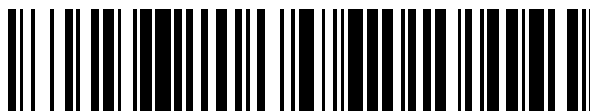


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 875 889**

51 Int. Cl.:

**C12M 1/107** (2006.01)

**C12M 1/00** (2006.01)

**C12M 1/02** (2006.01)

**C12M 1/12** (2006.01)

**C12M 3/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.06.2015 E 15173480 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.03.2021 EP 2960324**

54 Título: **Proceso para la producción de biogás en un fermentador y un dispositivo para llevar a cabo el proceso**

30 Prioridad:

**23.06.2014 DE 102014008958**

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

**11.11.2021**

73 Titular/es:

**BROEKHUIJSEN, ANDRIES JOHAN (50.0%)  
Wierlings Hook 9  
48249 Dülmen, DE y  
BROEKHUIJSEN, JOHAN JAKOB (50.0%)**

72 Inventor/es:

**BROEKHUIJSEN, ANDRIES JOHAN y  
BROEKHUIJSEN, JOHAN JAKOB**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 875 889 T3**

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

## DESCRIPCIÓN

Proceso para la producción de biogás en un fermentador y un dispositivo para llevar a cabo el proceso

5 **[0001]** La invención se refiere a un proceso para la producción de biogás en un fermentador, que tiene las características del término genérico de la reivindicación 1. Además, la invención se refiere a un aparato para llevar a cabo el proceso, que tiene las características del término genérico de la reivindicación 9.

10 **[0002]** Los procesos del tipo mencionado al principio son conocidos en el estado de la técnica y se llevan a cabo en plantas de biogás, cuyo componente esencial es un fermentador en el que se obtiene biogás, es decir, una mezcla predominantemente de metano y dióxido de carbono, a partir de la biomasa en una fermentación anaeróbica. Los sustratos de fermentación que se suelen utilizar son el estiércol líquido, los lodos de depuradora, los residuos verdes, los cereales, el ensilado de maíz, la remolacha azucarera y similares. La madera ha sido uno de los componentes del sustrato menos preferidos debido a su materia sólida y a las estructuras de celulosa de cadena larga.

15 **[0003]** Según el estado de la técnica, el digestor puede tener varios diseños. Puede ser cilíndrico vertical o cuadrado horizontal. Los fermentadores convencionales suelen ser recipientes aislados de forma cilíndrica en los que el sustrato se agita constantemente y en los que prevalecen la misma temperatura y concentración de los reactivos en el sustrato en cada lugar. También se utilizan fermentadores horizontales de forma cuadrado, en los que también se agita el sustrato y se mantiene la misma temperatura en cada lugar.

20 **[0004]** La primera fase del proceso de producción de biogás, la hidrólisis, es una conversión bioquímica en la que las sustancias poliméricas se dividen en sus componentes individuales bajo el almacenamiento de agua. La fermentación posterior tiene lugar en varias fases en las que intervienen diferentes grupos de bacterias. La primera fase bacteriana es la llamada acidogénesis. En esta fase, los monómeros formados previamente en la hidrólisis son captados por las bacterias y fermentados posteriormente en diferentes ácidos orgánicos y alcoholes. En una fase posterior, conocida como acetogénesis, ciertos ácidos son fermentados por bacterias acetogénicas para formar ácido acético. En la fase final, la metanogénesis, el ácido acético se convierte finalmente en metano y dióxido de carbono. El biogás producido en este proceso se purifica y, a continuación, se suele convertir en electricidad y calor en una central de cogeneración o, tras una mejora adecuada del gas, se introduce en la red de gas natural.

30 **[0005]** En la fermentación del biogás, se distingue entre, entre otras cosas, las etapas del proceso mesófilico, que operan a una temperatura entre unos 25° C y 40° C, y las etapas del proceso termófilico, que operan a una temperatura entre 40° C y 55° C. Los fermentadores con etapas de proceso termófilas suelen tener un mayor rendimiento de biogás en una determinada unidad de tiempo. La conversión termófila es comparativamente más rápida que la mesófila. Por otra parte, el proceso de fermentación termófila es menos estable en comparación con la conversión mesófila y la necesidad de calor para un flujo de proceso termófilico estable es mayor en los fermentadores que no están óptimamente aislados. Por lo tanto, los digestores con modos de funcionamiento mesófilico y termófilico tienen diferentes ventajas. Como se sabe por la naturaleza, las estructuras energéticas de cadena larga nunca se convierten en un solo paso del proceso. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los digestores según el estado actual de la técnica tienen una sola etapa de proceso. En la planta de producción de biogás descrita en el documento DE 10 2008 038 065 A1, toda la descomposición bioquímica, es decir, la hidrólisis, y la descomposición biológica microbacteriana tienen lugar en fermentadores con agitación activa. Este proceso simultáneo conlleva importantes desventajas con respecto al proceso global de descomposición.

40 **[0006]** Además, el sustrato fluye a través de al menos dos recipientes de reactor utilizando el principio de contracorriente, que son operados con dos dispositivos de transporte de tornillo de sustrato. Esto aumenta significativamente la susceptibilidad al mantenimiento y la reparación.

**[0007]** El documento DE 31 51 187 A1 describe un recipiente de fermentación con zonas separadas térmicamente. El recipiente de fermentación es un recipiente reactor estacionario con el que no se consigue un transporte natural, basado únicamente en el desplazamiento. El transporte se realiza con elementos accionados, como las bombas, que son perjudiciales para el crecimiento bacteriano debido a las tensiones de cizallamiento asociadas en la fase líquida.

45 **[0008]** Lo mismo ocurre con el dispositivo divulgado en el documento DE 10 2008 038065 A1, en el que los recipientes del reactor están dispuestos en posición vertical y se llenan y vacían a su vez mediante tuberías a través de bombas.

50 **[0009]** CA 2 731 716 A1 divulga un digestor anaeróbico horizontal para producir biogás y un método para producir biogás. El digestor dispone de sistemas de calefacción externos con más de dos zonas de temperatura diferentes que funcionan y se controlan de forma independiente. Sin embargo, los diferentes segmentos calentables del biorreactor horizontal se mantienen a una temperatura constante, y la descomposición se proporciona exclusivamente en la zona termófila.

**[0010]** Por lo tanto, es una tarea de la presente invención proporcionar un proceso del tipo mencionado al principio, que combina las ventajas de un modo de operación termófilo con las ventajas de un modo de operación mesófilo en un fermentador.

