

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 383 982**

51 Int. Cl.:

C02F 11/04 (2006.01)

C02F 3/28 (2006.01)

C12P 5/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06124867 .0**

96 Fecha de presentación: **28.11.2006**

97 Número de publicación de la solicitud: **1792877**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **06.06.2007**

54 Título: **Procedimiento y aditivo para digerir materia orgánica**

30 Prioridad:
01.12.2005 SE 0502624

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
28.06.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
28.06.2012

73 Titular/es:
TEKNISKA VERKEN I LINKÖPING AB
BOX 1500
581 15 LINKÖPING, SE

72 Inventor/es:
Ejlertsson, Jörgen

74 Agente/Representante:
Carpintero López, Mario

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).

ES 2 383 982 T3

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y aditivo para digerir materia orgánica

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para producir biogás por digestión anaerobia de materia orgánica.

La presente invención también se refiere a un aditivo adaptado para añadirse a un dispositivo para la producción de biogás por digestión anaerobia de materia orgánica.

Antecedentes de la invención

10 La digestión anaerobia de materia orgánica puede utilizarse para diferentes fines y con muchos tipos diferentes de materiales orgánicos. Por ejemplo la digestión anaerobia puede utilizarse para disminuir el volumen de un material residual, tal como un lodo residual de la producción de alimentos o agua residual doméstica. Otro ejemplo es el uso de digestión anaerobia para producir biogás utilizando cultivos adecuados. Un deseo general con todos estos procesos es obtener una gran cantidad de biogás y un grado de digestión elevado, es decir una baja cantidad de material orgánico en el lodo digerido.

15 El documento EP 0 970 922 A2 describe un procedimiento para la digestión anaerobia de residuos orgánicos, tal como basura de cocina. Cabe señalar que a veces la cantidad de metales traza disponibles no es suficiente para los microorganismos implicados en la digestión y formación de metano. El documento EP 0 970 922 A2 propone añadir agentes formadores de complejos y/o añadir metales traza para llegar a una concentración de Co, Ni, Fe, Mn de aproximadamente 1 ppm.

20 Un problema con el procedimiento del documento EP 0 970 922 A2 es que no proporciona las condiciones óptimas para la digestión anaerobia con diferentes materiales y condiciones operativas. Por lo tanto, el proceso del documento EP 0 970 922 A2 puede proporcionar a veces un consumo demasiado elevado de metales traza sin proporcionar no obstante una digestión eficaz.

25 El documento US 5.071.559 describe la digestión anaerobia de un condensado en un reactor anaerobio de flujo ascendente de tipo lecho de lodos.

El documento WO 92/03393 describe el aporte de un nutriente a un suelo contaminado con el fin de degradar contaminantes.

El artículo "Effect of Cobalt on the Anaerobic Thermophilic Conversion of Methanol", desvela la digestión anaerobia de metanol en un reactor anaerobio de flujo ascendente de tipo lecho de lodos.

30 El documento DE 41 30 466 describe el control del aporte de una fuente de carbono en una planta de tratamiento de agua.

El artículo "On-line titration of volatile fatty acids for the process control of anaerobic digestion plants" describe la medición de ácidos grasos volátiles en digestión anaerobia en un reactor de tanque.

35 El artículo "Anaerobic biodegradation of oleic and palmitic acids: Evidence of mass transfer limitations caused by long chain fatty acid accumulation onto anaerobic sludge" describe la acumulación de ácidos grasos de cadena larga en procesos de digestión.

El artículo "Bactericidal effect of long chain fatty acids in anaerobic digestion" describe el efecto veneno de ácidos grasos de cadena larga sobre un cultivo bacteriano.

Sumario de la invención.

40 Un objeto de presente invención es proporcionar un procedimiento de digestión anaerobia de materia orgánica por el cual el procedimiento de producción de biogás aumenta sin un exceso de consumo de metales traza.

Este objeto se consigue mediante un procedimiento de producción de biogás por digestión anaerobia de materia orgánica, caracterizándose el procedimiento por

45 la adición de cobalto, hierro y ácido clorhídrico a una materia orgánica de tal manera que la proporción entre el cobalto y el hierro añadidos sea de 1:80 a 1:15.000 en base al peso y la proporción entre el hierro y el ácido clorhídrico añadidos sea de 1:3 a 300:1 en base al peso,

poner la materia orgánica en contacto con bacterias productoras de biogás, y

digerir la materia orgánica en condiciones anaerobias en un reactor produciendo al mismo tiempo biogás y un lodo digerido.

Una ventaja de la presente invención es que la cantidad de biogás producida por tonelada de masa orgánica aumenta mucho debido, sorprendentemente, a la adición combinada de cobalto, hierro y ácido clorhídrico. La digestión produce, como producto final, lodo digerido. Se ha observado que la presente invención disminuye la cantidad de materia orgánica no digerida en el producto final, produciendo así un producto final que es mucho más útil como fertilizante.

Un objeto adicional de la presente invención es proporcionar un aditivo que esté adaptado para añadirse a un dispositivo para producir biogás por digestión anaerobia de materia orgánica y cuyo aditivo funciona para hacer que la digestión anaerobia sea más eficaz.

Este objeto se consigue mediante un aditivo adaptado para añadirse a un dispositivo para producir biogás por digestión anaerobia de materia orgánica, caracterizándose el aditivo porque comprende cobalto, hierro y ácido clorhídrico, siendo la proporción del cobalto con respecto al hierro de 1:80 a 1:15.000 en base al peso, siendo la proporción del hierro con respecto al ácido clorhídrico de 1:3 a 300:1 en base al peso.

Una ventaja de este aditivo es que se ha observado que proporciona un modo simple, pero eficaz de aumentar la producción de biogás de un dispositivo en el que la materia orgánica se digiere en condiciones anaerobias. El uso del aditivo disminuye el riesgo de cometer errores en el funcionamiento de la planta. Preferentemente dicho aditivo comprende cobalto, hierro y ácido clorhídrico en una solución acuosa. Una ventaja de la solución acuosa es que la solución acuosa es comparablemente fácil de manejar por los operarios y que es fácil obtener un control exacto de la dosificación del aditivo al dispositivo para producir biogás.

En el procedimiento de la presente invención se utiliza un dispositivo para producir biogás por digestión anaerobia de materia orgánica, comprendiendo dicho dispositivo un reactor que puede cerrarse herméticamente, esencialmente hermético a gases, que posee una entrada para la materia orgánica y salidas para el biogás producido y el lodo digerido formado, estando el reactor adaptado para contener la materia orgánica en forma de un lodo mientras que dicho lodo se digiere, caracterizándose el dispositivo porque adicionalmente comprende medios de alimentación para añadir cobalto, hierro y ácido clorhídrico a la materia orgánica, un agitador para mezclar con la materia orgánica el cobalto, hierro y ácido clorhídrico añadidos, un medio de muestreo para recoger al menos una muestra de lodo procedente del reactor y un analizador que analiza, en dicha muestra, la cantidad de al menos un ácido graso orgánico, del tipo que posee más de 10 átomos de carbono, comprendiendo el dispositivo adicionalmente una unidad de control que controla dicho medio de alimentación para proporcionar una cantidad apropiada de cobalto, hierro y ácido clorhídrico en respuesta a dicho análisis, en dicha muestra de lodo, de la cantidad de al menos un ácido graso orgánico del tipo que posee más de 10 átomos de carbono.

Una ventaja de este dispositivo es que es más eficaz produciendo biogás que los dispositivos conocidos. Esto significa que el dispositivo utilizado puede producir más biogás que un dispositivo conocido de tamaño comparable. Una ventaja adicional es que los costes de los productos químicos se mantienen bajos, dado que los productos químicos se sustentan mutuamente en cuanto a su efecto, proporcionando así una economía ventajosa para el funcionamiento del dispositivo. De acuerdo con una realización preferida el medio de alimentación suministra simultáneamente cobalto, hierro y ácido clorhídrico al reactor o a un tanque en el que se almacena la materia orgánica que va a introducirse en el reactor.

Otras realizaciones y ventajas de la invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción y de las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos.

La invención se describirá ahora con más detalle con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La Figura 1 es una representación esquemática de un dispositivo de acuerdo con una realización.

La Figura 2 es una representación esquemática de un dispositivo de acuerdo con una realización alternativa.

La Figura 3 es una vista lateral esquemática e ilustra un dispositivo experimental.

La Figura 4 es un diagrama e ilustra resultados de ensayos en el dispositivo experimental.

Descripción detallada de la invención.

En la presente solicitud, la unidad “% en peso de ST” se refiere al contenido de sólidos secos (sólidos totales) de un material.

El contenido de sólidos secos de un material se mide de acuerdo con la norma Sueca SS 02 81 13 por la que antes de medir el material se pesa y después se calienta a 105 °C durante 20 horas para que evapore el agua. Después el material se pesa una vez más. El contenido de sólidos secos en % en peso de ST se calcula después de la siguiente manera:

$$\% \text{ en peso de ST} = \frac{\text{Peso después del calentamiento a } 105^{\circ}\text{C}}{\text{Peso antes del calentamiento}} * 100 \%$$

Por ejemplo, 90 % en peso de ST se refiere a un material en el que el 90 % del peso original del material permanece después de calentar el material a 105 °C durante 20 horas.

