

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 928 353**

51 Int. Cl.:

C05F 17/50 (2010.01)

C05F 17/957 (2010.01)

C05F 17/971 (2010.01)

C12M 1/107 (2006.01)

C12M 1/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.06.2019** **E 19179358 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.09.2022** **EP 3750862**

54 Título: **Planta anaeróbica de biogás y procedimiento de digestión**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.11.2022

73 Titular/es:

HITACHI ZOSEN INOVA AG (100.0%)
Hardturmstrasse 127
8005 Zürich, CH

72 Inventor/es:

SCHATZ, ADRIAN y
LEISNER, RENE

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 928 353 T3

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

DESCRIPCIÓN

Planta anaeróbica de biogás y procedimiento de digestión

La presente invención se refiere a una planta anaeróbica de biogás según la reivindicación 1 y a un procedimiento de digestión según la reivindicación 7.

5 En general, el campo técnico de la presente invención es la digestión anaeróbica -a veces también denominada "fermentación"- de la biomasa, es decir, la materia orgánica presente en diversos tipos de residuos (lodos, residuos agroindustriales, cultivos energéticos), en una planta anaeróbica de biogás. La tecnología de la digestión anaeróbica es un proceso bioquímico realizado por la acción combinada de un grupo de varios tipos de microorganismos, que metabolizan los materiales orgánicos en una mezcla gaseosa compuesta principalmente por metano y dióxido de carbono (biogás) en condiciones anaeróbicas.

10 La digestión anaeróbica consiste generalmente en cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. Los sustratos de alto peso molecular son hidrolizados primero por las bacterias fermentadoras en productos orgánicos intermedios de bajo peso molecular y solubles en agua, como glucosa, ácidos grasos y aminoácidos. Durante la acidogénesis se derivan ácidos grasos volátiles (AGV), junto con la generación de subproductos como NH₃, CO₂ y H₂S. Los AGV se convierten entonces en acetato, más CO₂, H₂, etc., mediante la acetogénesis. Es el acetato sobre el que actúan los metanógenos para producir biometano durante el proceso final de metanogénesis. De las cuatro etapas, la hidrólisis es la más lenta y, por tanto, la que determina la velocidad.

15 El biogás es generalmente mejorado y luego enviado a una red de gas natural o utilizado directamente para la producción de electricidad, calor y/o combustible para el transporte. El digestato final que queda tras el proceso de digestión se utiliza como acondicionador de suelos y fertilizante.

20 Para proporcionar las condiciones anaeróbicas requeridas, generalmente se utilizan tanques de digestión verticales u horizontales. Un ejemplo de digestor horizontal que opera en modo de flujo pistón y es adecuado para la digestión anaeróbica de residuos biogénicos se describe en la patente europea EP 0 621 336. El digestor es un tanque horizontal alargado que tiene una entrada en un extremo y una salida en el extremo opuesto. Los residuos biogénicos triturados se suministran a través de la entrada y se inoculan mediante el material digerido y el agua de prensado procedente del post-procesamiento tras la digestión. De este modo, el sustrato a digerir se enriquece con metanobacterias. En el digestor, los residuos biogénicos se descomponen bajo una mezcla controlada formando biogás y posteriormente, tras salir por la salida, se suministran al postprocesamiento, incluyendo la deshidratación y la putrefacción aeróbica. Otras plantas anaeróbicas de biogás y procedimientos de digestión se divulgan en los documentos EP 1 930 404 A1, US 2017/029309 A1, US 2016/298067 A1, US 2015/048008 A1 y US 2016/024449 A1.

25 La demanda mundial de plantas anaeróbicas de biogás con mayor capacidad llevó a la construcción de digestores cada vez más grandes. Hoy en día se pueden realizar tanques digestores horizontales de una longitud total de 50 metros y con un diámetro de más de 10 metros. Este aumento de tamaño vino acompañado de dificultades técnicas relacionadas con el transporte del sustrato de digestión a través del digestor, así como con el control del proceso de digestión. Las cuestiones específicas se refieren a la provisión de una cierta homogeneidad del sustrato de digestión y la prevención de la sedimentación de sólidos pesados, como en particular arena y piedras, en el fondo de los tanques digestores. La prevención de la sedimentación garantiza la descarga continua del sustrato digerido. Incluso cuando el digestor opera en modo de flujo pistón, los productos más pesados tienden a hundirse debido a la baja velocidad del flujo y, por tanto, no pueden descargarse. En consecuencia, el aumento del tamaño del digestor se produjo a menudo a expensas de una disminución de la calidad de la digestión y de un mayor tiempo de retención o de paso de los residuos biogénicos por el digestor desde la entrada hasta la salida.

30 Para una digestión eficiente se requiere en el sistema un consorcio microbiano equilibrado de bacterias hidrolizadoras, bacterias acidogénicas, acetógenos y metanógenos. Se comprobó que la adición de algún sustrato digerido a la masa de sustrato de digestión fresco introducido en el digestor conduce a una reducción del tiempo de retención global (es decir, del tiempo de permanencia del sustrato de digestión). De acuerdo con ello, el documento EP 1 930 404 divulga el uso de algún sustrato digerido del propio digestor para la inoculación de la biomasa fresca introducida en el digestor ("autoinoculación"). Por lo tanto, parte de la biomasa digerida que se recupera después de un tiempo de retención total se devuelve a la zona de entrada del digestor. Al operar una pluralidad de fermentadores en paralelo entre sí, se podría aumentar el rendimiento global de biomasa de una planta de biogás. El objetivo principal del procedimiento del documento EP 1 930 404 es maximizar la cantidad de biogás recolectable que se produce durante la digestión y asegurarse de que todos los gérmenes se eliminan eficazmente.

35 Otros procedimientos, como los descritos por ejemplo en el documento GB 720.018 no se basan en la autoinoculación clásica. El documento GB 720.018 divulga un procedimiento de digestión anaeróbica de la biomasa, en el que se utilizan varias cámaras de fermentación, a través de las cuales se alimenta el sustrato de digestión en un orden predeterminado. El licor del digestor formado durante la digestión en las cámaras de fermentación se recoge y se suministra a un fermentador de inoculación separado, de modo que las bacterias pueden reutilizarse en el fermentador de inoculación para producir sustrato de inoculación.

