



Digestión Anaerobia

Ficha Técnica de Tecnología

Introducción

El objetivo de las fichas técnicas de tecnologías es recopilar y disponibilizar la información asociada a las distintas tecnologías existentes para la valorización de residuos, que facilite la toma de decisiones de los productores y otros interesados en la selección de las posibles alternativas.

La información presentada tiene un carácter orientativo para la evaluación de las tecnologías. Se recomienda que los generadores de residuos realicen un análisis en profundidad de las condiciones propias de generación de los residuos, sus características, y la disponibilidad de recursos para la implementación de las alternativas.

La información aquí presentada puede ser complementada con las Fichas Técnicas de Residuos por Sector, según corresponda disponibles en: <http://biovalor.gub.uy/>.

Descripción

La digestión anaerobia es la descomposición de la materia orgánica a través de una asociación de microorganismos en ausencia de oxígeno. Como producto de esta descomposición se obtiene un gas combustible, mezcla de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), y un sólido estabilizado (digestato), que puede ser utilizado como bioabono o mejorador de suelos.

La digestión anaerobia comprende múltiples procesos relacionados entre sí, que involucran distintas poblaciones de microorganismos. Las moléculas más complejas deben ser primero hidrolizadas en moléculas más sencillas (azúcares, lípidos y proteínas), que en pasos subsiguientes se transforman en ácidos grasos volátiles (AGV), hidrógeno y dióxido de carbono; culminando con los procesos de metanogénesis a partir de ácido acético para la producción de CH_4 . En el tratamiento de sólidos, el proceso de hidrólisis del material particulado posee una importancia especial y puede comprender la etapa limitante.

Tipo de residuos

En principio, todos aquellos residuos y efluentes que posean un alto contenido de materia orgánica biodegradable, podrían ser aplicados a un sistema de digestión anaerobia. Se pueden destacar, entre otros, los siguientes residuos a ser incorporados en sistemas de digestión anaerobia:

- Efluentes y residuos de tambos
- Efluentes y residuos de establecimientos de cría de porcinos
- Suero y barros grasos de la industria láctea
- Efluentes de frigoríficos

A continuación se presentan algunos datos orientativos sobre valores promedio de los principales parámetros de distintas corrientes de residuos para el diseño de sistemas de digestión anaerobia de residuos para el aprovechamiento de biogás.

Sector	Residuo	Sólidos totales (%)	Sólidos volátiles (% b.s.)	Potencial de Metanización (L _{CH4} /kg _{SV})
Tambos	Estiércol	15 – 25	45 – 75	160 – 240
Cría de porcinos	Estiércol	25 – 45	82 – 90	320 – 640
Industria Láctea	Suero	4 – 7	90 – 95	220 – 250
	Barros grasos	20 – 30	95 – 99	300 – 500
Avícolas	Estiércol	25 – 40	60 – 75	220 – 340

La generación de biogás y la cantidad de energía eléctrica o térmica puede ser determinado según la siguiente ecuación:

$$BG = M \cdot \frac{\%ST}{100} \cdot \frac{\%SV}{100} \cdot \frac{\%Met}{100} \cdot B_0 \cdot \frac{100}{\%CH_4}$$

$$EE = BG \cdot PCI_{CH_4} \cdot \frac{\%CH_4}{100} \cdot \eta_{el}$$

$$ET = BG \cdot PCI_{CH_4} \cdot \frac{\%CH_4}{100} \cdot \eta_{et}$$

BG: Producción de biogás (m³/año)

M: Cantidad de residuos que ingresan al sistema de digestión anaerobia (kg/año)

%ST: Contenido de sólido totales en los residuos (%)

%SV: Contenido de sólidos volátiles en los residuos (% de ST)

%Met: Nivel de metanización de los residuos (%).

Depende de la temperatura de la digestión anaerobia. A 28 °C se puede asumir un 75 %.

B₀: Potencial de metanización (L_{CH4}/kg_{SV})

%CH₄: Contenido de CH₄ en el biogás

PCI_{CH4}: Poder calorífico inferior del CH₄ (8.520 kcal/m³)

η_{el}: Eficiencia de generación de energía eléctrica. Depende del equipo de generación.