En la presente solicitud, la unidad “% en peso de SV” se refiere al contenido de materia orgánica volátil de un material, denominado más adelante contenido de sólidos volátiles. Para determinar el contenido de sólidos volátiles, primero se determina el contenido de sólidos secos del material y después sus sólidos no volátiles. Los sólidos no volátiles pueden determinarse de acuerdo con la norma sueca SS 02 81 13 por la que un material que se ha evaporado a 105 °C durante 20 horas, como se ha indicado anteriormente, se calcina durante 2 horas a 550 °C. El contenido de sólidos volátiles se refiere, en la presente solicitud, al peso seco del material, es decir, el peso después de la evaporación a 105 °C durante 20 h, reducido por los sólidos no volátiles y después dividido por el peso seco del material, es decir el peso después de la evaporación a 105 °C durante 20 horas. Por tanto el contenido de sólidos volátiles del material en % en peso de SV se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ en peso de SV} = \frac{\text{Peso después de } 105^{\circ}\text{C} - \text{peso después de } 550^{\circ}\text{C}}{\text{Peso después de } 105^{\circ}\text{C}} * 100 \%$$

Por ejemplo, un contenido de sólidos volátiles del 85% en peso de SV significa que el 85% del peso seco del material, es decir, el peso del material después de calentar a 105 °C durante 20 horas, consiste en compuestos orgánicos, volátiles mientras que el 15 % consiste en sólidos no volátiles.

La unidad “g de sólidos volátiles al día” se refiere, de manera análoga a la unidad % en peso de SV, a una cantidad de materia orgánica volátil en gramos al día, como se ha indicado anteriormente. La cantidad de materia orgánica volátil suministrada al reactor, es decir, g de sólidos volátiles, determina cuánto biogás puede producirse ya que el biogás se produce a partir de la materia orgánica volátil (y no a partir de los sólidos no volátiles o del contenido de agua).

En la presente solicitud por “grado de digestión” se entiende la cantidad de material suministrado a un reactor de digestión que se convierte en biogás en la cámara de digestión. Si a un reactor se suministran, por ejemplo, 10 g de sólidos volátiles al día en forma de material digerible y el lodo digerido eliminado del reactor contiene correspondientemente 2 g de sólidos volátiles al día, el grado de digestión es del 80 %. Las bacterias arrastradas por el lodo digerido eliminado contienen algunos g de sólidos volátiles y por lo tanto, en la práctica, no puede conseguirse un grado de digestión del 100 % de acuerdo con la definición anterior.

En la presente descripción por “substrato” se entiende todo que se suministra a un reactor para digerirse en condiciones anaerobias. Por tanto “substrato” incluye materia orgánica, tal como material animal, material vegetal, heces animales, lodo de aguas residuales, lodo residual industrial, etc., y cualquier agua utilizada para diluir tales componentes. Cualquier aditivo añadido para mejorar el procedimiento de digestión, que no se digiera, no se considera como “substrato” en la presente descripción.

De acuerdo con la presente invención la materia orgánica se digiere en un reactor. Se ha observado que la combinación de la adición de cobalto, hierro y ácido clorhídrico en la materia orgánica y la puesta en contacto de la materia orgánica con bacterias productoras de biogás permite una producción aumentada de biogás a partir de una cantidad determinada de material orgánico suministrada al reactor. Adicionalmente, el producto final, el lodo digerido, se digiere a un mayor grado y es por tanto más adecuado para utilizar como un fertilizante.

Aunque se conocía la adicción de una cantidad fija de cobalto, la combinación de la adicción de cobalto, hierro y ácido clorhídrico es nueva y constituye una invención y, como se describirá más adelante, proporciona beneficios sorprendentes para la digestión.

De acuerdo con una realización un dispositivo para producir biogás por digestión anaerobia de materia orgánica comprende medios de alimentación para añadir, sustancialmente, de manera simultánea, cobalto, hierro y ácido clorhídrico a la materia orgánica y un agitador situado dentro de un reactor para mezclar el cobalto, el hierro y el ácido clorhídrico añadidos con la materia orgánica. El medio de alimentación y el agitador hacen posible distribuir, en la materia orgánica, el cobalto, el hierro y el ácido clorhídrico sustancialmente de manera homogénea. Alimentando el cobalto, el hierro y el ácido clorhídrico sustancialmente de manera simultánea y mezclándolos con la materia orgánica, por medio del agitador, se consigue una distribución preferible de los productos químicos añadidos. Esto mejora la digestión y disminuye el riesgo de que parte de la materia orgánica se “envenene” debido a la sobrealimentación de cualquiera de los productos químicos añadidos.

De acuerdo con una realización de la presente invención un aditivo adaptado para añadirse a un dispositivo para producir biogás por digestión anaerobia comprende cobalto, hierro y ácido clorhídrico en una solución acuosa. El aditivo posee varias ventajas en las que se garantiza que los tres componentes, cobalto, hierro y ácido clorhídrico, se añaden simultáneamente y en las correctas proporciones en relación entre sí. Esto disminuye el riesgo de que

cualquier problema durante el proceso perturbe el proceso de digestión. Adicionalmente el dispositivo para la digestión de materia orgánica podría fabricarse de manera mucho más sencilla ya que solo un medio de alimentación puede encargarse de suministrar de los tres productos químicos. Durante el funcionamiento práctico el tipo de materia orgánica suministrada a una planta de digestión específica es a menudo bastante estable a lo largo del tiempo. Por tanto la relación preferida entre la cantidad de cobalto, hierro y ácido clorhídrico es a menudo muy estable a lo largo del tiempo. Esto significa que la adicción del aditivo al reactor puede controlarse mediante una sola medición, por ejemplo el contenido de hierro, basándose en dicho contenido medido la adicción del aditivo puede controlarse.

De acuerdo con una realización de la invención la adicción de cobalto se basa en una medición de la concentración de un ácido graso orgánico que posee más de 10 átomos de carbono. De manera sorprendente, se ha observado frecuentemente que la concentración de cobalto en el lodo no es la mejor medida sobre si la cantidad de cobalto es suficiente para obtener una digestión eficaz. Por otro lado se ha observado que la concentración de ácidos grasos orgánicos, que poseen más de 10 átomos de carbono, es un indicador eficaz sobre si la cantidad de cobalto añadida debe aumentarse o no. Los ácidos grasos orgánicos, que poseen más de 10 átomos de carbono, incluyen, entre otros, ácido palmítico, ácido esteárico, ácido oleico y ácido linoleico. En particular, los ácidos grasos orgánicos saturados, tales como ácido laurico, ácido mirístico, ácido palmítico, ácido esteárico y ácido araquídico, han demostrado ser buenos indicadores sobre si el contenido de cobalto es suficiente o no. En particular se ha demostrado que miden adecuadamente el contenido de ácido palmítico ($C_{16}H_{32}O_2$) o de ácido esteárico ($C_{18}H_{36}O_2$). Ambos ácidos han demostrado proporcionar una respuesta muy rápida con respecto al contenido de cobalto. Preferentemente la cantidad de cobalto añadida debe controlarse a una cantidad tal que el contenido de ácido palmítico sea menor de 1500 mg/l. Se ha observado que el contenido de ácido palmítico está relacionado con el contenido de ácido esteárico y otros ácidos grasos orgánicos saturados que poseen más de 10 átomos de carbono, de tal manera que un contenido de ácido palmítico menor de 1500 mg/l significa que el contenido de ácido esteárico es también menor de 1500 mg/l. Por tanto, no es necesario medir exactamente el contenido de ácido palmítico, en cambio, podría medirse el contenido de otro ácido graso orgánico y podría controlarse de tal manera que el contenido de ácido palmítico también estuviese por debajo de la cantidad deseada. Aun más preferentemente la adicción de cobalto se controla para proporcionar un contenido de ácido palmítico menor de 1000 mg/l. Más preferentemente el contenido de cada ácido graso orgánico saturado individual, que posee más de 10 átomos de carbono, es menor de 1500 mg/l, mas preferentemente menor de 1000 mg/l. Normalmente, para conseguir estos límites, una adicción de cobalto suficiente corresponde a una cantidad de 0,1 a 0,6 g de Co añadido por m^3 de sustrato suministrado al reactor.

Cabe destacar que una adicción de cobalto en sí misma no es suficiente para obtener las mejoras en cuanto a la cantidad de biogás producido de acuerdo con la presente invención. Por tanto los valores descritos anteriormente para el contenido de ácido palmítico y ácido esteárico requieren que se añadan hierro y ácido clorhídrico además de cobalto.

Preferentemente el contenido de hierro añadido al reactor se controla para corresponder al menos 500 g de Fe añadidos por m^3 de sustrato suministrado al reactor. El sustrato suministrado al reactor comprende principalmente materia orgánica y agua y generalmente posee un contenido global de sólidos secos en intervalo de 3-30 % en peso de ST, frecuentemente 8-15 % en peso de ST. La adicción de Fe indicada anteriormente ha demostrado ser adecuada para ese intervalo de contenido de sólidos secos. Un menor contenido de hierro supone cierto riesgo de que se forme sulfuro de hidrógeno, H_2S , en el reactor. Tal formación deteriorará la calidad del biogás y también disminuirá la eficacia de la digestión, una eficacia que no puede restablecerse aumentando simplemente la adicción de cobalto. Preferentemente la cantidad de hierro añadida corresponde a menos de 4.000 g de Fe añadida por m^3 de sustrato suministrado al reactor. Se ha observado que una cantidad de hierro mayor que esta cantidad aumenta los costes operativos sin mejorar adicionalmente la eficacia de las bacterias productoras de biogás. Preferentemente la cantidad de hierro añadida al reactor se controla para obtener un contenido de H_2S en el biogás producido de 50-100 ppm. Además de disminuir la formación de H_2S el hierro también actúa como un nutriente para las bacterias productoras de biogás.