Aunque tanto el documento EP 1 930 404 como el documento GB 720.018 presentan formas de mejorar el proceso de digestión, no se centran específicamente en aumentar el rendimiento global de la biomasa mediante la planta de biogás. Este ha sido un objetivo primordial de la planta de biogás y del procedimiento de conversión divulgados en la patente europea EP 2 948 537 que es propiedad del solicitante de la presente solicitud. El procedimiento del documento EP 2 948 537 implica el retorno de algún sustrato desde una cámara de fermentación de inóculo operada en el modo de flujo pistón de vuelta a la cámara de fermentación de inóculo por medio de una ruta de retorno. Además, el sustrato restante, no devuelto, se suministra a por lo menos otra cámara de fermentación rápida - también operada en el modo de flujo pistón - por medio de una ruta de inoculación rápida y se mezcla allí con sustrato de fermentación fresco adicional. Esto significa que al menos una cámara de fermentación rápida no requiere una autoinoculación, lo que permite lograr un tiempo de permanencia significativamente más corto en la cámara de fermentación rápida y, como resultado, aumentar el rendimiento general del sustrato de fermentación crudo de la planta de biogás en comparación con una planta de biogás que tenga el mismo número/volumen de cámaras de fermentación operadas en paralelo.

Sin dejar de lado los beneficios proporcionados por la planta de biogás y el procedimiento de conversión descritos en el documento EP 2 948 537, todavía hay margen de mejora con respecto a la maximización de la producción de biogás y a la disminución de los costes de construcción y mantenimiento de la planta de biogás.

El problema resuelto por la presente invención es, por tanto, proporcionar una planta anaeróbica de biogás y un procedimiento de digestión que no sólo maximiza el rendimiento total del sustrato de digestión, sino que también permite una reducción de los costes de construcción y mantenimiento.

Este problema se resuelve con la planta anaeróbica de biogás según la reivindicación 1 y el procedimiento de digestión de la reivindicación 7.

Las realizaciones preferentes están sujetas a las reivindicaciones dependientes. De acuerdo con la presente invención, se proporciona una planta anaeróbica de biogás que comprende un digestor para la digestión de sustrato de digestión orgánico fresco. Ni que decir tiene que el digestor proporciona un entorno que permite la digestión de la materia orgánica. En general, esto significa que el digestor contiene microorganismos capaces de digerir el sustrato de digestión.

De acuerdo con la presente invención, el digestor tiene una sección de entrada con una entrada principal en un primer extremo, una sección trasera en un segundo extremo opuesto, y una sección intermedia dispuesta entre la sección de entrada y la sección trasera. El digestor incluye además una unidad de agitación que comprende un eje que se extiende en la dirección del primer extremo al segundo extremo y que tiene al menos un brazo agitador para mezclar el sustrato de digestión dentro del digestor.

Un aspecto clave de la presente invención es que una fracción principal del sustrato de digestión se evacua del digestor después de un tiempo de retención reducido t . Dicho tiempo de retención reducido t se establece con el objetivo de obtener la máxima producción de biogás. Para ello, la sección intermedia del digestor incluye una salida principal para la evacuación de una fracción principal del sustrato de digestión después de un tiempo de retención reducido t . El término "tiempo de retención" se expresa típicamente en horas o días y se refiere al tiempo necesario para alcanzar un grado de degradación del sustrato de digestión en vista de la producción máxima de biogás o de la producción de un sustrato de inóculo.

Por otro lado, sólo una fracción secundaria del sustrato de digestión se mantiene dentro del digestor durante un tiempo de retención del inóculo T que es más largo que el tiempo de retención reducido t . Dicho tiempo de retención del inóculo T se establece para proporcionar el sustrato de digestión con capacidad de inoculación. Así, de acuerdo con la presente invención, la fracción secundaria del sustrato de digestión se evacua del digestor después del tiempo de retención del inóculo T y se reintroduce directamente en el digestor, donde se mezcla con el sustrato de digestión fresco y actúa como sustrato de inoculación. Para ello, la sección trasera del digestor incluye una salida adicional y una línea de retorno separada. La salida adicional sirve para la evacuación de la fracción secundaria del sustrato de digestión después del tiempo de retención del inóculo T . La línea de retorno separada conduce desde la salida adicional de vuelta a la sección de entrada del digestor y se proporciona para devolver directamente la fracción secundaria evacuada de la sección trasera de vuelta a la sección de entrada del digestor. El término "separada" indica así que la línea de retorno está destinada exclusivamente al retorno de la fracción secundaria del sustrato de digestión y no sirve para otros fines.

El consorcio microbiano en el procedimiento de digestión anaeróbica consiste en varios grupos de microorganismos diferentes que crecen de forma sintrófica o antagónica, lo que da lugar a diferentes respuestas a los cambios ambientales. Por lo tanto, cuando se reprime la actividad de uno de los grupos de microorganismos, el crecimiento de otros grupos de microorganismos se ve afectado, la población microbiana se modifica, lo que puede disminuir la eficiencia del procedimiento o incluso provocar un fallo del mismo. Gracias a la adición del sustrato de inoculación, se consigue una rápida aparición de una población microbiana equilibrada, con el efecto de que la digestión del sustrato de digestión dentro del digestor se acelera, lo que significa que se requiere menos tiempo de retención (o "tiempo de permanencia" o "tiempo de digestión") para producir una determinada cantidad de biogás en comparación con los digestores que no utilizan un sustrato de inoculación. En consecuencia, la planta anaeróbica de

biogás de la presente invención permite aumentar el rendimiento global del sustrato de digestión fresco y, por tanto, maximizar la cantidad de biogás producido dentro del digestor.

Además, debido a este diseño específico del digestor inventivo con una salida adicional y una línea de retorno separada, la planta anaeróbica de biogás de la presente invención permite la inoculación del sustrato de digestión fresco así como la preparación de un sustrato de inoculación dentro de uno y el mismo digestor y, sin embargo, asegurando la operación incesante de la digestión anaeróbica. Por lo tanto, no es necesario un digestor de inoculación adicional. Por lo tanto, las principales ventajas de la planta anaeróbica de biogás inventiva residen en el menor tiempo de retención y en su simplicidad en la construcción y operación de la planta de biogás.

