

**Plantas Piloto:  
Paso previo para verificar la  
explotación de los recursos locales  
a través de la tecnología  
más apropiada**

**CESEN**

## **PLANTAS PILOTO: PASO PREVIO PARA VERIFICAR LA EXPLOTACION DE LOS RECURSOS LOCALES A TRAVES DE LA TECNOLOGIA MAS APROPIADA**

CESEN

La realización de plantas piloto en Colombia, es un resultado inicial concreto de los estudios efectuados en el marco del Convenio entre el MME, DNP y CESEN. Dicho Convenio prevé proyectos disímiles entre ellos, bien sea por la ubicación geográfica, la singularidad de sus contextos o la individualización, lógica por cierto, de sus contenidos pero que comparten el sucesivo planteamiento de soluciones tecnológicas apropiadas que utilicen recursos de energía localmente disponibles.

Es por lo tanto, desde esta perspectiva, como deben proponerse plantas para la producción de energía que separen, en lo posible, a los usufructuarios de los problemas vinculados al aprovisionamiento de medios energéticos.

La elección recae en aquellas tecnologías que, empleando recursos utilizables regionalmente, se adapten mejor a las características del lugar en el cual serán empleadas, tanto desde el punto de vista técnico como del medio social y ambiental. Este aspecto constituye una circunstancia esencial para el logro de las metas propuestas en el programa de desarrollo de la zona considerada.

Entre las condiciones fundamentales de esta elección, están la confiabilidad y operabilidad de las plantas en el medio local en el cual se sitúan, y en el carácter reproducible de su funcionamiento en otros lugares que presenten similares condiciones.

Se debe, además, tomar en cuenta en forma oportuna los aspectos socio-ambientales, así como la aceptación por parte de la población y la armonización con la realidad local.

En términos generales, las plantas piloto pueden representar un primer paso en nuestro medio, hacia la solución de problemas mucho más complejos y vastos; como detener el avance de las zonas desérticas y el proceso de destrucción de los bosques, permitir el desarrollo de las áreas rurales, preservar la fertilidad de los suelos y lograr niveles de vida tales, que reduzcan la emigración masiva, frenando el desordenado crecimiento urbano.

El conjunto de consideraciones antes citado, constituye la base del proceso de identificación y definición de las plantas piloto que se proponen; en particular,



## 1.2 Características dimensionales de la planta

Para el cálculo dimensional de la planta, se hace un análisis de los datos de consumo y una estimación de la demanda de energía futura.

De tales análisis, obtenidos durante la investigación, resulta que, actualmente, se producen cerca de 5 kwh/día, con elevados consumos de ACPM, ya que se hace funcionar el motogenerador a niveles de potencia mucho más bajos de los requeridos.

Con referencia al futuro inmediato, se han individualizado los posibles usuarios térmicos y eléctricos, definiendo las dimensiones y los consumos equivalentes de biogás.

### 1.2.1 Demanda de biogás

Para definir la demanda de biogás, se necesita analizar los usuarios y sus consumos particulares. Con referencia al análisis hecho a continuación para satisfacer completamente las exigencias térmicas y eléctricas, se necesitan 20-25 Nm<sup>3</sup>/día de biogás.

En su conjunto, el proyecto de la planta de digestión anaeróbica, ha sido desarrollado suponiendo que se pueda suministrar corriente eléctrica y térmica al matadero. Con este propósito, se han estudiado los dos usuarios hipotéticos individualizados.

#### Usuarios eléctricos

Por lo que concierne a la extensión del grupo electrógeno, se han analizado los usuarios eléctricos existentes y también los futuros, que incluyen:

- Alumbrado, (3,5 kwh/d)
- Bombeo de agua (1,5 kwh/d)
- Trituración (eventual) de los desechos del mercado (1,5 kwh/d).

#### Alumbrado

El sistema de alumbrado se utiliza para el matadero y la oficina, donde se registran los vacunos que cada día llegan al sacrificio. Se estima un consumo de 3.5 kwh/d.

#### Bombeo de agua

Cada día se consumen 6 m<sup>3</sup>. de agua. El agua llega de un pozo situado a 5 metros bajo el nivel del suelo, desde el cual se aspira y se bombea a un tanque situado a una elevación de 8 metros.

El agua se encauza por medio de un tubo de 2". Con estas características, se necesita una bomba de 1.5 kw. Se estima un consumo de 1,5 kwh/d.

### Triturador

La trituración de los rechazos del mercado se efectuará por medio de un triturador accionado manualmente o mediante un motor. Sin tener en cuenta el primer caso, en el cual sólo se necesita un hombre, para la segunda alternativa se debe utilizar un motor eléctrico con una potencia de 2.6 kw. Se estima un consumo de 1,5 kwh/d.

### Usuarios térmicos

Circunstancialmente, hay usuarios térmicos. Pero debido al proyectado sacrificio de cerdos, se considera también el uso de agua caliente, necesaria cuando se trata de carne porcina.

La potencia de la caldera ha sido definida en 25.000 kcal/h, según las aseveraciones del responsable del matadero. El consumo de biogás será de 13 Nm<sup>3</sup>/día.

En resumen, para satisfacer las necesidades de los usuarios térmicos o eléctricos, se requiere la siguiente cantidad de biogás:

- Eléctrico 6-7 Nm<sup>3</sup>/d
- Térmicos 13 Nm<sup>3</sup>/d
- Total 19-20 Nm<sup>3</sup>/d

### 1.2.2 Oferta de biogás

Las biomásas disponibles consisten en los excrementos animales, desperdicios de carnicería y rechazos del mercado de frutos y verduras.

En el cuadro 1, se indican por cada tipo de biomasa, la estimación de la cantidad de sólidos totales disponibles por día.

**Cuadro 1** — Sólidos totales disponibles/día por cada tipo de biomasa.

Tipo de biomasa	Sólidos totales Kg/día
Excrementos animales	33
Desperdicios de carnicería	30
Residuos vegetales	80
Total	143

Si suponemos que se emplean estas biomásas en plantas de digestión anaeróbica (véase anexo) de tipo chino, se estima una producción mínima de biogás de 30 Nm<sup>3</sup>/ día, que supera las demandas supuestas de unos 10 Nm<sup>3</sup>/día.

