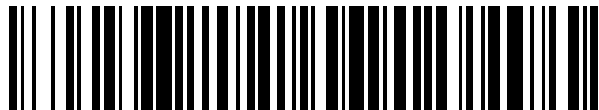


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 629 491**

51 Int. Cl.:

C10L 3/08 (2006.01)

C02F 3/28 (2006.01)

C02F 11/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.01.2013 PCT/GB2013/050046**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.07.2013 WO13104911**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.01.2013 E 13700590 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.04.2017 EP 2802639**

54 Título: **Proceso anaeróbico**

30 Prioridad:

12.01.2012 GB 201200448

12.01.2012 GB 201200463

12.01.2012 GB 201200469

12.01.2012 GB 201200471

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.08.2017

73 Titular/es:

BLAYGOW LIMITED (100.0%)

37 Esplanade

St Helier, Jersey JE1 2TR, GB

72 Inventor/es:

ROSS, JOHN MORRIS y

LYNCH, CORNELIUS MARTIN

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 629 491 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 anaeróbico

5 **Campo de la invención**

La invención se refiere a procesos y equipo para tratamiento de una materia prima por organismos anaeróbicos para producir un biogás que contiene metano que se puede usar como fuente de energía. La invención trata particularmente de la producción de metano a partir de un material vegetal de desecho tal como el producido por procesos de fermentación usados en la industria de bebidas alcohólicas, tales como procesos de elaboración/destilación que emplean material de grano para la fermentación.

Antecedentes de la invención

15 El proceso anaeróbico para la producción de biogás (mayormente metano y dióxido de carbono) es bien conocido. Se puede llevar a cabo sobre una base continua sobre las corrientes de residuos de un número de industrias, generalmente sobre corrientes acuosas que incluyen materiales solubles derivados de origen vegetal o animal. Tales corrientes de residuos pueden incluir sólidos suspendidos, hasta un punto limitado; siempre y cuando sean biodegradables (pueden ser digeridos en los procesos anaeróbicos). El proceso se puede dividir formalmente en cuatro fases distintas llevándose a cabo cada fase por diferentes grupos de organismos que en la naturaleza se pueden encontrar juntos actuando de una manera simbiótica, con los productos de un grupo de organismos que se pasan a la próxima como fuente de energía (alimento).

Las cuatro fases distintas son:

25 1. Fermentación e hidrólisis – En esta fase las macromoléculas de cadena larga presentes en la corriente de solubles efluente se descomponen en moléculas de cadena más pequeña. Por ejemplo, en la industria de bebidas alcohólicas generalmente hay presentes cuatro grupos distintos de macromolécula: carbohidrato, proteína, aceites y grasas, y ácidos orgánicos.

30 2. Acidogénesis – Esto implica un grupo de organismos que producen un amplio espectro de Ácidos Grasos Volátiles (AGV) a partir del sustrato de cadena más pequeña producido en el anterior (1).

35 3. Acetogénesis – Esta fase implica la descomposición de AGV a (predominantemente) ácido acético que llega a ser el sustrato dominante usado por un rango de organismos metanogénicos para la producción de gas de metano.

40 4. Metanogénesis – Esta es la fase final e implica la producción de gas de metano, junto con algo de dióxido de carbono. Generalmente también se forman otros productos tales como amoníaco y sulfuro de hidrógeno.

45 Como ejemplo del residuo acuoso de un proceso de fermentación y destilación usado para producir una bebida alcohólica puede someterse a hidrólisis y acidogénesis relativamente de manera fácil (al menos después de la eliminación de la mayor parte del contenido de sólidos no disueltos) ya que el sustrato para los organismos tratados es rico en energía y la relación de macronutrientes (carbono, nitrógeno y fósforo – C:N:P) está en un intervalo ideal para estas etapas, y posterior producción de metano.

50 Sin embargo, la acetogénesis y la metanogénesis han probado que son etapas significativamente más difíciles cuando se intenta proporcionar un proceso eficaz. Un proceso eficaz debería dar como resultado una buena eliminación del contenido orgánico (generalmente medido como reducción en la demanda química de oxígeno–DQO) y un correspondiente alto contenido de metano del biogás.

55 Por ejemplo, procesos de digestión anaeróbica normales, tales como los empleados sobre el efluente acuoso de desecho en la industria de bebidas alcohólicas espirituosas solamente se pueden esperar que funcione con una eliminación de DQO del orden del 70 % o menos y producir un biogás que tenga un contenido de metano del 70 % o menos, con la mayor parte del resto que es CO₂, y volviendo a presentar así carbono que no está disponible para la generación de energía. El contenido de metano del biogás es altamente dependiente de la composición del sustrato. Los sustratos que son ricos en carbohidrato generalmente tendrán inferior contenido de metano en biogás. Además, con frecuencia se requieren etapas de procesamiento adicionales que generalmente incluyen el procesamiento de digestión aeróbica para reducir los niveles de DQO a aquellos aceptables para eliminación de residuo, por ejemplo, al desagüe.

60 El documento WO 2011/066866 describe un proceso en el que una solución acuosa, o sistema en dos fases acuosa y en aceite se somete a una fase de metanogénesis que produce metano en un digestor de flujo descendente de dos fases.

65

En el documento US6395173 (Von Nordenskjold – ahora conocido como BIOLAK Technology GmbH) se describe un aparato de tratamiento anaeróbico que se puede usar para el tratamiento de “aguas residuales”. Se sugiere que el aparato es adecuado para aguas residuales que tienen una demanda biológica de oxígeno (DBO) en exceso de 2.000 mg l⁻¹. Tal DBO se puede igualar a una DQO de aproximadamente 4.000 mg l⁻¹ dependiendo de la fuente del contenido orgánico y representa una corriente de desecho relativamente diluida a tratar. El aparato incluye un lecho de lodo en dos fases, del tipo de reactor anaeróbico de flujo ascendente de manto de lodos (UASB), en el que el lodo y el efluente líquido del reactor se pueden reciclar. Como es común con tratamientos de aguas residuales se puede aplicar una fase de tratamiento aeróbica al efluente líquido después de la fase anaeróbica para completar la reducción de DQO. Se sugiere una opción similar para encargarse del exceso de lodo. Sin embargo, las aguas residuales de aproximadamente 4.000 mg l⁻¹ se pueden considerar que son relativamente débiles y adaptar el aparato y el proceso para digerir corrientes de desecho de mayor concentración de DQO no es tan sencillo como pueda parecer. Los usuarios generalmente pueden considerar que diluir la corriente líquida de desecho antes de introducir esta al aparato metanogénico, pero tal dilución tiene consecuencias potencialmente indeseables en términos de tasas de flujo a través del aparato, tiempo de retención hidráulico, manteniendo de la alcalinidad y/o tasas de conversión.

Además, las aguas residuales pueden ser ácidas en pH, particularmente cuando inicialmente se someten a una etapa de acidogénesis/acetogénesis, aunque muchas aguas residuales son de manera natural ácidas. Tal pH ácido puede tener un efecto perjudicial significativo sobre la metanogénesis que preferentemente se lleva a cabo en condiciones ligeramente alcalinas. En vista de esto, muchos procesos de la técnica anterior controlan el pH por la adición de álcali, tal como cal. Saritpongteeraka, K. y Chairatpat, S. (*Bioresource Technology* 99, (2008) p 8.987-8.994) describen un proceso en el que el pH se controla por la adición de NaOH o ceniza de la madera del caucho (*parawood*). Este proceso se lleva a cabo en un reactor anaeróbico con deflectores con y sin reciclado de efluente. Sus resultados parecen mostrar que el control de pH es imprescindible, pero que el reciclado de efluente tiene poco efecto. Sin embargo, la DQO del afluente estaba generalmente en la tasa de 5.000 a 6.500 mg/l y aunque se sugirió un largo tiempo de retención hidráulico que beneficia, esto era a costa de la tasa de carga orgánica.

Aunque el proceso anterior no sugería que el reciclado de efluente beneficiaba, esto está, de hecho, rutinariamente adoptado y propuesto para su uso en lecho fluidizado y reactores UASB que tratan aguas residuales ricas en carbohidrato para hacer uso de la alcalinidad internamente generada y para diluir la DQO del afluente (véase Sam-Soon, P., *Water S.A.*, 1991; 17(1): p37-46 y Ferguson J.F., *Water Research*, 1984:18(4) 573-80). Tal reciclado y sus beneficios, particularmente cuando emplean corrientes de desecho de alta DQO también están discutidos en el documento US 4.415.453.

Es un objeto de la presente invención proporcionar métodos y aparatos para llevar a cabo una digestión anaeróbica de una corriente de desecho que evite o al menos reduzca uno de los problemas anteriormente mencionados.

Descripción de la invención

Según un primer aspecto la presente invención proporciona un proceso para la digestión anaeróbica de una solución básicamente acuosa, o sistema en dos fases acuosa y en aceite, según la reivindicación 1.

El proceso generalmente será un proceso continuo, para eficaz producción y utilización del equipo. La salida líquida de la fase metanogénica se puede reciclar a no más de una relación de 1:1 o incluso sin reciclado. La reducción de DQO puede ser, por ejemplo, más del 80 % o incluso desde 90 % a 95 % o más en relación a la entrada.