A lo largo de esta solicitud, el término "línea de retorno separada" se refiere a una tubería que se proporciona exclusivamente para el retorno del sustrato desde la sección trasera después de un tiempo prolongado de retención del inóculo a la sección de entrada del digestor. El término "tiempo de retención prolongado" se refiere al "tiempo de retención del inóculo T" más largo en comparación con el "tiempo de retención reducido t" del sustrato evacuado a través de la salida adicional de la sección intermedia. El grado de digestión del sustrato evacuado de la sección trasera es, por tanto, tal que puede utilizarse como sustrato de inoculación que acelera el procedimiento de digestión. Un indicador clave del procedimiento para la calidad o idoneidad del sustrato de digestión evacuado de la sección trasera del digestor para ser utilizado como sustrato de inoculación es la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) en el sustrato de digestión, que tiene una influencia directa en el valor del pH del mismo. Los límites habituales para el sustrato de inoculación son, por ejemplo, 500 mg/l de ácido acético, 250 mg/l de ácido propiónico y 100 mg/l de ácido butanoico.

La adición de sustrato de inoculación al sustrato de digestión fresco puede ocurrir antes o en el momento de entrar en el digestor. Más específicamente, el sustrato de inoculación puede ser reintroducido en la sección de entrada a través de la entrada principal o a través de una entrada adicional separada. Por ejemplo, se puede proporcionar una tubería de entrega para el suministro de sustrato de digestión fresco en el digestor. Dicha tubería de entrega puede incluir una pieza en T que conecta la línea de retorno con la tubería de entrega, de tal manera que el sustrato de inoculación se añade al sustrato de digestión fresco antes de ser introducido en el digestor.

Se sabe que la temperatura es uno de los parámetros operativos más importantes en la digestión anaeróbica porque la temperatura afecta directamente a la actividad de varias enzimas y coenzimas relacionadas, a la calidad de los lodos, a las tasas de hidrólisis y a la posterior producción de biogás. Los microorganismos de la digestión anaeróbica pueden funcionar normalmente a tres rangos de temperatura diferentes: psicrófilos (óptimamente por debajo de 20°C), mesófilos (óptimamente a 35-40°C) y termófilos (óptimamente a 50-65°C). Desde el punto de vista de las reacciones bioquímicas, se puede conseguir un mayor rendimiento de la digestión anaeróbica cuando la temperatura aumenta dentro de unos límites acotados. Una temperatura del digestor demasiado baja puede impedir una eficacia catalítica óptima de las enzimas, mientras que una temperatura del digestor demasiado alta puede desnaturalizar las enzimas sensibles y, posteriormente, provocar el fracaso del procedimiento. En general, se comprobó que, en comparación con la condición de temperatura mesofílica, la operación termofílica mostró un mejor rendimiento en la aceleración de las reacciones metabólicas endergónicas, la promoción de la producción de biogás y el alivio de la acumulación de amoníaco. Por otro lado, la operación de digestión anaerobia termofílica ha demostrado ser desfavorable a las reacciones metabólicas exergónicas, más vulnerable a los cambios en las condiciones ambientales y podría no ser aplicable a sustratos especiales. En la planta de biogás de la presente invención, la digestión anaeróbica mesófila se aplica preferentemente para digerir los rúmenes de los animales y materias primas biológicas procedentes de actividades industriales y agrícolas, mientras que la digestión anaeróbica termofílica se aplica preferentemente para el saneamiento del sustrato de digestión portador de patógenos.

En una realización preferente, el digestor es un tanque horizontal alargado, preferiblemente con un diámetro esencialmente constante. Esto facilita la construcción del digestor, así como el transporte del material de digestión a través del mismo.

El eje de la unidad de agitación se extiende desde la sección de entrada a través de la sección intermedia hasta la sección trasera del digestor. En general, las secciones del digestor no están separadas físicamente entre sí, por ejemplo, mediante paredes de separación. Por lo tanto, se facilita la construcción de la unidad de agitación y también del digestor.

Además de mezclar el sustrato de digestión para lograr una cierta homogeneidad, la unidad de agitación generalmente también ayuda a evitar la sedimentación de sólidos pesados en el fondo del digestor. Preferiblemente, el eje de la unidad de agitación tiene una multitud de brazos agitadores, que están provistos de palas adecuadas en sus extremos libres, es decir, en sus extremos alejados del eje. Las palas están destinadas a desplazar las materias pesadas desde el fondo hacia la parte superior de nuevo, de tal manera que durante el hundimiento posterior se puedan mover en dirección a la salida del digestor.

Para facilitar el transporte continuo del sustrato de digestión a través del digestor, el digestor se opera preferentemente en el modo de flujo pistón. En particular, cuando se utiliza un digestor horizontal, el uso de un modo de operación de flujo pistón ayuda a reducir el tiempo de retención necesario del sustrato de digestión fresco en el digestor para lograr una alta producción de biogás y, por lo tanto, da lugar a un mayor rendimiento de la planta

anaeróbica de biogás (en comparación con un digestor idéntico que no opere en modo de flujo pistón). Además, el uso de un modo de operación de flujo pistón permite que haya diferentes condiciones de proceso en la sección de entrada, la sección intermedia y la sección trasera. Esta configuración multietapa está diseñada para producir un sustrato digerido con un nivel mínimo de olor, mejores propiedades de deshidratación y bajo contenido en patógenos.

En particular, para la digestión de materiales esencialmente líquidos, es decir, las denominadas "materias primas con bajo contenido en sólidos" (por ejemplo, el tratamiento de aguas residuales secundarias, las aguas residuales de la industria alimentaria, los sistemas de purines hidráulicos), generalmente no se puede aplicar un modo de flujo pistón. Por lo tanto, si la cámara de digestión opera en modo de flujo pistón, el material de digestión es preferiblemente una mezcla de materiales líquidos y sólidos, en particular con un contenido sólido de al menos el 10%. En este caso, la unidad de mezclado está preferiblemente provista de impulsores de rotación lenta que pueden ayudar al movimiento horizontal de la mezcla de sustrato de digestión y también sirve para mezclar, desgasificar y suspender las partículas más pesadas.

Preferiblemente, la línea de retorno separada conecta exclusivamente la sección trasera con la sección de entrada del digestor. Esto significa que no hay ninguna otra unidad funcional de la planta anaeróbica de biogás, en particular ningún digestor adicional, conectado a la línea de retorno. De este modo, la fracción secundaria de material de digestión evacuada puede ser devuelta directamente, es decir, recirculada, al digestor.

