

MANUAL

PARA LA PRODUCCION DE

BIOGAS

Instituto de Ingeniería Rural

I.N.T.A. - Castelar

Ing. A. M. Sc. Jorge A. Hilbert

INDICE

| | | |
|-----------|---|----|
| 1. | Introducción | |
| 2. | Aspectos tecnológicos | |
| 2.1. | Principios de la fermentación anaeróbica..... | 5 |
| 2.1.1. | Metanogenesis | |
| 2.1.2. | Prerequisitos necesarios para iniciar el proceso | |
| 2.1.3. | Etapas intervinientes | |
| 2.1.4. | Principales factores que afectan la producción de gas | |
| 2.2. | Tecnología empleada en la digestión anaeróbica..... | 18 |
| 2.2.1. | Otro tipo de clasificación | |
| 2.2.2. | Modelos de digestores más difundidos | |
| 2.3. | Componentes del sistema..... | 32 |
| 2.3.1. | Sistemas de acarreo o alimentación | |
| 2.3.2. | Cámaras de carga | |
| 2.3.3. | Conductos, canales y bombas | |
| 2.3.4. | Cámara de digestión | |
| 2.3.5. | Almacenamiento del efluente | |
| 2.3.6. | Almacenamiento del biogas | |
| 3. | Campos de aplicación de los productos del sistema | |
| 3.1. | El biogas..... | 45 |
| 3.1.1. | Composición y características | |
| 3.1.2. | Usos | |
| 3.1.3. | Principios de la combustión | |
| 3.1.4. | Diferentes aplicaciones | |
| 3.1.5. | Acondicionamiento del biogas | |
| 3.2. | El efluente..... | 52 |
| 3.2.1. | Características | |
| 3.2.2. | Efecto del efluente sobre el suelo | |
| 3.2.3. | Efecto sobre los cultivos | |
| 3.2.4. | Aspecto sanitario | |
| 3.2.5. | Otros usos | |
| 4. | Evaluación económica de energías no convencionales: el caso del biogas | |
| 4.1. | Introducción..... | 57 |
| 4.2. | Factores a tener en cuenta..... | 57 |
| 4.3. | Análisis preliminar..... | 61 |
| 4.4. | Estudio de los insumos y productos involucrados..... | 62 |
| 4.4.1. | Materia prima | |
| 4.4.2. | Biogas | |

| | |
|--|----|
| 4.4.3. Efluente | |
| 4.4.4. Trabajo | |
| 4.4.5. Capital | |
| 4.4.6. Otros productos | |
| 4.5. Determinantes socioeconómicos de la demanda de biogas..... | 67 |
| 4.5.1. Insumos con bajo costo de oportunidad | |
| 4.5.2. La eficiencia del sistema sea “adecuada” | |
| 4.5.3. Los productos generados tengan un alto costo de oportunidad | |
| 4.6. Prioridades en la investigación..... | 69 |

1. INTRODUCCION

La fermentación anaeróbica es un proceso natural que ocurre en forma espontánea en la naturaleza y forma parte del ciclo biológico. De esta forma podemos encontrar el denominado "gas de los pantanos" que brota en aguas estancadas, el gas natural metano) de los yacimientos petrolíferos así como el gas producido en el tracto digestivo de los rumiantes como los bovinos. En todos estos procesos intervienen las denominadas bacterias metanogénicas.

Las primeras menciones sobre biogas se remontan al 1.600 identificados por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica.

En el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la India y ya en 1896 en Exeter, Inglaterra, las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad.

Tras las guerras mundiales comienza a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de biogás cuyo producto se empleaba en tractores y automóviles de la época. En todo el mundo se difunden los denominados tanques Imhoff para el tratamiento de aguas cloacales colectivas. El gas producido se lo utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, en vehículos municipales y en algunas ciudades se lo llegó a inyectar en la red de gas comunal.

Durante los años de la segunda guerra mundial comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India que se transforman en líderes en la materia.

Esta difusión se ve interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles y recién en la crisis energética de la década del 70 se reinicia con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo incluyendo la mayoría de los países latinoamericanos.

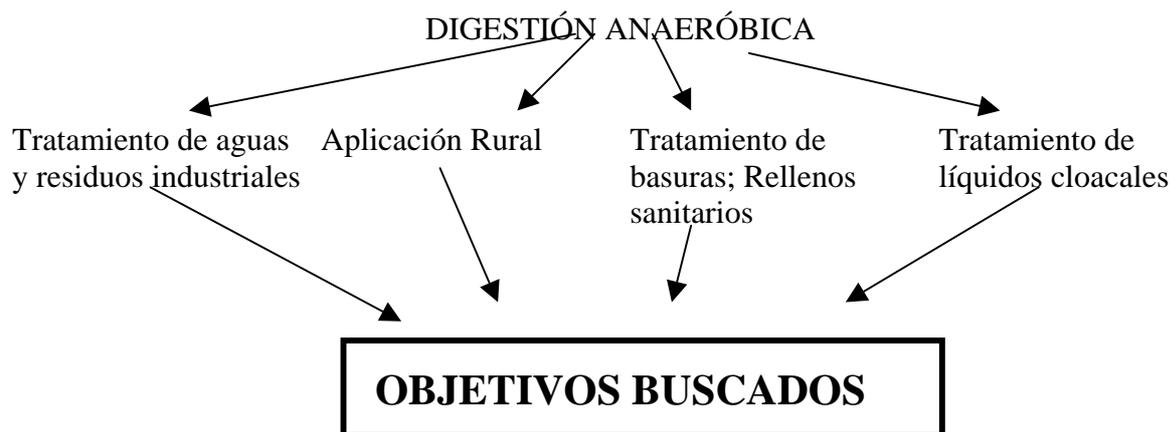
Los últimos 20 años han sido fructíferos en cuanto a descubrimientos sobre el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico gracias al nuevo material de laboratorio que permitió el estudio de los microorganismos intervinientes en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno).

Estos progresos en la comprensión del proceso microbiológico han estado acompañado por importantes logros de la investigación aplicada obteniéndose grandes avances en el campo tecnológico.

Los países generadores de tecnología más importantes en la actualidad son: China, India, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, EE.UU., Filipinas y Alemania.

A lo largo de los años transcurridos, la tecnología de la digestión anaeróbica se fue especializando abarcando actualmente muy diferentes campos de aplicación con objetivos muy diferentes (ver Cuadro I).

Como puede apreciarse en el cuadro según los campos de aplicación de la tecnología de la fermentación anaeróbica los objetivos buscados son diferentes o tienen un distinto orden de prioridades. Analizaremos brevemente la evolución y estado actual de cada uno de los campos descriptos.



| | | | |
|------------------------|--|-----------------------|---------------------------------|
| Estabilizar efluentes. | Producción de energía | Protección ambiental | Higiene y protección ambiental. |
| Producción de energía | Fertilizantes orgánicos. Alimentación animal. Higiene. | Producción de energía | Producción de energía |

Cuadro I

Las plantas de *tratamiento de desechos industriales*, han tenido una importante evolución en los últimos años y habiendo superado una primera etapa a nivel piloto, en Europa y China se encuentran actualmente siendo difundidas para determinados fines en combinación con tratamientos aeróbicos convencionales.

Estos reactores anaeróbicos son de enormes dimensiones (más de 1.000 m³ de capacidad), trabajan a temperaturas mesofílicas (20°C a 40°C), o termofílicas (más de 40°C) poseen sofisticados sistemas de control y están generalmente conectados a equipos de cogeneración que brindan como productos finales; calor, electricidad y un efluente sólido de alto contenido proteico, para usarse como fertilizante o alimento de animales.

A nivel latinoamericano, se ha desarrollado tecnología propia en la Argentina para el tratamiento de vinazas, residuo de la industrialización de la caña de azúcar. En Brasil y Colombia se encuentran utilizando sistemas europeos bajo licencia.

El número de reactores de este tipo aún no es importante en el mundo (ej.: 130 en la Comunidad Económica Europea) pero los continuos descubrimientos, reducciones de costos y mejoramiento de la confiabilidad hacen suponer un amplio campo de desarrollo en el futuro.

La *aplicación del biogas en el área rural* ha sido muy importante dentro de ella se pueden diferenciar dos campos claramente distintos. En el **primero**, el objetivo buscado es dar energía, sanidad y fertilizantes orgánicos a los agricultores de zonas marginales o al productor medio de los países con sectores rurales de muy bajos ingresos y difícil acceso a las fuentes convencionales de energía.

En este caso la tecnología desarrollada ha buscado lograr digestores de mínimo costo y

mantenimiento fáciles de operar pero con eficiencias pobres y bajos niveles de producción de energía.

El **segundo** tipo de tecnología está dirigido al sector agrícola y agroindustrial de ingresos medios y altos. El objetivo buscado en este caso es brindar energía y solucionar graves problemas de contaminación. Los digestores de alta eficiencia desarrollados para esta aplicación tienen un mayor costo inicial y poseen sistemas que hacen más complejo su manejo y mantenimiento.

Ambos tipos de digestores se encuentran hoy día en continua difusión. Los reactores sencillos han tenido una amplia aceptación en China, India, Filipinas y Brasil; debido a que en estos países se ejecutaron importantes planes gubernamentales que impulsaron y apoyaron con asistencia técnica y financiera su empleo. En el resto de los países del mundo la difusión alcanzada por este tipo de digestores no ha sido significativa

Con respecto a los digestores de alta eficiencia la mayoría se encuentran instalados en Europa (se estima un total de 500 digestores en los países de la C.E.E.); en el resto del mundo no se ha superado aún la etapa de unidades demostrativas o emprendimientos particulares aislados.

El *tratamiento de líquidos cloacales* mediante sistemas anaeróbicos solos o combinados con tratamientos aeróbicos es una técnica muy difundida en todo el mundo desde hace más de 40 años. Para tener una idea de su importancia **el gas generado por esta técnica en Europa alcanzaba en el año 1975 un total de casi 240 millones de m³ anuales de biogas.**

Recientes progresos en equipos de cogeneración han permitido una más eficiente utilización del gas generado y los continuos avances en las técnicas de fermentación aseguran un sostenido desarrollo en este campo.

Debe tenerse en cuenta que la incorporación de esta tecnología obliga a una estricta regulación en cuanto a tipo de productos que se vierten en los sistemas cloacales urbanos; por este motivo en algunos países donde los desechos industriales son vertidos sin tratar en las cloacas los reactores anaeróbicos han tenido graves problemas de funcionamiento y en muchos casos han sido abandonados.

El *relleno sanitario*, práctica muy difundida en el mundo para eliminar las enormes cantidades de desperdicios generados en las grandes ciudades han evolucionado incluyendo hoy en día modernas técnicas de extracción y purificación del gas metano generado el cual en décadas pasadas generaba graves problemas, entre los cuales figuraba el ambiental, por muerte de la vegetación que se encontraba en las zonas cercanas, malos olores que molestaban a los residentes y explosivas mezclas de gases que se acumulaban en los sótanos de la vecindad.

El avance de esta técnica ha permitido que importantes ciudades del mundo, como es el caso de Santiago de Chile en América Latina, incluya un importante porcentaje de gas procedente de esta fuente en la red de distribución urbana de gas natural.

Todos los campos de aplicación analizados muestran que la tecnología bajo estudio se encuentra en una franca etapa de perfeccionamiento y difusión.

Las causas que motivarán y regularán su futura expansión se encuentran centradas en dos aspectos críticos del futuro como son la energía y la contaminación.

2. ASPECTOS TECNOLOGICOS

2.1. PRINCIPIOS DE LA FERMENTACION ANAEROBICA

La generación de biogas, mezcla constituida fundamentalmente por metano (CH_4) dióxido de carbono (CO_2), y pequeñas cantidades de hidrógeno (H), sulfuro de hidrógeno (SH_2) y nitrógeno (N) constituye un proceso vital dentro del ciclo de la materia orgánica en la naturaleza (FIGURA 1).

FIGURA 1

Las bacterias metanogénicas en efecto constituyen el último eslabón de la cadena de microorganismos encargados de digerir la materia orgánica y devolver al medio los elementos básicos para reiniciar el ciclo. Se estima que anualmente la actividad microbiológica libera a la atmósfera entre 590 y 880 millones de toneladas de metano.

2.1.1. Metanogénesis

Una idea general sobre el proceso microbiológico involucrado en la formación de metano es necesaria para poder comprender mejor el diseño y funcionamiento de los denominados reactores o digestores productores de biogas.

2.1.2. Prerequisitos necesarios para iniciar el proceso:

La fermentación anaeróbica involucra a un complejo número de microorganismos de distinto tipo los cuales pueden ser divididos en tres grandes grupos principales. La real producción de metano es la última parte del proceso y no ocurre si no han actuado los primeros dos grupos de microorganismos.

Las bacterias productoras del biogas son estrictamente anaeróbicas y por lo tanto sólo podrán sobrevivir en ausencia total de oxígeno atmosférico.

Otra característica que las identifica es la sensibilidad a los cambios ambientales debido a lo cual será necesario un mantenimiento casi constante de los parámetros básicos como la temperatura.

Las dificultades en el manejo de estas delicadas bacterias explican que la investigación sistemática tanto de su morfología como de la bioquímica fisiológica sólo se halla iniciado hace cincuenta años.

Hoy en día gracias a estudios muy recientes podemos conocer mejor el mecanismo y funcionamiento de este complejo sistema microbiológico involucrado en la descomposición de la materia orgánica que la reduce a sus componentes básicos CH_4 y CO_2 .

2.1.3. Etapas intervinientes:

Veamos ahora las diferentes etapas intervinientes y sus principales características.

2.1.3.1. Fase de hidrólisis:

Las bacterias de esta primera etapa toman la materia orgánica virgen con sus largas cadenas de estructuras carbonadas y las van rompiendo y transformando en cadenas más cortas y simples (ácidos orgánicos) liberando hidrógeno y dióxido de carbono.

Este trabajo es llevado a cabo por un complejo de microorganismos de distinto tipo que son en su gran mayoría anaerobios facultativos.

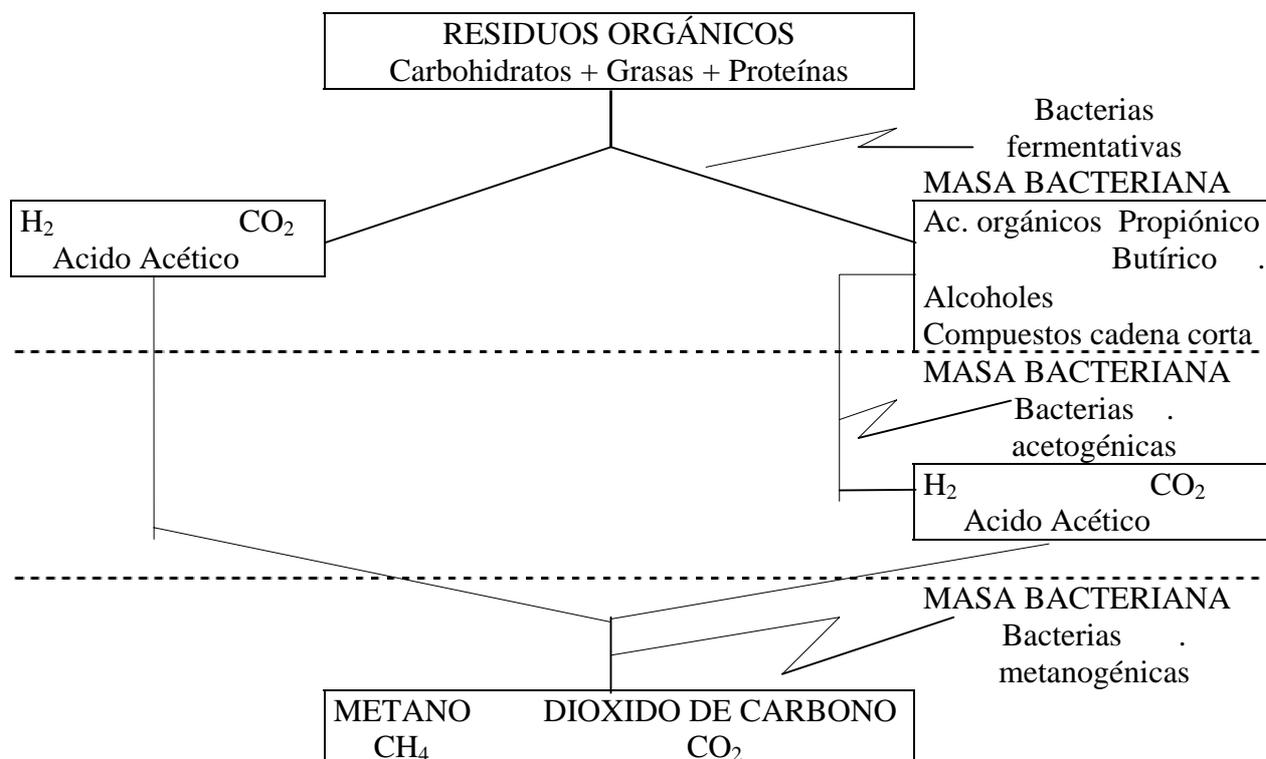
2.1.3.2. Fase de acidificación:

Esta etapa la llevan a cabo las bacterias acetogénicas y realizan la degradación de los ácidos orgánicos llevándolos al grupo acético $\text{CH}_3\text{-COOH}$ y liberando como productos Hidrógeno y Dióxido de carbono.

Esta reacción es endoenergética pues demanda energía para ser realizada y es posible gracias a la estrecha relación simbiótica con las bacterias metanogénicas que substraen los productos finales del medio minimizando la concentración de los mismos en la cercanía de las bacterias acetogénicas. Esta baja concentración de productos finales es la que activa la reacción y actividad de estas bacterias, haciendo posible la degradación manteniendo el equilibrio energético.

2.1.3.3. Fase metanogénica:

Las bacterias intervinientes en esta etapa pertenecen al grupo de las achibacterias y poseen características únicas que las diferencian de todo el resto de las bacterias por lo que las diferencian de todo el resto de las bacterias por lo cuál, se cree que pertenecen a uno de los géneros más primitivos de vida colonizadoras de la superficie terrestre.



CUADRO II

La transformación final cumplida en esta etapa tiene como principal substrato el acético junto a otros ácidos orgánicos de cadena corta y los productos finales liberados están constituidos por el

metano y el dióxido de carbono.

El CUADRO II resume las distintas características de cada una de las etapas vistas que por simplificación se han agrupado en dos fases (ácida que involucra la de hidrólisis y acidificación y la metanogénica), con los principales compuestos químicos intervinientes.

