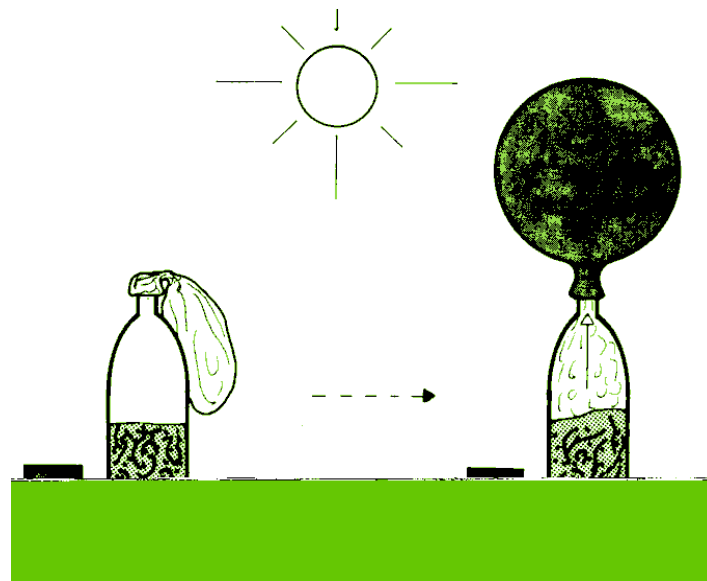


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE

Facultad de Ingeniería

Cátedra: Máquinas Térmicas II

Biomasa y Biogas



Realizado por los alumnos: **Álvarez, José M.**

Caneta, Luciano

Moyano, Carlos

La tecnología del Biogas

Una tecnología es apropiada cuando logra imponerse. Las plantas de biogas no cuentan aún gran aceptación. Estas con plantas sencillas no han sido, probablemente, bien adaptadas. Una planta de biogas es manejada y mantenida correctamente, si satisface las necesidades de reconocimiento y comodidad del dueño. Entonces está dispuesto a adaptarse a las necesidades de la planta de biogas.

La planta de biogas es apropiada para las condiciones técnicas y posibilidades económicas de los campesinos del Tercer Mundo. La tecnología del biogas está bien adaptada a las exigencias ecológicas y económicas del futuro, es una tecnología de avanzada.

Pero existe un problema de imagen, la planta de biogas está vista como para “gente pobre”, quien no quiere ser visto de esta forma no se compra una planta de biogas.

El constructor deberá contribuir con una buena construcción, garantizando su buen funcionamiento, debe ser un símbolo de desarrollo social, no de precariedad.

Tal vez la simplicidad de su concepto y construcción juega en contra, pero aún estamos lejos de alcanzar el tope del desarrollo de las plantas de biogas, y aún queda mucho por investigar acerca de lo que pasa dentro del digestor.

Gastos-Beneficios de la planta de Biogas

Una planta de biogas suministra energía y abono, mejora las condiciones higiénicas y no daña el medio ambiente, es una fuente de energía moderna que en el caso de las viviendas rurales, puede ser montada en el lugar donde se consumirá la energía, evitando los extensos y caros tendidos eléctricos rurales, es renovable y con un mínimo mantenimiento. No se necesita un alto grado de capacitación para operarla.

Pero todo lo antes citado es posible solamente si está bien construida.

Vamos a hacer un balance de los gastos de construcción medidos en energía producida por la planta:

- Para 1 m³ de mampostería se consume 1000 kWh o 180 m³ d biogas.
- Para 10 kg de acero se consume 1200 kWh o 200 m³ de biogas.
- Para 1 kg de pintura al aceite, 170 kWh o 28 m³ de biogas.
- Para 1 km recorrido en camión, 1.5 kWh o 1.05 m³ de biogas.
- Para 1 km recorrido en automóvil, 0.5 kWh o 0.35 m³ de biogas.

Para amortizar la inversión inicial, la planta debe funcionar por 2 años por lo menos.

En realidad, el verdadero beneficio será valuado por cada propietario en particular, ya que dependerá del valor y cantidad de combustible que reemplaza el biogás o el costo de la energía reemplazada.

Digestión anaerobia

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los componentes difíciles de degradar y los minerales inicialmente presentes en la biomasa.

La materia prima preferentemente utilizada para someterla a este tratamiento es la biomasa residual con alto contenido en humedad, especialmente los residuos ganaderos y los lodos de depuradora de aguas residuales urbanas.

Aunque la digestión anaerobia es un proceso ampliamente conocido en la práctica, se posee en la actualidad una información muy limitada sobre su química y su microbiología. Sin embargo, se puede afirmar en líneas generales que la digestión anaerobia se desarrolla en tres etapas durante las cuáles la biomasa se descompone en moléculas más pequeñas para dar biogás como producto final, por la acción de diferentes tipos de bacterias.