Para motores de combustión interna se puede asumir entre 0,3 y 0,35.

η_{et}: Eficiencia de generación de energía térmica

Puede encontrarse entre 0,7 y 0,8 si se usa el PCS, y entre 0,8 y 0,9 si se usa el PCI.

Parámetros de control

De los residuos

Sólidos Totales (ST) / Humedad	<p>El agua de los residuos es imprescindible para el desarrollo de los microorganismos, aunque el aumento del contenido de humedad provoca un aumento en el volumen necesario del biodigestor.</p> <p>En general, la digestión anaerobia se realiza para residuos con contenidos de sólidos por debajo de 10 %, de forma de facilitar los procesos de bombeo y agitación, aunque existen tecnologías que permiten el tratamiento de mayor contenido de sólidos.</p>
Sólidos Volátiles (SV)	<p>La relación entre los sólidos volátiles y los sólidos totales, indica la biodegradabilidad de un residuo. En general, los residuos con un contenido de sólidos volátiles menor a 60 % de ST no se consideran adecuados para digestión anaerobia.</p>
Relación C/N	<p>La relación entre el contenido de carbono y nitrógeno indica la disponibilidad de los nutrientes necesarios para alcanzar la degradación óptima de la materia orgánica. En general, se recomienda una relación entre 20 y 25.</p>
Producción de biogás	<p>Si bien la producción real de biogás depende de los parámetros con los que se lleve a cabo la operación, cada residuo posee su propio potencial máximo de producción de biogás de acuerdo a sus características específicas de degradabilidad. Para los residuos típicamente utilizados para digestión anaerobia, el potencial de producción de biogás varía entre 150 y 900 L/kg_{sv}.</p>

Operativos

Temperatura	<p>A medida que la temperatura aumenta, también aumenta el crecimiento y actividad de los microorganismos, acelerándose el proceso de digestión y dando lugar a mayores producciones de biogás. Por otro lado, grandes variaciones de temperatura pueden desestabilizar las condiciones del reactor, por lo que se requiere mantener una mezcla completa del reactor y control estricto sobre la temperatura.</p> <p>Existen tres rangos de temperatura de operación: psicrófilo (15 – 18 °C), mesófilo (25 – 35 °C) y termófilo (50 – 60 °C).</p>
--------------------	--

pH	<p>Los microorganismos metanogénicos son muy susceptibles a variaciones de pH. El pH óptimo para cultivos mixtos se encuentra en torno a la neutralidad (6,8 – 7,4).</p> <p>A valores bajos de pH se ve inhibida la acción de las bacterias metanogénicas, produciendo una acumulación de ácidos grasos volátiles. Las variaciones en el pH pueden provocar cambios en los equilibrios ácido-base y favorecer la formación de compuestos inhibidores.</p>
Presencia de tóxicos e inhibidores	<p>Las sustancias inhibidoras pueden formar parte de las materias primas o ser subproductos de la actividad metabólica de los microorganismos anaeróbicos.</p> <p>La digestión anaerobia se puede ver inhibida debido a la presencia de distintos compuestos: NH_3, H_2S, ácido acético, propiónico y butírico. La inhibición producida por estas sustancias depende del pH, ya que sólo las especies no ionizadas son causantes de la toxicidad microbiana.</p>
Agitación	<p>La agitación tiene como fin mezcla de sustrato fresco con la población microbiana, evitar la concentración puntual de los metabolitos del proceso, evitar la formación de espacios muertos dentro del biodigestor y uniformizar la temperatura y la densidad bacteriana.</p>
Tiempo de retención hidráulico (TRH) y velocidad de carga	<p>El tiempo de retención hidráulico se define como el volumen del biodigestor dividido por su carga volumétrica (caudal diario), e indica el tiempo de permanencia del sustrato dentro del sistema.</p> <p>La velocidad de carga se refiere al volumen de sustrato orgánico cargado del biodigestor y tiene una relación inversa con el TRH, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención.</p> <p>Estos son los principales parámetros en el diseño del sistema, dado que definen el volumen del biodigestor. En general, los sistemas se diseñan para lograr un TRH mayor a 30 días.</p>

