

ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Mecánica

" DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE BIOGAS "

INFORME TECNICO

Previo a la obtención del Título de :

INGENIERO MECANICO

Presentado por:

FROWEN JONIAUX COPPIANO

GUAYAQUIL - ECUADOR

1989

AGRADECIMIENTO

Al Dr. ALFREDO BARRIGA
Director de Informe Técnico,
por su valiosa y desinteresada ayuda en la
elaboración del presente
Informe Técnico.

Al Ing. Ignacio Wiesner F.

Al Ing. Nelson Cevallos

Al CIMEG por su colaboración y ayuda.

DEDICATORIA

A MI ABUELA

A MI MADRE

DECLARACION EXPRESA

" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas
expuestos en este Informe, me corresponden
exclusivamente; y, el patrimonio intelectual del mismo a
la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la
ESPOL).

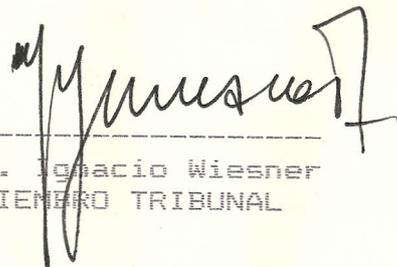


Frowen Francisco Joniaux Coppiano

Ing. Nelson Cevallos
DECANO



Dr. Alfredo Barriga
DIRECTOR INFORME



Ing. Ignacio Wiesner
MIEMBRO TRIBUNAL

RESUMEN

Este trabajo consistió en obtener información de primera mano de uno de los procesos más antiguos de obtención de gas por medio de la descomposición bacteriana y que no ha sido explorado hasta épocas recientes. Fue Pasteur por el año 1859 que estudio la degradación de los tejidos vegetales y animales por la fermentación y putrefacción. En el país especialmente en La Sierra se comenzó a experimentar sobre este particular en 1978, dando resultados a medias; aquí en La Costa, gracias a la colaboración de la ESPOL se realizó ésta experiencia que consistió básicamente en una tanque de 55 galones lleno de agua y estiércol como digestor, con adecuaciones e implementaciones que podrían mejorar el rendimiento. Un tanque de 20 galones dentro de otro lleno de agua que hizo las veces de depósito del gas generado; igualmente se utilizó un tubo de caucho de automotor, con el mismo fin. Se recolectó el estiércol del Matadero Municipal. Se dispuso una carga a la cual se le controló los parámetros más importantes y obtuvimos un gas de buenas propiedades energéticas. La primera parte de este trabajo es una descripción teórica del proceso, pasando luego a la etapa del diseño y posteriormente el funcionamiento. Finalmente presentamos las conclusiones y recomendaciones.

INDICE GENERAL

RESUMEN

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

1.- ANTECEDENTES

2.- DEFINICION DEL PROBLEMA

2.1.1.- Una sola carga (Batch)

2.1.2.- Carga continua

2.1.3.- Alta producción

2.2.- Procesos de las bacterias anaerobicas

2.2.1.- Procesos de degradación bacteriana

2.2.2.- Parámetros de influencia

2.2.3.- Optimización del proceso

3.- ALTERNATIVAS DE SOLUCION

3.1.- Diseño del digestor

3.1.1.- Selección de materias primas y digestor

3.1.2.- Operaciones del diseño

3.1.3.- Diseño del sistema

3.2.- Construcción del digestor

3.2.1.- Materiales utilizados

3.2.2.- Técnica de construcción de los componen
tes

3.2.3.- Ensamblado global de la planta

3.3.- Pruebas del digestor

3.3.1.- Pruebas preliminares

3.3.2.- Carga Inicial

3.3.3.- Seguimiento de operación

3.3.4.- Producción de gas

3.3.5.- Problemas operacionales

4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

APENDICES

TABLAS

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

INDICE DE FIGURAS

- Fig. 1.- Digestor de una sola carga.
- Fig. 2.- Digestor de carga continua.
- Fig. 3.- Digestor de carga continua.
- Fig. 4.- Digestor de alta producción.
- Fig. 5.- Procesos de las bacterias aeróbicas y anaeróbicas en la producción de metano.
- Fig. 6.- Procesos de degradación bacteriana.
- Fig. 7.- Rango de estabilización óptima de la mezcla.
- Fig. 8.- Influencia de temp. en la generación de biogas.
- Fig. 9.- Influencia de temp. en la generación de biogas.
- Fig.10.- Influencia de temp. en la generación de biogas.
- Fig.11.- Propiedades del estiércol de pollo.
- Fig.12.- Diseño del digestor.
- Fig.13.- Esquema del sistema implementado.
- Fig.14.- Diseño del conjunto.
- Fig.15.- Diseño del agitador.
- Fig.16.- Diseño del sello de agua.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

La Escuela Superior Politécnica del Litoral en un afán de promover el desarrollo tecnológico del país implemento algunos programas de investigación, uno de los cuales fue el de obtener gas combustible (biogas) a partir de desechos orgánicos y particularmente de estiércol. El proceso se basa en la utilización de un tanque (llamado digestor) en el que se coloca la carga de estiércol mezclada con agua y que mantenida bajo ciertas condiciones genera un gas de buenas propiedades, combustible que puede utilizarse para la cocción, iluminación e incluso como combustible para motores.

El trabajo se desarrolló con auspicio tanto de la ESPOL como de entidades externas interesadas en la difusión de ésta tecnología.

Cabe destacar principalmente el aporte de la oficina regional del Cuerpo de Paz de los EE.UU. de Norteamérica; que facilitó la venida de un voluntario para trabajar en estrecha vinculación con el proyecto. Debe mencionarse así mismo el apoyo técnico del Instituto Nacional de Energía (INE), que se concretó tanto en el intercambio de información e inclusión de este proyecto al programa de asesoramiento del experto internacional Dr. Ram Bux Singh.

CAPITULO II

DEFINICION DEL PROBLEMA

Debido a que en el país especialmente en La Costa no se tenía ninguna experiencia práctica al respecto, se decidió construir una planta piloto de biogas, para conocer de cerca los pormenores de operación y fundamentalmente crear un sistema que se adaptase al medio. Primeramente se estudió y analizó varios tipos de plantas de esta clase, que a nivel experimental se realizan en gran parte del mundo; además de las degradaciones bacterianas que intervienen en el proceso sus parámetros de influencia y la forma de optimizarlo.

