

Sistema Biodigestor Subterráneo de carga continua, de alimentación mixta, aguas sanitarias y desechos orgánicos, provenientes de Complejos habitacionales, hoteleros, recreativos, institucionales y comerciales, haciendas, condominios, conjuntos e inmuebles destinados a vivienda.

1. Resumen.

Siete de cada 10 municipios en Colombia no tratan sus aguas residuales. La situación del país es similar a la de la región latinoamericana, que sigue sin limpiar el 80 por ciento de las aguas usadas y que terminan contaminando ríos y mares. Un panorama similar se presenta en el mundo [El Tiempo 2017]. El presente problema nos planteó un reto a un equipo interdisciplinario de profesionales, implementar investigación y desarrollo a un nuevo proceso, que permitiera tratar las aguas residuales en su fuente y hacerlas útiles a la sociedad en términos de costo – beneficio - sustentabilidad.

Por lo tanto, desarrollamos nuestro Sistema Biodigestor Subterráneo de carga continua, de alimentación mixta, aguas sanitarias y desechos orgánicos, provenientes de Complejos habitacionales, hoteleros, recreativos, institucionales y comerciales, haciendas, condominios, conjuntos e inmuebles destinados a vivienda. Dentro de las bondades de nuestro sistema podemos destacar la simplificación en diseño y ejecución en el desarrollo de la red sanitaria y su correspondiente descarga al sistema de alcantarillado, pues el sistema hace uso de la totalidad de estos residuos. También implementamos trituradores de residuos orgánicos con el fin de hacer uso de estos residuos y enriquecer la biomasa que alimenta el proceso.

Nos inspiramos en un foso séptico, para ubicar nuestro equipo biodigestor en membrana PVC en un habitáculo subterráneo, permitiendo una correcta disposición de las aguas sanitarias y residuos directamente en la fuente, sin alterar las condiciones de salubridad de cada proyecto constructivo en mención.

Como todo sistema de biodigestor este produce biogás, biofertilizante líquido y lodo biofertilizante. El biogás resultante del proceso, procedemos a filtrarlo y acumularlo en un tanque para poder ser utilizado en generación de energía al mismo inmueble o si es el caso poderlo comercializar. El biofertilizante puede ser insumo en proyectos productivos del agro, la comercialización y utilización de estos productos nos permite viabilizar el sistema.

Esperamos con la presente invención poder contribuir al desarrollo y mejoramiento de las condiciones alimentarias, sanitarias y económicas de la población a la que podamos impactar con nuestro sistema.

Camilo Alberto Andrade Suárez

Representante legal

Quality Colombia Limitada

NIT. 900.139.177-8

Sistema Biodigestor Subterráneo de carga continua, de alimentación mixta, aguas sanitarias y desechos orgánicos, provenientes de Complejos habitacionales, hoteleros, recreativos, institucionales y comerciales, haciendas, condominios, conjuntos e inmuebles destinados a vivienda.

2. Descripción

El sector tecnológico al que se aplica la invención es Procesos Químicos.

2.1 Estado de la Técnica

Trituración de residuos.

[Hernández 2015]: El objetivo de la trituración y molienda es producir partículas pequeñas de unas más grandes. Las partículas más pequeñas son deseables por su gran superficie o bien por su forma, tamaño y número. La reducción de tamaño de las partículas aumenta también la reactividad de los sólidos, permite la separación de los componentes no deseados por medios mecánicos y reduce el volumen de los materiales fibrosos que son así más fáciles de manejar (Mc Cabe y col., 2011). La trituración permite que, por ejemplo, los desechos sólidos que en condiciones normales llenarían un contenedor de 200 litros, sean convertidos en un tanque o block de tan solo 18dm³. Ello implica menos de la décima parte del volumen regular de los residuos sólidos. Con esta medida, un camión que normalmente transporta entre 4 y 5 toneladas de residuos, podría trasladar una carga de por lo menos el doble de lo habitual (Juárez, 2012).

Los residuos sólidos urbanos pueden fragmentarse de distintas formas, las máquinas que se encargan de triturarlos o molerlos ocupan cuatro métodos: Estos son compresión, impacto, frotamiento por cizalla y corte (Ramos, 2013). En los equipos de compresión se aplican fuerzas denominadas de compresión que se ejercen en forma perpendicular a la superficie del material, como se visualiza en la Figura 2.1. Este método se usa para la reducción de sólidos duros, obteniéndose poca cantidad de partículas finas. Con las máquinas de impacto, la materia a reducir choca a gran velocidad con el equipo, fragmentándola (Figura 2.2). En este método se pueden obtener partículas gruesas, medianas y finas.

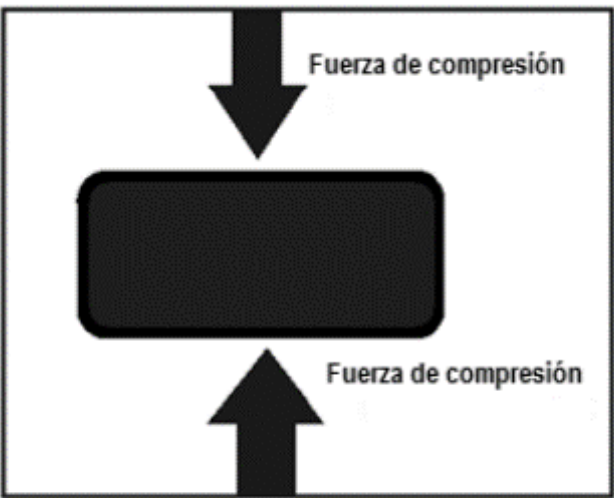


Figura 2.1 Fuerza de compresión (elaboración a partir de Ramos, 2013)

Figura 2.1 Fuente: Hernández, 2015.

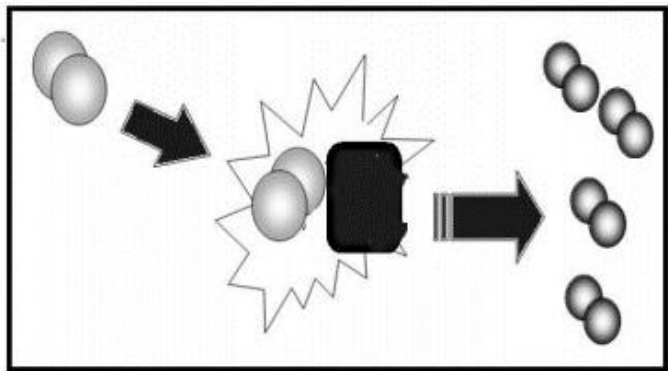


Figura 2.2 Fragmentación por impacto (elaboración a partir de Ramos, 2013)

Figura 2.2 Fuente: Hernández, 2015.

Con los equipos que trabajan con el método de frotamiento de cizalla se pueden obtener partículas finas a partir de materiales blandos y no abrasivos como se puede observar en la Figura 2.3. El método de corte proporciona un tamaño de partícula definido. Un diagrama del método se muestra en la Figura 2.4.

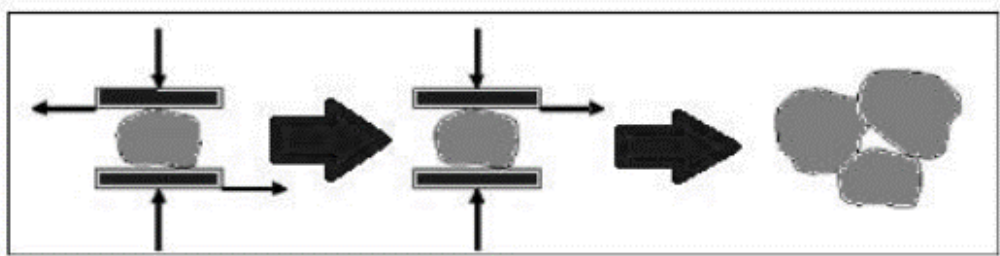


Figura 2.3 Fragmentación por cizalla (elaboración a partir de Vásconez, 2013)

Figura 2.3 Fuente: Hernández, 2015.

El método de corte proporciona un tamaño de partícula definido. Un diagrama del método se muestra en la Figura 2.4 [Hernández 2015].



Figura 2.4 Fragmentación por corte (elaboración a partir de Vásconez, 2013)

Figura 2.4 Fuente: Hernández, 2015.

Trituradores domésticos de residuos.

[Hernández 2015]: Este tipo de trituradores utilizan el método de impacto, los trituradores domésticos de residuos están hechos en su mayoría de acero inoxidable, ya que trabajan con materia orgánica lo cual provoca la oxidación y rápido desgaste de un acero común. Este tipo de trituradoras está compuesto por 12 partes principales. A continuación se muestra un esquema en la Figura 2.6 de las partes de un triturador doméstico de residuos. Como se puede ver las partes encargadas de la trituración son la cámara de trituración, los fuertes componentes de acero inoxidable, las lengüetas giratorias y el motor de inducción que se encarga de transmitir el torque. La cámara de trituración tiene un área de corte de

10 cm², la cual limita el tamaño de los desechos sólidos urbanos a introducir. También cuenta con una llave allen (¼ pulg) de autoservicio la cual nos ayuda a dar vueltas al eje del motor permitiendo y facilitando su funcionamiento ya que el motor puede atascarse de vez en cuando.

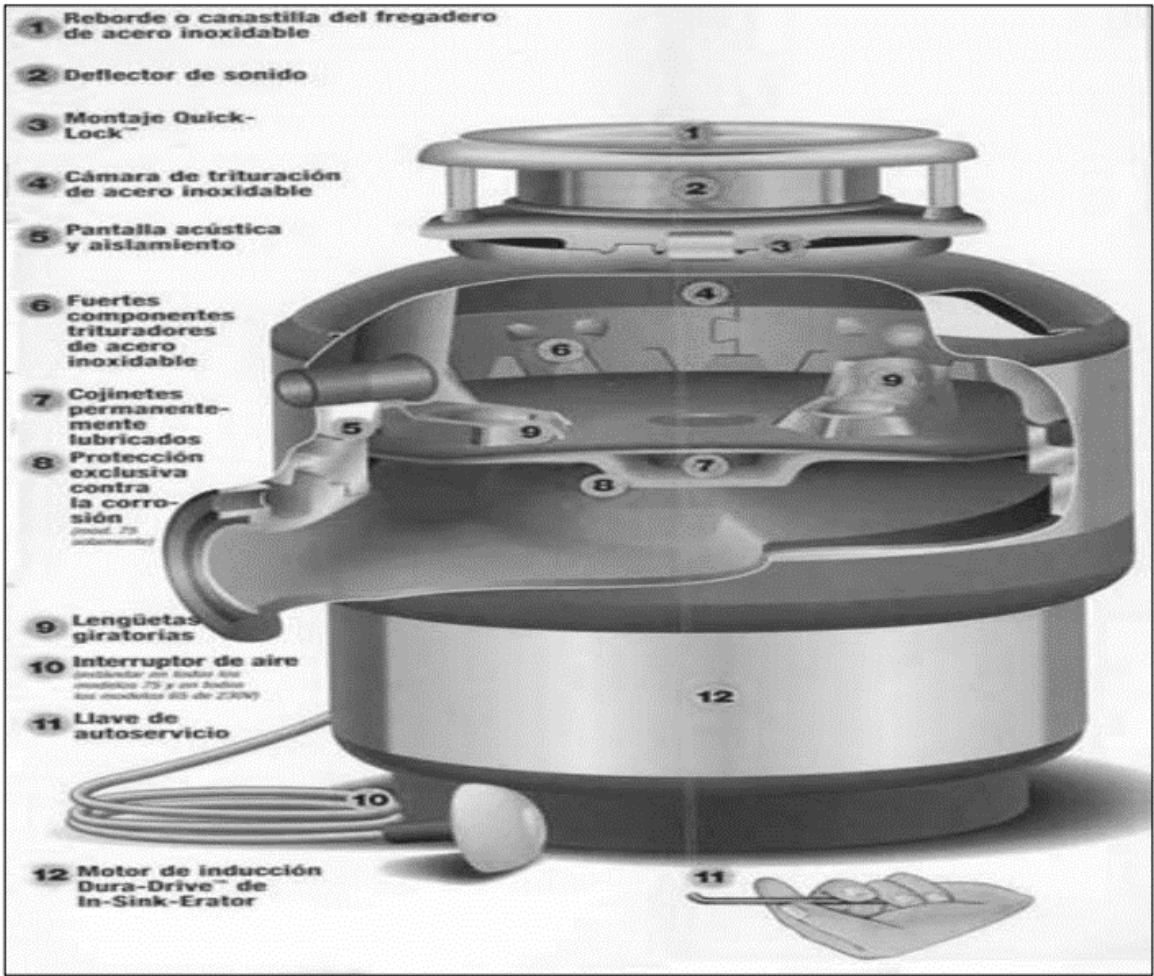


Figura 2.6 Fuente: Hernández, 2015.

El funcionamiento de un triturador doméstico de residuos es sencillo, pues consiste en mantener un flujo constante de agua a través del triturador, encender el mismo y acto seguido dejar caer desperdicios y desechos de comida (partículas grandes) en su cámara de trituración, los desechos al chocar con las lengüetas girando a gran velocidad se parten en partículas más pequeñas permitiendo su paso hacia los dientes de corte estacionario. Finalmente los desechos del triturador van al desagüe o un sistema de almacenamiento según sea el caso. En la Figura 2.7 se muestra un esquema del funcionamiento del triturador [Hernández 2015].

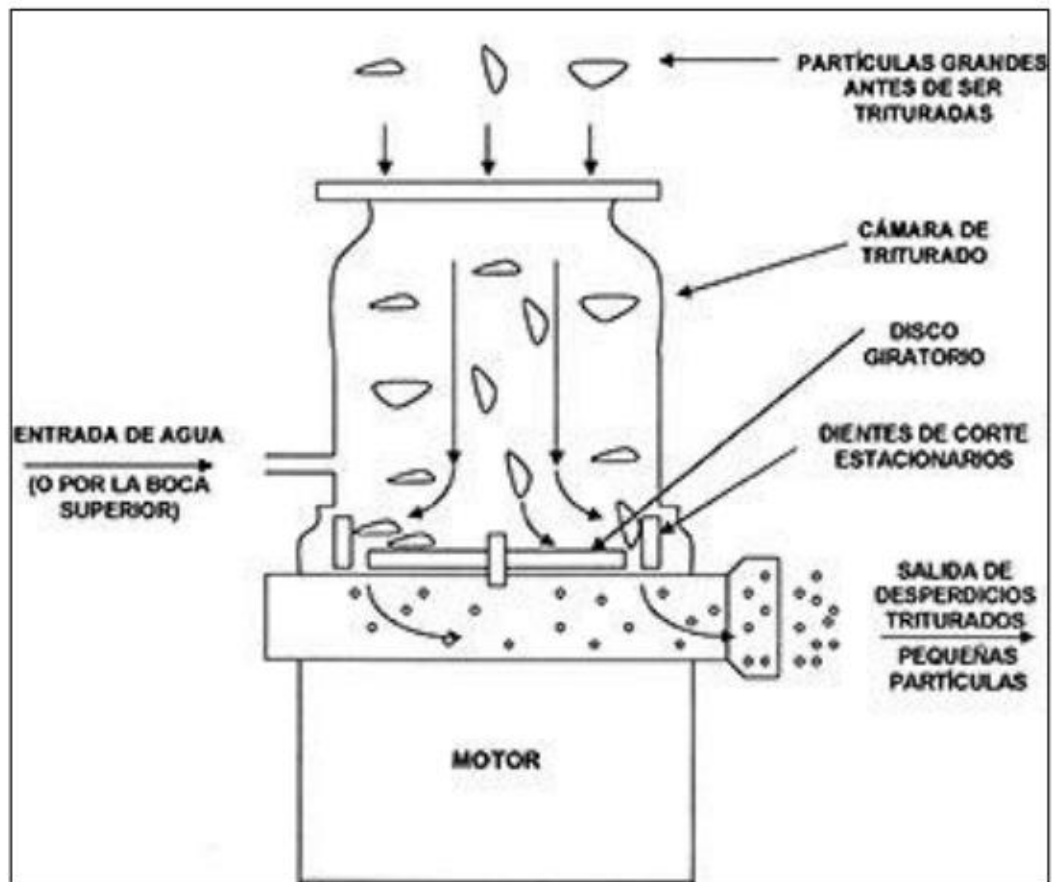


Figura 2.7 Fuente: Hernández, 2015.

Molinos de corte

[Hernández 2015]: En el molino de corte la trituración se realiza por efecto de corte y cizalla. El material alimentado entra en el campo de acción del rotor y es triturado entre éste y los listones de corte incorporados en la carcasa. El rotor de 6 discos consta de discos de corte reversibles de metal duro colocados en forma de espiral que van cortando el material sucesivamente. Las cuchillas del rotor de corte paralelo realizan la trituración con una poderosa acción de corte. En la Figura 2.10 se puede observar los diferentes tipos de rotores.



Figura 2.10 Fuente: Hernández, 2015.