Las variables que influyen en el proceso son las siguientes:

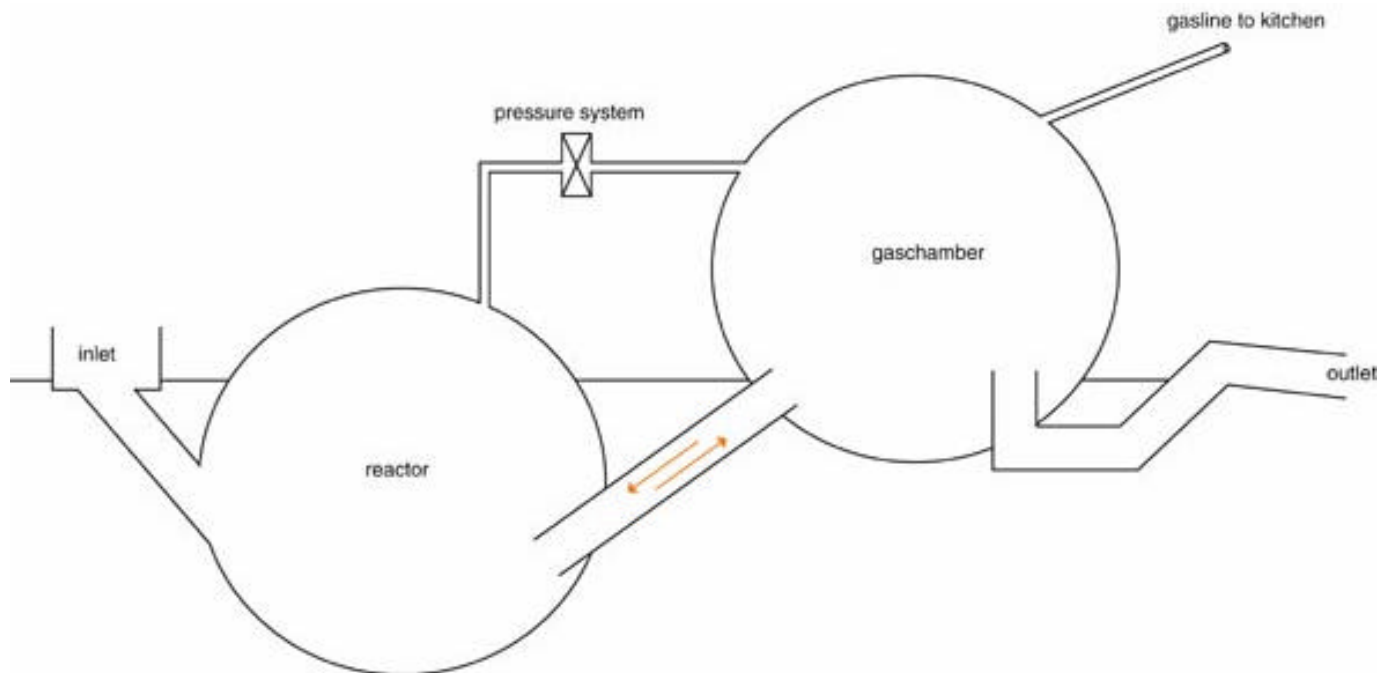
- Temperatura: se encuentra un óptimo de funcionamiento alrededor de los 35 ° C
- Acidez: determina la cantidad y el porcentaje de metano en el biogás, habiéndose encontrado que el valor óptimo de pH oscila entre 6,6 y 7,6
- Contenido en sólidos: se suele operar en mejores condiciones con menos de un 10% en sólidos, lo que explica que la biomasa más adecuada sea la de alto contenido en humedad
- Nutrientes: para el crecimiento y la actividad de las bacterias, éstas tienen que disponer de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y algunas sales minerales
- Tóxicos: aparte del oxígeno, inhiben la digestión concentraciones elevadas de amoníaco, sales minerales y algunas sustancias orgánicas como detergentes y pesticidas

El producto principal de la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano (50 a 70%) y dióxido de carbono (30 a 50%), con pequeñas proporciones de otros componentes (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno), cuya composición depende tanto de la materia prima como del proceso en sí. La cantidad de gas producido es muy variable, aunque generalmente oscila alrededor de los 350 l/kg de sólidos degradables,

con un contenido en metano del 70%. Aunque su potencia calorífica no es muy grande, puede sustituir al gas ciudad con ventaja, utilizándose en las siguientes aplicaciones:

- Fuente de calor (cocina, alumbrado)
- Combustión en calderas de vapor para calefacción
- Combustible de motores acoplados a generadores eléctricos

Por su parte, el efluente de la digestión está compuesto por diversos productos orgánicos e inorgánicos y se puede utilizar tanto en la fertilización de suelos, con excelentes resultados, como en alimentación animal, aspecto aún en vías de investigación.



El cieno de fermentación

Cada material de fermentación o material de carga se compone de:

- sustancias sólidas orgánicas,
- sustancias sólidas anorgánicas, y
- agua.

Con el agua aumenta la fluidez del material de fermentación, lo cual es importante para el funcionamiento de una planta de biogás. En un cieno de fermentación líquido, las bacterias de metano llegan con más facilidad al material de fermentación fresco. De ese modo se acelera el proceso de fermentación; por eso, con una agitación periódica aumenta la producción de gas.

Un cieno con 5 a 10 % de sólidos es apropiado, sobre todo, para el funcionamiento de plantas continuas.

Características del material de fermentación						
Clase de animal Material de fermentación	Cantidad diaria			% del material de ferm. fresco		C/N
	Aprox. Kg	Estiércol % peso en vivo	Orina % peso en vivo	% MS	% MOS	
Vacunos	8	5	4	16	13	25
Búfalos	12	5	4	14	12	20
Cerdos	2	2	3	17	14	13
Ovejas	1			30	20	30
Caballos	10			25	15	25
Gallinas	0.08			25	16	5
Humanos	0.5			20	15	8
Paja / Tamo					~ 80	70
Hojas / Pasto					~ 80	35
Jacinto de Agua	25 kg/m ²			7	5	25

Ejemplo: Estiércol fresco de ganado vacuno contiene 16% de material sólido y 84% de agua. El estiércol de vacuno es mezclado con agua en una proporción de 1 : 1. El cieno de fermentación listo tiene entonces 8% de material sólido y 92% de agua.