2.1.1. UNA SOLA CARGA (BATCH)

En este tipo de digestor se pone una carga (estiercol-agua), se sella y se vacia cuando la producción de gas cesa. El ejemplo más simple de esta clase de digestor se aprecia en la figura #1.

2.1.2. CARGA CONTINUA

En este tipo de digestor se pone la carga inicial y regularmente se le añade una pequeña carga que desplaza un volumen igual. Esta pequeña mezcla desciende hasta donde las bacterias metanogénicas actúan y generan burbujas de gas que ascienden a la superficie. Por su característica de carga intermitente es muy eficiente y es más comunmente usado. Podemos apreciarlo en las figuras # 2 y #3.

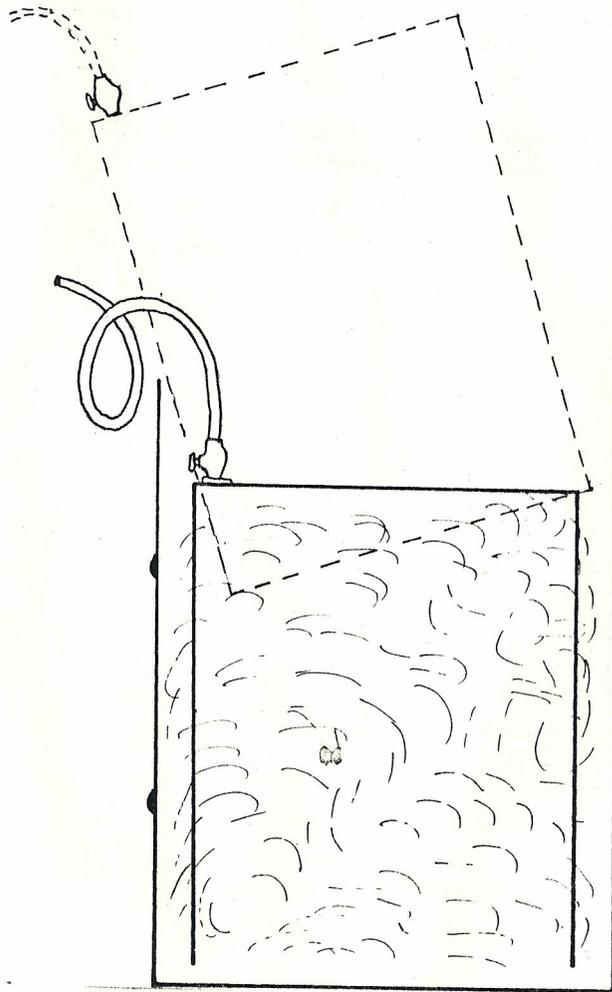


Figura #1.- Digestor de una sola carga

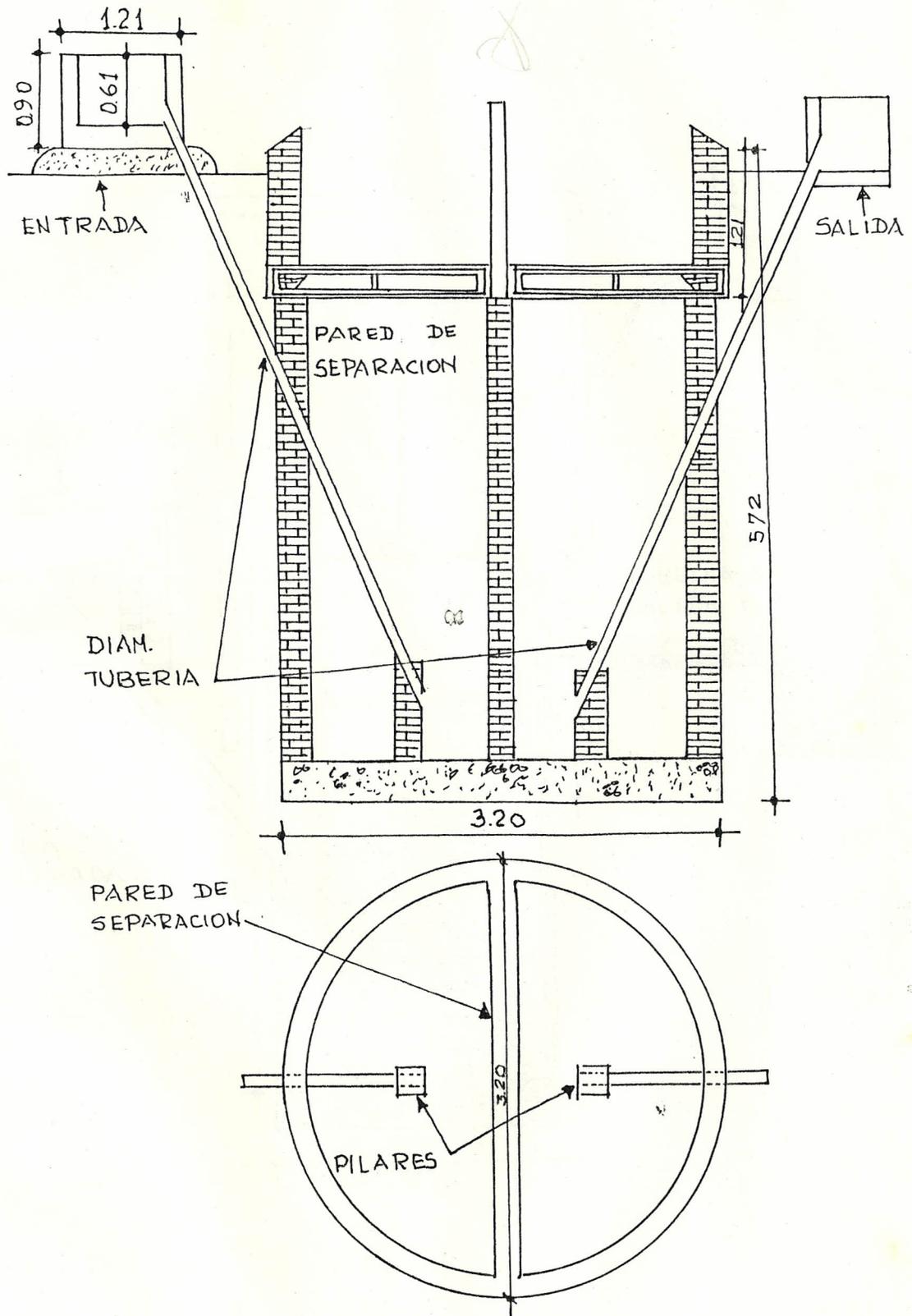


Figura #3.- Digestor de carga continua

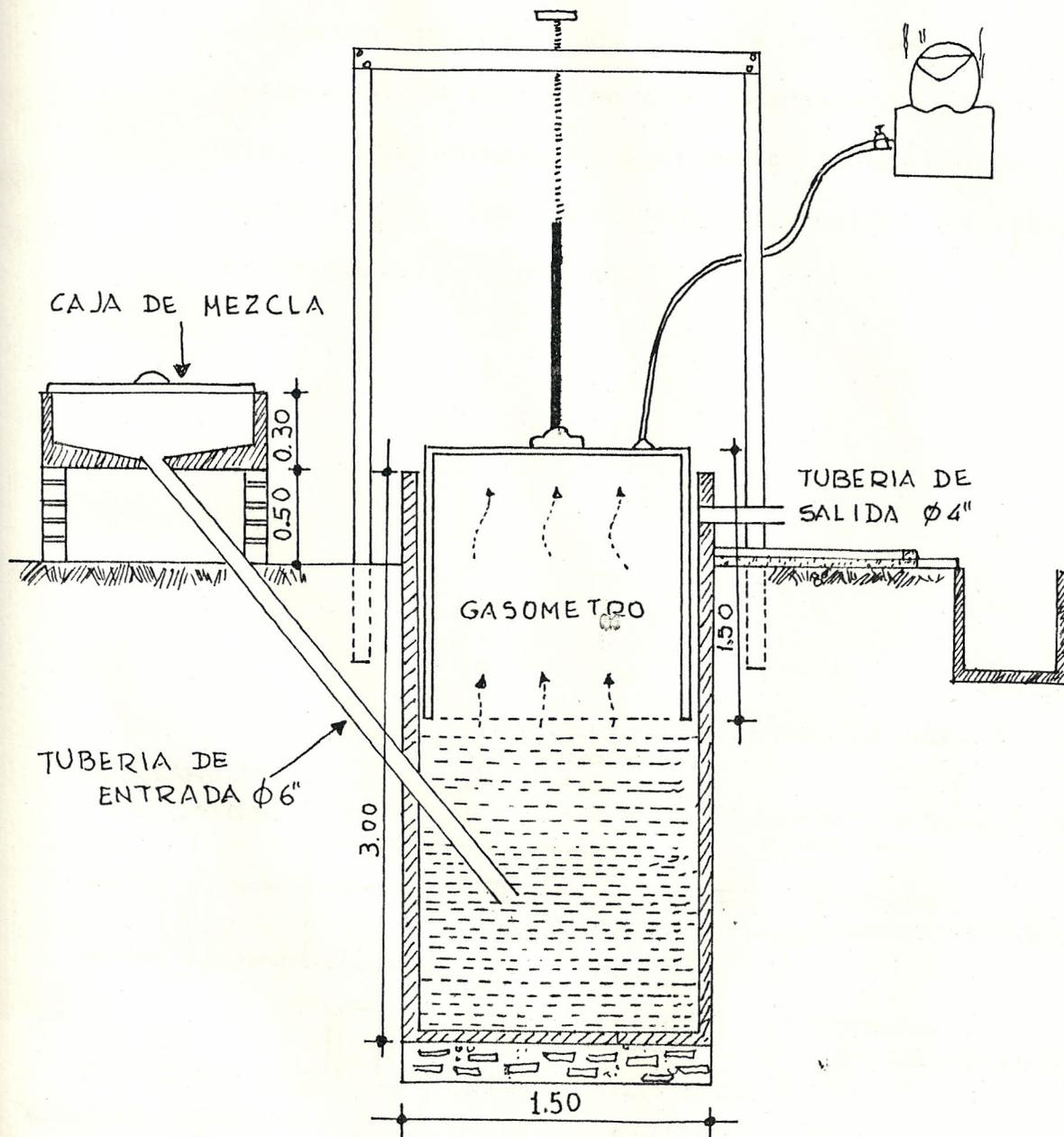


Figura #2.- Digestor de carga continua

2.1.3. ALTA PRODUCCION

Se denomina así al digestor que además de su carga intermitente (generalmente una vez al día), tiene agitación, calentamiento y aditivos. Aquí la agitación produce una mezcla de las bacterias metanogénicas produciendo un rendimiento mayor de gas; el calentamiento incrementa la acción de las bacterias y los aditivos que están en etapa experimental. Figura #4.