Los molinos de corte han sido concebidos para la trituración de productos blandos, semiduros, elásticos, tenaces y fibrosos así como de mezclas de materiales heterogéneos. Con un motor de 1,5 kW y una velocidad del rotor de 1.500 rpm, este molino es idóneo para aplicaciones rutinarias. Gracias a la amplia selección de tamices de fondo, tolvas y colectores, se puede adaptar a los requerimientos de una gran variedad de aplicaciones. En la Figura 2.11 se puede observar en color verde las cuchillas fijas y en color amarillo las móviles, esta configuración genera 18 cortes por revolución, lo que da como resultado una gran capacidad de molienda.

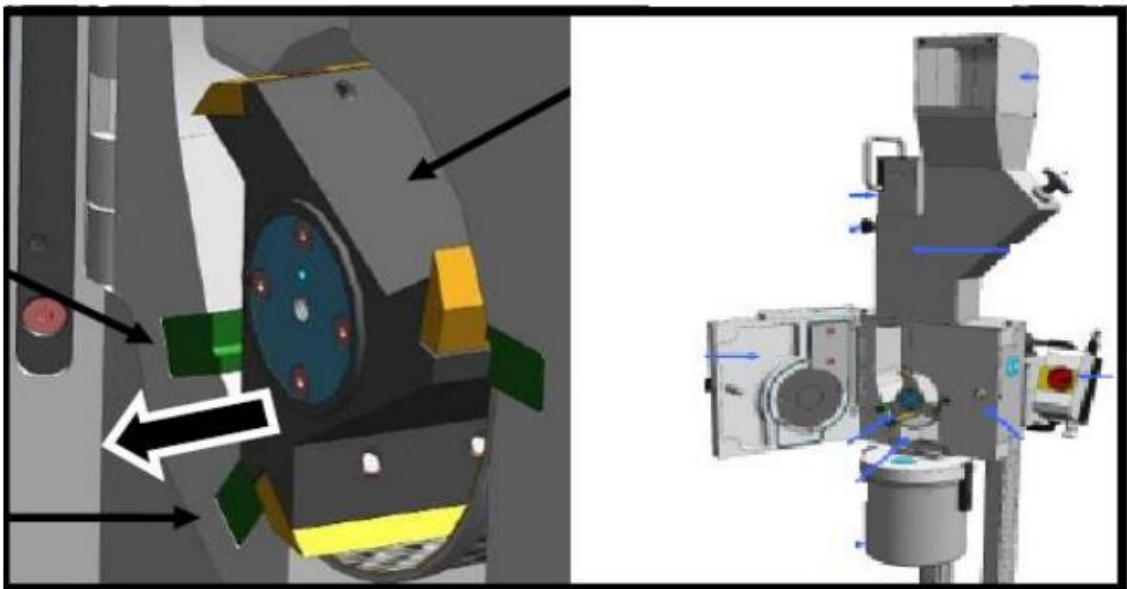


Figura 2.11 Molino de corte. Fuente: Hernández, 2015.

Algunos de los materiales reducidos por un molino de corte son alimentos, basura electrónica, cartón, cuero, drogas, especias, forrajes, goma, huesos, lignito, madera, paja, papel, plásticos, plantas, resinas y textiles. De una manera sintetizada, en la siguiente tabla se cita el tipo de equipo mecánico, el método que utiliza para la reducción de tamaño de partícula y las características del material a triturar recomendables para el buen funcionamiento del equipo. A continuación se muestra la Tabla 2.2 que relaciona el equipo, el método de trituración y el tipo de material a triturar [Hernández 2015].

Tabla 2.2 Equipo mecánico y método de reducción de partículas (elaboración a partir de Ramos, 2013)

EQUIPO	MÉTODO	MATERIAL	EJEMPLO
Trituradoras de mandíbula	Compactación, trituración gruesa y preliminar.	Semiduros, duros y frágiles	Cerámica, cuarzo, materiales de construcción
Molinos de rotor	Impacto, trituración con extrema rapidez	Fibrosos y blandos	Cereales y minerales
Molinos de corte	Corte	Blandos, semiduros, elásticos y fibrosos	Basura orgánica e inorgánica, cuero, forrajes.
Molinos de discos	Corte y fricción	Duros y abrasivos	Carbón, cemento húmedo, suelo
Molinos de mortero	Fricción y trituración fina	Húmeda y seca	Materias primas y productos finales farmacéuticos
Molinos de bolas	Fricción y trituración fina	No abrasivos	Elaboración de cemento seco

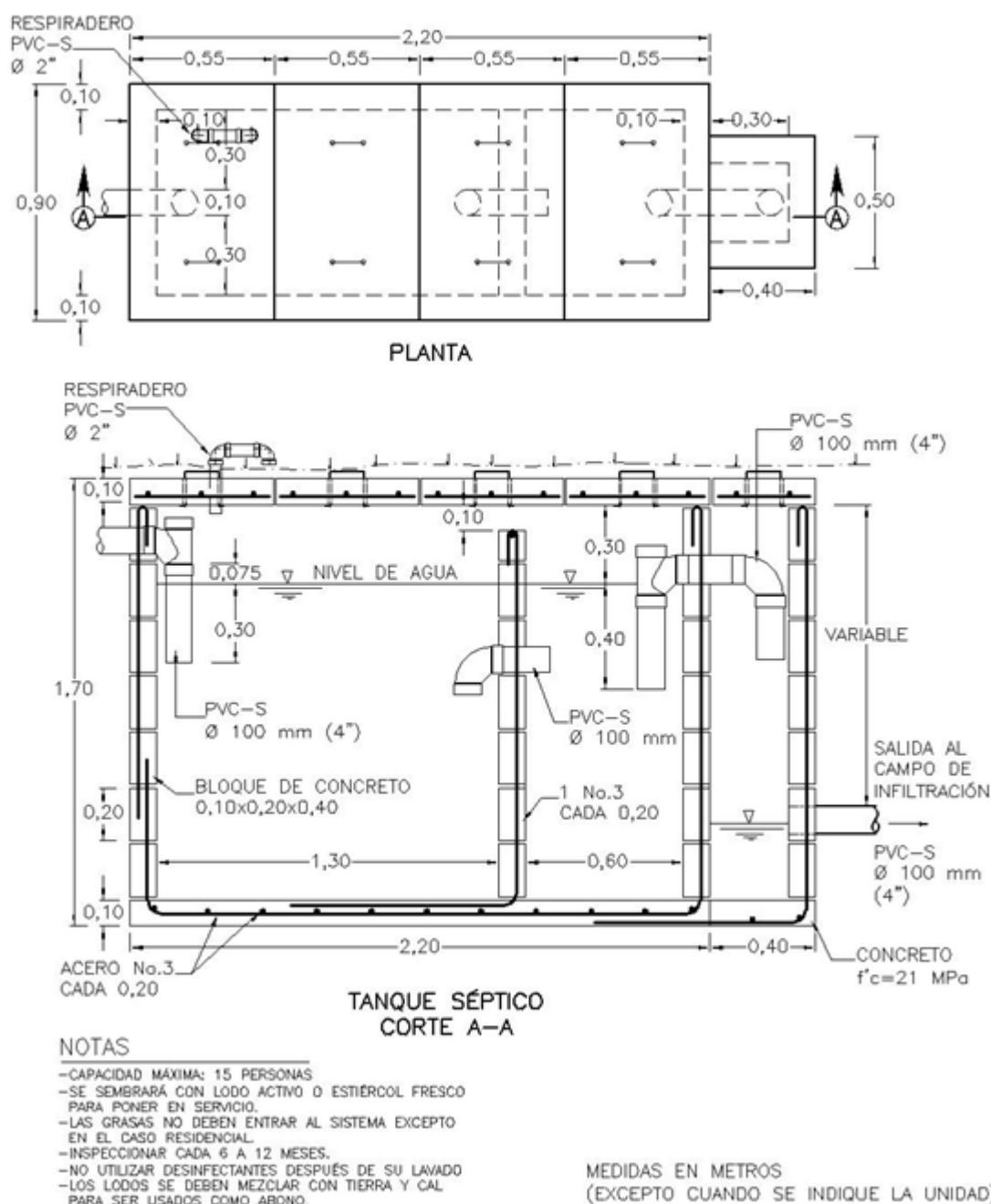
Tabla 2.2 Fuente: Hernández, 2015.

Foso Séptico.

[EPM 2013]: Un tanque séptico es una estructura en forma de cajón, enterrado y hermético, construido en paredes de mampostería, o concreto. Su localización se podrá definir solamente después de haber efectuado un estudio completo de todos los sitios posibles para su ubicación y se hará de acuerdo con los planos del proyecto. La mampostería estará constituida por bloques de concreto, mortero de pega, mortero de relleno y acero de refuerzo. Consiste en levantar muros en bloque de concreto que llevarán el refuerzo especificado en el diseño desde la fundación, y en cada uno de sus orificios, los cuales deberán ser rellenos luego con un mortero rico en cemento o con concreto, según se indique, en los planos de diseño estructural. Si en los planos se indica así, los tanques sépticos podrán ser de concreto. En cualquier caso, ya sea con tanques de mampostería estructural o de concreto, el diseño estructural deberá asegurar que el tanque resiste las presiones del terreno, y cualquier otro requerimiento estructural, particularmente cuando se encuentre vacío y con niveles freáticos altos.

Etapas de construcción:

- Se hará la excavación
- Se vaciará la placa de fondo
- Se construirán los muros y tabiques divisorios
- Se vaciarán las tapas del tanque séptico
- Impermeabilización de la placa de fondo y las paredes del tanque



Esquema 1 Tanque séptico. Fuente: EPM, 2013.

Biodigestores.

[MINENERGIA et al 2011]: Un biodigestor básicamente consiste en un depósito cerrado, donde se introducen los residuos orgánicos mezclados con agua para ser digeridos por microorganismos (Lagrange, 1979). El biogás producido por la fermentación se puede almacenar en este mismo depósito en la parte superior del digestor, llamada domo o campana de gas. Esta campana de almacenamiento puede ser rígida o flotante. En algunos casos, está separada del digestor y se le llama gasómetro.

Este gasómetro es una campana invertida, sumergida en un tanque de agua, que además de almacenar el gas, ejerce presión sobre el gas para el consumo.

Los digestores se pueden construir enterrados o sobre el suelo, utilizando diferentes materiales de construcción, como por ejemplo, ladrillos o vaciado de cemento.

La campana puede ser metálica, de madera recubierta de plástico o de ferrocemento. La carga y descarga de los residuos puede ser por gravedad o bombeo.

A) Características del digestor. Para que un digestor de residuos orgánicos opere en forma correcta, deberá reunir las siguientes características:

a) Ser hermético con el fin de evitar la entrada de aire, el que interfiere con la digestión anaeróbica y a la vez, impedir las fugas del biogás producido.

- b) Estar térmicamente aislado para evitar cambios bruscos de temperatura, lo que usualmente se consigue construyéndolos enterrados.
- c) Aun no siendo en recipiente de alta presión, el contenedor primario de gas deberá contar con una válvula de seguridad.
- d) Contar con medios para efectuar la carga y descarga del sistema.
- e) Tener acceso para el mantenimiento.
- f) Contar con un medio para romper las natas o costras que se forman.

B) Tipos de biodigestores. Los biodigestores varían ampliamente de acuerdo con su complejidad y utilización. Los más sencillos caen dentro de la clasificación de digestores discontinuos o de cargas por lotes y los más complejos se caracterizan por poseer dispositivos que permiten alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación. Resulta conveniente clasificarlos según su modo de operación con relación a su alimentación o carga en los siguientes tipos:

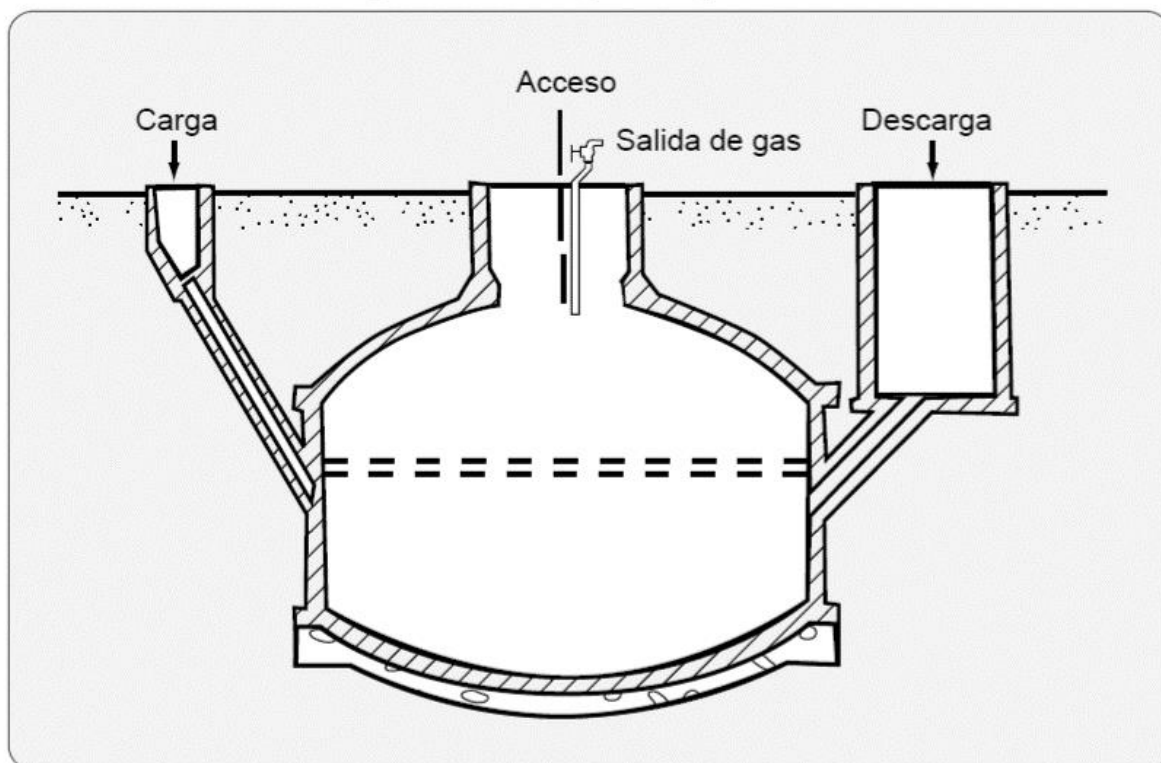
- a) Continuos: Cuando la alimentación del digestor es un proceso ininterrumpido, el efluente que descarga es igual al afluente o material de carga (que entra al digestor), con producciones de biogás, uniformes en el tiempo. Son utilizados principalmente para el tratamiento de aguas negras. Corresponde a plantas de gran capacidad, tipo industrial, en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación, así como para su control. Dado que se genera una gran cantidad de biogás, habitualmente, éste se aprovecha en aplicaciones industriales.
- b) Semi continuos: Cuando la primera carga que se introduce al digestor consta de una gran cantidad de materias primas. Posteriormente, se agregan volúmenes de nuevas cargas de materias primas (afluente), calculados en función del tiempo de retención hidráulico (TRH) y del volumen total del digestor. Se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad del afluente que se incorporó. Este proceso es usado en el medio rural, cuando se trata de sistemas pequeños para uso doméstico. Los diseños más populares son el digestor Indiano y Chino.
- c) Discontinuos o régimen estacionario: Los digestores se cargan con las materias primas en una sola carga o lote. Después de un cierto período de fermentación, cuando el contenido de materias primas disminuye y el rendimiento de biogás decae a un bajo nivel, se vacían los digestores por completo y se alimentan de nuevo dando inicio a un nuevo proceso de fermentación. Esto se conoce también como digestores Batch o Batelada.

Biodigestor tipo Chino.

Los digestores de este tipo son tanques cilíndricos con el techo y el piso en forma de domo y se construyen totalmente enterrados (FAO, 1986).

Al iniciar el proceso, el digestor se llena con residuos agrícolas compostados mezclados con lodos activos de otro digestor, a través de la cubierta superior, que es removible. Una vez cargado así, es alimentado diariamente con los residuos que se encuentren disponibles, provenientes de la letrina y de los animales domésticos, a través del tubo de carga el cual llega a la parte media del digestor.

Figura 7.1. Biodigestor tipo chino.



Fuente: Manual de Biogás Minenergía Chile et al, 2011

En este tipo de digestores no existe gasómetro, almacenándose el biogás dentro del sistema. A medida que aumenta el volumen del gas almacenado en el domo del digestor, aumenta su presión forzando al líquido, en los tubos de entrada y salida a subir y llegándose a alcanzar presiones de hasta 100 cm de columna de agua. Se generan entre 0.15 y 0.20 volúmenes de gas por volumen de digestor/día. Como consecuencia de la variación de presión, la que aumenta al generarse el gas y disminuye al consumirse éste, se reduce la eficiencia en los equipos consumidores.