Todos los materiales de fermentación están compuestos en su mayor parte por carbono (C) y contienen nitrógeno (N). La relación C/N influye sobre la producción de gas ; esta será óptima cuando C/N oscile entre 20:1 y 30:1 .

Por ejemplo, el estiércol de gallina (alto N) mezclado con tamo de arroz, da una elevada producción de gas.

Si se sospecha que la digestión esta siendo perturbada por sustancias tóxicas, se debe agregar agua o material de fermentación, para así disminuir la concentración.

El efluente como fertilizante

En la digestión anaerobia (DA) el N gaseoso se transforma en amoníaco (NH₃), y diluido en agua esta a disposición de las plantas como nutriente.

Un efluente líquido es más rico en N y potasio, mientras que otro mas espeso, como el obtenido de paja y pasto fermentado es relativamente mas rico en fósforo. Balanceando estas características se puede obtener un buen fertilizante.

La relación de nutrientes sería: N: P₂ O₅: K₂O = 1:0,5:1.

Un barro de baja relación C/N tiene mejores propiedades fertilizantes.

El análisis de los resultados de la aplicación del efluente como fertilizante no es extrapolable, siendo conveniente basarse en ensayos propios. De todas maneras, datos fiables se pueden obtener después de 3 a 5 años.

Con varios años de abono se puede notar un mejoramiento en la estructura del suelo, aumenta la proporción de materia orgánica y le permite almacenar más agua. De ser necesario almacenar el abono habrá que cubrirlo para que el N no se volatilice.

Características del Biogas

El biogas es un poco más liviano que el aire y posee una temperatura de inflamación de alrededor de los 700 ° C (Diesel 350 ° C, gasolina y propano cerca de los 500 ° C). La temperatura de la llama alcanza 870 ° C. El biogas está compuesto por alrededor de 60 % de metano (CH₄) y 40% de dióxido de carbono (CO₂). El biogas contiene mínima cantidades de otros gases, entre otros, 1% de ácido sulfhídrico (H₂S).

Entre más largo es el tiempo de retención, más alto es el contenido de metano, y con esto el poder calorífico. Con tiempos de retención cortos el contenido de metano puede disminuir hasta en un 50%. Con un contenido de metano mucho menor del 50%, el biogas deja de ser inflamable.

El primer gas de una planta recién cargada contiene muy poco metano, por esa razón el gas producido en los primeros 3 a 5 días se debe dejar escapar sin utilizarlo.

El contenido de metano depende de la temperatura de fermentación. Con bajas temperaturas de fermentación se obtiene un alto porcentaje de gas metano, pero las cantidades de gas son menores.

El porcentaje de metano depende del material de fermentación, alcanzando los siguientes valores aproximadamente:

Estiércol de gallina	60%
Estiércol de cerdo	67%
Estiércol de establo	55%
Pasto	70%
Desperdicios de cocina	50%

Plantas de biogas

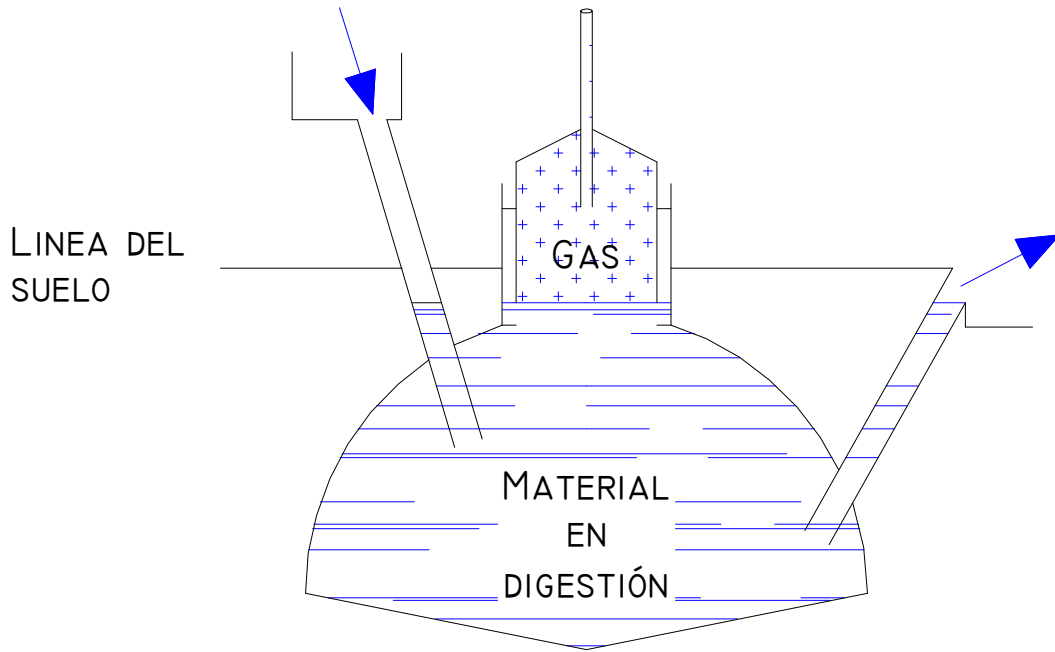
Las plantas para la producción de biogas se pueden clasificar en:

- discontinuas o de Batch, estas son cargadas una vez y vaciadas por completo después de un tiempo de retención; el abastecimiento continuo de gas con estas plantas se logra con depósitos de gas o con varios digestores funcionando a la vez.
- continuas, estas se cargan y descargan en forma periódica, por lo general diariamente, el material de fermentación debe ser fluido y uniforme.

