

# Relevamiento, evaluación y optimización de biodigestores

**DANIEL ALBERTO SPAHR**

Departamento Ingeniería Industrial | Grupo Investigación | Facultad Regional Córdoba | Universidad Tecnológica Nacional (UTN)

**JOSÉ FRANCISCO CARRIZO**

Departamento Ingeniería Industrial | Grupo Investigación | Facultad Regional Córdoba | Universidad Tecnológica Nacional (UTN)

**MACARENA BELINHA PATIÑO**

Departamento Ingeniería Industrial | Grupo Investigación | Facultad Regional Córdoba | Universidad Tecnológica Nacional (UTN)

**MARIA EUGENIA MANERA**

Departamento Ingeniería Industrial | Grupo Investigación | Facultad Regional Córdoba | Universidad Tecnológica Nacional (UTN)

**GINO SEBASTIÁN RUBIOLO**

Departamento Ingeniería Industrial | Grupo Investigación | Facultad Regional Córdoba | Universidad Tecnológica Nacional (UTN)

Proyecto: Código SCTyP: MSUTNCO0005158-Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado

## RESUMEN

*Un biodigestor, digestor anaeróbico, reactor anaeróbico, reactor biológico, como suele encontrarse su nombre, es un contenedor hermético que permite la digestión anaeróbica. Este es un proceso en el cual microorganismos descomponen material biodegradable, biomásas, en ausencia de oxígeno. Este proceso genera diversos gases, entre los cuales el dióxido de carbono y el metano son los más abundantes (dependiendo del material degradado). En biodigestores se aprovecha esta liberación de gases para luego ser usados como combustible. La intensidad y duración del proceso anaeróbico varían dependiendo de diversos factores, entre los que se destacan la temperatura y el pH del material biodegradado. Otro producto resultante de la biodigestión son biofertilizantes. Este proyecto está dirigido a lograr la optimización de biodigestores alimentados de biomásas residuales, resultantes de explotaciones industriales avícolas, no obstante, los resultados de esta investigación podrían aplicarse a muchos tipos de biomásas. El objetivo es aumentar el rendimiento de biodigestores, por ejemplo, aprovechando energía térmica proveniente de otros equipos, energía del sol, etc. buscando aprovechar energías que no serían utilizadas y optimizar la extracción de energía de las biomásas tratadas. La optimización busca en definitiva hacer posible la utilización de biodigestores en explotaciones donde los residuos son una carga económica, pero mejorando la eficiencia y rentabilidad respecto a biodigestores usados actualmente y en donde su rendimiento no resulte rentable, y tratar de aumentar el valor agregado de una explotación. Este grupo de investigación se unirá al existente GICAP (Grupo de Investigación en Control Avanzada de Procesos y Producción), que ya viene trabajando con biomásas y su tratamiento en busca de su reciclado y aprovechamiento energético, además que convertir los*

residuos en fertilizantes o bioabono. De este modo se podrán experimentar y desarrollar aplicaciones prácticas basadas en un Modelo Estándar de Proceso para ser aplicada a una Industria que genere residuos sin perder de vista que los desarrollos puedan aplicarse con idénticos beneficios en otras. Para lograr la optimización de un biodigestor investigaremos sobre los factores necesarios para que la biodigestión se produzca tales como, nivel de acidez, humedad, tamaños digeribles de la biomasa, y otros que se deben existir dentro del recinto, como temperatura y ausencia de oxígeno. El nivel de acidez determina como se desenvuelve la fermentación de la biomasa. La humedad, que debe contener la biomasa estará entre el 80% y 90%. Tamaños digeribles que mientras más chica más rápida la producción del biogás. La temperatura es muy importante para la producción de biogás, ya que los microorganismos que realizan la biodigestión disminuyen su actividad fuera de la temperatura ideal. El contenedor debe de estar perfectamente sellado para evitar que entre el oxígeno y de esta manera tener un procedimiento anaeróbico adecuado; también evita fugas del biogás. Para nuestra investigación vamos a comenzar analizando los componentes de un biodigestor. Cámara de digestión: El espacio donde se almacena la biomasa durante el proceso de descomposición. Cámara de biogás: El espacio donde se acumula el biogás antes de ser extraído. Pila de carga: La entrada donde se coloca la biomasa. Pila de descarga: La salida, sirve para retirar los residuos que están consumidos y ya no son útiles para el biogás, pero que se pueden utilizar como abono (bioabono). Agitador: Desplaza los residuos que están en el fondo hacia arriba del biodigestor para aprovechar toda la biomasa. Tubería de gas: La salida del biogás. Se puede conectar directamente a una estufa o se puede transportar por medio de la misma tubería a su lugar de aprovechamiento. A través del análisis minucioso de cada parte buscar la optimización de cada componente, incluso dotándolo de elementos auxiliares para lograrlo. También es objeto de este proyecto hacer un breve resumen histórico del diversos tipos y usos de biodigestores, que según registros comenzó con el interés científico por la manufactura de gas producido por descomposición natural de materia orgánica.

## PALABRAS CLAVE

Biomasa; energía; sustentable; reciclaje.

## Desarrollo

A continuación, expondremos los principales títulos del material fruto de la investigación.