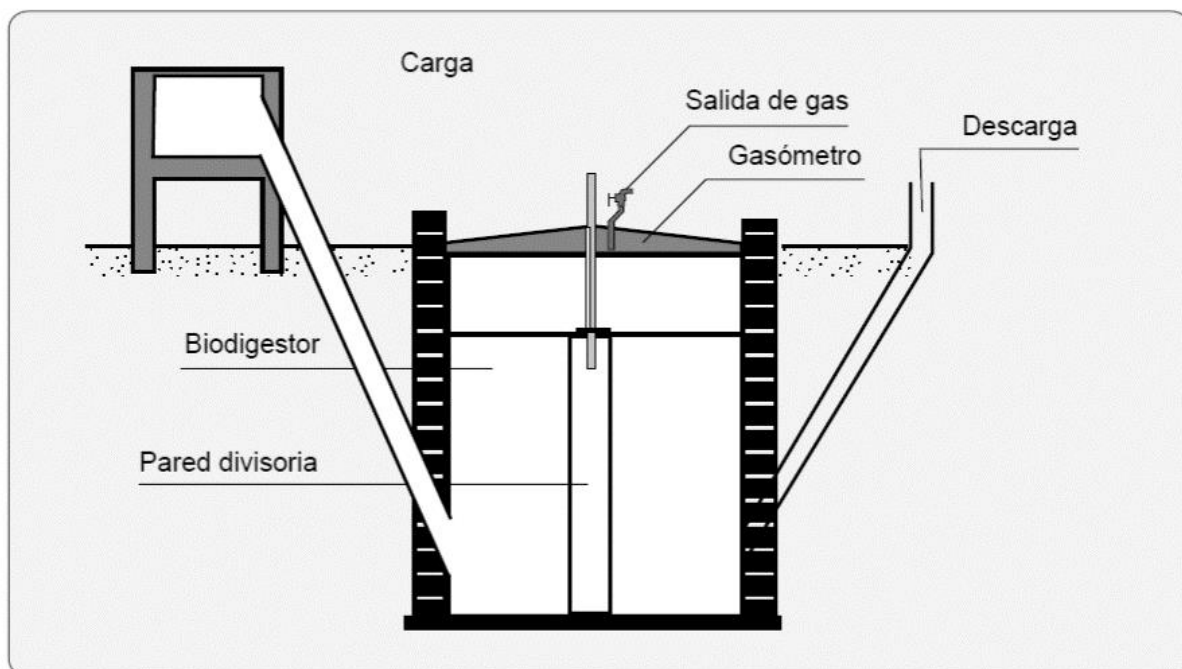
Periódicamente se extrae una parte del líquido en fermentación a través del tubo de salida, mediante una cubeta y una o dos veces al año el digestor se vacía completamente aplicando el residuo (sólido) a los campos de cultivo. A pesar que el digestor chino es poco eficiente para generar biogás, es excelente en la producción de bioabono, ya que los tiempos de retención son en general largos y además se tiene gran cantidad de este material cuando se necesita para mezclar con el suelo antes de la siembra. Los tiempos de retención de operación para los biodigestores tipo chino son de 30 a 60 días, requiriéndose para alcanzar la misma eficiencia (máximo 50% de reducción de la materia orgánica) de 1/2 a 1/3 de este tiempo de retención en los biodigestores tipo hindú.

Biodigestor tipo Indiano.

Estos digestores en general son enterrados y verticales, semejando a un pozo. Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación (Hilbert y Eppel, 2007).

El gasómetro está integrado al sistema, o sea que, en la parte superior del pozo flota una campana donde se almacena el gas. De esta forma, la presión del gas sobre la superficie de la mezcla es muy baja, de alrededor de 30 cm de columna de agua. Con esta campana se logra, además, una presión constante, lo que permite una operación eficiente de los equipos a los que alimenta. La campana también ayuda al rompimiento de la espuma que se forma en muchos biodigestores.

Figura 7.3. Biodigestor tipo Indiano.



Fuente: Manual de Biogás Minenergía Chile et al, 2011

La entrada de la carga diaria por gravedad hasta el fondo del pozo, además de producir agitación, provoca la salida de un volumen equivalente de lodos digeridos, desde la superficie o desde el fondo, según el diseño del sistema, los que se hacen fluir hasta una pileta para su aplicación a los cultivos. Para aumentar la retención de la materia prima, posee un tabique central. En este caso, los materiales usados son preferentemente excretas, las que deben estar bien diluidas y mezcladas homogéneamente.

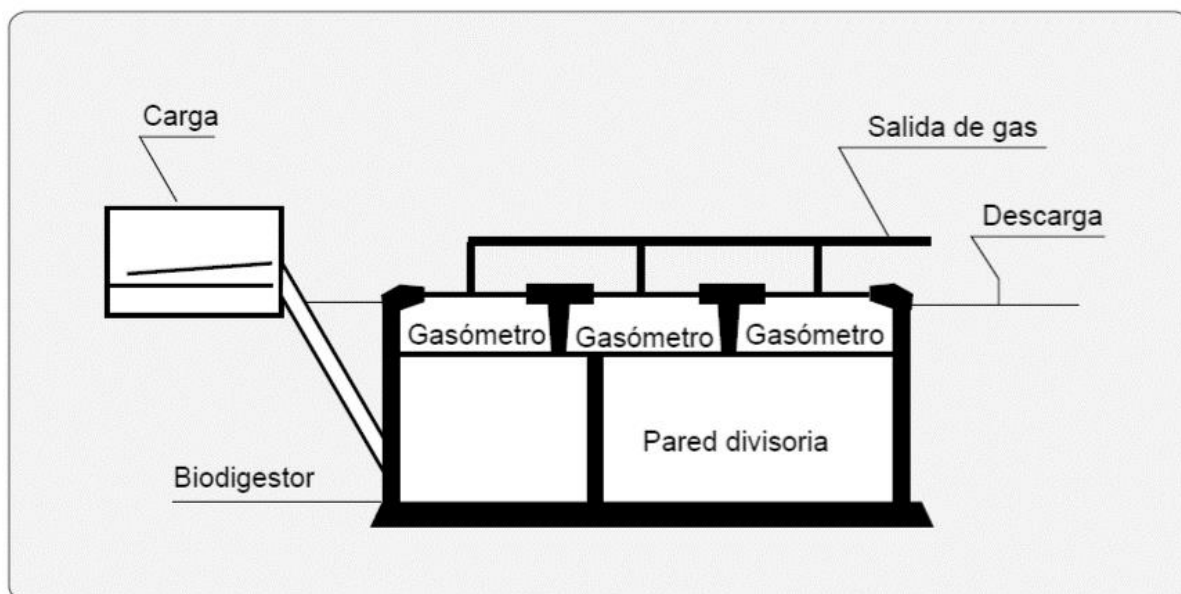
Este tipo de digestor presenta una buena eficiencia de producción de biogás, generándose entre 0.5 y 1,0 volumen de gas por volumen de digestor por día.

Biodigestores Horizontales.

Estos digestores se construyen generalmente enterrados, son poco profundos y alargados, semejando un canal, con relaciones de largo a ancho de 5:1 hasta 8:1 y sección transversal circular, cuadrada o en "V". Se operan a régimen semi continuo, entrando la carga por un extremo del digestor y saliendo los lodos por el extremo opuesto. La cúpula puede ser rígida o de algún material flexible que no presente fugas de gas y que resista las condiciones de la intemperie.

Este tipo de digestores se recomiendan cuando se requiere trabajar con volúmenes mayores de 15 m³, para los cuales, la excavación de un pozo vertical comienza a resultar muy problemática.

Figura 7.3. Biodigestor horizontal



Fuente: Manual de Biogás Minenergía Chile et al, 2011

Biodigestor tipo Batch (discontinuo o régimen estacionario).

Este tipo consiste en una batería de tanques o depósitos herméticos (digestores) con una salida de gas conectada con un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás (Mandujano et al, 1981).

El objetivo de disponer de más un digestor es tener siempre uno de ellos en carga o en descarga, mientras el resto se encuentra en producción de biogás.

La alimentación o carga del digestor con la materia prima, sólida, seca, se realiza por lotes (discontinuamente) y la carga de los residuos estabilizados se efectúa una vez que ha finalizado la producción de biogás.

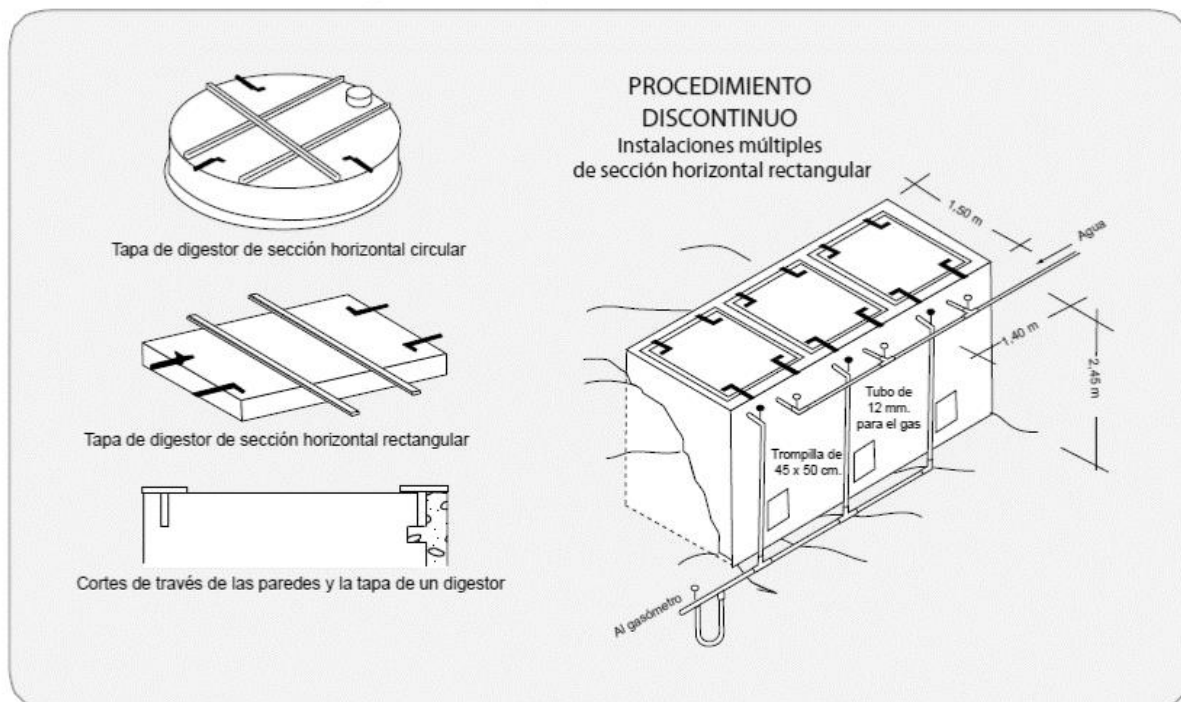
Este sistema discontinuo es aplicable en situaciones particulares, como sería la de materias primas que presentan problemas de manejo en un sistema semi continuo y continuo, o materiales difíciles de digerir metanogénicamente o cuando las materias primas a procesar, están disponibles en forma intermitente, como es el caso de los rastrojos de cosecha.

Está destinado a pequeñas y grandes explotaciones agropecuarias, su uso a escala doméstica es poco práctico.

Ventajas del digestor discontinuo.

1. Ocupa menor volumen de digestor por volumen de biogás producido, debido a la alta concentración de materia seca en el sustrato (40 – 60%).
2. Ocupa de 60 – 80% menos de agua que los digestores continuos y semi continuos.
3. No forma costra ni necesita agitación diaria.
4. No sufre cambios de temperaturas violentos.
5. Ocupa menos mano de obra, ya que no necesita carga diaria, sino cada 2 o 3 meses para carga y descarga. Durante el resto del tiempo, basta amontonar el material a usar.
6. La mayor parte del bioabono se obtiene en forma sólida, siendo más fácil de esparcir en la preparación de suelos.
7. La corrosión de las tapas de los digestores es menor, debido a que éstas están insertas en un sello de agua.
8. No requiere de cuidados especiales que pueda causar accidentes en la fermentación anaeróbica.
9. Se puede construir sobre el suelo o semi enterrado. Es ideal para localidades de nivel freático superficial o terreno en rocas.

Figura 7.5. Biodigestor discontinuo o batch.



Fuente: Manual de Biogás Minenergía Chile et al, 2011

Biodigestor tecnología Puxin Biogás.

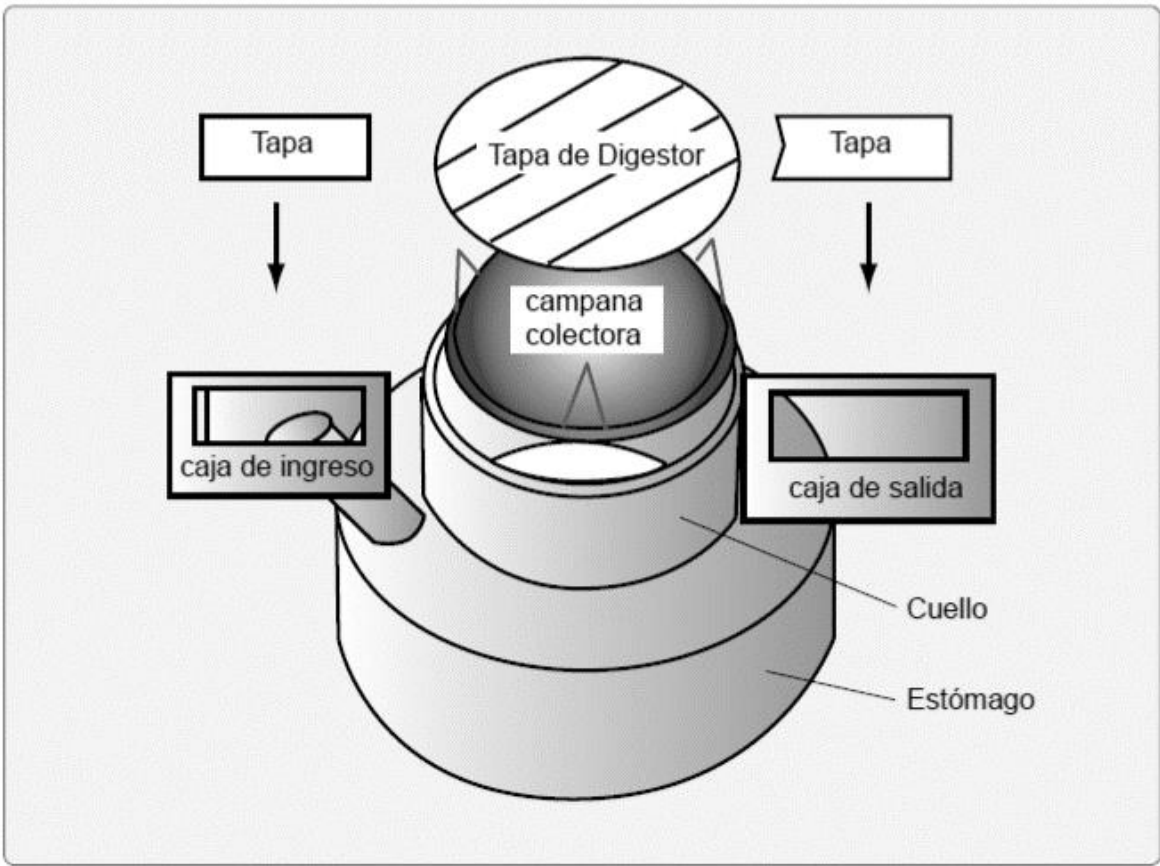
La tecnología de Puxin Biogás, desarrollada por la empresa china Shenzen Puxin Science & Technology Co, quienes disponen de moldes de construcción de biodigestores de 10 m³ de capacidad, de hormigón armado y ubicado en el subsuelo. Este biorreactor incluye un medio de almacenamiento de biogás.

Este biodigestor construido posee las siguientes características básicas:

- Es del tipo chino.
- Su construcción es estandarizada e industrializada (no artesanal).
- Régimen semi-continuo con cargas y descargas diarias.
- Su ubicación es bajo tierra.
- Es de hormigón, con una vida útil mínima de 15 años.
- Sus componentes principales son: un reactor de concreto y un contenedor de gas.
- El reactor tiene capacidad de 10 metros cúbicos y se compone de tres partes: estómago, cuello y una cámara de ingreso y salida de material orgánico.
- La construcción del bioreactor se realiza mediante el uso de molde de acero de 112 piezas.
- El contenedor de gas es de fibra de vidrio reforzado con plástico. Tiene 1,6 m de diámetro, y 1 metro cúbico de capacidad.
- El contenedor de gas está fijado al cuello del digestor;
- El contenedor de gas y las cámaras del reactor tienen sellos de agua.
- El bioreactor es del tipo hidráulico.
- La estructura de hormigón incorpora una malla acma C-92.
- Las paredes de hormigón del biodigestor tendrán 10 cm de grosor.