- [0011]** Para resolver este problema, la invención propone un proceso con las características de la reivindicación 1, en el que el sustrato fluye a través de segmentos o zonas del fermentador dispuestas una detrás de la otra entre los dos extremos del fermentador, en los que el sustrato se temple de forma diferente, es decir, se calienta y/o se enfría de forma que existan buenas condiciones de reacción para los procesos que tienen lugar en la respectiva sección o segmento de longitud.
- 5 **[0012]** Un fermentador en el sentido de la presente invención comprende al menos un único tubo de flujo que puede ser templado en secciones.
- [0013]** Según la invención, se prevé en particular que el tubo de flujo esté dividido en segmentos en secciones subdividido. Aunque varios de estos tubos de flujo segmentados también pueden funcionar en paralelo, es importante que cada tubo de flujo en sí mismo comprenda diferentes secciones a lo largo de su longitud, que pueden templarse individualmente o en grupos.
- 10 **[0014]** En primer lugar, el método según la invención tiene la ventaja de que durante el flujo del sustrato a través del fermentador en una sola pasada se puede utilizar tanto un rango de temperatura mesófilo como uno termófilo. Las zonas o segmentos individuales del fermentador, de los cuales hay preferentemente al menos dos, se caracterizan, entre otras cosas, por reflejar diferentes zonas de temperatura.
- 15 **[0015]** Las zonas o segmentos del fermentador dispuestos sucesivamente corresponden así a las etapas del proceso con sus correspondientes temperaturas. Por ejemplo, si la necesidad de calor es mayor en el contexto de una etapa del proceso termófilo, el sustrato se enfría en menor medida o se calienta según sea necesario en un segmento del fermentador previsto para ello, por ejemplo, mediante un control activo del proceso y de la temperatura, durante su flujo a través del fermentador. La mezcla activa del sustrato puede omitirse en el proceso según la invención.
- 20 **[0016]** Una idea fundamental de la invención es imitar los procesos naturales de descomposición bioquímica en su desarrollo y crecimiento y ralentizar o acelerar las fases individuales de los procesos microbacterianos mediante medidas específicas, en particular para promover los subprocesos en la fermentación mediante una temperatura adecuada.
- [0017]** Así, para realizar tanto un modo de funcionamiento mesófilo como termófilo a lo largo del fermentador, la temperatura se varía desde el exterior y/o el interior del fermentador en segmentos o secciones.
- 25 **[0018]** Según la invención, toda la descomposición bioquímica tiene lugar preferentemente en exactamente un tubo de flujo horizontal que forma el fermentador. El fermentador o su tubo de flujo puede ser imaginado en términos simplificados como un recipiente alargado con una sección transversal cilíndrico o una forma similar, por ejemplo poligonal o cónica de forma creciente.
- [0019]** Una característica decisiva de la invención es que se trata de un proceso de funcionamiento continuo con entrada, paso por varias fases de descomposición y salida. De acuerdo con la invención, se prevé que el sustrato pase por múltiples fases microbacterianas dentro del proceso de funcionamiento continuo. Las fases incluyen rangos de temperatura bacteriana tanto mesófilos como termófilos. Los diferentes rangos de temperatura, que son el resultado de los procesos naturales de descomposición microbacteriana, son soportados específicamente por el proceso según la invención.
- 30 **[0020]** La mezcla mecánica proporcionada en los fermentadores disponibles en el mercado, por ejemplo mediante agitadores de paletas, genera localmente altas velocidades de flujo en el sustrato, y las tensiones de cizallamiento asociadas tienen efectos negativos en los procesos naturales de descomposición bioquímica. A diferencia de la práctica habitual con los fermentadores agitados, los procesos de descomposición bioquímica se apoyan de forma mucho más óptima y natural con el proceso según la invención, que evita la mezcla pesada o incluso cualquier forma de mezcladores motorizados.
- 35 **[0021]** En consecuencia, según la invención, se proporciona preferentemente un movimiento de deslizamiento para la mezcla del sustrato, similar al principio de peristalsis, que puede ser provocado en particular por elementos de guía de flujo estáticos colocados dentro del reactor. En consecuencia, la masa de reacción dentro del tubo de flujo se pone en una especie de movimiento helicoidal y se dirige adicionalmente desde el borde exterior del fermentador hacia el eje central del mismo. Esto favorece la equalización de la temperatura radial en el interior del fermentador y favorece el gradiente de temperatura axial deseado.
- 40 **[0022]** Para controlar los procesos de descomposición natural, se proporciona un dispositivo de control de temperatura que puede calentar o enfriar selectivamente los segmentos en la dirección axial del fermentador en secciones. De este modo, los procesos microbacterianos pueden ralentizarse o acelerarse selectivamente por secciones en el proceso de funcionamiento continuo en el fermentador, dependiendo, entre otras cosas, de la composición del sustrato y de la temperatura exterior. De este modo se puede evitar, entre otras cosas, que la fase microbacteriana termófila no se caliente y que la fase microbacteriana mesófila se ponga en marcha de forma acelerada en las fases individuales del proceso continuo en el fermentador. Otra ventaja energéticamente económica del uso de un dispositivo de control de la temperatura zona por zona es que el calor de proceso liberado de los procesos de descomposición natural, que se obtiene mediante el enfriamiento selectivo de las zonas termófilas en el fermentador según lo requiera el proceso, puede reutilizarse, incluso directamente en el proceso, concretamente para precalentar las zonas mesófilas al principio del fermentador, entre otras cosas.
- 45 **[0022]** Para controlar los procesos de descomposición natural, se proporciona un dispositivo de control de temperatura que puede calentar o enfriar selectivamente los segmentos en la dirección axial del fermentador en secciones. De este modo, los procesos microbacterianos pueden ralentizarse o acelerarse selectivamente por secciones en el proceso de funcionamiento continuo en el fermentador, dependiendo, entre otras cosas, de la composición del sustrato y de la temperatura exterior. De este modo se puede evitar, entre otras cosas, que la fase microbacteriana termófila no se caliente y que la fase microbacteriana mesófila se ponga en marcha de forma acelerada en las fases individuales del proceso continuo en el fermentador. Otra ventaja energéticamente económica del uso de un dispositivo de control de la temperatura zona por zona es que el calor de proceso liberado de los procesos de descomposición natural, que se obtiene mediante el enfriamiento selectivo de las zonas termófilas en el fermentador según lo requiera el proceso, puede reutilizarse, incluso directamente en el proceso, concretamente para precalentar las zonas mesófilas al principio del fermentador, entre otras cosas.
- 50