## Evolución de la biodigestión

1776 - Alessandro Volta

Durante sus vacaciones en noviembre de 1776, en el lago Maggiore, Volta se encontraba remando con su bote, cuando quedó atascado en la vegetación cercana a la costa. Volta comenzó a remover el fondo del lago con una vara, y observo la aparición de burbujas en la superficie del agua. Recolectó el aire contenido en estas burbujas, para descubrir más tarde que ese gas era inflamable. Lo llamó «aire inflamable de los pantanos»: hoy lo conocemos como gas metano.

La posibilidad de generar la ignición de una mezcla de gases derivó en una invención, llamada pistola de Volta. Volta ideó un experimento, en el que incluía

ésta pistola, que combinada con un circuito eléctrico y un generador eléctrico, provocaría la ignición del gas recorriendo la señal eléctrica la distancia entre la ciudad de Como y Milán. En esta idea pueden distinguirse dos principios en los que se basan inventos posteriores: el motor de combustión interna y el telégrafo.

*1859/80/95 – Mouras Automatic Scavenger y Exeter (Inglaterra)*

En 1859 se construyó la primera instalación industrial de digestión anaerobia en una leprosería de Bombay (hoy Mumbai) en la India, aprovechando una fosa séptica. Este sistema fue denominado «Mouras Automatic Scavenger». Posteriormente se dio el primer desarrollo tecnológico con la introducción del «filtro anaerobio» en 1880. En 1895 en Exeter (Inglaterra) se emplea el biogás obtenido en una instalación de tratamiento de aguas residuales para alimentar farolas en las calles.

*1905 – Tanques Imhoff*

Tras las guerras mundiales comienzan a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de biogás cuyo producto se empleaba en tractores y automóviles de la época. En todo el mundo se difunden los denominados tanques Imhoff para el tratamiento de aguas cloacales colectivas. El gas producido se utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, en vehículos municipales y en algunas ciudades se lo llegó a inyectar en la red de gas comunal. La principal ventaja de este tipo de tanque sobre el tanque séptico es que los lodos se separan del efluente, lo que permite una sedimentación y una digestión más completa cuando trabajan correctamente.

*1927 y 30 – Ruhrverband y publicaciones*

*Sludge heating apparatus* o aparato de calefacción de separación de lodos.

*1945 – II Guerra Mundial y 1971*

Durante los años de la Segunda Guerra Mundial comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India, que se transforman en líderes en la materia. Esta difusión se ve interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles y recién en la crisis energética de la década del 70 se reinicia con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo incluyendo la mayoría de los países latinoamericanos.

*1980*

Mayores productores: China, India, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, EE.UU., Filipinas y Alemania.

*1990, en adelante*

Avances: Descubrimientos sobre el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico por estudios con microorganismos que actúan en condiciones anaeróbicas.

## Fundamentos de la fermentación metanogénica

### *Digestión anaeróbica*

La digestión anaeróbica es un proceso a través del cual microorganismos descomponen material biodegradable (orgánico, residuos líquidos que contengan material fermentable y con composición y concentración relativamente estable) sin oxígeno en el proceso. Dicho proceso libera distintos gases como el metano o el dióxido de carbono, siendo estos los más abundantes.

El proceso posee cuatro etapas:

#### 1. Hidrólisis

Dicha etapa puede ser el limitante de la velocidad global del proceso, en especial cuando se trata de residuos con alto contenido de sólidos. La materia orgánica no puede ser descompuesta por los microorganismos salvo que se hidrolice en compuestos solubles; la hidrolización se hace a través de enzimas extracelulares producidas por microorganismos hidrolíticos. La hidrólisis depende también de la temperatura del proceso, el tiempo de retención hidráulico, de la composición del sustrato (proteínas, grasas, carbohidratos) del tamaño de las partículas, del nivel de pH, etc.

#### 2. Fermentativa

En esta etapa fermenta la molécula orgánica soluble en compuesto que pueden ser utilizadas directamente por las bacterias metanogénicas y compuestos orgánicos más reducidos que deberán ser oxigenados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso. Lo importante es que las bacterias metanogénicas en esta etapa producen alimento para las bacterias acetogénicas, que actúan en la próxima etapa y también eliminan el oxígeno disuelto en el sistema.

#### 3. Acetogénica

Hay productos de la fermentación que pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos, mientras que otros (etanol, ácidos grasos volátiles y aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos como hidrógeno o acetato a través de bacterias acetogénicas.

#### 4. Metanogénica

Bacterias anaeróbicas estrictas actúan sobre los productos resultantes de las etapas anteriores. Los microorganismos metanogénicos anaeróbicos son los más importantes dentro de los organismos anaeróbicos existentes, ya que son los que forman o producen metano. Estos microorganismos completan el proceso de digestión anaeróbica mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente.

## Beneficios ambientales de la biodigestión

Existe una amplia variedad de usos, pero como es un derivado de la biomasa constituye una fuente de energía renovable. Hay diferentes beneficios derivados del proceso de conversión de residuos orgánicos en biomasa, entre los que se destacan ser una alternativa a la actividad agrícola, una mejor opción que la resultante de la degradación aeróbica; cuando los residuos orgánicos se someten a una degradación aeróbica, se generan compuestos de bajo poder energético, mucha de la energía se pierde y se libera a la atmósfera. La pérdida de energía de un proceso aeróbico es veinte veces mayor que un proceso anaeróbico. Otro de los beneficios que se observan es la reducción de la presión sobre rellenos sanitarios. Se reducen los costos de la disposición de residuos orgánicos y se obtienen subproductos como valor agregado. Además, el tratamiento anaeróbico de los residuos orgánicos contribuye a la protección de las aguas subterráneas, reduciendo el riesgo de lixiviación de nitratos; también elimina la emisión de olores molestos. Se observan beneficios sociales, económicos y ambientales.