El ácido clorhídrico se añade preferentemente a una cantidad tal que corresponde a una adicción de al menos 10 g de HCl (en forma de ácido libre) añadido por m^3 de sustrato suministrado al reactor. Se ha observado que la adicción de HCl mejora la digestión dado que neutraliza cualquier amoniaco formado durante la descomposición de las proteínas. Se ha observado que el amoniaco formado posee una tendencia a envenenar las bacterias productoras de biogás. Añadiendo el ácido clorhídrico al amoniaco se neutraliza y se convierte en iones amonio, NH_4^+ , y el pH disminuye algo en el lodo, impidiendo así cualquier envenenamiento de las bacterias productoras de biogás. Por consiguiente la adicción de ácido clorhídrico impide, disminuyendo ligeramente el pH, que se acidifique el lodo. La cantidad de ácido clorhídrico añadida se ajusta preferentemente a una cantidad tal que el pH en el lodo del reactor sea aproximadamente de 0,01-1,5 unidades de pH menores que el pH que podría haber sin la adicción de ácido clorhídrico. Preferentemente la cantidad de ácido clorhídrico añadida corresponde a una cantidad menor de 1500 g de HCl (en forma de ácido libre) añadida por m^3 de sustrato suministrado al reactor. Preferentemente el pH en el reactor se controla para estar por debajo de un pH 8,0 pero por encima de un pH de 6,5 para obtener buenas condiciones para las bacterias productoras de biogás.

La adicción de cobalto, hierro y ácido clorhídrico de acuerdo con una realización de la presente invención proporciona efectos ventajosos que van más allá de lo que se esperaría basándose solo en la adicción de los efectos de cada componente cuando se utilizan individualmente.

El muestreo del lodo procedente del reactor puede realizarse de manera totalmente automática o más o menos manualmente. Debido a los largos tiempos de residencia en el reactor, a menudo aproximadamente 10-60 días, normalmente las condiciones no cambian muy rápidamente. Por tanto, puede recogerse una muestra a una frecuencia de dos veces al día a una vez a la semana. Si el sustrato suministrado al reactor se sabe que varía mucho en cuanto a sus propiedades deben recogerse muestras de manera más frecuente. Cada muestra debe analizarse para determinar el contenido de un ácido graso orgánico que posee más de 10 átomos de carbono, tal como ácido palmítico o ácido esteárico y preferentemente, pero no necesariamente, para determinar también el contenido de hierro y el valor del pH. Basándose en el análisis realizado se ajusta la adicción de cobalto, hierro y ácido clorhídrico. El ajuste podría realizarse mediante un controlador automático o manualmente. Si el aditivo que comprende cobalto, hierro y ácido clorhídrico se utiliza en una solución acuosa, basándose en el análisis, la cantidad a añadir de este aditivo se establece en relación a cual de los tres componentes, cobalto, hierro y ácido clorhídrico, es más escaso en el lodo. Sin embargo, como se ha indicado anteriormente, si el aditivo posee una composición tal que se adapta bien a la materia orgánica en cuestión normalmente no es necesario medir más de un parámetro, tal como ácido palmítico indicando la necesidad de cobalto y controlar la adicción del aditivo basándose en este parámetro.

El aditivo se forma preferentemente mezclando cobalto, hierro, ácido clorhídrico y agua en cantidades tales que en el aditivo se obtiene un contenido de cobalto, hierro y ácido clorhídrico adecuado. El cobalto está preferentemente presente en forma de iones Co^{2+} . El hierro está preferentemente presente en forma de iones Fe^{3+} o Fe^{2+} , o como una mezcla de ambos iones. Más preferentemente al menos el 75 % del hierro está presente como Fe^{2+} .

Cuando se forma el aditivo, el cobalto se añade al agua preferentemente en forma de $\text{CoCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ o CoCl_2 . También pueden utilizarse otras sales de cobalto. El hierro se añade preferentemente como $\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$ o $\text{FeCl}_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$ en forma sólida o como una solución acuosa de FeCl_3 o FeCl_2 en agua, aún mas preferentemente en combinación con un ácido inorgánico. Este ácido inorgánico es preferentemente ácido clorhídrico, HCl, de tal manera que al menos una parte del ácido clorhídrico que va a añadirse al aditivo se añade como ácido clorhídrico junto con el hierro. El ácido clorhídrico se añade preferentemente a la solución como un ácido clorhídrico de calidad técnica. Se apreciará que, en el aditivo, el cobalto, el hierro, el ácido clorhídrico y el agua se añaden en cantidades para proporcionar la concentración deseada en el aditivo final. En la preparación del aditivo, también pueden utilizarse otros disolventes distintos al agua, tales como alcoholes, pero frecuentemente el agua es el disolvente preferido para el aditivo.

El aditivo de acuerdo con la invención comprende cobalto, Co e hierro, Fe, en una proporción de 1:80 a 1:15.000 en base al peso. La baja cantidad de cobalto en relación con el hierro tiene la ventaja de reducir el riesgo de envenenamiento por cobalto, dado que el cobalto estará siempre presente en una concentración muy baja.

Adicionalmente, el aditivo comprende hierro, Fe y ácido clorhídrico, HCl, en una proporción de 1:3 a 300:1 en base al peso. Esta proporción ha demostrado proporcionar una relación adecuada entre el hierro y el ácido clorhídrico para la materia orgánica en la mayoría de los casos y también proporciona el mantenimiento de todos los componentes del aditivo disueltos en el aditivo sin problemas de precipitación. La proporción entre cobalto, Co, y ácido clorhídrico, HCl, es decir, Co:HCl, en el aditivo es preferentemente de 1:1 a 1:15.000 en base al peso.

A la materia orgánica también puede añadirse, por separado, cobalto, hierro y ácido clorhídrico, es decir, no en forma de un aditivo que comprenda las tres sustancias sino como tres componentes por separado. El cobalto, hierro y ácido clorhídrico también pueden añadirse a la materia orgánica en forma de una mezcla que contenga dos de estas tres sustancias y un componente que contenga al menos una de estas tres sustancias. En los casos en los que no se utiliza un aditivo la proporción entre el cobalto y el hierro, Co:Fe, añadidos es de 1:80 a 1:15.000 en base al peso y la proporción entre el hierro y ácido clorhídrico, Fe:HCl, añadidos, es de 1:3 a 300:1 en base al peso. La proporción entre el cobalto y el ácido clorhídrico, Co:HCl, añadidos, es preferentemente de 1:1 a 1:15.000 en base al peso.

De acuerdo con una realización preferida el aditivo comprende hierro, calculado como iones Fe (es decir, iones Fe^{2+} o Fe^{3+}), en una cantidad del 5 al 15 % en peso, el cobalto, calculado como iones Co^{2+} en una cantidad del 0,001 al 0,050 % en peso y el ácido clorhídrico, calculado como HCl, en una cantidad del 0,05 al 15 % en peso. Esta composición proporciona un menor riesgo de envenenamiento de las bacterias productoras de biogás, disminuye los riesgos para la salud de los operadores y debe añadirse una cantidad bastante baja del aditivo por hora.

Para una planta de digestión de un sustrato basado principalmente en "materia verde" es particularmente adecuada una determinada composición del aditivo. Por "materia verde" se entiende plantas y partes de plantas del tipo que utilizan la fotosíntesis para producir la materia vegetal. La materia verde puede consistir, ventajosamente, en diversos productos agrícolas, tales como ensilaje, paja, grano, despojos de grano, colza, girasoles, maíz, remolacha azucarera, nabos, coles, patatas, melazas, guisantes, judías, lentejas, lino, altramuces y plantas de pasto, tales como alfalfa, hierba y trébol. Para una planta de digestión de materia verde se ha observado que las necesidades de

hierro y ácido clorhídrico son muy bajas, mientras que las necesidades de cobalto son más altas, relativamente hablando. Cuando se pone en funcionamiento una planta de biogás en la que al menos el 60 % de los sólidos volátiles, mas preferente al menos el 90 % de los sólidos volátiles, es decir al menos el 60 %, y más preferentemente al menos el 90 %, de los g de sólidos volátiles proporcionados al día, suministrados al reactor es materia verde, como se ha definido anteriormente, es preferible añadir cobalto, hierro y ácido clorhídrico en cantidades tales que las proporciones, en base al peso, de las sustancias añadidas sean: Co:Fe = de 1:500 a 1:6.000, Fe:HCl = de 5:8 a 240:1, más preferentemente Fe:HCl = de 5:1 a 240:1, y Co:HCl = de 1:5 a 1:4.000, más preferentemente Co:HCl = de 1:5 a 1:500. Preferentemente el cobalto, hierro y ácido clorhídrico se mezclan con un disolvente, preferentemente agua, para formar un aditivo, que es adecuado para añadir a dicha planta de biogás en la que al menos el 60 % y más preferentemente al menos el 90 %, de los g de sólidos volátiles proporcionados al día suministrado al reactor es materia verde. Dicho aditivo comprendería preferentemente cobalto, hierro y ácido clorhídrico en cantidades tales que las proporciones, en base al peso, de las sustancias del aditivo sean: Co:Fe = de 1:500 a 1:6.000, Fe:HCl = de 5:8 a 240:1, más preferentemente Fe:HCl = de 5:1 a 240:1, y Co:HCl = de 1:5 a 1:4.000, más preferentemente Co:HCl = de 1:5 a 1:500. El aditivo adaptado para una planta de biogás en la que al menos el 60 %, más preferentemente hasta el 90 %, de los sólidos volátiles, es decir al menos el 60 %, más preferentemente al menos el 90 %, de los g de sólidos volátiles proporcionados al día suministrados al reactor es materia verde, como se ha definido anteriormente, comprendería ventajosamente hierro, calculado como iones Fe, en una cantidad del 5 al 12 % en peso, cobalto, calculado como iones Co^{2+} , en una cantidad del 0,002 al 0,010 % en peso y ácido clorhídrico, calculado como HCl, en una cantidad del 0,05 al 8 % en peso, más preferentemente en una cantidad del 0,05 al 1 % en peso. Dicha planta de biogás, en la que al menos el 60 %, y más preferentemente al menos el 90 %, de los g de sólidos volátiles proporcionados al día suministrados al reactor es materia verde, podría digerir adicionalmente hasta el 40 % de estiércol de vaca, lodo de aguas residuales, y/o residuos lácteos. Por "residuos lácteos" se entiende leche, crema, suero y productos lácteos procesados. Adicionalmente, también sería posible digerir hasta el 10 % de material orgánico "de origen animal", como se define en lo sucesivo en el presente documento, junto con la materia verde y opcionalmente, junto con los residuos lácteos, estiércol de vaca y/o lodo de aguas residuales.