### 1.2.3 Definición de las dimensiones de la planta

Para determinar las dimensiones de la planta, se utiliza como referencia la disponibilidad de sólidos totales. Como parámetro de proyecto, se escoge un digestor con carga espacial de 2 kg de sólidos volátiles/m<sup>3</sup> de reactor. Al evaluar también la cámara de aire a dejar para el gas que se forma, se necesita un digestor con capacidad de 80 m<sup>3</sup> totales. Puesto que este tipo de reactor permite trabajar también con cargas espaciales de unos 3kg de S. V/m<sup>3</sup> de digestor, el volumen adoptado permite evacuar una cantidad de sólidos totales mayor de 50%, con respecto a las cantidades que se cargan actualmente. Para los aspectos dimensionales de todas las otras partes de la planta, se adoptarán, como parámetros de referencia, los siguientes valores:

Sólidos volátiles cargados:	110	kg/d	
Carga espacial:	2	kg/m <sup>3</sup>	de digestor
Volumen del digestor:	80	m <sup>3</sup>	
Tiempo de retención:	30	días.	

### 1.3 Descripción de la planta

La planta de digestión anaeróbica de ciclo continuo, con el digestor de tipo chino consiste de:

- Zona de colección, tratamiento y homogeneización de la biomasa que debe ser digerida.
- Zona de digestión.
- Zona de tratamiento de la biomasa digerida.
- Sistema de distribución del gas.

#### 1.3.1 Zona de colección, tratamiento y homogeneización de la biomasa a ser digerida

Entre los parámetros que influyen sobre la producción de biogás, tiene gran importancia las dimensiones de los corpúsculos sólidos. En efecto, se puede lograr mayor eficiencia si la carga es bastante homogénea y si los sólidos tienen dimensiones del orden de 0.5-1 mm.

Esta última característica está ligada al hecho de que, al disponer de corpúsculos de modestas dimensiones, se consigue una mayor superficie libre, lo cual facilita el ataque de las bacterias.

Otro factor que condiciona el buen funcionamiento de la planta, consiste en la invariabilidad de la calidad y cantidad de la carga que se introduce en el digestor. En el caso aquí tratado, la biomasa disponible consiste en excremento de vacunos y rechazos de frutos y verduras. Por lo que concierne a esta última biomasa, hay que tener presente, en relación con las consideraciones anteriores, lo siguiente:

- La biomasa vegetal llega del mercado dos veces por semana;
- Antes de su introducción en el digestor, la biomasa debe ser desmenuzada, para facilitar el ataque de las bacterias anaeróbicas.

En lo referente al primer punto, la necesidad de disponer de una zona de acumulación, surge del hecho dimensional del digestor suponiendo una carga diaria constante en calidad y cantidad. Esto implica, por lo tanto, el requerimiento de distribuir, en tiempo y uniformidad, las dos cargas semanales.

### **Zona de colección**

Al llegar del mercado, la biomasa será almacenada en un depósito cubierto situado cerca del digestor. Cada día se extraerá la cantidad necesaria (poco más o menos 500Kg), que será cargada en el triturador. El piso inferior está impermeabilizado para evitar la dispersión del goteo que, a más de ser rico en sustancias orgánicas, necesarias para el proceso de digestión anaeróbica, puede también contaminar la fuente acuífera en los alrededores de la construcción.

### **Zona de tratamiento**

Para simplificar las operaciones de carga y homogeneización del material afluyente, se dispondrá el triturador de manera tal que descargue directamente los vegetales triturados dentro del tanque de homogeneización, para evitar ulteriores manipulaciones.

El triturador se instalará bajo un abrigo constituido por un techo sin paredes laterales y pavimento de hormigón armado, con rejilla electrosoldada.

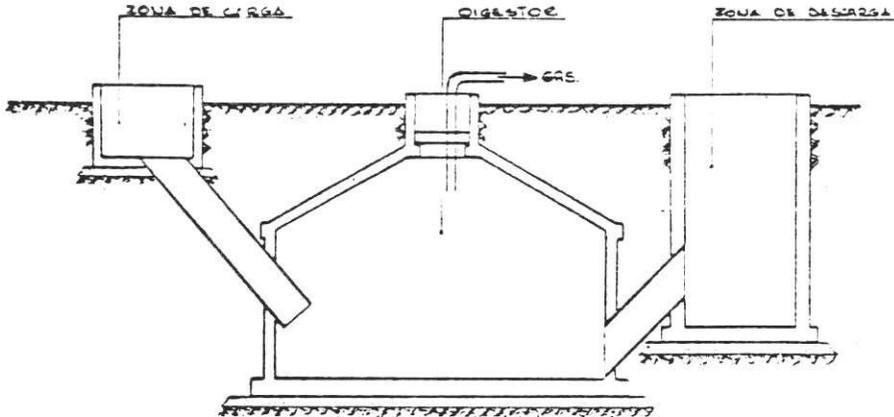
### **Zona de homogenización de la carga**

La homogenización se efectúa en un tanque cilíndrico con fondo inclinado, situado bajo la boca de descarga del triturador. Se mezclan en este tanque los rechazos vegetales, los excrementos animales, los desperdicios de carnicería y una parte de las aguas de proceso del matadero.

#### **1.3.2 Zona de digestión**

La zona de digestión, representada en la figura 2, consiste de tres unidades subterráneas; dos tanques en comunicación con el cuerpo central, que se utilizan respectivamente para carga y descarga de la biomasa. El cuerpo central es cilíndrico,

con fondo cóncavo y cubierta de bóveda provista de abertura con tapa removible y tubo para toma del biogás. El gas se acumula en la cámara superior del digester. Cuando no se utiliza, el biogás producido llena la cavidad y empuja hacia abajo la masa líquida, que sube luego a través de los conductos de entrada y salida. Al dejar la boca de descarga un poco más abajo respecto a la boca de carga, se puede evitar que los líquidos sobrantes salgan del tanque de homogeneización. El digester se realizará en hormigón, utilizando materiales que se encuentran fácilmente en el mercado local. Los líquidos digeridos se pueden descargar en el tanque séptico del matadero; alternatively, en caso de que se desee utilizar estos líquidos como abono, se podrán instalar algunos lechos de desecación para bajar el grado de humedad de la parte sólida, a fin de permitir su manejo para una sucesiva distribución en el suelo.