## Factores determinantes en el proceso metanogénico

Los microorganismos, en especial los metanogénicos, son muy sensibles a los cambios en las condiciones ambientales. Muchas veces se evalúa el desempeño de un sistema anaeróbico en función de la tasa de producción de metano, por tal motivo se requiere de un cuidadoso monitoreo de las condiciones ambientales entre las que puede estar la temperatura, la materia prima, los nutrientes y concentraciones de minerales, pH (generalmente cercano a la neutralización) toxicidad y condiciones redox óptimas.

## Naturaleza y composición de la materia prima

La materia prima que se puede utilizar en la fermentación metanogénica puede ser de origen vegetal (maleza, forraje, rastrojos de cosechas), agroindustrial (salvado

de arroz, residuos de semillas), forestal (forestal, ramas, corteza), doméstico (basura), animal (estiércol, orina, residuos de pescado, residuos de mataderos).

## Análisis del digestato

La cantidad y calidad de la materia orgánica (MO) influye sobre los procesos físicos, químicos y biológicos que representan la base de la fertilidad de los suelos. No es recomendable incorporar directamente residuos orgánicos por los componentes patógenos que puedan contener y por el tiempo que se necesita para que puedan ser asimilados por las plantas. Es por ello que se utilizan bioprocesos para obtener un producto, algunos de ellos son: estabilizado; gran disminución de coliformes (ej.: *Escheruschia coli* sp.); buena calidad salina; gran actividad biológica; buen desarrollo de fermentos nitrosos.

Para obtener un buen digestato de valor agrícola es necesario realizar un análisis para poder mantener bajo control una serie de variables, a saber:

- Capacidad de intercambio de cationes (disponibilidad de nutrientes)
- Niveles de pH
- Contenido de sales solubles
- Contenido de MO

Los digestatos pueden ser clasificados de acuerdo con sus características en Acondicionador, Biofertilizante o Lodos de digestores.

*Acondicionador*: el objetivo es restituir al suelo la materia orgánica estable gracias al alto contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa. Previene la erosión y aumenta la permeabilidad. Genera las bases para los microorganismos que transforman los nutrientes para que sean aptos para los cultivos.

*Biofertilizante*: aporta minerales, aumenta la capacidad de retención de agua y el intercambio gaseoso. Puede presentarse como Biofert Líquido (proveniente de digestores continuos (ST<12 %)) o como Biofert Sólida (de digestores *batch* o semicontinuos). Son de muy baja densidad y resistencia mecánica.

*Lodos de digestores*: cada seis o doce meses se deben descargar los digestores de mezcla continua y por su neutralidad y materia orgánica estable se puede aplicar como biofertilizante o acondicionador. Son de muy baja densidad y resistencia mecánica.

## Dosificación

Existen principalmente tres sistemas de dosificación: uno de bajas dosis, otro de altas dosis y luego otro que es la combinación de los dos anteriores.

*Sistema de Manejo basado en Bajas Dosis:* necesita un periodo de transición para ir aumentando gradualmente los niveles de carbono orgánico, creando un *pool* de nutrientes y mejoramiento físico.

*Sistema de Manejo basado en Alta Dosis:* no considera un periodo de transición, obtiene la misma respuesta que el anterior, pero en menor tiempo.

Actualmente se utiliza un sistema intermedio para no sobrenutrir el sistema e inhibirlo o bien no darle el tiempo suficiente para su absorción y que se escurra.

Debe ser aplicado luego de la cosecha y de forma que minimice el área superficial expuesta al aire, debido a la volatilización del amoníaco. Depende de las exigencias nutricionales del cultivo más los niveles existentes en el suelo y el tiempo de absorción.

## Beneficios

- Baja la dependencia de fertilizantes químicos.
- Baja costos de producción.
- Minimiza el impacto de la explotación del ecosistema.
- Favorece el enraizamiento, aumenta el follaje, mejora la floración y el poder de germinación.
- Las esporas de los hongos son eliminadas gracias a los procesos de la digestión y la temperatura al crearles un ambiente hostil.
- A su vez, también se disminuye el número de semillas invasoras, permitiendo abaratar los costos en herbicidas.

## Tipo y gestión de biodigestores

### *Componentes de un digestor anaeróbico*

Reactor: el reactor corresponde al dispositivo principal donde ocurre el proceso bioquímico de degradación de la materia orgánica. El suelo del reactor está inclinado para que la arena, el material inorgánico sedimentable y la fracción pesada del afluente puedan ser extraídos del tanque. Los digestores modernos tienen cubiertas, fijas o flotantes, cuya misión es impedir que escapen olores, conservar la temperatura, evitar la entrada de oxígeno y recoger el gas producido.

Pueden estar contruidos de distintos materiales desde una piscina cubierta de HDPE, concreto, hasta acero inoxidable.