El proceso según el primer aspecto de la invención proporciona un alto nivel de reducción de DQO y, por lo tanto, puede evitar la necesidad de un tratamiento aeróbico después de la fase metanogénica como comúnmente se usa para los tratamientos de aguas residuales para reducir el contenido de DQO suficientemente para permitir eliminación lista, por ejemplo, a desagüe. Sin embargo, cuando los límites de consentimiento para eliminación de efluente son estrictos se puede emplear un pequeño tratamiento aeróbico para reducir aún más la DQO que queda después de la fase metanogénica. En general el proceso produce una reducción excepcional de DQO junto con un biogás de buena calidad que contiene cantidades útiles de metano. La salida líquida también se puede encontrar útil, por ejemplo, como fertilizante.

El reciclado de la salida líquida de una fase metanogénica como se describe en el presente documento se refiere a la práctica convencional de devolver una parte de la salida líquida desde una fase metanogénica a la localización de entrada (y, por lo tanto, área de alta concentración de DQO) de la parte metanogénica del proceso anaeróbico. El líquido reciclado se puede suministrar dentro del proceso metanogénico junto con la corriente de efluente acuoso de entrada a través de o bien una válvula o válvulas separadas. En ambos casos el líquido reciclado entra en el recipiente o los recipientes del proceso en o cerca de donde la concentración de DQO es alta y actúa para diluir la corriente de efluente acuoso de entrada. Indicar, esto no es para confundirlo con el reciclado de sólidos/lodos que también se conoce en la técnica.

No según la invención hay un método de procesamiento de un material líquido, comprendiendo el proceso someter el material líquido a un proceso de digestión anaeróbica, por ejemplo, como se describe en el presente documento; y

hacer un seguimiento del contenido de al menos un micronutriente, en particular, de al menos un metal micronutriente en una fase metanogénica del proceso anaeróbico en el que los organismos metanogénicos producen metano por digestión de compuestos orgánicos presentes en el material líquido y pueden utilizar dicho al menos un micronutriente; para que una cantidad de dicho al menos un micronutriente se pueda añadir a la fase metanogénica en respuesta a los resultados del seguimiento.

El seguimiento de los niveles de micronutriente y la adición de micronutrientes a una fase metanogénica se puede llevar a cabo como parte de un proceso anaeróbico según los primeros o segundos aspectos de la invención, o más generalmente para otros procesos anaeróbicos. Generalmente, el proceso anaeróbico será un proceso continuo. Los procedimientos para el seguimiento se describen en referencia a algunos ejemplos de más adelante.

Más preferentemente, el seguimiento de al menos un micronutriente se conduce sobre el afluente a la fase metanogénica y el efluente desde la fase metanogénica, mientras que se tiene en cuenta el crecimiento potencial del lodo. De esta manera es posible determinar si los micronutrientes presentes en el afluente están o no biodisponibles y, por lo tanto, capaces de ser usados para facilitar el crecimiento de los microorganismos en el lodo y, por lo tanto, cuánto micronutriente adicional se puede añadir para facilitar el crecimiento, pero no tanto como para tener cualquier efecto tóxico potencial.

Las fases de fermentación e hidrólisis, acidogénesis y acetogénesis del proceso global de la invención se pueden llevar a cabo de la manera convencional. Generalmente, se emplea un reactor "acidogénico" en el que al menos alguna de las fases de fermentación e hidrólisis, acidogénesis y acetogénesis se llevan a cabo, con antelación a la fase metanogénica. Tal reactor generalmente se hace funcionar a pH ácido en el intervalo de 3,5 a 5. Un pH en el intervalo de 3,5 a 4,2 se ha encontrado que ayuda a permitir que ocurra acetogénesis, aumentando de ese modo los niveles de AGV pasados hacia la posterior fase metanogénica, sin embargo, en la práctica se ha mostrado que una fase metanogénica es capaz de procesar AGV, es decir, ocurre acetogénesis para producir ácidos acéticos u otros carboxílicos de cadena pequeña.

En resumen, la fase metanogénica hace uso de microorganismos anaeróbicos que producen metano, pero otras fases del proceso global, por ejemplo, acetogénesis pueden ocurrir en la fase metanogénica.

Si se requiere, la alimentación (básicamente solución acuosa, sistema en dos fases acuosa y en aceite, básicamente corriente de efluente acuoso de destilación de bebida espirituosa o material líquido) se puede ajustar a un pH ácido como se requiere antes de que se procese en el reactor acidogénico. En general, cuando se emplea un reactor acidogénico (al menos para una corriente de efluente de bebidas espirituosas) el proceso acidogénico es relativamente rápido con un tiempo de retención hidráulico normal de solamente alrededor de 24 horas (sin reciclado). Generalmente, la fase acidogénica se lleva a cabo con el mezclado en el reactor. Generalmente y ventajosamente el 90 % o más de la fase de acetogénesis se lleva a cabo temprano en el proceso, es decir, en el reactor acidogénico, ya que esto reduce el potencial para escasa actividad en la posterior fase metanogénica causada, por ejemplo, por conversión lenta a ácido acético.

Adecuadamente, las materias primas de alta concentración de DQO para su uso en el proceso incluyen la corriente de efluente a partir de un proceso de producción de bebidas espirituosas, de acuerdo con el segundo aspecto de la invención. Después de la fermentación y destilación del alcohol producido, el grano gastado u otra masa vegetal se separan por filtración (por ejemplo, por medio de centrifugas u otras técnicas de filtración) y la solución restante se procesa. La solución resultante puede incluir una cantidad limitada de sólidos suspendidos tales como células de levadura gastadas, dependiendo de la técnica de filtración empleada. Tales corrientes de efluente acuoso pueden ser como las producidas por cualquier de los procesos normales de producción de bebidas espirituosas, por ejemplo, aquellos para whisky, ginebra, vodka, ron, brandy, bourbon, tequila, etc. Otras materias primas adecuadas pueden incluir suero de leche de la fabricación de queso, molasas o molasas diluidas con agua u otro sistema acuoso, y aceites vegetales. Los aceites vegetales se pueden procesar por adición a un sistema acuoso, aunque forman un sistema en dos fases. Se pueden emplear mezclas de materias primas. En una realización preferida, el proceso descrito en el presente documento puede encontrar aplicación particular en el tratamiento de aguas residuales de whisky de cebada de malta y/o de grano. Ejemplo de corrientes de aguas residuales de la producción de whisky de malta/grano se muestran en las Figuras 2, 3 y 4. Se pueden prever otras materias primas de alta concentración de DQO adecuadas, tales como a partir de procesamiento de hortalizas, tales como soja, remolacha, patata y similares.

Para algunos sustratos, tales como suero de leche, la materia prima puede llegar al proceso anaeróbico a temperatura ambiente. Sin embargo, los microorganismos empleados generalmente son mesófilos o alternativamente termófilos. Por lo tanto, la corriente de efluente u otra materia prima a tratar se puede calentar, por ejemplo, en el intervalo de aproximadamente 30 °C a 37 °C para bacterias mesófilas, si se requiere. El calor generado a partir de la combustión del biogás producido en el proceso anaeróbico se puede emplear para este fin.

Generalmente la materia prima para la digestión anaeróbica es básicamente una solución, es decir, contiene especies orgánicas y otras derivadas de los productos naturales, en solución. Sin embargo, pueden estar presentes algunos sólidos suspendidos, siempre y cuando no interfieran con el proceso continuo. Los sólidos suspendidos se