### Sistema de carga

Se compondrá de dos secciones: la superior de forma cilíndrica, que se realizará con ladrillos; la inferior, que trasladará la carga al reactor.

### Cuerpo central del digester

El digester de hormigón armado tendrá fondo cóncavo, cuerpo central cilíndrico y parte superior en forma de cono truncado, con agujero central para hombre.

## **Sistema de descarga**

El sistema de descarga, realizado con pared en ladrillos de doble fila, consiste en una cavidad subterránea que tendrá forma cilíndrica. En la pared sobresaliente, y a una elevación de 10 cm. sobre el nivel del suelo, se construirá un conducto para descarga del efluente al tanque de sedimentación. El flujo se regulará por medio de una compuerta móvil, para control de la descarga del efluente digerido.

### **1.3.3 Zona de tratamiento de la biomasa digerida**

Esta zona no es indispensable, en cuanto a que se puede descargar el efluente al tanque séptico directamente. Tendría objeto, con la condición de que se desee recuperar la fracción sólida, para utilizarla como abono artificial en agricultura.

### **Unidad de decantación**

Referente a este aspecto, se planea la ejecución de un tanque de espesamiento con fondo inclinado y de forma rectangular en ladrillos. La fase espesada se quitará manualmente y el flujo clarificado se descargará al tanque séptico por medio de una canalización subterránea de PVC. Esta fase clarificada, se puede también utilizar para fertilizar e irrigar las zonas cercanas al matadero.

En este caso se necesita una unidad de decantación, una de secamiento y otra de almacenamiento de la fracción seca.

### **Lechos de secamiento**

Suponiendo que se emplee la biomasa digerida como abono artificial, se necesita reducir el contenido de humedad a un valor cercano al 50%.

Esta característica se puede obtener utilizando dos lechos de secamiento de hormigón, con fondo plano de igual material y paredes laterales de ladrillos.

### **Almacenamiento de la fracción seca**

Después de seca, la biomasa se almacena en un sitio cubierto, sin paredes laterales y suficientemente amplio, para garantizar el almacenamiento por un período de cuatro meses. Este período es proporcional a los tiempos que se emplean para las labores agrícolas (trabajo de la tierra, siembra, etc.). La zona de almacenamiento consiste en una plataforma de hormigón cubierta con techados de material ondulado de una sola pendiente y soportados por cuatro postes de madera.

## **1.4 Red de distribución del gas y sistema de seguridad**

La red de distribución del gas, se efectuará con tubos de polietileno de alta densidad. La tubería corre en su primer trecho por unos 20 metros, desde el digestor

hasta el edificio del grupo electrógeno; en este punto, se inserta un tubo en T (segundo trecho) que conduce el gas al generador eléctrico y a la caldera.

Este tubo deberá estar enterrado sobre una capa de pedrisco y cubierto con arena y tierra. El tubo estará inclinado, con su parte inferior cerca del digestor, para facilitar la colección del agua de condensación. Se adoptarán los siguientes sistemas de seguridad:

- Filtro
- Presóstato
- Regulador de presión

#### 1.4.1 Características de los usuarios que utilizarán biogás.

El biogás alimentará un grupo electrógeno y una caldera.

##### **Grupo electrógeno**

Para hacer frente a la demanda de energía eléctrica se necesita medir el grupo electrógeno, según el usuario de mayor potencia. En el caso aquí tratado, se requiere, por lo tanto, tomar la dimensión del grupo respecto al triturador; puesto que al arranque, la potencia necesaria supera la potencia nominal, se precisa entonces de un grupo electrógeno con generador de 4 kW con tensión de 380 V. Queda por subrayar un particular aspecto relacionado con el alumbrado. De la investigación efectuada, resulta que la potencia necesaria para el sistema de alumbrado es inferior a 0.5 kw; el empleo del grupo mencionado con el fin de suministrar energía eléctrica también para alumbrado perjudicaría, en efecto, la eficiencia.

Para obviar este factor, se sugiere la alternativa de adoptar para alumbrado lámparas alimentadas con biogás. Esta solución, de muy fácil realización, permite reducir aún más el consumo de ACPM. Es suficiente distribuir el gas por medio de tubos de polietileno de alta densidad de 10 mm., hasta las lámparas adecuadas.

##### **Caldera**

La caldera con quemador de gas, debe alcanzar una potencia de 20.000-25.000 kcal. Cerca de la caldera, se deberá instalar un sistema de acumulación aislado apropiadamente de 1500 l. Es preferible emplear calderas de arrabio o de acero inoxidable para evitar corrosiones.

## ANEXO

### DESCRIPCION DEL PROCESO DE DIGESTION ANAEROBICA

#### 1. DIGESTION ANAEROBICA

La digestión anaeróbica es un conjunto de procesos biológicos mediante los cuales las sustancias orgánicas pueden ser “*digeridas*” en un ambiente sin oxígeno, llegando a la producción de gases combustibles y de fangos humificados y mineralizados, con óptimas características fertilizantes.

El término “*mineralizado*”, significa que el material presente no puede ser ulteriormente degradado, mientras por “*humificación*” se entiende la transformación de material orgánico, originariamente putrescible, en un producto metanoestable e inofensivo, sujeto a descomposición muy lenta. Estos procesos se dan por la acción de una flora bacteriana de naturaleza anaeróbica, que puede subsistir solo en ambientes sin oxígeno. Las bacterias responsables de la fermentación metánica son saprófilos heterótrofos, que utilizan como fuentes de carbón y de energía los compuestos orgánicos. En relación con el intervalo de temperatura en el cual se trabaja, las bacterias son subdivididas en:

- Psicrófilos, cuando se trabaja a temperaturas inferiores a 25 G.C.
- Mesófilos, cuando se trabaja a temperaturas comprendidas entre 25 G.C. y 45 G.C.
- Termófilos, cuando se trabaja a temperaturas superiores a 45 G.C.

Tales bacterias están siempre presentes en la masa orgánica contenida en el primer estómago de los vacunos y en los lodos de aguas negras. Las bacterias se desarrollan con vigor en ambientes cerrados y transforman los compuestos orgánicos en CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>, utilizando las enzimas como catalizadores biológicos.