Un tipo especial de materia verde es el denominado residuo de destilación. El residuo de destilación es materia verde, por ejemplo, grano, remolacha azucarera o patatas que se han sometido a un proceso de fermentación con el fin de producir etanol. El proceso de fermentación transforma solo parcialmente la materia verde en etanol y por tanto gran cantidad de la materia orgánica digerible presente en la materia verde original está aún disponible en el residuo de destilación. Por consiguiente, resulta atractivo someter el residuo de destilación a una digestión anaerobia con el fin de producir biogás. Dado que el residuo de destilación es básicamente grano, patatas, etc., según sea el caso, que ha fermentado, las necesidades de cobalto, hierro y ácido clorhídrico en la digestión del residuo de destilación son sustancialmente las mismas que en la digestión del tipo original correspondiente de materia verde. Por tanto, la composición de aditivo que se ha descrito anteriormente y que es adecuada para la digestión de materia verde puede utilizarse también cuando se digieren residuos de destilación, que es un tipo especial de materia verde que es similar a la materia verde original en la que es preciso cobalto, hierro y ácido clorhídrico. El residuo de destilación podría digerirse junto con otros tipos de materia verde, por ejemplo, junto con grano o despojos de grano, en el que la cantidad de residuo de destilación puede ser cualquiera del 0 al 100 %. El residuo de destilación también podría digerirse junto con cantidades adecuadas de otros tipos de materia orgánica tal como, estiércol de vaca y residuos lácteos. También es posible digerir únicamente residuos de destilación en una planta de digestión.

Para una planta de digestión de un sustrato que contiene material de origen animal en una medida no despreciable es adecuada otra composición del aditivo. En la presente descripción, por "origen animal" se entiende despojos procedentes de matadero, incluyendo sangre, intestinos, piel, grasa, tejido muscular, etc.; cuerpos completos de animales y partes de cuerpos de animales que se han procesado, por ejemplo, para formar diferentes productos alimenticios. En la presente descripción, las heces animales, tales como estiércol de vaca, no se consideran como "origen animal". Para una planta de digestión de algún material de origen animal se ha observado que las necesidades de hierro, ácido clorhídrico y cobalto son bastante elevadas. Cuando se pone en funcionamiento una planta de biogás en la que al menos el 20 % de los sólidos volátiles, es decir al menos el 20 % de los g de sólidos volátiles proporcionados al día, suministrados al reactor es de origen animal, como se ha definido anteriormente, es preferente añadir cobalto, hierro y ácido clorhídrico en cantidades tales que las proporciones, en base al peso, de las sustancias añadidas sean: Co:Fe = de 1:160 a 1:7.500, Fe:HCl = de 8:15 a 15:1, y Co:HCl = de 1:20 a 1:7500.

Preferentemente el cobalto, hierro y ácido clorhídrico se mezclan con un disolvente, preferentemente agua, para formar un aditivo, que es adecuado para añadirse a dicha planta de biogás en la que al menos el 20 % de los g de sólidos volátiles proporcionados al día suministrados al reactor es de origen animal. Tal aditivo comprendería preferentemente hierro, cobalto y ácido clorhídrico en cantidades tales que las proporciones, en base al peso, de las sustancias del aditivo sean: Co:Fe = de 1:160 a 1:7500, Fe:HCl = de 8:15 a 15:1, y Co:HCl = de 1:20 a 1:7500. El aditivo adaptado para una planta de biogás en la que al menos el 20 % de los sólidos volátiles, es decir al menos el 20 % de los g de sólidos volátiles proporcionados al día, suministrados al reactor es de origen animal, como se ha definido anteriormente, comprenderían ventajosamente hierro, calculado como iones Fe, en una cantidad del 8 al 15 % en peso, cobalto, calculado como iones Co^{2+} , en una cantidad del 0,002 al 0,050 % en peso y ácido clorhídrico, calculado como HCl, en una cantidad de 1 al 15 % en peso. Además de la materia orgánica de origen animal, que

constituye al menos el 20 % de los sólidos volátiles, es decir al menos el 20 % de los g de sólidos volátiles proporcionados al día, suministrados al reactor, la planta de biogás podría digerir estiércol de vaca, materia verde, como se ha definido anteriormente en el presente documento, residuos lácteos, lodo de aguas residuales, etc.

Se apreciará que, para cada tipo y composición de material a digerir, sería posible diseñar una composición adecuada para el aditivo. Por otro lado se ha observado que un aditivo adecuado para la digestión, principalmente de materia verde, como se ha descrito anteriormente, y un aditivo adecuado para la digestión de una cantidad considerable de material de origen animal, como se ha descrito anteriormente, es bastante para incluir la mayoría de las diversas combinaciones de materia orgánica a digerir. Por ejemplo, en una planta de biogás en la que al menos el 90 % de los sólidos volátiles, es decir al menos el 90 % de los g de sólidos volátiles proporcionados al día, suministrados al reactor es residuo lácteo, como se ha definido anteriormente, es preferible añadir cobalto, hierro y ácido clorhídrico en cantidades tales que las respectivas proporciones de cobalto, hierro y ácido clorhídrico sean similares a las proporciones descritas anteriormente en el presente documento para una planta de biogás en la que al menos el 60 % de los sólidos volátiles, más preferentemente al menos el 90 % de los sólidos volátiles, es decir al menos el 60 % y mas preferentemente al menos el 90 % de los g de sólidos volátiles proporcionados al día, suministrados al reactor es materia verde. Por consiguiente, también podría utilizarse un aditivo que comprenda cobalto, hierro y ácido clorhídrico en proporciones tales que sean adecuadas para la digestión de la materia verde cuando se digieren residuos lácteos.

En la digestión en un reactor de tanque, el contenido de sólidos secos del lodo digerido en el reactor es adecuadamente aproximadamente del 4-30 % en peso de ST, preferentemente aproximadamente del 5-10 % en peso de ST. En un reactor de tanque, que funciona con agitación y de manera continua, el lodo digerido retirado del reactor poseerá esencialmente el mismo contenido de sólidos secos que el lodo digerido en el reactor. El suministro del nuevo sustrato al reactor de tanque se realiza por tanto de manera continua, es decir, como un flujo de entrada constante o de manera semicontinua, es decir, en pequeñas cantidades, preferentemente a partir de un tanque de premezcla. La retirada de lodo del reactor de tanque puede efectuarse de manera continua, es decir como un flujo de salida constante o de manera semicontinua, es decir, en pequeñas cantidades.

Cuando se inicia el proceso, en el reactor se introduce normalmente un cultivo de bacterias activo. Este cultivo de bacterias puede comprender, por ejemplo, lodo digerido procedente de una planta de digestión paralela, lodo digerido procedente de una planta municipal de tratamiento de agua residual o de estiércol de vaca. Dado que el cultivo de bacterias crece, al reactor puede suministrarse una cantidad cada vez mayor de la materia orgánica a digerir.

El procedimiento de acuerdo con la invención puede realizarse en una pluralidad de reactores conectados en serie. En tal caso, el aditivo se añade preferentemente al primer reactor en la serie. Sin embargo, es frecuentemente ventajoso realizar la digestión anaerobia en una sola etapa ya que esto ahorra costes de equipo y mantenimiento.

Descripción de realizaciones preferidas.

La Figura 1 muestra un dispositivo 1 utilizado en el procedimiento de la presente invención. El dispositivo 1 comprende un tanque de mezcla 2, un tanque de saneamiento térmico 4 y un reactor 6. La materia orgánica se suministra al tanque de mezcla 2 mediante un conducto 8. Por ejemplo, la materia orgánica podría ser despojos procedentes de matadero, cultivos, abono, lodo de agua residual, residuos industriales alimenticios, etc. Se añade agua, si fuera necesario, mediante un conducto 10 al tanque de mezcla 2 para obtener un sustrato que posee el contenido de sólidos secos deseado, típicamente 3-30 % en peso de ST, más frecuentemente aproximadamente 8-15 % en peso de ST. El sustrato forma un lodo en el tanque de mezcla 2 que después se suministra, intermitentemente, al tanque de saneamiento 4 mediante un conducto 12. En el tanque de saneamiento 4 el lodo se calienta a una temperatura de más de 70 °C, normalmente aproximadamente 72 °C y se mantiene a esta temperatura durante al menos una hora para destruir todos los microorganismos nocivos, tales como bacterias y virus. Por tanto el tanque de saneamiento 4 funciona en un modo discontinuo. Cuando el lodo que contiene la materia orgánica se ha depurado correctamente se bombea mediante un conducto 14 al reactor 6. De esta manera el conducto 14 forma una entrada para la materia orgánica al reactor 6, que es un reactor que puede cerrarse herméticamente, esencialmente hermético a gases, provisto de un agitador 15 que hace que el reactor 6 funcione como un reactor de tanque. El reactor 6 está provisto de un conducto de salida 16 para el biogás producido que contiene principalmente metano, CH₄, hidrógeno, H₂, y dióxido carbono, CO₂. El reactor 6 también posee un conducto de salida 18 para el lodo digerido. Aunque el tanque de saneamiento 4 funciona en modo discontinuo, con un tiempo de residencia de menos de una hora, puede considerarse que el reactor 6 es un reactor que funciona en modo continuo dado que el tiempo de residencia promedio en el reactor 6 es de 5-100 días, preferentemente aproximadamente 10-60 días, que es mucho más que el tiempo de residencia en el tanque de saneamiento 4. El reactor 6 funciona a una temperatura de aproximadamente 30-40 °C, preferentemente aproximadamente 37 °C.