- pueden tolerar si se pueden digerir por el proceso anaeróbico, por ejemplo, células de levadura a partir de un proceso de fermentación usado para producir una bebida alcohólica. La cantidad de sólidos suspendidos (como levadura) que se pueden tolerar de un proceso de bebidas espirituosas puede ser hasta aproximadamente 15.000 mg l⁻¹ o incluso más. Una cantidad de sólidos máxima normal es del 2 %, 3 % o 4 % p/p de sólido:líquido. La levadura es aproximadamente 46 % (base seca) de proteína y, por consiguiente, el nitrógeno de la proteína puede incrementar la cantidad de amoníaco en el efluente del reactor anaeróbico. Por ejemplo, un 15 a 20 %. A la inversa, sólidos suspendidos que requieren un largo tiempo para ser digeridos, particularmente aquellos con alto contenido en celulosa o lignina, no son fácilmente procesados y pueden requerir un largo tiempo de residencia, 20 días o más.
- 10 El proceso anaeróbico de la invención funciona a una alta concentración de entrada de Demanda Química de Oxígeno (DQO). Convencionalmente, ejemplos de procesos anaeróbicos aplicados a corrientes de efluente acuoso de componentes solubles que funcionan como procesos continuos pueden tener una concentración de DQO de entrada de, por ejemplo, aproximadamente 5 kg m⁻³ a 25 kg m⁻³ o superior, pero con un reciclado sustancial para diluir la concentración de entrada como se discute más en el presente documento. El proceso de la presente invención puede funcionar con concentraciones de DQO de entrada del orden de 30 kg m⁻³ o más, o incluso 35 kg m⁻³ o más, sin reciclado o con reciclado mínimo. Generalmente, se puede emplear con éxito una alta concentración de DQO en el intervalo de 40 kg m⁻³ a 130 kg m⁻³.
- 20 Ventajosamente, la salida líquida de la fase metanogénica no se recicla. Sin embargo, puede haber reciclado de algunos de los sólidos, generalmente el lodo que contiene la masa de microorganismo que se puede llevar fuera de un recipiente empleado para la fase metanogénica. Este lodo contendrá una cantidad limitada de la salida líquida, dependiendo del equipo de separación y el método empleado, pero generalmente será insignificante cuando una fase metanogénica esté funcionando sin reciclado intencionado de la salida líquida.
- 25 Preferentemente, el proceso metanogénico se lleva a cabo en un tanque cerrado o laguna que contiene un lecho de lodo de microorganismos suministrados por un flujo ascendente. Preferentemente, el proceso se lleva a cabo por un denominado reactor anaeróbico de flujo ascendente de manto de lodos (UASB) aunque también se pueden emplear otros generalmente llamados lagunas anaeróbicas, lecho fluidizado, lecho empaquetado y digestores híbridos. Sin embargo, se debería apreciar que ventajosamente los reactores de la presente invención se remueven activamente o solamente emplean filtros anaeróbicos, que o bien incrementarían los costes y/o reduciría los niveles de DQO que se pueden emplear. Tales reactores generalmente funcionan sobre una base continua. En tal reactor la entrada, generalmente desde un reactor acidogénico, se suministra hacia arriba en un lecho de lodo, que incluye microorganismos metanogénicos, contenidos dentro del lodo/UASB. La materia prima de entrada se bombea dentro en varias localizaciones hacia el extremo de entrada del lodo/UASB. A medida que transcurre la digestión (reducción de la concentración de DQO y generación de biogás) el líquido en el tanque fluye hacia el extremo de salida del reactor donde se saca un efluente líquido de DQO reducida. El funcionamiento de un reactor UASB con el proceso de la invención, cuando no se aplica reciclado o uno limitado de la salida líquida, por tanto, se hace bajo condiciones de mezclado limitado, con la inyección de entrada en el lecho de lodo proporcionando agitación limitada, en comparación con un método de alto reciclado donde se sacan grandes volúmenes de líquido y/o lodo del reactor y se reinyectan en el lecho de lodo, a o cerca del área de entrada o en un proceso donde se emplea removimiento activo con un motor.
- 30
- 35
- 40
- El proceso metanogénico se puede llevar a cabo en fases, por ejemplo, en dos o más tanques en serie o un tanque dividido como se describe más adelante en referencia a una realización específica. Preferentemente, se emplean menos de 4 fases, generalmente menos de 3, tales como 2 fases. Fases múltiples de procesamiento permiten que un lecho de lodo con una entrada de alta DQO sea seguido de un lecho de lodo con una entrada de baja DQO como fase metanogénica de finalización o "pulido". Notablemente, cuando tal lecho de lodo metanogénico en dos fases funciona con un proceso según la invención se ha encontrado apropiado para proporcionar una entrada de la corriente de efluente acuoso en el lecho de lodo de entrada de baja DQO, para mantener la salud de los microorganismos contenidos dentro. El proceso de la invención consigue dicha alta reducción en DQO en la primera fase que la segunda fase se priva de la cantidad requerida de alimentación. Por tanto, el proceso puede funcionar en volúmenes de reactor más pequeños que los esperados para procedimientos convencionales.
- 45
- 50
- Reactores alternativos incluyen reactores de lecho empaquetado o reactores mixtos (generalmente con removimiento o agitación por inyección de gas). Aunque el reactor o reactores de fase metanogénica se alimentan a partir de un reactor "acidogénico" precedente donde ocurre una o más de fermentación, hidrólisis, acidogénesis y acetogénesis, se entenderá que pueden ocurrir acetogénesis u otros procesos dentro del reactor o reactores implicados en la fase metanogénica.
- 55
- 60 El efluente líquido contiene material orgánico no convertido a metano u otros gases tales como CO₂, amoníaco y cantidades muy menores de H₂S. Mediante no reciclado de esta salida de la manera convencional se pueden obtener beneficios sustanciales.
- 65 El reciclado normal del efluente de la fase metanogénica es sustancial en los procesos de la técnica anterior, dentro del intervalo entre 3:1 y 12:1. (Es decir, 3 de reciclado por 1 de corriente de entrada; hasta 12 de reciclado por 1 de corriente de entrada – en volumen).

La intención de tal reciclado es diluir la concentración de DQO presente en el extremo de entrada del reactor, ayudar en el ajuste del pH y dar la oportunidad de que el material no reaccionado en el efluente se convierta en metano. La dilución de la concentración de DQO que entra en la fase metanogénica generalmente se considera como una característica imprescindible de si se alcanza una eficacia de proceso razonable (para un volumen de proceso dado). Los tiempos de retención ("tiempos de retención hidráulicos") con frecuencia se dan para digestores anaeróbicos como medida del flujo de fluido a través del sistema. Las altas tasas de reciclado generalmente usadas en los procesos de la técnica anterior dan como resultado tiempos de retención hidráulicos inferiores en comparación con los tiempos de retención hidráulicos del presente proceso. El tiempo de retención se calcula sobre la base del volumen de proceso (es decir, volumen de los contenidos del reactor de fase metanogénica) dividido por el flujo a través por día, incluyendo el volumen de reciclado que se devuelve al reactor. Para los procesos de la presente invención se puede emplear con éxito un tiempo de retención del orden de 5 a 15 días, generalmente de 8 a 12 días, por ejemplo, de 10 días. Esto contrasta con tiempos de retención de, por ejemplo, 1 a 3 días cuando se usa un alto reciclado. Tales tiempos de retención bajos incrementan la probabilidad de pérdida de masa de microorganismo a partir de la fase metanogénica (pérdida de lodo).

Sorprendentemente, se ha mostrado que la eliminación o reducción del reciclado permite una entrada de alta concentración de DQO como se discutió anteriormente. La producción expresada como kg de DQO por m³ de masa de reacción (volumen de lodo y líquido en el reactor o reactores metanogénicos) por día, es decir, la DQO en kg m⁻³ día⁻¹ permanece buena, por ejemplo, desde 3 kg incluso hasta y más allá de 5 kg de DQO m⁻³ día⁻¹. A la vez la eficacia es alta, proporcionando tanto un alto nivel de eliminación de DQO como biogás de alta calidad (alto contenido de metano). Recordar que el contenido de metano está unido a la composición de sustrato. Alto aceite – alto metano, a la inversa, alto carbohidrato baja el porcentaje de metano.

Por ejemplo, se puede conseguir una eliminación de DQO del 90 % o más, generalmente el intervalo de 80 % a 95 %. A la vez se puede obtener el biogás con alto contenido en metano, más del 70 %, generalmente 75 % a 80 %. (estoy inclinado a realizar esto 58 a 80 % - entonces, esto tiene en cuenta sustratos dominados por carbohidratos). Se puede obtener un rendimiento del orden de 0,35 m³ de metano (a temperatura y presión patrón) por kg de DQO eliminada. Ya que los procesos producen una reducción de DQO excepcionalmente alta, el rendimiento de biogás producido es correspondientemente alto. Junto con estos beneficios se ha mostrado que se genera un alto nivel de alcalinidad de bicarbonato dentro del reactor que lleva a cabo la fase metanogénica. Este alto nivel de alcalinidad de bicarbonato (generalmente 4.000 a 5.000 mg l⁻¹, expresada en términos de mg l⁻¹ de carbonato de calcio), se obtiene de manera natural sin suplemento y proporciona por sí misma notables beneficios.

La alcalinidad de bicarbonato se puede calcular como sigue:

$$\text{Alcalinidad de bicarbonato (como mg l}^{-1}\text{ carbonato de calcio)} = \text{Alcalinidad total (mg l}^{-1}\text{ CaCO}_3\text{)} - \text{Ácidos grasos volátiles totales (ppm)} \times 0,71$$

La alcalinidad total se determina por titulación a pH 4,0 usando ácido clorhídrico 0,1 N. La alcalinidad total está compuesta de alcalinidad de carbonato, bicarbonato y alcalina. Sin embargo, la presencia del ion bicarbonato es importante para la eliminación del ácido propiónico inhibitor. Los ácidos grasos volátiles totales se determinan por cromatografía de gases. Véase también "Biological Wastewater treatment, Vol 4, Anaerobic Reactors", 2007, Carlos Augusto de Lemos Chernicharo, publicado por IWA publishing, Londres.

Altos niveles de bicarbonato tienden a reducir el aumento de los niveles inhibidores de subproductos tales como el ácido propiónico en el reactor. Esto contrasta con un funcionamiento del proceso con un nivel de reciclado convencional, especialmente cuando la concentración de DQO de la entrada es alta. Los niveles de ácido propiónico (y el nivel de otras especies indeseadas tales como amoníaco) se han encontrado que son significativos y niveles de bicarbonato correspondientemente bajos cuando se aplica un reciclado. Tales condiciones dan como resultado calidad muy reducida de biogás y eliminación de DQO reducida en comparación con el proceso de la presente invención. El planteamiento convencional tal como la eliminación de DQO reducida y biogás de escasa calidad sería para incrementar la tasa de reciclado incluso más en un intento de proporcionar más oportunidad para los microorganismos de consumir DQO y/o reducir la concentración de DQO en la entrada.