- [0023] El crecimiento bacteriano dentro del fermentador se produce en función del proceso de funcionamiento continuo. Se puede prever que la retroalimentación bacteriana se lleve a cabo, pero sólo selectivamente en zonas individuales del fermentador. Esta retroalimentación bacteriana se caracteriza porque las bacterias se retroalimentan a otras zonas o segmentos en función de la temperatura y, por tanto, de la posición en el fermentador.
- 5 [0024] Según la invención, se proporciona una retroalimentación bacteriana controlada por temperatura. Esto permite que las bacterias mesófilas vuelvan a alimentar las zonas de fermentación mesófilas, y que las bacterias termófilas vuelvan a alimentar las zonas de fermentación termófilas. De acuerdo con la invención, se prefiere que las bacterias se reacoplen aguas arriba de un deflector de guía estático.
- 10 [0025] Los segmentos del fermentador a través de los cuales fluye el sustrato pueden ser intercambiadores de calor, por ejemplo, operados según el principio de contracorriente.
- [0026] Por ejemplo, el fermentador puede tener una longitud de 75 m y cinco segmentos, cada uno de ellos de 15 m de longitud. Los cinco segmentos representan diferentes etapas del proceso, que pueden funcionar a diferentes temperaturas. En el contexto de una primera etapa del proceso, en el primer segmento, se inicia así un modo de funcionamiento mesófilo, por ejemplo, controlando específicamente la temperatura del sustrato mediante la función de intercambiador de calor del  
15 segmento del fermentador. En las dos etapas siguientes del proceso, es decir, en el segundo y tercer segmento, y a partir de una longitud de fermentador de 15 m hasta una longitud de fermentador de 45 m, la temperatura del sustrato se controla de tal manera que se inicia la fase termófila. El calor de reacción resultante en el fermentador se enfría selectivamente por medio de los intercambiadores de calor de los segmentos individuales del fermentador y la correspondiente regulación de la temperatura del proceso del fermentador.
- 20 [0027] Durante su transporte por desplazamiento a través del fermentador, el sustrato pasa por el fermentador preferentemente en forma no agitada, preferentemente con elementos estáticos formadores de flujo, una fase mesófila así como una fase termófila. Debido a los diferentes procesos de hidrólisis y fermentación, es decir, debido a los procesos bioquímicos y microbacterianos, que se reflejan, entre otras cosas, en las diferentes temperaturas del proceso, así como en los diferentes valores de pH, la fase de hidrólisis se lleva a cabo previamente por separado. Además, sin una fase de hidrólisis  
25 previa, la conversión microbacteriana del componente de madera del sustrato llevaría mucho tiempo debido a sus estructuras de largas cadenas de celulosa.
- [0028] Así, en el contexto de la invención, la madera puede ser procesada económicamente como un componente del sustrato. Dentro del ámbito de la invención, también es posible utilizar adicionalmente o alimentar el calor de proceso liberado de la fermentación para un uso posterior, ya sea por ejemplo en el proceso de conversión de la propia fermentación o en la  
30 hidrólisis que precede al proceso según la invención.
- [0029] En una realización preferida del proceso según la invención, el sustrato fluye a través de un tubo de flujo que se divide en segmentos con diferentes longitudes y/o con diferentes diámetros. Mediante diferentes longitudes se pueden establecer diferentes tiempos de permanencia en una zona de temperatura determinada y, por tanto, diferentes tiempos de reacción. A través del diámetro exterior de un puede utilizarse para influir en la tasa de enfriamiento local, en particular si el control de la  
35 temperatura se realiza mediante la aspersión de la capa exterior del segmento. Así, los cambios en el diámetro de los segmentos pueden tener un efecto sobre la temperatura del proceso y, por lo tanto, también pueden iniciar un proceso tanto mesofílico como termofílico dentro del fermentador.
- [0030] En otra realización del proceso según la invención, el sustrato fluye a través de segmentos de idéntica longitud e idéntica sección transversal o segmentos de idéntica longitud y diferente sección transversal o diámetro.
- 40 [0031] Por lo tanto, en particular, los fermentadores pueden tener una sección transversal creciente en la dirección de la salida del sustrato y pueden, por ejemplo, adoptar una forma cónica, piramidal o cilíndrica.
- [0032] Preferiblemente, sólo las etapas de acetogénesis, acidogénesis así como la metanogénesis tienen lugar en el fermentador. Al externalizar en gran medida la hidrólisis, se consigue optimizar una conversión mesófila y termófila en el fermentador. La hidrólisis es una reacción (bio)química que puede describirse según la ecuación de Arrhenius, según la cual  
45 un aumento de la temperatura va acompañado de un aumento de la velocidad de reacción. Una hidrólisis óptima y rápida tiene lugar a temperaturas de, por ejemplo, 105°C, muy por encima de los procesos mesófilos y termófilos. La conversión bacteriana termófila se produce por debajo y hasta una temperatura máxima de 55°C.
- [0033] El procedimiento según la invención puede, por tanto, utilizarse de manera particularmente preferente en el contexto de un en la que la fase de hidrólisis tiene lugar en un proceso separado y se encuentra antes del proceso según la invención.
- 50 [0034] Las condiciones de reacción de las fases también difieren considerablemente; la fase de hidrólisis tiene lugar preferentemente en un entorno ligeramente ácido, por ejemplo a un pH 4 - 5; el proceso de fermentación bacteriana tiene lugar preferentemente en condiciones ligeramente alcalinas (pH 7 - 8). También en este contexto, tiene sentido separar espacialmente los procesos de hidrólisis y fermentación microbacteriana. Sin embargo, también se producirá una hidrólisis residual del sustrato en el fermentador según la invención, pero ésta es insignificante.

5 **[0035]** Un aparato para llevar a cabo el proceso es el objeto de la reivindicación 9, en el que el aparato tiene un fermentador que puede ser controlado por temperatura en secciones y, en particular, está dividido en segmentos que pueden ser controlados por temperatura en secciones o a los que se asigna un intercambiador de calor en cada caso. Los segmentos puede diseñarse, por ejemplo, como un tubo de doble pared, en el que se puede situar otro medio de intercambio de calor en el espacio entre las paredes.

**[0036]** El dispositivo según la invención no utiliza agitadores mecánicos, dispositivos de transporte de tornillo o agitadores de paletas dentro del fermentador. De acuerdo con la intención de imitar los procesos naturales de descomposición, no hay componentes mecánicos en el interior del fermentador.

10 **[0037]** Un dispositivo activo de control de la temperatura, controlado por el proceso, para enfriar o calentar el tubo del fermentador sección por sección, se implementa preferentemente como un sistema de pulverización o aspersión. El agua u otro líquido adecuado se rocía desde el exterior sobre la cubierta exterior del tubo de flujo o sus segmentos individuales.

**[0038]** Para aprovechar las ventajas de un fermentador de flujo de tapón, una realización practicable prevé de la invención establece que el fermentador está diseñado como un fermentador de flujo de tapón dividido en segmentos, que es biológicamente así como mecánicamente confiable en la operación debido al flujo de tapón estable.

15 **[0039]** Los segmentos del fermentador pueden ser módulos fácilmente interconectables, para que el fermentador tenga un diseño modular y pueda así transportarse y montarse in situ con relativa facilidad.

**[0040]** Otras variantes y ventajas de la invención se explican con más detalle explicada a continuación con referencia al dibujo. Se muestra en cada caso en representación esquemática:

Las figuras 1 - 3 muestran en cada caso un recipiente de reacción adecuado para llevar a cabo el proceso en sección;

20 Fig. 4 una representación gráfica de la curva de temperatura dentro y en la dirección longitudinal del fermentador;

Fig. 5 un fermentador con deflectores en sección longitudinal y

Fig. 6 un fermentador con dispositivo de control de temperatura en sección transversal.