Entrada del afluente: normalmente, el afluente se introduce por la parte superior del digestor y el sobrenadante se extrae por el lado contrario.

Salida del efluente: puede haber de tres a cinco tubos de sobrenadante colocados a distintos niveles, o un único tubo con válvulas a distintos niveles, para su extracción. Por regla general, se elige aquel nivel que extraiga un efluente de mejor calidad (con la menor cantidad posible de sólidos).

#### *Sistemas de extracción de lodos*

Sistema de gas: los principales componentes del sistema de gas son: cúpula de gas, válvulas de seguridad y rompedora de vacío, apagallamas, válvulas térmicas, separadores de sedimentos, purgadores de condensado, medidores de gas, manómetros, reguladores de presión, almacenamiento del gas, quemador de los gases sobrantes.

Muestreador: esto permite la toma de muestras del lodo del digestor, sin pérdida de presión de gas, y sin crear condiciones peligrosas causadas por la mezcla de aire y gas del digestor, debido a que está sumergido unos 30 cm en el lodo del digestor.

Sistema de calentamiento del digestor: a medida que aumenta la temperatura, disminuye el tiempo necesario para que se produzca la estabilización del lodo. En general, los digestores modernos funcionan en un rango de temperaturas medias, entre 35 y 37° C, que corresponde a rango mesofílico.

Es esencial seleccionar una configuración de biorreactor que desacople el tiempo de retención hidráulico (TRH) del tiempo de retención de sólidos (TRS). Tal desacoplamiento contribuye a mantener de forma significativa una alta relación TRS/TRH que previene el lavado de microorganismos anaeróbicos de lento crecimiento.

## **Clasificación de los biorreactores o biodigestores anaeróbicos**

Existen una primera clasificación de los biodigestores, los de baja velocidad y los de alta velocidad, pero debido a que los de baja velocidad funcionan bajo condiciones no controladas y son poco eficientes nos vamos a centrar en los reactores de alta velocidad.



### *Reactor anaeróbico de alta velocidad*

Los digestores anaeróbicos de alta velocidad consisten esencialmente de un reactor continuo con agitación, que opera bajo condiciones mesofílicas o termofílicas. Algunos de los parámetros que se deben considerar para el funcionamiento de reactores anaeróbicos son:

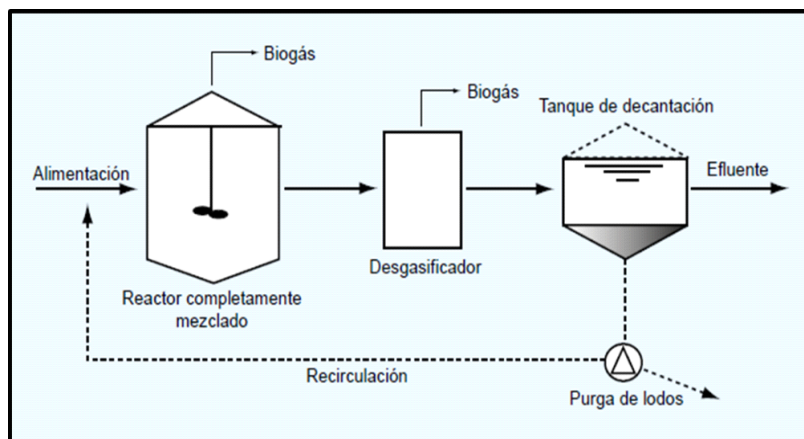
Tiempo de retención de sólidos (TRS): el tiempo de retención puede variar entre quince a treinta días para la digestión mesofílica y entre cinco a quince días para la digestión termofílica. El tamaño del digestor puede estimarse conociendo el volumen de residuos producidos. Es importante destacar que esta aproximación no considera las características del residuo.

Tasa de carga de sólidos volátiles (SV): la tasa de carga de SV es la aproximación más utilizada para dimensionar el digestor anaeróbico. Una tasa de carga de SV típica para una digestión mesofílica es de 1,6 – 4,8 kg/m<sup>3</sup>. día. Para un digestor termofílico, la tasa de carga de SV puede ser el doble de uno mesofílico.