Los microorganismos intervinientes en cada fase tienen propiedades distintas que son muy importantes y se las debe conocer para lograr comprender el equilibrio y funcionamiento óptimo de un digestor.

Estas características han sido resumidas en el CUADRO III para su mejor comprensión.

| FASE ACIDOGENICA | FASE METANOGENICA |
|--|--|
| * Bacterias facultativas (pueden vivir en presencia de bajos contenidos de oxígeno). | * Bacterias anaeróbicas estrictas (No pueden vivir en presencia de oxígeno). |
| * Reproducción muy rápida (alta tasa reproductiva). | * Reproducción lenta (baja tasa reproductiva). |
| * Poco sensibles a los cambios de acidez y temperatura. | * Muy sensibles a los cambios de acidez y temperatura. |
| * Principales metabolitos, ácidos orgánicos. | * Principales productos finales, metano y dióxido de carbono |

CUADRO III

Como vemos el proceso ha sido simplificado aún más reduciendo el mismo a dos fases principales la ácida generadora de productos intermedios y la metanogénica.

Del CUADRO III se desprende que una alteración en los parámetros de funcionamiento incidirá negativamente sobre la fase metanogénica preponderantemente, lo cual significará una merma importante en la producción de gas y una acidificación del contenido pudiéndose llegar al bloqueo total de la fermentación.

Debido a la lenta velocidad de recuperación de las bacterias metanogénicas, la estabilización de un digestor “agriado” será muy lenta, de allí la importancia del cuidado de los parámetros que gobiernan el proceso y que veremos a continuación en detalle.

2.1.4. Principales factores que afectan la producción de gas:

La actividad metabólica involucrada en el proceso metanogénico se ve afectada por diversos factores. Debido a que cada grupo de bacterias intervinientes en las distintas etapas del proceso responde en forma diferencial a esos cambios no es posible dar valores cualitativos sobre el grado que afecta cada uno de ellos a la producción de gas en forma precisa. Por lo tanto nos limitaremos a dar una valoración cualitativa y en algunos casos se darán cifras y cuadros que deben tomarse como orientativos ya que los valores pueden sufrir importantes variaciones.

Entre los factores más importantes a tenerse en cuenta se desarrollarán los siguientes: el tipo de sustrato (nutrientes disponibles); la temperatura del sustrato; la carga volumétrica; el tiempo de retención hidráulico; el nivel de acidez (pH); la relación Carbono/Nitrógeno; la concentración del sustrato; el agregado de inoculantes; el grado de mezclado; y la presencia de compuestos

inhibidores del proceso.

2.1.4.1. Tipo de materia prima:

Las materias primas fermentables incluyen dentro de un amplio espectro a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general), restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas.

El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores).

Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo en la digestión de ciertos desechos industriales puede presentarse el caso de ser necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post tratamiento aeróbico

Las sustancias con alto contenido de lignina no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado, compostado) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina.

En lo atinente a estiércoles animales la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hallan recibido los mismos.

Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias entre distintos autores. Esto es debido al sinnúmero de factores intervinientes que hacen muy difícil la comparación de resultados por lo tanto los valores brindados en la tabla del CUADRO IV deben ser tomados como orientativos.

Como norma se deberá tomar en cuenta que a raíz de estar trabajando en un medio biológico sólo los promedios estadísticos de una serie prolongada de mediciones serán confiables siempre y cuando figuren las condiciones en las cuales fueron realizadas las pruebas.

En cuanto al volumen de estiércol producido por las distintas especies animales son variables de acuerdo fundamentalmente al peso y al tipo de alimentación y manejo de los mismos. Cuando se encare un proyecto específico se recomienda realizar una serie de mediciones en el lugar donde se emplazará el digestor.

A modo ilustrativo se expone a continuación un cuadro indicativo sobre cantidades de estiércol producido por distintos tipos de animales y el rendimiento en gas de los mismos tomando como referencia el kilogramo de sólidos volátiles.

| ESPECIE | PESO VIVO | kg ESTIERCOL/día | l/kg.S.V. | %CH ₄ |
|---------|-----------|------------------|-----------|------------------|
| Cerdos | 50 | 4,5 - 6 | 340 - 550 | 65 - 70 |
| Vacunos | 400 | 25 -40 | 90 - 310 | 65 |
| Equinos | 450 | 12 - 16 | 200 - 300 | 65 |
| Ovinos | 45 | 2,5 | 90 - 310 | 63 |

| | | | | |
|----------|-----|------|-----------|----|
| Aves | 1,5 | 0,06 | 310 - 620 | 60 |
| Caprinos | 40 | 1,5 | 110 - 290 | -- |
| | | | | |

CUADRO IV

2.1.4.2. Temperatura del sustrato:

Para que se inicie el proceso se necesita una temperatura mínima de 4° a 5° C y no se debe sobrepasar una máxima de alrededor de 70°C. Se realiza generalmente una diferenciación en tres rangos de temperatura de acuerdo al tipo de bacterias que predominan en cada una de ellas (ver CUADRO V).

| BACTERIAS | RANGO DE TEMPERATURAS | SENSIBILIDAD |
|---------------|-----------------------|----------------|
| Psicrofílicas | menos de 20°C | + - 2°C/hora |
| Mesofílicas | entre 20°C y 40°C | + - 1°C/hora |
| Termofílicas | más de 40°C | + - 0,5°C/hora |

CUADRO V

La actividad biológica y por lo tanto la producción de gas aumenta con la temperatura (FIGURA 2). Al mismo tiempo se deberá tener en cuenta que al no generar calor el proceso la temperatura deberá ser lograda y mantenida mediante energía exterior. El cuidado en el mantenimiento también debe extremarse a medida que aumentamos la temperatura, dada la mayor sensibilidad que presentan las bacterias termofílicas a las pequeñas variaciones térmicas.

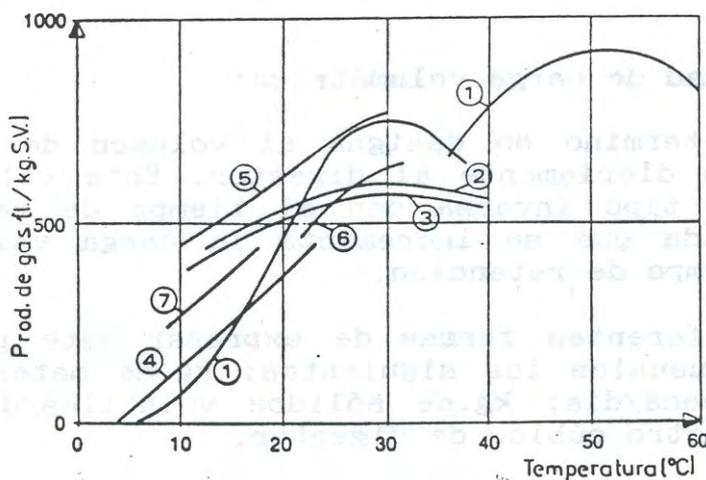


FIGURA 2: (1 a 7) Diferentes autores

Todas estas consideraciones deben ser evaluadas antes de escoger un determinado rango de temperaturas para el funcionamiento de un digestor ya que a pesar de incrementarse la eficiencia y producción de gas paralelamente aumentará los costos de instalación y la complejidad de la misma.

Los digestores que trabajan a temperaturas meso y termofílicas poseen generalmente sistemas de

calefacción, aislación y control los cuales son obviados en digestores rurales económicos que trabajan a bajas temperaturas.

La temperatura está íntimamente relacionada con los tiempos que debe permanecer la biomasa dentro del digestor para completar su degradación (Tiempo de retención Hidráulica, TRH). A medida que se aumenta la temperatura disminuyen los tiempos de retención y en consecuencia se necesitará un menor volumen de reactor para digerir una misma cantidad de biomasa, (FIGURA 3).

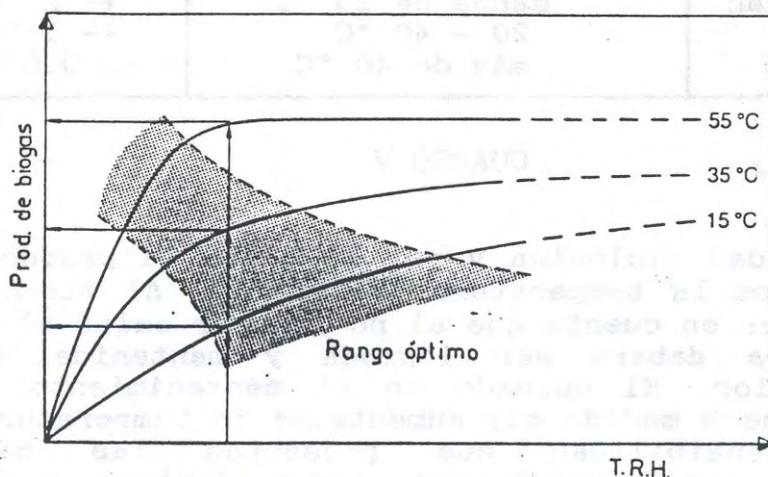


FIGURA 3

2.1.4.3. Velocidad de carga volumétrica:

Con este término se designa al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor. Este valor tiene una relación de tipo inversa con el tiempo de retención, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención.

Existen diferentes formas de expresar este parámetro siendo los más usuales los siguientes: kg de material/día; kg de materia seca/día; kg de sólidos volátiles/día todos expresados por metro cúbico de digestor.

Las cantidades de sólidos y sólidos volátiles se extraen afectando a las cantidades en kg de material cargado con los porcentajes de sólidos o sólidos volátiles que se obtiene por análisis. (porcentaje de sólidos sometiendo al sustrato a desecación, 105°C hasta peso constante y extrayendo el siguiente coeficiente: (peso húmedo - peso seco)/peso húmedo. El porcentaje de sólidos volátiles se obtiene sometiendo la muestra seca a la mufla, 560°C durante tres horas y extrayendo el siguiente coeficiente: $1 - ((\text{peso seco} - \text{peso ceniza}) / \text{peso seco})$).

Un factor importante a tener en cuenta en este parámetro es la dilución utilizada, debido a que una misma cantidad de material degradable podrá ser cargado con diferentes volúmenes de agua.

2.1.4.4. Tiempos de retención:

Este parámetro sólo puede ser claramente definido en los "sistemas discontinuos o batch" donde el T:R: coincide con el tiempo de permanencia del sustrato dentro del digestor.

En los digestores continuos y semicontinuos (ver 2.4.) el tiempo de retención se define como el valor en días del cociente entre el volumen del digestor y el volumen de carga diaria.

De acuerdo al diseño del reactor, el mezclado y la forma de extracción de los efluentes pueden existir variables diferencias entre los tiempos de retención de líquidos y sólidos debido a lo cual suelen determinarse ambos valores.

El T.R. está íntimamente ligado con dos factores: el tipo de sustrato y la temperatura del mismo.

La selección de una mayor temperatura implicará una disminución en los tiempos de retención requeridos y consecuentemente serán menores los volúmenes de reactor necesarios para digerir un determinado volumen de material.

La relación costo beneficio es el factor que finalmente determinará la optimización entre la temperatura y el T.R., ya varían los volúmenes, los sistemas paralelos de control, la calefacción y la eficiencia.

Con relación al tipo de sustrato, generalmente los materiales con mayor proporción de carbono retenido en moléculas resistentes como la celulosa demandará mayores tiempos de retención para ser totalmente digeridos. En la FIGURA 4 podemos observar como se distribuye en función al tiempo de retención la producción diaria de gas para materiales con distintas proporciones de celulosa.

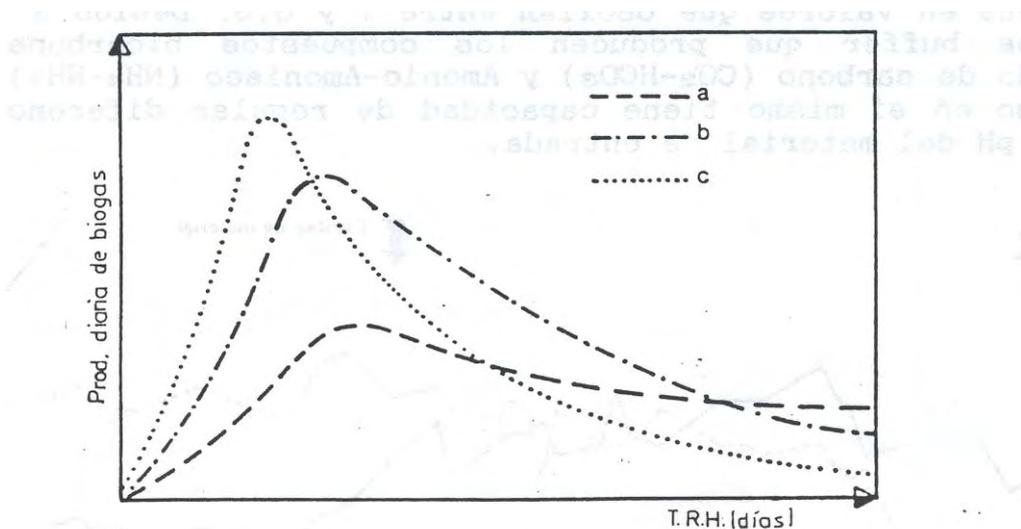


FIGURA 4 a) Pasto verde; b) Estiércol vacuno; c) Paja

A modo de ejemplo se dan valores indicativos de tiempos de retención usualmente más utilizados en la digestión de estiércoles a temperatura mesofílica (CUADRO VI).

El límite mínimo de los T.R. está dado por la tasa de reproducción de las bacterias metanogénicas debido a que la continua salida de efluente del digestor extrae una determinada cantidad de bacterias que se encuentran en el líquido. Esta extracción debe ser compensada por la multiplicación de las bacterias que pertenecen dentro del reactor.

| MATERIA PRIMA | T.R.H. |
|---------------------------|--------------|
| Estiércol vacuno líquido | 20 - 30 días |
| Estiércol porcino líquido | 15 - 25 días |
| Estiércol aviar líquido | 20 - 40 días |

CUADRO VI

Por esta razón en los últimos años se han buscado diseños de cámaras de digestión que procuran lograr grandes superficies internas sobre las cuales se depositan como una película las bacterias u otros sistemas que logran retener a las metanogénicas pudiéndose lograr de este modo T.R. menores (ver 2.4., Filtro anaeróbico y U.A.S.B., respectivamente).

2.1.4.5. Valor de acidez (pH):

Una vez estabilizado el proceso fermentativo el pH se mantiene en valores que oscilan entre 7 y 8,5. Debido a los efectos buffer que producen los compuestos bicarbonato-dióxido de carbono ($\text{CO}_2\text{-HCO}_3$) y Amonio -Amoníaco ($\text{NH}_4\text{-NH}_3$) el proceso en sí mismo tiene capacidad de regular diferencias en el pH del material de entrada.

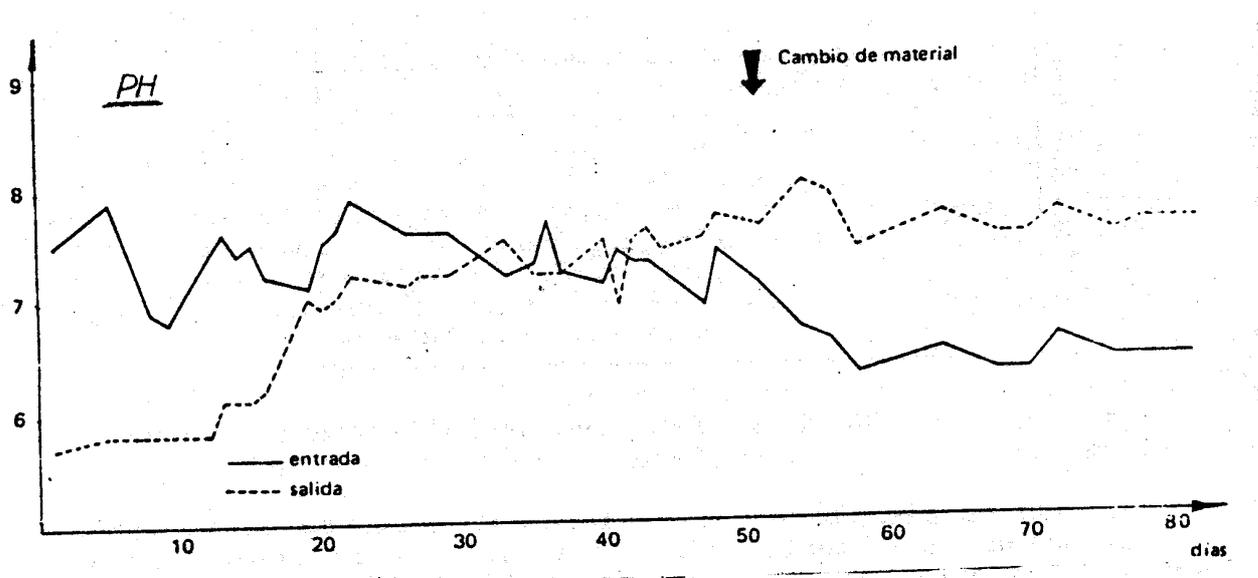


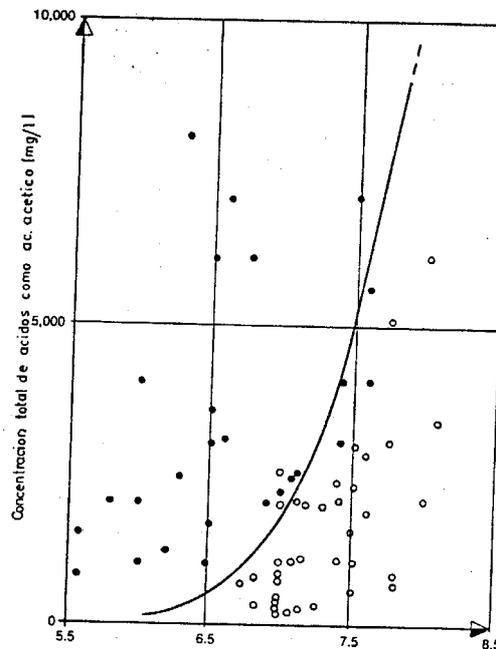
FIGURA 5

Las desviaciones de los valores normales es indicativo de un fuerte deterioro del equilibrio entre las bacterias de la faz ácida y la metanogénica provocado por severas fluctuaciones en alguno de los parámetros que gobiernan el proceso.