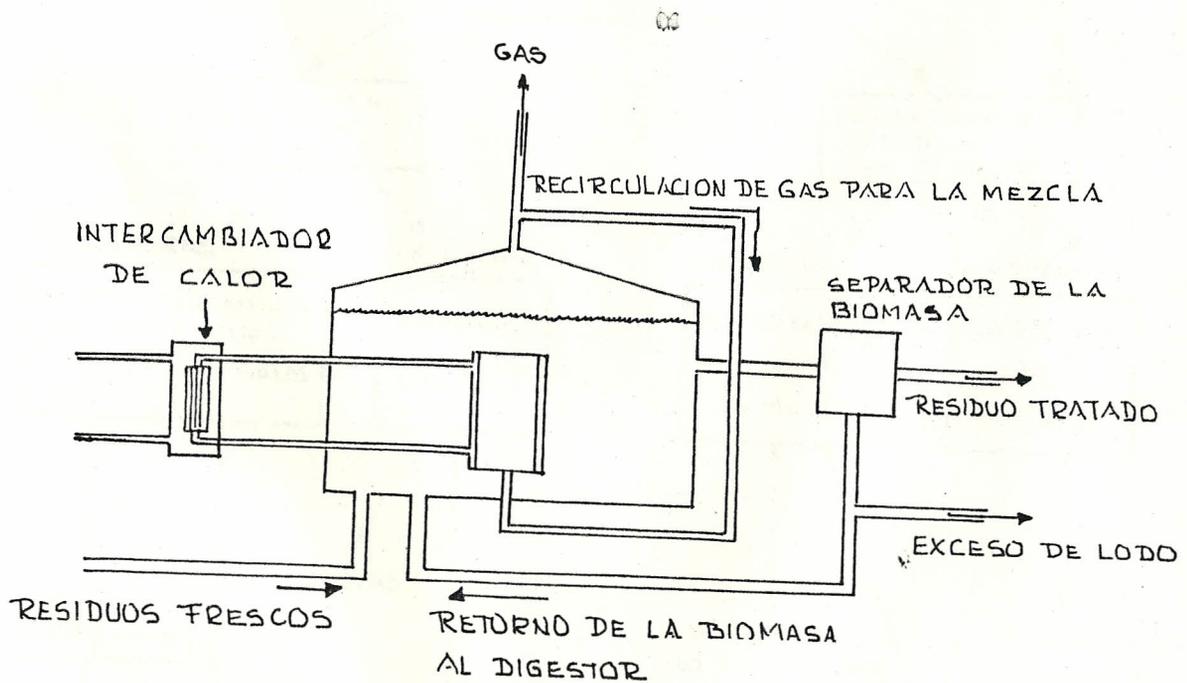


Figura #4.- Digestor de alta producción

2.2. PROCESOS DE LAS BACTERIAS ANAEROBICAS EN LA PRODUCCION DE METANO.

En la naturaleza existen dos formas de descomposición bacteriana de la materia orgánica, a saber:

Descomposición aeróbica.- Es la que se realiza en presencia del oxígeno.

Descomposición anaeróbica.- Es la que se realiza sin la presencia del oxígeno.

Ambos procesos de descomposición pueden ser naturales o artificiales como se especifica en la figura #5.

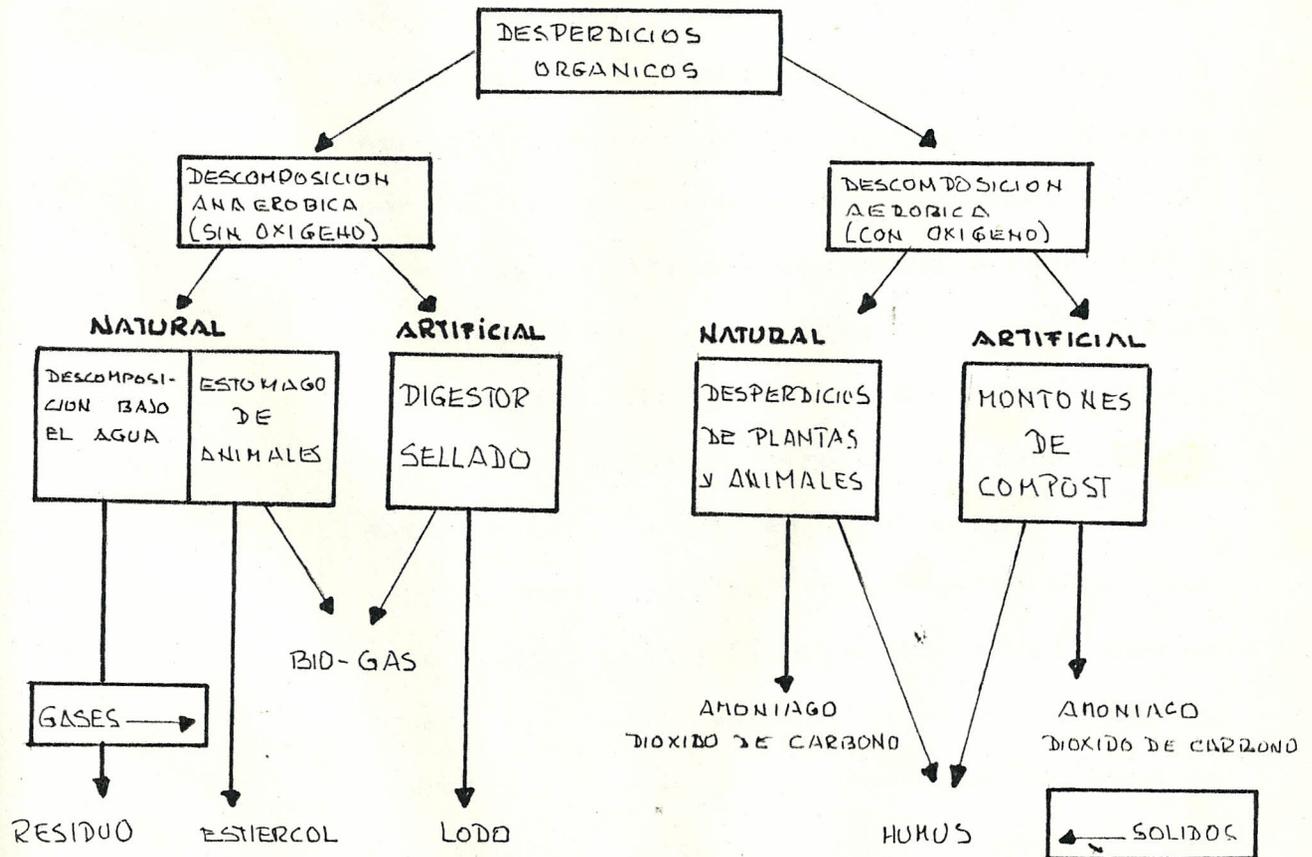


Figura #5.- Proceso de las bacterias aerobicas y anaerobicas en la produccion de metano.

2.2.1. PROCESOS DE DEGRADACION BACTERIANA

Este es un proceso biológico en el cual la bacteria anaeróbica responsable de la digestión no puede sobrevivir con trazas de oxígeno. (En el inicio solamente sobreviven las bacterias aerobicas). Cuando el oxígeno desaparece comienza el proceso de digestión que involucra varias clases de bacterias anaeróbicas presentes en la materia orgánica. Primeramente los productos generados por una clase de bacterias sirven de alimento a otro tipo de bacterias. En este primer paso de digestión el material digerible (grasas, proteínas) es descompuesto o rota su estructura molecular en componentes simples por la bacteria productora de ácido, la cual no es muy sensitiva a los cambios en su medio ambiente, lo que origina una rápida reproducción. Su misión es excretar enzimas, licuar el material fresco y convertir las materias complejas en sustancias simples; especialmente ácidos volátiles de bajo peso molecular. El más importante y el que se genera en mayor cantidad es el ácido acético (cerca del 70% de metano que se produce durante la digestión proviene de él). Una vez que el material ha sido licuado por

la bacteria ácida, comienza a actuar la bacteria metanogénica que convierte los ácidos volátiles en gas metano. Por ser muy sensitivo a los cambios en su medio ambiente la reproducción de la bacteria metanogénica es muy lenta. Este proceso se puede apreciar en la figura #6.