Dado que la planta anaeróbica de biogás de la presente invención incluye un digestor que produce tanto sustrato digerido (después de un tiempo de retención reducido t) como sustrato de inoculación (después de un tiempo de retención de inóculo T , con $T > t$), no se requiere un digestor de inóculo separado. Por lo tanto, la planta anaeróbica de biogás de la presente invención incluye preferentemente sólo uno o más digestores que son idénticos con respecto a su construcción y función. Esto significa que, preferentemente, el o los digestores incluyen al menos una sección intermedia con una salida principal, una sección trasera con una salida adicional y una línea de retorno separada, como se ha descrito anteriormente.

La presente invención también se refiere a un procedimiento de digestión para su uso en una planta anaeróbica de biogás como se describe en el presente documento. Así, el procedimiento de digestión inventivo es para su uso en una planta anaeróbica de biogás que tiene al menos un digestor del tipo descrito anteriormente, es decir un digestor que tiene una sección de entrada con una entrada principal en un primer extremo, una sección trasera en un segundo extremo opuesto, una sección intermedia dispuesta entre la sección de entrada, una salida principal de la sección intermedia, una salida adicional de la sección trasera, una línea de retorno separada que conduce desde la salida adicional directamente de vuelta a la sección de entrada del digestor, y una unidad de agitación con un eje que se extiende en la dirección del primer al segundo extremo y que tiene al menos un brazo agitador para mezclar un sustrato de digestión dentro del digestor. El procedimiento comprende las etapas de:

- a) suministro de sustrato de digestión fresco a través de la entrada principal en el digestor;
- b) evacuación de una fracción secundaria de sustrato de digestión a través de la salida adicional de la sección trasera del digestor después de un tiempo de retención del inóculo T ,
- c) devolución de la fracción secundaria del sustrato de digestión a través de la línea de retorno directamente de vuelta a la sección de entrada del digestor para que actúe como sustrato de inoculación,
- d) mezcla del sustrato de inoculación con el sustrato de digestión fresco para obtener un sustrato de digestión combinado, y
- e) evacuación de una fracción principal del sustrato de digestión combinado a través de la salida principal de la sección intermedia del digestor tras un tiempo de retención reducido t .

De acuerdo con el procedimiento de la presente invención, la fracción principal del sustrato de digestión combinado es mayor que la fracción secundaria del sustrato de digestión (que actúa como sustrato de inoculación), y el tiempo de retención reducido t es más corto que el tiempo de retención del inóculo T .

En una realización preferente, la fracción secundaria de sustrato de digestión que se evacua de la sección trasera se devuelve directamente a la sección de entrada del digestor sin más procesamiento. Esto significa que el mismo material que se recupera del digestor también se reintroduce en éste más tarde. Esto contrasta, por ejemplo, con el procedimiento descrito en el documento GB 720.018, en el que el licor digerido se separa del sustrato digerido y se utiliza como inóculo en un digestor de inóculo.

Preferiblemente, la fracción secundaria de sustrato de digestión evacuada en la etapa d) es inferior al 50%, preferiblemente inferior al 40%, más preferiblemente alrededor del 30% o menos, de la cantidad de sustrato de digestión fresco alimentado en el digestor. Se ha comprobado que una cantidad de entre el 20% y el 30% de sustrato de inoculación en relación con el aporte total de sustrato de digestión fresco en el digestor es suficiente para la inoculación, es decir, para impulsar el procedimiento de digestión.

Se comprobó que el tiempo de retención necesario para producir una determinada cantidad de biogás puede acortarse mediante la adición del sustrato de inoculación, hasta un tercio del tiempo de retención estándar o incluso menos. Cuanto menor sea el tiempo de retención, mayor será el rendimiento global de la planta anaeróbica de biogás. Sin embargo, si el tiempo de retención es demasiado bajo, se produce una acumulación de ácidos grasos que puede provocar la inhibición de las bacterias e incluso el fracaso del procedimiento. Por lo tanto, el tiempo de retención reducido t se fija preferentemente en el momento en que se alcanza el 80-95% de la producción máxima (teórica) de biogás que se puede obtener de la digestión del sustrato de digestión. La producción máxima de biogás, es decir, la cantidad de biogás o metano que puede producirse por unidad de masa del sustrato de digestión en un período determinado y a una temperatura determinada, puede calcularse mediante procedimientos conocidos en la técnica. Un buen procedimiento de evaluación fue, por ejemplo, el desarrollado por el profesor Dohanyos y Doc. Záborská del Instituto de Tecnología Química (ICT) (Straka et al. 2003).

Más específicamente, se prefiere que el tiempo de retención reducido t sea de al menos 2 días, más preferentemente de al menos 4 días y 10 días como máximo, más preferentemente entre 5 y 8 días.

La producción de un sustrato de inóculo, por otro lado, requiere más tiempo. Para la planta de biogás de la presente invención el tiempo de retención del inóculo T de la fracción secundaria del sustrato de digestión es preferiblemente de al menos 10 días, más preferiblemente de al menos 14 días, más preferiblemente de unos 21 días. Se ha demostrado que un tiempo de retención del inóculo de unos 21 días da lugar a un sustrato con un grado de digestión que lo hace especialmente eficaz como sustrato de inoculación.

Con respecto al tiempo de retención reducido t del sustrato de digestión combinado, se prefiere que dicho tiempo de retención reducido t sea inferior al 50%, preferiblemente inferior al 40%, más preferiblemente alrededor de un tercio del tiempo de retención del inóculo T , es decir, del tiempo después del cual la fracción secundaria del sustrato de digestión se evacua a través de la salida en la sección trasera para ser utilizada como sustrato de inoculación.

En una realización preferente, la recirculación -es decir, la evacuación y el retorno de la fracción secundaria del sustrato de digestión desde y hacia el digestor- se produce de forma continua o en intervalos de tiempo regulares. Así, el digestor puede ser operado en un modo de operación continuo o por lotes. Esto significa que puede ser operado en modo continuo o cargarse por lotes y vaciarse al finalizar la degradación de los residuos hasta un grado (con la excepción de la fracción secundaria).

Alternativamente, se prefiere que la evacuación y el retorno de la fracción secundaria del sustrato de digestión desde y hacia el digestor ocurra en dependencia de al menos un parámetro de condición medido dentro del digestor, dicho al menos un parámetro de condición se selecciona del grupo que consiste en el pH, el volumen de sustrato, la temperatura, el contenido de ácidos grasos volátiles, la concentración de amoníaco libre y la presión parcial de gas.