Las partes que conforman un biodigestor Puxin se detallan en la siguiente figura: [MINENERGIA et al 2011]

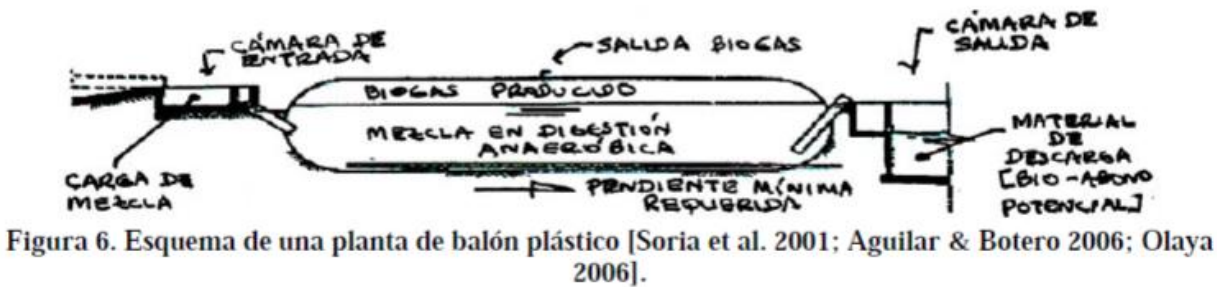
Figura 7.6. Componentes de un digestor Puxin de 10 m³



Fuente: Manual de Biogás Minenergía Chile et al, 2011

Biodigestor tipo Taiwán.

La planta balón o biodigestor tubular o tipo Taiwán se compone de un tubular en material plástico (polietileno, PVC, plastilona, entre otros, y una combinación de éstos) completamente sellado, la entrada y la salida están sujetas directamente a las paredes de la planta [Botero & Preston 1986; Pedraza et al. 2002]. La figura 6 [Soria et al. 2001; Aguilar & Botero 2006; Olaya 2006], muestra un esquema de esta tipología. La parte inferior de la planta, en un 75% del volumen constituye la masa de fermentación, y en la parte superior, el 25% restante, se almacena el biogás.



Entre sus ventajas, están [Botero & Preston 1986; Pedraza et al. 2002; Aguilar & Botero 2006]: sus materiales de construcción son de fácil transporte; su instalación y adecuación del sitio son sencillas; es apropiado en sitios con nivel freático alto, por su construcción horizontal; y entre los tipos de biodigestores, es el menor costo de construcción y operación.

Son desventajas, la baja presión de gas; una vida útil corta, entre 3 y 8 años, dependiendo del material que se seleccione; debe protegerse contra los rayos solares; y el material plástico está sujeto a daños, siendo necesario en lo posible encerrarse el área adyacente al biodigestor [Botero & Preston 1986; Pedraza et al. 2002; Aguilar & Botero 2006].

Novedad, Utilidad – Aplicación Industrial

Al incluir el biodigestor en un foso, se puede hacer uso de aguas residuales y residuos orgánicos en pequeña escala, en unidades constructivas de uso residencial, habitacional, institucional y comercial; directamente en la fuente, sin alterar las condiciones ambientales y de salubridad de las comunidades y personas a las que impacta el equipo, evitando la proliferación de malos olores y plagas. Solución ampliamente probada con la implementación comercial y de normalización de fosos sépticos. El sistema hace uso de la totalidad de las aguas residuales, por lo que permite, tomar mediciones para enriquecer la biomasa con la adición de materia orgánica, con el fin de hacer cada vez más eficiente el proceso de digestión anaeróbica. Por lo tanto es adaptable a las necesidades y recursos con los que cuenten sus usuarios.

Por medio de la presente innovación, el equipo biodigestor tipo Taiwán en PVC, siendo instalado en un foso, permite prolongar su vida útil hasta los 30 años, siempre y cuando se cuente con el mantenimiento mensual que se ha estimado para el sistema. Esta situación permite eficiencia en términos de costo – beneficio. Se ha comprobado que esta innovación permite una temperatura más estable, sin cambios bruscos de la misma, situación que facilita la proliferación de bacterias y microorganismos indispensables en el proceso de biodigestión anaeróbica.

La membrana en PVC es un material durable, resistente, flexible, de fácil transporte, manejo e instalación. Posee excelente resistencia a gran variedad de compuestos químicos como son: Aguas residuales domésticas, nivel freático, Agua salada al 25%, Lixiviado relleno sanitario – Municipal, Lixiviado relleno sanitario – Industrial, Sangre animal Silicona, Solución detergente en agua al 2%, Solución de jabón en agua al 2%, Gasolina común, ACPM, Kerosene, Crudo de Castilla, entre otros [Toxement 2017]. Es un material que permite un bajo costo en la implementación del sistema, así como, bajo costo en mantenimiento; a comparación, de biodigestores en otros materiales como mortero, fibrocemento o plástico, los que en su transporte, manejo, instalación y mantenimiento aumentan los costos ostensiblemente. Estos materiales no son maleables a las condiciones del terreno de cada proyecto. La membrana permite bajar los costos de excavación según condiciones específicas. El sistema permite implementar materiales de bajo costo en el desarrollo de la mampostería de contención como es el caso de bloque o ladrillo, previo estudio del suelo y diseño estructural del sistema.

Se ha implementado una cubierta en imán de neodimio en la entrada a la caja de inspección para que atrape residuos metálicos que puedan ingresar al sistema de desagüe, residuos que pueden generar daño en el triturador ubicado en la entrada al biodigestor. Esta es una medida de protección al sistema.

Al implementar en el sistema, trituradores de desechos orgánicos y una caja de inspección con el fin de incorporar material a la biomasa, poder tomar mediciones y muestras de la misma; permite hacer uso de la totalidad de las aguas residuales, al poder calcular la cantidad necesaria de material orgánico a adicionar. Desechos orgánicos como la paja, pasto y desechos de verdura, pueden fermentarse anaeróbicamente debiendo previamente triturarse para evitar la formación de capa flotante y dar un tratamiento especial en plantas donde se hace una sola carga hasta que el material se descompone [Vargas 1992; Ramón et al. 2006].

[Hernández 2015]: La trituración reduce el volumen, lo que genera ahorro en el almacenaje, transporte y disposición final de residuos. Lo que era un residuo puede pasar a ser un producto o materia prima.

El tamaño de las partículas afecta la transformación biológica del sustrato. Las partículas relativamente grandes tienen un tiempo de descomposición mayor y entonces el tipo de sustrato determina el nivel de actividad bioquímica que ocurre en el reactor (Henze, 2008). La accesibilidad de los microorganismos al material sólido y la hidrólisis de los componentes poliméricos complejos, constituyen el paso limitante en los procesos biológicos. Una forma de mejorar el desarrollo de los digestores que tratan residuos sólidos urbanos es la reducción del tamaño de partícula. El pretratamiento del sustrato por la desintegración mecánica (trituración) tiene efectos positivos en la biodegradabilidad anaerobia del sustrato a través del incremento de la superficie específica disponible en el medio (Esposito y col, 2011).

Por otra parte (Hills y Nakao, 1984) trabajaron con desechos de tomate picados con un tamaño de partícula de 1.3 a 20mm, reportando que la tasa de producción de biogás y la reducción de los sólidos son inversamente proporcionales al diámetro del sustrato. Por lo tanto, la reducción del tamaño de partícula y el incremento resultante de la superficie específica disponible representa una opción para el incremento en el rendimiento de degradación y la aceleración del proceso de digestión [Hernández 2015].

En la actualidad, las aguas residuales son utilizadas, cuando son tratadas y se les provee algún manejo, en mediana y gran escala con la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales, sistemas aeróbicos que comúnmente se encuentran alejados de la comunidad por el manejo de condiciones insalubres y malos olores; además de equipos biodigestores complejos, de gran escala, alta inversión en su infraestructura y funcionamiento. Este manejo es complejo por el transporte de las mismas, corriendo el riesgo de contaminación de fuentes hídricas, terrenos y fuentes de alimento.

Un aspecto preocupante que le otorga una utilidad al sistema, es la cantidad de alimentos (materia orgánica) que se desperdician y terminan en la basura, su correspondiente huella hídrica y de carbono en procesos productivos vinculados a los mismos, que no generan beneficio alguno a la sociedad. Según el DNP, al año se pierden y se desperdician en Colombia 9,76 millones de toneladas de comida. Esa cifra es alarmante porque representa el 34 % del total de los alimentos que el país podría consumir durante un año, es decir, que por cada tres toneladas de comida disponible en Colombia, una tonelada termina en la basura [Revista Semana 2016].

Dentro de la viabilidad financiera descrita más adelante en el numeral 2.4, analizamos la sustentabilidad en términos de recursos, costo – beneficio para un caso de la menor escala económica (tamaño – uso del sistema), situación que nos permite deducir, la viabilidad y posibilidad de mejora continua con la implementación de una economía de escala en el desarrollo del sistema. Esto nos permite deducir un criterio más de utilidad industrial a la invención.

Otro criterio permite inferir el cumplimiento de esta situación, es que en el numeral en mención no se tuvo en cuenta la cuantificación del rubro o costo social intangible por la protección del medio ambiente, la certeza del déficit para la producción de gas natural en el país, más allá del valor económico tasado actualmente para el metro cubico del recurso. Como consta en la siguiente tabla:

Tabla 3-1. Fechas de déficit frente a diferentes escenarios

Combinación de escenarios		Fecha inicio déficit
Oferta Alta - Demanda Alta	OA-DA	ene-25
Oferta Alta - Demanda Media	OA-DM	ene-25
Oferta Alta - Demanda Baja	OA-DB	sep-25
Oferta Media - Demanda Alta	OM-DA	feb-24
Oferta Media - Demanda Media	OM-DM	ene-25
Oferta Media - Demanda Baja	OM-DB	ene-25
Oferta Baja - Demanda Alta	OB-DA	feb-23
Oferta Baja - Demanda Media	OB-DM	nov-23
Oferta Baja - Demanda Baja	OB-DB	ene-25

Fuente: UPME – MME. 2016

CONCLUSION

De acuerdo con lo establecido por la Resolución CREG No. 089 de 2013 en su artículo 24 y las Resoluciones que la modifican, se concluye que la oferta certificada a la fecha por los productores e importadores abastecerá la demanda nacional de gas natural proyectada por la UPME (según el escenario medio), hasta Noviembre de 2023.

Fuente: Balance de Gas Natural en Colombia 2016-2025, Ministerio de Minas y Energía, 2016.

Otros rubros no tenidos en cuenta dentro de la viabilidad financiera, son los incentivos estipulados en la reforma tributaria. [Portafolio 2016]: Es preciso destacar que la reforma tributaria incluye una serie de beneficios tributarios verdes, algunos de los cuales permiten

avanzar en proyectos de generación de energía con fuentes no convencionales, descuentos para proyectos de inversión relacionados con control ambiental, reforestación, redes de monitoreo en recuperación de cuencas, etc.

Se destacan, el descuento del 20% a la renta líquida a inversiones en control y mejoramiento ambiental; así mismo, la exclusión del pago de IVA a elementos, equipos y maquinaria destinados a sistemas de control de mejoramiento ambiental y en la misma línea, la exclusión de IVA para equipos importados con este propósito. Se mantiene el pago de solo el 5% de IVA para vehículos eléctricos e igualmente se mantienen beneficios tributarios para proyectos de ecoturismo y las inversiones en generación de energía de fuentes renovables no convencionales renovables, en el marco de la ley 1715 de 2013.

La reforma tributaria tiene beneficios tangibles: se generarán en los próximos dos años cerca de un billón de pesos en recursos nuevos y se otorgará una cifra igual en beneficios tributarios para las empresas y los ciudadanos que inviertan en mejoramiento ambiental. Pero los beneficios ambientales son enormes.

La reforma es muy novedosa y estructural para el sector e inicia una nueva senda de aplicación de instrumentos económicos a la gestión ambiental. Esta reforma va generar recursos adicionales que nos permitirán, además de avanzar en el logro de metas ambientales específicas, garantizar la materialización de los beneficios ambientales de la paz, a través de la financiación de los programas y proyectos dirigidos a la disminución de la deforestación, agricultura sostenible, recuperación y restauración de ecosistemas degradados y adaptación al cambio climático, entre otros [Portafolio 2016].

2.2 Descripción de la invención

El Sistema Biodigestor Subterráneo de carga continua, de alimentación mixta, aguas sanitarias y desechos orgánicos, provenientes de Complejos habitacionales, hoteleros, recreativos, institucionales y comerciales, haciendas, condominios, conjuntos e inmuebles destinados a vivienda está compuesto por: un sistema de trituradores de residuos orgánicos tipo desagüe instalados donde se realice utilización y separación de material orgánico (por ejemplo cocinas), según destinación del tipo inmueble y diseño de implementación; red de desagüe sanitaria principal; cubierta en imán de neodimio ubicada en tramo de tubería de entrada a la caja de inspección para atrapar residuos metálicos que puedan ingresar al sistema; molino de corte o triturador fijo, según diseño, para procesamiento del material orgánico que va a ser añadido a la caja de inspección; caja de inspección sanitaria; tubería de ingreso de biomasa con registro válvula para garantizar hermeticidad del sistema; triturador industrial de desagüe; estructura subterránea (habitáculo) con muros de contención en mampostería o concreto, vigas y columnas (según cálculos de carga muerta, capacidad del sistema y diseño estructural), placas contra piso y de entepiso en concreto, respiradero tipo sifón en PVC, tapa de inspección, arena cernida (habitáculo de instalación del biodigestor en PVC); biodigestor tubular tipo Taiwan en material membrana en PVC de instalación subterránea dentro de la estructura; tubería válvula registro drenaje - salida lodo biofertilizante; tubería válvula registro drenaje - salida líquido biofertilizante ubicado extremo contrario a la entrada de biomasa; tubería salida de biogás ubicada en el extremo superior del biodigestor; válvula registro – manómetro; filtro deshidratador; filtro desulfurizador; bomba de vacío; tanque de acumulación de biogás en acero, lona (depende del diseño previsto); tubería principal suministro biogás; red de biogás; gasodomésticos, luminarias y/o planta de generación de energía (según el caso).

El sistema está inspirado en el conocimiento ancestral de nuestros antepasados y comunidades campesinas en la implementación de fosos sépticos para el manejo de desechos y el tratamiento de condiciones insalubres. Por lo tanto, nos planteamos desarrollar un sistema que cumpla con la eficacia técnica – financiera de un biodigestor tipo Taiwán, con las características para el correcto manejo de los desechos de un foso séptico. Dentro del proceso de investigación y desarrollo, finalmente llegamos a nuestro Sistema Biodigestor Subterráneo de carga continua, de alimentación mixta, aguas sanitarias y desechos orgánicos, provenientes de Complejos habitacionales, hoteleros, recreativos, institucionales y comerciales, haciendas, condominios, conjuntos e inmuebles destinados a vivienda. Este sistema nos permite la utilización de la totalidad de los residuos sanitarios en los proyectos constructivos e inmuebles mencionados, así como, la implementación en el sistema de trituradores de residuos orgánicos (tipo desagüe y fijos), que nos permiten enriquecer la mezcla que alimenta la biomasa, al aprovechar esta materia orgánica, se

vuelve más eficiente el proceso de generación del biogás y la calidad del biofertilizante resultante (lodos y líquidos). El material principal elegido para el equipo biodigestor es la membrana en PVC, por las características específicas del material, flexibilidad, resistencia, su costo en la implementación, larga vida útil y posibilidad final de reciclaje de la materia prima.

Los cálculos de carga del biodigestor, cálculos de capacidad del sistema hidráulico, así como, el tanque de almacenamiento, serán analizados según el caso, puesto que se tienen que tener en cuenta las cargas de suministro, tipo de materia orgánica, temperatura, utilización de los productos resultantes y en general todas las variables involucradas en el desarrollo y destinación de cada proyecto.

El diseño propio del Biodigestor, requiere de los siguientes pasos [Sogari et al. 2000; Olaya 2006]:

- Posible carga orgánica (biomasa).
- Cantidad de mezcla de agua (Ma).
- Determinación del tiempo de retención (Tr).
- Determinación de las dimensiones del biodigestor.
- Dimensionamiento del tanque de compensación (Vc) y almacenamiento del gas (Vg).

Dentro de las bondades del diseño encontramos la no separación de la red sanitaria, con el fin de, la utilización de la totalidad de desechos. Caja de inspección para facilitar la mezcla de alimentación, así como, medir sus componentes e implementar compuestos o acciones que enriquezcan y hagan más efectivo el proceso de la biomasa. Se trata de utilizar la mejor pendiente posible en el desagüe principal y red de alimentación para cada proyecto, con el fin de no hacer uso de recursos adicionales en la implementación de equipos de bombeo. La ubicación del biodigestor la planteamos en un habitáculo bajo tierra, protegiéndolo de los elementos y evitando la proliferación de malos olores al exterior, adicionalmente se implementará un respiradero de aireación que incluya un sifón en PVC para no dejar pasar malos olores al exterior, como una medida preventiva para evitar acumulación de gases en caso de algún escape. Este respiradero esta vinculado (instalado) directamente en la tapa de inspección que permite ingresar al sistema subterráneo para poder realizar mantenimiento, drenaje y arreglos en general que se requieran.

La instalación del habitáculo se realiza con especificaciones técnicas similares a las de un foso séptico. En el diseño del equipo biodigestor se implementaron válvulas para la tubería de alimentación, salidas de biogás, drenado de lodos y liquido biofertilizante, para asegurar la hermeticidad requerida para el proceso anaeróbico. El material utilizado principal para el biodigestor es membrana en PVC por su alta resistencia, flexibilidad y propiedades.