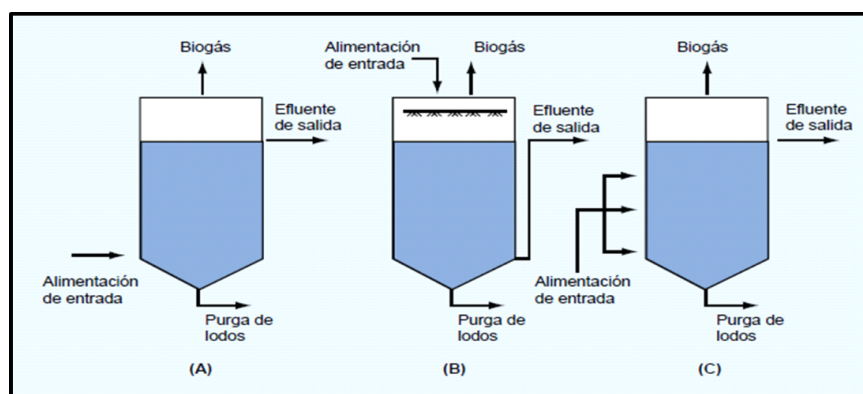
## **Reducción de sólidos volátiles**

### *Proceso anaeróbico de contacto*

El diseño del proceso anaeróbico de contacto (PAC) se compone de un reactor anaeróbico de tipo convencional con agitación, donde se pone en contacto el efluente que alimenta el reactor con la biomasa anaeróbica que existe dentro de él. La eficiencia de este sistema está estrechamente ligada con la buena sedimentación que se logre en el decantador, para lo cual puede colocarse un desgasificador antes de la entrada del líquido en tratamiento al decantador. El desgasificador permite remover las burbujas de biogás (CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>) adheridas a las partículas del lodo, permitiendo su mejor sedimentación. El lodo obtenido se concentra y recircula nuevamente hacia el reactor. Esto posibilita que el TRS en el sistema sea del orden de veinticinco a cuarenta días.



### Filtro anaeróbico



Dependiendo de la forma de alimentación, un filtro anaeróbico puede clasificarse como filtro anaeróbico ascendente (FAA), filtro anaeróbico descendente (FAD), o filtro anaeróbico de alimentación múltiple (FAM).

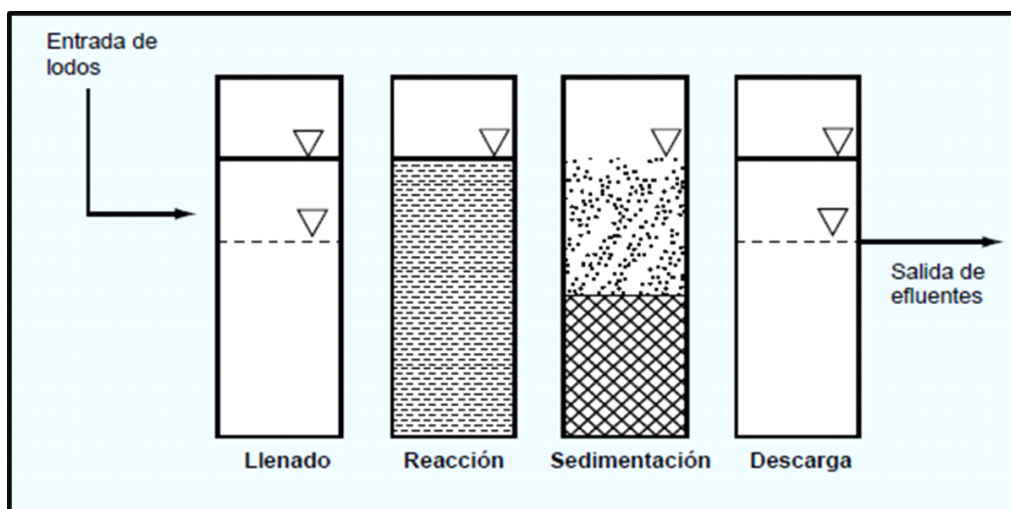
Filtro anaeróbico ascendente: opera en régimen continuo, la alimentación entra por la parte inferior del reactor, atraviesa todo el perfil longitudinal a través de un lecho de piedras a plástico y sale por la parte superior. En este tipo de reactores en filtros, se usa con más frecuencia es el plástico sintético o cerámicas con diferentes configuraciones. En estos reactores los microorganismos se agrupan formando gránulos. Estos densos agregados poseen unas buenas cualidades de sedimentación y no son susceptibles al lavado. La retención de lodo activo, en forma de gránulos o flóculos, permite la realización de un buen tratamiento incluso a altas tasas de cargas orgánicas. La turbulencia natural causada por el propio caudal del afluente y de la producción de biogás provoca el buen contacto entre agua residual y lodo en el sistema.

Flujo descendente (FAD): al operar el reactor con un flujo descendente, parte de la biomasa adherida se arrastra, debido a las fuerzas de fricción del líquido, lo que evita problemas de obstrucción de los canales, y permite además la utilización de la contracorriente entre la fase líquida y gaseosa. La contracorriente gas-líquido aumenta la mezcla y la homogenización del sistema impidiendo concentraciones localizadas de ácidos grasos volátiles (AGV) y otros inhibidores en determinadas zonas del reactor. La pérdida de sólidos en suspensión incluye la pérdida de biomasa activa en suspensión. De este modo, el TRS es igual al TRH.

Filtro anaeróbico de alimentación múltiple (FAM): en estos sistemas, la alimentación al reactor entra por diversos puntos a través del filtro. Las ventajas de este tipo de sistemas son:

- Permiten una distribución homogénea de la biomasa a través del lecho.
- Mantención de un régimen de mezcla completa a través de todo el reactor, lo cual previene obstrucciones y la acumulación de ácidos grasos volátiles.
- Utilización efectiva de todo el lecho del filtro