El dispositivo 1 comprende adicionalmente medios de muestreo 20 para recoger muestras del lodo en el reactor 6. Los medios de muestreo 20 comprenden un conducto 22 y una válvula 24, que puede ser una válvula manual o una válvula automática. Con la ayuda de los medios de muestreo 20 pueden recogerse, regularmente, muestras de lodo procedentes del reactor 6. Las muestras se analizan mediante un analizador 26, tal como un cromatógrafo de gases, para medir la concentración de al menos un ácido graso orgánico con más de 10 átomos de carbono. El resultado

del análisis se introduce en una unidad de control 28. Basándose en el contenido de al menos un ácido graso la unidad de control 28 envía una señal de control a un dispositivo de alimentación 30. El dispositivo de alimentación 30 comprende un tanque de almacenamiento 32 para almacenar un aditivo, un conducto 34 conectado al tanque de almacenamiento 32 y una bomba 36 para bombear el aditivo desde el tanque de almacenamiento 32 al tanque de saneamiento 4 mediante el conducto 34 en respuesta a la señal de control desde la unidad de control 28. El aditivo, que se ha descrito con detalle anteriormente, comprende hierro, cobalto y ácido clorhídrico en una solución acuosa.

Como se ilustra en la Figura 1 la muestra de lodo puede suministrarse automáticamente, mediante medios de muestreo 20, al analizador 26. Sin embargo, también es posible recoger una muestra manualmente desde el dispositivo de muestreo 20 y llevar esta a un analizador ubicado en un laboratorio. El contenido medido del ácido graso orgánico se introduce después manualmente en la unidad de control 28. Como una alternativa adicional, un operador, que analiza la muestra, puede controlar manualmente el dispositivo de alimentación 30 a una velocidad de alimentación adecuada.

Como se ha descrito anteriormente el aditivo puede suministrarse, mediante el conducto 34, al tanque de saneamiento 4. De acuerdo con realizaciones alternativas el aditivo se suministraría mediante un conducto 38 al tanque de mezcla 2 o mediante el conducto 40 al reactor 6. A menudo se prefiere suministrar el aditivo al tanque de saneamiento 4, como se describirá más adelante.

El tanque de saneamiento 4 se proporciona con un calentador 42 para calentar el sustrato en el tanque de saneamiento 4 a la temperatura deseada para realizar la depuración, y un agitador 44 para impedir que cualquier parte de la materia orgánica se sedimente en el tanque 4. Gracias al agitador 44 el aditivo, suministrado mediante el conducto 34, consigue mezclarse bien con la materia orgánica antes de que la materia orgánica entre en el reactor 6. Esto impide una concentración del aditivo demasiado alta localmente y un efecto resultante negativo sobre las bacterias productoras de biogás en el reactor 6.

En una realización alternativa, la cantidad de aditivo proporcionada mediante el conducto 34, o mediante cualquiera de los conductos 38 y 40, puede controlarse basándose en el volumen de sustrato suministrado al reactor 6 en lugar de basándose en el contenido de ácidos grasos orgánicos medido en el lodo. Si el sustrato suministrado posee propiedades estables, la cantidad de aditivo a añadir es proporcional a un alto grado al volumen del sustrato suministrado al reactor 6. El conducto 12 se proporciona con un flujómetro 46 y el conducto 14 se proporciona con un flujómetro 48. Adicionalmente el tanque de saneamiento 4 se proporciona con un medidor de nivel 50. Por tanto, en cualquier momento dado, es posible determinar el volumen del sustrato suministrado al tanque de saneamiento 4, mediante el conducto 12, el volumen del sustrato suministrado desde el tanque de saneamiento 4 al reactor 6, mediante el conducto 14 y el volumen de sustrato en el tanque de saneamiento 4. Mediante los medidores 46, 48, 50 es posible calcular cuanta cantidad de volumen, en m^3 o una unidad similar, de sustrato se ha suministrado al tanque de saneamiento 4. Ajustando la cantidad de aditivo a añadir por m^3 de sustrato suministrado al tanque de saneamiento 4, que es esencialmente la misma que el volumen suministrado al reactor 6, es posible obtener un control simple del aditivo a añadir. Por tanto, una señal controlaría la bomba 36, por ejemplo, desde el flujómetro 46, indicando el volumen de sustrato añadido al tanque de saneamiento 4. El análisis de los ácidos grasos orgánicos en el lodo podría entonces hacerse con bastante poca frecuencia sólo para garantizar que las condiciones permanecen estables y que el contenido de los ácidos grasos permanece por debajo de los límites deseados.

La Figura 2 ilustra una realización alternativa en forma de un dispositivo 101. El dispositivo 101 posee un tanque de mezcla y un tanque de saneamiento que tienen el mismo diseño que el del dispositivo 1 y que no se muestran en la Figura 2. El dispositivo 101 comprende adicionalmente un reactor 106 que posee una entrada 114 para la materia orgánica, una salida 116 para el biogás y una salida 118 para el lodo digerido. Las muestras del lodo en el reactor 106 se recogen regularmente mediante un medio de muestreo 120. El medio de muestreo 120 comprende un conducto 122 y una primera válvula 124 y proporciona muestras a un primer analizador 126, que, de manera similar al analizador 26, analiza la cantidad de al menos un ácido graso con más de 10 átomos de carbono. Los medios de muestreo 120 comprenden adicionalmente una segunda válvula 125 mediante la cual pueden proporcionarse las muestras de lodo a un segundo analizador 127. El segundo analizador 127 está adaptado para analizar el contenido de hierro y/o el valor del pH del lodo. Basándose en la cantidad medida por el analizador 126 una unidad de control 128 envía una primera señal de control a un primer dispositivo de alimentación 130. El primer dispositivo de alimentación 130 comprende un tanque de almacenamiento 103 para almacenar cobalto en una solución acuosa.

En respuesta a la señal de control desde la unidad de control 128 una bomba 136 proporciona una cantidad adecuada de la solución de cobalto al reactor 106 mediante un conducto 134. La unidad de control 128 también envía una segunda señal de control a un segundo dispositivo de alimentación 131. El segundo dispositivo de alimentación 131 comprende un tanque de almacenamiento 133 para almacenar ácido clorhídrico e hierro en una solución acuosa. En respuesta a la señal de control desde la unidad de control 128 una bomba 137 proporciona una cantidad adecuada de la solución de ácido clorhídrico e hierro al reactor 106 mediante un conducto 135. Se apreciará que los conductos 134, 135 también podrían, de acuerdo con una alternativa frecuentemente preferida, estar conectados al tanque de saneamiento, no mostrado, de acuerdo con los principios similares a los descritos con referencia a la Figura 1. La cantidad de la solución de ácido clorhídrico e hierro a administrar podría establecerse basándose en el pH del lodo, basándose en el contenido de hierro en el lodo o basándose en una combinación de estos dos valores. Se apreciará que también es posible, como en el caso de la realización de la Figura 1, realizar un

muestreo manual del lodo y llevar estas muestras a un laboratorio. También es posible controlar los dispositivos de alimentación 130, 131 manualmente. Aún más, los dispositivos de alimentación 130, 131 podrían adaptarse para suministrar sus respectivas soluciones al tanque de mezcla o en su lugar al tanque de saneamiento, como se ha mencionado anteriormente. En comparación con la realización de Figura 1, el dispositivo 101 es más complicado y también requiere dos soluciones diferentes. El dispositivo de la Figura 1, que solo utiliza un aditivo, es por tanto en muchos casos la realización preferida.

De acuerdo aún con una realización adicional, el segundo dispositivo de alimentación 131 podrá adaptarse para suministrar un aditivo que contuviese ácido clorhídrico e hierro y, adicionalmente, una cantidad de cobalto que fuese menor que la cantidad de cobalto que es normalmente necesaria. En esta realización alternativa el primer dispositivo de alimentación 130 funcionaría para "cargarse" con el cobalto extra necesario, después de indicar que el contenido de ácidos grasos orgánicos aumentaría aproximadamente por encima de los límites deseados. En una realización alternativa aún más la "carga" podría realizarse manualmente añadiendo cobalto en una solución acuosa desde un vaso de precipitado o como un polvo.

Podría prepararse un aditivo, de acuerdo con la invención, vertiendo agua a un tanque y después añadiendo los diferentes componentes, cobalto, hierro y ácido clorhídrico en las cantidades adecuadas. El cobalto y el hierro podrían añadirse como sales secas o como soluciones concentradas. Para su uso en una planta de biogás, en la que el 100 % de los sólidos volátiles, es decir el 100 % de los g de sólidos volátiles proporcionados al día, suministrados al reactor, es materia verde, un aditivo adecuado podría contener los siguientes componentes:

Cobalto (Co):	0,006 % en peso
Hierro (Fe):	10 % en peso
Ácido clorhídrico (HCl):	0,1 % en peso
Agua	

El aditivo mencionado anteriormente, adaptado para la digestión de materia verde, se añade adecuadamente una cantidad de aproximadamente 5 kg. de aditivo por m³ de sustrato añadido al reactor. El sustrato suministrado al reactor podría, con esta cantidad de aditivo añadido, corresponder aproximadamente a 6.000 g de sólidos volátiles al día por m³ de volumen del reactor. En algunos casos, cuando se digiere materia verde, se ha demostrado que es adecuado utilizar un aditivo que contenga una concentración algo más alta de ácido clorhídrico, tal como aproximadamente el 1 % en peso de HCl o incluso hasta el 8 % en peso de HCl.