La FIGURA 5 muestra la evolución de los niveles de acidez (pH) de un digestor continuo desde su arranque hasta la estabilización. Puede observarse la diferencia entre los valores de entrada y salida; en un primer momento antes de la estabilización los niveles de salida que indican que ocurre dentro del digestor son muy bajos, indicando una preponderancia de la faz ácida. Una vez estabilizado a pesar de que baja y sube le pH del material introducido al digestor éste es capaz de amortiguar los

cambios.

La figura 6 muestra la línea límite de inhibición entre digestores en operación y los “agriados” (30 mg/l de ac. volátiles no ionizados). Debe recordarse que cuando un digestor se descompensa tarda de 30 a 60 días en volver a la normalidad



- = Digestor parado
- ◇ = Digestor funcionando

FIGURA 6:

2.1.4.6. Contenido de sólidos:

La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas. Por otro lado podemos encontrar en la literatura datos de producciones de gas importantes logradas en rellenos sanitarios con un alto contenido de sólidos.

En este punto tampoco existen reglas fijas; mediciones realizadas utilizando mezclas de estiércoles animales en agua han determinado que para digestores continuos el porcentaje de sólidos óptimo oscila entre el 8% y el 12%.

2.1.4.7. Inclusión de inoculantes:

El crecimiento bacteriano dentro de los digestores sigue desde su arranque la curva típica graficada en la FIGURA 7 en la cual puede distinguirse claramente tres etapas: La de arranque (I), la de estabilización (II) y la de declinación (III).

La primera etapa puede ser acortada mediante la inclusión de un determinado porcentaje de material

de otro digestor rico en bacterias que se encuentran en plena actividad. Esto es particularmente importante en los digestores discontinuos que deben ser arrancados frecuentemente.

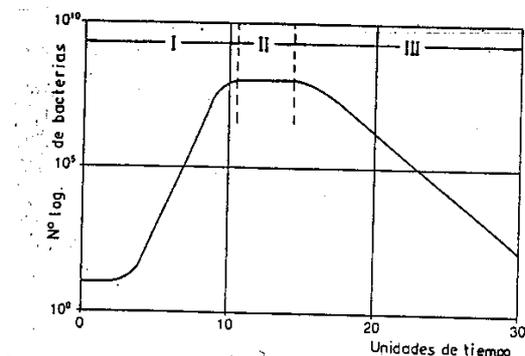


FIGURA 7

Al llegarse en forma más rápida a la estabilización puede incrementarse la producción de gas por kg. de estiércol como puede apreciarse en la FIGURA 8.

Los dos factores a tener en cuenta en la inoculación de un digestor es la proporción en que se agrega y la edad del mismo. Cuanto mayor sea la proporción y menor la edad mayor será la eficacia.

FIGURA 8: Porcentaje de arrancador o inoculo

1=33%; 2=25%; 3=20%; 4=15%; 5=10%; 6=5%; 7=0%.

2.1.4.8. Agitación - mezclado:

Los objetivos buscados con la agitación son: remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanógenas, mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana, evitar la formación de costra que se forma dentro del digestor, uniformar la densidad bacteriana y evitar la formación de espacios "muertos" sin actividad biológica.

En la selección del sistema, frecuencia e intensidad de la agitación se deberán realizar las siguientes consideraciones: El proceso fermentativo involucra un equilibrio simbiótico entre varios tipos de bacterias. La ruptura de ese equilibrio en el cuál el metabolito de un grupo específico servirá de alimento para el siguiente implicará una mengua en la actividad biológica y por ende una reducción en la producción de gas.

Como conclusión en la elección de un determinado sistema se tendrá siempre presente tanto los objetivos buscados como el prejuicio que puede causar una agitación excesiva debiéndose buscar un punto medio óptimo.

Existen varios mecanismos de agitación utilizados desde los más simples que consisten en un batido manual o el provocado por la entrada y salida de los líquidos hasta sofisticados equipos que involucran agitadores a hélice, recirculadores de sustrato e inyectores de gas.

2.1.4.9. Inhibidores:

La presencia de metales pesados, antibióticos y detergentes en determinadas concentraciones pueden inhibir e incluso interrumpir el proceso fermentativo.

Cuando es demasiado alta la concentración de ácidos volátiles (más de 2.000 ppm para la fermentación mesofílica y de 3.600 ppm para la termofílica se inhibirá la digestión. También una elevada concentración de Nitrógeno y Amoníaco destruyen las bacterias metanogénicas.

| INHIBIDORES | CONCENTRACION INHIBIDORA |
|---|--------------------------|
| SO ₄ | 5.000 ppm |
| NaCl | 40.000 ppm |
| Nitrato (según contenido de Nitrógeno) | 0,05 mg/ml |
| Cu | 100 mg/l |
| Cr | 200 mg/l |
| Ni | 200-500 mg/l |
| CN (Después que se han domesticado las bacterias metanogénicas a 2-10 mg/ml). | 25 mg/l |
| ABS (Detergente sintético) | 20-40 mg/l |
| Na | 3.500-5.500 mg/l |
| K | 2.500-4.500 mg/l |
| Ca | 2.500-4.500 mg/l |
| Mg | 1.000-1.500 mg/l |

CUADRO VII

En el cuadro VII se dan valores de concentraciones de ciertos inhibidores comunes. Valores que se deben tomar como orientativos, puesto que las bacterias intervinientes pueden con el tiempo adaptarse a condiciones que en un principio las afectaba marcadamente.

2.2. TECNOLOGIA EMPLEADA EN LA DIGESTION ANAEROBICA:

El hombre de acuerdo a la aplicación de gas, las características del material a ser digerido, a las exigencias en cuanto a niveles de descontaminación a lograr y a la relación costo-inversión-beneficio a diseñado y probado a lo largo del desarrollo de esta tecnología diversos tipos de digestores.

A fin de simplificar el análisis y comprensión de los distintos tipos de digestores en utilización se agruparan los mismos en el siguiente CUADRO desde los más sencillos hasta la última generación de reactores de alta eficiencia, complejidad y costo; clasificando los mismos de acuerdo a diferentes criterios. Luego se comentará cada proceso con un esquema ilustrativo.

| | |
|--------------------------|--|
| 1.- CARGA | a) Sistema Batch b) Sistema continuo o semicontinuo |
| 2.- INTENSIDAD DE MEZCLA | a) Mezcla completa |

| | |
|--------------------------|---|
| | b) Mezcla parcial o nula |
| 3.- MANEJO DEL SUBSTRATO | a) Contacto anaeróbico b) U.A.S.B.: (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) c) Lecho fluidizado d) Filtro anaeróbico |
| 4.- MANEJO BIOQUIMICO | a) Una etapa b) dos etapas |

1-a) **Sistema Batch:** Figura 9

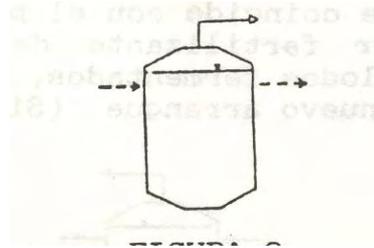


FIGURA 9

Se caracterizan por una carga y vaciado total de la cámara de digestión. De uso en laboratorios y en el tratamiento de materias vegetales. Con o sin agitación. Requieren para acelerar su arranque de una proporción de inóculo 20%. Su curva de producción de gas sigue la característica (arranque-estabilización-agotamiento).

Esto obliga a fin de mantener una producción de gas estable a lo largo del tiempo a poseer por lo menos tres o cuatro digestores de este tipo cada uno de los cuales se hallará operando en las distintas etapas. Lo que permite mantener la producción de biogas en un cierto nivel uniforme. La FIGURA 10 nos muestra la historia de la producción de gas en función del tiempo de un sistema Batch de 4 reactores.

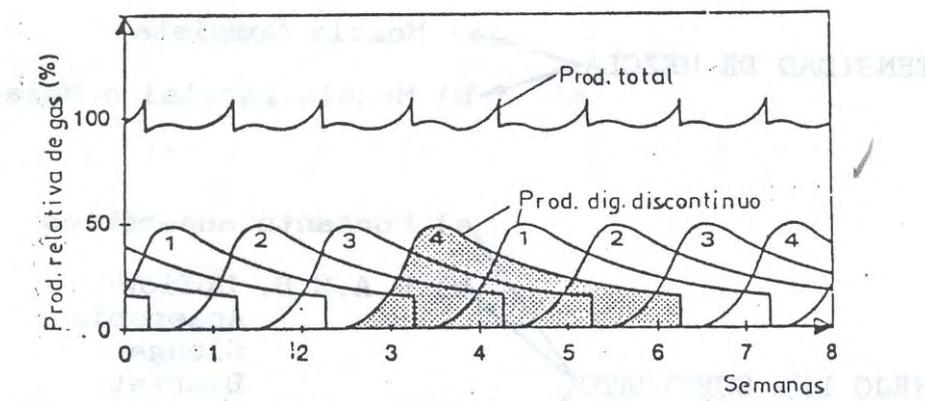
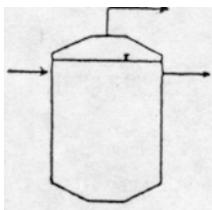


FIGURA 10

Este tipo de digestores son eficaces para la digestión de materiales celulósicos que no pueden ser tratados en los digestores de tipo continuo debido al posible taponamiento de los conductos de alimentación y salida. Su utilización no está muy difundida.

1-b) **Sistema continuo o semicontinuo:** (FIGURA 11)



En este tipo de digestores el volumen que ingresa desplaza una cantidad equivalente de efluente que se evacua por la salida. De este modo el volumen del substrato en la cámara de digestión se mantiene constante. Los continuos se cargan generalmente en forma diaria, a diferencia de los semicontinuos se descargan totalmente una o dos veces por año que generalmente coincide con el período de siembra para aprovechar el poder fertilizante de los residuos de la digestión y de los lodos fermentados, parte de estos últimos es utilizada en el nuevo arranque. (Sistema muy difundido en China).

El tiempo de permanencia de la biomasa dentro del digestor estará dado por el cociente entre el volumen de la cámara de digestión y el de la carga diaria. Dicho valor no es exacto debido a que la parte del material introducido puede salir en un período más corto, lo que se trata de minimizar mediante un adecuado diseño de la cámara.

La mayor parte de los digestores difundidos a lo largo de todo el mundo pertenecen a esta categoría y existen dentro de ella enormes variaciones sobre el mismo principio.

2-a) **Mezclado completo:** (FIGURA 12)

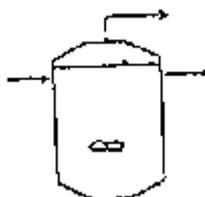
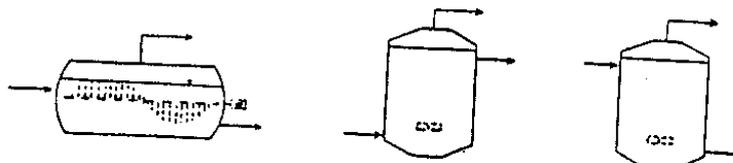


FIGURA 12

En estos digestores se busca que el substrato en fermentación dentro de la cámara se mezcle en forma total, en general diariamente. En el caso de los reactores calefaccionados, esta acción asegura una distribución uniforme de la temperatura en todo el volumen. Existen diversos medios para lograr este fin, entre los que podemos mencionar: la agitación de líquidos mediante bombas internas o externas al digestor y la reinyección de biogas dentro de la cámara produciendo un intenso burbujeo.

Se debe tener mucho cuidado en la intensidad y periodicidad de la agitación, para no afectar el delicado equilibrio bacteriano.

2-b) **Mezclado parcial:**



(FIGURAS 13, 14 Y 15)

En este grupo se encuentran los pequeños digestores rurales en los cuales los métodos de agitación son muy rudimentarios (agitadores del tipo manual o rotación de la campana gasométrica). Los que se realizan con el fin de evitar la formación de la perjudicial costra.

En otros casos como los digestores del tipo horizontal la agitación se logra mediante la circulación del sustrato dentro de la cámara de digestión provista de una serie de tabiques (FIGURA 13).

El flujo puede ser también ascendente (FIGURA 14) o bien descendente (FIGURA 15), lo que dependerá de la ubicación de las cañerías de entrada y salida del sustrato.

3-a) Contacto anaeróbico: (FIGURA 16)

Tanto en este como en los siguientes sistemas se ha buscado algún medio para retener la mayor cantidad de bacterias activas dentro de la cámara de digestión a fin de lograr menores tiempos de retención y consecuentemente menores volúmenes de digestor para tratar la misma cantidad de biomasa.

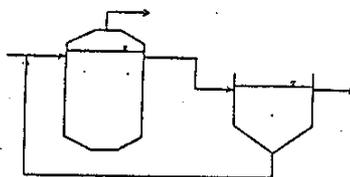


FIGURA 16

En estos digestores la pileta de sedimentación a la salida de los mismos le da la posibilidad a las bacterias que han salido con el efluente a asentarse y decantar para luego ser reintroducidas en forma de lodo, mezclado con material de carga como inculo.

Existen también otros dos métodos para retener la masa bacteriana a la salida del reactor, como puede ser un sedimentador externo (FIGURA 17) en el cual las partículas más pesadas son recirculadas.

Otro puede ser un separador de membranas (FIGURA 18), que no hace otra cosa que filtrar las bacterias, proceso que se realiza mediante un bombeo externo del lodo de la parte inferior hacia la superior.

El tercero es una variación del primero, ya que el sedimentador es con placas (FIGURA 19).

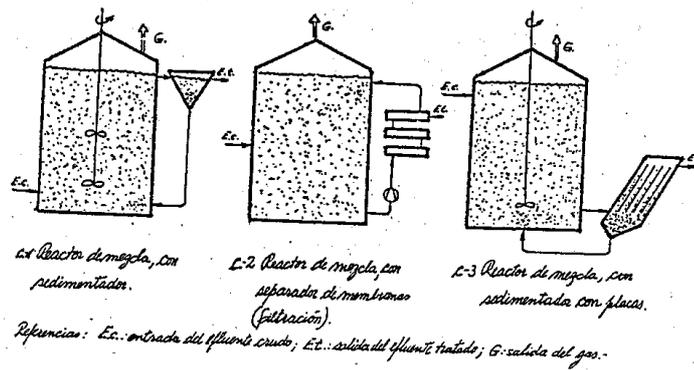


FIGURA 17

FIGURA 18

FIGURA 19

3-b) **U.A.S.B.:** (FIGURA 20)

En su interior posee separadores y mamparas estratégicamente ubicadas las que generan zonas de tranquilidad en las cuales las bacterias han conformado glomérulos (floculación) que sedimentan y así se evita que salgan con el efluente que es sacado por la parte superior de la cámara de carga.

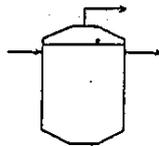
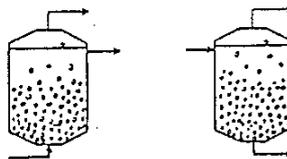


FIGURA 20

Este tipo de digestor es especialmente apto para el tratamiento de desechos agroindustriales como la vinaza, no admite partículas insolubles.

3-c) **Lecho fluidizado:** (FIGURA 21)



En este tipo de reactor unas pequeñas partículas se mantienen en suspensión dentro de la cámara de digestión. Las bacterias se adhieren a estas partículas, que no son atacadas y salen con ellas. Mediante el filtrado del efluente se pueden recuperar estas partículas juntamente a las bacterias y se reintroducen en el digestor. Este tipo de reactor está poco difundido y las mayores referencias son de plantas a nivel laboratorio o piloto. Los hay de flujo ascendente y descendente.

3-d) **Filtro anaeróbico:** (FIGURA 22)

Estos reactores tienen la particularidad de ser alargados (relación alto/diámetro mayor a 1), últimamente se está experimentando con filtros horizontales, pero los verticales siguen siendo más eficientes, en su interior poseen un medio fijo que puede estar constituido por cañerías reticuladas, piedra caliza, formas plásticas de gran relación superficie/volumen, etc. Sobre estos materiales no atacables se adhieren las bacterias y así se evita su pérdida, que disminuye notablemente los tiempos de retención. Existen dos variantes: de flujo ascendente y de flujo descendente.

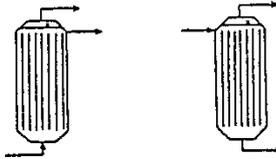


FIGURA 22

Debido a estos elementos filtrantes ubicados dentro de la cámara de digestión, no admiten líquidos con material insoluble en suspensión ya que dichos sólidos bloquearían el pasaje del sustrato. Este tipo de digestores está difundiendo últimamente para determinados usos.

Tanto este digestor, como los dos anteriores admiten tiempos de retención muy bajos (0,5 a 3 días) con muy altos niveles de eficiencia (se han llegado a valores de producción de biogas de 7 veces el volumen del reactor por día). Existen de flujo ascendente y descendente.

4-a) **Una etapa:** (FIGURA 23)

Todos los tipos de digestores vistos hasta este momento se agrupan en esta categoría debido a que todas las etapas de la digestión anaeróbica se cumplen en una única cámara, en la cual todas las bacterias están sometidas a las mismas condiciones.

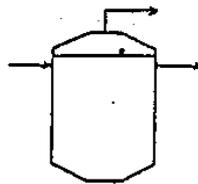


FIGURA 23

4-b) **Dos etapas:** (FIGURA 24)

En estos reactores se ha dividido en dos cámaras de digestión separadas, donde en la primera se desarrolla la etapa acidogénica y en la segunda la acética y la metanogénica. Esto permite optimizar las condiciones de desarrollo de cada tipo de bacterias y extraer los sólidos indigeribles antes que pasen a la etapa metanogénica.

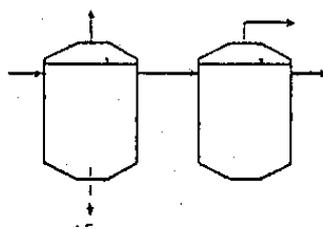


FIGURA 24

Estos digestores no han sobrepasado la etapa experimental y de plantas piloto y aún resta solucionar una serie de problemas de funcionamiento a gran escala para llegar a una amplia difusión.

Se ha dejado intencionalmente para comentar en esta última parte los **Rellenos Sanitarios (Landfills)**, puesto que son un tratamiento anaeróbico diferente o cámara de digestión especialmente construida para tal fin, sino que sólo se hacen excavaciones las cuales serán rellenas generalmente con residuos urbanos, en su mayoría sólidos, y de los cuales no se obtendrá ningún efluente tratado, sólo quedará la porción de sólidos que no se pudo degradar y el lixiviado. El biogas puede o no recolectarse, para hacerlo será menester instalar cañerías agujereadas en lechos de piedras, generalmente tramos horizontales dispuestos en diferentes niveles que convergen a uno vertical, que llega a la superficie exterior.