#### *Reactor anaeróbico en secuencia tipo batch*

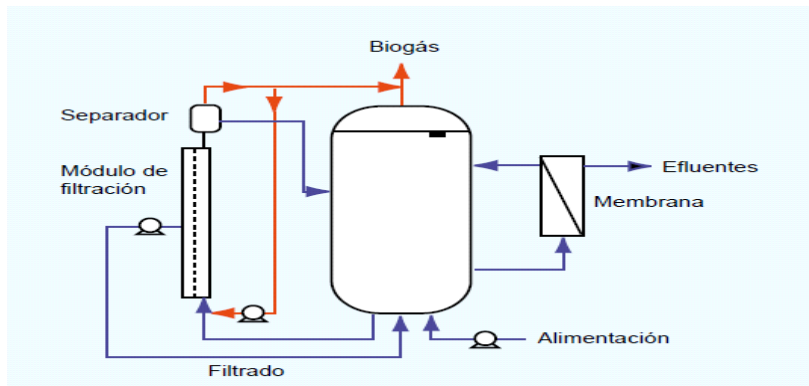


Este sistema funciona por ciclos y no en flujo continuo, donde cada ciclo de operación se divide en cuatro etapas como se observa en la figura. Este tipo de reactor presenta las siguientes ventajas:

- Presenta una gran flexibilidad de operación.
- Permite un mejor control del proceso y una mejor calidad del efluente, ya que la descarga puede ser llevada a cabo cuando el efluente presenta los estándares requeridos.

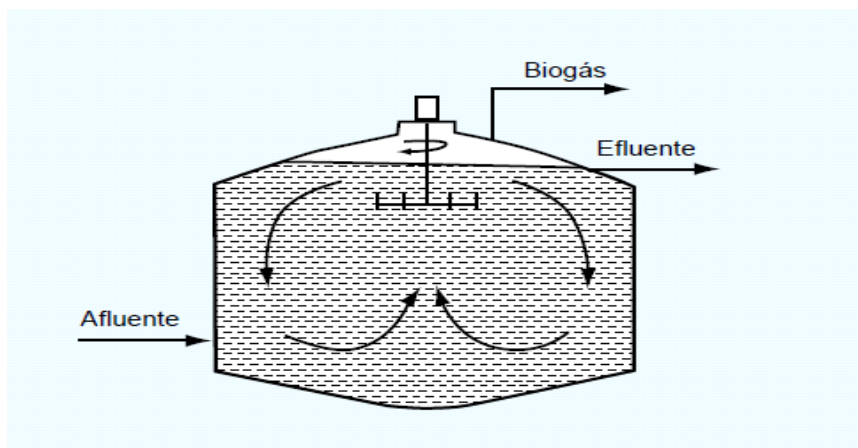
- La operación puede llevarse a cabo sin recirculación de sólidos ni de líquido.
- La etapa de sedimentación se realiza dentro del mismo reactor por lo que no es necesario una unidad aparte.

### *Biorreactor de membrana anaeróbica*



El biorreactor de membrana anaeróbica (BMA) integra una unidad de membrana dentro de un reactor o en un circuito externo para facilitar la separación sólido-líquido. Un BMA es capaz de retener biomasa y por ende puede operar a TRS extremadamente largos, independiente del TRH, lo cual es un prerrequisito para una operación de proceso anaeróbico exitoso.

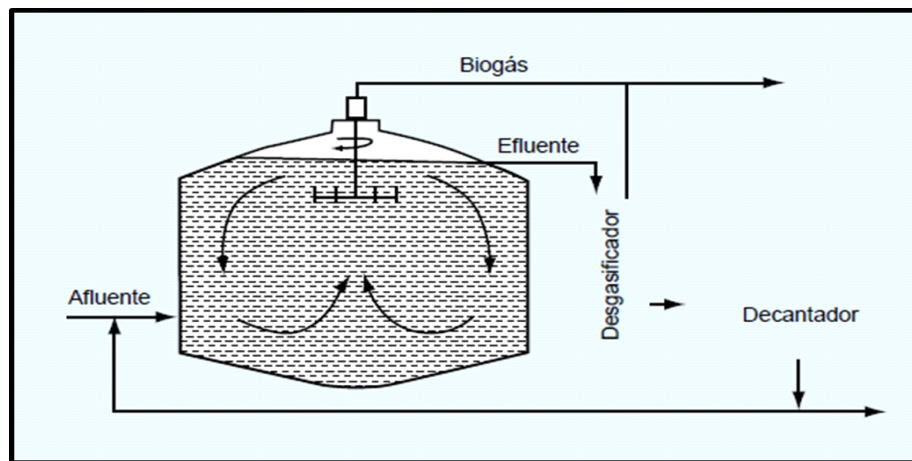
### *Digestor de mezcla completa sin recirculación*



Consiste en un reactor en el que se mantiene una distribución uniforme de concentraciones, tanto de sustrato como de microorganismos. Esto se consigue mediante un sistema de agitación. Ésta puede ser mecánica (agitador de hélice o

palas, de eje vertical u horizontal) o neumática (recirculación de biogás a presión), y se realiza a baja velocidad. Esta tipología de reactor no ofrece problemas de diseño y es el más utilizado para residuos. Comparativamente a otros reactores, el tiempo de retención necesario es alto.