25 **[0041]** El proceso según la invención puede basarse en un fermentador horizontal 10 mostrado en la Fig. 1 en una vista en sección lateral mostrado en la Fig. 1, que en la realización mostrada en la Fig. 1 tiene la forma de un fermentador de flujo de tapón.

30 **[0042]** El fermentador 10 tiene una longitud de 75 m y comprende un tubo de flujo dividido en una pluralidad de segmentos 14, 15, 16, 17, 18 dispuestos en sucesión inmediata. La longitud de cada segmento individual 14, 15, 16, 17, 18 es de 15 m. En la realización del fermentador 10 que se muestra en la Fig. 1, los segmentos 14, 15, 16, 17, 18 tienen la forma de módulos interconectados de forma desmontable, de modo que el fermentador 10 puede desmontarse en los segmentos 14, 15, 16, 17, 18.

35 **[0043]** Cada segmento 14, 15, 16, 17, 18 está provisto de un intercambiador de calor debido a la construcción de doble pared de los segmentos 14, 15, 16, 17, 18 cada uno está asociado a un intercambiador de calor 11.1, 11.2, 11.3, 11.4, 11.5 que tiene una función de intercambio de calor. Entre las paredes del segmento interior y exterior se encuentra el medio de intercambio de calor con una temperatura del medio de intercambio de calor. En la realización del proceso mostrado en la Fig. 1, se utiliza el proceso convencional de contracorriente.

40 **[0044]** El proceso comienza cargando el fermentador 10, y de tal manera que el sustrato se añade al interior del fermentador 10 en la entrada 12 del fermentador 10 de manera convencional. Debido al contenido relativamente alto de sólidos del sustrato, por ejemplo 20-30%, el sustrato fluye a través del fermentador 10 en la dirección de flujo 12a en forma de una masa relativamente estable según el método de flujo de tapón y se transporta fuera del fermentador 10 en la salida 13 del fermentador 10 como sustrato tratado de una manera convencional. El sustrato en el fermentador 10 es transportado por desplazamiento mediante la entrada del material fresco en el fermentador 10. El sustrato en el fermentador 10 permanece sustancialmente en un estado no agitado. Los elementos estáticos de formación de flujo en el fermentador 10 pueden guiar el transporte del sustrato.

45 **[0045]** Anteriormente, el sustrato ha pasado por los segmentos individuales 14, 15, 16, 17, 18 en la dirección del flujo 12a, pasando por tres etapas de producción microbiana de biogás, es decir, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. El biogás producido en este proceso se acumula en la parte superior de cada segmento 14, 15, 16, 17, 18 y se descarga selectivamente del digestor 10 desde cada segmento 14, 15, 16, 17, 18 o al final del segmento 18 en la salida 13.

50 **[0046]** Un proceso para producir biogás utilizando un digestor adecuado se incorpora a un proceso de multietapas, es decir, la primera etapa del proceso de producción de biogás, la hidrólisis, no tiene lugar en el fermentador 10 o sólo tiene lugar en pequeña medida como hidrólisis residual. El sustrato introducido en el fermentador 10 es, pues, un sustrato predominantemente hidrolizado. Por lo tanto, el fermentador 10 mostrado en la Fig. 1 representa un fermentador que se

encuentra espacialmente a continuación de la hidrólisis como proceso puramente químico o enzimático, así como bioquímico, y en el que en su mayor parte sólo tienen lugar los procesos de conversión bacteriana de acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, cuyo ritmo está acoplado a la actividad y tasa de crecimiento de las bacterias correspondientes. Relacionado a la producción microbacteriana de biogás, esto significa que la mayoría de las especies bacterianas mesófilas alcanzan su máxima actividad y tasa de crecimiento en un rango entre 25°C y 40°C. A su vez, la velocidad de reacción de las especies bacterianas termófilas sólo se inicia a temperaturas superiores a 40°C. Para satisfacer estas temperaturas de proceso deseadas y requeridas, el sustrato introducido en el fermentador 10 se lleva a temperaturas de proceso mesófilas y termófilas en los segmentos individuales 14, 15, 16, 17, 18 durante el flujo del sustrato en la dirección de flujo 12a a través de los segmentos 14, 15, 16, 17, 18 mediante enfriamiento o calentamiento dirigidos. Aquí, la fermentación que se inicia en el fermentador 10 va acompañada de la generación de calor de reacción.

**[0047]** El gráfico del calor de reacción puede verse en el gráfico de la Fig. 4. El sustrato contiene aproximadamente 1/3 de madera hidrolizada, así como residuos verdes, estiércol y purines. Especialmente la madera, con sus estructuras de celulosa de cadena larga, tiene que ser hidrolizada en un proceso previo separado antes de la fermentación eficiente.

**[0048]** La Fig. 4 muestra la evolución de la temperatura del sustrato de fermentación introducido en el digestor 10 en función de la longitud del digestor 10. Como se ha descrito anteriormente, el digestor 10 mostrado en la Fig. 1 tiene una longitud de 75 m y los segmentos 14, 15, 16, 17, 18 tienen una longitud de 15 m cada uno. En este caso, el tiempo total de producción es de unos 30 días, es decir, una tasa de producción de sustrato de unos 2,5 m/día. Sin un control adicional de la temperatura del proceso de digestión anaeróbica en el fermentador 10, es decir, produciendo flujos de proceso mesófilos o termófilos por medio de la refrigeración, el sustrato recién introducido y calentado en el fermentador 10, como gráfico de temperatura 40 en la Fig. 4, el sustrato recién introducido y calentado en el fermentador 10, como resultado del calor de proceso liberado, ya después de un tiempo de residencia relativamente corto de unos 10 - 12 días del sustrato en el fermentador 10, es decir, después de 25 - 30 m, tendría un aumento de temperatura de 25°C a unos 60°C y al final del fermentador 10, es decir, después de unos 75 m, incluso tendría una temperatura teóricamente superior a 75°C. En la práctica, sin embargo, el proceso se ralentizaría mucho antes al salir de la zona termófila a unos 50 - 55°C y finalmente se detendría por completo.