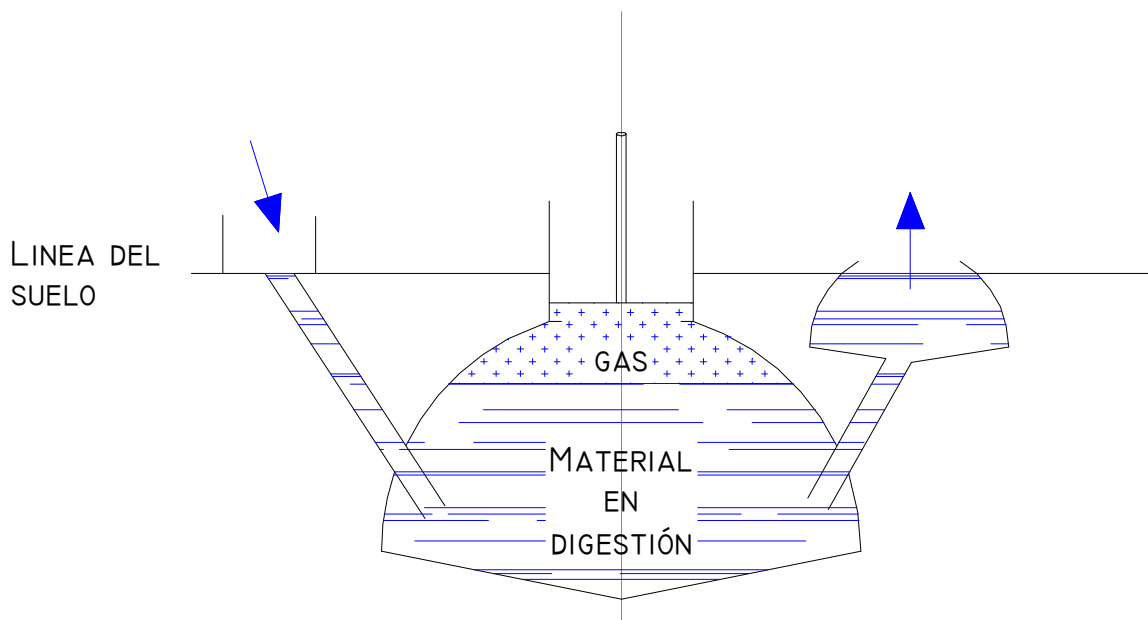
Las plantas continuas son apropiadas para viviendas rurales donde el mantenimiento necesario se integra a la fajina diaria y la producción de gas es mayor y uniforme.

Estas últimas también tienen la ventaja de adaptarse al uso industrial, por ejemplo en criaderos donde se deben tratar grandes cantidades de estiércol y en donde no importa tanto la producción de gas como el tratamiento de la patogenidad de estos desechos.

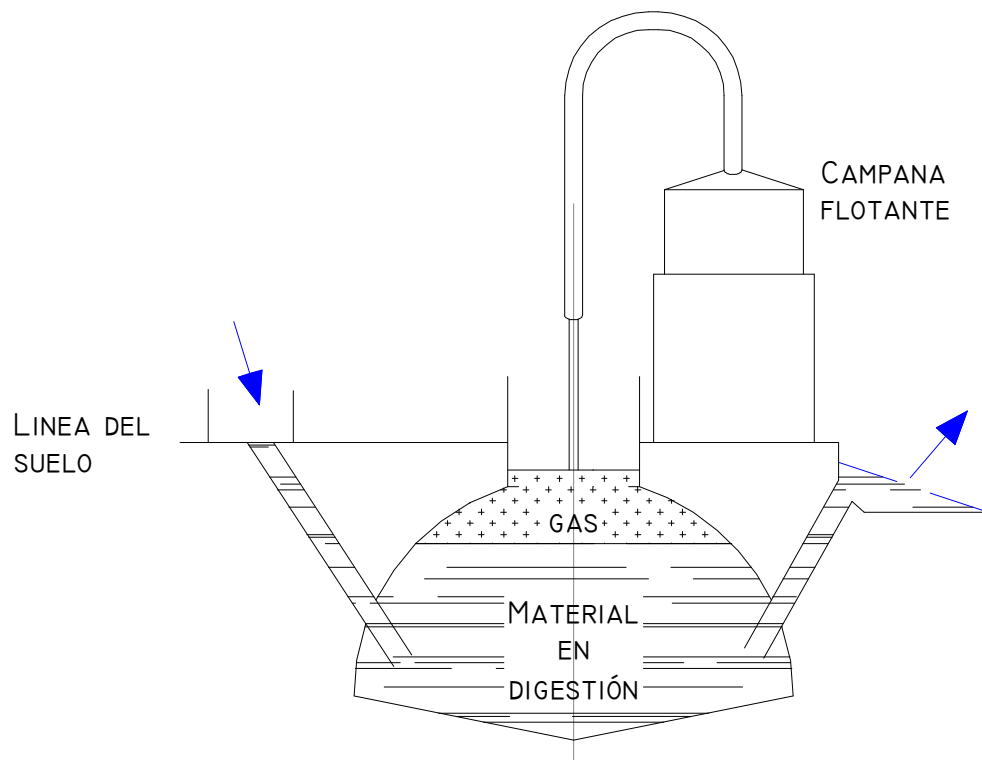
También son propicias, en este caso, para la automatización.
Entre las instalaciones más sencillas podemos encontrar las de cúpulas fijas y las de campana flotante. Estas últimas tienen la ventaja de soportar fluctuaciones en el consumo de gas manteniendo la presión constante.