El Filtro desulfurizador permite la extracción del sulfuro de hidrógeno que es componente natural del biogás. Este H₂S es muy corrosivo y por lo tanto, su eliminación es importante para garantizar una mayor vida útil de los equipos domésticos usados a biogás. Filtro deshidratador permite la extracción del vapor de agua que es componente natural del biogás. Manómetros Para disponer de una fácil y rápida medición del nivel de presión de la línea de distribución de biogás. Esto es muy importante para determinar si el sistema mantiene suficiente presión para poder hacer uso de los artefactos domésticos. [MINENERGIA et al 2011]. Haciendo uso de una bomba de vacío podemos comprimir el biogás filtrado y almacenarlo en el tanque para finalmente ser utilizado en el inmueble o inmuebles como combustible para preparación de alimentos, calefactor, iluminación, generación de energía eléctrica, etc.

Etapas del proceso de digestión anaeróbica dentro del biodigestor

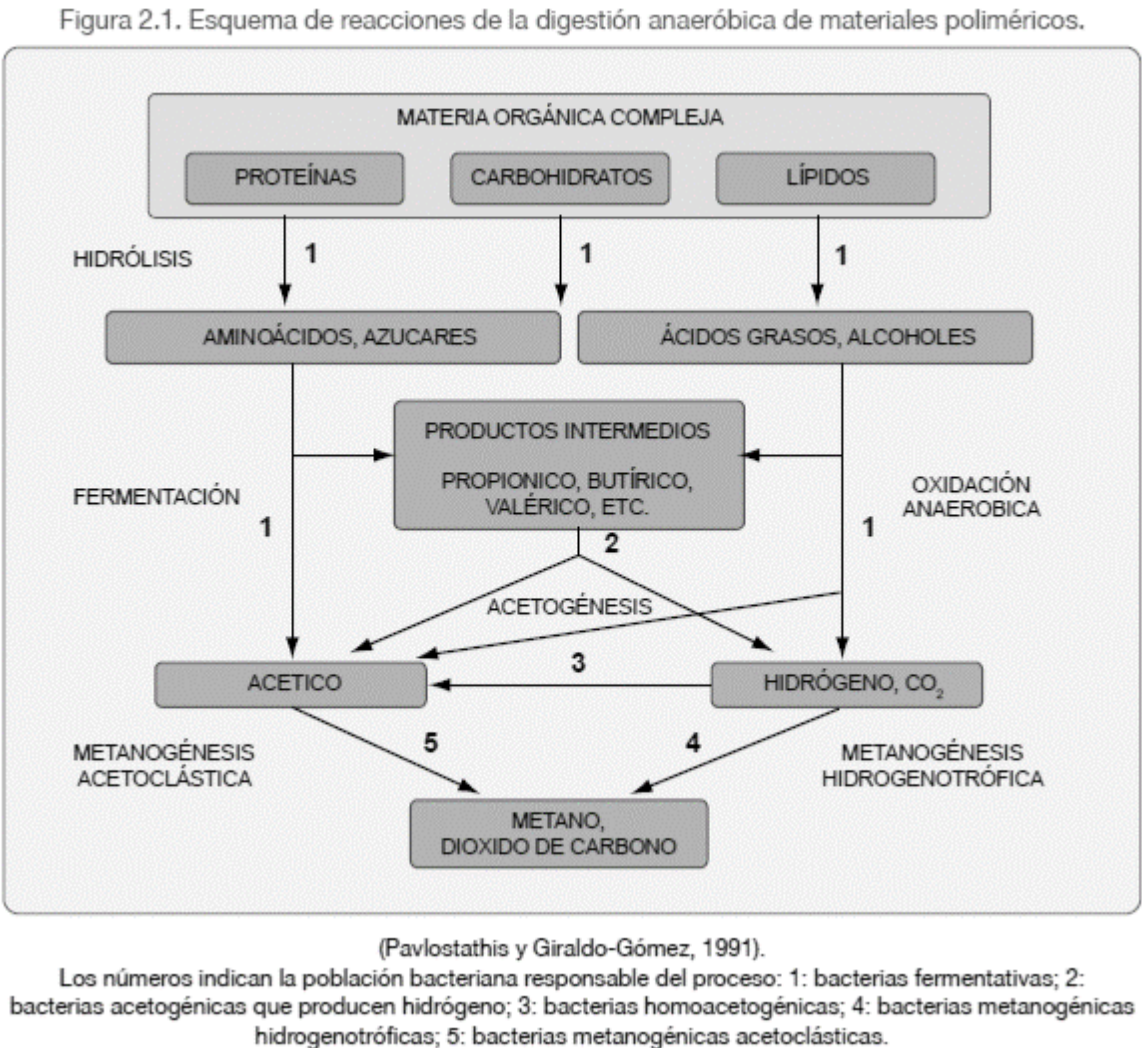
[MINENERGIA et al 2011]: La digestión anaeróbica es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea. Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas:

- Hidrólisis
- Etapa fermentativa o acidogénica

- Etapa acetogénica
- Etapa metanogénica

La primera fase es la hidrólisis de partículas y moléculas complejas (proteínas, carbohidratos y lípidos) que son hidrolizadas por enzimas extracelulares producidas por los microorganismos acidogénicos o fermentativos. Como resultado se producen compuestos solubles más sencillos (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga) que serán metabolizados por las bacterias acidogénicas dando lugar, principalmente, a ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrógeno, dióxido de carbono y otros productos intermedios. Los ácidos grasos de cadena corta son transformados en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, mediante la acción de los microorganismos acetogénicos. Por último, los microorganismos metanogénicos producen metano a partir de ácido acético, H₂ y CO₂.

En la Figura 2.1 se muestra esquemáticamente las distintas fases del proceso de digestión anaeróbica, los microorganismos que intervienen en cada una de ellas y los productos intermedios generados



Fuente: Manual de Biogás Minenergía Chile et al, 2011

Hidrólisis

La materia orgánica polimérica no puede ser utilizada directamente por los microorganismos a menos que se hidrolicen en compuestos solubles, que puedan atravesar la pared celular. La hidrólisis es el primer paso necesario para la degradación anaeróbica de sustratos orgánicos complejos. Por tanto, es el proceso de hidrólisis el que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaeróbica. La hidrólisis de estas moléculas complejas es llevada a cabo por la acción de enzimas extracelulares producidas por microorganismos hidrolíticos.

La etapa hidrolítica puede ser el proceso limitante de la velocidad global del proceso sobre todo cuando se tratan residuos con alto contenido de sólidos. Además, la hidrólisis depende de la temperatura del proceso, del tiempo de retención hidráulico, de la composición bioquímica del sustrato (porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas y grasas), del

tamaño de partículas, del nivel de pH, de la concentración de NH_4^+ y de la concentración de los productos de la hidrólisis.

Cualquier sustrato se compone de tres tipos básicos de macromoléculas: hidratos de carbono, proteínas y lípidos. Las proteínas constituyen un sustrato muy importante en el proceso de digestión anaeróbica debido a que además de ser fuente de carbono y energía, los aminoácidos derivados de su hidrólisis tienen un elevado valor nutricional. Las proteínas son hidrolizadas en péptidos y aminoácidos por la acción de enzimas proteolíticas llamadas proteasas. Parte de estos aminoácidos son utilizados directamente en la síntesis de nuevo material celular y el resto son degradados a ácidos volátiles, dióxido de carbono, hidrógeno, amonio y sulfuro en posteriores etapas del proceso.

La degradación de los lípidos en ambientes anaeróbicos comienza con la ruptura de las grasas por la acción de enzimas hidrolíticas denominadas lipasas produciendo ácidos grasos de cadena larga y glicerol.

La velocidad de degradación de los materiales lignocelulósicos compuestos principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa, es tan lenta que suele ser la etapa limitante del proceso de hidrólisis. Esto es debido a que la lignina es muy resistente a la degradación por parte de los microorganismos anaeróbicos afectando también a la biodegradabilidad de la celulosa, de la hemicelulosa y de otros hidratos de carbono. Los principales productos de la hidrólisis de la celulosa son celobiasa y glucosa, mientras que la hemicelulosa produce pentosas, hexosas y ácidos urónicos. La tasa de hidrólisis, en general, aumenta con la temperatura. La tasa de hidrólisis depende, también, del tamaño de las partículas, debido fundamentalmente a la disponibilidad de superficie para la adsorción de las enzimas hidrolíticas. Los pretratamientos físico-químicos, cuyo principal efecto es la reducción del tamaño de las partículas, producen un aumento en la tasa de hidrólisis, y si esta fase es la limitante del proceso anaerobio, supone un beneficio para el proceso general, produciendo menores tiempos de retención y tamaños de reactor menores.

Etapas fermentativa o acidogénica

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H_2) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso. La importancia de la presencia de este grupo de bacterias no sólo radica en el hecho que produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, si no que, además eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema.

Este grupo de microorganismos, se compone de bacterias facultativas y anaeróbicas obligadas, colectivamente denominadas bacterias formadoras de ácidos.

Etapas acetogénica

Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (H_2 y acético), otros (etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, como acetato (CH_3COO^-) e hidrógeno (H_2), a través de las bacterias acetogénicas. Representantes de los microorganismos acetogénicos son *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini*.

Un tipo especial de microorganismos acetogénicos, son los llamados homoacetogénicos. Este tipo de bacterias son capaces de crecer heterotróficamente en presencia de azúcares o compuestos monocarbonados (como mezcla H_2/CO_2) produciendo como único producto acetato. Al contrario que las bacterias acetogénicas, éstas no producen hidrógeno como resultado de su metabolismo, sino que lo consumen como sustrato. Según se ha estudiado, el resultado neto del metabolismo homoacetogénico permite mantener bajas presiones parciales del hidrógeno y, por tanto, permite la actividad de las bacterias acidogénicas y acetogénicas.

Los principales microorganismos homoacetogénicos que han sido aislados son *Acetobacterium woodii* o *Clostridium aceticum*.

A esta altura del proceso, la mayoría de las bacterias anaeróbicas han extraído todo el alimento de la biomasa y, como resultado de su metabolismo, eliminan sus propios productos de desecho de sus células. Estos productos, ácidos volátiles sencillos, son los que van a utilizar como sustrato las bacterias metanogénicas en la etapa siguiente.

Etapas metanogénica

En esta etapa, un amplio grupo de bacterias anaeróbicas estrictas, actúa sobre los productos resultantes de las etapas anteriores. Los microorganismos metanogénicos pueden ser considerados como los más importantes dentro del consorcio de microorganismos anaerobios, ya que son los responsables de la formación de metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores, siendo, además, los que dan nombre al proceso general de biometanización.

Los microorganismos metanogénicos 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: acetato, H_2/CO_2 , formato, metanol y algunas metilaminas.

Los organismos metanogénicos se clasifican dentro del dominio Archaea y tienen características comunes que los diferencian del resto de procariotas.

Se pueden establecer dos grandes grupos de microorganismos, en función del sustrato principal que metabolizan: hidrogenotróficos, que consumen H_2/CO_2 y fórmico y acetoclásticos, que consumen acetato, metanol y algunas aminos.

Se ha demostrado que un 70% del metano producido en los reactores anaeróbicos se forma a partir de la descarboxilación de ácido acético, a pesar de que, mientras todos los organismos metanogénicos son capaces de utilizar el H_2 como aceptor de electrones, sólo dos géneros pueden utilizar acetato. Los dos géneros que tienen especies acetotróficas son *Methanosarcina* y *Methanothrix*. El metano restante proviene de los sustratos ácido carbónico, ácido fórmico y metanol. El más importante es el carbónico, el cual es reducido por el hidrógeno, también producido en la etapa anterior.

Microorganismos involucrados en cada fase de digestión anaeróbica.

Las especies de microorganismos involucrados en el proceso varían dependiendo de los materiales que serán degradados. Los alcoholes, ácidos grasos, y los enlaces aromáticos pueden ser degradados por la respiración anaeróbica de los microorganismos.

Estos utilizan, entre otros nutrientes, el nitrato (*Paracoccus denitrificans*, *Pseudomonas stutzerii*), azufre (*Desulfuromonas acetoxidans*, *Pyrodictium occultum*), sulfato (*Desulfovibrio desulfuricans*, *Desulfonema limicola*), carbonato (*Acetobacterium woodii*, *Clostridium acetivum*, *Methanobacterium thermoautotrophicum*), fumarato (*Escherichia coli*, *Wolinella succinogenes*) o $Fe(III)$ (*Alteromonas putrefaciens*) como aceptores de electrones, por lo que pueden denominarse reductores de nitrato, reductores de sulfato, etc.

Sin embargo otros microorganismos también compiten por el nitrato como aceptor de electrones, por lo que el nitrato se reduce rápidamente a amonio y el nitrato como reductor juega un papel secundario en los procesos de fermentación.

Los reductores de sulfato participan activamente en la degradación de compuestos con poco oxígeno, tales como lactato y etanol.

En la primera y segunda fase de la degradación, participan bacterias de al menos 128 órdenes de 58 especies y 18 géneros. Las especies que se presentan principalmente son *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Eubacterium* y *Bacteroides*.

En la tercera y cuarta fase de la degradación, se encuentran principalmente bacterias metanogénicas. En la actualidad, se han identificado 81 especies, de 23 géneros, 10 familias y 4 órdenes.

Además, existen diversos microorganismos que pertenecen al sistema ecológico de un biorreactor y que participan indirectamente en la degradación. Por ejemplo, *Staphylococcus*, especie que se desarrolla con frecuencia en los digestores, puede provocar

riesgos para la salud del personal que opera el digestor si no se toman las medidas sanitarias necesarias.

En las cuatro fases de la degradación, las especies *Acetobacter* y *Eubacterium* tienen una participación similar en el proceso (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Bacterias que participan en el proceso de fermentación durante las cuatro fases.

Taxonomía	Especies	Descripción	Metabolismo
Género: <i>Acetobakterium</i>	<i>A. woodii</i> <i>A. paludosum</i>	El género <i>Acetobacter</i> comprende un grupo de bacilos Gram negativos, móviles que realizan una oxidación incompleta de alcoholes, produciendo una acumulación de ácidos orgánicos como productos finales.	Reducen autotróficamente compuestos poliméricos, oligómeros, monómeros y CO ₂ , utilizando el hidrógeno como fuente de electrones. Estos microorganismos hacen posible la descomposición de los ácidos grasos y compuestos aromáticos.
Género: <i>Eubacterium</i>	<i>E. rectale</i> <i>E. siraeum</i> <i>E. plautii</i> <i>E. cylindroides</i> <i>E. brachy</i> <i>E. desmolans</i> <i>E. callandrei</i> <i>E. limosum</i>	El género <i>Eubacterium</i> consiste en un grupo de bacterias anaeróbicas obligadas Gram – positivas.	La mayoría de las <i>Eubacteria</i> sacarolíticas producen butirato como el principal producto de su metabolismo. Muchas especies son capaces de descomponer sustratos complejos a través de mecanismos especiales. Algunas especies se desarrollan autotróficamente, por lo tanto son capaces de cumplir funciones específicas en la descomposición anaeróbica.

Fuente:Insam, et al, 2009.

Fuente: Manual de Biogás Minenergía Chile et al, 2011

Bacterias que participan de la hidrólisis

Los microorganismos de muchos géneros son los responsables de la hidrólisis. Entre estos destacan: *Bacteroides*, *Lactobacillus*, *Propioni- bacterium*, *Sphingomonas*, *Sporobacterium*, *Megasphaera*, *Bifidobacterium*.

Bacterias que participan de la acidogénesis

La mayoría de los microorganismos acidogénicos también participan de la hidrólisis. El género *Clostridium*, *Paenibacillus* y *Ruminococcus* están presentes en todas las fases del proceso de fermentación, pero son dominantes en la fase acidogénica.

El grupo *Cytophaga-Flavobacterium-Bacteroides* representa el segundo grupo más grande de microorganismos durante las dos primeras fases de la descomposición. Sin embargo, en la fase metanogénica representan menos del 5% del total de microorganismos. Esto indica que estos grupos son los principales responsables de la degradación de compuestos monoméricos.

Bacterias que participan de la acetogénesis

Estas bacterias sólo pueden sobrevivir en simbiosis con el género que consume hidrógeno.

Todos los microorganismos acetogénicos tienen un período de regeneración de hasta 84 h.

Las bacterias acetogénicas reductoras de sulfato son capaces de degradar lactato y etanol, pero no son capaces de degradar ácidos grasos y compuestos aromáticos.

Bacterias que participan de la metanogénesis

La última fase de la descomposición anaeróbica se encuentra dominada por un grupo especial de microorganismos, las Arqueas metanogénicas. Estas se caracterizan a través del co-factor F420, el cual actúa en presencia de hidrogenasas como transportador de H2. Este puede detectarse por su autofluorescencia en un microscopio óptico.

Las metanogénicas activas aparecen en la segunda fase de la fermentación, la fase de acidogénica. Sin embargo, obviamente el número de Arqueas metanogénicas aumenta en la fase metanogénica. Las principales especies están representadas por Methanobacterium, Methanospirillum hungatii , y Methanosarcina [MINENERGIA et al 2011].

2.3 Factibilidad del Sistema (Ejemplo)

El primer paso abordado fue calcular la cantidad estimada de biomasa con la que se puede contar para alimentar el sistema. Se procedió a realizar el cálculo teniendo en cuenta un hogar tipo de nuestro país (estrato 3 Bogotá) compuesto por 4 personas.