**[0049]** A fin de garantizar temperaturas de proceso mesófilas y termófilas durante el flujo del sustrato en la dirección de flujo 12a a través del fermentador 10, el sustrato que fluye a través del fermentador 10 se enfría gradualmente en los segmentos individuales del fermentador 14, 15, 16, 17, 18 por medio de los intercambiadores de calor 11.1, 11.2, 11.3, 11.4, 11.5. En el marco de una primera etapa del proceso en el fermentador 10, el enfriamiento tiene lugar en una distancia de 0 a 15 m. En esta etapa, el sustrato introducido se enfría con una temperatura del medio de intercambio de calor de, por ejemplo, 20°C. Como se ilustra en el gráfico de temperatura 41 de la Fig. 4, la fermentación del sustrato en el fermentador 10 tiene lugar a temperaturas de proceso mesófilas en este rango en el primer segmento entre 0 y 15 m. En los dos segmentos siguientes 15 y 16, a lo largo de una distancia entre 15 m y 45 m, la temperatura de proceso del sustrato se eleva con relativa rapidez hasta un rango de unos 55°C a pesar del enfriamiento. En este ejemplo, el segmento 15 se enfría con una temperatura del medio de intercambio de calor de 22,5°C y el segmento 16 con una temperatura del medio de intercambio de calor de 25°C.

**[0050]** El gráfico de temperatura 41 de la Fig. 4 muestra el perfil de temperatura del sustrato en la dirección del flujo 12a en el centro del eje longitudinal del fermentador 10. El gráfico de temperatura 42 de la Fig. 40 muestra el perfil de temperatura del sustrato en la dirección de flujo 12a, a una distancia de 0,5 m del centro del eje longitudinal del fermentador 10.

**[0051]** Desde el punto de vista energético, es deseable que el sustrato que fluye a través del fermentador 10 abandone el fermentador 10 en la salida 13 con una temperatura lo más baja posible. La energía liberada en este proceso, generada a partir del calor de reacción, puede utilizarse, por ejemplo, para la hidrólisis aguas arriba en el espacio y el tiempo. Por esta razón, los dos últimos segmentos 17 y 18 se enfrían de nuevo con una temperatura del medio de intercambio de calor más baja, por ejemplo, con 22,5°C para el segmento 17 y 20°C para el segmento 18. Como muestran los gráficos de temperatura 41 y 42 de la Fig. 4, este procedimiento tiene el efecto de reducir la temperatura del sustrato en los segmentos 17 y 18, es decir, en el tramo comprendido entre 45 m y 75 m. La comparación entre los gráficos de temperatura 41 y 42 también muestra que hay un gradiente de temperatura en la dirección radial en el fermentador, causado también por la forma no agitada del sustrato. El gradiente de temperatura radial en el fermentador 10 favorece la formación parcial de cultivos bacterianos y, por lo tanto, apoya las transiciones de las fases individuales del proceso mesófilo y termófilo y, por lo tanto, promueve la correspondiente fermentación del sustrato.

**[0052]** Las Figs. 2 y 3 muestran otras formas geométricas de un fermentador de flujo de tapón 10 que puede utilizarse para el proceso según la invención.

**[0053]** Los fermentadores mostrados en las Figs. 2 y 3, denotados por los números de referencia 20 y 30, también tienen segmentos 24, 25, 26, 27, 28 y 34, 35, 36, 37, 38, que a su vez tienen cada uno de ellos dispositivos de control de temperatura tales como, por ejemplo los intercambiadores de calor 21.1, 21.2, 21.3, 21.4, 21.5 y 31.1, 31.2, 31.3, 31.4, 31.5 mediante la construcción de doble pared de los segmentos 24, 25, 26, 27, 28 y 34, 35, 36, 37, 38 están asociados. Además, en los dos extremos de los fermentadores 20 y 30 hay también entradas y salidas identificadas por los signos de referencia 22, 23 y 32, 33. En las entradas 22 y 32, el sustrato es alimentado a los fermentadores 20 y 30 en la dirección del flujo 22a y 32a, y en las salidas 23 y 33, el sustrato tratado en los fermentadores 20 y 30 es descargado.

5 **[0054]** A diferencia de la realización del fermentador 10 mostrado en la Fig. 1, el diámetro de los segmentos 24, 25, 26, 27, 28 del fermentador 20 y de los segmentos 34, 35, 36, 37, 38 del fermentador 30 aumenta en la dirección de las salidas 23 y 33. El aumento de la sección transversal o del diámetro desde 1,5 m al principio del primer segmento hasta 2,5 m al final del último resulta beneficioso para el control de la temperatura del proceso y el flujo general del mismo. Con un curso escalonado en lugar de un curso cónico o piramidal de la geometría del fermentador 30, los cambios de diámetro de 0,25 m demuestran ser convenientes para un flujo de proceso económico y suave según los análisis y simulaciones.

**[0055]** Los siguientes gráficos de temperatura 43 y 44 suponen diámetros de segmento sucesivamente de 1,5m, 1,75m, 2,0m 2,25m así como 2,5m como se implementa en el fermentador 30 de la Fig. 3.

10 **[0056]** Como se muestra en los gráficos de temperatura 43 y 44 de la Fig. 4, los diseños geométricos del fermentador 30 tienen un efecto sobre el curso de las temperaturas de proceso en los segmentos individuales 34, 35, 36, 37 y 38 del fermentador 30. Siempre se forman por medio de un enfriamiento apropiado por medio de los intercambiadores de calor 31.1, 31.2, 31.3, 31.4 y 31.5 de los segmentos de doble pared 34, 35, 36, 37 y 38 del fermentador 30, se alcanzan las etapas de proceso mesófilo y termófilo, siendo estas temperaturas de proceso más bajas que en el fermentador 10 mostrado en la Fig. 1, particularmente en la primera mitad del fermentador 30. Además, como puede verse en los gráficos de temperatura 43 y 15 44, el gradiente de temperatura radial del sustrato es mayor en el fermentador 30 que en el fermentador 10.

**[0057]** El gráfico de temperatura 43 de la Fig. 4 muestra el gradiente de temperatura del sustrato en la dirección de flujo 32a en el centro del eje longitudinal del fermentador 30.

20 **[0058]** El gráfico de temperatura 44 de la Fig. 4 muestra el perfil de temperatura del sustrato en la dirección de flujo 32a a una distancia de 0,5 m al principio del fermentador 30 a 0,75 m al final del fermentador 30 visto desde el centro del eje longitudinal del fermentador 30.

25 **[0059]** Más bien, son concebibles un gran número de variantes que hacen uso de la solución presentada incluso en realizaciones fundamentalmente diferentes, siempre que estén cubiertas por el ámbito de protección de las reivindicaciones. Por ejemplo, durante el tratamiento del sustrato en los fermentadores con geometrías modificadas según la reivindicación independiente 9, se pueden generar otros perfiles de temperatura diferentes que cumplan con las secuencias de proceso mesofílico y termofílico mediante las funciones secuenciales de intercambiadores de calor descritas y un control dinámico de la temperatura de proceso correspondiente.

**[0060]** La figura 5 muestra una sección longitudinal de un fermentador 56 sin dispositivo de control de temperatura, que se extiende entre una entrada del fermentador 51 y una salida del fermentador 52.

30 **[0061]** Los conductos de entrada y salida de bacterias con control de temperatura 54, 55 pueden estar unidos cualquier número de veces dependiendo de la composición del sustrato y de la longitud L del fermentador 56.