Este tratamiento es muy utilizado en Europa por los sectores municipales en el saneamiento de ciudades, con recuperación de grandes volúmenes de gas. En América Latina, Chile, Brasil y Argentina son unos de los países pioneros en aplicar con éxito este método.

2.2.1. Otro tipo de clasificación:

W. Baader en 1990 dentro de su publicación para la “International conference on biogas” dividió en tres sectores el campo de utilización del biogas, el Municipal (oficial), el Industrial y el Agricultor o Rural. Dentro de los cuales explicó las razones de la utilización y las distintas tecnologías aplicadas. Todo referido a su país, Alemania. Siendo éste uno de los países más avanzado en este área se considera provechoso tomarlo como parámetro de comparación.

Dentro del sector municipal y para el tratamiento de “lodos cloacales” se están usando reactores de una etapa y de mezcla completa. En pequeña y mediana escala el líquido es mezclado hidráulicamente en combinación con un calentamiento por medio de un intercambiador de calor externo, el cuál es instalado en la cañería de recirculación; o por una inyección de biogas junto con un mecanismo interno de calentamiento (FIGURA 25). En la mayoría de los digestores a gran escala es instalado un tubo central con un rotor tipo tornillo el cual fuerza al líquido a realizar una circulación (FIGURA 26). La materia en flotación es descargada en forma discontinua por la parte superior del digestor. Todos los digestores están trabajando a temperaturas mesofílicas. Alrededor del 25% de los lodos cloacales son diseminados sobre terrenos arados; en esos el efluente debe estar libre organismos patógenos, para cumplir esta disposición en varias plantas el lodo es tratado en un proceso aeróbico-termofílico como un paso previo al tratamiento anaeróbico.

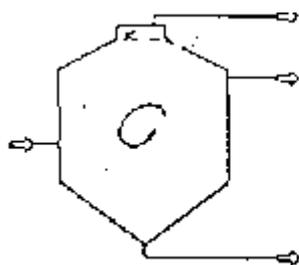


FIGURA 25

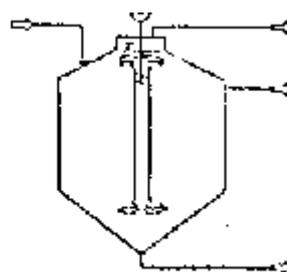


FIGURA 26

Desde hace años la mayoría de los digestores del sector industrial que están en funcionamiento son de mezcla completa (FIGURA 27) y sistemas de contacto anaeróbico (FIGURA 28).

La agitación en estos reactores se realiza por bombeo (hidráulicamente) o bien por inyección de gas (ver FIGURA 26).

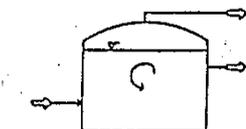


FIGURA 27

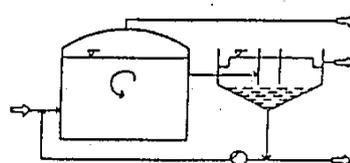


FIGURA 28

Desde 1982 ha predominado la instalación de digestores con acumulación interna de biomasa, en igual número se han instalado también los del tipo retención de biomasa, también llamados de lecho de lodos (U.A.S.B.) (FIGURA 29), y los del tipo de inmovilización de biomasa (fixed carrier) llamados filtros anaeróbicos (FIGURA 30).

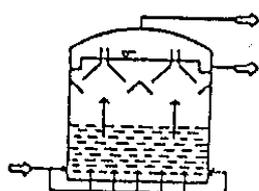


FIGURA 29

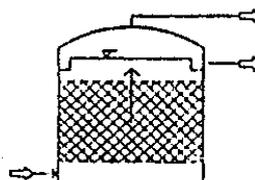


FIGURA 30

Diferentes materiales son usados como filtros dependiendo del sustrato y de los costos. Digestores en los cuales la biomasa es inmovilizada en filtros de lecho fluidizado (FIGURA 31) solo existen pocas plantas. En la mayoría de los casos el efluente es tratado en un proceso de dos etapas.

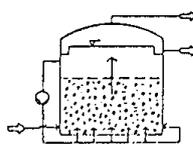


FIGURA 31

En el sector rural la mayoría de las plantas en todas las escalas son sistemas de tanques de flujo pasante con menor o mayor intensidad de mezclado. La mayoría de los digestores están equipados con un mecanismo hidráulico de mezcla el cual es accionado por una bomba instalada externamente, donde absorbe el líquido de la parte inferior del tanque y expulsado cerca del nivel superior, o por encima de él, con el fin de destruir o prevenir la formación de la perjudicial costra.

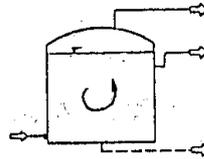


FIGURA 32

La mezcla completa es preferida debido a que la misma provee una distribución uniforme de la temperatura en el digestor (FIGURA 32).

Los sistemas de agitación mecánica e inyección de gas son instalados sólo en unos pocos tanques digestores. Mientras que estos sistemas convencionales tienen una mediana eficiencia en el tratamiento de substratos conteniendo pocos o sin sólidos en suspensión; los digestores del tipo de mezcla parcial y totalmente llenos (FIGURA 33) han probado ser eficientes en el procesamiento de substratos ricos en sólidos comunes y fibrosos.

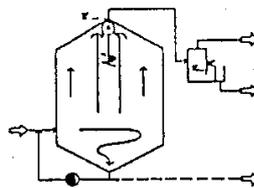


FIGURA 33

La materia es forzada a una circulación por medio de una agitación rotativa y lenta o bien por el sistema de tornillo dentro de un tubo central. De este modo la costra superficial no se producirá.

En el nuevo digestor de una etapa, Sistema FhG/SCHWARTING (FIGURA 34), el substrato pasa a través de dos secuencias por distintos compartimientos verticales del digestor gracias a una grilla oscilante, en la cuál los sólidos son retenidos, en tanto no sean degradados, por la misma grilla.

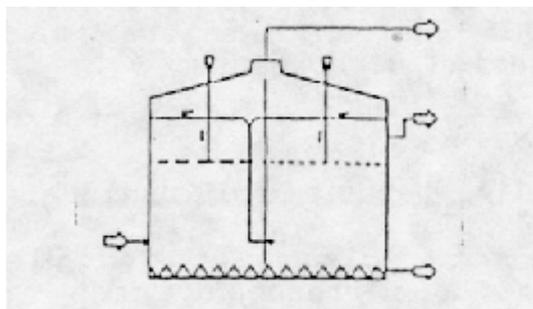


FIGURA 34

Además de los digestores del tipo tanque vertical existe un gran número del tipo de canal horizontal (FIGURA 35).

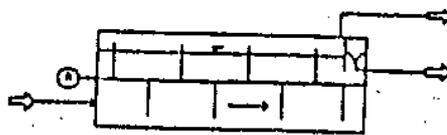


FIGURA 35

Equipados con paletas de movimientos lentos con el objeto de proporcionarles una agitación suave, estos digestores de una sola etapa son también apropiados para el tratamiento de substratos ricos en sólidos comunes. El volumen de los digestores instalados de este tipo es mayor a los 100 m³.

En algunas granjas, donde por razones de reglamentación en la contaminación del aire, el tanque de almacenamiento de excrementos líquidos debe estar cerrado y cubierto, ésta prevención es acompañada con una instalación adicional para transformar el sistema de almacenamiento previo en una planta de producción de biogas de bajo costo.

Los elementos principales de ésta son: una cubierta flexible del tipo globo para colectar el gas y una aislación flotante de poliuretano expandido (PU) la que estará ubicada por encima del nivel del líquido.

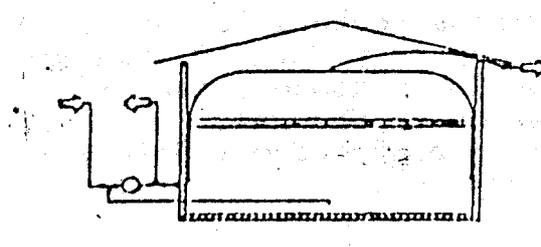


FIGURA 36

La cubierta estará también protegida contra la lluvia, granizo y desperfectos mecánicos por un techo rígido y liviano (FIGURA 36). Estos digestores son mezclados por bombeo, de alimentación discontinua y de frecuente vaciado parcial.

2.2.2. Modelos de digestores más difundidos:

Más del 80 % de las plantas de biogas difundidas en el mundo pertenecen a dos tipos de diseño, cuyos nombres derivan de los países en los cuales se realizaron los primeros modelos y posteriormente se les dio una difusión masiva. Estos modelos son el tipo Chino e Hindú.

2.2.2.1. Modelo Chino:

Este tipo de digestor fue concebido respetando las condiciones imperantes en su país de origen. Su diseño responde a una maximización del ahorro de material sin entrar en el cálculo de la demanda de la mano de obra.

Su forma se asemeja a una esfera (ver FIGURA 37) y el gas se almacena dentro de la campana fija a presión variable, la cuál se obtiene desplazando el líquido en digestión hacia una cámara llamada de hidropresión.

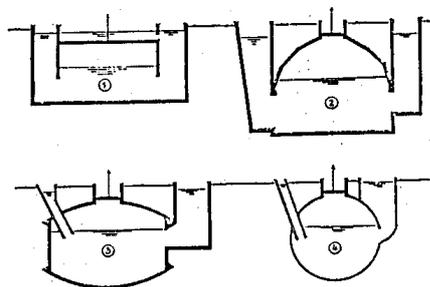


FIGURA 37: 1. Planta rectangular de los años 60; 2. Digestor de piedra; 3. Digestor de Sichuan (pequeño, redondo y achatado); 4. Digestor esférico de Shanghai.

Todos corresponden a diferentes modelos de digestor Chino.

Estos digestores se cargan en forma semicontinua realizándose una primera carga con material celulósico y estiércol, además del inóculo correspondiente, hasta un 70% de la capacidad luego se sigue cargando como un digestor continuo; a los 120 a 180 días se descarga en forma total y se reinicia el ciclo. Fuera de China generalmente se maneja estos digestores en forma continua.

2.2.2.2. Modelo Hindú:

Este tipo de digestor del cuál han derivado infinidad de variaciones, posee una cámara de digestión de forma cilíndrica sobre la cual flota la campana gasométrica generalmente construida en hierro (FIGURA 38). La salida del efluente se efectúa por rebalse.

Este digestor funciona en forma continua realizándose por lo general una carga diaria o cada dos o tres días. El vaciado completo sólo se realiza en el caso de requerir alguna reparación o limpieza.

El gas gracias al gasómetro flotante se almacena a presión constante y volumen variable. Esta presión de salida puede ser incrementada con la adición de contrapesos.

Este digestor demanda un mayor gasto de materiales y la campana gasométrica es generalmente lo más caro del equipo. Su funcionamiento es muy sencillo y no presenta serios inconvenientes en el área rural.

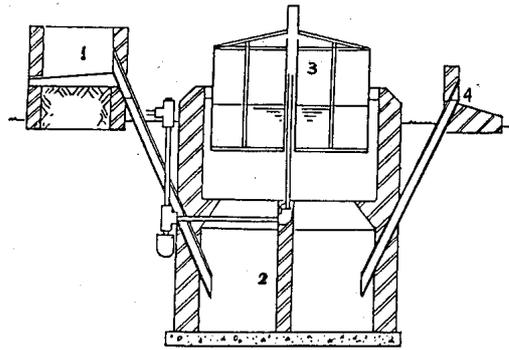


FIGURA 38: Digestor Hindú típico. 1. Cámara de carga; 2. Cámara de digestión; 3. Campana gasométrica; 4 Salida del efluente.

2.3. **COMPONENTES DEL SISTEMA:**

La selección de los materiales de construcción tiene una gran importancia y por lo tanto deben satisfacer los siguientes requerimientos:

- Resistencia a los esfuerzos de origen mecánico y térmico.
- Resistencia al ataque químico.
- Posibilidad de ser moldeado y/o construido localmente.
- Disponibilidad local.
- Compatibilidad ambiental.

Las características físicas de los materiales son fácilmente calculables no así los aspectos de disponibilidad y de posibilidad de operar con ellos pues varía según el país o región. Por este motivo se deberá realizar un análisis particular para cada caso antes de tomar una determinación definitiva.

Este último punto es de decisiva importancia debido a que la construcción y reparación deberán ser realizadas por gente idónea de la zona.

2.3.1. **Sistema de acarreo o alimentación:**

Deben ser tales que aseguren una provisión de materia prima en forma rápida evitando su descomposición aeróbica y la pérdida de su temperatura (efluentes industriales). De este modo se tendrá un material con su pleno potencial.

2.3.2. **Cámaras de carga:**

El sustrato generalmente se almacena en una cámara de carga antes de su ingreso. Dependiendo del digestor esta cámara deberá ser capaz de almacenar un volumen equivalente a dos días de carga.

Estará provisto de un sistema de alimentación de agua para realizar las diluciones del material y algún mecanismo o instrumento de agitación para homogeneizar la carga.

2.3.3. **Conductos, canales y bombas:**

Podemos diferenciar claramente la existencia de dos fluidos muy distintos en el proceso anaeróbico, a saber el biogas (gaseoso) y el sustrato (semi líquido); antes, durante y después de la digestión.

2.3.3.1. Manejo del sustrato:

Este involucra la recolección y transporte de la materia orgánica a digerir, la alimentación del sistema de fermentación y el vaciado del digestor. En la (Fig.39) se puede ver un diagrama de flujo del sustrato, donde se pueden apreciar las diferentes etapas.

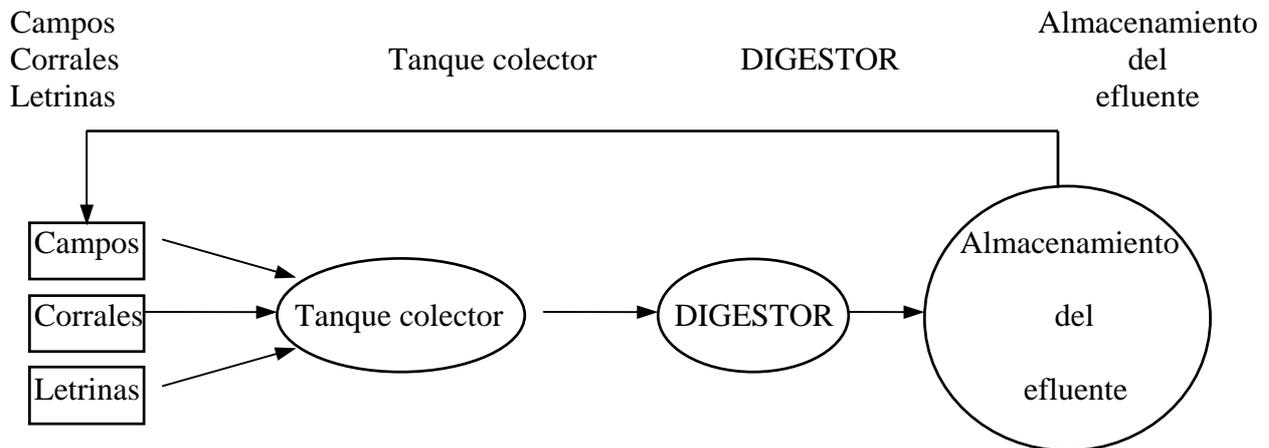


FIGURA 39

Dependiendo del tipo de sistema usado, alguna o todas las etapas serán efectuadas en forma continua o intermitente pudiendo ser estas ejecutadas en forma manual o bien automáticamente. Los requerimientos para el manejo y transporte del sustrato varían de acuerdo a la naturaleza del mismo y a la clase del proceso utilizado.

Independientemente del sistema usado, se deberá siempre tener cuidado que la alimentación se realice en el menor tiempo posible, puesto que en dicho intervalo disminuirá la producción de biogas, como consecuencia de una incipiente descomposición aeróbica; particularmente en el caso de los sistemas calefaccionados, donde las pérdidas de calor deben ser reducidas al máximo.

2.3.3.1.1. Sistemas de transporte:

Las propiedades físicas del sustrato fresco son raramente comparables a las del agua, en otras palabras los fluidos involucrados son **No Newtonianos**. Los líquidos residuales de las granjas europeas, tienen sus propias reglas sobre las propiedades del fluido, las cuales no son calculadas por fórmulas establecidas.

La selección y/o diseño del equipo de transporte se fundamentan en los siguientes parámetros:

- viscosidad
- tipo, tamaño y proporción de sólidos
- contenido de sólidos totales
- proporción de agua pura
- caudales requeridos

El esfuerzo y dinero que serán dispuestos para el sistema de transporte, como las propiedades del flujo del sustrato en el alcantarillado y la cañería, dependerán de la consistencia y el contenido de fibras del sustrato y del caudal de salida requerido. Este último es producto de la altura

manométrica a vencer y la sumatoria de las pérdidas producidas por fricción. Estas pueden ser estimadas para curvas, térs, y válvulas como las pérdidas producidas en un caño de 5 m de longitud del mismo diámetro del accesorio considerado. Es recomendable evitar la instalación de codos de 90°.

Las pérdidas de carga también dependen del caudal y pueden ser obtenidas de las tablas apropiadas. Los valores del estiércol líquido son naturalmente mayores que los del agua.

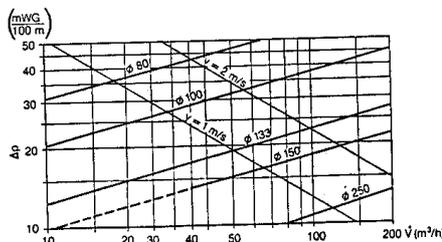


TABLA 1

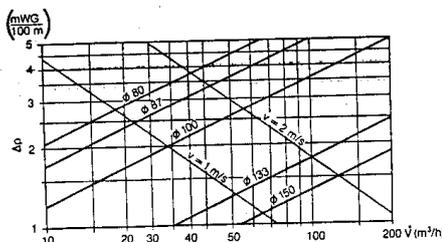


TABLA 2

A modo de ejemplo, se presentan tablas para calcular las pérdidas por rozamiento, conociendo el caudal o velocidad del fluido y el diámetro de la cañería.

La tabla 1 está calculada para un estiércol vacuno líquido con un contenido de sólidos totales del 10%; la tabla 2 está referida para estiércol porcino líquido con un 7% de S.T.

2.3.3.1.2. Bombas:

Hay dos tipos predominantes de bombas para sustrato fresco: las centrífugas y las de desplazamiento positivo o alternativas.