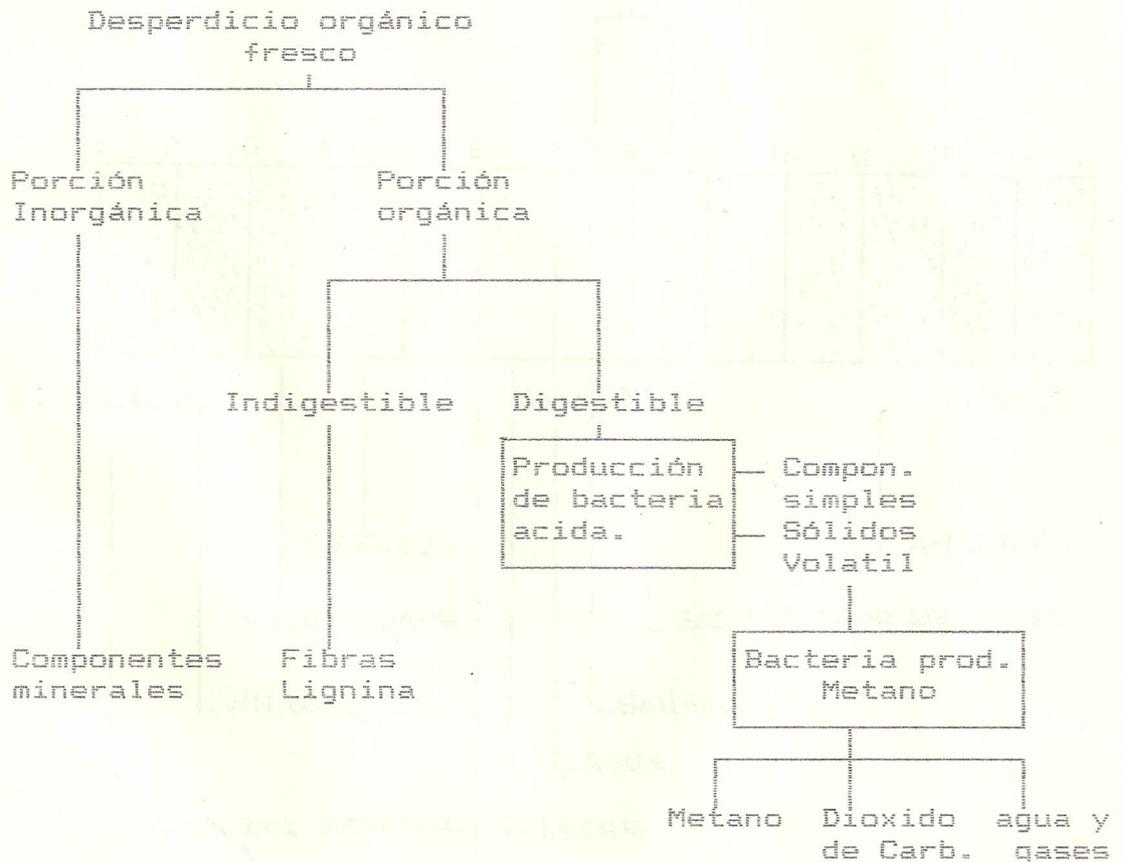


Fig. #6.- Procesos de degradación bacteriana

2.2.2. PARAMETROS DE INFLUENCIA

Existen dos parámetros que inciden fundamentalmente en el proceso y que son:

El PH: Normalmente la mayoría de los procesos biológicos se producen en un rango de PH de 5 a 9. La condición del digestor es más estricta porque su correcto funcionamiento se opera en un rango de PH de 7.5 a 8.5. Ver figura #7.