**[0062]** Un deflector guía 53 imparte movimiento axial y rotacional a la masa de reacción y adicionalmente dirige la masa de reacción desde el borde del fermentador hacia el eje central del mismo.

35 **[0063]** La figura 6 muestra una sección transversal del fermentador 56 y el dispositivo de control de temperatura proporcionado en la realización preferida. En esta realización, el dispositivo de control de la temperatura no tiene la forma de un intercambiador de calor integrado en la pared del tubo de flujo, sino que todo el fermentador está colocado bajo una cubierta 58. Por encima del tubo de flujo 56 hay un dispositivo de pulverización 57, que está diseñado, por ejemplo, como un sistema de rociadores de tubo. El tubo de flujo 56 se eleva por encima de una cuenca de recolección 59 a través de medios de fijación 61.

40 **[0064]** Con la ayuda del dispositivo de pulverización 57 y la cubeta de recolección 59 para el agua de templado 60, así como un circuito de bombeo el fermentador puede ser atemperado continuamente simplemente mojando su pared desde arriba con agua más o menos templada 60. Mediante la división del dispositivo de pulverización 57 en zonas individuales en la dirección axial, el atemperamiento puede realizarse selectivamente en los segmentos correspondientes del fermentador 56. De este modo, las fases microbacterianas individuales pueden templarse selectivamente en el proceso de funcionamiento continuo.

Lista de signos de referencia:

45 **[0065]**

10	Fermentador
11.1 a 11.5	Intercambiador de calor
12	Entrada
12a	Dirección del flujo
50 13	Salida
14 a 18	Segmentos

	20	Fermentador
	21,1 a 21,5	Intercambiador de calor
	22	Entrada
	22a	Dirección del flujo
5	23	Salida
	De 24 a 28	Segmentos
	30	Fermentador
	31.1 a 31.5	Intercambiador de calor
10	32	Entrada
	32a	Dirección del flujo
	33	Tomas de corriente
	34 a 38	Segmentos
15	40 a 44	Gráficos de temperatura
	50	Fermentador
	51	Entrada del fermentador
	52	Salida del fermentador
	53	Deflector de guía
20	54	Retroalimentación bacteriana controlada por la temperatura de entrada
	5	Salida de retroalimentación de bacterias con control de temperatura
	56	Fermentador
	57	Sistema de pulverización
	58	Marquesina
25	59	Recipiente colector del medio de templado
	60	Medio de control de la temperatura de salida
	61	Elementos de fijación

**REIVINDICACIONES**

1. Proceso para la producción de biogás en un fermentador (10, 20, 30; 50),
  - en el que en un extremo del fermentador (10, 20, 30, 50) se introduce el sustrato y en el otro extremo del fermentador (10, 20, 30, 50) se retira el sustrato tratado,
  - en el que el fermentador (10, 20, 30, 50) comprende al menos un único tubo de flujo por el que fluye el sustrato en la dirección del flujo (12a, 22a, 32a) entre los dos extremos del tubo de flujo

**caracterizado en que**

  - **en que el** sustrato pasa por un tubo de flujo horizontal que se somete a diferentes temperaturas en distintas zonas
  - **en que el** sustrato pasa por una pluralidad de fases de descomposición entre la entrada y la salida del fermentador (10, 20, 30, 50) y es llevado tanto a un rango de temperatura mesofílica como a un rango de temperatura termofílica durante su paso por el fermentador (10, 20, 30, 50), y
  - **en que el** sustrato fluye continuamente por desplazamiento como un flujo de tapón a través del fermentador (10, 20, 30, 50), pasando el sustrato por el fermentador (10, 20, 30, 50) sin agitación, sin mezcladores motorizados.
2. Proceso según la reivindicación 1, **caracterizado en que** el tubo de flujo está dividido en segmentos (14 a 18, 24 a 28, 34 a 38) dispuestos uno detrás de otro, en los que el sustrato se temple de forma diferente.
3. Proceso según la reivindicación 2, **caracterizado en que** los segmentos (14 a 18, 24 a 28, 34 a 38) están diseñados cada uno como intercambiadores de calor (11,1 a 11,5, 21,1 a 21,5, 31,1 a 31,5), a través de los cuales se enfría o calienta el sustrato.
4. Proceso según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado en que** el sustrato fluye a través de segmentos (14 a 18, 24 a 28, 34 a 38) que tienen diferentes longitudes y/o tienen diferentes diámetros.
5. Proceso según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado en que** la masa de reacción se pone en movimiento helicoidal dentro del tubo de flujo.
6. Proceso según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado en que** las bacterias se reacomplan a otras zonas o segmentos en función de la temperatura y, por tanto, de la posición en el fermentador.
7. Proceso según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado en que** el sustrato se hidroliza antes de ser introducido en el fermentador (10, 20, 30, 50).
8. Proceso según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado en que** el sustrato se atempera en el fermentador (10, 20, 30, 50) rociando la piel exterior del tubo de flujo con un líquido.
9. Aparato para llevar a cabo el proceso según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado por** un fermentador que comprende exactamente un tubo de flujo horizontal (10, 20, 30, 50) que no tiene ningún dispositivo de agitación mecánico accionado y que está subdividido en la dirección del flujo (12a, 22a, 32a) en zonas de atemperación o en segmentos (14 a 18, 24 a 28, 34 a 38) que pueden atemperarse de forma diferente individualmente o en grupos y que pueden ser llevados tanto a un rango de temperatura mesófilo como a un rango de temperatura termófilo.
10. Dispositivo (20) según la reivindicación 9, **caracterizado en que** los segmentos (24 a 28) tienen cada uno diámetros diferentes y diámetros que aumentan en la dirección del flujo (22a).
11. Dispositivo según la reivindicación 9, **caracterizado en que** los segmentos (34 a 38) se ensanchan cada uno de ellos de forma cónica en la dirección del flujo (32a) y, cuando se ensamblan, forman un tubo de flujo cónico (30).
12. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, **caracterizado en que** los segmentos (14 a 18, 24 a 28, 34 a 38) tienen cada uno longitudes diferentes.
13. Dispositivo (10) según una de las reivindicaciones 9 a 12, **caracterizado en que** los segmentos (14 a 18, 24 a 28, 34 a 38) están asociados cada uno a un dispositivo de control de temperatura (11,1 a 11,5, 21,1 a 21,5, 31,1 a 31,5, 57).
14. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, **caracterizado en que** los segmentos (14 a 18, 24 a 28, 34 a 38) están presentes como módulos conectados de forma segura entre sí.
15. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, **caracterizado en que** los elementos estáticos conductores del flujo (53) están dispuestos dentro del tubo de flujo del fermentador (50).