Además, con una alta alcalinidad de bicarbonato natural la fase metanogénica fácilmente mantiene el pH deseable (7,2 a 7,4) debido a la reserva muy grande de alcalinidad presente en el reactor. Esto puede evitar cualquier requerimiento para ajustar el pH con alcalinidad añadida. Convencionalmente se requiere el ajuste de pH o al menos es deseable cuando se aplica una fase metanogénica ya que la entrada desde un reactor acidogénico precedente tendrá un pH bajo, por ejemplo, a aproximadamente 3,5. Ventajosamente, los presentes inventores han observado que el material álcali solamente se requiere durante un encendido inicial de un reactor, generalmente durante entre 7 a 21 días hasta que se ha desarrollado el nivel requerido de alcalinidad de bicarbonato en el reactor. Después de eso, la adición adicional de álcali o control de pH puede no ser o no es requerida, ahorrando costes y eficacia. Además, el reactor es estable a la introducción de corrientes de desecho de alta DQO ácidas.

Una característica ventajosa más adicional de la alta alcalinidad de bicarbonato está en relación con la producción de estruvita (como se describirá en más detalle más adelante). Mientras que en la fase metanogénica, se produce

solamente cantidades relativamente pequeñas de estruvita cristalizada o precipitada. Sin embargo, tras salir de la fase metanogénica, se observa una reducción en una sobrepresión parcial, cuando la corriente de salida contacta con la presión atmosférica, lo que permite que se libere CO₂ de la solución, con un incremento secuencial en pH (generalmente mayor que aproximadamente 0,2 a 0,3 unidades), lo cual da como resultado la precipitación básicamente de manera espontánea de estruvita a partir de la solución y/o aglomeración de microcristales.

Beneficios adicionales del no reciclado incluyen la reducción del aumento de amoníaco que reduce la eficacia del proceso y puede conducir a problemas en eliminación de efluente.

10 El efluente líquido de un proceso de la invención, por ejemplo, la utilización de una corriente de efluente acuoso basado en vegetación como alimentación (tal como de un proceso de producción de bebidas espirituosas), puede ser de la calidad suficiente para encontrar los límites de consentimiento locales para eliminación a desagüe. Además, el efluente líquido de la digestión anaeróbica puede proporcionar subproductos útiles.

15 Tal como se discute en más detalle más adelante y en referencia a una realización específica de una digestión de efluente de bebidas espirituosas, tales como aguas residuales del proceso de destilación de bebida espirituosa de malta y/o grano el efluente líquido emitido a partir de una fase metanogénica que funciona según la invención pueden producir espontáneamente cristales de la estruvita mineral (NH₄MgPO₄·6H₂O). La producción indeseada de estruvita que causa bloqueo de cañerías y otro equipo es un problema conocido para aguas negras y otras
20 instalaciones de eliminación de residuos sólidos. Sin embargo, según la presente invención, se puede obtener la producción de estruvita, como cristales discretos. Los presentes inventores notaron que la estruvita se puede producir y recoger apropiadamente para su uso posterior. Tal como se mencionó anteriormente, solamente se pueden producir cantidades relativamente pequeñas de estruvita, en términos de una forma precipitable, durante la fase metanogénica, pero tras la salida de la fase metanogénica se pueden observar grandes cantidades de estruvita precipitada o aglomerada. Sin estar unido a teoría alguna, se piensa que al menos parcialmente debido a la
25 relativamente alta alcalinidad de bicarbonato, la mayoría de cualquier estruvita que se produce en la fase metanogénica permanece en solución o en una forma microcristalina fina. Sin embargo, tras salir de la fase metanogénica, el gas de CO₂ se desprende a partir de la corriente de salida, que da como resultado un incremento en el pH de la solución y precipitación/aglomeración de la estruvita presente.

30 Tras salir de la fase metanogénica y la precipitación a partir de la solución, la estruvita producida de esta manera se puede separar fácilmente del líquido mediante el uso de una técnica de filtración adecuada (por ejemplo, por hidrociclones). Sin embargo, para prevenir que la estruvita atasque o bloquee cualquier cañería o conducto, los presentes inventores han encontrado deseable emplear cañerías/tuberías flexibles, para prevenir un aumento de la
35 estruvita sobre las paredes de las cañerías/tuberías y, así, ayudar a minimizar el atasco.

La estruvita recogida puede encontrar un uso como fertilizante. Incluso después de la separación de la estruvita el efluente líquido restante contiene nitrógeno, potasio y fósforo en una relación adecuada para su uso como fertilizante y así se puede procesar más con ese fin si se desea. El procesamiento del efluente líquido puede incluir evaporación
40 a un concentrado para su uso como líquido o evaporación a un producto sólido, por ejemplo, por secado por pulverización.

El procesamiento de la alimentación en la fase metanogénica requiere una masa de microorganismo estable, sano y productivo. Además de la eliminación o al menos reducción del reciclado anteriormente discutido, se pueden realizar
45 otros mejoramientos a un proceso metanogénico.

Se ha encontrado que las adiciones de micronutrientes, especialmente al menos una sal metálica que comprende una o más de cobalto, níquel e hierro, a niveles en exceso del requerimiento esperado también pueden producir beneficios significativos. El selenio también se puede emplear como un micronutriente añadido. Otros
50 micronutrientes tales como vitaminas, por ejemplo, riboflavina, vitamina B12 puede ser apropiados dependiendo de la entrada a un proceso anaeróbico. Con una corriente acuosa derivada de un proceso de bebidas espirituosas la riboflavina ya puede estar presente en la cantidad suficiente. Ventajosamente una sal de cada uno de cobalto, níquel e hierro se añade, con selenio también añadido si se requiere. Generalmente se proporcionan sales metálicas en la forma de sal de cloruro.

55 Se ha encontrado que mejoramientos en el mantenimiento de la biomasa y en la calidad de la salida del proceso se consiguen realizando un seguimiento del contenido de micronutriente, preferentemente mediante un método analítico exacto, tal como ICP – (espectrometría de masa con plasma inductivamente acoplado) y añadir cantidades medidas de micronutrientes. Tanto el seguimiento como/o las adiciones de los micronutrientes se pueden hacer automáticamente si se desea. El seguimiento puede evitar la sobredosis de un micronutriente, alguno de los cuales
60 son tóxicos a microorganismos anaeróbicos cuando están en exceso.

Otro seguimiento de una fase metanogénica puede ser ventajoso, por ejemplo, usando una sonda de Potencial de Oxidación-Reducción (sonda ORP) para medir el potencial de oxidación-reducción dentro de la fase metanogénica.
65 Esta medición proporciona la indicación de que el proceso está funcionando correctamente de una manera anaeróbica. Generalmente si la medición es del orden de -350 mV a -400 mV, entonces, el proceso está

funcionando en condiciones favorables. Si la medición cambia desde dicho valor entonces están presentes condiciones menos favorables para la producción.

5 Por lo que concierna a la medida de contenido de micronutriente se puede realizar después de obtener muestras (manualmente o automáticamente) de la propia fase metanogénica. Ventajosamente y convenientemente el seguimiento del contenido de un micronutriente en una fase metanogénica no se determina a partir del muestreo del contenido de la propia fase metanogénica, pero se determina midiendo el nivel de micronutriente en la entrada al proceso o a la fase metanogénica y también en la salida desde la fase metanogénica y comparando los dos resultados junto con un entendimiento del crecimiento esperado de los microorganismos en un proceso que funciona eficazmente.

15 Al aplicar una fase metanogénica de un proceso anaeróbico, por ejemplo, un proceso anaeróbico con una alimentación a partir de un proceso de bebidas espirituosas, se ha encontrado que los niveles de micronutriente medido en la entrada y en la salida pueden ser comparables en contenido, indicando que el micronutriente en la alimentación no está fácilmente biodisponible a los microorganismos, los cuales se esperaba que consumieran el micronutriente cuando crecen, reduciendo la cantidad encontrada en la salida líquida. Por esta razón, añadir micronutrientes como suplemento, generalmente sobre una base diaria o semanal en respuesta a los resultados del seguimiento, se ha encontrado beneficioso. Con un proceso de funcionamiento suave y una alimentación relativamente consistente las etapas de seguimiento no necesitan llevarse a cabo frecuentemente, pero adiciones sobre una base diaria o semanal conservan los niveles de micronutrientes dentro de las concentraciones deseadas. Se pueden emplear dosis de 24 horas continuas más que la adición sobre una base en lote.