Planta de campana flotante



Planta de cúpula fija



Planta de cúpula fija y campana flotante

La campana flotante permite tener una presión constante de gas.

El diseño y la construcción de la planta, así como los materiales a utilizar, deberán ser criteriosamente elegidos en función de la producción deseada, las características del suelo, el tipo de carga y la inversión que se desea hacer.

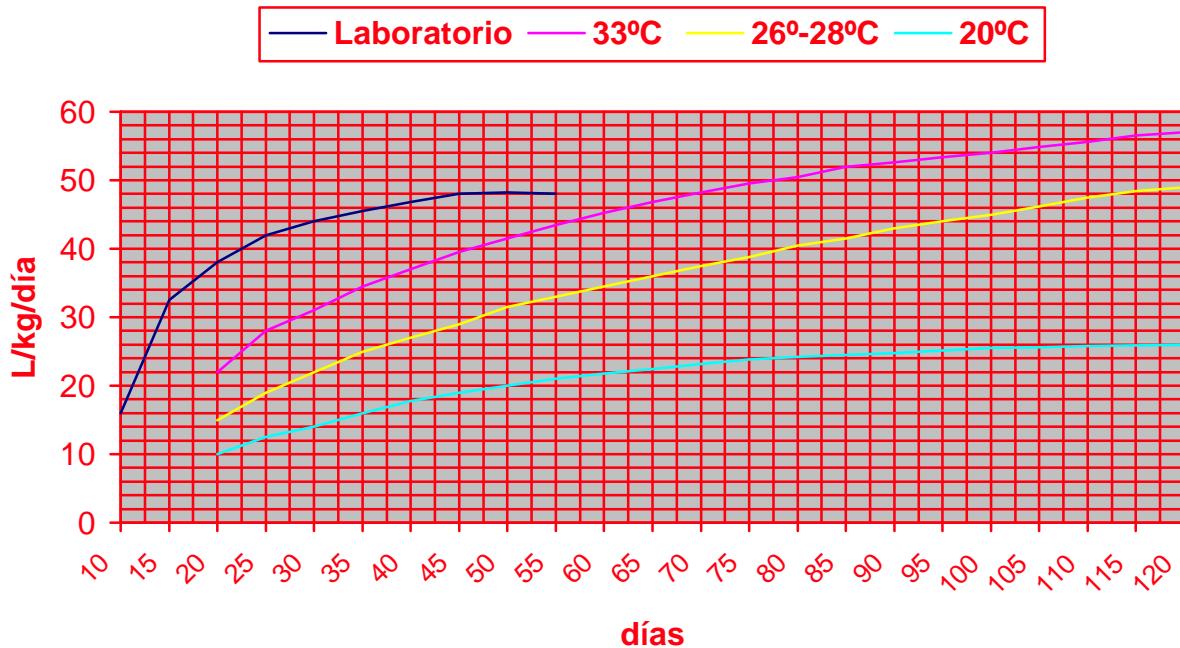
Se debe tener en cuenta también las características climáticas del lugar, pues como ya vimos, la digestión anaerobia es muy sensible a los cambios de temperatura y necesita de por lo menos 30 ° C para tener una producción aceptable.

Con respecto a este tema, en zonas frías de Europa, la producción de biogás disminuye hasta un 50% en el invierno, por lo que se ha optado por la calefacción de las plantas, requiriendo esta, más o menos un 30% de la producción de biogas. Hasta ahora no se ha desarrollado un método totalmente eficiente de calefacción en lo que se refiere a instalaciones sencillas. El proceso de digestión en sí, no es exotérmico, por lo que se debe aportarle calor para mantener su temperatura.

La temperatura a que se lleva a cabo la digestión hace variar los tiempos de retención del cieno.

En el gráfico siguiente se ve como varía la producción de gas con estiércol fresco de ganado vacuno en función del tiempo de retención y de la temperatura del digestor.

Vacunos



Dimensionamiento de las plantas de biogas

Para poder calcular el tamaño de una planta de biogas, se utilizan determinados valores característicos. Para una planta de biogas sencilla son los siguientes:

- La cantidad diaria de cieno de fermentación (C_f).
- El tiempo de retención (fermentación) técnico (TR).
- La producción específica de gas al día (G_d) en dependencia del tiempo de retención y del material de fermentación.
- La masa seca (MS, SS, DM). El porcentaje de agua varía en cada material de fermentación natural. Por esta razón, en trabajos de investigación más exactos se opera con la parte sólida o materia seca del material de fermentación.
- La masa orgánica seca (MOS, SOS, ODM). Para el proceso de fermentación son importantes solo componentes orgánicos o volátiles del material de fermentación. Por eso, se trabaja solamente con la parte orgánica de la masa seca.
- La carga del digestor (R, o L). La carga del digestor indica con cuanto material orgánico es alimentado diariamente o cuanto material debe ser fragmentado al día. La carga del digestor se calcula en kg de masa orgánica por metro cúbico del digestor por día ($\text{kg MOS}/\text{m}^3/\text{d}$). Largos tiempos de retención producen una menor carga del digestor. Para las plantas de biogas sencillas, cargas de $1,5 \text{ kg}/\text{m}^3/\text{d}$ ya son bastante altas. Plantas grandes de control de temperatura y agitación mecánica se pueden cargar con unos $5 \text{ kg}/\text{m}^3/\text{d}$. Si la carga del digestor es demasiado

alta, baja el valor de ph. La planta se queda atorada en la fase ácida, porque hay más material de fermentación que bacterias de metano.