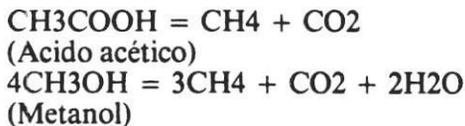
#### 1.1 Productos de la digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es realizada en reactores (digestores), convenientemente diseñados, para evitar el contacto entre la masa líquida en ellos contenida y el oxígeno atmosférico. Se desarrolla en tres fases sucesivas.

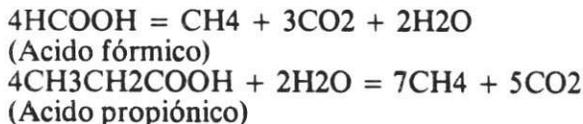
- Hidrólisis de la celulosa, las proteínas, los lípidos de los azúcares y de los aminoácidos;
- Fase acidogénica, con formación de ácidos grasos, en particular ácido acético;
- Metanización del producto de la segunda fase.

La formación del metano, puede canalizarse en tres direcciones:

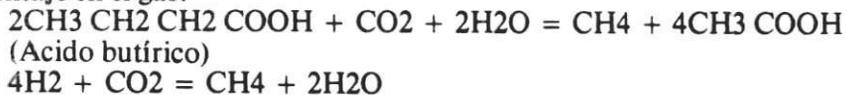
1) Reacciones que no comportan la reducción del anhídrido carbónico:



2) Reacciones con reducción del anhídrido carbónico sin una disminución neta de su porcentaje en el gas:



3) Reacciones con reducción del anhídrido carbónico con una neta disminución de su porcentaje en el gas:



De todos los compuesto químicos intermedios implicados en el proceso de formación del metano, el ácido acético es sin duda, el más importante: el 70% del metano derivaría de tal ácido.

Los productos finales son: un gas combustible con poder calorífero de 5.300 kcal/nm<sup>3</sup>, un residuo líquido clarificado y un fango. El gas producido, es una mezcla que contiene el 65-70% de metano, el 30-35% de anhídrido carbónico, pequeños porcentajes de H<sub>2</sub>, CO, e hidrocarburos saturados y, en función de la materia utilizada en la carga, el gas puede también contener trazas de ácido sulfhídrico. El sobrenadante (líquido clarificado), puede ser empleado para la dilución, si es necesaria, de la sustancia orgánica a la entrada del digestor, para la preparación de zonas de lagunaje destinadas a cultivos energéticos, y para la fertilización e irrigación.

El fango, la parte del digerido, casi inodora y estabilizada (sea húmeda o seca), encontrará empleo en agricultura como fertilizante.

### **1.1.1 Factores que influyen en la digestión**

Los parámetros que influyen en la producción de gas biológico y su contenido en metano son:

- Temperatura
- Ph;
- Composición química de la sustancia orgánica introducida en el digestor;
- Concentración de la materia orgánica en la carga;
- Tiempo de retención;
- Uso de compuestos bacterianos y enzimáticos;
- Tipos de reactores.

#### **Temperatura**

La elección de la temperatura de operación depende de un compromiso entre la producción diaria de gas, la cantidad de calor necesaria, el tiempo de retención de la masa orgánica en el digestor y la sensibilidad de las bacterias a las variaciones térmicas. Aún si la producción de biogás se incrementa al aumentar el nivel de la temperatura, por lo cual sería preferible trabajar a temperaturas más elevadas que favorecen el desarrollo de bacterias termófilas, se opta, generalmente por temperaturas inferiores apropiadas a las bacterias mesófilas. El motivo de tal elección reside en el hecho de que las termófilas son más sensibles a los saltos de temperatura, dan lugar a fangos y humus de menor valor (contienen menos nitrógeno orgánico) y requieren una mayor cantidad de calor. Por consiguiente, en el caso de utilizar un sistema de calentamiento, se prefiere trabajar a temperaturas cercanas a los 35 G.C. con un máximo de producción de biogás en los primeros diez- quince días de fermentación.

La digestión anaeróbica puede darse en un ambiente con un valor del ph comprendido entre 6,6 y 7,6, con un óptimo entre 7,0 y 7,2; es por consiguiente acertado aplicar una cierta rigurosidad ambiental al medio.

En un ambiente ácido- con ph inferior a 6,2- la actividad enzimática de las bacterias está bloqueada; la instauración de estas condiciones de acidez se debe, especialmente, a la acumulación de ácidos orgánicos.

#### **Composición química de la sustancia orgánica introducida en el digestor.**

Los fenómenos biológicos que tienen lugar en el interior del digestor, dependen de la composición de la masa empleada como alimentación del reactor. Los principa-

les elementos que influyen en el proceso son: carbón, nitrógeno, fósforo, azufre y los iones metálicos.

#### —Carbón

La celulosa es la principal y la más económica fuente de carbón, las bacterias presentes en el interior del reactor, transforman la celulosa en glucosa soluble, que experimenta, paso a paso, las distintas fases antes descritas.

#### —Nitrógeno

La necesidad de nitrógeno está ligada al hecho que todos los organismos vivos tienen necesidad de este elemento para formar las proteínas. La relación entre carbón y nitrógeno (C/N) no debe superar 30. El valor óptimo está comprendido entre 16 y 20.

#### —Fósforo

Para un completo metabolismo, las bacterias necesitan también de fósforo, en la relación  $C/P = 150$ .

#### —Iones metálicos

Son indispensables para el metabolismo de la materia viva y para la formación de las membranas de las células.

#### —Iones de metales pesados

Los metales pesados son indispensables, en determinadas concentraciones, para el metabolismo de las bacterias.

### **Concentración**

El grado de humedad es muy importante, en cuanto los poros de las sustancias orgánicas se dilatan en presencia de agua, ofreciendo a las enzimas la posibilidad de penetración.

El porcentaje de sustancia seca tiene un valor óptimo, en peso, comprendido entre el 6% y el 15% según el tipo de digestor. Se ha recordado, además, que la concentración influye en la dimensión del reactor, ya que a diluciones mayores corresponden volúmenes superiores del digestor, a paridad de biogás producido: altas diluciones llevan, por consiguiente, al aumento de costos.