Las bombas centrífugas (FIGURA 40) operan con el principio de instalar un rotor girando rápidamente en una vena fluida.

Elas proveen de altos caudales y son de construcción robusta, puesto que sus mecanismos internos están expuestos a esfuerzos tensionales.

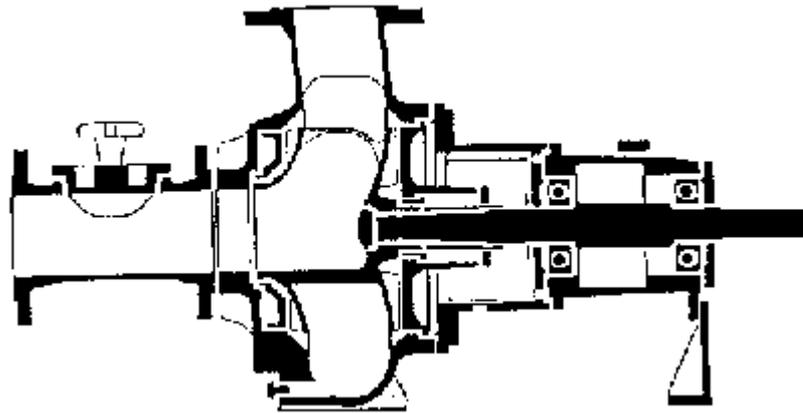
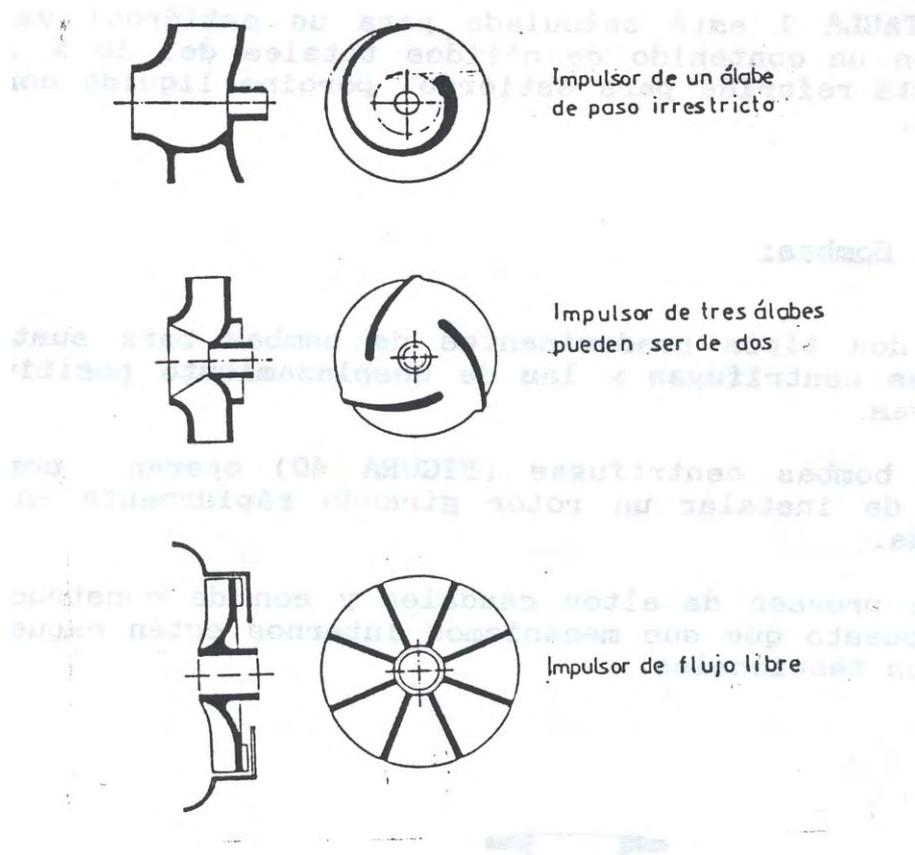


FIGURA 40

Varios tipos de impulsores (rotores) son utilizados (FIGURA 41), siendo los rotores periféricos más fáciles de instalar que las ruedas en el interior de conductos o los impulsores del tipo espiral.



(FIGURA 41)

Prácticamente casi todas las características de las bombas centrífugas que son brindadas están referidas al agua.

En la FIGURA 42 se muestran curvas representativas de alturas manométricas (H), potencia requerida por el motor de la bomba (P) y el rendimiento; en función del caudal (V).

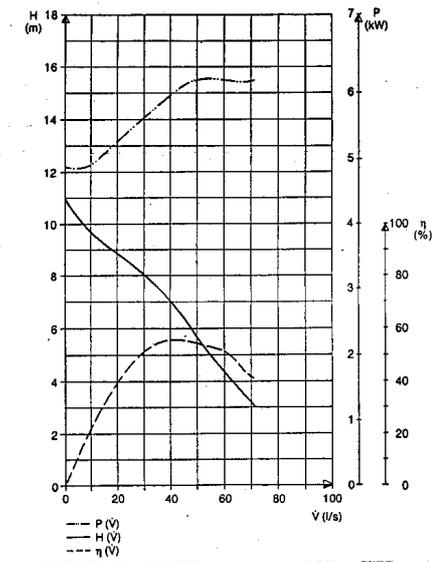


FIGURA 42

Existen bombas centrífugas con motor sumergido, portátiles y fijas con las mismas o mejores prestaciones que las otras, puesto que al impulsor se le puede adosar un triturador de sólidos, lo cual beneficia el flujo del líquido y disminuye las pérdidas de carga mencionadas, pero genera una pérdida de potencia en el eje.

A continuación, en la FIGURA 43, se muestran esquemas de tres bombas de este tipo con sus respectivas curvas Altura monométrica-Caudal.

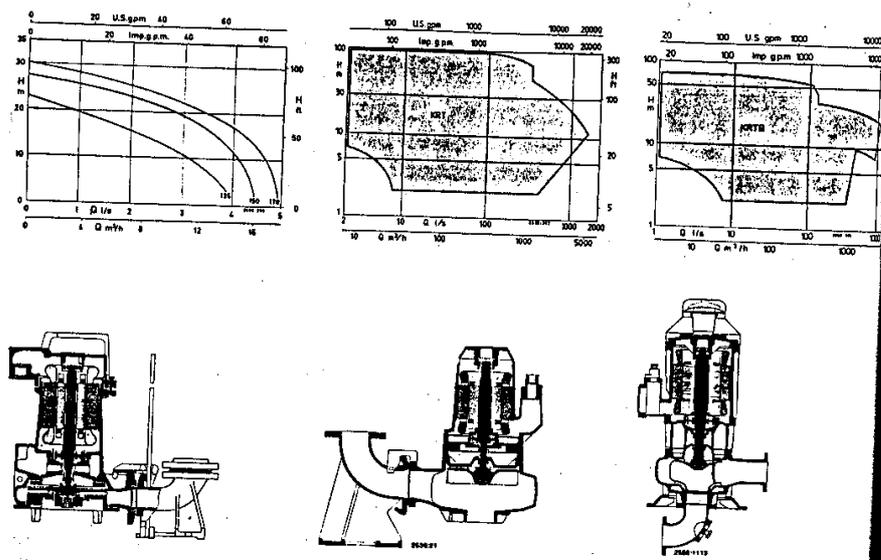


FIGURA 43

Para los casos en los cuales las centrífugas no satisfacen los requerimientos, las alternativas son las

bombas de *desplazamiento positivo o alternativo* dentro de este grupo tenemos, las de *pistón* y las de *engranajes* o de *espiral excéntrica*; las que operan con el principio de entregar un desplazamiento positivo a la vena fluida, en uno o varios cuerpos de la bomba. (FIGURAS 44 y 45).

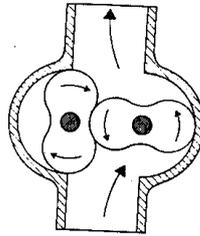


FIGURA 44: Bomba de pistón rotativo

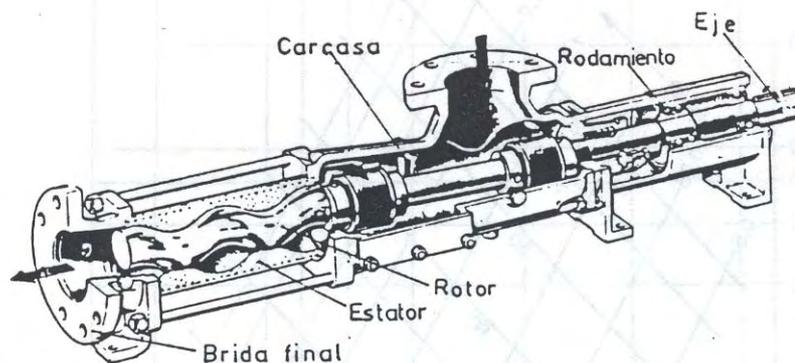


FIGURA 45: Bomba de espiral excéntrica

Las bombas de desplazamiento positivo ofrecen múltiples ventajas, también para substratos muy viscosos, proveen de altos caudales con buenos rendimientos y consumos de energía relativamente bajos. Son de una característica dura, pues la altura manométrica varía muy poco con el caudal, consecuentemente éste dependerá de la velocidad de la bomba.

La principal desventaja, comparada con la centrífuga, es que el desgaste de los mecanismos internos ocasiona la necesidad de proveerlas de sellos especiales entre cada compartimiento o cuerpo.

En la TABLA 3, se presentan las curvas características de una bomba de espiral excéntrica, para diámetros entre 15 y 120 cm, y una altura monométrica de 10 m CA.

La altura manométrica de la bomba dependerá del grado de resistencia que ofrecen las pérdidas por fricción en la cañería. Por lo tanto la cañería debe ser dimensionada teniendo en cuenta la bomba seleccionada.

Uno de los procedimientos para calcular la pérdida de carga, basado en la velocidad de flujo mínima del sustrato, de 1 m/s, pero problemas de sedimentación pueden ocurrir, por lo cual se deben prever mecanismos adecuados para limpiar las cañerías.

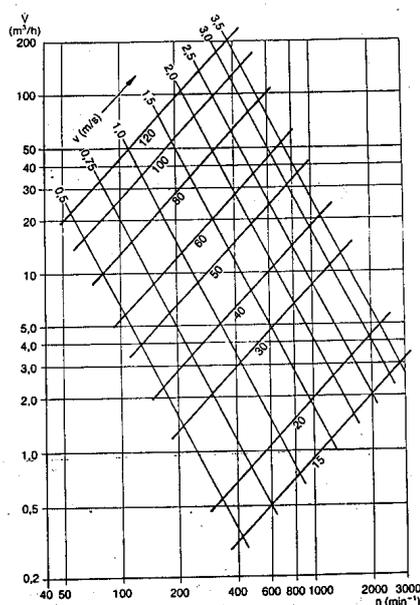


TABLA 3

2.3.4. Cámara de digestión:

No importa cual sea el sistema a utilizar, la cámara de digestión deberá cumplir los siguientes requisitos:

- * Impermeable al agua y al gas para evitar las pérdidas del líquido en digestión, con el consecuente peligro de contaminación; y la pérdida de gas que disminuirá la eficiencia y provocaría el riesgo de explosiones en las cercanías del digestor.
- * Aislante, las pérdidas de calor deben ser evitadas al máximo, puesto que el mantenimiento de la temperatura de digestión es logrado con el aporte de calor externo y por lo tanto todo ahorro en este sentido redundará en una mayor cantidad de energía neta disponible. Este aspecto es particularmente importante para los digestores que trabajan a temperaturas meso y termofílicas.
- * Mínima relación superficie/volumen, a fin de ahorrar material y mano de obra, como así también reducir la superficie de intercambio de calor.
- * Estabilidad estructural, capaz de soportar cargas estáticas y dinámicas; incluyendo un cuidadoso estudio del suelo, especialmente en los que serán construidos bajo tierra, donde se pueda afectar alguna napa freática.

Los formatos son muy variables pero existen cinco formas básicas de las cuales derivan todo el resto (FIGURA 46). Cada una de las cuales tiene ventajas y desventajas, como por ejemplo los digestores del tipo horizontal se adaptan mejor a las zonas con algún tipo de impedimento en el subsuelo. Con respecto a la producción de gas no existen hasta el momento evidencias de peso que hallan demostrado que la forma de la cámara de carga tenga importancia en la producción de gas, sin embargo los digestores de última generación, de mayores rendimientos, son propensos a las formas de cilindros o paralelepípedos verticales.

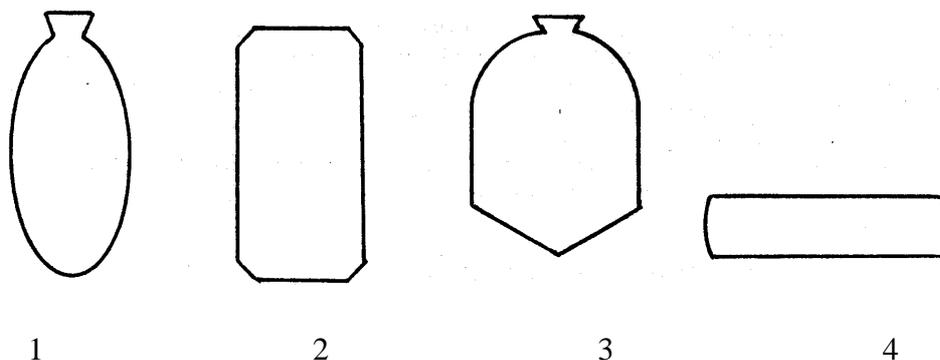


FIGURA 46: Formas de digestores. 1 Ovoide; 2 Cilindro o Paralelepípedo vertical; 3 Domo; 4 Cilindro o Paralelepípedo Horizontal.

Los materiales de construcción más usualmente empleados son el hierro, cemento armado, mampostería (ladrillos y cemento), plásticos (OVC, PU, PRFV) y la madera en contadas ocasiones. La elección dependerá fundamentalmente de los factores costo y disponibilidad.

La cámara de agitación debe estar provista de un mecanismo de agitación; éste puede ser muy variado.

Básicamente existen tres tipos: Los mecánicos (palas, hélices, tornillos sinfín), bombas de recirculación, inyectores de gas y circulación natural por desplazamiento de líquido interno, como se vio anteriormente.

Se han desarrollado métodos de cálculo para determinar las pérdidas térmicas, la energía requerida para la calefacción y el dimensionamiento de dichos sistemas.

Los sistemas de calentamiento disponibles pueden ser divididos en dos grandes grupos: los de calentamiento directo por vapor o agua caliente (este tipo de sistema se suele utilizar para el calentamiento del material a cargar y los de calentamiento indirecto a través de intercambiadores de calor. En estos últimos se suele utilizar el agua caliente como medio de transporte de energía.

Los intercambiadores de calor adoptan distintas características: fondo calefaccionado, verticales sumergidos, embutidos en las paredes o externos al mismo.

Como regla general es conveniente el precalentamiento de la carga y la optimización de la aislación a fin de reducir al mínimo el requerimiento de calor para mantener la temperatura estable.

2.3.5. Almacenamiento del efluente:

El dimensionamiento y diseño de la cámara de descarga dependerá fundamentalmente del uso que se le dará al efluente. Como mínimo deberá tener un volumen 2 a 3 veces superior al de descarga

diario.

En el próximo capítulo se brindarán recomendaciones para los distintos usos del efluente.

2.3.6. Almacenamiento del biogas:

La producción de gas de un digestor anaeróbico es continua a lo largo de las 24 horas del día; no ocurre lo mismo con el consumo que por lo general está concentrado en una fracción corta de tiempo. Por este motivo será necesario almacenar el gas producido durante las horas en que no se consuma.

La dispersión del consumo y su intensidad determinará el volumen de almacenamiento requerido. Por lo tanto cuanto más concentrado esté el consumo en un período de tiempo corto, mayor será la necesidad de almacenaje. Por lo general el volumen de almacenamiento no baja del 50% de la producción diaria.

El contenido de energía de 1 m³ de biogas (60% CH₄ y 40% CO₂) es aproximadamente 6 kWh/m³. Esta energía puede ser almacenada en diferentes formas (gas a baja presión, media o alta), agua caliente o energía eléctrica.

Debido a que el gas en si mismo constituye la forma más directa de energía se debe intentar almacenarlo: para ello existen varias formas posibles.

La forma más simple es almacenar el gas tal cual se obtiene, a baja presión, para ello se utiliza generalmente gasómetros. Las posibilidades están representadas en la FIGURA 47 y son básicamente cuatro. Los digestores totalmente cerrados almacenan el gas a presión constante y presión variable. su capacidad es reducida y son muy poco usados. Los digestores con campana gasométrica que puede flotar sobre el líquido en fermentación o estar separado del digestor flotando sobre agua formando un sello hidráulico, muy usado en los reactores del tipo Hindú: en este caso el gas se almacena a presión constante (la que se puede variar colocando contrapesos sobre la campana) y a volumen variable. El tercer tipo posee una cúpula fija y una cámara de hidropresión que permite el desplazamiento del sustrato en fermentación a medida que se acumula el gas, este sistema es muy empleado en los digestores de tipo Chino; en este caso el gas se almacena a volumen y a presión variables. Por último se han difundido en años recientes almacenadores de gas del tipo gasómetro plástico inflable. Este contenedor plástico puede cubrir el digestor en su parte superior como una campana o estar separado, almacenando a presión constante y volumen variable. En este tipo también se puede variar la presión de la misma forma que en el de campana gasométrica.

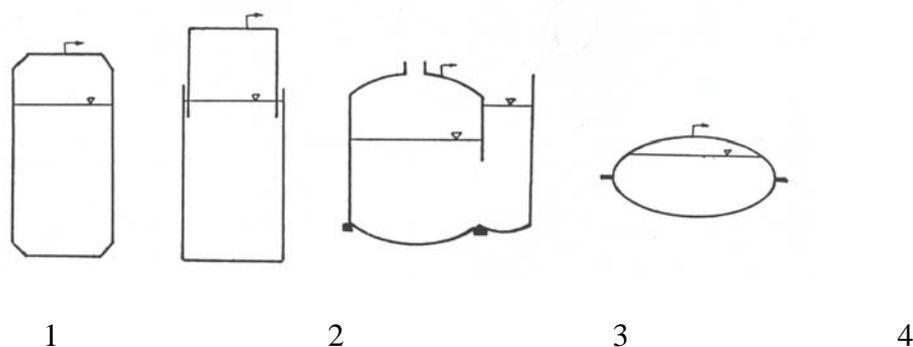


FIGURA 47: 1. Digestor cerrado; 2. Gasómetro flotante; 3. Campana fija; 4 Balón plástico

Todos los sistemas descriptos no superan como presiones máximas los 100 cm de C.A. encontrándose la media alrededor de los 35, presión a la cual funcionan correctamente los artefactos domésticos.