Para su uso en una planta de biogás, en la que el 50 % de sólidos volátiles, es decir el 50 % de los g de sólidos volátiles proporcionados al día, suministrados al reactor son despojos procedentes de matadero y el 50 % de los sólidos volátiles, es decir el 50 % de los g de sólidos volátiles proporcionados al día, suministrados al reactor es estiércol de vaca, un aditivo adecuado podría contener los siguientes componentes:

Cobalto (Co):	0,005 % en peso
Hierro (Fe):	10 % en peso
Ácido clorhídrico (HCl):	6 % en peso
Agua	

El aditivo mencionado anteriormente, adaptado para la digestión de residuos al menos parte de los cuales es de origen animal, se añade adecuadamente una cantidad de aproximadamente 10 kg de aditivo por m³ de sustrato añadido al reactor. El sustrato suministrado al reactor podría, con esta cantidad de aditivo añadido, corresponder aproximadamente a 3000 g de sólidos volátiles al día por m³ de volumen del reactor.

Se apreciará que, dentro del alcance de las reivindicaciones de la patente adjuntas, son posibles numerosas variantes de las realizaciones descritas anteriormente.

Ejemplo 1.

En un experimento de digestión que implicaba materia orgánica de origen animal se utilizó un dispositivo experimental 200, mostrado en la Figura 3. El dispositivo 200 posee un reactor de vidrio hermético a gases 202 con un volumen de 5 l. El volumen líquido en el reactor 202 se mantuvo constante a 3 l, por lo que el volumen eficaz del reactor era de 3 l. Para conseguir la agitación completa en el reactor 202 se utilizó un agitador propulsor 210 (con una velocidad de 300 rpm). El gas generado desde el reactor 202 pasa a través de un conducto 206 a un gasómetro 212 para medir el volumen del gas generado. Para el suministro discontinuo de la materia orgánica triturada depurada y la retirada intermitente del lodo digerido formado se usó un alimentador de paso 204 de vidrio hermético. Para mantener la temperatura en el reactor de vidrio 202 a 37 °C se utilizó un calefactor (no mostrado).

La materia orgánica contenía aproximadamente el 60 % en volumen de despojos de matadero (principalmente sangre, músculos, intestinos y grasa), estiércol de vaca (aproximadamente el 5 % en volumen) y residuos procedentes del procesamiento industrial de alimentos (en total aproximadamente el 35 % en volumen). El contenido de proteína total en el sustrato suministrado al reactor se calculó que era aproximadamente del 5 % en peso.

Los despojos procedentes de matadero, estiércol de vaca y los residuos procedentes del procesamiento industrial de alimentos se mezclaron con agua para obtener un sustrato en forma de un lodo con un contenido de sólidos secos del 13 % en peso de ST. Aproximadamente el 85-90 % del contenido de sólidos secos eran sólidos volátiles, es decir el lodo poseía un contenido de sólidos volátiles de aproximadamente el 11 % en peso de SV. Por consiguiente casi el 50 % de los sólidos volátiles eran proteínas. Aproximadamente el 80 % del contenido de sólidos volátiles, es decir el 80 % de los g de sólidos volátiles proporcionados al día, suministrados al reactor 202 eran de origen animal.

Cada día, se añadieron 60 ml de este lodo al reactor 202, correspondiendo por tanto a un suministro de 6,6 g de sólidos volátiles (SV) al día, que corresponde a 2.200 g de SV al día y m^3 de volumen del reactor (el volumen eficaz del reactor era de 3 l, como se ha indicado anteriormente). Una cantidad similar de lodo digerido se retiró cada día para mantener el nivel de lodo constante en el reactor. El tiempo de residencia del reactor 202, que podría considerarse que era operativo como un reactor de tanque en funcionamiento continuo, era aproximadamente de 50 días. El contenido de sólidos secos del lodo en el reactor 202 fue del 5 % del peso de ST.

Se añadió hierro al reactor en una cantidad de 50 mg al día, correspondiendo a 900 g de Fe añadido por m^3 de sustrato suministrado al reactor 202. El contenido de hierro, como Fe, era aproximadamente de 900 mg/l en el lodo en el reactor 202. Se añadió ácido clorhídrico al reactor 202 en una cantidad de 36 mg de HCl al día, correspondiendo a 600 g de HCl añadido por m^3 de sustrato suministrado al reactor. El pH del lodo en el reactor 202 disminuyó aproximadamente 0,1 unidades de pH en comparación con la no adición de ácido clorhídrico.

Al principio de la operación no se añadió nada de cobalto. Durante este tiempo se produjeron graves problemas de formación de espuma. Análisis recogidos del lodo del reactor 202 demostraron que la concentración de ácido palmítico y ácido esteárico aumentaba de manera continua. La Figura 4 ilustra el aumento continuo de las concentraciones de ácido palmítico y de ácido esteárico desde el inicio el 1 de septiembre hasta el 28 de septiembre. La producción de biogás durante este periodo correspondió a aproximadamente 500 Nm^3 de biogás por tonelada de SV. Los graves problemas de formación de espuma perturbaban la medición de gas y el suministro del sustrato al reactor 202. Después del 28 de septiembre se añadió cobalto a una cantidad tal que la concentración en el lodo en el reactor fue de 0,1 mg/l de Co. Esto corresponde aproximadamente a 0,1 g de Co añadido por m^3 de sustrato suministrado al reactor 202. El cobalto se añadió como una solución acuosa individual con una concentración de aproximadamente 0,05 % en peso de Co. Para estudiar el efecto del cobalto, el hierro se añadió junto con el ácido clorhídrico desde un tanque distinto al de la solución de cobalto. Los problemas de formación de espuma disminuyeron sustancialmente. Como se muestra en la Figura 4 la adición de cobalto detuvo el aumento en contenido de ácido palmítico y ácido esteárico. La producción de biogás el 11 de octubre fue de aproximadamente 560 Nm^3 de biogás por tonelada de SV. Dado que la concentración de ácido palmítico y de ácido esteárico aún era demasiado elevada, se aumentó la adición de cobalto al reactor 202 que correspondía a 0,3 mg/l de Co en el lodo el 28 de octubre y después aumentó adicionalmente a 0,5 mg/l de Co en el lodo, que correspondía aproximadamente a 0,5 g de Co añadido por m^3 de sustrato suministrado al reactor el 8 de noviembre. Como puede observarse, la concentración de ácido palmítico y de ácido esteárico disminuyó por debajo de 1.000 mg/ml. Al mismo tiempo la formación de espuma en el reactor cesó completamente. La producción de biogás el 10 de diciembre fue de aproximadamente 1.000 Nm^3 de biogás por tonelada de SV.

En la Figura 4 se observa claramente que la concentración de ácido esteárico y de ácido palmítico funciona como un indicador para la concentración de cobalto necesaria en las condiciones operativas existentes. La Figura 5 ilustra también la concentración de ácido oleínico, un ácido graso orgánico insaturado, que no proporciona ninguna señal con respecto a la necesidad de aumentar cobalto. Los resultados del ensayo también demostraron que una concentración disminuida de ácido esteárico y de ácido palmítico estaba relacionada con la producción aumentada de biogás y con la disminución de formación de espuma. Dado que el ácido esteárico y el ácido palmítico muestran una respuesta similar con respecto a la concentración de cobalto no importa cuál de ellos se mida. Correspondientemente, también podría medirse cualquier otro ácido graso orgánico, preferentemente un ácido graso orgánico saturado, con más de 10 átomos de carbono, con el fin de obtener información basándose en la adición de cobalto que pudiera controlarse.

Ejemplo 2.

Para evaluar la eficacia del aditivo de acuerdo con la invención, se realizaron ensayos en una planta a gran escala. La planta a gran escala tenía dos reactores con un volumen cada uno de aproximadamente 3.600 m^3 . El tiempo de residencia fue de 45 días aproximadamente. La instalación general de la planta era similar a la descrita con referencia a la Figura 1, salvo que el muestreo y el análisis del lodo se realizaron manualmente y que el sistema de alimentación para suministrar el aditivo se controlaba manualmente basándose en los resultados del análisis.

Durante los ensayos se utilizaron tres soluciones diferentes: la solución A era una solución de cloruro de hierro disponible en el mercado que contenía FeCl_2 en agua. El contenido de hierro, Fe, era aproximadamente del 14 % en peso. La solución B era una mezcla de FeCl_2 , ácido clorhídrico (HCl) y agua. El contenido de hierro, Fe, correspondía a aproximadamente 9 % en peso y el contenido de ácido clorhídrico, HCl, correspondía a aproximadamente 6 % en peso. La solución C estaba formada como un aditivo de acuerdo con la invención y contenía: cobalto, Co, 0,004 % en peso, hierro, Fe, 9 % en peso, ácido clorhídrico, HCl, 6 % en peso y agua. Estos ensayos se realizaron de la siguiente manera: el Ensayo 3 se realizó añadiendo la Solución C de acuerdo con la

invención. El contenido de ácido palmítico y de ácido esteárico en el lodo en los reactores se midió diariamente y el suministro de la solución C, es decir el aditivo de acuerdo con la invención, se ajustó en consecuencia. Para ilustrar la eficacia de la invención, se realizaron ensayos comparativos 1 y 2.

En el ensayo comparativo 2 y en el ensayo 3 la composición de sustrato digerido era la misma que la del Ejemplo 1, es decir, el contenido de sólidos volátiles era de aproximadamente el 11 % en peso de SV y de aproximadamente el 80 % del contenido de sólidos volátiles, es decir el 80 % del los g de sólidos volátiles proporcionados al día, suministrados al reactor eran de origen animal.