Se obtuvo un valor aproximado de 6.827 litros de agua residual para una familia tipo por mes. Como se muestra en el Cuadro 2 [ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ 2012].

Cuadro 2			
Indicadores ambientales específicos sobre aguas residuales			
Indicador		Estrato	Litros
Alcantarillado	Población	1 Bajo-Bajo	49,68
		2 Bajo	58,83
		3 Medio-Bajo	69,50
		4 Medio	108,40
		5 Medio-Alto	143,66
		6 Alto	221,64
	Hogares	1 Bajo-Bajo	174,77
		2 Bajo	211,78
		3 Medio-Bajo	227,58
		4 Medio	301,08
		5 Medio-Alto	390,24
		6 Alto	561,36
	Viviendas	1 Bajo-Bajo	200,85
		2 Bajo	238,83
		3 Medio-Bajo	249,01
		4 Medio	302,70
		5 Medio-Alto	384,92
		6 Alto	534,84

Fuente: Base Datos EAAB 2010, Proy. Pobl. DANE-SDP 2010

El total de los residuos para un hogar tipo en el año 2011 fue de 70 kg mensuales aproximados tal como se muestra en el Cuadro 2. El 60% de la basura de los hogares colombianos es orgánico [PORTAFOLIO 2017], por lo tanto se pueden incluir 42 kg mensuales. Se estiman 290 litros adicionales de residuos sanitarios mensuales adicionales al agua para la familia tipo, dicho valor va incluido en el agua residual por lo que tiene que ser restado por lo que el valor total del agua es de 6.537 lt.

Cuadro 2
Generación de Residuos de los Hogares
2005-2011

Año	Toneladas año	Población	Ton / año / per cápita	Kl / año / per cápita
2005	7.583.240	42.888.592	0,18	176,81
2006	8.908.555	43.405.956	0,21	205,24
2007	7.582.875	43.926.929	0,17	172,62
2008	9.153.835	44.451.147	0,21	205,93
2009	9.488.175	44.978.832	0,21	210,95
2010	8.980.095	45.509.584	0,20	197,32
2011	9.686.005	46.044.601	0,21	210,36

Fuente: MADS, SUI

Fuente: DANE (2015). Cuenta de residuos 2005 – 2013 provisional, Oferta y utilización de residuos sólidos Industria Manufacturera y Hogares (piloto)

Según lo investigado en el fundamento técnico, descrito en el numeral 2.6. La mezcla de agua y material orgánico mixto deberá ser en una proporción 4:1, entre otras características relevantes que tienen que ser controladas para el eficiente funcionamiento del sistema. Por lo tanto, para el presente ejemplo, es necesario, para un correcto funcionamiento del mismo adicionar en la caja de inspección del sistema a la biomasa enriquecida 1,6 m³ de materia orgánica valor aproximado. Se propone hacer uso de residuos de jardinería o material de poda triturado. Se tomó la decisión de no tener en cuenta los residuos orgánicos del hogar por la proporción 4:1 de la mezcla con el fin de enriquecerla.

Las pruebas realizadas al equipo en escala arrojaron que para el ejemplo de hogar tipo el sistema puede proveer bajo un marco conservador 250 m³ de biogás. Las pruebas fueron realizadas bajo un ambiente controlado y muestras recogidas de colectores sanitarios de la zona.

En la actualidad, el servicio de gas natural cubre a más de 7.9 millones de hogares, y mantiene un consumo promedio relativamente estable por hogar que se aproxima a los 17 m³ mensuales, en las diferentes zonas [MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA 2015]. Por lo tanto, tenemos un remanente de 233 m³ de biogás.

Con la instalación de un generador eléctrico a gas de 5.6 KVA cuyo consumo promedio es 2.29 m³/h podemos generar energía eléctrica al hogar durante 102 horas aproximadas por mes en un escenario conservador.

2.4 Viabilidad Financiera

El análisis de costo – beneficio se usa para identificar y analizar los costos y beneficios directos e indirectos. El análisis implica la ponderación de todos los costos directos e indirectos, frente a todos los beneficios directos e indirectos [ICONTEC 2009]. Se encontraron también costos y beneficios intangibles, que son difíciles de cuantificar, tal es el caso del daño ambiental al no tratar o controlar el transporte y manejo de aguas residuales y desechos. Este es un beneficio que no se está estimando dentro de la presente viabilidad financiera.

Se inicia calculando el ahorro mensual por la implementación y puesta en marcha del sistema para, luego, analizar el punto de equilibrio y retorno de la inversión.

Según la empresa Gas Natural Fenosa, el valor del m³ de gas natural para el estrato 3 promedio es 1.600 pesos por lo tanto el valor mensual es 27.200.

A diciembre de 2017 la tarifa en Bogotá del servicio de alcantarillado (estas tarifas varían en todo el país, de acuerdo a la empresa prestadora, solo son para el ejemplo) para el estrato 3 son: cargo fijo 5.900 pesos y 2.200 pesos por m3. El consumo promedio de una

familia en Bogotá es de 10,76 metros cúbicos de agua [EL TIEMPO 2012], por lo tanto, el valor del servicio mensual sería de 29.572 pesos por mes.

Para el caso se supone que en el hogar las horas activas de mayor uso de energía eléctrica son de lunes a domingo de 6 AM a 10 PM, 480 horas mensuales. Según Codensa el valor promedio de la factura para un hogar estrato 3 es de 55.000 pesos mes. Por lo tanto nuestro ahorro será de 11.700 pesos aproximado. Este valor podrá ser mayor, haciendo uso del sistema en las horas de mayor consumo.

El lodo biofertilizante debe ser secado para poderse comercializar, el kilo de este tipo de fertilizante tiene un valor promedio al por mayor en el mercado de 1.000 pesos por kilo. Para el ejemplo expuesto, se estima bajo una producción conservadora 800 kg mes, por lo tanto, 800.000 pesos de ingresos mensuales por este concepto.

El biofertilizante en estado líquido después de un proceso de filtrado puede ser comercializado, el litro de este tipo de fertilizante tiene un valor promedio al por mayor en el mercado de 2.000 pesos por litro. Para el ejemplo expuesto, se estima bajo una producción conservadora 2000 lt mes, por lo tanto, 4.000.000 pesos de ingresos mensuales por este concepto. Los tipos de biofertilizante pueden ser utilizados directamente en un proceso productivo, generando una mayor utilidad a la comercialización de los mismos.

Se ha estimado un costo promedio de implementación del sistema para el caso estudiado, correspondiente a obra civil, dotación, instalación y puesta en marcha de equipos, sin tener en cuenta licencias y permisos para su ejecución, de 60 millones de pesos. Este valor puede bajar implementando un modelo de economía de escala.

Por lo tanto, en 12 meses aproximados se recupera el valor de la inversión, generando un retorno mensual del 8,11% a partir de ese momento.

Para el caso de Colombia. No se ha tenido en cuenta el valor de la conexión de un proyecto constructivo a la red madre de alcantarillado el cual tiene un Valor promedio de 3.800.000 por metro lineal más un 6% de interventoría. También existe un valor de Cargas urbanas que está atado a la inversión urbanística y de infraestructura de cada sector, estos valores varían según el operador de alcantarillado. Estos rubros en algunos casos hacen inviables algunos proyectos, así se cuente con una disponibilidad de servicios para la zona.

2.5 Beneficios del Sistema

- No separación de redes de aguas residuales. Que implica un mejor manejo y aprovechamiento del recurso y disminución de los costos en la fase de implementación del sistema.
- Baja los costos de diseño y construcción de la red sanitaria: según el caso, se pueden ahorrar tramos de conexión a la red de principal de alcantarillado.
- Disminución en tarifas de recolección y alcantarillado. Reducción de residuos en rellenos sanitarios. De esta forma se reducen significativamente los costos de la disposición de residuos orgánicos, e incluso se obtienen sub-productos con valor agregado (bioabono). Además, el tratamiento anaeróbico de los residuos orgánicos contribuye a la protección de las aguas subterráneas, reduciendo el riesgo de lixiviación de nitratos. Por otra parte, la digestión anaeróbica elimina el problema de emisión de olores molestos, como por ejemplo, el olor a amoníaco, producto de la acumulación de excretas y orina sin tratar [MINENERGIA CHILE 2011].
- Minimización de costos de derechos de alcantarillado y desarrollo constructivo del mismo.
- Ingresos provenientes de la generación de energía (gas y/o eléctrica), comercialización y utilización de lodos y liquido biofertilizante.
- Tratamiento y utilización de los residuos directamente en la fuente, evitando contaminación en campos, alimentos y fuentes hídricas. [PORTAFOLIO 2017]: En las ciudades, el 97% tiene conexión al agua potable y el 93% cuenta con canalización. La preocupación es que gran cantidad de las aguas residuales llegan sin ser tratadas a los ríos y zonas costeras.
- Costo auto sustentable en la implementación del sistema bien sea por apoyo estatal o un esquema de concesión del sistema e inversión directa del propietario. [CONGRESO DE LA REPUBLICA 1993]: Fundamentos de la política ambiental colombiana: El Estado fomentará la incorporación de los costos ambientales y el

uso de instrumentos económicos para la prevención, corrección y restauración del deterioro ambiental y para la conservación de los recursos naturales renovables.

- Viabiliza en gran medida proyectos constructivos en predios de zonas alejadas que cuentan con disponibilidad normativa de servicios, pero que ante la ausencia de infraestructura no es posible su desarrollo.
- La implementación de nuestro proyecto es aplicable a proyectos constructivos de vivienda en general, proyectos hoteleros, primordialmente, quienes depositan desechos tratados directamente al mar.
- Alineado con la Responsabilidad Social de cada ser humano. [MINENERGIA CHILE 2011]: El metano es un gas que en la atmósfera terrestre contribuye al efecto invernadero. El contenido de metano en la atmósfera se ha duplicado desde la última era de hielo a 1,7 ml m⁻³ en la actualidad. Este valor se ha mantenido constante en los últimos años. El metano contribuye un 20% al efecto invernadero antropogénico. Entre las fuentes de metano de origen humano, más del 50% corresponde a la ganadería y hasta el 30% provienen a partir del cultivo de arroz.

2.6 Fundamento técnico

Los biodigestores han sido utilizados por la humanidad desde el año 1.900 en la India, son sistemas anaeróbicos cuya materia prima se denomina biomasa. El término biomasa se refiere entonces a cualquier tipo de materia orgánica que tiene su origen en un proceso biológico, siendo ejemplo de esta biomasa la madera, los desechos agrícolas y el estiércol; la biomasa puede convertirse en energía a través de dos procesos, el bioquímico, en el cual se ubica la tecnología del biogás, y el termoquímico [Posso 2002]. La biomasa se clasifica de acuerdo con las siguientes categorías [Posso 2002]: natural, que corresponde a la que se produce espontáneamente en la naturaleza, como bosques, matorrales, hierbazales, entre otros; residual, obtenida de las actividades agrícolas, ganaderas y forestales, como los estiércoles que son usados como materia prima para la producción del biogás; y de plantaciones energéticas, que corresponde a cultivos energéticos, es decir plantaciones que están dedicadas a la producción de un combustible, como la caña de azúcar, el maíz, especies de palma, entre otros [FAO 2008].

[Olaya 2009]: Una forma inmediata de aprovechar el recurso biomásico, es a partir de la fermentación anaeróbica, proceso denominado digestión anaeróbica, en el cual se convierte la compleja materia orgánica en metano (CH₄) y otros gases, y cuya reducción depende de la cantidad y del tipo de materia adicionada al sistema, así como las condiciones psicométricas del aire en el interior del sistema; se ha podido establecer que usando materia altamente biodegradable se obtiene 0.5 m³ de gas por Kg de masa, con un 70% de Metano [Guzmán 2008].

Las bacterias fermentan el material orgánico en ausencia de aire (es decir, fermentación anaeróbica) y producen biogás; este material de fermentación está constituido por sustancias sólidas orgánicas, inorgánicas y agua (el cual incrementa la fluidez del material de fermentación, característica importante para el funcionamiento de una planta de biogás), y su componente inorgánico no sufre modificación alguna durante el proceso de fermentación [Guevara 1996]. El biogás que generalmente se produce, es un gas incoloro, inflamable, y contiene 60% de metano y 40% de dióxido de carbono, con aportes menores de Nitrógeno, Hidrógeno, y gas sulfhídrico; su poder calorífico es de 4400 Kcal/m³ [Guzmán 2008].

El proceso de fermentación está compuesto por tres fases principales [Guevara 1996; Ramón et al. 2006]: una primera fase, de hidrólisis, donde las bacterias fermentativas o acidogénicas hidrolizan los polímeros y las convierten a través de la fermentación en ácidos orgánicos solubles; una segunda fase, de acidificación, donde las bacterias acetogénicas causan una metabolización de los complicados ácidos orgánicos en acetatos (CH₃COOH), dihidrógenos (H₂) y carbodióxidos CO₂; y una tercera fase, de metanización, donde las proteínas, hidratos de carbono y grasa, los aminoácidos, alcoholes y ácidos grasos que se formaron en las fases anteriores, se convierten en metano, bióxido de carbono y amoníaco. En la última fase el material de fermentación se vuelve más líquido.

Diversos factores influyen en el funcionamiento del biodigestor, los cuales son descritos a continuación [Guevara 1996; Hilbert 2003]:

- Temperatura y tiempo de retención: el rango de temperatura y el periodo de retención dentro del biodigestor, clasifican la fermentación de la siguiente manera [Alcayaga et al. 1999]:

- o Fermentación psicrófila, para un rango de temperatura entre 10 y 20°C y más de 100 días de retención.

- o Fermentación mesófila, para un rango de temperatura entre 20 y 35°C y aproximadamente 30 a 40 días de retención.

- o Fermentación termófila, para un rango de temperatura entre 50 y 60°C y más de 8 días de retención. Este tipo de fermentación no es apropiada para plantas sencillas.

- Relación C/N: Los materiales de fermentación están compuestos en su mayor parte por carbono (C) y también contienen nitrógeno (N), entonces se establece la relación entre ellos (C/N), la cual influye sobre la producción de gas [Alcayaga et al. 1999]. Una relación de 20:1 hasta 30:1 es aceptable [Alcayaga et al. 1999], aunque el valor ideal es de 16 [Corace et al. 2006]; mezclas de materiales de fermentación con alto contenido de nitrógeno (como por ejemplo, el estiércol de gallina) con material de fermentación con alto contenido de carbono (como el tamo de arroz) generan una elevada producción de gas [Alcayaga et al. 1999].

[Olaya 2009]: Para conseguir un buen rendimiento de gas en forma constante durante la fermentación, se deben combinar proporciones adecuadas de materiales con bajo y alto rendimientos y diferentes velocidades de generación; la relación C/N de la combinación puede ser calculada como [Guevara 1996]:

$$K = (\sum C_i X_i) / (\sum N_i X_i)$$

Donde, K es la relación C/N de la combinación de materias escogidas para la carga, N es el porcentaje de nitrógeno de la materia i, C es el porcentaje de Carbono de la materia i, y X es el peso de la materia i.

Tabla 3.8. Valores promedios aproximados de la relación carbono/nitrógeno de algunos residuos disponibles en el medio rural.

Materiales	% C	% N	C/N
Residuos animales			
Bovinos	30	1.30	25:1
Equinos	40	0.80	50:1
Ovinos	35	1.00	35:1
Porcinos	25	1.50	16:1
Caprinos	40	1.00	40:1
Conejos	35	1.50	23:1
Gallinas	35	1.50	23:1
Patos	38	0.80	47:1
pavos	35	0.70	50:1
Excretas humanas	2.5	0.85	3:1
Residuos vegetales			
Paja trigo	46	0.53	87:1
Paja cebada	58	0.64	90:1
Paja arroz	42	0.63	67:1
Paja avena	29	0.53	55:1
Rastrojos maíz	40	0.75	53:1
Leguminosas	38	1.50	28:1
Hortalizas	30	1.80	17:1
Tubérculos	30	1.50	20:1
Hojas secas	41	1.00	41:1
Aserrín	44	0.06	730:1

Fuente: Varnero y Arellano, 1991.

Fuente: Manual de Biogás Minenergía Chile et al, 2011

- Niveles de amoniaco: Este parámetro es importante cuando se utilizan determinados materiales que contienen un alto porcentaje, como es el caso de los estiércoles de aves [Álvarez et al., sf]. Se recomienda que los niveles dentro de los digestores se mantengan por debajo de los 2000 mg/l, para lo cual se aumentan las diluciones de entrada del material [Álvarez et al., sf].
- pH: Está en función de la concentración de CO2 en el gas, de la concentración de ácidos volátiles y de la propia alcalinidad de la materia prima [GTZ-CVCOEKOTOP 1987]. Las bacterias responsables del mecanismo de producción de biogás son altamente sensibles a cambios en el pH, oscilando entre 6 y 8 (es deseable un valor entre 7 y 7.2) [GTZ-CVCOEKOTOP 1987]. El pH del lodo de fermentación indica si el proceso de fermentación transcurre sin problemas, y su medición indica el comportamiento de la carga de fermentación dentro del digestor, para la producción de biogás [GTZ-CVCOEKOTOP 1987].
- Contenido de agua de la mezcla: Las bacterias y otros microorganismos no pueden funcionar efectivamente cuando el contenido de agua de la mezcla es demasiado bajo, y la cantidad de biogás producido será pequeña [Álvarez et al., sf].