A fin de reducir el volumen de almacenaje necesario se puede comprimir el gas y almacenarlo a presiones medias (0,5 a 1,5 bar) y altas hasta 300 bar. Este tipo de almacenamiento demanda un gasto extra de energía para comprimir el gas y además se lo debe purificar extrayendo el vapor de agua, el dióxido de carbono y el ácido sulfídrico. Los contenedores de gas para estas presiones, , cilindros en general, son caros debido a que deben tener la suficiente rigidez estructural para poder soportar los esfuerzos a los que se ve sometido.

El almacenaje a estas presiones se utiliza generalmente cuando se emplea el gas, como combustible de vehículos, donde el volumen ocupado es importante .

La energía también se puede almacenar en forma de calor, calentando agua la que se mantiene en un recipiente aislado hasta el momento de su utilización. Uno de los usos, como vimos puede ser el de calentar y mantener la temperatura interna del digestor, además de los otros usos que se le quiera dar.

Gracias a la gran capacidad calórica del agua se puede obtener una alta densidad energética, por ejemplo con una diferencia de temperatura de 20 a 40°C se puede obtener una densidad 4 veces mayor a la del gas (23 a 46 kWh/m³). Este tipo de almacenaje puede ser optimizado, como se verá en el siguiente capítulo, mediante el uso de equipos “TÓTEM” los cuales permiten transformar la energía contenida en el gas en calor y electricidad mediante motores equipados con una serie de intercambiadores de calor.

3. CAMPOS DE APLICACION DE LOS PRODUCTOS DEL SISTEMA

3.1. EL BIOGAS

3.1.1. Composición y características:

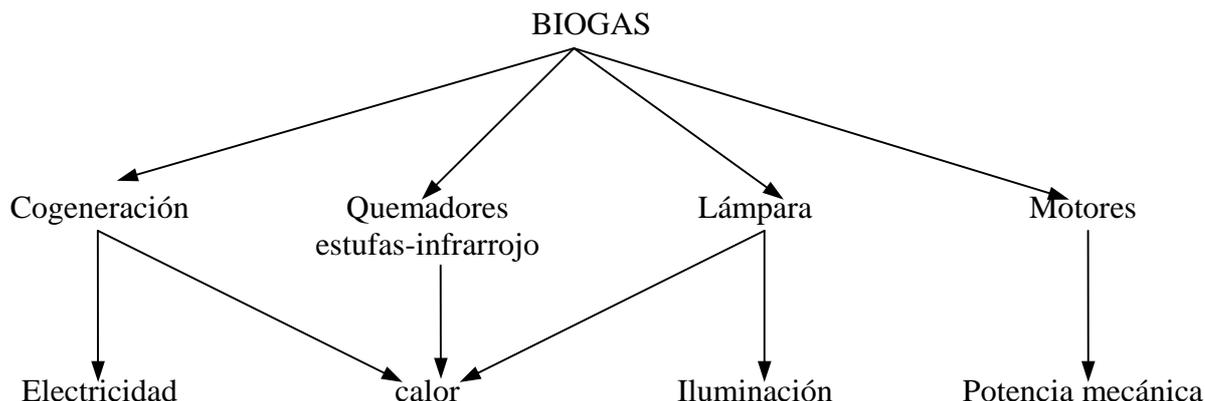
Se llama **biogas** a la mezcla constituida por metano CH₄ en una proporción que oscila entre un 50% a un 70% y dióxido de carbono conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. Sus características han sido resumidas en el CUADRO VIII.

| CARACTERISTICAS | CH4 | CO2 | H2-H2S | OTROS | BIOGAS 60/40 |
|-------------------------------------|---------|-------|--------|-------|-----------------|
| Proporciones % Volumen | 55-70 | 27-44 | 1 | 3 | 100 |
| Valor Calórico MJ/m ³ | 35,8 | -- | 10,8 | 22 | 21,5 |
| kCal/m ³ | 8600 | -- | 2581 | 5258 | 5140 |
| Ignición % en aire | 5-15 | -- | -- | -- | 6-12 |
| Temp. ignición en °C | 650-750 | -- | -- | -- | 650-750 |
| Presión crítica en Mpa | 4,7 | 7,5 | 1,2 | 8,9 | 7,5-8,9 |
| Densidad nominal en | | | | | |

| | | | | | |
|-------------------------------|------|-----|------|-----|------|
| g/l | 0,7 | 1,9 | 0,08 | -- | 1,2 |
| Densidad relativa | 0,55 | 2,5 | 0,07 | 1,2 | 0,83 |
| Inflamabilidad Vol. en % aire | 5-15 | -- | -- | -- | 6-12 |

3.1.2. Usos:

En principio el biogas puede ser utilizado en cualquier tipo de equipo comercial para uso de gas natural, el CUADRO IX resume las posibles aplicaciones.



CUADRO IX

Se volverá sobre este tema cuando se traten las distintas aplicaciones en detalle en la sección 3.1.4.

3.1.3. Principios de la combustión:

El biogas mezclado con aire puede ser quemado en un amplio espectro de artefactos descomponiéndose principalmente en CO₂ y H₂O. La combustión completa sin el exceso de aire y con oxígeno puro, puede ser representada por las siguientes ecuaciones químicas (CUADRO X)



El requerimiento de aire mínimo sería del 21% pero esta cifra debe ser aumentada para lograr una buena combustión.

La relación aire-gas puede ser ajustada aumentando la presión del aire, incrementando la apertura de la válvula dosificadora de gas (el biogas requiere de una apertura 2 a 3 veces mayor a la utilizada por el metano puro y modificando la geometría del paso de aire desde el exterior).

Debido al contenido de dióxido de carbono, el biogas tiene una velocidad de propagación de la llama lenta, 43 cm/seg y por lo tanto la llama tiende a escaparse de los quemadores.

La presión para un correcto uso del gas oscila entre los 7 y los 20 mbar. Se debe tener especial cuidado en este aspecto debido a que se deberán calcular las pérdidas de presión de salida del gasómetro (adicionándole contrapesos en el caso de gasómetros flotantes). Para dicho cálculo se adjunta la TABLA 4.

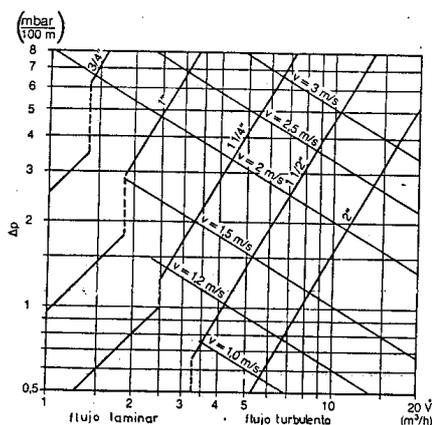


TABLA 4

3.1.4. Diferentes aplicaciones:

En el CUADRO XI se han listado los principales artefactos que utilizan biogas juntamente a su consumo medio y su eficiencia.

| ARTEFACTO | CONSUMO | RENDIMIENTO (%) |
|--------------------------|---|-----------------|
| Quemador de cocina | 300 - 600 l/h | 50 - 60 |
| Lámpara a mantilla (60W) | 120 - 170 l/h | 30 - 50 |
| Heladera de 100 L | -30 - 75 l/h | 20 - 30 |
| Motor a gas | 0,5 m ³ /kWh o Hph | 25 - 30 |
| quemador de 10 kW | 2 m ³ /h | 80 - 90 |
| Infrarrojo de 200 W | 30 l/h | 95 - 99 |
| Cogenerador | 1 kW elect. 0,5 m ³ /kwh: :2kW térmica | hasta 90 |

CUADRO XI

Las cocinas y calentadores son fácilmente modificables, agrandando el paso del gas de los quemadores. La amplia disponibilidad de este tipo de equipos hace promisoría e interesante su utilización a gran escala.

Las lámparas a gas tienen una muy baja eficiencia y el ambiente donde se las utilice debe estar adecuadamente ventilado para disipar el calor que generan.

Las heladeras domésticas constituyen un interesante campo de aplicación directo del biogas debido a que tienen un consumo parejo y distribuido a lo largo de las 24 horas del día lo cual minimiza la necesidad de almacenaje del gas. Estos equipos funcionan bajo el principio de la absorción (generalmente de ciclo amoníaco refrigerante - agua absorbente). Recientemente se han desarrollado equipos para el enfriamiento de leche y/u otros productos agrícolas lo que abre un importante campo de aplicación directa y rentable del mismo.

Los quemadores infrarrojos comúnmente utilizados en la calefacción de ambientes (especialmente

en criadores y parideras) presentan como ventaja su alta eficiencia lo cual minimiza el consumo de gas para un determinado requerimiento térmico.

El biogas puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto nafteros como diesel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado una desventaja es su baja velocidad de encendido.

En los motores de Ciclo Otto el carburador convencional es reemplazado por un mezclador de gases. Estos motores son arrancados con nafta y luego siguen funcionando con un 100% de biogas con una merma de la potencia máxima del 20% al 30%.

A los motores de Ciclo Diesel se les agrega un mezclador de gases con un sistema de control manteniendo el sistema de inyección convencional. De esta manera estos motores pueden funcionar con distintas proporciones de biogas diesel y pueden convertirse fácil y rápidamente de un combustible a otro lo cual los hace muy confiables. El gasoil no puede ser reemplazado en los motores funcionando a campo del 85% al 90%, debido a que la autonomía conseguida menor comparada con la original.

La proporción de H_2S en el biogas causa deterioros en las válvulas de admisión y de escape de determinados motores obligando a un cambio más frecuente de los aceites lubricantes. El grado de deterioro en los motores varía considerablemente y los resultados obtenidos experimentalmente suelen ser contradictorios.

Los motores a biogas tienen amplio espectro de aplicación siendo los más usuales el bombeo de agua, el picado de raciones y el funcionamiento de ordeñadoras en el área rural. El otro uso muy generalizado es su empleo para activar generadores de electricidad.

En la (fig. 48), se muestran distintas alternativas de utilización de un metro cúbico de biogas, con sus respectivos consumos.

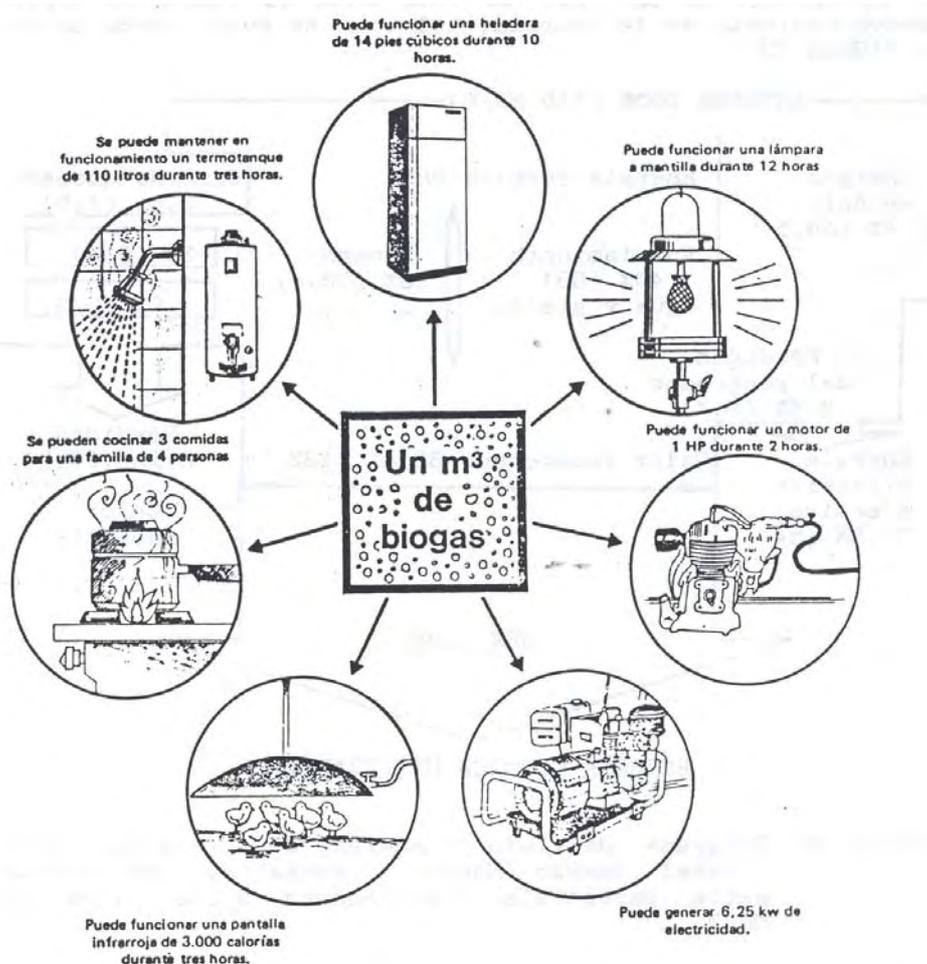


FIGURA 48

Un capítulo aparte merecen los sistemas de cogeneración. Dichos sistemas buscan la mayor eficiencia en el aprovechamiento de la energía contenida en el biogas.

En estos casos la potencia mecánica provista por el eje del motor es aprovechada para generar electricidad a través d un generador. Simultáneamente y por medio de una serie de intercambiadores de calor ubicados en los sistemas de refrigeración (agua y aceite) del motor y en la salida de los gases de escape, se recupera la energía térmica liberada en la combustión interna. De este modo se logra un mejor aprovechamiento de la energía, tal como se puede apreciar en la FIGURA 49.

| | | | |
|----------------------------|--------------------------------|------------|----------------------|
| | ENTRADA 100% (210 MJ/h) | | |
| Energía mecánica | Energía térmica | | Comb. no quemado |
| 28,4% (59,5) | 68% | | 3,6% (7,5) |
| | Enfriamiento | Escape | 3% (6,3) |
| | 4% (83) | 28% (58,6) | |
| | agua y aceite | | 1,6% (3,3) |
| Pérdidas del generador | | | |
| 2,6% (5,4) | | | |
| Energía eléctrica efectiva | Calor recuperado 63,4% (132,7) | | Pérdidas 8,2% (17,2) |

25,8 (54)

Calor radiante

66% (138)

ENERGIA TERMICA UTILIZABLE

FIGURA 48: Diagrama de flujo de energía de un sistema TOTEM "Total Energy Module" compacto, las cifras entre paréntesis corresponden a los valores en MJ/h.

La difusión de estos sistemas estará condicionada por la rentabilidad final. Sin embargo representa la utilización más racional del biogas ya que se obtiene una forma de energía extremadamente dúctil como la electricidad al mismo tiempo que una fuente de calor muy necesaria para la calefacción de digestores en zonas frías.

El uso vehicular del biogas es posible y en la realidad se ha empleado desde hace bastante tiempo. Sin embargo su difusión está limitada por una serie de problemas:

A fin de permitir una autonomía razonable el gas por su volumen debe ser almacenado en contenedores cilíndricos de alta presión (200 a 300 bar); este tipo de almacenamiento implica que el mismo deba ser purificado antes de su compresión.

La conversión de los motores es cara (instalación similar a la del GNC) y el peso de los cilindros disminuye la capacidad de carga de los vehículos.

Por último la falta de una adecuada red de abastecimiento y la energía involucrada en la compresión a gran escala de este tipo de uso.

Problemas que están tomando relativa importancia debido a lo avanzado en la difusión de la tecnología del G.N.C..

3.1.5. Acondicionamiento del biogas:

El gas tal cual sale del digestor debe ser acondicionado a fin de asegurar un permanente y buen funcionamiento de los equipos que se alimentan de él. A pesar de que alguno de estos acondicionamientos no son necesarios en todos los casos, otros como el drenaje del agua de condensación deberá realizarse siempre.

3.1.5.1. Secado, drenaje:

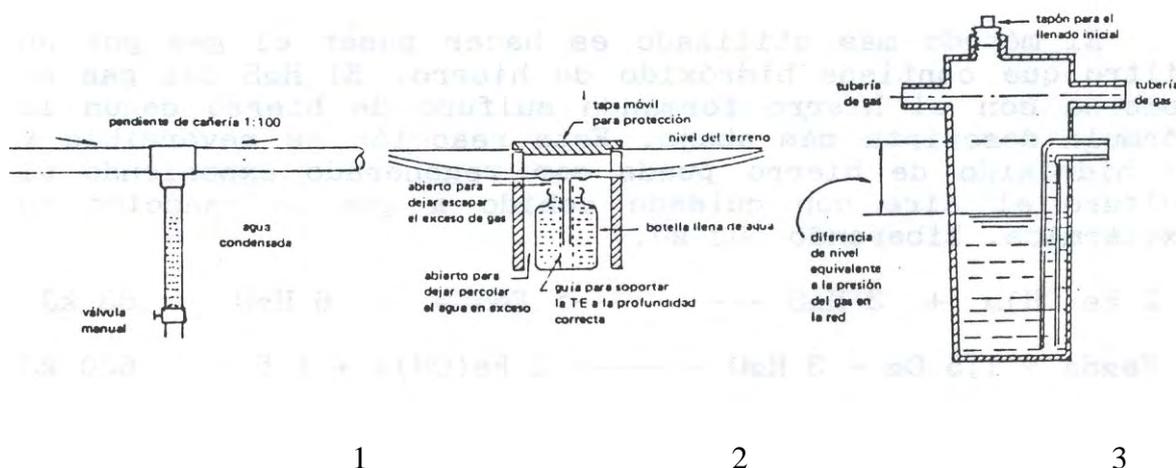


FIGURA 50: Tipos de drenaje: 1) Simple tipo “T”; 2) Automático subterráneo; 3) Automático tipo “sifón”

El biogas que sale del digester está saturado de vapor de agua, a medida que se enfría el vapor se condensa en las cañerías y si no se lo evacua adecuadamente pueden bloquearse los conductos con agua.

Por esta razón las cañerías de distribución deben ser instaladas con una pendiente mínima del 1% hacia un recipiente denominado trampa de agua donde ésta se almacena y se extrae. Existen diversos tipos de trampas de agua tanto manuales como automáticas (FIGURA 50), que son las recomendadas porque requieren de un mínimo mantenimiento.