En el ensayo comparativo 1 fue necesario, para impedir los graves problemas de formación de espuma, tener una menor cantidad de despojos procedentes de matadero y una gran cantidad de estiércol de vaca. Por tanto, en el ensayo comparativo 1 la materia orgánica contenía aproximadamente el 50 % en volumen de despojos de matadero, aproximadamente el 25 % en volumen estiércol de vaca y aproximadamente el 25 % en volumen de residuos procedentes del procesamiento industrial de alimentos. Los despojos de matadero, el estiércol de vaca y los residuos procedentes del procesamiento industrial de alimentos se mezclaron con agua para obtener un sustrato en forma de un lodo con un contenido de sólidos secos del 12 % en peso de ST. Aproximadamente el 80 % del contenido de sólidos secos eran sólidos volátiles, es decir, el lodo poseía un contenido de sólidos volátiles de aproximadamente el 10 % en peso de SV. En el ensayo comparativo 1, aproximadamente el 60 % del contenido de sólidos volátiles, es decir el 60 % de los g de sólidos volátiles proporcionados al día, suministrados al reactor, eran de origen animal.

En el ensayo comparativo 1 la cantidad de solución A añadida al reactor correspondió a 3 kg de solución A añadida por m³ de sustrato suministrado al reactor. En el ensayo comparativo 2 la solución B se añadió al reactor en una cantidad de 4,5 kg de solución B por m³ de sustrato suministrado al reactor. En el ensayo 3 la solución C se añadió al reactor en una cantidad de 7,0 kg de solución C por m³ de sustrato suministrado al reactor.

En la tabla 1, indicada a continuación, se ilustra la producción de biogás en los tres ensayos:

Tabla 1 producción de biogás en los ensayos 1-3

Ensayo N°	Solución	Hierro	HCl	Cobalto	*Producción de biogás
Comp. 1	A	Si	No	No	63
Comp. 2	B	Si	Si	No	99
Comp. 3	C	Si	Si	Si	134
* Producción de biogás en m ³ biogás por tonelada de sustrato suministrado al reactor (en términos de humedad)					

Como claramente se ilustra en la tabla 1 la adición simultánea de hierro, ácido clorhídrico y cobalto, de acuerdo con la invención, es decir el ensayo , da como resultado un aumento sustancial en la producción de biogás. El aumento en la producción de biogás tiene dos razones principales: En primer lugar, el contenido de sólidos volátiles del sustrato suministrado al reactor se convierte más rápidamente en biogás en el ensayo 3, probablemente gracias a los componentes de la solución 3 que proporcionan mejores condiciones para las bacterias productoras de biogás. En segundo lugar la solución C, utilizada en el ensayo 3, hace posible suministrar un sustrato al reactor en el que el contenido de sólidos volátiles fácilmente digeridos en el sustrato, es decir sólidos volátiles de origen animal, es mayor, en particular, en comparación con el ensayo comparativo 1, en el que, para impedir problemas de formación de espuma, se necesita obligatoriamente una mayor cantidad de sólidos volátiles para originarse a partir de estiércol de vaca que es menos fácil de digerir.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para producir biogás por digestión anaerobia de materia orgánica, **caracterizado por** la adición de cobalto, hierro y ácido clorhídrico a una materia orgánica de tal manera que la proporción entre el cobalto y el hierro añadidos sea de 1:80 a 1:15.000 en base al peso y la proporción entre el hierro y el ácido clorhídrico añadidos sea de 1:3 a 300:1 en base al peso,
5 poner la materia orgánica en contacto con bacterias productoras de biogás, y digerir la materia orgánica en condiciones anaerobias en un reactor (6; 106) produciendo al mismo tiempo biogás y un lodo digerido.
2. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la cantidad de hierro añadida corresponde a una adición de al menos 500 g de Fe añadidos por m³ de sustrato suministrado al reactor (6; 106).
10
3. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que el hierro, el cobalto y el ácido clorhídrico se añaden en forma de un aditivo que contiene hierro, cobalto y ácido clorhídrico en una solución acuosa.
4. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que, regularmente, se recoge una muestra del lodo digerido del reactor (6; 106) y se analiza para determinar el contenido de al menos un ácido graso orgánico que posee más de 10 átomos de carbono y controlándose la cantidad de cobalto añadida a la materia orgánica en relación al contenido analizado en dicho ácido graso orgánico.
15
5. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, en el que la adición de cobalto se controla para proporcionar una concentración de ácido palmítico en el lodo de menos de 1.500 mg/l.
6. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que la cantidad de ácido clorhídrico añadido corresponde a una adición de al menos 10 g de HCl (en forma de ácido libre) añadidos por m³ de sustrato suministrado al reactor (6; 106).
20
7. Un aditivo adaptado para añadirse a un dispositivo de producción de biogás para la digestión anaerobia de materia orgánica, **caracterizado porque** dicho aditivo comprende cobalto, hierro y ácido clorhídrico, siendo la proporción del cobalto con respecto al hierro de 1:80 a 1:15.000 en base al peso, y la proporción del hierro con respecto al ácido clorhídrico de 1:3 a 300:1 en base al peso.
25
8. Un aditivo de acuerdo con la reivindicación 7, en el que dicho aditivo comprende cobalto, hierro y ácido clorhídrico en una solución acuosa.
9. Un aditivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7-8, en el que el aditivo comprende hierro en una cantidad del 5 al 15 % en peso, cobalto en una cantidad del 0,001 al 0,050 % en peso y ácido clorhídrico en una cantidad del 0,05 al 15 % en peso.
30
10. Un aditivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7-9, adaptándose el aditivo para añadirse a un dispositivo en el que al menos el 60 %, preferentemente al menos el 90 %, de los sólidos volátiles, es decir al menos el 60 %, preferentemente al menos el 90 %, de los g de sólidos volátiles proporcionados al día, suministrados al dispositivo, es materia verde, conteniendo el aditivo hierro en una cantidad del 5 a 12 % en peso y cobalto en una cantidad del 0,002 al 0,010 % en peso.
35
11. Un aditivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7-9, adaptándose el aditivo para añadirse a un dispositivo en el que al menos el 20 % de los g de sólidos volátiles, es decir al menos el 20 % de los g de sólidos volátiles proporcionados al día, suministrados al dispositivo, es de origen animal, conteniendo el aditivo hierro en una cantidad del 8 al 15 % en peso y cobalto en una cantidad del 0,002 al 0,050 % en peso.
12. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende adicionalmente el uso de un dispositivo para producir biogás por digestión anaerobia de materia orgánica, comprendido dicho dispositivo un reactor que puede cerrarse herméticamente, esencialmente hermético a gases (6; 106) que posee una entrada (14; 114) para la materia orgánica y salidas (16, 18; 116, 118) para el biogás producido y el lodo digerido formado, adaptándose el reactor (6; 106) para contener la materia orgánica en forma de un lodo mientras que dicho lodo se digiere, en el que el dispositivo (1; 101) comprende adicionalmente un medio de alimentación (30; 130, 131) que se utiliza para la adición de cobalto, hierro y ácido clorhídrico a la materia orgánica, un agitador (15; 115; 44) que se utiliza para mezclar, con la materia orgánica, el cobalto, el hierro y el ácido clorhídrico añadidos, un medio de muestreo (20; 120) que se utiliza para recoger al menos una muestra de lodo procedente del reactor (6; 106) y un analizador (26; 126) que se utiliza para analizar, en dicha muestra de lodo, la cantidad de al menos un ácido graso orgánico saturado, del tipo que posee más de 10 átomos de carbono, comprendiendo el dispositivo (1; 101) adicionalmente una unidad de control (28; 128) que se utiliza para controlar dicho medio de alimentación (30; 130, 131) para suministrar, en dicha muestra de lodo, una cantidad apropiada de cobalto, hierro y ácido clorhídrico en respuesta a dicho análisis de la cantidad de al menos un ácido graso orgánico saturado del tipo que posee más de 10 átomos de carbono.
40
45
50
55