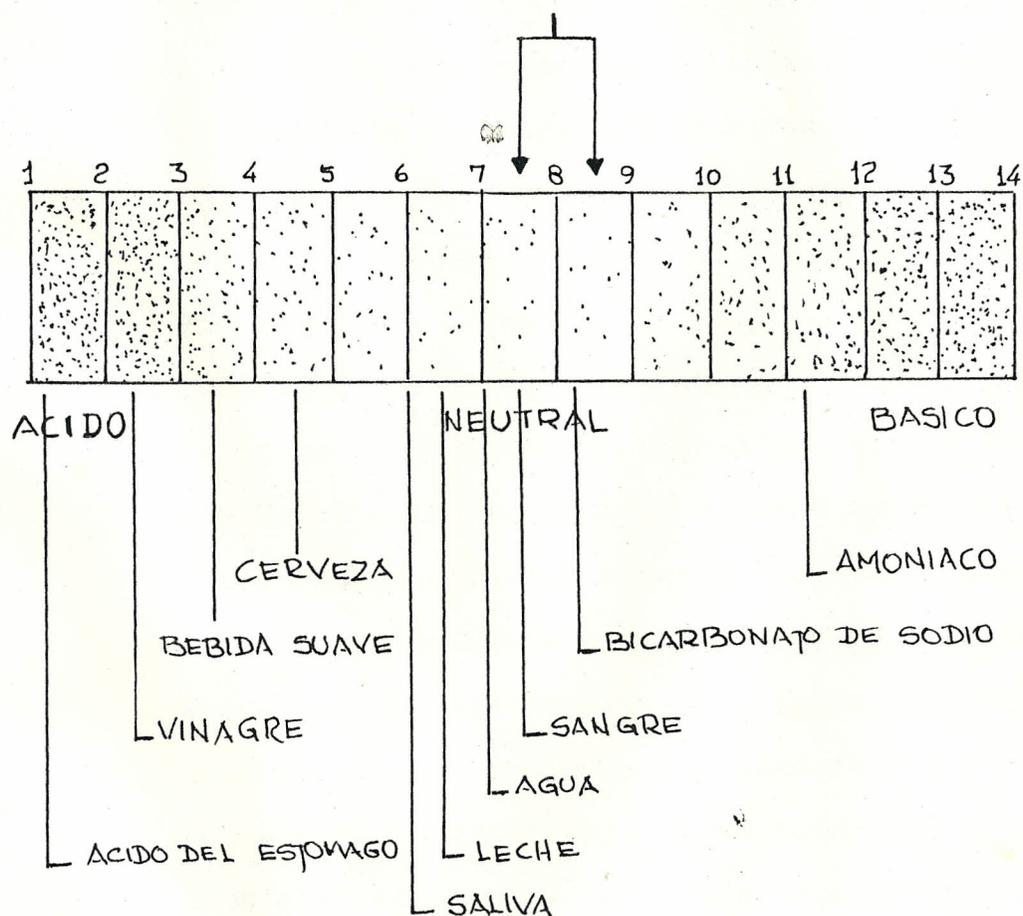


Figura #7.- Rango de estabilización óptima de la mezcla.

Durante las dos primeras semanas, que es la fase ácida de la digestión, el PH es menor de 6, mientras se genera gran cantidad de CO₂. Esto continúa por cerca de tres meses con un lento decrecimiento en la acidez, tiempo durante el cual los ácidos volátiles y los componentes nitrogenados son digeridos y los componentes amoniacales son formados.

Conforme avanza la digestión, se produce una cantidad menor de CO₂ y más metano se genera y así el PH se incrementa llegando al rango de operación adecuado de 7.5 a 8.5.

Temperatura: Para una eficiente digestión por bacterias metanogénicas una temperatura de 95°F(36°C) es la mejor.

La producción de gas se opera en dos rangos de temperatura 85-105°F (rango normal) y 120-140°F (rango termofílico). Algunos materiales digestibles necesitan el rango termofílico pero el inconveniente que presenta es que las bacterias son muy sensitivas en este rango y el lodo de residuo es pobre como fertilizante, además mantener esta alta temperatura es problemático. La bacteria que produce metano en el rango normal 90-95°F es más estable, produce un lodo de buena calidad y la temperatura es más fácil de mantener. Fig. 8, 9 y 10.

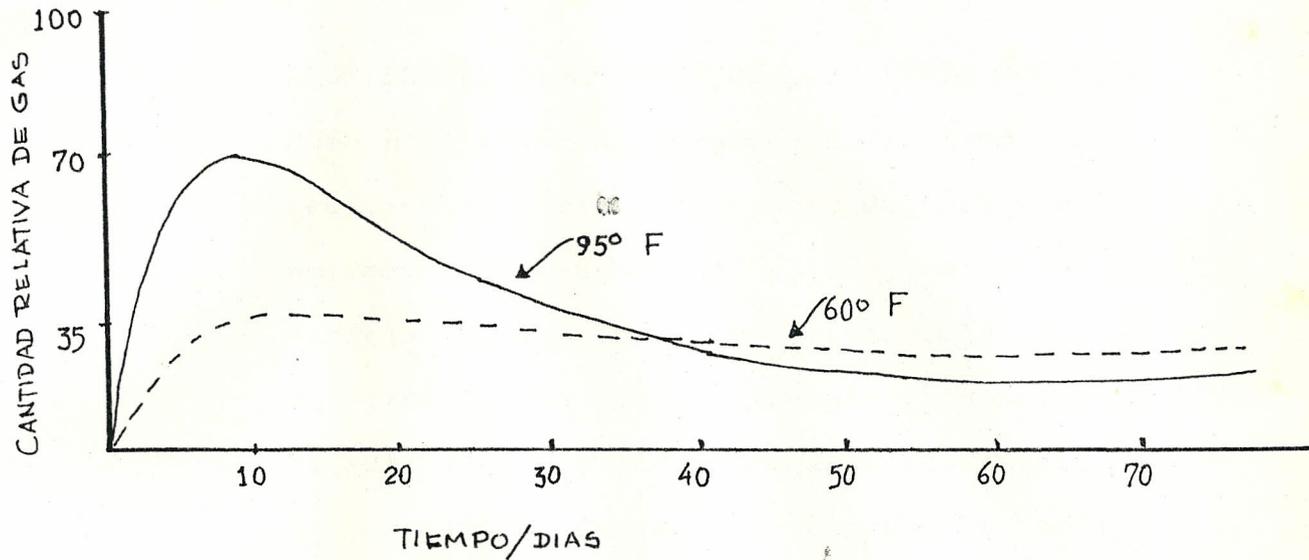


Fig. #8.- Influencia de la temperatura en la generación de bio-gas.

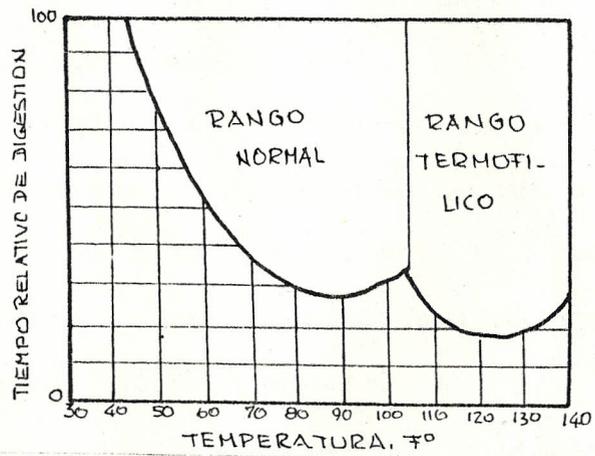


Fig. #9.- Influencia de la temperatura en la generación de bio-gas.

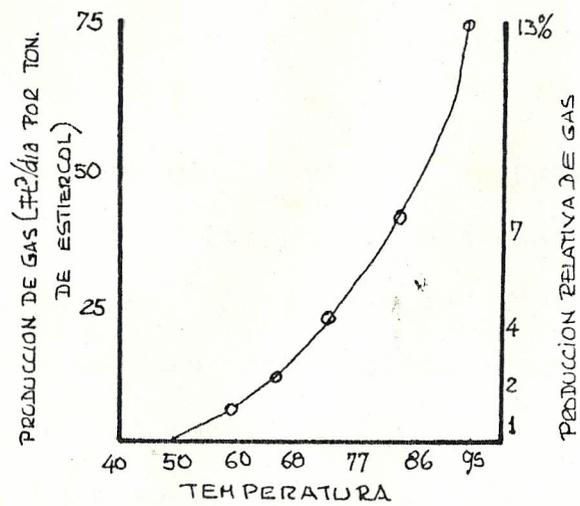


Fig.#10.- Influencia de la temperatura en la generación de bio-gas.