### **Tiempo de retención**

El tiempo de retención o de digestión, es el tiempo durante el cual la materia orgánica es sometida a la digestión anaeróbica.

### Cuadro 1

#### Relación C/N (carbón/nitrógeno) para algunas biomásas

		C/N
Restos Animales	orines	0,8
	sangre	3—4
	harina de hueso	3,5
	desperdicios de pescado	5,1
	desperdicios de carne	5
Excrementos	vacas	25
	caballos	25
	carneros	20
	aves domésticas	22
	hombre	15
	fangos de alcantarillado	6—10
	. activos	10
	. frescos	10
abono animal	30	
Vegetales	Yerbas cortadas	12
	heno	19
	trébol	27
	yerba médica	16-20
	desperdicios de tomate	12
	algas	19
	hojas secas de patatas	25
	paja de trigo	128-150
	paja de avena	48
	aserrín	200-500
	harina de solla	5
	harina de semilla de algodón	5
	harina de maní	30

Las evaluaciones de carácter económico están ligadas estrechamente al tamaño del digestor: tiempos de retención mayores implican, con material a la espera del proceso, volúmenes de digestión mayores.

El tiempo óptimo de retención varía de 10 a 20 días, a una temperatura de unos 35 G.C., y para digestores a carga continua.

### **Tipos de reactor**

Los digestores pueden ser de dos tipos, según que la alimentación del material tenga lugar de modo continuo o discontinuo.

#### **— Digestores de ciclo continuo**

Este sistema prevé el cargamento constante en el tiempo y, simultáneamente, la descarga de parte de la digerida. La producción de biogás es continua y constante. El proceso puede ser conducido en un único reactor (proceso monoestado), o bien en dos reactores separados puestos en serie (proceso a dos estados)

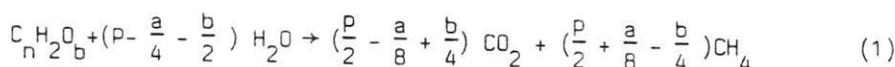
#### **— Digestores de ciclo discontinuo**

Son los más simples: en éstos, el material es cargado y dejado hasta concluir la fermentación. Presentan la ventaja de requerir una mínima manutención, y son de construcción muy simple. Con este sistema, se tiene una producción discontinua de gas. El tiempo de retención es aproximadamente de 5 semanas, mientras la concentración en sustancia seca es del orden del 15%

## **1.2 PRODUCCION DE BIOGAS**

La producción de biogás se puede calcular recurriendo a las tres siguiente teorías:

A) Buswell y Muller han propuesto la siguiente fórmula genérica para calcular la cantidad de metano obtenible por digestión anaeróbica, partiendo de la composición química de los desperdicios orgánicos, en función del carbón, hidrógeno y oxígeno:



B) La producción de metano puede ser más rápidamente calculada, recurriendo al COD (Demanda Química de Oxígeno) de la carga contaminante, a través de la oxidación de las materia químicas presentes.

La reacción química de la combustión del metano:



Muestra cómo, para la combustión de una mol de metano, se necesitan dos moléculas de oxígeno. Además, se sabe que un kg de DQO corresponde a 31,25 moles de oxígeno, y con base en la relación precedente, a 15,625 moles de metano quemado.

Se deduce que, a la presión atmosférica y a la temperatura de 20 G.C., siendo de 22,41 litros el volumen ocupado por una mol de gas en tales condiciones, 1 kg de DQO corresponde a 350 litros de metano. La cantidad de biogás (que no es sólo metano) se obtiene dividiendo la producción de metano, antes definida, por el valor de su porcentaje en el biogás (cerca del 65%), por lo cual, a un kg de DQO corresponden 540 litros de biogás.

El cuadro 2 muestra los valores característicos de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y de DQO de los productos finales del metabolismo de algunos animales de cría. Para la digestión de los excrementos animales, se va de un rendimiento de depuración (es decir un porcentaje de DQO abatido) del orden del 70%, para un tiempo de retención de 20 días. También de las aguas efluentes provenientes de destilerías, se puede obtener biogás mediante fermentación anaeróbica.

Cuadro 2

Valores característicos de DBO y DQO para excrementos animales

Animal	Peso (kg)	DBO/día* (d/día)	DQO/día** (d/día)
Vacas	500	500	4000
Novillos	400	420	3400
Terneros	250	347	2500
Cerdos	60	137	320
Aves de corral	2	9	30

(\*) DBO: cantidad de oxígeno, expresada generalmente en p.p.m. o sea miligramos por litro, que las bacterias consuman para oxidar el material orgánico contenido en el líquido.

(\*\*) DQO (Demanda Química de Oxígeno): cantidad de oxígeno, expresada en mg, necesaria para oxidar completamente todas las sustancias orgánicas e inorgánicas presentes en un litro de descarga.

En el cuadro 3 se encuentran señalados los valores medios de los principales parámetros relativos a las borlandas (soluciones acuosas de sustancias orgánicas) de destilería, según la materia prima elaborada. Con un tiempo medio de permanencia de las borlandas en el interior del digestor de 5-10 días, se obtiene un rendimiento de depuración del 90%. La excepción es la melaza, que con 12 días de permanencia, llega a una reducción del DQO del 85%.

**Cuadro 3**

**Valores característicos de DBO, DQO y S.A. para vegetales**

	Duraznos	Manzanas	Sedimentos (de licores)	Vino	Patatas	Melaza
DQO (g/l)	100	85	33	25	90	98
DBO	40	38	16	14	65	62
S.S. (g)	15	15	11	2	17	3

C) Otro método para determinar la cantidad de biogás, se basa en la cantidad de sólidos volátiles (S.V.) contenidos en la masa para digerir; en promedio, se puede obtener una producción de biogás entre 0.3- 0.5 Nm<sup>3</sup>/kg S.V. (ver cuadro 4) (\*) El DQO es la cantidad de oxígeno necesaria para la combustión de todo el metano producido por la descomposición.