25 Por tanto, la presente invención proporciona un método de seguimiento del requerimiento de micronutriente, en particular el requerimiento para micronutrientes metálicos, en una fase metanogénica de un proceso de digestión anaeróbico, tal como se describe en el presente documento en el que los organismos metanogénicos producen metano, comprendiendo el método:

30 medir la cantidad de al menos un micronutriente en la alimentación al proceso o en la alimentación a una fase metanogénica del proceso;
 35 medir la cantidad del mismo al menos un micronutriente en el efluente el proceso o de la fase metanogénica del proceso; y
 40 estimar la cantidad del al menos un micronutriente a añadir a la fase metanogénica para mantener el crecimiento de microorganismos en la fase metanogénica basándose en la diferencia entre la cantidad en la alimentación y la cantidad en el efluente y sobre el crecimiento esperado de los microorganismos en la fase metanogénica.

El proceso seguido puede ser un proceso continuo.

45 Las cantidades "objetivo" normales de micronutrientes se pueden encontrar en la bibliografía para lodos anaeróbicos, por ejemplo, los metales requeridos para mantener un cultivo sano de microorganismos. Por ejemplo, Hierro – 1.800 mg kg⁻¹, Níquel – 100 mg kg⁻¹ y Cobalto – 75 mg kg⁻¹. (sobre un peso seco de base de lodo). Para selenio se indican cantidades menores, generalmente menos de 50 mg kg⁻¹.

A continuación, se da un ejemplo de cálculo basado en la figura de hierro normal mostrada anteriormente.

50 El crecimiento de nuevo lodo anaeróbico se estima cada día. Esto se hace calculando la tasa de crecimiento obteniendo muestras del lodo (generalmente muestreando diversas localizaciones dentro del lecho de lodo y secando las muestras). Se pueden obtener las tasas de crecimiento máximo y mínimo midiendo el lodo cuando el proceso está proporcionando una alta reducción de DQO y cuando está proporcionando una baja reducción de DQO. En la práctica, el cálculo se realiza asumiendo que se está dando una alta tasa de crecimiento en el lodo. En el ejemplo, las siguientes figuras se midieron y se calcularon para un proceso que emplea fases acidogénicas y metanogénicas distintas. Cuando se emplea una alimentación consistente al proceso anaeróbico estas figuras se pueden esperar que permanezcan aproximadamente constantes.

55 Crecimiento de lodo en fase metanogénica máximo por día = 0,05 kg de lodo anaeróbico (peso seco) por kg de DQO eliminada.

Crecimiento de lodo en fase metanogénica mínimo por día = 0,02 kg de lodo anaeróbico por kg de DQO eliminada.

60 La eliminación de DQO citada está basada en una fase metanogénica que ha permitido la reducción de DQO encontrada en la fase acidogénica.

Asumir que el reactor de una fase metanogénica es suministrado con 30.000 kg de DQO por día y 90 % de esto se elimina.

65 Eso significa crecimiento de lodo = 30.000 x 0,9 x 0,05 kg = 1.350 kg de lodo por día.

Si en el seguimiento, la alimentación y los niveles de hierro del efluente anaeróbico son aproximadamente iguales, entonces el lodo no está consumiendo el hierro proporcionado por la alimentación (carece de biodisponibilidad del hierro en la alimentación).

5 Por lo tanto, cada kg de lodo aún requiere 1.800 mg de hierro.

Si se hace un seguimiento de la entrada o, en realidad, las corrientes de efluente solas, y el valor es más de 1.800 mg/kg, entonces, se puede haber asumido incorrectamente que había insuficiente hierro, pero esto no tiene en cuenta de si está o no biodisponible.

10 Por lo tanto, el requerimiento de suplemento es $1.800 \text{ mg} \times 1.350 \text{ kg} = 2.430$ gramos de hierro (como metal) por día. Esto es un mínimo – en la práctica, se usa ligeramente más ya que algo del hierro añadido no estará disponible para su uso por los microorganismos, por ejemplo, debido a que se une a azufre. El hierro requerido generalmente se añadiría en la forma de una sal, generalmente como cloruro férrico. Se pueden realizar cálculos/medidas similares sobre otros metales.

15 Si en el seguimiento se muestra que el lodo está consumiendo hierro en la alimentación – el efluente del proceso anaeróbico contiene menos hierro que la alimentación de entrada – entonces se puede aplicar una tasa de suplemento inferior, ya que algo del hierro para el crecimiento está siendo proporcionado por la alimentación. Sin embargo, se puede usar más de las cantidades calculadas para determinar si se puede conseguir mayor crecimiento de microorganismos, quizás permitiendo mayor producción. En general, se puede emplear un ligero exceso de micronutriente. Con tal régimen de dosificación, al aplicar un proceso consistente fuerte, el seguimiento del líquido de salida tenderá a mostrar una ligera elevación de hierro en comparación con la entrada, indicando que se está suministrando suficiente hierro.

20 Esta dosis de los organismos metanogénicos con micronutrientes se puede usar con un proceso según el primer o segundo aspecto de la invención u otras realizaciones, pero no está restringido a su uso con tales procesos.

25 Otros tratamientos pueden ser beneficiosos.

30 La dosis con cloruro de aluminio también se puede emplear para controlar el crecimiento de organismos filamentosos, los cuales si están presentes en exceso pueden dar como resultado que el lodo es más cohesivo, conduciendo a grave formación de espuma. Con este fin, se añade cloruro de aluminio a niveles prescritos determinados por el índice filamentososo (un recuento del número de organismos filamentosos). Si estos organismos no están controlados, entonces, pueden formar esponjamiento (*bulking*) del lodo (igual a una mousse) en la interfaz líquido-gas de la fase metanogénica. Otro mejoramiento adicional a los procesos metanogénicos, incluyendo a un proceso metanogénico según la invención se pueden obtener evitando la pérdida de la masa de microorganismos. En el funcionamiento normal de, por ejemplo, un reactor anaeróbico de flujo ascendente de manto de lodos (UASB), algún lodo se desplaza desde el reactor por el flujo a través de la corriente de proceso. Esta cantidad normal (relativamente pequeña) de lodo desplazado se separa fuera del efluente líquido, por ejemplo, en un separador laminar y se devuelve al reactor metanogénico. Sin embargo, ocasionalmente, cantidades sustanciales del lodo que contienen los microorganismos se pueden desplazar fuera del tanque o recipiente empleado y dentro del efluente líquido como consecuencia de la formación de espuma u otra alteración del manto de lodos causada por la generación de gas en el lecho de lodo que no se libera suavemente. La pérdida nociva de lodo se puede prevenir por la adición de una cantidad adecuada de una sal de hierro, por ejemplo, cloruro de hierro III (cloruro férrico). Niveles apropiados de sal de hierro son del orden anteriormente sugerido como apropiados para suministrar hierro como micronutriente y, por lo tanto, el hierro añadido puede servir con un doble fin.

45 Por tanto, un método de reducción de la pérdida de masa de microorganismos de un proceso anaeróbico metanogénico puede comprender la adición de hierro, por ejemplo, en la forma de una sal tal como cloruro de hierro III. Un cultivo iniciador de microorganismos para llevar a cabo una digestión anaeróbica se puede obtener comercialmente, a partir de suministradores que aplican los procesos anaeróbicos convencionales, tales como tratamientos de lodos de aguas negras. Sobre la aplicación de las condiciones del proceso el cultivo de microorganismos llega a estar adaptado, con organismos que encuentran las condiciones ventajosas en desarrollo a costa de aquellos que encuentran las condiciones adversas. Una vez que el proceso se ha hecho funcionar durante un periodo de tiempo, generalmente al menos unas pocas semanas o meses, el lodo se adopta de manera estable para su uso en la digestión del mismo o diferente materia prima.

50 Para las fases llevadas a cabo antes de la fase metanogénica se pueden encontrar apropiados microorganismos ubicuamente en el ambiente, especialmente en las corrientes de efluente acuoso (ricas en nutrientes) contempladas como materia prima para procesos de bebidas espirituosas que pueden producir crecimiento rápido de estos organismos, por ejemplo, 0,15 kg por kg de DQO eliminada. Por tanto, un reactor que lleva a cabo las etapas de fermentación preliminar, hidrólisis, acidogénesis y/o acetogénesis normalmente no requiere de un cultivo iniciador de los organismos.

65

Para la fase metanogénica se puede obtener una carga iniciadora de microorganismos, por ejemplo, a partir de un sistema de digestión anaeróbica empleado para tratar residuos sólidos en funcionamientos de estaciones depuradoras. Tales fuentes proporcionan un lodo que contiene bacterias mesófilas, las cuales llegan a estar acondicionadas por la materia prima y condiciones de funcionamiento para proporcionar una colección estable de microorganismos que producen eficazmente las salidas de alta calidad anteriormente discutidas. El acondicionamiento dará como resultado de manera natural la reducción o muerte de tipos de bacterias no capaces de utilizar eficazmente la materia prima como fuente de energía y el incremento en poblaciones de bacterias que pueden hacer uso de la materia prima como fuente de energía. Las bacterias mesófilas funcionan mejor a temperatura del orden de 35 °C a 40 °C, generalmente a aproximadamente 37 °C. La temperatura deseada se puede mantener dentro de la fase metanogénica mediante el uso de sistemas de calentamiento adecuados de la manera conocida, si se requiere.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 ilustra esquemáticamente el funcionamiento de un proceso de digestión anaeróbica.