Si el sustrato de digestión fresco tiene un alto contenido de sólidos, es preferible pretratarlo mecánicamente, por ejemplo, mediante molienda, para lograr una reducción del tamaño de las partículas y así aumentar el área superficial y, por lo tanto, una mayor disponibilidad de sustrato para los microorganismos.

Se encontró que el pH es un parámetro crucial en la detección dinámica y la regulación del procedimiento de digestión anaeróbica debido a que la estabilidad de la operación y las actividades de las bacterias acidogénicas y metanogénicas se ven significativamente afectadas por los cambios en el pH. Para un funcionamiento óptimo, es preferible controlar el pH dentro del digestor y mantenerlo dentro de un rango de 6-8. Si es necesario, se pueden introducir en el digestor soluciones ácidas (por ejemplo, HCl) o básicas (por ejemplo, NaHCO₃).

La presente invención se describe además en relación con los dibujos adjuntos, que muestran de forma puramente esquemática:

Figuras

- Figura 1 una vista esquemática de una planta de biogás según el estado de la técnica sin un digestor de inoculación separado, pero con un solo digestor al que se le suministra sustrato;
- Figura 2 una vista esquemática de una planta de biogás alternativa según el estado de la técnica, la planta de biogás tiene un digestor de inoculación separado y un digestor rápido, que están acoplados entre sí y son suministrados con sustrato; y
- Figura 3 una vista esquemática de una planta anaeróbica de biogás que tiene un único digestor que realiza ambas funciones de un digestor de inoculación y un digestor rápido de acuerdo con la presente invención.

La Fig. 1 muestra una representación esquemática del procedimiento de digestión en una planta anaeróbica de biogás según el estado de la técnica. Dicha planta de biogás incluye un único digestor 10 con una entrada 11 en un extremo, una salida 12 en un extremo opuesto y una vía de retorno 13 que conecta la salida 12 con la entrada 11. El sustrato de digestión fresco 14 se introduce en el digestor 10 y se digiere en el mismo durante un tiempo de retención estándar total T , antes de ser evacuado como sustrato digerido 15 (esencialmente completamente

digerido). El término sustrato digerido (esencialmente completamente digerido) se refiere a un sustrato que ha pasado las cuatro etapas principales de digestión, es decir, la hidrólisis, la acidogénesis, la acetogénesis y la metanogénesis. Por lo tanto, el pH, el rendimiento de metano y la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) en el sustrato de digestión son indicadores del progreso de la digestión. Una fracción secundaria 16 del sustrato digerido 15 evacuado del digester 10 se devuelve a través de la vía de retorno 13 de nuevo al digester 10 para actuar como "sustrato de autoinoculación" que acelera el procedimiento de digestión.

La planta de biogás mostrada en la Fig. 2 se opera de acuerdo con el procedimiento descrito en el documento EP 2 948 537. En esta planta de biogás, un digester de inóculo 20 está acoplado con al menos otro digester rápido 21. El sustrato de digestión fresco 22 se introduce en el digester de inóculo 20 y se digiere durante un tiempo T antes de salir del digester de inóculo 20 como sustrato de inoculación 23. Una fracción secundaria 24 del sustrato de inoculación 23 procedente del digester de inóculo 20 se devuelve al digester de inóculo 20 por medio de una vía de retorno 26 para que actúe como autoinoculado y una fracción principal 25 del sustrato de inoculación 23 se suministra al digester rápido 21 por medio de una vía de inoculación rápida 27. La fracción principal 25 del sustrato de inoculación 23 se mezcla en el digester rápido 21 con el sustrato de digestión fresco adicional 22. Dado que el digester de inóculo 20 produce el sustrato de inoculación 23 necesario para ambos digestores 20, 21, el tiempo de retención en el digester rápido 21 puede reducirse. Esto permite aumentar el rendimiento global del sustrato de digestión mediante la planta de biogás.

La planta anaeróbica de biogás mostrada en la Fig. 3 es operada de acuerdo con la presente invención e incluye un digester 30 con una entrada 31 en una sección de entrada 32 en un extremo, una salida principal 33 en una sección intermedia 34, una salida adicional 35 en una sección trasera 36 en un extremo opuesto y una línea de retorno 37 que conecta la salida adicional 35 con la entrada 31 para devolver parte del sustrato digerido de vuelta al digester 30 como sustrato de autoinoculación. A través de la entrada 31 en la sección de entrada 32, el digester 30 es alimentado con sustrato de digestión fresco 40, que es transportado en el modo de flujo pistón a través de la sección intermedia 34 y hacia la sección trasera 36 del digester 30. Una fracción secundaria 41 del sustrato de digestión se digiere en el digester 30 durante un tiempo de retención del inóculo T. A continuación, dicha fracción secundaria 41 del sustrato de digestión se evacua a través de la salida adicional 35 y se devuelve al digester 30 para que actúe como sustrato de inoculación 42. El sustrato de inoculación 42 se mezcla con el sustrato de digestión fresco 40 para obtener un sustrato de digestión combinado 44. El sustrato de digestión combinado 44 es posteriormente digerido al pasar el digester 30 en el modo de flujo pistón. Una fracción principal 45 del sustrato de digestión combinado 44 no se transporta a la sección trasera 36 del digester 30, sino que se evacua tras un tiempo de retención reducido t a través de la salida principal 33 de la sección intermedia 34 del digester 30. Sólo la fracción secundaria 41 del sustrato de digestión combinado 44 pasa y se recupera de la sección trasera 36 del digester 30 a través de la salida adicional 35 - de nuevo, como se ha descrito anteriormente, para ser devuelta al digester 30 y actuar como sustrato de inoculación 42.