El *tiempo técnico de retención o fermentación* (TR o t) es el lapso durante el cual el material de fermentación permanece en el digestor. Este es determinado según criterios económicos. El tiempo técnico de retención es mucho más corto que el tiempo total necesario para la completa fermentación del material.

El *grado de fermentación* se mide en %. Este indica cuanto gas se obtiene en comparación con la producción total específica de gas. La diferencia con 100% indica que cantidad de material de fermentación todavía no ha sido fermentada. En plantas de biogas sencillas el grado de fermentación alcanza alrededor del 50%, esto significa que la mitad del material queda sin aprovechar.

Dimensionamiento del digestor

El tamaño del digestor (en volumen V_d) es determinado por el tiempo de retención (TR) y por la cantidad diaria de cieno de fermentación (C_f).

La cantidad de cieno de fermentación se compone del material de fermentación y del agua de mezcla.

El volumen del digestor se obtiene con la siguiente fórmula:

$$V_d[L] = C_f [L/día] * TR [días]$$

Si se conoce el volumen del digestor y la cantidad de cieno de fermentación se puede calcular el tiempo de retención efectivo según la siguiente fórmula:

$$TR [días] = V_d [L] / C_f [L/día]$$

Si se conoce el volumen del digestor y se desea un determinado tiempo de retención, se puede calcular la cantidad diaria de relleno con la siguiente fórmula:

$$C_f [L/día] = V_d [L] / TR [días]$$

Dimensionamiento del depósito de gas

El tamaño del depósito de gas (en volumen V_g) depende de la producción de gas y de la cantidad de gas que se utilice.

La producción de gas depende de la cantidad y de propiedades del cieno de fermentación, de la temperatura del digestor y del tiempo de retención.

La relación entre el volumen del depósito de gas (V_g) y la producción diaria de gas (G) se llama de *capacidad de almacenamiento gas* (C).

$$(V_g / G) * 100 = C$$

La capacidad de almacenamiento de gas requerida y con esto, el tamaño que debe tener el depósito de gas, son factores muy importantes en la planificación. Si la capacidad de almacenamiento no es suficiente, se pierde parte del gas producido. El gas sobrante que queda almacenado en el depósito no es suficiente.

Si se escoge un depósito de gas demasiado grande, surgen gastos de construcción innecesarios. Debe tenerse en cuenta que la producción de gas puede fluctuar desde el 75% hasta el 125% de la producción calculada.

Para el cálculo solo es importante la diferencia entre producción y consumo.

Para viviendas rurales en países del Tercer Mundo (nuestro caso), capacidades de almacenamiento del 50% al 60% son en general correctas.

La utilización del biogas

El biogas puede ser utilizado como cualquier otro gas combustible. Mezclas de biogas con aire en una relación 1/20 forman un gas detonante altamente explosivo. Se debe tener cuidado con tuberías de gas que tengan fugas, en recintos cerrados. Empero hasta ahora no se ha informado sobre explosiones causadas por el biogas.

El poder calorífico del biogás es de 6 kW-h / m³, lo cual equivale más o menos a ½ litro de diesel. El poder calorífico aprovechable depende del rendimiento de los quemadores o de los aparatos.

El suministro de aire influye considerablemente sobre el rendimiento. Una presión de gas de 5 a 20 cm de columna de agua es la más apropiada para cocinar. Las lámparas necesitan unos 10 cm de C.A. de presión. El ácido sulfhídrico del biogás con el agua condensada forma ácidos corrosivos, sobre todo, refrigeradores y aparatos de agua caliente son sensibles a estos ácidos. La cámara de combustión y los quemadores deben estar hechos de acero colado, de acero especial o de esmalte.

Con la ayuda de un filtro a partir de óxido de hierro se puede purificar el biogas.

Para la utilización del gas en motores no es necesario filtrar el biogas, la presión del gas puede ser baja pues los motores lo succionan.

Tampoco es rentable licuar el biogas.

Las tuberías de gas pueden estar hechas de acero, cobre, caucho o plástico. Se debe tener en cuenta que las mangueras de caucho se vuelven rápidamente porosas y permeables con los rayos solares.

Las grandes longitudes de cañería y cambios de dirección repercuten en la caída de la presión. Estas deben tener determinada pendiente, y en su parte más baja un depósito para

el agua condensad, para evitar que se produzcan cavitaciones. Este depósito debe vaciarse periódicamente.