PROPIEDADES DIGERIBLES DE LA MATERIA ORGANICA

Cuando el material fresco es digerido en un recipiente, solamente parte del desperdicio es convertido en metano y lodo, el resto es materia indigerible y se acumula en el digestor o sale con el efluente y la nata. La digestibilidad y otras propiedades básicas de la materia orgánica son expresadas en los siguientes términos:

Humedad: El peso de agua perdido por la mezcla al secárselo a 220°F.

Sólidos totales: (ST) El peso de la materia seca que permanece después de secado a 220°F. El peso de la ST es equivalente al peso seco (sin embargo si se seca al sol se asume que conserva un 30% de humedad).

ST está compuesto de sólidos volátiles (SV) que es la materia orgánica digerible y de residuos indigeribles o sólidos mezclados (SM).

Sólidos volátiles: (SV) Es el peso sólido orgánico quemado cuando el material seco es incinerado. Los SV pueden ser considerados como la cantidad de sólidos que pueden transformar las bacterias.

Sólidos mezclados: (SM) Es el peso que permanece después de la incineración. Esta

ceniza es biológicamente una materia inerte.
 Ejemplo: si tenemos 100 libras de estiércol fresco de pollo 72-80 libras de esto será agua y solamente 15-24 libras (75-80% de sólidos volátiles de el 20-28% de los sólidos totales) son disponibles para la digestión. Ver figura # 11.

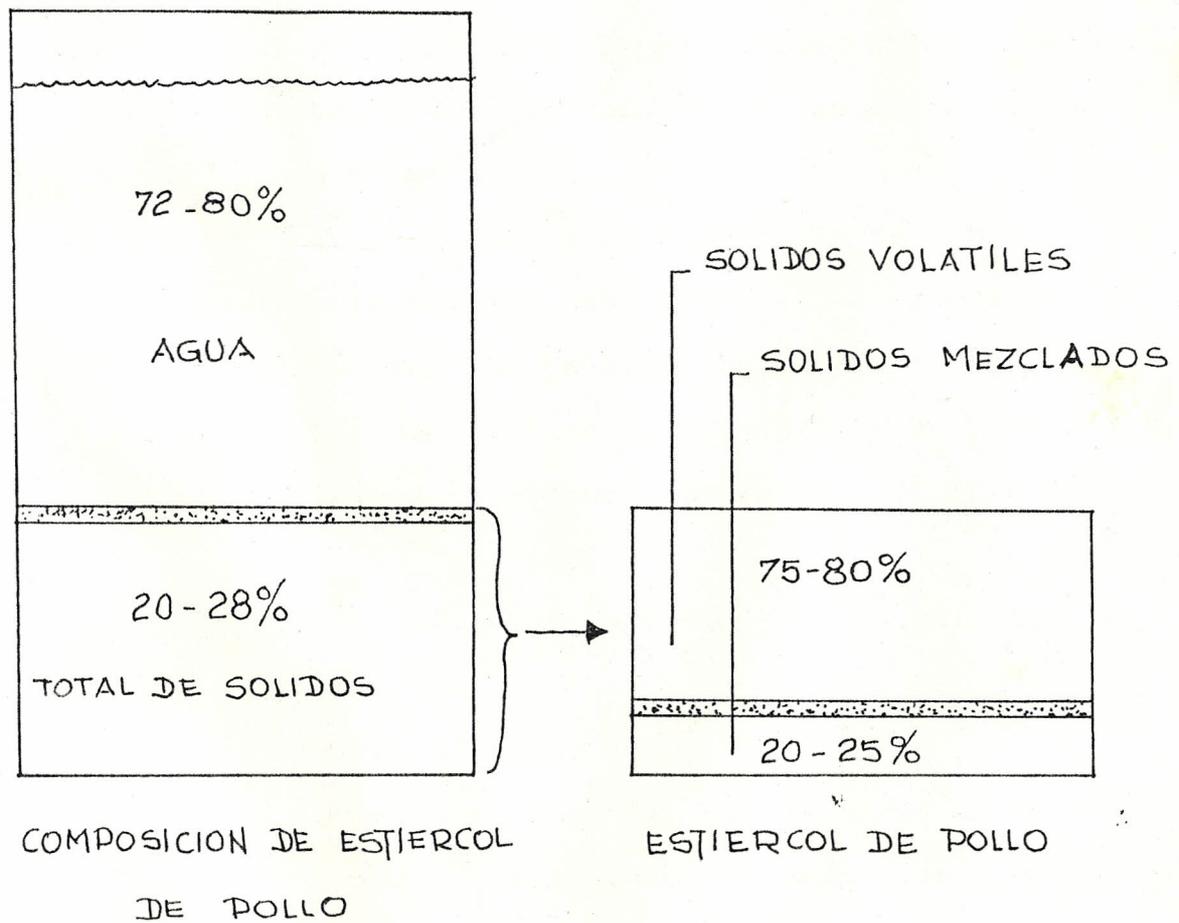


Fig. # 11:- Propiedades del estiércol de pollo

2.2.3. OPTIMIZACION DEL PROCESO

Para un óptimo desarrollo del proceso en un digestor debemos considerar lo siguiente:

- Razón Carbón-Nitrógeno (C/N)

Las bacterias metanogénicas que descomponen las materias primas compuestas de carbón (en forma de carbohidratos) y nitrógeno (como proteína, nitratos, amoníaco) utilizan el carbón como energía y el nitrógeno para construir la estructura celular. Estas bacterias utilizan 30 veces más carbón que nitrógeno.

Si tenemos una relación alta de $C/N = 60$ la fermentación se detiene al igual que si tenemos una relación baja $C/N = 2$.

La razón óptima es 30 ($C/N = 30$) pero da buenos resultados entre 15 y 30 ($C/N = 15, 30$).

Ver tabla del apéndice V y cálculos del apéndice VI.