En comparación con las plantas anaeróbicas de biogás conocidas que tienen un solo digester, como se presenta en la Fig. 1, la planta anaeróbica de biogás de acuerdo con la presente invención permite una reducción significativa del tiempo medio de retención (es decir, el tiempo de permanencia) del sustrato de digestión combinado en el digester y, por lo tanto, el aumento del rendimiento global del sustrato de digestión fresco. Esto se explicará más adelante con un ejemplo específico, con los parámetros del procedimiento indicados en la Tabla 1:

Tabla 1

	Digester A, Figura 1	Digester B, Figura 2	Digester C, Figura 3
Aporte fresco	100 t/día	30 t/día + 100 t/día = 130 t/día	100 t/día
Capacidad del digester	130 t/día durante 21 días = 2.730 t	39 t/día durante 21 días + 130 t/día durante 7 días = 1.729 t	130 t/día durante 7 días + 30 t/día durante 14 días = 1.330 t
Producción	100 t/día	130 t/día	100 t/día
Tiempo medio de retención	2.730 t / 100 t/día = 27 días	1.729 t / 130 t/día = 13 días	1.300 t / 100 t/día = 13 días

Suponiendo que en una planta de biogás según el estado de la técnica, como se muestra en la Fig. 1, un aporte total de 130 toneladas/día de sustrato de digestión combinado 17 se alimenta en el digester 10 y se digiere durante un tiempo de retención T = 21 días. Dicho aporte total 17 consiste en un 100% de sustrato fresco de digestión 14 y un 30% de sustrato de inoculación 16. Después del tiempo de retención T = 21 días, una fracción principal 18 del 100% = 100 toneladas/día del sustrato digerido 15 puede ser recuperada de la planta anaeróbica de biogás y una fracción secundaria 16 del 30% = 30 toneladas/día es devuelta a la cámara de digestión para actuar como sustrato de

inoculación. El resultado es una capacidad del digestor de 2.730 toneladas. Para el sustrato de digestión combinado -incluyendo el sustrato de inoculación recirculado-, esto da como resultado un tiempo de retención medio de 27 días.

5 En la planta de biogás del estado de la técnica mostrada en la Fig. 2, 30 toneladas/día de sustrato de digestión fresco 22 y 9 toneladas/día de un sustrato de autoinoculación se alimentan en el digestor de inoculación 20 y se digieren en él durante 21 días. Las 39 toneladas/día de sustrato digerido 23 recuperadas del digestor de inoculación 20 se dividen en dos fracciones: Una fracción secundaria 24 de 9 toneladas/día se devuelve al digestor de inoculación 20 y una fracción principal 25 de 30 toneladas/día se introduce en el digestor rápido 21, donde esta última se mezcla con 100 toneladas/día de sustrato fresco de digestión 22. El digestor rápido 21 de la Fig. 2 se alimenta así con un aporte total de 130 toneladas/día y dicho aporte se digiere durante un tiempo de retención reducido de 7 días. Para todos los sustratos de digestión juntos en ambos digestores, esto da como resultado un tiempo de retención medio de 13 días.

10 De acuerdo con la presente invención, tal y como se muestra en la Fig. 3, el digestor 30 de una planta anaeróbica de biogás se alimenta con un aporte total de 130 toneladas/día de sustrato de digestión combinado 44, que consiste en 100 toneladas/día de sustrato de digestión fresco 40 y en 30 toneladas/día de sustrato de inoculación 42. Una fracción principal 45 del 100% = 100 toneladas/día del sustrato de digestión combinado 44 se digiere durante un tiempo de retención reducido t de 7 días antes de ser evacuado a través de la salida principal 33. Una fracción secundaria 41 del 30% = 30 toneladas/día del sustrato de digestión combinado 44 se digiere durante otros 14 días, es decir, durante un tiempo total de retención prolongado T de 21 días, antes de ser evacuada a través de la salida adicional 35 y recirculada al digestor 30 como sustrato de inoculación 42. Para todo el sustrato de digestión, es decir, el sustrato de digestión fresco 40 y el sustrato de inoculación 42 juntos, esto da como resultado un tiempo de retención medio de 13 días.

15 En comparación con la planta anaeróbica de biogás mostrada en la Fig. 1 que requiere un tiempo de retención medio de 27 días, la planta de biogás de la presente invención tiene un tiempo de retención medio de sólo 13 días (para la misma cantidad de material de aporte). Las plantas de biogás mostradas en las Fig. 2 y 3 tienen el mismo tiempo medio de retención.

20 Así, asumiendo que todos los digestores tienen la misma capacidad/tamaño de digestor, el rendimiento global de las plantas anaeróbicas de biogás mostradas en las Fig. 2 y 3 se incrementa sustancialmente en comparación con la mostrada en la Fig. 1.

30 Aunque la planta de biogás mostrada en la Fig. 2 y la planta de biogás inventiva mostrada en la Fig. 3 tienen el mismo tiempo medio de retención, la planta de biogás de la presente invención tiene la ventaja de que sólo requiere un digestor, lo que reduce los costes de construcción y mantenimiento.