Productos Obtenibles

Biogás	<p>Mezcla gaseosa formada principalmente de metano (55 – 70 %) y dióxido de carbono (30 – 45 %), que contiene trazas de otros</p>
--------	---

	<p>gases (H_2S, H_2, NH_3, etc.). Este puede ser aprovechado para la generación de calor, energía eléctrica o como combustible vehicular, dependiendo del uso que se quiere dar, el nivel de purificación requerido.</p> <p>El potencial de generación de biogás, así como su composición, depende tanto de las características del sustrato utilizado, como de las condiciones de operación llevadas a cabo durante la digestión.</p>
Digestato	<p>Producto resultante de la digestión anaerobia, cuyo contenido de materia orgánica es inferior al sustrato que ingresa a la operación, además de encontrarse estabilizada respecto a futuras transformaciones. Este material no presenta emisión de olores molestos ni compuestos orgánicos volátiles.</p> <p>El valor agronómico del digestato es de gran importancia debido a su contenido de nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) en su forma estable, lo que lo hace ideal para su aplicación al terreno como bioabono o mejorador de suelo. En comparación con los residuos, el digestato posee una mayor uniformidad y disponibilidad del contenido de los nutrientes, una mejor relación C/N y no presenta problema de olores molestos.</p>

Instalaciones necesarias

Existen diversas tecnologías disponibles para llevar a cabo la digestión anaerobia, tanto en lo que respecta al propio biodigestor, como a los distintos componentes auxiliares del sistema.

Lagunas Cubiertas	<p>Son básicamente lagunas anaerobias cubiertas por una membrana flexible, que sirve para el almacenamiento del biogás. La mayor limitación se da por la dificultad en lograr niveles adecuados de mezcla, para lo cual generalmente se incluye una recirculación externa.</p> <p>En general se utilizan para altos tiempos de retención (30 – 60 días) y bajo contenido de sólidos (3 %). En caso de altos contenidos de sólidos, se puede dar la acumulación de sólidos dentro de la laguna, provocando pérdidas del volumen útil y dificultades en la limpieza.</p>
Reactor tipo Flujo Pistón	<p>Reactores con una alta relación largo/ancho (> 5), en el cual el sustrato lo recorre linealmente cambiando sus características fisicoquímicas, bacteriológicas y la producción de biogás a</p>

	<p>medida que avanza el flujo.</p> <p>El diseño típico es el de tanque o laguna rectangular, cubierto con membrana flexible y calefaccionado desde el piso (rango mesofílico). Pueden contar con tabiques centrales para una circulación en U y tener un mejor aprovechamiento de la superficie.</p> <p>Pueden operar con contenido de sólidos relativamente altos (11 - 13 %), aunque sus principales limitaciones son debidas a las dificultades en el purgado del material inerte que se acumula en el biodigestor.</p>
Reactor tipo continuo agitado	<p>Consisten en tanques de hormigón, metálicos o de otros materiales, de forma cilíndrica, con una relación altura/diámetro bajo ($\approx 1,5$). Pueden operar a temperaturas mesofílicas o termofílicas y su agitación puede ser mecánica, hidráulica o por inyección de gas.</p> <p>Pueden operar con un rango amplio de contenido de sólidos (3 – 12 %, pudiendo llegar hasta 20 % para algunas aplicaciones).</p> <p>La eficiencia de digestión es generalmente mayor que en otros tipos de biodigestores, principalmente debido a que puede lograrse un mayor grado de mezcla del contenido del biodigestor.</p>
Reactor de manto de lodos y flujo ascendente (UASB)	<p>Estos reactores consisten básicamente en tanques de hormigón o metálicos, en el cual el ingreso de los efluentes se da por la parte inferior fluyendo de forma ascendente a través de un manto de lodos anaerobios.</p> <p>Generalmente se utilizan para un bajo contenido de sólidos (< 3 %) para evitar obstrucciones y no se recomienda para efluentes con altos contenidos de material graso, a no ser que se disponga de un sistema de extracción del material flotado.</p>

