambio de temperatura se emplea un tanque central colocado entre las etapas termofílica y mesofílica en donde se realiza el trasiego, la evacuación del efluente procedente de la etapa termofílica así como la regulación de la alimentación de las etapas hasta la recuperación de los niveles de ácidos grasos volátiles.
2. Planta para la digestión anaerobia termofílica-mesofílica secuencial de lodos mixtos de depuradora que comprende dos reactores anaerobios, agitados, calentados e interconectados con tanque central para el trasiego de efluente y la alimentación de los reactores.
3. Planta para la digestión anaerobia termofílica-mesofílica secuencial de lodos mixtos de depuradora, según reivindicación 1, caracterizada porque la agitación se realiza mediante recirculación del fango.
4. Planta para la digestión anaerobia termofílica-mesofílica secuencial de lodos mixtos de depuradora, según reivindicaciones 2 y 3, caracterizada porque cada uno de los cuerpos de los reactores y dispone de los siguientes elementos:
  - a) Tres válvulas de paso para la toma de muestras
  - b) Salida inferior hacia La bomba de recirculación
  - c) Entrada lateral del fango recirculado
  - d) Tapa boca de hombre lateral y entrada central para la inserción de la sonda de temperatura
  - e) Tapa boca de hombre superior con tres salidas para La evacuación del biogás generado al contador volumétrico, para la toma de muestras del biogás y para la inserción del manómetro superior y una entrada central para La inserción del medidor de pH
  - f) Sonda de temperatura PT-100
  - g) Manómetro superior
  - h) Sensor de pH

5. Planta para la digestión anaerobia termofílica-mesofílica secuencial de lodos mixtos de depuradora, según reivindicaciones 2 a 4, caracterizada porque, además, cada reactor dispone, externamente al cuerpo del mismo, de:

- a) Multímetro para la medida en continuo de pH y temperatura
- 5 b) Bomba centrífuga monohelicoidal para la recirculación del fango
- c) Intercambiador de calor para la calefacción
- d) Manómetro a la entrada del fango al intercambiador
- e) Válvula termostática de tres vías
- f) Sonda de temperatura conectada a la válvula de tres vías
- 10 g) Termómetro a la entrada del fango al intercambiador
- h) Termómetro a la salida del fango al intercambiador
- i) Contador volumétrico de gas
- j) Termómetro a la entrada del agua al intercambiador
- k) Termómetro a la salida del agua al intercambiador
- 15 l) Manómetro a la entrada del fango al intercambiador