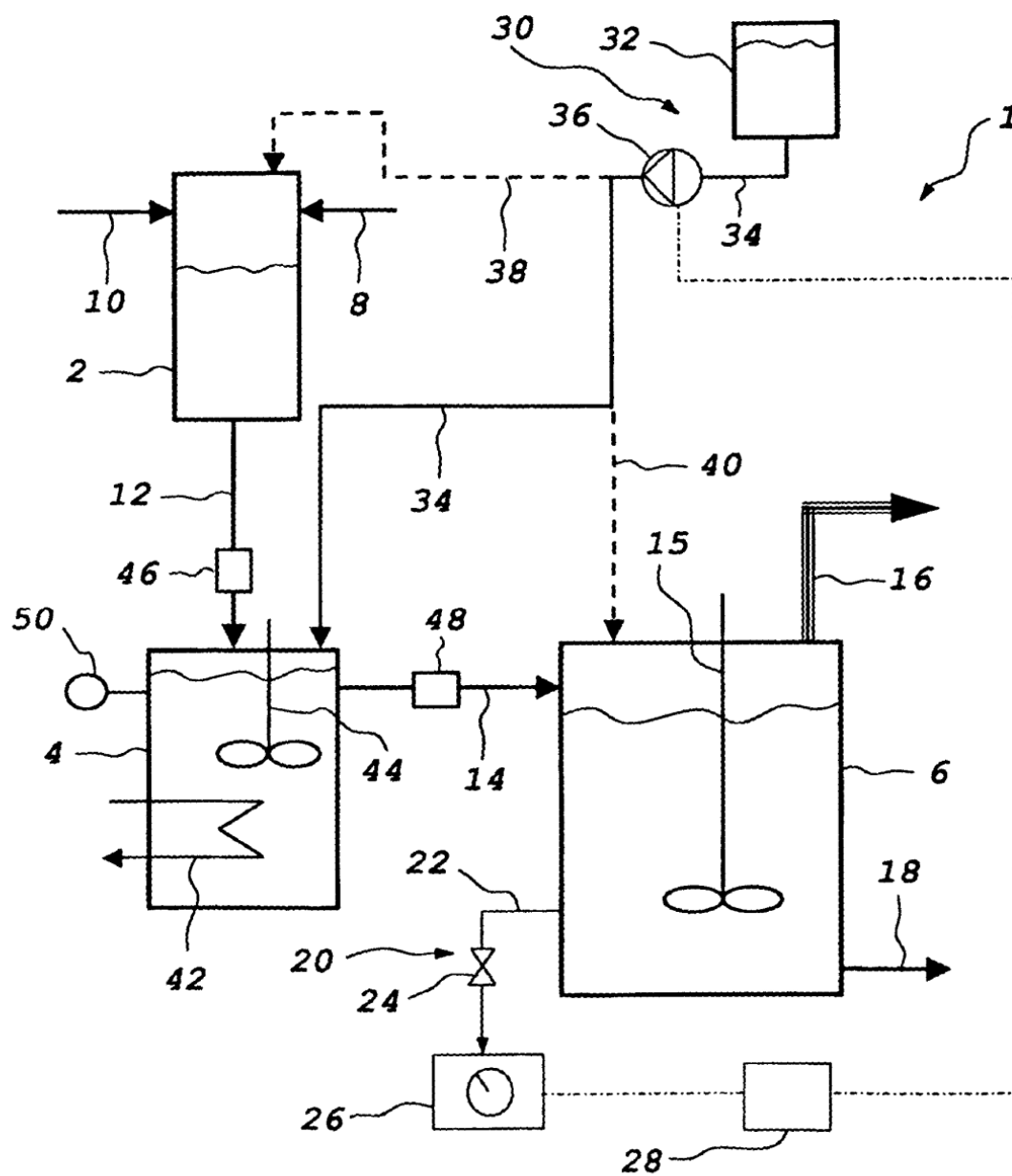


Fig. 1

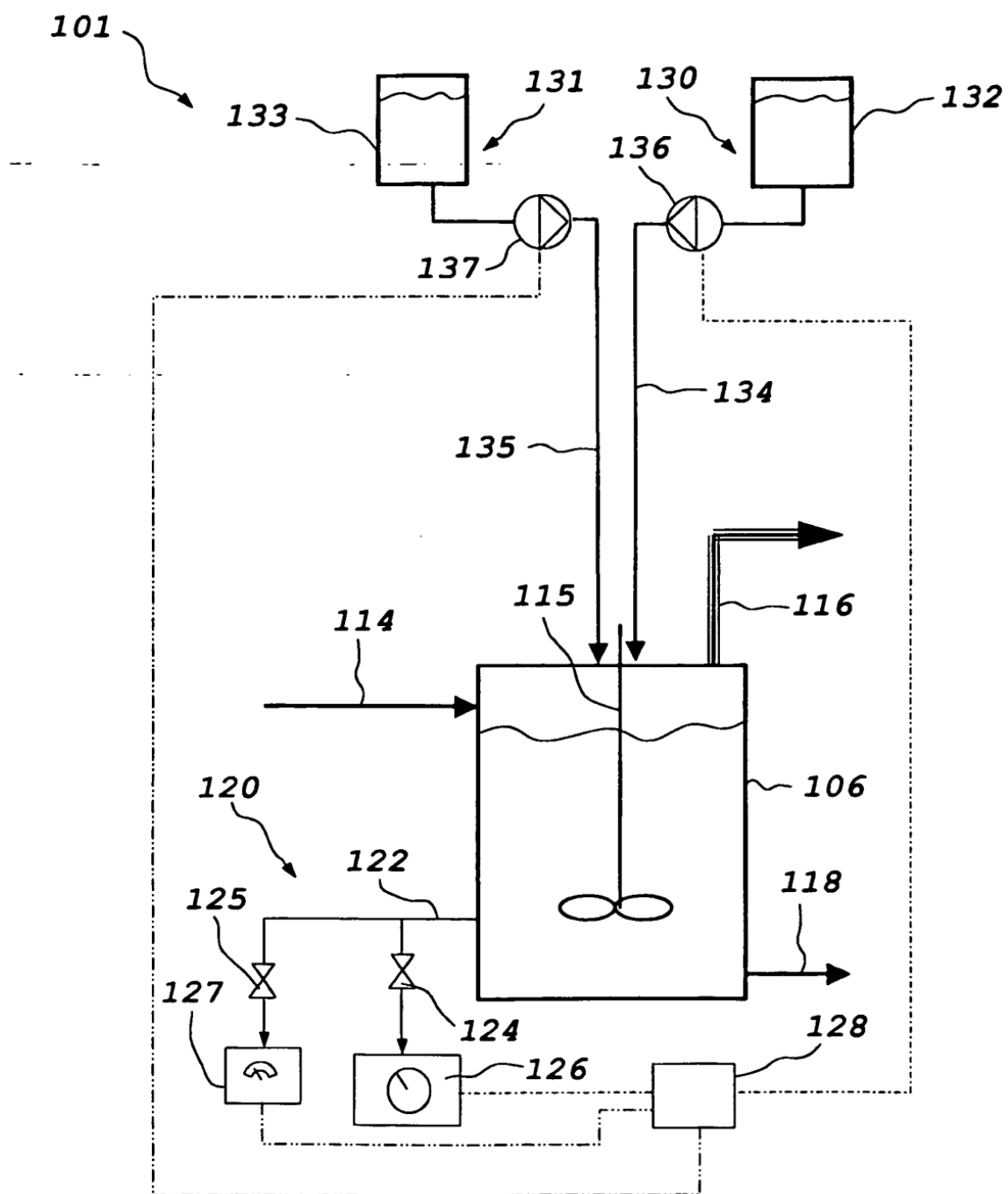


Fig. 2

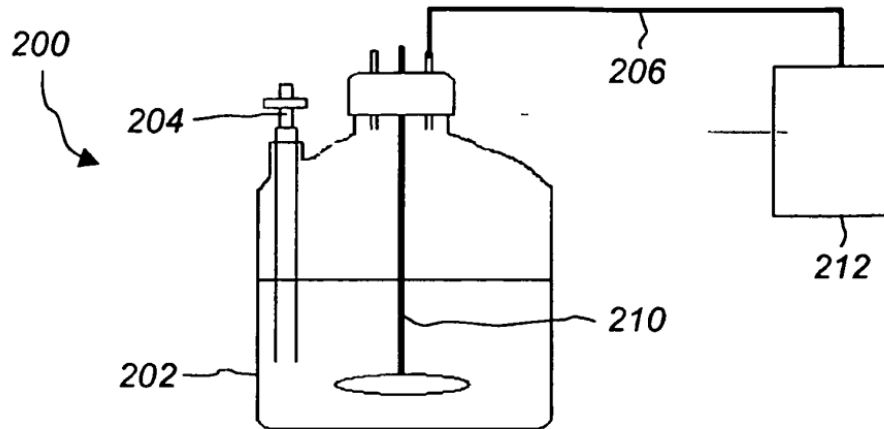


Fig. 3

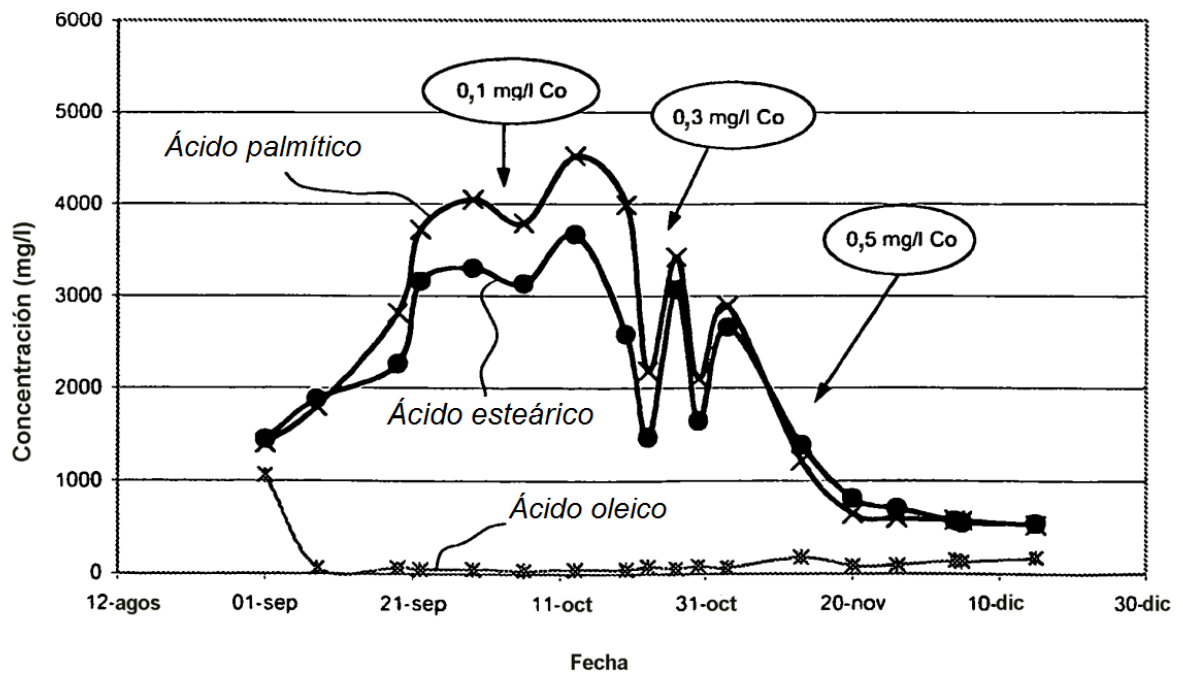


Fig. 4