### 1.2.1 Utilización de biogás

El biogás contiene 65-70% de CH<sub>4</sub>, 30-35, de CO<sub>2</sub> y pequeños porcentajes de otros gases. El biogás se puede aprovechar directamente según el tipo de utilización, después de depurado del CO<sub>2</sub>, del vapor de agua y del H<sub>2</sub>S si este gas está presente en porcentaje superior al permisible. El biogás se puede utilizar para:

- Cocinar: 1.5-2.0 m<sup>3</sup>/d por familia  
de 5 a 7 componentes
- Alumbrado directo: 0.07-0.08 Nm<sup>3</sup>/h por  
100 lúmenes

**Cuadro 4**

**Producción de biogás por fermentación anaeróbica de excrementos animales para 100 Kg de peso vivo**

	Vacas lecheras	Terneros y novillos	Cerdos	Aves de corral	Caballos
Producción de excremento (kg/g)	8,6	5,7	5	6	5
Sólidos totales	1,06	0,80	0,73	1,74	1,03
Sólidos volátiles (kg/g)	0,86	0,70	0,6	1,28	0,75
Producción de biogás (Nm <sup>3</sup> /KgSV)	0,38	0,50	0,45	0,55	0,30

**Producción de biogás por fermentación anaeróbica de desperdicios vegetales**

Desperdicios vegetales	Producción de biogás en Nm <sup>3</sup> por Kg de sustancia seca
Paja de avena	0,3
Paja de cebada	0,3
Paja de trigo	0,3
Estoques de maíz	0,25
Jacinto de agua	0,4

—Producción de corriente eléctrica:

0.60-1.00 Nm<sup>3</sup>/kWh

—Motor: 0.45-0.50 Nm<sup>3</sup>  
por HP por hora

### 1.3 TIPOS DE REACTORES

La digestión anaeróbica se puede efectuar en dos tipos de instalaciones, que se distinguen según su sistema de alimentación de la biomasa, es decir:

- Instalaciones continuas
- Instalaciones discontinuas con cargas periódicas.

Estas instalaciones pueden ser:

- Digestores únicos de tipo rural
- Digestores de gran potencia (“high rate”)

#### 1.3.1 Digestor de tipo rural

Las digestores, de fácil construcción son:

- Digestor de tipo chino (fig.1)
- Digestor de tipo indio (fig.2)
- Digestor de tipo flujo tapón (“plug flow”) con carga diaria (fig. 3)
- Digestor de tipo discontinuo con carga periódica (fig.4)

#### Digestor de tipo chino

Para la construcción de este tipo de digestor, no se necesitan tecnologías especiales. Estos digestores están enterrados para mejorar su aislamiento térmico. En general, las presiones de utilización varían de 50 a 300 mm de columna de agua. La producción de gas puede variar de 0.3 a 0.6 Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de digestor/día.

#### Digestor de tipo indio

Se trata de un digestor continuo, vertical, con tapa flotante de gasómetro.

El aislamiento térmico no es eficaz como en el digestor de tipo chino y el calor interno se disipa a través de la superficie de la tapa.

El componente más caro es el gasómetro, que se desplaza verticalmente para establecer una presión constante. Las presiones normales que se encuentran en este tipo de digestor pueden variar de 50 a 150 mm de columna de agua. La produc-

ción de gas alcanza aproximadamente 0.20-0.30 Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de digestor/día, con un tiempo de retención de 40 días.

### **Digestor de tipo flujo tapón**

Este tipo de digestor es de desplazamiento horizontal (fig. 3); se considera muy económico y de fácil instalación y funcionamiento. En condiciones óptimas de temperatura y de concentración orgánica, la producción de gas puede variar de 0.3 a 0.6 Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de digestor/día.

### **Digestor de tipo discontinuo**

Este tipo de digestor (fig. 4) es el más simple de todos los existentes, desde el punto de vista de la construcción y del funcionamiento. Se aconseja la construcción subterránea, con el fin de que se puedan mejorar las condiciones de aislamiento térmico. El gas debe ser conducido a un gasómetro. La producción de gas puede variar de 0.2 a 0.3 Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de digestor/día.

#### **1.3.2 Digestor de gran potencia (“high rate”)**

Este tipo de digestor es un sistema excelente para ser instalado en lugares con gran disponibilidad de biomasa. La digestión, muy rápida, se efectúa en estanques de grandes dimensiones, e implica el empleo de mezcladores para llevar el substrato en contacto continuo con los microorganismos, así como por el calentamiento de la masa orgánica (figura 5). Con este tipo de digestor, la cantidad mínima de biomasa empleada (con una concentración de 5-10% de sólidos totales), no debe estar nunca bajo 20 m<sup>3</sup>/día.

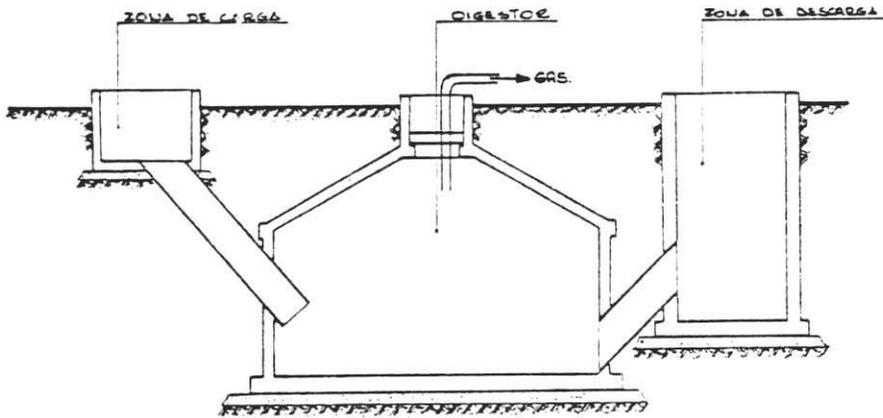
La producción normal de gas, alcanza aproximadamente 1 Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de digestor/día.