Entre los otros componentes periféricos o auxiliares que deben ser comprendidos en los sistemas de digestión anaerobia se incluyen:

- Antorcha
- Limpieza y purificación del biogás
- Equipos de compresión e impulsión del biogás
- Sistema de acopio del digestato
- Sistemas de aprovechamiento del biogás (térmico, eléctrico o vehicular)

- Laguna de acopio/separador de sólidos

Barreras para su implementación

Las principales barreras identificadas en nuestro país para la implementación de sistemas de digestión anaerobia con aprovechamiento del biogás, se basan principalmente en aspectos económicos vinculados a los niveles de inversión necesarios.

Dadas las escalas productivas predominantes en nuestro país, donde la gran mayoría de los establecimientos productivos son pequeños, la inversión necesaria para la implementación de este tipo de sistemas no logra ser compensado por el aprovechamiento de los productos obtenidos.

Por otro lado, para este tipo de escala productiva, donde gran parte de los establecimientos son pequeños y familiares, es muy difícil que los mismos cuenten con el personal capacitado para operar, mantener y controlar este tipo de instalaciones, que requieren de tiempo de dedicación y cierto nivel de experiencia y capacitación.

Por estas razones, una de las posibles soluciones a los problemas generados por la escala pequeña de producción puede darse al desarrollar modelos asociativos, que incluyan a diversos establecimientos productivos para co-digerir sus residuos, de forma que aumentar la escala del sistema. Si bien este tipo de modelo complejiza la logística, respecto a la recolección y transporte de los residuos, y el control del sistema, debido a la multiplicidad de actores implicados, de esta manera se mejora el factor de escala, además de lograr sinergia en la digestión de residuos de distinto origen.

Un aspecto de gran importancia que debe ser tenido en cuenta en los estudios de factibilidad y diseño de sistemas de digestión anaerobia se basa en el hecho que en las épocas de mayor frío, el biodigestor debe ser calefaccionado de forma de mantener la temperatura en los rangos típicos de operación. Por lo tanto, puede ocurrir que las épocas frías el biogás generado pueda ser utilizado en gran parte para la calefacción o que la operación se realice a una temperatura, con lo que se pierde eficiencia en la generación de biogás.

En cuanto a los aspectos de seguridad relativos a las plantas de producción de biogás, en Uruguay existe una la Norma UNIT 1212:2017, que establece los requisitos mínimos de seguridad aplicables a todas las instalaciones de biogás, donde se realice captación y uso del biogás proveniente de la digestión anaerobia de la materia orgánica de residuos. Si bien esta norma no tiene carácter obligatorio, se recomienda el uso para el diseño, construcción y operación de estos sistemas.

Referencias bibliográficas

1. **Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., Janssen, R., 2008.** Biogas handbook. University of Southern Denmark Esbjerg. ISBN 978-87-992962-0-0.

2. **Bioproa, 2015.** Identificación de residuos en el Uruguay pasibles de ser valorizados por digestión anaerobia y estimación de su potencial de metanización. Disponible en:
<http://biovalor.gub.uy/descarga/informe-tecnico-identificacion-residuos-uruguay/>
3. **FNR, 2010.** Guía sobre el Biogás Desde la producción hasta el uso. Ministerio Federal de Alimentación, Agricultura y Protección al Consumidor (BMELV), Alemania.
4. **Marti Herrero, J., Pino Donoso, M.A., Viquez Arias, J.A., 2017.** Guía para el diseño, construcción, operación, mantenimiento, seguimiento y control de plantas de biogás de pequeña y mediana escala enfocadas al sector lechero en Chile. Biogás en el sector lechero en Chile, ONUDI. Chile.
5. **MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF, 2011.** MANUAL DE BIOGÁS. Proyecto CHI/00/G32. Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables. Chile. ISBN 978-95-306892-0.