Las Figuras 2 a 4 muestran diagramas de flujo esquemáticos de procesos de destilación de whisky de grano y de malta y las corrientes líquidas de desecho que se generan y se pueden someter a digestión anaeróbica según la presente invención.

Descripción detallada de la invención en referencia a los dibujos y realizaciones específicas

A continuación, la invención se describirá más en referencia a realizaciones específicas y dibujos acompañantes.

A continuación, se describe el procesamiento de una corriente de efluente acuoso que contiene componentes orgánicos solubles derivados del funcionamiento de una destilería. Después de la fermentación de una mezcla de agua/grano y destilación para eliminar el contenido en alcohol, se separó el residuo acuoso de los sólidos (se separaron tanto el grano como la levadura gastados, generalmente por el uso de prensas de filtro, en este ejemplo).

Una composición normal de la corriente acuosa de efluente de destilación de grano se muestra en la Tabla 1 de a continuación. Esta es la corriente líquida de sólidos solubles mostrada en la Figura 2. Los datos se basan en el funcionamiento de una destilería con un proceso de fermentación alcohólica que funciona con 65 a 70 grados de gravedad original.

Las Figuras 3 y 4 muestran corrientes líquidas alternativas (residuo de destilación (*pot ale*) y/o mosto de jarabe claro (*pot ale syrup*)) que se pueden emplear en el proceso según la presente invención

Tabla 1

Nº	Corriente de efluente soluble de destilería	Valor
a	Color pajizo claro con aroma de cereal cocido	-
1	Demanda Química de Oxígeno	40.000 mg/l
2	Demanda Biológica de Oxígeno	20.000 mg/l
3	Intervalo de pH (natural)	3,7 a 4,2
4	Temperatura de alimentación a reactor acidogénico – °C	38 °C
5	Sólidos totales	5,0 %
6	Sólidos suspendidos totales	0,25 %
7	Tipo de sólidos suspendidos	Sólidos de cereal traza, células de levadura
8	sólidos disueltos	4,75 %
9	Tipo de sólidos disueltos	Orgánico, ceniza mineral traza
10	Descomposición de sólidos disueltos – datos composicionales normales Expresado como % sobre base seca; Intervalos normales como +/- 5 a 10 %	Proteína – alrededor de 15 % Carbohidrato – alrededor de 70 % Aceite – alrededor de 3 % Ácidos orgánicos – alrededor de 1 % Glicerol – alrededor de 3 % 250 mg/l de magnesio 60 mg/l de amonio 300 mg/l de fosfato 3 mg/l de azufre

La Figura 1 muestra esquemáticamente un aparato adecuado para un proceso de digestión anaeróbica continuo según la presente invención. El aparato puede ser de la forma descrita en más detalle en el documento US6395173.

Un aparato de esta forma se suministra para la digestión de un líquido del tipo anteriormente descrito en la Tabla 1.

La fase metanogénica tiene un volumen de proceso de aproximadamente 8.700 m³. El tiempo de retención hidráulico en la fase metanogénica se esperó que fuera del orden de 3 días ya que se contaba con un reciclado significativo como un requerimiento por los suministradores del reactor. El precedente volumen del proceso acidogénico era de 720 m³, dando un tiempo de retención hidráulico del orden de 24 horas durante esa fase (no se aplica reciclado a la fase acidogénica).

Al funcionar de la manera convencional con un reciclado substancial el aparato tenía una carga de diseño de 3,5 kg de DQO m⁻³ día⁻¹. En el funcionamiento se esperaba que se eliminara el 70 % de esta carga de DQO mediante el proceso convencional y se esperaba que el biogás resultante tuviera un contenido de metano de 60 a 75 %.

En la práctica, cuando se usó un nivel convencional de reciclado y sin adiciones de metales el proceso no se realizó bien. Se encontró un alto nivel de ácido propiónico en el fluido de reciclado y se encontró baja alcalinidad de bicarbonato natural (generalmente, una cantidad insignificante) en la fase metanogénica. A la vez la conversión de DQO era escasa y también se redujo la calidad de biogás una medida de contenido de metano. Por tanto, funcionando como se planeó daba como resultado baja eficacia.

Por ejemplo, durante un periodo donde se aplicó una corriente de reciclado a 6:1 los niveles de ácido propiónico en el reciclado fueron altos (1 a 3 kg m⁻³) y, por consiguiente, tuvieron un efecto inhibitorio sobre la fase metanogénica del proceso anaeróbico. Esta corriente de reciclado también contribuye a la carga de DQO (carga de DQO de fase metanogénica = DQO de la alimentación + DQO de la corriente de reciclado). Este flujo combinado (reciclado y alimentación) también tiene un impacto sobre el tiempo de retención hidráulico como se discutió previamente.

La descomposición de DQO y el contenido de metano del biogás eran generalmente bajo, ambos en la región de 65 a 70 %.

Durante los funcionamientos con este reciclado se indicó que no había alcalinidad de bicarbonato presente en el reactor.

La respuesta convencional cuando se encuentra escasa realización como esta sería incrementar el reciclado o disminuir la concentración de alimentación, con una pérdida resultante en la producción del proceso. Sin embargo, el incremento del reciclado incluso hasta 12:1 no mejoró la eliminación de DQO.

Sorprendentemente una vez que se redujo el reciclado y al final se paró, para seguir el proceso de la invención, se observaron un número de cambios fundamentales. La alcalinidad de bicarbonato subió rápidamente a >4.000 mg l⁻¹, y los niveles de ácido propiónico en la salida del reactor se redujeron a menos de 100 mg/litro. También se observaron reducción mejorada de DQO, mejor calidad de biogás y cristalización de estruvita. El solicitante actualmente está haciendo funcionar 3 reactores de dicha manera y está produciendo aproximadamente 17.500 mg³ de biogás por día por reactor. Esto es equivalente a 11.300 m³ de metano por día en una cantidad de metano al 65 % en el biogás. El biogás producido se usa para hacer funcionar dos motores de gas Jenbacher, los cuales producen un total de 150 MW de electricidad por día. Estos reactores se han hecho funcionar continuamente sin parada desde el 2009. Se espera que se pueda generar más gas y electricidad, pero la actual limitación es la cantidad de alimentación disponible para proporcionar a los generadores, actualmente aproximadamente 45 toneladas de DQO están siendo eliminadas por reactor por día.

Como se muestra en la Figura 1, en el funcionamiento según la invención, una alimentación de corriente de desecho acuosa 1, por ejemplo, similar a la de la anterior tabla 1 se pasa dentro de un tanque de equilibrio 2 que proporciona un volumen tampón de entrada al proceso anaeróbico y puede solucionar las inconsistencias en la salida de los procesos corriente arriba.

El tanque de equilibrio 2 sirve como un volumen tampón ya que puede permitir que el proceso continúe incluso si la alimentación 1 se interrumpe o es intermitente. A continuación, la salida 3 del tanque de equilibrio 2 (del orden de 50 m³ por hora) entra en un tanque "acidogénico" 4 que contiene organismos en el que se producen ácidos grasos volátiles y, a continuación, se descomponen a ácido acético. La salida 6 del tanque 4 (a un pH del orden de 3,5) es la entrada para un gran tanque 8 de proceso metanogénico en dos fases que puede ser de construcción concreta cubierto por una campana de gas de lámina flexible 10. Generalmente el tanque de proceso 8 se enterrará o se enterrará parcialmente en la tierra.

El tanque 8 de proceso se configura para funcionar como un reactor anaeróbico de flujo ascendente de manto de lodos (UASB), en este ejemplo con dos fases.

EL UASB 8 está dividido por una pared 12 (que tiene pasos para que el fluido pase a través) en dos subunidades, una primera subunidad 14 de alta carga de DQO y una segunda subunidad de baja carga de DQO. Un manto de lodos de organismos metanogénicos 18 se proporciona en cada subunidad 14, 16 del tanque 8.

En la práctica, la salida 6 de la fase acidogénica/acetogénica se suministra hacia arriba en varias localizaciones dentro del tanque 8 como en un proceso convencional en el extremo de entrada del tanque, es decir, dentro de la primera unidad 14 de alta carga de DQO (no se muestran entradas múltiples para mayor claridad). Se pueden proporcionar deflectores en la primera unidad 14 para ayudar a mezclar. Algo de la salida 6 (generalmente una pequeña cantidad) también se puede suministrar a la subunidad de baja DQO, para mantener la salud de los microorganismos contenidos dentro los cuales, si no, se pueden morir de hambre. Los microorganismos en el manto de lodos 18 digieren la entrada 6 produciendo un biogás 20 que contiene 75 % a 85 % de metano, siendo el resto la mayoría CO₂ con pequeñas cantidades de H₂S y amoníaco. El biogás 20 se puede purificar (separar del componente de azufre) y, a continuación, se usa como combustible, por ejemplo, en un motor de gas conectado a un generador para producir electricidad. El calor de desecho de los gases de escape se puede usar en turnos, por ejemplo, para generar energía de vapor útil.