Titolo

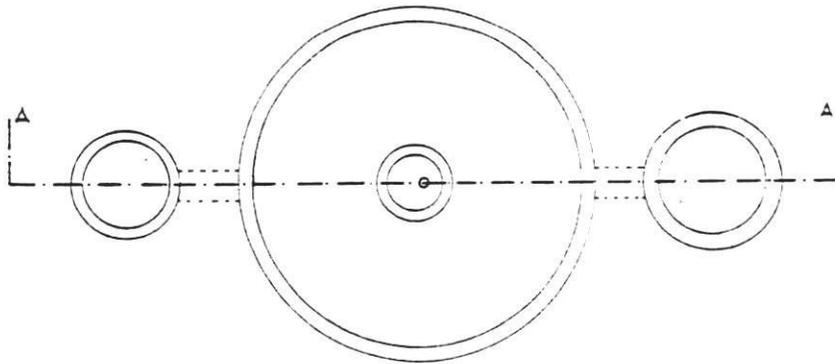
DIGESTOR DE TIPO CHINO

Autore

Approvazione



SECCION A-A



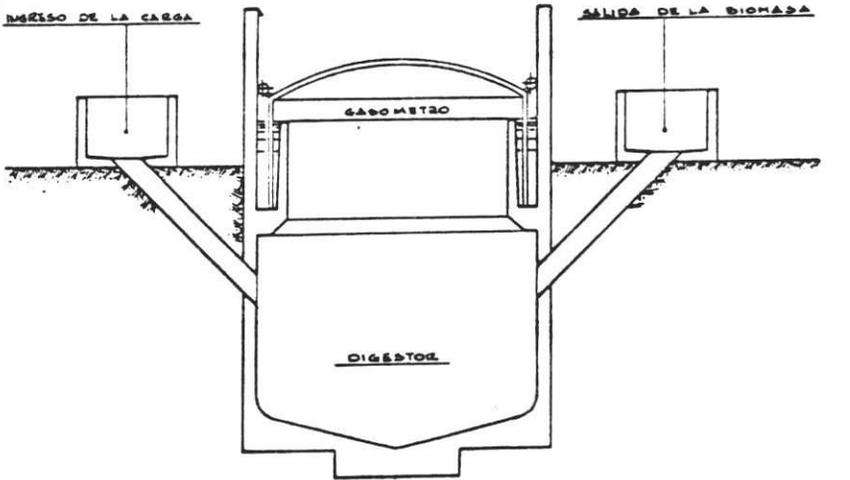
PLAN

TITOLO

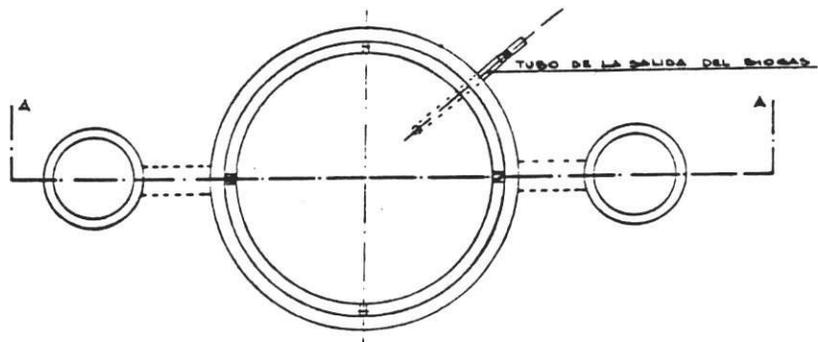
**DIGESTOR DE TIPO INDIO**

Autore

Approvazione



SECCION A-A

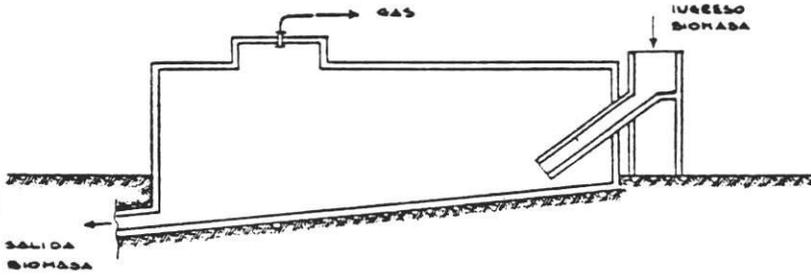


PLAN

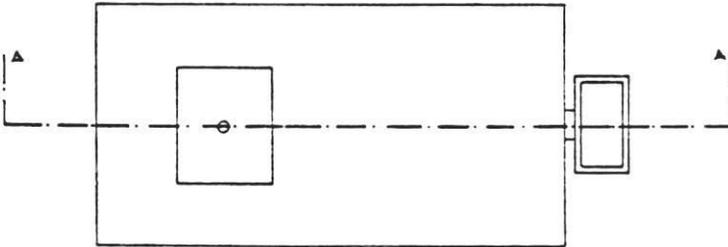
Julio 1988 Mod. 1.000/88

Titolo  
**DIGESTOR DE TIPO "PLU FLOW" CON CARGA DIARIA**

Autore  
 Approvazione



SECCION A-A



PLAN