3.1.5.2. Eliminación del CO₂

El dióxido de carbono no tiene ningún poder calorífico y debe ser calentado en la combustión. Su eliminación no es aconsejable salvo en los casos de almacenaje del biogas a altas presiones debido a que sería inútil gastar energía de compresión y volumen de almacenaje de alto costo en un gas que no daría ningún beneficio adicional.

Se utilizan varios sistemas entre los cuales los mas difundidos son los que emplean su disolución en agua a presión y otros que usan mezclas químicas de gran complejidad.

3.1.5.3. Eliminación del H₂S:

Determinados equipos requieren que el gas a utilizar se encuentre libre de SO₂, debido a que el mismo combinado con el agua da como resultado ácido sulfhídrico que corroe las partes vitales de algunas instalaciones.

El método más utilizado es hacer pasar el gas por un filtro que contiene hidróxido de hierro. El H₂S del gas se combina con el hierro formando sulfuro de hierro según la fórmula descripta más abajo. Esta reacción es reversible y el hidróxido de hierro puede ser regenerado exponiendo el sulfuro al aire con cuidado debido a que la reacción es exotérmica, liberando 603 kJ.



3.2. EL EFLUENTE:

3.2.1. Características:

El proceso fermentativo y de producción de biogas no extrae más que carbono, trazas de azufre, hidrógeno y algo de nitrógeno por reducción de NH₃. Para una alimentación media de 50 kg/día y una producción diaria de 1 m³ de gas la masa se reducirá solamente en un 2%.

La viscosidad del efluente se ve reducida drásticamente debido a la transformación de los sólidos volátiles (un 50% de los mismos son reducidos en un digester en régimen). Esto hace al efluente

mucho más manejable para su utilización.

El efluente carece prácticamente de olor debido a que las sustancias provocadoras del mal olor son reducidas casi en su totalidad en función al tiempo de retención tal como puede apreciarse en la FIGURA 51.

La relación Carbono/Nitrógeno se ve reducida mejorando en forma general el efecto fertilizante del efluente.

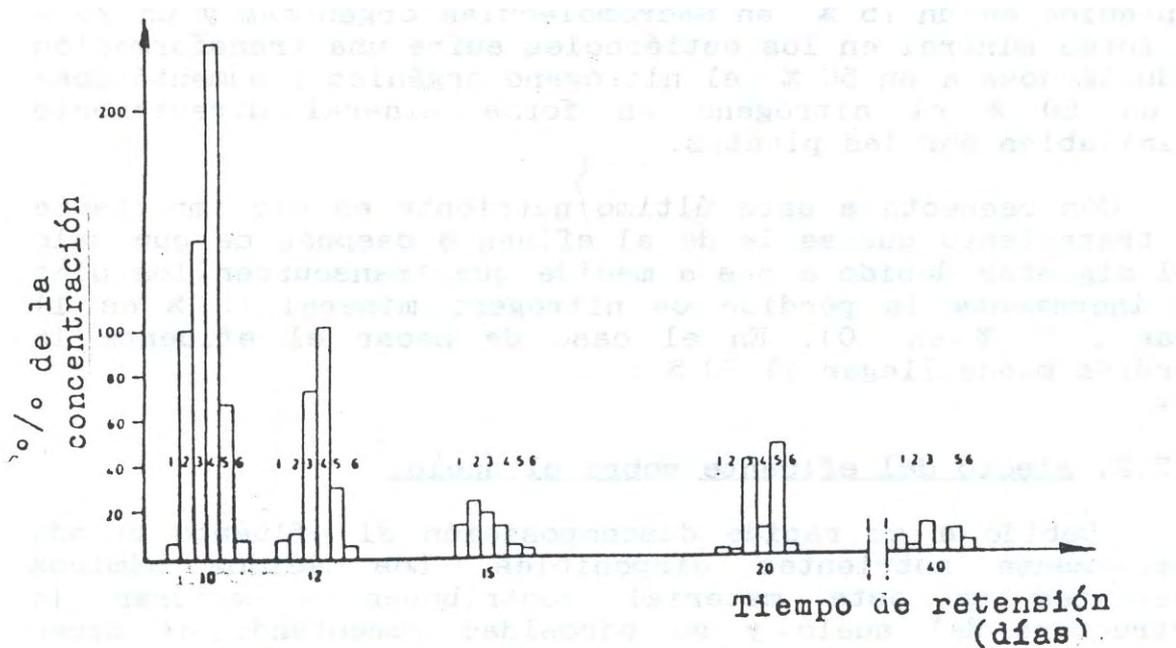


FIGURA 51: Reducción de las sustancias provocadoras de mal olor:
1 Fenol; 2 P-cresol; 3 Etil-fenol; 4 Indol; 5 Skatol; 6 Acido acético.

El CUADRO XII da los valores aproximados de la composición en los principales macronutrientes pero se debe tener en cuenta que estos valores son sólo indicativos pues según el tipo de alimentación, raza, manejo, etc.; que tengan los animales y el tratamiento que sufran los estiércoles antes y después de su digestión estos valores pueden variar en forma significativa.

| MATERIAL DE CARGA ESTIERCOLES | COMPOSICION (%) | | | RELACION NUTRITIVA | | |
|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|--------------------|-------------------------------|------------------|
| | N ₂ | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N ₂ | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| Vacuno | 0,46 | 0,2 | 0,5 | 2,3 | 1 | 2,5 |
| Porcino | 0,72 | 0,4 | 0,3 | 1,8 | 1 | 0,6 |
| Aviar (seco) | 3,60 | 4,6 | 2,5 | 0,8 | 1 | 0,6 |

CUADRO XII

Todos los nutrientes utilizados por los vegetales en forma importante (nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio) al igual que los elementos menores son preservados durante la fermentación. En el caso del fósforo su porción directamente asimilable no se ve afectada conteniendo los efluentes un 50% en esta forma.

En contraste con los otros nutrientes el nitrógeno contenido en un 75% en macromoléculas orgánicas y un 25% en forma mineral en los estiércoles sufre una transformación reduciendo a un 50% el nitrógeno orgánico y aumentándose a un 50% el nitrógeno en forma mineral directamente asimilables por las plantas.

Con respecto a este último nutriente es muy importante el tratamiento que se le de al efluente después de que sale del digestor debido a que a medida que transcurren los días se incrementa la pérdida de nitrógeno mineral (5% en 11 días, 15% en 20 días). En el caso de secar el efluente la pérdida puede llegar al 90%.

3.2.2. Efecto del efluente sobre el suelo:

Debido a su rápida descomposición el efluente brinda rápidamente nutrientes disponibles. Los ácidos húmicos presentes en este material contribuyen a mejorar la estructura del suelo y su porosidad aumentando al mismo tiempo la capacidad de intercambio. La cantidad de humus estable duplica generalmente al que se consigue mediante la utilización de estiércoles incrementando al mismo tiempo en forma significativa la actividad biológica del suelo.

El elevado contenido de nitrógeno en forma de amonio (NH_4) presente en los efluentes ayuda a evitar la pérdida por lavado y lixiviación del nitrógeno del suelo al igual que las pérdidas por volatilización producidas por los procesos de denitrificación biológica.

3.2.3. Efecto sobre los cultivos:

Existen amplias evidencias del incremento en la producción de distintas especies provocada por la aplicación de efluentes al suelo. Tanto en este aspecto como en los anteriores, las aseveraciones y cifras son relativas debido a que se está trabajando con sistemas biológicos muy complejos como son: el material orgánico de carga, el digestor, el suelo y finalmente el cultivo.

Esta interacción y variación provoca grandes diferencias en los resultados y hace difícil cuantificar los beneficios obtenibles de la aplicación así como también definir dosis y modos de aplicación.

3.2.4. Aspecto sanitario:

A pesar que este aspecto no puede ser ubicado estrictamente como un uso, aporta indudables beneficios al reemplazar otros costosos sistemas para obtener el mismo grado de descontaminación.

El tratamiento de los desechos por vía anaeróbica elimina la acumulación de estos a la intemperie evitando la proliferación de moscas, mosquitos, otros insectos y roedores portadores de peligrosas enfermedades.

El proceso en si mismo produce una reducción del 90% al 99% de los principales patógenos animales (estafilococos, salmonella, pseudo-monas). Esta reducción muy importante desde el punto de vista del saneamiento está regulado por la temperatura de fermentación y la cantidad de días que permanece la biomasa dentro del digestor (tiempo de retención).

El proceso fermentativo también tiene un efecto beneficioso si se lo emplea como biofertilizante ya que un gran porcentaje de semillas de las malezas se tornan inviables.

3.2.5. Otros usos:

El efluente de los digestores tiene otras aplicaciones entre las cuales merecen mencionarse: la preparación de compost, la alimentación de algas y peces y de animales en raciones balanceadas.

Se han realizado numerosos ensayos y extendido sobre todo en Oriente, el uso del efluente como sustrato para el crecimiento de algas y peces en estanque cerrados. En otro tipo de estanques también se crían patos y peces, los que son aprovechados para confeccionar la ración de los animales conformando lo que se ha dado en denominar “*Granjas integradas*” FIGURA 52. Siendo estas la base para un pleno desarrollo sostenible.



FIGURA 52

La utilización del efluente en mezcla con raciones ha sido empleada en numerosas especies y se cuenta con datos que aseguran un 30% de sustitución en cabras, 10%-20% en pollos parrilleros, 10% en cerdos y 10% en patos.

Como un aditivo al material vegetal para la confección de compost, el efluente es excelente ya que aporta una buena fuente de nitrógeno que acelera el proceso y enriquece al mismo tiempo el producto final con fósforo y otros elementos. Por otro lado el proceso de compostado completa la efectiva destrucción de patógenos lograda en la digestión anaeróbica.

Esto completa los usos potenciales del efluente de los digestores, últimamente otros productos de la digestión están utilizándose a nivel experimental como es el caso del CO₂ obtenido de la purificación del gas. Estos usos sólo son posibles en grandes plantas industriales donde la rentabilidad del producto justifique las inversiones necesarias para implementar este uso.

4. EVALUACION ECONOMICA DE ENERGIAS NO CONVENCIONALES: EL CASO DEL BIOGAS.

4.1. INTRODUCCIÓN:

La evaluación económica de la implementación y utilización de las energías renovables es un tema de importancia capital y ha sido abordado desde distintos puntos de vista por diversos autores en diferentes países del mundo.

La tecnología del biogas presenta características propias que hacen más complejo su análisis pues no sólo interviene en este caso el aspecto energético sino que también existe un importante impacto de difícil evaluación en sanidad, fertilización, mejoramiento de suelos, alimentación de animales y mejoramiento de las condiciones de vida. Esto se debe fundamentalmente a que además de la producción de gas combustible el sustrato utilizado sufre una transformación a través del proceso fermentativo anaeróbico.

Desde el punto de vista de la inversión inicial la diversidad de modelos, sistemas y escalas empleadas de acuerdo al tipo de clima, sustrato, eficiencia requerida y disponibilidad de recursos técnicos y económicos no permiten una evaluación generalizada debiéndose realizar los estudios en forma particular.

Por los motivos enumerados precedentemente la evaluación de proyectos que involucren al **biogas** requerirán un estudio particular a nivel microeconómico en una primera etapa.

En el presente trabajo se desarrollará en forma preliminar una metodología general de evaluación considerando en particular los factores intervinientes y la evaluación de los insumos y productos generados en base a la experiencia suministrada por autores de distintos países con vasta experiencia en este tema.

4.2. FACTORES A TENER EN CUENTA:

Se analizarán los distintos factores intervinientes en las etapas críticas del sistema que tienen una significativa importancia en el análisis económico y social del biogas.

A fin de facilitar el análisis en el siguiente **CUADRO XIII** se exponen las etapas intervinientes en la obtención de biogas, los estudios de factibilidad deberán tener en cuenta cada una de ellas.

| | | |
|---------------------------|--------------------------------|---|
| | Recolección del sustrato | |
| | Transporte y acondicionamiento | |
| | DIGESTION ANAEROBICA | |
| Almacenaje del biogas | | Almacenamiento del efluente |
| Purificación y conducción | | Adecuación del efluente y transporte |
| Utilización | | Utilización |

CUADRO XIII

En cada una de estas etapas intervienen factores, económicos, técnicos y humanos distintos debiéndose analizar para cada tipo de explotación a fin de determinar la viabilidad del proceso en su conjunto.

El análisis preliminar de todo tipo de tecnología debe tomar como punto inicial el aspecto humano. En este tema entran a jugar la capacidad de la mano de obra, el tiempo disponible que se puede dedicar a la nueva actividad y la predisposición a realizarla.

Estos factores se tornan limitantes en muchos lugares y establecimientos debido a la sobre carga de tareas y responsabilidades a cargo del personal y a la predisposición al manejo del estiércol o residuo que está condicionada al tipo de manipulación que se hacía del mismo, con anterioridad a la introducción de esta nueva técnica.

Se deberá por consiguiente buscar para el análisis un tipo de digestión que no altere en forma significativa las tareas y manejo que se venían realizando tratando de economizar la cantidad de horas/hombre para la operación.

Desde el punto de vista de la materia prima será necesario contar con un sistema de fácil recolección y manipulación evitándose en las zonas frías el lavado con agua de las instalaciones el cual produce grandes volúmenes con altas diluciones y bajas temperaturas.

El medio ambiente con sus características climáticas y de suelo condicionan el tipo de digestor a construir incidiendo también en la selección del modelo y el monto de la inversión inicial necesaria ya que existen parámetros que pueden ser modificados como la temperatura de funcionamiento, el tiempo de retención hidráulica y la velocidad de carga volumétrica los cuales están relacionados entre sí y determinan la eficiencia final del digestor y la energía neta disponible.

Dada la importancia que tiene en la determinación de costos y definición de la técnica a emplear analizaremos con mayor profundidad este aspecto.

Para las zonas templadas y frías existen dos opciones principales que deben considerarse a fin de dimensionar y diseñar el reactor. Estas opciones están determinadas fundamentalmente por la temperatura de trabajo del equipo pudiéndose optar entre temperaturas: ambiente 10°C a 25°C, mesofílica 30°C a 40°C, y termofílica 40°C a 55°C. El rango de temperatura en que finalmente trabaje el sistema determinará el tiempo de permanencia de la materia en el digestor o tiempo de retención y la eficiencia de producción de biogas. En el cuadro XIV se observa como se modifican cada uno de los parámetros enunciados.

| TEMPERATURA (°C) | TIEMPO DE RETENSION (DÍAS) | EFICIENCIA (m3 biogas/m3 digestor) | CALEFACCION |
|---------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------------|
| 10 - 25 | 50 - 70 | 0,01 - 0,30 | NO |
| 30 - 40 | 20 - 30 | 0,70 - 1,00 | SI |
| 40 - 55 | 10 - 20 | 1,00 - 2,00 | SI |

CUADRO XIV

La modificación de los tiempos de retención tiene una directa influencia sobre el tamaño del digestor requerido para un mismo volumen de material a digerir con la consiguiente modificación de la inversión inicial necesaria.

El proceso no genera calor suficiente para elevar y mantener la temperatura por lo tanto se requerirán sistemas de calefacción, aislación y control en el caso de optarse por trabajar en el rango meso o termofílico. Estos sistemas y controles también inciden en los costos iniciales y de mantenimiento de los digestores.

Unido a estos factores fundamentales analizados, la tecnología empleada está sufriendo fuertes cambios y mejoramientos, también se esperan substanciales modificaciones en un futuro cercano que incidirán fundamentalmente sobre el costo del sistema y la eficiencia final.

Con respecto a los productos del sistema la correcta utilización tanto del biogas como del biofertilizante cobra significativa importancia pues será en definitiva la retribución a la inversión y trabajos realizados. Existen distintas alternativas que deberán ser cuidadosamente evaluadas comparativamente desde el punto de vista técnico, económico y social para realizar una correcta elección.

Los costos que se deberán considerar han sido clasificados en el CUADRO XV teniendo en cuenta todos los pasos intervinientes desde la recolección del sustrato hasta la utilización de los productos.

| | |
|--------------------------------------|---|
| COSTOS ASOCIADOS A LA OPERACION | <ol style="list-style-type: none"> 1. Diseño e instalación. 2. Materiales. 3. Mantenimiento. 4. Mano de obra. |
| COSTOS PUBLICOS. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Unidades demostrativas. 2. Instalaciones de bajo riesgo comparativo y medidas de fomento. 3. Asistencia técnica. |
| COSTOS DE LA MATERIA PRIMA. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Mano de obra. 2. Equipo para transporte. 3. Materia prima, si se compra. |
| COSTOS DEL EMPLEO DEL EFLUENTE. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Mano de obra. 2. Equipo para transporte 3. Almacenamiento. 4. Transporte hasta el lugar de uso. |
| COSTOS DE UTILIZACION DEL BIOGAS. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Almacenamiento 2. Distribución. 3. Adaptación de equipos. 4. Purificación. |

CUADRO XV

Los costos clasificados como públicos tienen importancia vital para el desarrollo exitoso de esta técnica siendo los mayores montos, los involucrados en la asistencia técnica debido a la característica del medio rural y su extensión en el tiempo durante el cual se debe mantener este servicio. El mismo no puede ser soportado por la actividad privada en forma completa ya que los beneficios obtenibles del diseño y construcción de un equipo no son suficientes para solventar un asesoramiento a distancia como el rural.

Estos costos podrán ser soportados por organismos estatales o por empresas privadas cuya ganancia no se limite a la venta del “**digestor**”, sino que se vean beneficiadas por el mejoramiento integral de la explotación (por ej.: servicios de extensión de empresas lácteas) o también por asociaciones de productores.

En una primera etapa las unidades demostrativas tendrán una gran importancia debiéndose implementarlas con aporte del estado en su costo o financiamiento. Superada esta primera etapa de conocimiento será necesario un incentivo bajo la forma de créditos subsidiados, desgravaciones, etc.; para comenzar una difusión a mayor escala dichos incentivos irán disminuyendo con el tiempo, una vez establecida esta técnica en el medio.

4.3. **ANALISIS PRELIMINAR:**

Los factores no están aún debidamente evaluados lo cual hace imposible un estudio a nivel macroeconómico debiéndose encarar su análisis a nivel microeconómico o zonal utilizando técnicas que incluyan las implicancias económicas y sociales.

Como paso inicial se deben establecer las relaciones entre las entradas o insumos y productos del sistema. Estos valores son difíciles de establecer con exactitud e inducen a errores en la apreciación final, por lo tanto lo ideal es contar con datos del propio lugar obtenidos a través de una unidad de operación.

Sumada a esta relación técnica-económica se tendrán en cuenta los impactos sobre el medio ambiente y el contorno social al igual que la confiabilidad del sistema.