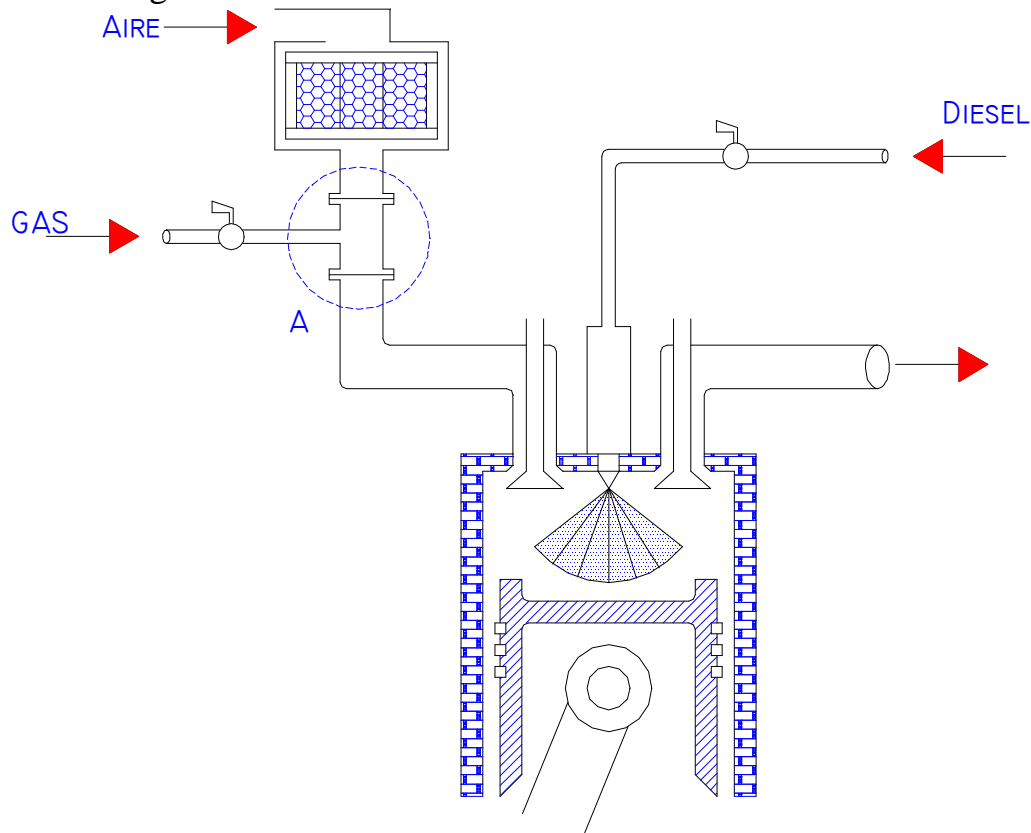
Utilizar la energía producida para ahorrar dinero en la explotación no es cosa fácil.

Existen dos posibilidades:

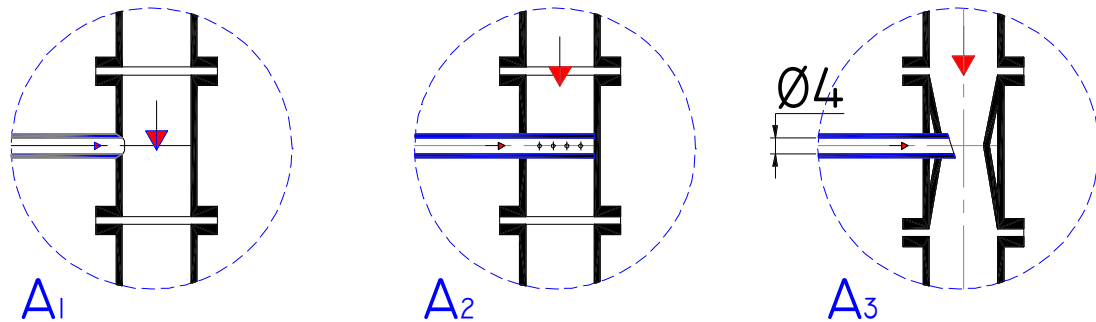
- a) Quemar el gas en un calentador para producir agua caliente.
- b) Utilizar el biogas para alimentar un motor de combustión interna conectado a un generador de corriente eléctrica.

- a) El biogas puede quemarse directamente en un calentador de agua. El quemador ha de ser del mismo tipo que para gas de ciudad, o sea, con una presión de trabajo de 100 a 150 mm C.A. y de boca ancha. En verano, que es cuando se produce la mayor cantidad de gas, las necesidades de calefacción son mínimas, por lo que una buena parte del combustible no puede ser utilizada.
- b) El gas puede alimentar un motor que accione un generador, la energía eléctrica es más fácil de transportar. Los motores fijos modificados para funcionar con metano se encuentran normalmente en el mercado, y se recupera el calor residual del agua de refrigeración y de los gases de escape, que puede ser más que suficiente para mantener la temperatura del digesor.

En el siguiente gráfico podemos ver como se puede modificar un motor diesel para su funcionamiento con gas.



A continuación veremos en detalle las modificaciones posibles en el múltiple de admisión.



El gas es succionado junto con el aire de combustión hacia el cilindro. La conexión de gas con el conducto de aire puede ser hecha de diferentes maneras.

En el detalle A₂ se ve una modificación que obtuvo muy buenos resultados en experimentos chinos.

En razón de la alta temperatura de ignición del biogás, un motor diesel debe funcionar con una mezcla de biogás y gasoil. En un motor de ciclo Otto puede funcionar con el 100% de biogás, pero su potencia disminuye alrededor de un 30%.

	Diesel	Biogas
5 HP	0,88 L/h	-
	0,13L/h	2,1m ³ /h
50 HP	8,75L/h	-
	1,30L/h	21m ³ /h

Usos del biogas

El biogas puede ser:

- ❖ Quemado para calefaccionar el aire, secar, cocinar o calentar agua.
- ❖ Usado para hacer marchar un motor generador y producir calor y electricidad.