### *Digestor de mezcla completa con recirculación*



Se comprueba que regulando la recirculación es posible conseguir tiempos de retención hidráulica más bajos que en un reactor simple de mezcla completa. Esto es a costa de aumentar el tiempo de retención de los microorganismos, gracias a su confinamiento en el sistema mediante la separación en el decantador y recirculación. Debido a la necesaria separación de microorganismos en el decantador, este sistema sólo es aplicable a aguas residuales de alta carga orgánica

## **Tecnología del biogás**

### *Funcionamiento y esquema operativo de un biodigestor*

El diseño de una planta de biogás depende de los siguientes parámetros:

- cantidad y del tipo de residuos disponibles
- condiciones de clima
- necesidades de biogás que se requiere
- ubicación
- materiales disponibles
- técnicas de construcción disponibles

Se debe definir el potencial de producción de biogás para definir su factibilidad considerando la forma de manejo del ganado y por lo tanto cual es la cantidad mínima de residuos que permita producir el biogás requerido para cubrir las necesidades planteadas.

Necesidades de biogás para una familia compuesta por 5 personas:

Cocinar (5 horas) .....	$0.30 * 5$ .....	1.50 m <sup>3</sup> /día
3 lámparas (3 horas) .....	$0.15 * 3 * 3$ .....	1.35 m <sup>3</sup> /día
1 refrigerador medio.....	$2.20 * 1$ .....	2.20 m <sup>3</sup> /día
	Total .....	5.05 m <sup>3</sup> /día

Para cubrir estas necesidades se requiere disponer de un determinado número de animales.

#### *Cálculos de cargas en función de materias primas*

Los distintos animales producen distintas cantidades de estiércol.

ANIMALES	CANTIDAD	PRODUCCIÓN (kg de estiércol/día)
<i>Bovinos</i>	13	127
<i>Porcinos</i>	39	85
<i>Aves</i>	365	65

Otra posibilidad es establecer una combinación de estiércoles, como, por ejemplo:

Número animales	kg estiércol/día	Biogás m <sup>3</sup> /día
2 bovinos	20	0.80
20 porcinos	45	2.40
250 aves	45	2.50
Total	110 kg/día	5.70 m <sup>3</sup> /día

Si resulta favorable la comparación entre las necesidades de biogás y el potencial de generación, se puede proceder al cálculo de la planta.

Estos materiales se incorporan al biodigestor diluidos en agua. La cantidad de agua a agregar dependerá de la cantidad de sólidos totales de las excretas frescas y del tipo de carga, es decir, si se opera con: cargas diarias (semi continuas) o con sistemas estacionarios (discontinuos o *batch*).

Para biodigestores rurales pequeños de carga semi continua, se recomiendan las siguientes mezclas:

Tipo animal	Estiércol: agua
Bovino	1:1
Porcino	1:3
Aves	1:3

El tamaño del digestor está en función de las cargas diarias y del periodo óptimo de fermentación. Este último parámetro dependerá de la temperatura media de cada región, así como de las variaciones de temperaturas diarias y estacionales.

#### *Capacidad de la planta de biogás*

Suponiendo que se tiene un potencial de biogás de 5.70 m<sup>3</sup>/día, generado por la combinación de estiércoles que dan un total de 110 kg/día, se debe calcular el volumen de la mezcla de agua-estiércol. Para el ejemplo propuesto, se tiene:

Animal	Kg estiércol + litros de agua	Mezcla litros/día
Bovinos	20 + 20	40
Porcinos	45 + 135	180
Aves	45 + 135	180
	Total mezcla	400 l/día

Considerando un tiempo de residencia de 35 días y que el volumen diario de la mezcla es de 400 litros, se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Volumen diario} * \text{Tiempo de residencia} &= \text{Volumen digestor} \\ 400 \text{ l/día} * 35 \text{ días} &= 14000 \text{ litros} \\ \text{Volumen digestor} &= 14 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

## Localización y diseño del digestor

Una decisión importante es la elección del lugar donde se construya una planta de biogás. Los factores más importantes son:

- Materia prima accesible y agua requerida suficiente para efectuar la carga diaria en el caso de digestores semi continuo.
- Cercanía del lugar de uso del biogás.
- Facilidad para el empleo del bioabono o su almacenamiento en caso de ser necesario.
- Topografía del sitio, así como las características del suelo y los niveles de las aguas subterráneas.
- Temperatura promedio mensual atmosférica.
- Tipo de invierno.

La velocidad de biodegradación de los residuos, así como la producción de biogás, dependen en gran medida de las características de la materia prima, del tiempo de retención, del porcentaje de sólidos totales y de la temperatura a la cual se lleva a cabo el proceso. En el caso específico del medio rural, la disponibilidad de residuos agropecuarios y el rango promedio de temperatura atmosférica dentro de los límites aceptables para la actividad de las metanobacterias, serán factores determinantes para definir áreas con posibilidades de implementar la tecnología del biogás.



## Etapa de arranque

En el caso de un proceso de carga continua, realizada en un solo depósito de digestión, correspondería a una fermentación de una sola etapa. La producción del biogás comienza después de cierto periodo (Tiempo de Retención Hidráulica) a partir de una carga inicial, en función del tipo de las materias primas y de la temperatura interna de funcionamiento del biodigestor. Las diferentes etapas para una correcta operación del biodigestor se pueden agrupar en:

### *Retiro del agua utilizada para la prueba de filtraciones*

Una vez finalizada la prueba con agua para comprobar que existen filtraciones en el biodigestor, se debe retirar parte del agua, dejando sólo  $1/3$  de la altura del digestor. Esta agua que se deja tiene por finalidad contribuir a diluir las materias orgánicas seleccionadas con que se cargará el digestor en la fase de carga inicial.