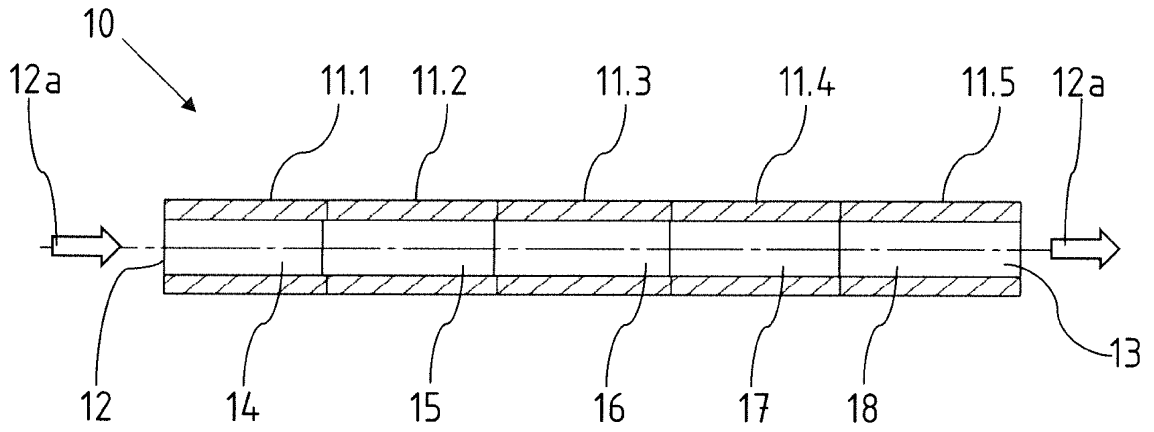


Fig. 1

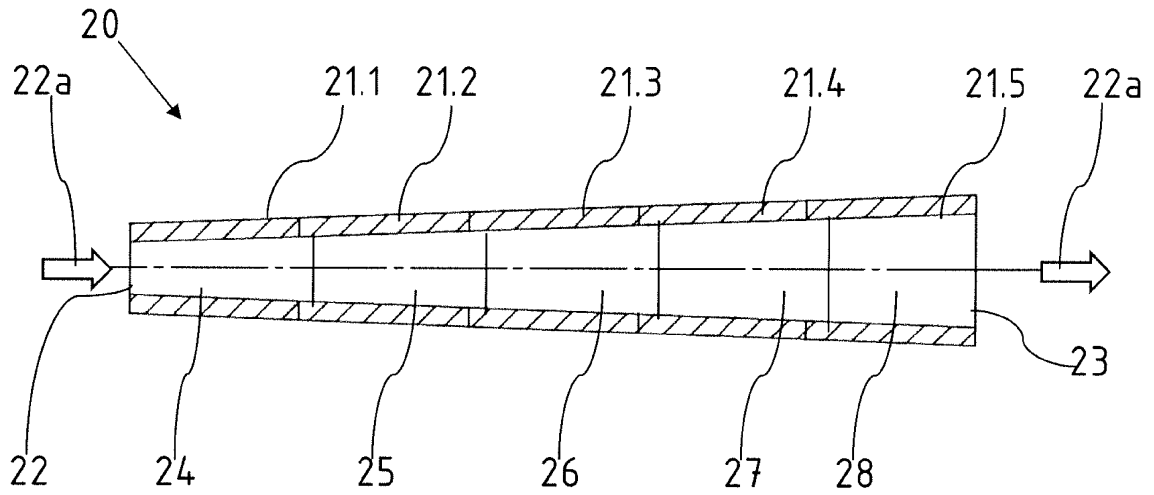


Fig. 2

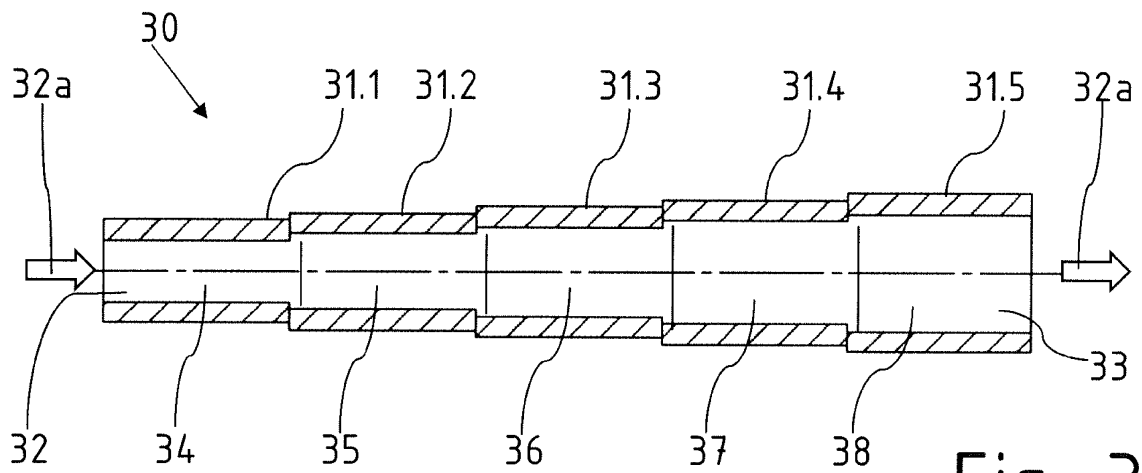


Fig. 3