La entrada 6 a UASB 8 fluye gradualmente a través, saliendo por el separador laminar 22 como una corriente de efluente 24 que se puede descargar a desagüe después de algún procedimiento de clarificación menor, que puede incluir separación de estruvita. La estruvita producida tiende a cristalizar fuera de la corriente de efluente 24 después de que salga del separador laminar 22 posiblemente debido a una subida en el pH. La separación de estruvita puede ser, por ejemplo, mediante el uso de uno o más separados de hicrociclón indicados por la caja 26 colocada antes de la descarga a desagüe. Se puede alcanzar la producción de estruvita de unas 2,5 toneladas por día en el sistema descrito usando una alimentación similar a la de la tabla 1, con el factor limitante a la producción de estruvita que es la entrada de magnesio a partir de la alimentación. El separador laminar se usa de la manera conocida para separar el lodo llevado fuera del tanque 8 por el flujo a través de la corriente del proceso. El lodo húmedo del separador laminar normalmente se devuelve al tanque 8, por una línea 28 de retorno.

El proceso anteriormente descrito difiere del procedimiento convencional por no reciclar el efluente líquido 24 a una alta relación (convencionalmente 3:1 a 12:1) por la línea de reciclado 30 para el líquido a partir del separador laminar 22. En algunas circunstancias se puede emplear un reciclado limitado, en hasta 1:1 o incluso 2:1.

La adición de metales, generalmente hierro, cobalto y níquel se muestra que ayuda en la eliminación de DQO y la producción de biogás, siendo el beneficio del orden de 10 a 15 % de eliminación de DQO y la producción de metano equivalente que se iguala a 350 m³ por tonelada de DQO eliminada en STP. La adición de metales se llevó a cabo de acuerdo con los aspectos tercero y cuarto de la invención como se discutió anteriormente. También se mejoró la salud general del lecho de lodo y la solidez del proceso.

Al funcionar como se describió anteriormente se ha encontrado que el proceso es estable y fuerte con un nivel de eliminación de DQO del orden de 90 % a 95 %. La calidad de biogás es alta, generalmente 60 % a 75 % de metano. Otras características notables de un proceso que funciona de esta manera incluyen:

- Se puede usar una tasa de carga de 5 kg de DQO m⁻³ día⁻¹ o más;
- Un alto pH natural (7,2 a 7,4) consecuente a un nivel alto de bicarbonato natural (>4.000 mg por litro) que se puede mantener sin ajuste;
- El ácido propiónico inhibidor está ausente o permanece en baja concentración (<50 mg l⁻¹).

Ejemplo adicional

La planta piloto y los reactores a escala de laboratorio de los tipos anaeróbicos de flujo ascendente con manto de lodos se usaron para estudiar la digestión anaeróbica del suero de leche.

La digestión se llevó a cabo en dos fases usando reactores acidogénicos y metanogénicos distintos. Los reactores eran del estilo de columna cilíndrica.

El suero de leche se obtuvo a partir de una fuente local y tenía una DQO de alrededor de 80.000 mg por litro.

La tasa de carga de DQO era del orden de 5 m⁻³ día⁻¹ o ligeramente más.

Cuando el proceso anaeróbico funcionó con el reciclado normal la eliminación de DQO era del orden de 75 %.

Cuando el proceso anaeróbico funcionó sin reciclado se consiguió una eliminación de DQO del orden de 80 % con un rendimiento de metano de 0,33 m³ de metano por kg de DQO eliminada.

Los ensayos anteriores se llevaron a cabo sin la adición de metales.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para la digestión anaeróbica de una solución acuosa, o de un sistema en dos fases acuosa y en aceite, que tiene una concentración de DQO de 30 a 130 kg m⁻³, comprendiendo la etapa de someter la solución acuosa, o el sistema en dos fases acuosa y en aceite, a una fase metanogénica para que los organismos metanogénicos produzcan metano por digestión del material orgánico en la solución acuosa, o el sistema en dos fases acuosa y en aceite, y en el que una salida líquida de la fase metanogénica opcionalmente se recicla a no más de una relación de 2:1 de líquido reciclado:solución acuosa de entrada, o sistema en dos fases acuosa y en aceite, y en el que la DQO de una corriente de salida de la fase metanogénica se reduce a más del 70 % (tal como a del 90 % al 95 % o más) de la solución acuosa de entrada, o el sistema en dos fases acuosa y en aceite, en donde el proceso se lleva a cabo en un tanque cerrado o una laguna que contienen un lecho de lodo o de microorganismos suministrados por un flujo ascendente.
2. El proceso según la reivindicación 1, en el que la solución acuosa o el sistema en dos fases acuosa y en aceite son una corriente de efluente acuoso de destilación de bebida espirituosa.
3. El proceso según la reivindicación 1, en el que la solución acuosa o el sistema en dos fases acuosa y en aceite son una solución/un sistema procedentes de la producción de queso, la producción de azúcar o el procesamiento de hortalizas.
4. El proceso según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el proceso es un proceso continuo.
5. El proceso según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la salida líquida de la fase metanogénica no se recicla.
6. El proceso según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la fase metanogénica se lleva a cabo en un reactor seleccionado del grupo que consiste en reactores de lecho de lodo anaeróbicos, reactores anaeróbicos de flujo ascendente de manto de lodos, reactores de lecho fluidizado y reactores de lecho empaquetados.
7. El proceso según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la fase metanogénica es precedida por una fase acidogénica distinta.
8. El proceso según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo además el seguimiento (tal como por espectroscopía de masas con plasma inductivamente acoplado (ICP)) el contenido de al menos un micronutriente, en particular, al menos un metal micronutriente en la fase metanogénica del proceso anaeróbico, para que una cantidad de dicho al menos un micronutriente se pueda añadir a la fase metanogénica en respuesta a los resultados del seguimiento.
9. El proceso según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la fase metanogénica se lleva a cabo en dos fases, una fase de entrada de DQO al 70-90 % seguida de una fase de entrada de DQO al 30-10 %.
10. El proceso según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el tiempo de retención hidráulico en la fase metanogénica es desde 5 a 15 días.
11. El proceso según la reivindicación 8, en el que el seguimiento del contenido de al menos un micronutriente comprende:
- medir la cantidad del al menos un micronutriente en el material líquido sujeto a la digestión anaeróbica o en la alimentación a una fase metanogénica del proceso;
- medir la cantidad del mismo al menos un micronutriente en el efluente del proceso o procedente de la fase metanogénica del proceso; y
- estimar la cantidad del al menos un micronutriente a añadir a la fase metanogénica para mantener el crecimiento de microorganismos en la fase metanogénica basándose en la diferencia entre la cantidad en el material líquido o la alimentación y la cantidad en el efluente y en el crecimiento esperado de los microorganismos en la fase metanogénica.
12. El proceso según la reivindicación 11, en el que el al menos un micronutriente se selecciona del grupo que consiste en hierro, cobalto, níquel, vitaminas y selenio.
13. El proceso según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo además la recogida de estruvita sólida (NH₄MgPO₄·6H₂O) después de la fase metanogénica del proceso.
14. El proceso según la reivindicación 13, en el que tras la salida de la fase metanogénica de una corriente de salida, al menos una parte del dióxido de carbono se desprende de la corriente de salida y se obtiene estruvita.

15. El proceso según las reivindicaciones 13 o 14, en el que la corriente de salida se transporta a lo largo de tuberías o cañerías flexibles, para prevenir o minimizar la formación de estruvita sobre una superficie interna de una cañería o una tubería y/o en el que la corriente de salida se filtra o se somete a un proceso de hidrociclón para aislar la estruvita de la corriente de salida y/o en donde la corriente de salida después de la separación de estruvita se procesa adicionalmente mediante concentración del líquido o evaporación para dar un producto sólido que comprende nitrógeno, fósforo y potasio.
- 5