REIVINDICACIONES

1. Planta anaeróbica de biogás que comprende un digestor (30) para la digestión de sustrato de digestión orgánico fresco (40), teniendo dicho digestor (30)
 - 5 una sección de entrada (32) con una entrada principal (31) en un primer extremo, una sección trasera (36) en un segundo extremo opuesto, una sección intermedia (34) dispuesta entre la sección de entrada (32) y la sección trasera (36), y una unidad de agitación que comprende un eje que se extiende en la dirección del primer extremo al segundo extremo y que tiene al menos un brazo agitador para mezclar el sustrato de digestión (44) dentro del digestor (30),
 - 10 **en la que** la sección intermedia (34) del digestor (30) incluye una salida principal (33) para la evacuación de una fracción principal (45) del sustrato de digestión después de un tiempo de retención reducido t, la sección trasera (36) incluye una salida adicional (35) para la evacuación de una fracción secundaria (41) de sustrato de digestión después de un tiempo de retención del inóculo T, y
 - 15 el digestor (30) incluye una línea de retorno separada (37) que va desde la salida adicional (35) de vuelta a la sección de entrada (32) del digestor (30) para permitir un retorno directo de la fracción secundaria (41) del sustrato de digestión evacuada de la sección trasera (36) de vuelta a la sección de entrada (32) del digestor (30).
2. Planta anaeróbica de biogás según la reivindicación 1, en la que el digestor (30) es un tanque horizontal alargado, preferiblemente con un diámetro esencialmente constante.
- 20 3. Planta anaeróbica de biogás según una de las reivindicaciones 1 o 2, en la que la unidad de agitación se extiende desde la sección de entrada (32) a través de la sección intermedia (34) hasta la sección trasera (36) del digestor (30).
4. Planta anaeróbica de biogás según una de las reivindicaciones 1 a 3, en la que el eje de la unidad de agitación tiene una multitud de brazos agitadores, que están provistos de palas en sus extremos libres.
- 25 5. Planta anaeróbica de biogás según una de las reivindicaciones 1 a 4, en la que la línea de retorno separada (37) conecta exclusivamente la sección trasera (36) con la sección de entrada (32).
6. Planta anaeróbica de biogás que incluye dos o más digestores (30), todos ellos del tipo definido en las reivindicaciones 1 a 5.
7. Procedimiento de digestión en una planta anaeróbica de biogás que tiene al menos un digestor (30),
 - 30 teniendo dicho digestor (30)
 - una sección de entrada (32) con una entrada principal (31) en un primer extremo, una sección trasera (36) en un segundo extremo opuesto,
 - una sección intermedia (34) dispuesta entre la sección de entrada (32) y la sección trasera (36),
 - 35 una salida principal (33) de la sección intermedia (34), una salida adicional (35) de la sección trasera (36), una línea de retorno separada (37) que conduce desde la salida adicional (35) directamente de vuelta a la sección de entrada (32) del digestor (30), y una unidad de agitación que comprende un eje que se extiende en la dirección del primer extremo al segundo extremo y que tiene al menos un brazo agitador para mezclar el sustrato de digestión (44) dentro del digestor (30);
 - 40 comprendiendo el procedimiento las etapas de:
 - a) suministrar sustrato de digestión fresco (40) a través de la entrada principal (31) al digestor (30);
 - b) evacuar una fracción secundaria (41) del sustrato de digestión a través de la salida adicional (35) de la sección trasera (36) del digestor (30) tras un tiempo de retención del inóculo T,
 - 45 c) devolver la fracción secundaria (41) del sustrato de digestión a través de la línea de retorno (37) directamente de vuelta a la sección de entrada (32) del digestor (30) para que actúe como sustrato de inoculación (42),
 - d) mezclar el sustrato de inoculación (42) con el sustrato de digestión fresco (40) para obtener un sustrato de digestión combinado (44), y
 - 50 e) evacuar una fracción principal (45) del sustrato de digestión combinado (44) a través de la salida principal (33) de la sección intermedia (34) del digestor (30) tras un tiempo de retención reducido t,
 - en el que la fracción principal (45) del sustrato de digestión combinado (44) es mayor que la fracción secundaria (41) del sustrato de digestión combinado (44) que se devuelve como sustrato de inoculación (42), y el tiempo de retención reducido t es menor que el tiempo de retención del inóculo T.

8. Procedimiento de digestión según la reivindicación 7, en el que la fracción secundaria (41) de sustrato de digestión que se extrae de la sección trasera (36) se devuelve directamente a la sección de entrada (32) del digestor (30) sin más procesamiento.
- 5 9. Procedimiento de digestión según la reivindicación 7 u 8, en el que la fracción secundaria (41) de sustrato de digestión evacuada de la sección trasera (36) es inferior al 50%, preferiblemente inferior al 40%, más preferiblemente alrededor del 30% o menos, de la cantidad de sustrato de digestión fresco (40) alimentado en el digestor.
- 10 10. Procedimiento de digestión según una de las reivindicaciones 7 a 9, en el que en la etapa e), la fracción principal (45) del sustrato de digestión combinado (44) se evacua después de un tiempo de retención reducido t de menos del 50%, preferiblemente menos del 40%, más preferiblemente alrededor de un tercio del tiempo de retención T del inóculo.
- 15 11. Procedimiento de digestión según una de las reivindicaciones 7 a 10, en el que en la etapa e), la fracción principal (45) del sustrato de digestión combinado (44) se evacua después de un tiempo de retención reducido t de al menos 2 días, más preferentemente de al menos 4 días y menos de 10 días, más preferentemente entre 2 y 6 días.
12. Procedimiento de digestión según una de las reivindicaciones 7 a 11, en el que en la etapa b), la fracción secundaria (41) del sustrato de digestión se evacua después de un tiempo de retención del inóculo T de al menos 7 días, más preferiblemente de al menos 14 días, más preferiblemente de unos 21 días.
- 20 13. Procedimiento de digestión según una de las reivindicaciones 7 a 12, en el que la evacuación y el retorno de la fracción secundaria (41) del sustrato de digestión (44) desde y de vuelta al digestor (30) se produce de forma continua o en intervalos de tiempo regulares.
- 25 14. Procedimiento de digestión según una de las reivindicaciones 7 a 12, en el que la evacuación y el retorno de la fracción secundaria (41) del sustrato de digestión (44) desde y de vuelta al digestor (30) se produce en función de al menos un parámetro de condiciones medido dentro del digestor, dicho al menos un parámetro de condiciones se selecciona del grupo que consiste en el pH, el volumen de sustrato, la temperatura, el contenido de ácidos grasos volátiles, la concentración de amoníaco libre y la presión parcial del gas.
15. Procedimiento de digestión según la reivindicación 7, en el que el digestor (30) es operado en el modo de flujo pistón.