20

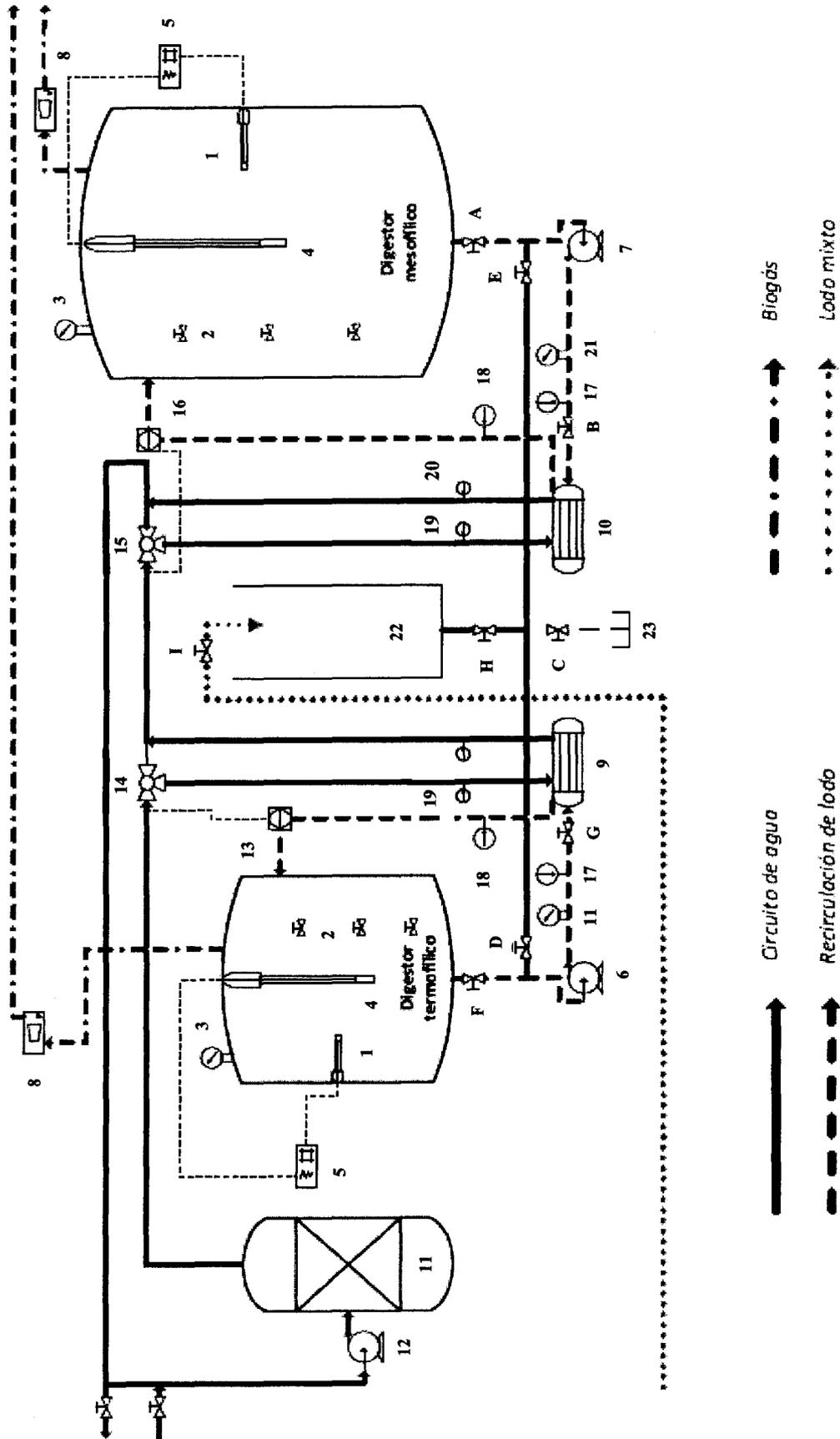


FIGURA 1



- ②① N.º solicitud: 201200527  
②② Fecha de presentación de la solicitud: 16.05.2012  
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **C02F3/28** (2006.01)  
**C02F11/04** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	RIAU V. et al. Assessment of solid retention time of a temperature phased anaerobic digestion system on performance and final sludge characteristics. J Chem Technol Biotechnol. 13.01.2012, Vol. 87, páginas 1074-1082, todo el documento.	1-5
A	LV W. et al. Putting microbes to work in sequence: Recent advances in temperature-phased anaerobic digestion processes. Bioresource Technology. 2010, Vol. 101, páginas 9409-9414, todo el documento.	1-5
A	RIAU V et al. Temperatura-phased anaerobic digestion (TPAD) to obtain class A biosolids: a semi-continuous study. Bioresource Technology. 2010, Vol. 101, páginas 2706-2712, todo el documento.	1-5
A	SUNG S. et al. Performance of Temperature-Phased Anaerobic Digestion (TPAD) System Treating Dairy Cattle Wastes. Tamkang Journal of Science and Engineering. 2001, Vol. 4, No. 4, páginas 301-310, todo el documento.	1-5
A	US 5525228 A (DAGUE et al.) 11.06.1996, todo el documento.	1-5

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia  
Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría  
A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita  
P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud  
E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
27.09.2013

Examinador  
M. Cumbreño Galindo

Página  
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

C02F

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, MEDLINE, NPL, EMBASE, BIOSIS

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 27.09.2013

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones	<b>SI</b>
	Reivindicaciones 1-5	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones	<b>SI</b>
	Reivindicaciones 1-5	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	RIAU V. et al. J Chem Technol Biotechnol. Vol. 87, páginas 1074-1082	13.01.2012
D02	LV W. et al. Bioresource Technology. Vol. 101, páginas 9409-9414	2010
D03	RIAU V et al. Bioresource Technology. Vol. 101, páginas 2706-2712.	2010
D04	SUNG S. et al. Tamkang Journal of Science and Engineering. Vol. 4, No. 4, páginas 301-310.	2001
D05	US 5525228 A	11.06.1996

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

La presente invención tiene por objeto un procedimiento para la digestión anaerobia termofílica-mesofílica secuencial de lodos de depuradora y una planta para la digestión anaerobia termofílica-mesofílica secuencial de lodos mixtos de depuradora (reivindicaciones 1 a 5).

D01 describe un procedimiento de digestión anaerobia termofílica/mesofílica secuencial de lodos de depuradora cuyo fin es que el producto de la digestión pueda ser utilizado en aplicaciones agrícolas de acuerdo con los requerimientos legales.

D02 revisa la nueva tecnología relativa a los sistemas de digestión anaerobia haciendo hincapié en aquellos procesos divididos en dos etapas, una termofílica y otra mesofílica, con los que se logra una mayor eficiencia.

D03 investiga la eficiencia de los sistemas de digestión anaerobia secuencial de lodos de depuradora en función del tiempo de retención de sólidos empleado.

D04 expone el uso de la digestión anaerobia secuencial como sistema empleado en la estabilización de los residuos procedentes de ganado lechero.

D05 divulga un procedimiento para el tratamiento de residuos en dos etapas separadas: una primera etapa de digestión anaerobia termofílica y una segunda etapa de digestión anaerobia mesofílica.

**NOVEDAD Y ACTIVIDAD INVENTIVA**

D01 describe un procedimiento de digestión anaerobia termofílica/mesofílica secuencial de lodos de depuradora cuyo fin es que el producto de la digestión pueda ser utilizado en aplicaciones agrícolas de acuerdo con los requerimientos legales. El sistema consiste en un reactor termofílico y otro mesofílico así como un tanque central, intercambiadores de calor, etc. Así mismo, se lleva a cabo el análisis de diferentes parámetros del efluente como sólidos totales, ácidos grasos volátiles o cantidad de biogás producido y se evalúa la materia orgánica eliminada y la producción de metano en función del tiempo de retención de sólidos

En consecuencia, las características de las reivindicaciones 1-5 ya son conocidas por lo que esas reivindicaciones no se pueden considerar nuevas a la vista del estado de la técnica ni, por tanto, presentan actividad inventiva.