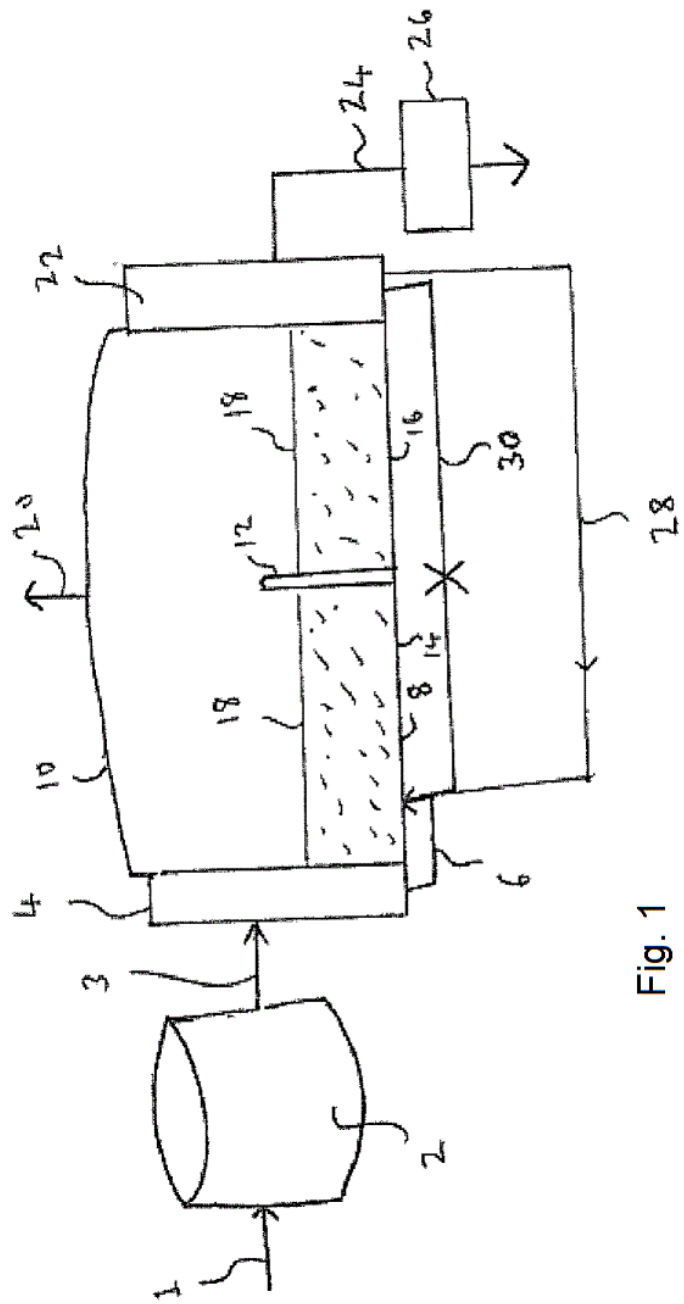
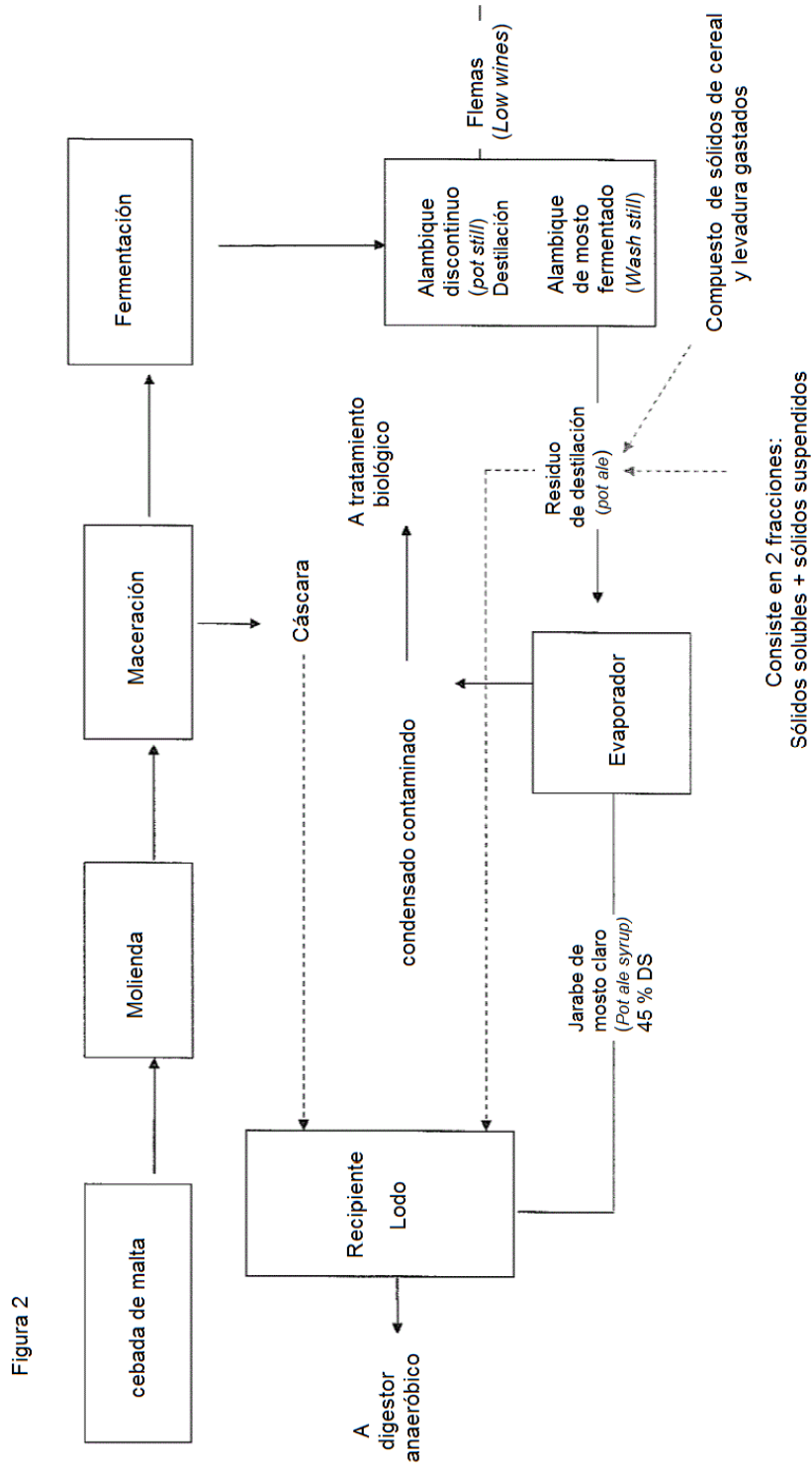


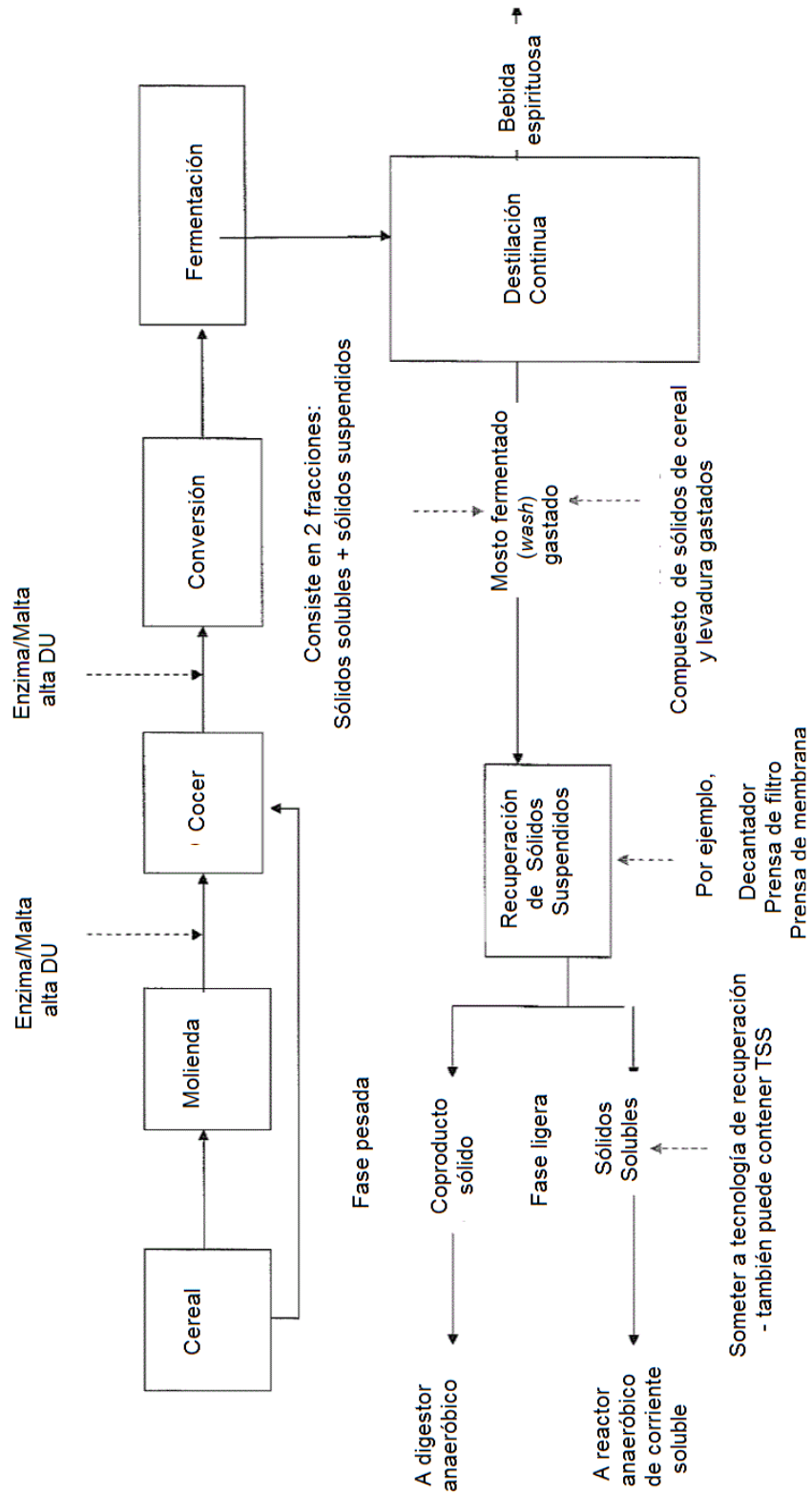
Fig. 1

Proceso de destilación de malta



Destilación de grano

Figura 3



Grano en alambique discontinuo

Figura 4