Cuando la mezcla es demasiado diluida, se puede digerir relativamente poca materia orgánica y la producción del biogás es limitada [Álvarez et al., sf]. El uso primordialmente de excreta humana y orines, estiércol, y desechos de agricultura, como alimento para el digestor, deberá conllevar a una razón de biomasa a agua entre 1:1 y 1:2; y por cada 100 Kg de heces y orina, se requerirán entre 100 y 200 litros de agua [Álvarez et al., sf]. Cuando el material de alimento consta principalmente de residuos vegetales, se requiere más agua, en una razón de 1:3 o 1: 4 [Álvarez et al., sf]. La actividad de mezclar, debe realizarse en forma adecuada y uniforme en el tanque del digestor para promover una digestión efectiva, especialmente si se utiliza biomasa cruda con alto contenido leñoso [Álvarez et al., sf].

Gestión del riesgo.

Al ser conscientes que se está haciendo uso de insumos, procesos y productos resultantes potencialmente peligrosos o dañinos para el ambiente y la salud humana, se tiene que abordar el tema con ética profesional y responsabilidad, por lo tanto el mínimo estándar a estructurar e implementar es un Sistema de Gestión del riesgo. El primer paso de este proceso es establecer el contexto en el que se va a desenvolver el sistema, por lo tanto, se articulan los objetivos del mismo, se definen los parámetros externos e internos que se van a considerar al gestionar el riesgo y se establece el alcance y los criterios del riesgo para el resto del proceso [ICONTEC 2011]. Los objetivos del análisis consisten en separar los riesgos aceptables menores de los mayores y proporcionar datos que sirvan para la evaluación y el tratamiento de riesgos. El análisis del riesgo comprende la consideración de las fuentes de riesgo, sus consecuencias y la posibilidad de que estas consecuencias ocurran. Se pueden identificar los factores que afectan las consecuencias y la posibilidad. El riesgo se analiza combinando estimaciones de consecuencias y posibilidad en el contexto de las medidas de control existentes. Se puede realizar un análisis preliminar de manera que los riesgos similares o de bajo impacto se excluyan del estudio detallado. Los riesgos excluidos se deben, en lo posible, enumerar en un listado a fin de demostrar que el análisis de riesgo es completo [ICONTEC 2004]. Se procede mediante el uso de alguna herramienta como la implementación de un mapa de riesgos, en donde se valoran, evalúan, se hace seguimiento de los riesgos a los que está expuesto el sistema. Un mapa de riesgos es una herramienta, basada en los distintos sistemas de información, que pretende identificar las actividades o procesos sujetos a riesgo, cuantificar la probabilidad de estos eventos y medir el daño potencial asociado a su ocurrencia. Un mapa de esta naturaleza proporciona tres valiosas contribuciones a un gestor: proporciona información integrada sobre la exposición global de la empresa, sintetiza el valor económico total de los riesgos asumidos en cada momento, y facilita la exploración de esas fuentes de riesgo [Rodríguez et al. 2013].

Se procede a analizar e implementar oportunidades de mejora (mejoramiento continuo) del panorama de riesgos encontrado. La totalidad del proceso es cíclico.

Una parte fundamental del sistema de gestión son los riesgos provenientes de la interacción de trabajadores, contratistas y subcontratistas vinculados al desarrollo, puesta en marcha y mantenimiento del sistema. Por lo tanto, es necesario y una obligación, establecer un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST. Este establece matrices legales y de riesgos para la mejora continua en las condiciones de trabajo de contratistas, subcontratistas y trabajadores. Es un insumo importante de provisión de riesgos al sistema de gestión de riesgos.

Camilo Alberto Andrade Suárez

Representante legal

Quality Colombia Limitada

NIT. 900.139.177-8

Sistema Biodigestor Subterráneo de carga continua, de alimentación mixta, aguas sanitarias y desechos orgánicos, provenientes de Complejos habitacionales, hoteleros, recreativos, institucionales y comerciales, haciendas, condominios, conjuntos e inmuebles destinados a vivienda.

3. Reivindicaciones.

Sistema Biodigestor Subterráneo de carga continua, de alimentación mixta, aguas sanitarias y desechos orgánicos, provenientes de Complejos habitacionales, hoteleros, recreativos, institucionales y comerciales, haciendas, condominios, conjuntos e inmuebles destinados a vivienda. Como producto final genera biogás, líquido biofertilizante y lodo biofertilizante; el proceso comprende:

- Trituradores de desechos tipo desagüe, fijo industrial desagüe y/o molino de corte – triturador fijo: triturar desechos orgánicos, proceda a añadirlos a la red sanitaria y a la caja de inspección según el caso (residuos de cocina, poda o jardinería, etc.).
- Desagüe sanitario principal: transporta aguas residuales y desechos orgánicos al sistema. Incluye cubierta en imán de neodimio en el tramo final de entrada a la caja de inspección.
- Caja de inspección: mezcla uniformemente la biomasa, incorporación de materia orgánica, toma de muestras para análisis y enriquecimiento de la misma.
- Válvulas de suministro, salida de biogás, salidas lodo biofertilizante y biofertilizante líquido.
- Equipo Biodigestor subterráneo en material membrana de PVC: Se presenta un proceso de fermentación anaeróbica de la biomasa, Fases hidrólisis, acidificación y metanización.
- Manómetro: hacer seguimiento, determinar si el sistema mantiene suficiente presión para un buen funcionamiento.
- Filtro deshidratador: permite la extracción del vapor de agua que es componente natural del biogás.
- Filtro desulfurizador: permite la extracción del sulfuro de hidrógeno que es componente corrosivo natural del biogás.
- Bomba de vacío: comprime el biogás filtrado.
- Tanque de almacenamiento: se almacena el biogás destinado a la generación de energía del inmueble o inmuebles según el caso.

Camilo Alberto Andrade Suárez

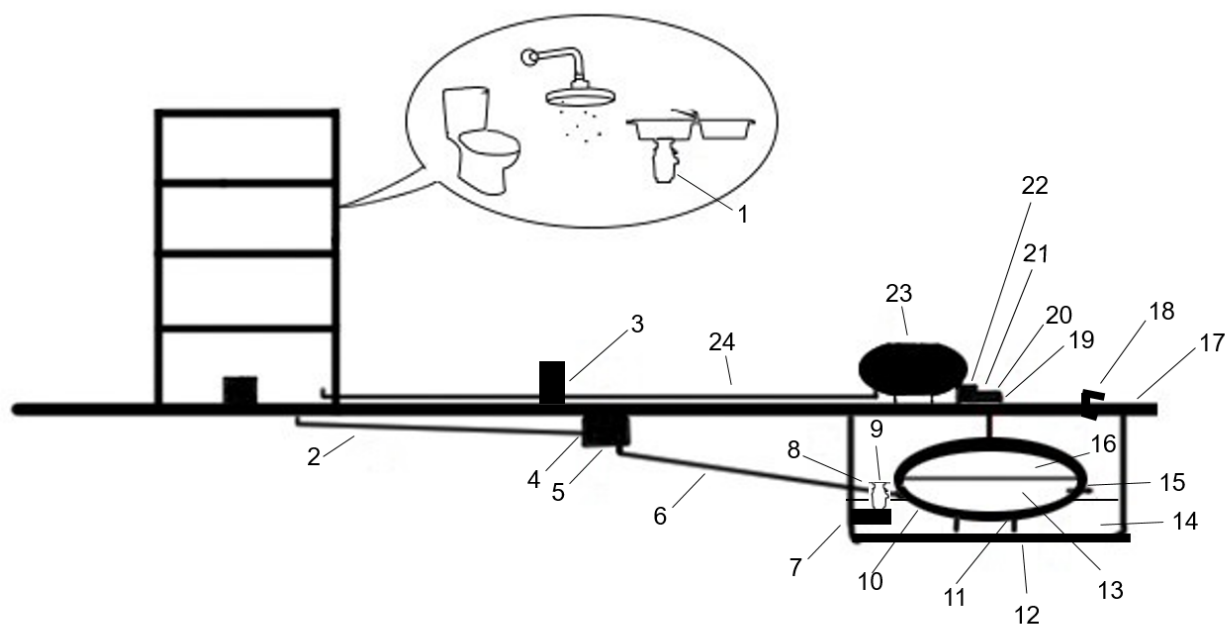
Representante legal

Quality Colombia Limitada

NIT. 900.139.177-8

Sistema Biodigestor Subterráneo de carga continua, de alimentación mixta, aguas sanitarias y desechos orgánicos, provenientes de Complejos habitacionales, hoteleros, recreativos, institucionales y comerciales, haciendas, condominios, conjuntos e inmuebles destinados a vivienda.

4.1 Gráfico 1



Camilo Alberto Andrade Suárez
Representante legal
Quality Colombia Limitada
NIT. 900.139.177-8

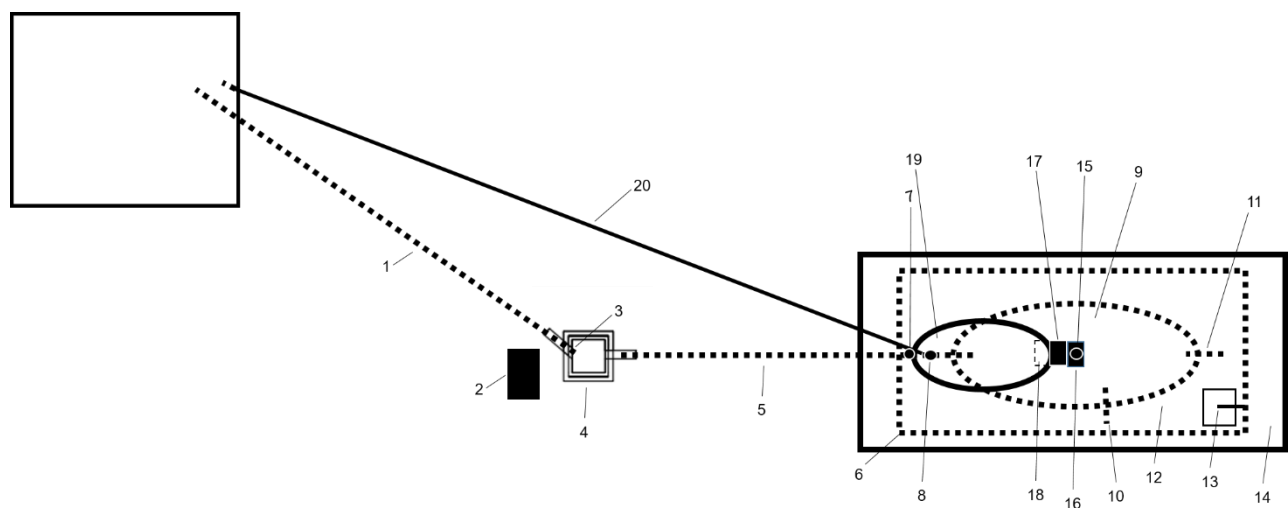
Descripción Gráfico 1

El **Gráfico 1** muestra una vista lateral del “Sistema Biodigestor Subterráneo de carga continua, de alimentación mixta, aguas sanitarias y desechos orgánicos, provenientes de Complejos habitacionales, hoteleros, recreativos, institucionales y comerciales, haciendas, condominios, conjuntos e inmuebles destinados a vivienda”

En el **Gráfico 1** algunos de los elementos generadores de aguas residuales pertenecientes al sistema hidrosanitario, tales como, ducha, cisterna y lavaplatos, los residuos orgánicos son procesados con el triturador de desagüe 1; los residuos orgánicos triturados, en conjunto con las aguas sanitarias pasan por el desagüe sanitario principal 2, sobre la parte final del desagüe sanitario principal 2 se ubica la cubierta en imán de neodimio 4 en la entrada a la caja de inspección 5; en el triturador fijo o molino de corte 3 se procesa material orgánico adicional para ser mezclado con las aguas sanitarias en la caja de inspección 5, la biomasa es transportada por la red principal de suministro 6, pasa por el registro - válvula 8 al triturador industrial tipo desagüe 9, al ser procesada la biomasa pasa al biodigestor en membrana PVC 10, contenido en una estructura compuesta por mampostería de contención 7, placa contrapiso 12 y placa entrepiso 17; tapa removible para inspección incluye sifón – respiradero en PVC 18; el biodigestor en membrana PVC 10 está instalado sobre arena cernida 14; el biodigestor en membrana PVC 10 contiene biomasa 13 y biogás 16; el lodo biofertilizante resultante de la transformación de la biomasa 13 es drenado por la válvula - registro 11; el líquido biofertilizante resultante de la transformación de la biomasa 13 es drenado por la válvula - registro 15; el biogás es transportado por la tubería a la válvula – registro - manómetro 19, se retira el agua del biogás 16 en el filtro deshidratador 20; el filtro desulfurizador 21 extrae el sulfuro de hidrógeno del biogás 16; la bomba de vacío 22 comprime el biogás 16 en el tanque de acumulación 23; la tubería principal suministro 24 transporta el biogás tratado para ser utilizado en el inmueble.

Sistema Biodigestor Subterráneo de carga continua, de alimentación mixta, aguas sanitarias y desechos orgánicos, provenientes de Complejos habitacionales, hoteleros, recreativos, institucionales y comerciales, haciendas, condominios, conjuntos e inmuebles destinados a vivienda.

4.2 Gráfico 2



Camilo Alberto Andrade Suárez
Representante legal
Quality Colombia Limitada
NIT. 900.139.177-8

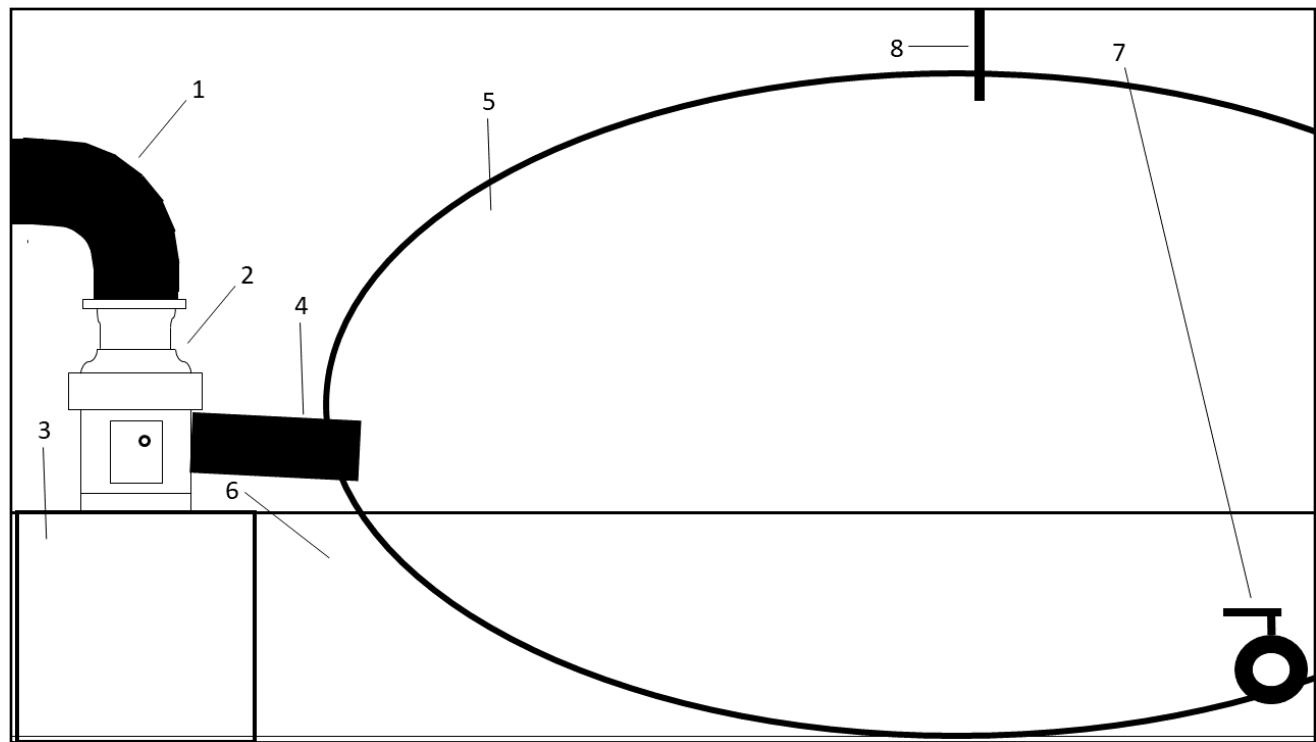
Descripción Gráfico 2

El **Gráfico 2** muestra una vista de planta del “Sistema Biodigestor Subterráneo de carga continua, de alimentación mixta, aguas sanitarias y desechos orgánicos, provenientes de Complejos habitacionales, hoteleros, recreativos, institucionales y comerciales, haciendas, condominios, conjuntos e inmuebles destinados a vivienda”

En el **Gráfico 2** las aguas residuales y los residuos orgánicos son transportados por el desagüe sanitario principal 1, sobre la parte final del desagüe sanitario principal 1 se ubica la cubierta en imán de neodimio 3 en la entrada a la caja de inspección 4, en el triturador fijo o molino de corte 2 se procesa material orgánico adicional para ser mezclado con las aguas sanitarias en la caja de inspección 4, la biomasa es transportada por la red principal de suministro 5, pasa por el registro - válvula 7 al triturador industrial tipo desagüe 8, al ser procesada la biomasa pasa al biodigestor en membrana PVC 9, contenido en una estructura compuesta por mampostería de contención 6 y la placa de entrepiso 14; tapa removible para inspección incluye sifón – respiradero en PVC 13; el biodigestor en membrana PVC 9 está instalado sobre arena cernida 12; el lodo biofertilizante resultante de la transformación de la biomasa es drenado por la válvula - registro 10; el líquido biofertilizante resultante de la transformación de la biomasa es drenado por la válvula - registro 11; el biogás es transportado por la tubería a la válvula – registro - manómetro 15, se retira el agua del biogás en el filtro deshidratador 16; el filtro desulfurizador 17 extrae el sulfuro de hidrógeno del biogás; la bomba de vacío 18 comprime el biogás en el tanque de acumulación 19; la tubería principal suministro 20 transporta el biogás tratado para ser utilizado en el inmueble.