### *Preparación de la carga inicial o primera carga*

Este proceso se caracteriza por el llenado completo del digestor, a través de la parte superior que es removible, es decir, sin el depósito de almacenamiento de biogás. En tambores limpios de cualquier producto químico o combustible, se prepara una mezcla, en partes iguales, de residuos animales y/o humanos con residuos vegetales, como pajas, tallos, previamente trozados. Es necesario incorporar esta carga de materias orgánicas diluida con agua. La proporción final de sólidos totales debe estar cercana al 10 %.

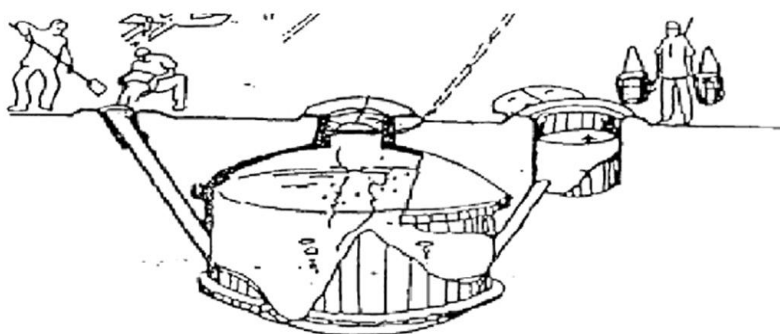
### *Término de la primera carga*

Antes de colocar la campana de gas, se debe remover la costra (material fluctuante) que suele formarse en la superficie. En caso contrario, si no enciende o quema mal, se debe eliminar todo el gas y repetir la prueba cada vez que se alcance una presión interna adecuada. Si después de treinta días (o 45 días, de acuerdo a la temperatura interna del digestor) de completada la carga de arranque, el gas que se genera no se quema, podría existir algún problema en la fermentación. Se debe verificar que no exista una acidificación excesiva de la carga (inferior a pH 6) o variaciones bruscas de la temperatura interna del digestor, materiales contaminados con productos químicos que pudieran alterar la actividad microbiana.

## Etapa de operación

Carga diaria normal: con el tubo de entrada tapado de la caja de carga, se prepara una mezcla de residuos (animales) con agua formando un lodo, el cual, debe contener como máximo entre 8 a 12 % de sólidos totales. El volumen total de esta mezcla está en función del volumen total del digester y del Tiempo de Retención Hidráulico. Se coloca un plástico transparente encima de la caja de carga y se deja reposar esta mezcla hasta el día siguiente; se espera la hora de mayor temperatura atmosférica, se retira el material fluctuante, se homogeniza la mezcla y se deja entrar al digester. El volumen (afluente) que entra, conlleva a que salga por el tubo de la caja de descarga igual volumen (efluente).

Figura 8.6. Esquema de carga diaria.



## Mantenimiento

Periódicamente se debe inspeccionar y verificar si existen filtraciones de agua o aire en los digestores de biogás, para proceder a su reparación. En los digestores de carga continua, por lo menos una vez al año, se debe vaciar completamente el digestor, retirando el lodo del fondo. Esto permite realizar lo siguiente:

- Tratamiento de roturas: cincelar las roturas en forma de V, raspar la superficie circundante; posteriormente llenar ese agujero en forma de V con cemento (1:1), compactar y aplicar dos o tres veces un enlucido hecho de una pasta de cemento puro.
- Cuando no se encuentran filtraciones, se debe lavar la cámara de fermentación y aplicar dos o tres capas de enlucido con una pasta pura de cemento.
- Si el enlucido está deteriorado o está deformado es necesario sacarlo y lavar las paredes; entonces volver a enlucir, aplicando una tras otra distintas capas de enlucido muy fino con una cuidadosa compactación.

- Cuando el agua freática penetra al biodigestor, es preciso aplicar una pasta salada con agua; se tapa el hoyo y se aprieta aplicando cemento con una cubierta de cenizas durante veinte minutos y entonces se remueve la cubierta. El cemento del enlucido con material salado se vuelve a aplicar, se vuelve a apretar con la envoltura y se repite este proceso tres veces.
- Cuando se produce una combinación de filtraciones en caños (tubos de entrada y salida) y cúpula, se cincela alrededor de la filtración y se saca el caño; entonces se vuelve a colocar cemento u hormigón de gravilla, haciendo fraguar localmente para que se fije el caño.
- Si el fondo se hunde o la pared se separa, se agrandará la resquebrajadura y se profundizará al máximo, rellenándose con una mezcla de hormigón con grava fina.
- Se debe revisar frecuentemente las juntas de la manguera para asegurar que no se filtre ni el agua ni el aire.
- Después del trabajo diario, se debe lavar el depósito donde se preparan las mezclas de materia primas con agua limpia.
- Si el depósito de descarga permanece sin uso por un período largo, se debe exponer al ambiente para evitar su corrosión interna.

## Resultados y discusión

Lo investigado es expuesto ante el propio grupo de investigadores, momento en que se discute y se decide si el material es adecuado. El próximo año seremos más específicos y haremos la conclusión centrada en la optimización de los biodigestores.

## Bibliografía

MINISTERIO DE ENERGÍA, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, & GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY. (2011). Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables. En *Manual del biogás*, <<http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>>