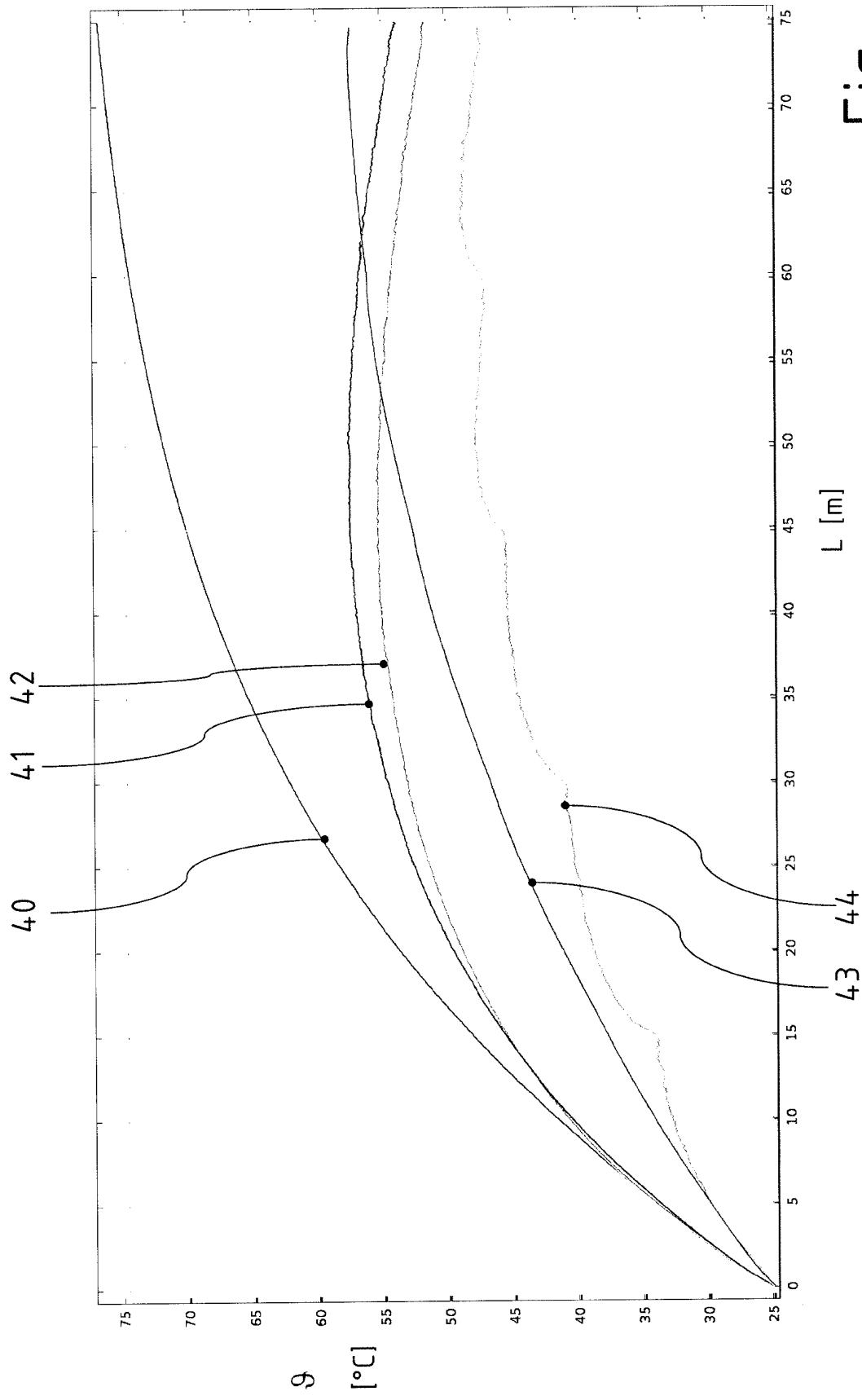


Fig. 4

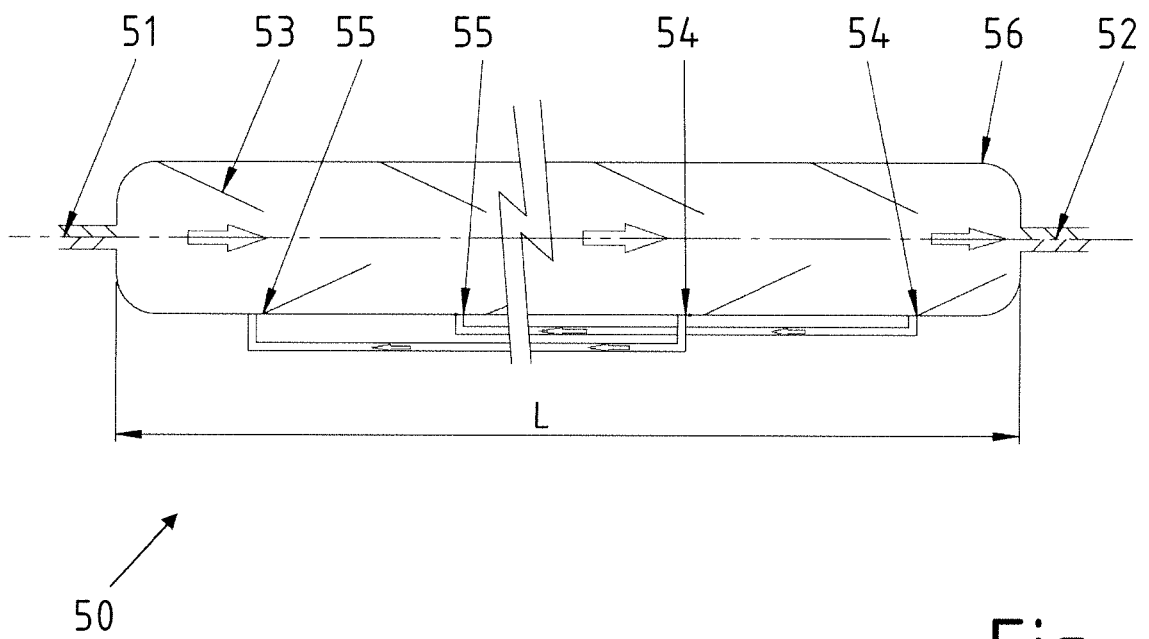


Fig. 5

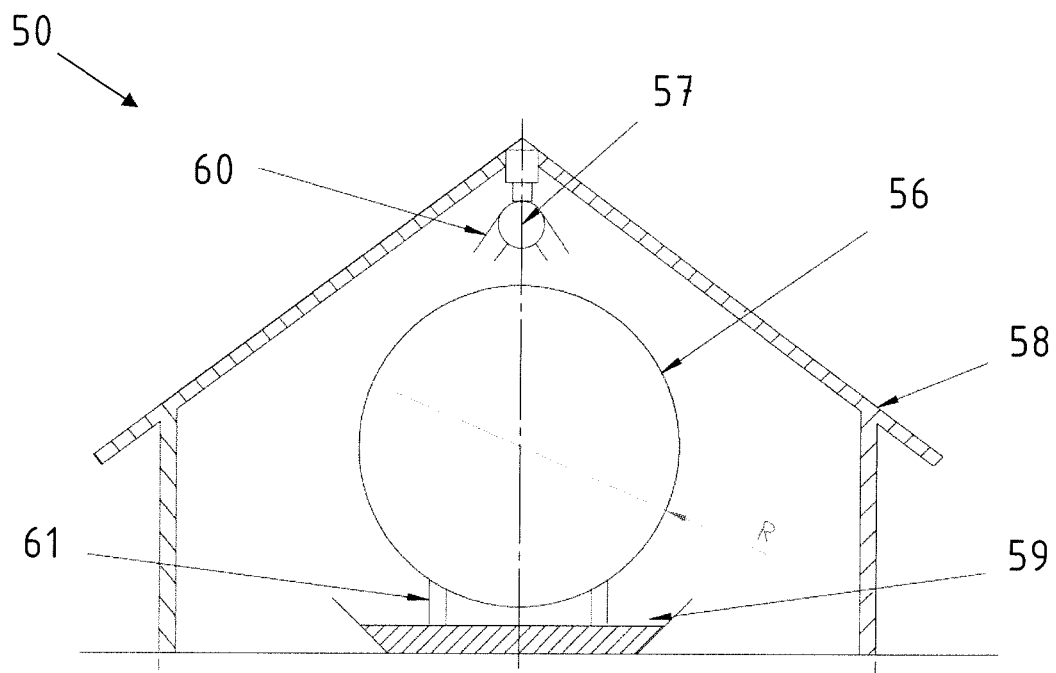


Fig. 6