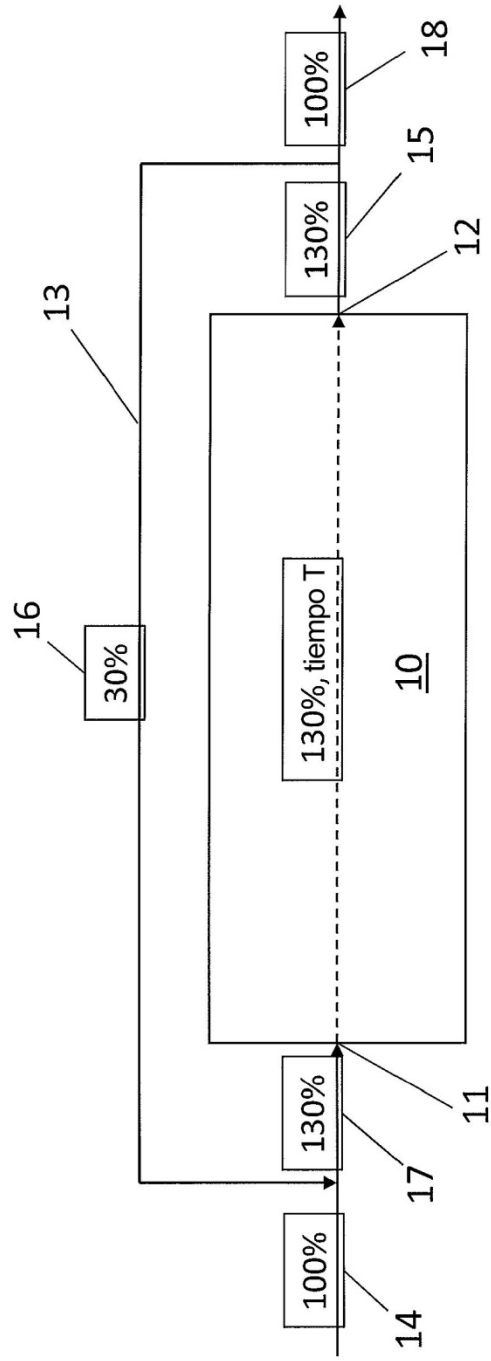


Fig. 1; Estado de la técnica

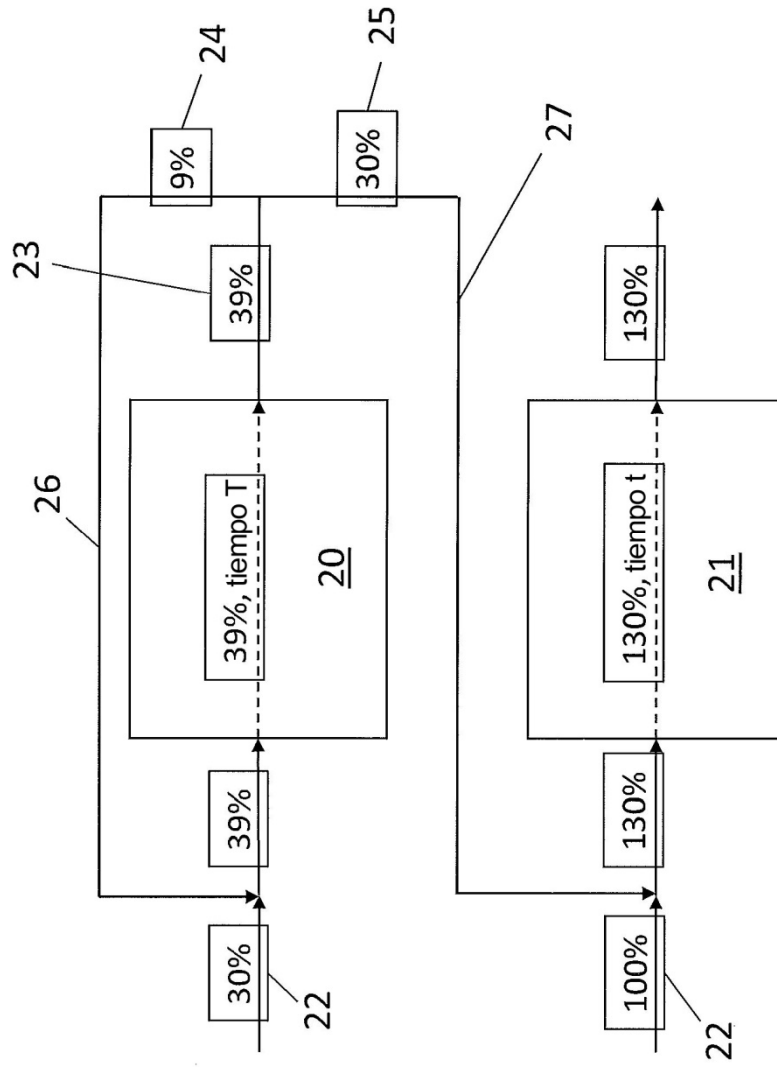


Fig. 2; Estado de la técnica

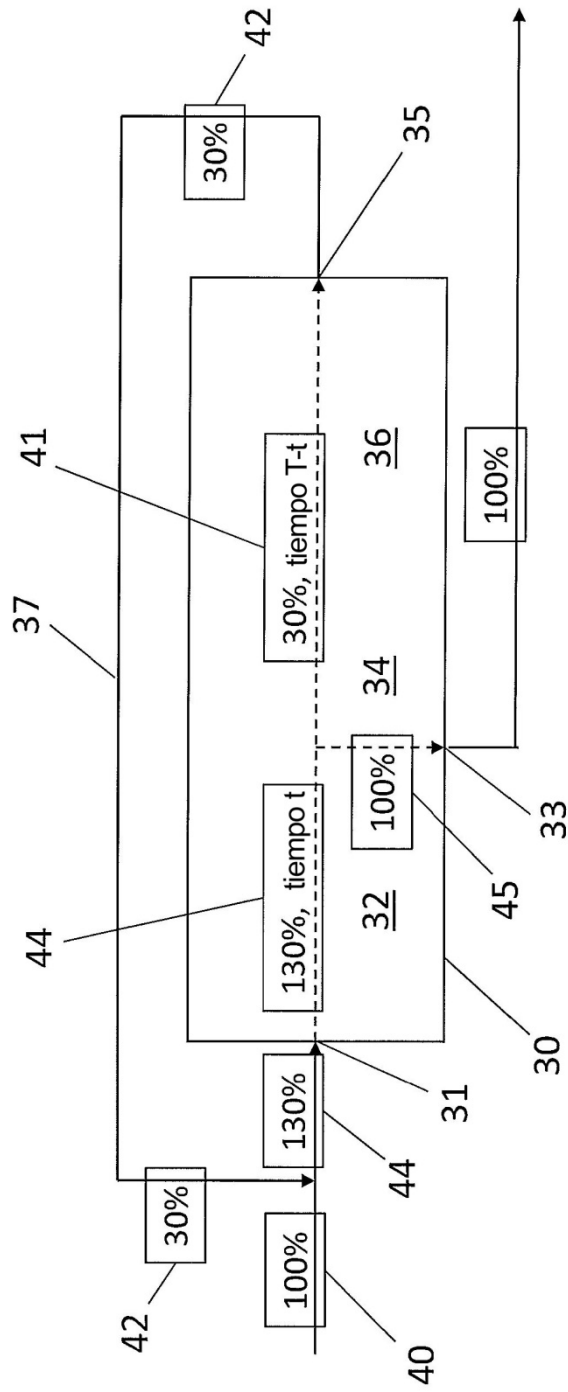


Fig. 3