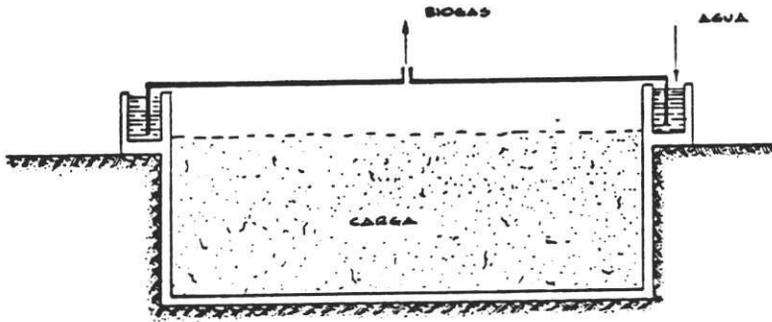
Bari 1987 - Mac. 1/1987

TITOLO

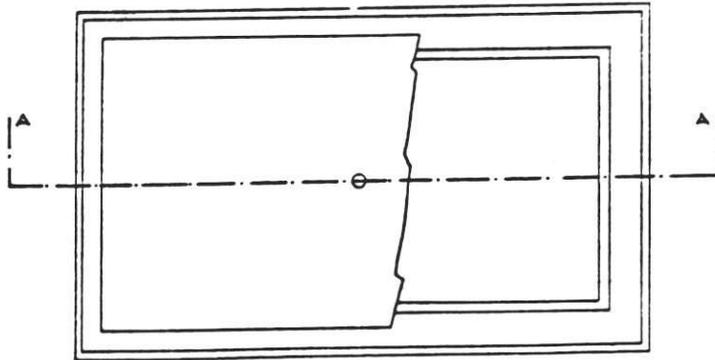
**REATTORIO DE TIPO "BATCH" CON CARICA PERIODICA**

Autore

Approvazione



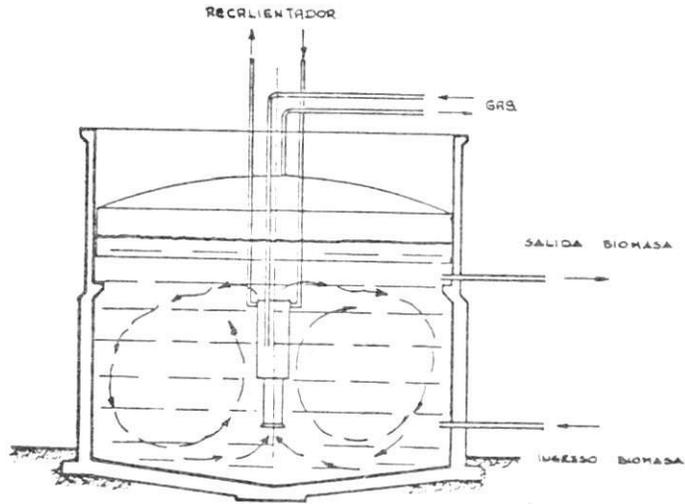
SECCION A-A



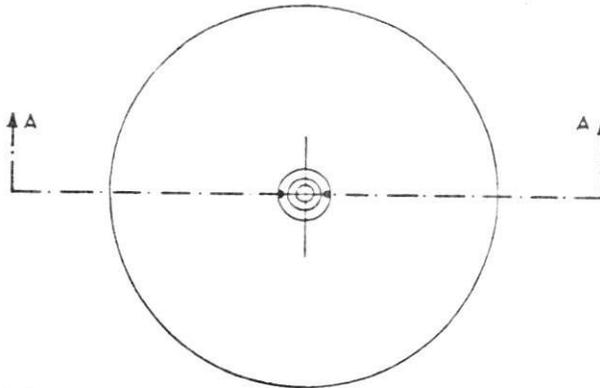
PLAN

Titolo  
**DIGESTOR DE TIPO "HIGH RATE" CON CARICA  
 DIARIA COSTANTE**

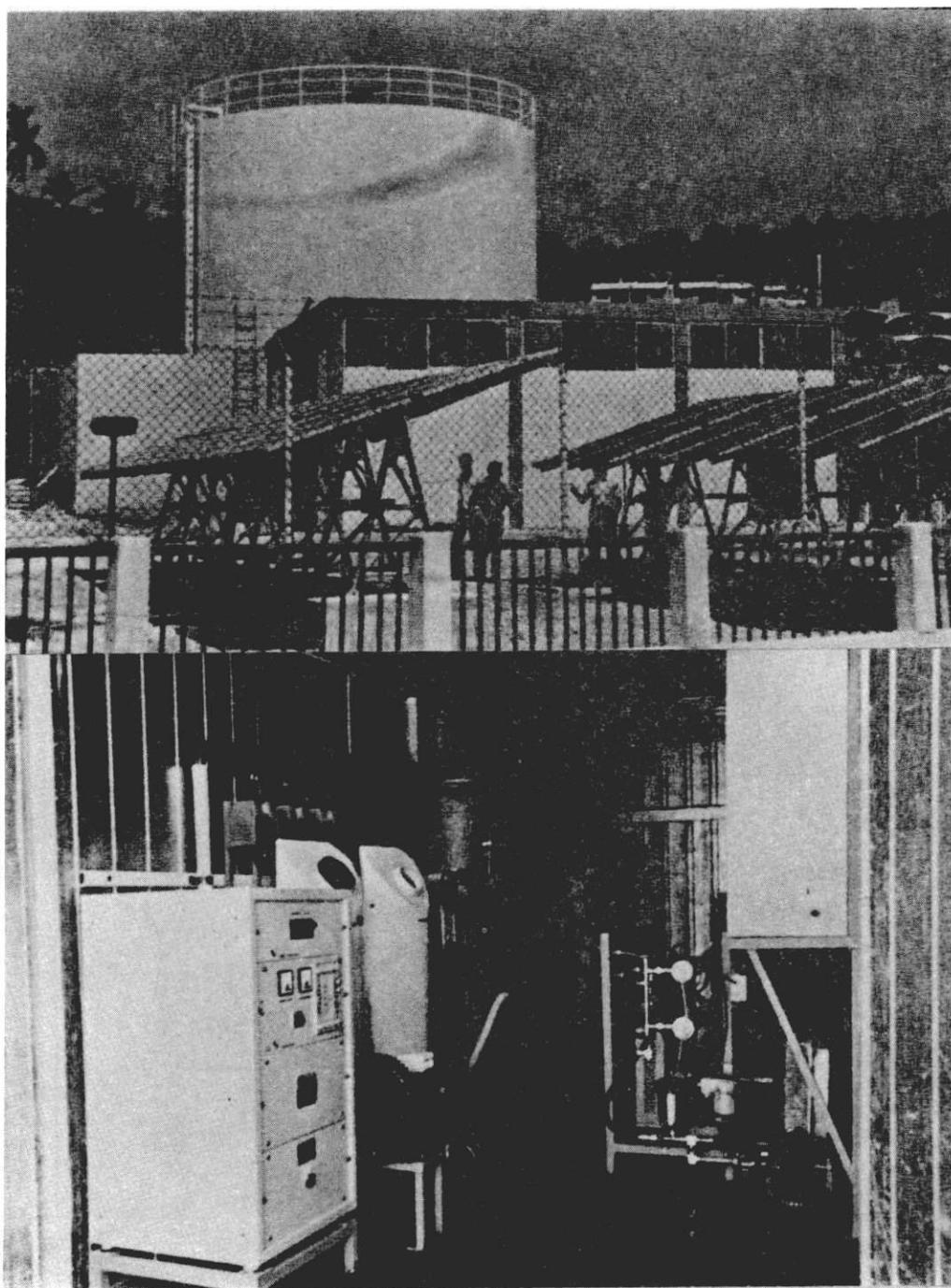
Autore  
 Approvazione



SECCION A-A



PLAN



Planta de desalinización. San Andrés.