Sistema Biodigestor Subterráneo de carga continua, de alimentación mixta, aguas sanitarias y desechos orgánicos, provenientes de Complejos habitacionales, hoteleros, recreativos, institucionales y comerciales, haciendas, condominios, conjuntos e inmuebles destinados a vivienda.

4.3 Gráfico 3



Camilo Alberto Andrade Suárez
Representante legal
Quality Colombia Limitada
NIT. 900.139.177-8

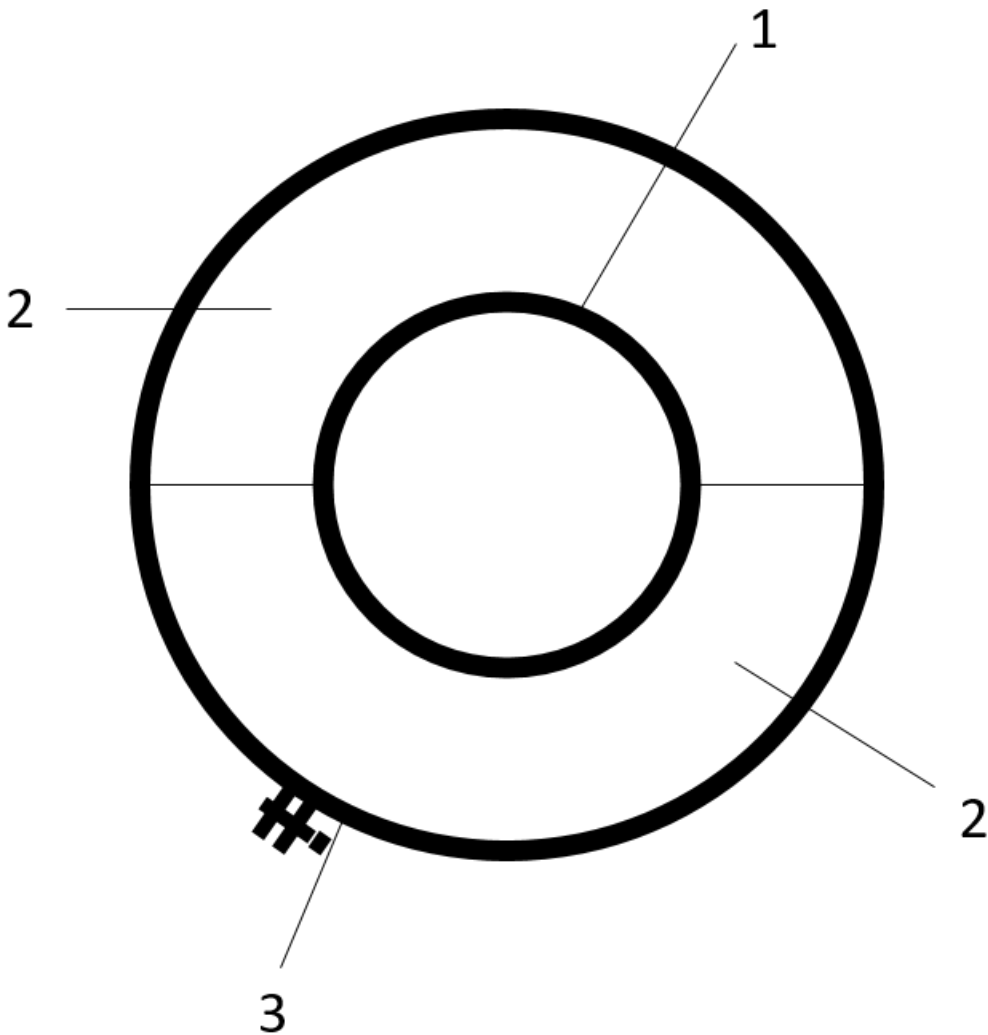
Descripción Gráfico 3

El **Gráfico 3** muestra una vista lateral de la estructura subterránea que contiene el biodigestor. “Sistema Biodigestor Subterráneo de carga continua, de alimentación mixta, aguas sanitarias y desechos orgánicos, provenientes de Complejos habitacionales, hoteleros, recreativos, institucionales y comerciales, haciendas, condominios, conjuntos e inmuebles destinados a vivienda”

En el **Gráfico 3** la biomasa es transportada por la red de suministro 1, pasa al triturador industrial tipo desagüe 2; el triturador industrial tipo desagüe 2 está instalado sobre el soporte 3, al ser procesada la biomasa pasa por la tubería de suministro 4 al biodigestor en membrana PVC 5; el biodigestor en membrana PVC 5 está instalado en la arena cernida 6; el lodo biofertilizante resultante de la transformación de la biomasa es drenado por la válvula - registro 7, el biogás es transportado por la tubería de salida 8.

Sistema Biodigestor Subterráneo de carga continua, de alimentación mixta, aguas sanitarias y desechos orgánicos, provenientes de Complejos habitacionales, hoteleros, recreativos, institucionales y comerciales, haciendas, condominios, conjuntos e inmuebles destinados a vivienda.

4.4 Gráfico 4



Camilo Alberto Andrade Suárez
Representante legal
Quality Colombia Limitada
NIT. 900.139.177-8

Descripción Gráfico 4

El **Gráfico 4** muestra una vista de frente de la cubierta en imán de neodimio ubicada al final de la tubería de suministro a la caja de inspección. “Sistema Biodigestor Subterráneo de carga continua, de alimentación mixta, aguas sanitarias y desechos orgánicos, provenientes de Complejos habitacionales, hoteleros, recreativos, institucionales y comerciales, haciendas, condominios, conjuntos e inmuebles destinados a vivienda”

En el **Gráfico 3** las aguas residuales son transportadas por la tubería de suministro 1; los residuos metálicos que puedan ingresar al sistema son atraídos por las cubiertas en imán de neodimio 2 a la parte interior de la tubería de suministro 1; las cubiertas en imán de neodimio son sujetadas a la tubería de suministro 1 por la abrazadera 3.

Sistema Biodigestor Subterráneo de carga continua, de alimentación mixta, aguas sanitarias y desechos orgánicos, provenientes de Complejos habitacionales, hoteleros, recreativos, institucionales y comerciales, haciendas, condominios, conjuntos e inmuebles destinados a vivienda.

Bibliografía.

AGUILAR, F.X.; BOTERO, R.; (2006). Los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo. *Tierra Tropical*, 2 (1), 15-25.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ; (2012). Boletín No. 40 Sobre el consumo y la producción de agua potable y residual en el uso residencial urbano de Bogotá D.C, Bogotá D.C. pp. 23, 24.

ALCAYAGA, S.; GLARÍA, J.; GUERRERO, L.; (1999). Regulaciones de temperatura y potencial de hidrógeno en un biodigestor anaerobio de lecho de lodo granular expandida. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Marzo.

ÁLVAREZ, J.M.; CANETA, L.; MOYANO, C.; (sf). Biomasa y biogás. Trabajo de Curso (Máquinas Térmicas II). Universidad Nacional del Nordeste. 15p.

BOTERO B., R.; PRESTON, T.R.; (1987). Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización. Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda – Universidad EARTH. San José, Costa Rica, 20p.

COMISION DE LA COMUNIDAD ANDINA; (2000). Decisión 486 Régimen Común sobre Propiedad Industrial, Lima, Perú.

CONGRESO DE LA REPUBLICA; (1993). Ley 99 de 1993, fundamentos de la política ambiental colombiana, Bogotá, Colombia. pp 1.

CORACE, J.J.; AEBERHARD, M.R.; MARTINA, P.A.; VENTÍN, A.M.; GARCÍA S., E.; (2006). Comparación del tiempo de reacción en el proceso de biodigestión según el tamaño de las partículas de aserrín utilizado como materia orgánica. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2006, Universidad Nacional del Nordeste, Resumen T-034, 4p.

DANE; (2012). Cálculo piloto de la cuenta de flujos físicos del agua: Sectores industria manufacturera y hogares, Bogotá, Colombia.

DANE; (2015). Cuenta de residuos 2005 – 2013 provisional, Oferta y utilización de residuos sólidos Industria Manufacturera y Hogares (piloto), Bogotá, Colombia. pp. 12.

EL TIEMPO; (2012). Cuatro años para salvar el agua de Bogotá. Disponible en Internet: http://www.eltiempo.com/Multimedia/especiales/salvar_agua_bogota/ [Consultada Enero 2018].

EL TIEMPO; (2017). Siete de cada 10 municipios en Colombia no tratan sus aguas residuales. Disponible en Internet: <http://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/municipio-de-colombia-no-hacen-tratamiento-de-aguas-residuales-70042> [Consultada Enero 2018].

EPM; (2013). Normas y especificaciones generales de construcción. Tanques sépticos de mampostería o concreto y sistema de infiltración. Medellín, pp. 1-3.

ESPOSITO, G., FRUNZO, L., PANICO, A., PIROZZI, F.(2011). Modeling the effect of the ORL and OFMSW particle size on the performances of an anaerobic co-digestion reactor. *Process Biochemistry*. pp. 557-565. EE. UU.

FAO. (1986). Reciclaje de Materias Orgánicas y Biogas. Una experiencia en China. Curso de capacitación. Chengdu, China, (Septiembre – Octubre, 1984). 400pp.

FAO; (2008). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades. Roma, 2008, 162p.

GTZ-CVC-OEKOTOP; (1987). Difusión de la tecnología del biogás en Colombia. Documentación del Proyecto. Cali.

- GUEVARA V., A.; (1996). Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes. Documento
- GUZMÁN S., J.C.; (2008). Apuntes sobre consumo energético de biomasa. Diplomado en Energía SNAP, Proyecto No. 003/2008, PROLEÑA Soluciones Energéticas Eficientes, La Paz, Bolivia, febrero, 19p.
- HENZE, M. MARK, C., GEORGE, A., DAMIR, B. (2008). Biological waste-water treatment, principles, modeling and desing. Ed Publishing.EE.UU.
- HERNANDEZ, J. (2015). Diseño de un prototipo de triturador de desechos orgánicos. UNAM, Facultad de Ingeniería. Planta de Biogás de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, Ciudad Universitaria, México. pp. 7 – 13 y 15 - 18.
- HILBERT, J., EPPEL, J. (2007). Desafíos y Estrategias para Implementar la Digestión Anaeróbica en los Agrosistemas. Argentina.
- HILBERT, J.A.; (2003). Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA. Buenos Aires, 57p.
- HILLS, D.J. Y NAKANO, K. (1984). Effects of particle on anaerobic digestion of tomato solid wastes. Agricultural Wastes. pag 285-295. EE.UU
- ICONTEC; (2004). Guía técnica colombiana GTC – 104. Gestión del riesgo ambiental. Principios y proceso, Bogotá, Colombia, pp. 22.
- ICONTEC; (2009). Guía técnica colombiana GTC – 104. Gestión del riesgo ambiental. Principios y proceso, Bogotá, Colombia, pp. 77.
- ICONTEC; (2011). NTC-ISO 31000. Gestión del riesgo. Principios y directrices, Bogotá, Colombia, pp. 18
- INSINKERATOR, (2015). Trituradores de desperdicio de comida. Publicación de la empresa Insinkerator. Wisconsin, EE.UU
- JUÁREZ, S. (2012). Planeación, diseño e instalación de un prototipo para la conversión de desechos orgánicos a energía térmica. Tesis de Maestría de Ingeniería. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, D.F., México.
- LAGRANGE, B. (1979). Biomethane. Principes, Techniques, Utilisation. Vol.2 . Edisual / Energies Alternatives. 249pp.
- MANDUJANO, M. I.; FÉLIX, A. Y MARTÍNEZ, A.M. (1981). Biogas, Energía y Fertilizante a partir de desechos orgánicos. OLADE, Serie de publicaciones especiales N 6, México. 41pp.
- MC CABE WARREN, L., SMITH J. C. Y HARRIOT, P. (2011). Unit operations of chemical engineering. Ed Mc Graw- Hill. EE.UU.
- MINENERGIA CHILE; PNUD; FAO; GEF; (2011). Manual de Biogás. Santiago de Chile, pp. 35, 19-26, 97-103.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA (2016). Balance de Gas Natural en Colombia 2016-2025. Colombia. pp. 32.
- OLAYA, Y.; (2006). Diseño de un biodigestor de cúpula fija. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira.
- OLAYA, Y.; GONZÁLEZ, L; (2009). Fundamentos Para el Diseño de Biodigestores. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira, pp. 4-8, 11, 15, 16.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL; (2017). Manual de la OMPI de redacción de solicitudes de patente, Ginebra, Suiza,
- PEDRAZA, G.; CHARÁ, J.; CONDE, N.; GIRALDO, S.; GIRALDO, L.; (2002). Evaluación de los biodigestores en geomembrana (PVC) y plástico de invernadero en clima medio para el tratamiento de aguas residuales de origen porcino. Fundación Centro de Investigaciones en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria – CIPAV. Cali.
- PORTAFOLIO (2016). Reforma tributaria ambiental para un futuro de sostenibilidad. El país contará con impuestos y beneficios ‘verdes’, los cuales buscan ser la base del futuro medioambiental nacional. Disponible en Internet: <http://www.portafolio.co/opinion/otros->

[columnistas-1/reforma-tributaria-y-medio-ambiente-columna-minambiente-22-de-diciembre-502425](#) [Consultada Febrero 2018].

PORTAFOLIO (2017). Las oportunidades en el aprovechamiento de residuos sólidos. Informe especial revista Doing Business. Disponible en Internet: <http://www.portafolio.co/economia/las-oportunidades-en-el-aprovechamiento-de-residuos-solidos-510092> [Consultada Febrero 2018].

POSSO, F.; (2002). Energía y ambiente: Pasado, presente y futuro. Parte Dos: Sistema energético basado en energías alternativas. Geoenseñanza, Vol. 7, (1-2), pp54-73.

RAMÓN, J.A.; ROMERO, L.F.; SIMANCA, J.L.; (2006). Diseño de un biodigestor de canecas en serie para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de cerdo. Revista Ambiental: Aire, Agua y Suelo. Vol. 1, 15-23.

RAMOS, D. (2013). Trituración de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos de la ciudad de México y la producción anaerobia de biogás. Tesis de Maestría de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, D.F., México.

RESTSCH. (2015). Soluciones en molienda y tamizado. Recuperado de: www.Restsch.es

REVISTA SEMANA; (2016). El desperdicio de comida, sigue el debate, Colombia. pp. 1

RODRÍGUEZ M.; PIÑEIRO C.; DE LLANO P.; (2013). Mapa de Riesgos: Identificación y Gestión de Riesgos. Facultad Economía y Empresa, Universidad de A Coruña, España. pp. 2.

SOGARI, N.; REUSS, M.; BUSSO, A.; (2000). Diseño de un biodigestor para obtener metano utilizando excremento de vacas y cerdos en una escuela agrotécnica. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes, Argentina, 4p.

SORIA F., M.D.J.; FERRERA-CERRATO, R.; ETCHEVERS B., J.; ALCÁNTAR G., G.; SANTOS, J.T.; BORGES G., L.; PEREYDA P., G.; (2001). Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. Terra, Vol. 19, No. 4, pp353-362.

TOXEMENT; (2017). Brochure Membranas PVC Toxement. Tocancipá, Colombia, pp. 9.

VARGAS L., L.; (1992). Los biodigestores, alternativa de tratamiento para residuos pecuarios. Tesis (Ingeniero Sanitario). Universidad del Valle, Santiago de Cali.

VARNERO, M.T.; ARELLANO, J.; (1991). Aprovechamiento racional de desechos orgánicos. Ministerio de Agricultura (FIA). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Informe Técnico. Santiago, Chile, 98p.

VÁSCONEZ, A. P. (2013). Diseño y simulación de una máquina trituradora de plásticos de 15 Kg/H para el laboratorio de conformado de la facultad de ingeniería mecánica. Tesis de Licenciatura de Ingeniería Mecánica. Universidad de Ecuador. Quito., Ecuador.

Camilo Alberto Andrade Suárez

Representante legal

Quality Colombia Limitada

NIT. 900.139.177-8