La baja confiabilidad constituyo un factor importante en el fracaso de la difusión del biogas en algunos países, por lo tanto el costo de mantener otros sistemas alternativos para superar estas falencias deberá ser imputado al biogas.

En la evaluación del impacto de una inversión como la que estamos analizando se incorporará con la mejor inversión alternativa como costo de oportunidad. Llegado este punto se tendrán que revisar las alternativas realmente viables a nivel microeconómico evaluando no sólo las inversiones en si mismas sino que también se incorporarán los efectos secundarios provocados por cada una de ellas.

Hay en la bibliografía económica abundantes trabajos sobre metodologías de evaluación que son factibles de utilizar entre las cuales la desarrollada por el Banco Mundial puede ser de utilidad, a pesar de su énfasis en los aspectos económicos.

Una alternativa para la evaluación puede lograrse a través de la confección de una matriz en la cual se incluyan para las alternativas de inversión distintos criterios de evaluación, como puede apreciarse en el CUADRO XVI.

ALTERNATIVAS DE INVERSION

| CRITERIOS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | | | | | | | | | |
| B | | | | | | | | | |
| C | | | | | | | | | |

CUADRO XVI

La matriz contendrá según los criterios valores positivos, negativos o nulos; tasa interna de retorno; valor presente neto; etc. Se presentan dificultades en la comparación de un criterio contra otro en los casos en que los valores se invierten según el que se halla utilizado; hasta el momento ninguna regla definida se ha impuesto.

4.4. ESTUDIO DE LOS INSUMOS Y PRODUCTOS INVOLUCRADOS

La idea general de la evaluación sugerida podríamos denominarla en forma generalizada como la de "costo de oportunidad". Esto implica que todos los insumos y productos sean valorados en relación a la pérdida sufrida en el objetivo perseguido que se hubiese producido de elegir la mejor alternativa posible fuera de la considerada, en este caso la tecnología del biogas.

Este procedimiento implica definir cuales son las alternativas posibles para los insumos y productos que intervienen las cuales las cuales variarán de acuerdo al lugar elegido, de allí la dificultad de dar una evaluación generalizada.

Se pasará a analizar cada uno de los principales insumos y productos por separado

4.4.1. **Materia prima**

La primera valoración que se le puede imputar al estiércol orgánico a digerir, sería su valor de mercado. Sin lugar a dudas la cantidad de esta materia prima que tiene un precio, no representa a la totalidad del residuo disponible y en muchos casos estos valores se encuentran deprimidos al no contar los vendedores con terreno u otras formas de uso rentables. Determinadas circunstancias sin embargo como es el caso del estiércol equino en las zonas de producción de champignon los valores pagados por este insumo crítico y escaso se elevan, constituyendo la comercialización una alternativa posible.

Otro criterio estaría dado por el uso potencial de la materia prima empleada como abono orgánico al suelo.

Debido a que el efluente puede tener un uso equivalente con iguales o mejores características, este criterio será desarrollado en profundidad al analizar el efluente como producto.

En algunos países otro uso alternativo sería el uso directo como combustible, en estos casos se valora de acuerdo al poder calorífico del material empleado, utilizando el costo que tendría reemplazarlo por un combustible convencional.

En los casos que el residuo represente un problema a eliminar de la explotación, ingresará al cálculo como un costo negativo, representado su uso en el digestor un beneficio medible a través del costo insumido en darle otro tipo de tratamiento para su eliminación.

4.4.2. **Biogas**

El gas como producto será evaluado comparándolo con los costos de otras fuentes de energía (incluyendo el costo de suministro). Esta comparación tendrá distintas características de acuerdo al tipo de energía sustituta considerada.

En el *caso de la electricidad*, se deberá tener en cuenta la energía disponible en las usinas del lugar, ya que si su potencia está subutilizada, el costo de la energía será distinto a la que correspondería si se debe ampliar el equipo existente para satisfacer la nueva demanda. En la práctica estas diferencias se ven minimizadas por las tarifas unitarias, subsidios, promoción y el componente de los impuestos contenido en ellas, dependiendo en última instancia de la política seguida por la empresa suministradora o el gobierno local.

Un costo adicional de importancia estará dado por la distancia al lugar de suministro debido a la alta inversión demandada por el tendido de nuevas líneas y las pérdidas de energía en la transmisión.

En el *caso de la madera* se debe considerar la mano de obra empleada en la recolección, que en horas/hombre tiende a aumentar por el alejamiento de las fuentes de suministro y por la depredación del recurso. El otro costo asociado al uso de la leña está representado por la deforestación, erosión e inundaciones fruto de la primera. Teóricamente se podría llegar a estimar el daño y disminución

en el rendimiento de los cultivos provocados por estos fenómenos. Otra metodología consistiría en imputarle a la leña el costo que representaría reemplazar la madera extraída con nuevas plantaciones de manera de mantener constante el recurso a lo largo del tiempo.

Los *combustibles líquidos* se valorarán de acuerdo al precio de los mismos puestos en el predio rural, si existiera este servicio, en caso contrario se deberá adicionar al precio pagado en la ciudad el costo en tiempo y transporte insumidos. En el caso de este tipo de combustible existen subsidios encubiertos bajo las tarifas vigentes que en la mayoría de los casos son uniformes a lo largo de todo el territorio; estas diferencias entrarían a jugar en un análisis global energético.

El costo de producción del biogas se conformará fundamentalmente por los costos generados por el digestor (amortización + interés sobre capital invertido + gastos de operación y mantenimiento + precio del sustrato). Para un análisis estricto sobre la faz energética de esta tecnología se deberán restar a estos costos los beneficios obtenibles del efluente y de la utilización que se llevará a cabo del dióxido de carbono en invernáculos (medible a través de incrementos en la producción vegetal en estos ambientes controlados menos el costo de separación y conducción del dióxido de carbono).

El modo de utilización del gas producido modificará su mercado y uso potencial ya que la compresión, almacenamiento y transporte lo haría disponible para otros usos (ej.: transporte) y más usuarios posibilitando su comercialización.

4.4.3. **Efluente:**

La evaluación deberá partir, si existiera, del costo de la materia prima empleada. El estiércol puede tener un valor de mercado como abono orgánico, en ciertos lugares este valor sólo cubre el costo de limpieza y retiro del material del establecimiento no aportando ningún ingreso en moneda al productor. Hay situaciones en que el estiércol constituye un problema a eliminar a un determinado costo, siendo su precio en estos casos “**negativo**”.

Algunos analistas le dan al estiércol un costo de oportunidad por no poder utilizarlo directamente como abono orgánico, este criterio queda invalidado al tener el efluente iguales o mejores usos que el estiércol fresco. (Los estudios indican que el efluente de los digestores tiene mayor poder fertilizante que el estiércol sin tratar).

Un análisis que si se debe ser realizado, es la comparación de este tipo de tratamiento con otro alternativo como ser el compostado.

Una aproximación al valor del efluente como producto surge de su análisis en cuanto al contenido de los principales macronutrientes (Nitrógeno, Fósforo y Potasio; NPK) llevado esta a cantidades fijas se las compara con el precio de estas mismas cantidades de macronutrientes suministradas a través de fertilizantes químicos que estén a disposición en el mercado.

Una serie de dificultades se presentan con este método usado con frecuencia:

- a). La composición del efluente no puede ser considerado constante ya que varía con la materia prima utilizada y el tratamiento previo durante y después de la digestión.
- b). Los precios de mercado del fertilizantes no reflejan los costos sociales de producción de divisas involucradas en su obtención.. Diferentes métodos se han ensayado para tratar de reflejar la incidencia de estos factores en el precio, como el aplicar precios internacionales y/o adicionar un precio sombra en base al porcentaje del costo que

- implique gastos en divisas.
- c). No es correcto atribuir la misma influencia sobre el terreno y el cultivo a cantidades equivalentes de elementos químicos aplicados a través de un fertilizante de este origen y uno orgánico, debido a que este último tiene una marcada influencia sobre otros factores, como ser la estructura, la capacidad de retención de agua y de intercambio del suelo.

Una medida real estaría dada por el efecto final de la aplicación del efluente sobre los cultivos comparándola con la utilización del estiércol en su forma natural o con algún tipo de tratamiento, como el compostado. Esta sería la forma más correcta, pero al mismo tiempo la más difícil de evaluar debido a la multiplicidad de factores intervinientes, la falta de información confiable y la relatividad de los precios involucrados.

La integración del digestor con otras actividades de la explotación ocasionará ingresos suplementarios, como por ejemplo: el uso del efluente en la alimentación animal, la cría de algas y peces. El aporte real de estos subsistemas estará dado por el valor de los productos producidos menos los costos de construcción, operación y mantenimiento de los mismos. La medición de estos beneficios en términos físicos aún no ha sido evaluada en forma precisa, interviniendo en ella muchos factores de difícil control.

Para los dos últimos productos analizados (biogas y efluente) se deberá tener en cuenta que la justificación del proyecto no deberá limitarse al ahorro en combustibles o fertilizantes que se logren sino que además influirá el incremento de esos bienes que se hacen accesibles al productor.

Esta demanda que antes del proyecto no puede ser satisfecha a los precios vigentes de esos bienes, podrá serlo al costo que demandará a través del uso de la nueva tecnología; por lo tanto una forma de evaluar este fenómeno consistirá en aplicar a la nueva cantidad de energía o fertilizante demandado, el precio del mercado.

4.4.4. **Trabajo:**

La valoración de la mano de obra no es homogénea debido a que las tareas a realizarse demandarán diferentes niveles de preparación del personal involucrado y por lo tanto su costo de oportunidad no será equivalente.

Será necesario realizar una real valoración de la mano de obra empleada, a pesar de no ser prolongado el tiempo requerido, en determinado tipo de explotaciones el personal se encuentra ocupado a su máxima capacidad, **representando la atención del digestor un alto costo de oportunidad valorado a través de la actividad que se deba dejar de realizar.**

4.4.5. **Capital:**

Este insumo ha sido tratado extensamente en los manuales de evaluación de proyectos principalmente en cuanto a su costo de oportunidad y tasa de descuento aplicable.

De todos los insumos analizados este es sin duda el que presenta la mayor diversidad de usos alternativos debiéndose tomar como indicador la retribución al capital usualmente utilizada en este tipo de evaluaciones.

Los proyectos deberán tender a minimizar el monto de las inversiones iniciales ya que el capital

necesario no estará disponible debiéndose recurrir a las fuentes de financiamiento convencionales.

Al intervenir las préstamos se hace importante analizar el flujo financiero de manera que el pago de los mismos esté garantizado por los beneficios a obtener. El peso de los beneficios sociales tendrá que ser afrontado por el Estado a través de la inclusión de tasas subsidiadas en dichos préstamos.

4.4.6. **Otros productos:**

Existen otros productos generados a raíz de la aplicación de esta tecnología con particulares problemas de cuantificación y valoración. Una de ellas es la reducción de transmisión de enfermedades a través del adecuado tratamiento de los desechos.

Es este caso será muy difícil evaluar la influencia o el aporte dado a la sanidad general por la inclusión de la nueva técnica debido a la multiplicidad de factores intervinientes.

Una forma de evaluarlo estará dado por el costo que insumiría un tratamiento que brindase los mismos beneficios en cuanto descontaminación.

4.5. DETERMINANTES SOCIO-ECONOMICOS DE LA DEMANDA DE BIOGAS:

El análisis a nivel microeconómico que se ha descripto no dará respuesta a preguntas de orden macroeconómico surgentes de una aplicación a mayor escala, dado que intervienen en la misma prioridad que en la asignación de recursos provenientes de fondos públicos, efectos sobre la balanza de pagos, etc. Además mucho de los factores que determinarán el grado de aceptación de la nueva tecnología como facilidad de crédito y el servicio de asistencia técnica, formarán parte de una planificada política general.

La localización y enfoque de la investigación requerirá también de una macrovisión de esta tecnología.

A pesar que son previsibles cambios tecnológicos de importancia en biogas en los próximos años (particularmente reducción de los costos de inversión inicial y aumento de la confiabilidad) es posible y necesario definir y describir las zonas, regiones o sectores desde el punto de vista social, económico y físico donde esta tecnología pueda tener éxito (o donde sea mínima la posibilidad de fracaso).

El resultado de estos estudios y la prevalencia de las zonas donde sea factible la tecnología propuesta dará una señal más clara para determinar la importancia del biogas en el desarrollo agropecuario y energético del país y su ubicación dentro de las políticas energéticas y de fertilización.

En base al marco de referencia dado por el análisis de costo-beneficio social se puede asumir que el biogas será viable en aquellas situaciones donde: sus insumos tengan un bajo costo de oportunidad, la eficiencia del sistema sea la “adecuada” y los productos generados tengan un alto costo de oportunidad. A continuación se describirán cada una de estas características en detalle.

4.5.1. **Insumos con bajo costo de oportunidad:**

Se darán en los lugares que presenten las siguientes características:

- * Zonas de producción tipo intensiva donde se concentre el sustrato o materia prima a emplear, debido a la factibilidad de manipulación y transporte de la misma.
- * No haya restricciones de tipo social al manejo de los deshechos y al aprovechamiento del estiércol.
- * Exista una tradición, costumbre o metodología de recolección de los residuos.
- * Se disponga de agua en forma, cantidad y calidad suficiente para alimentar los digestores.
- * Se disponga de capital suficiente, con un bajo costo de oportunidad, por haberse cubierto las principales inversiones alternativas de alta rentabilidad o se disponga de créditos preferenciales.
- * Exista disponibilidad de mano de obra con capacidad y voluntad para la operación de los digestores.

4.5.2. **La eficiencia del sistema sea “adecuada”:**

Existe alta probabilidad de obtener rendimientos *adecuados* donde:

- * Haya una seguridad de suministro constante en tipo y calidad de sustrato fermentable. Variaciones en el material a digerir complican el funcionamiento de los reactores.
- * Se disponga de asistencia técnica para las etapas de diseño, puesta en marcha y mantenimiento del digestor.
- * La temperatura ambiente no sea baja. Zonas de menor temperatura obligan a recurrir a sistemas de calefacción y aislamiento de un mayor costo, y dejan disponible una menor cantidad de energía.
- * Se logre un adecuado diseño del digestor, lo cuál permitirá un mejor manejo, un ahorro de tiempo de operación y un aumento en la confiabilidad.
- * Se disponga de un adecuado servicio de mantenimiento.

4.5.3. **Los productos generados tengan un alto costo de oportunidad:**

Esta condición se dará en los lugares donde:

- * Existe una limitante al libre acceso a los combustibles tradicionales.
- * Existe una escasez en el medio convencional de obtención de energía, ej.: leña.
- * No hay disponibilidad de dinero para satisfacer la demanda de energía y fertilizantes.
- * Los tipos de tratamiento de los deshechos debe ser realizado a altos costos.
- * El costo de manipuleo de las materias primas y el efluente es bajo y competitivo.
- * Las características del suelo son tales que se logran altas respuestas en el rendimiento de los cultivos ante aplicaciones de abonos.

A pesar que algunas de las características dadas pueden ser modificadas mediante políticas gubernamentales será relativamente fácil definir las áreas donde predominen estas situaciones en un relevamiento que debe ser realizado en las distintas zonas del país.

La política gubernamental será el factor determinante en la distribución y alcance de esta tecnología en las zonas preseleccionadas. El aporte del capital será uno de los factores de mayor incidencia en una primera etapa, junto a la disponibilidad de asistencia técnica. Las características de dicha asistencia serán difíciles de determinar en forma precisa, pero se ha acumulado suficiente información de base en los países que encararon planes masivos de difusión como ser: China, India y Brasil entre otros.

4.6. PRIORIDADES EN LA INVESTIGACION:

Dos ideas centrales se deben resaltar:

- 1º) **La investigación de esta tecnología debe enmarcarse dentro de un contexto de una política sobre desarrollo y energía, tanto en el medio rural como en el industrial.**
- 2º) **El desarrollo de la tecnología no debe realizarse en forma aislada del contexto socio-cultural y económico que caracteriza el medio en el cual se aplicará.**

Antes de continuar o iniciar nuevas investigaciones se deberá resolver la pregunta: **¿Que importancia tiene el biogas para satisfacer las necesidades del medio?** Si esta tecnología brinda una respuesta afirmativa, la investigación deberá estar orientada a solucionar problemas específicos.

Para llegar a esto se requiere un estudio previo del medio en los distintos ecosistemas argentinos, para fijar las áreas con características favorables enunciadas en la sección anterior. Una vez definidas estas áreas o sectores se deberán implementar unidades demostrativas para poder extraer los datos concretos que permitan una precisa evaluación del biogas en interacción con los distintos factores del medio. Sólo con esta información podrá encararse una proyección a mayor escala.

En particular el objetivo de maximizar el rendimiento en gas deberá compatibilizarse con los requerimientos del sector a quien va dirigida esta técnica. Lo “apropiado” de la misma variará según la zona, tipo de explotación, etc. y estará determinado por el objetivo final buscado y la disponibilidad del recurso.

Deberá implementarse un sistema interactivo que mantenga en contacto a los destinatarios de la tecnología con los investigadores. Esto implicará que el desarrollo se ubique cerca del lugar de uso en lugar de hacerse en laboratorios aislados.

La tendencia a una reducción general de los costos del sistema constituyen una prioridad general debiéndose evaluar en zonas templadas y frías la alternativa de trabajar con mayores tiempos de retención y grandes volúmenes de digestores o el aumentar la temperatura de funcionamiento con la inclusión de sistemas de aislación y calefacción lo cual reducirá los tiempos de retención requeridos y por lo tanto los volúmenes de los reactores.

La información actualmente disponible sobre la viabilidad, operatividad y eficiencia de las plantas a nivel rural no es altamente confiable, de allí la imperiosa necesidad de contar con unidades demostrativas convenientemente monitoreadas para definir los parámetros fundamentales que permitan realizar los estudios económicos.

La viabilidad de las plantas se verá también influenciada por la relación costo-beneficio presente en las distintas zonas o actividades, por lo tanto se necesitará realizar para cada caso el estudio integral. Dichos estudios podrán ser realizados siguiendo alguno de los patrones enunciados en el presente trabajo prestando particular atención a la predisposición del hombre de cada lugar para adoptar esta técnica, tanto para su operación como para la utilización de los productos generados.

Por último la investigación y desarrollo futuro de esta técnica presentará características diferenciales en cada lugar, por lo cual dichas tareas tendrán fundamentalmente carácter descentralizado y en íntimo contacto con el medio. Este punto es particularmente importante en

países como Argentina, caracterizados por una gran diversidad de zonas diferenciadas tanto social, económica y ecológicamente.