El balance económico indicará si conviene quemarlo, hacer marchar un motor o no generarlo.

Alimentación a	Consumo Kcal/h.	1 m ³ de biogas puede alimentar un mínimo de
Cocina de 1 hornalla	660 a 742,5	7,4 h
Heladera de 13 pies	550 a 600	8,3 h
Lámpara a mantilla	478 a 528	10,4 h
Termotanque de 110 lt	1.375 a 1.650	3,3 h
Estufa infrarroja de 600 cal	3.355 a 3.487	1,57 h
Motor (por hp/hora)	2.750 a 4.400	1,25 h
Generación de electricidad 6,4 Kw/hora	5.500	1 h

Conclusión

La digestión anaeróbica tiene:

Ventajas

- ❖ El biogas sirve como combustible.
- ❖ El residuo digerido es casi inodoro y estabilizado.
- ❖ Se conservan los nutrientes del bioabono.
- ❖ Las moscas y roedores no son atraídos por el residuo.
- ❖ El residuo digerido seco puede utilizarse como bioabono.

Desventajas

- ❖ Equipamiento grande, algo caro y experimental en ciertos diseños.
- ❖ Se requieren ciertas precauciones de manejo.
- ❖ El proceso es sensible a la temperatura, ph, velocidad de carga y cambio del tipo de carga.
- ❖ El proceso de digestión anaeróbico no genera calor.

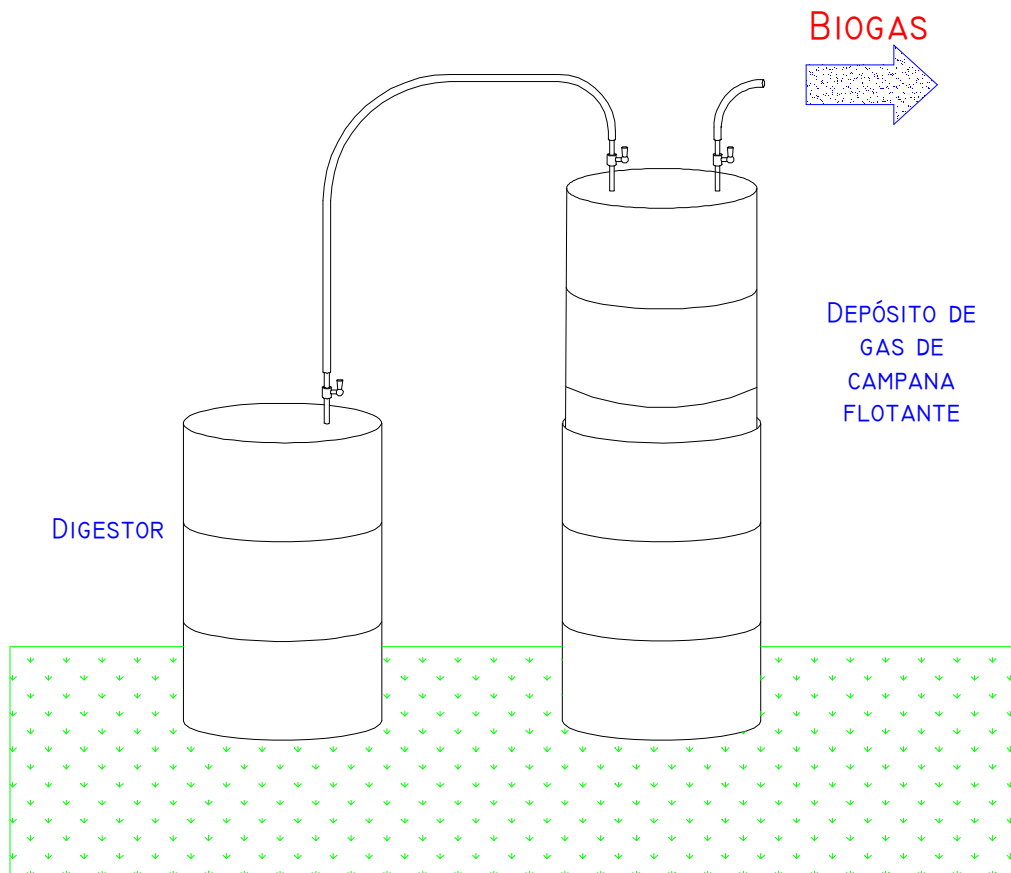
La evaluación económica en países en vías de desarrollo no es muy clara, en cuanto al retorno de la inversión, al no utilizarse bases de cálculos similares y carecer de ciertos datos. De no existir incentivo crediticio el sistema sería económicamente viable para establecimientos extensivos con más de 100 vacas, excepto que problemas ecológicos indiquen que esta solución es la óptima.

Experimento para la didáctica y estudio del biogas

Partiendo de elementos muy sencillos y económicos se puede elaborar una instalación de biogas de carga discontinua.

La misma se puede realizar con tres o más tambores de 200 lts. (generalmente envases de lubricantes desechados). Con uno se haría el digestor, mientras que con otros dos, uno embutido en el otro, se fabricará el depósito de campana flotante con sello de agua. Esta sencilla instalación sirve para estudiar el comportamiento de la digestión anaeróbica con la variación de los parámetros ambientales, así como también la fluctuación del volumen de biogás producido.

Para mejor comprensión del experimento planteado tenemos la siguiente figura



A la misma instalación se le pueden agregar más digestores a una misma campana, con el fin de no interrumpir la generación de biogás cuando se recarga alguno de los tambores.