- Razón de carga

Se define como tal la cantidad de materia prima (usualmente libras de sólidos volátiles) cargada en el digestor por día por ft^3 de espacio de digestor. La carga óptima es 0.2 libras de SV por día por ft^3 .

- Tiempo de retención

El número de días que una masa de materia prima debe permanecer en el digestor debe ser de 30 a 35 días, siempre que se mantenga la condición óptima de temperatura 95°F (36°C). Si este tiempo aumenta, significa que algo no funciona bien.

CAPITULO III

ALTERNATIVAS DE SOLUCION

Después de analizar los diversos tipos de digestores se escogió el de carga continua porque permitiría conocer el proceso por largo tiempo sin interrupciones, dando así oportunidad de probar diversas cantidades de cargas diarias y comparar los resultados.

3.1. DISEÑO DEL DIGESTOR

Este fue un punto muy interesante y conflictivo debido a que el factor limitante por un lado era conseguir el estiércol en cantidades apreciables y el otro que había que operar con cantidades de estiércol que pudieran dar resultados significativos y que se pudieran apreciar.

Además tenía que ser manejable y de fácil operación, para esto se escogió un tanque de 55 galones con una entrada y una salida como se puede apreciar en la figura # 12.

3.1.1. SELECCION DE MATERIAS PRIMAS Y DIGESTOR

La materia prima seleccionada fue el estiércol de ganado vacuno, por ser el más fácil de conseguir en cantidades apreciables en el Matadero Municipal y que nos permitiría obtener resultados cuantitativos apreciables.

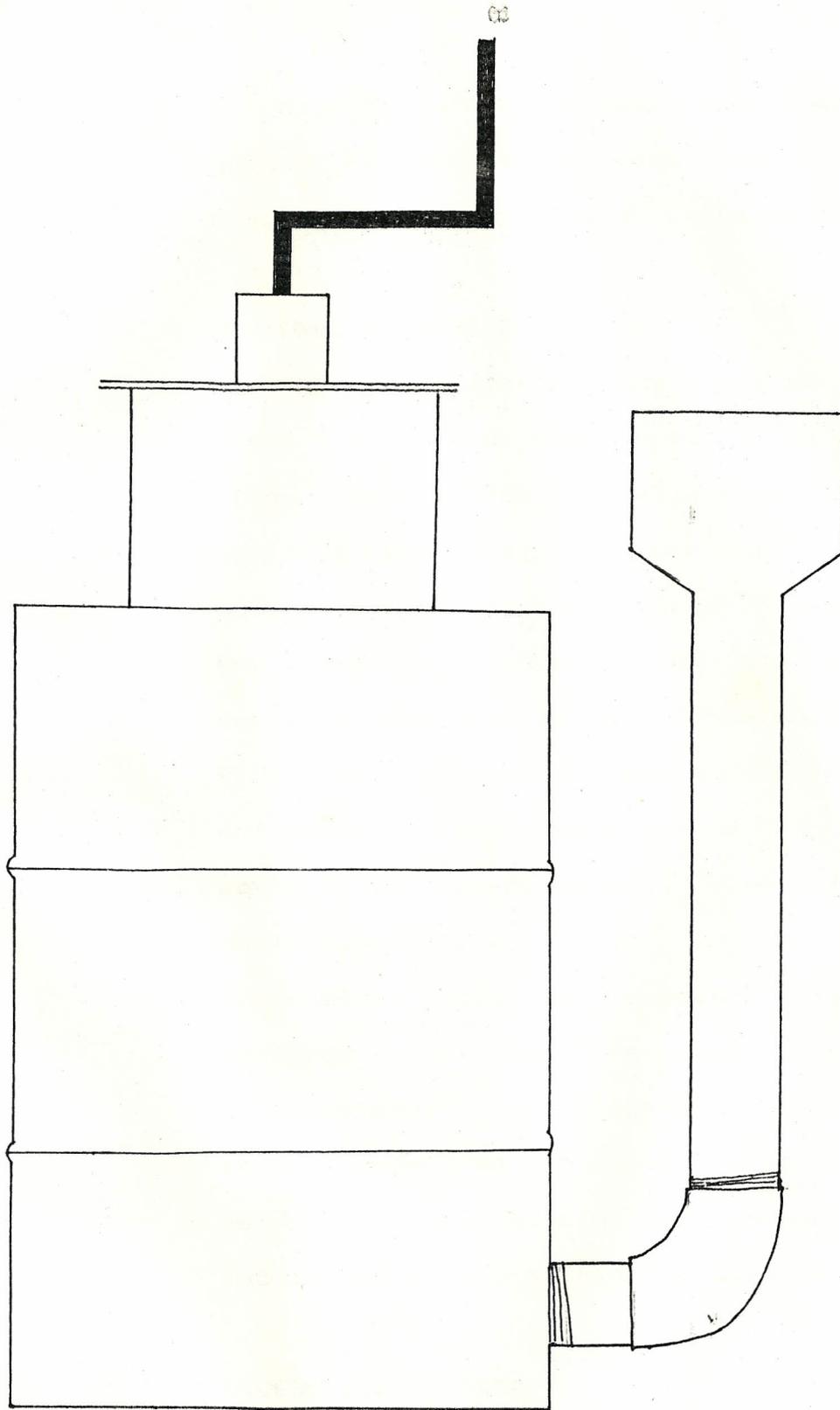


Fig. #12.- Diseño del digestor

El digestor fue seleccionado tomando en cuenta el seguimiento que podría hacerse diariamente con el tipo de carga continua.

3.1.2. OPCIONES DE DISEÑO

Como vimos en las figuras 1 a 4 se muestran todos los tipos de digestores. El de una sola carga (Batch) fue descartado por no ser de utilidad práctica, ya que se requeriría cargar un digestor y esperar 3 meses hasta que cese la producción de gas y después vaciarlo para poderlo cargar nuevamente.

El de alta producción también fue descartado por requerir condiciones muy estrictas en el control de sus parámetros, especialmente el de la temperatura.

Así que se optó por escoger el de carga continua por ser de fácil diseño y construcción; se mejoró el sistema incorporándole un mecanismo de agitación que permitiría una mezcla más homogénea que facilitará la degradación bacteriana.

3.1.3. DISEÑO DEL SISTEMA

Primeramente veamos un esquema del sistema implementado, figura # 13.

DISEÑO DEL SISTEMA

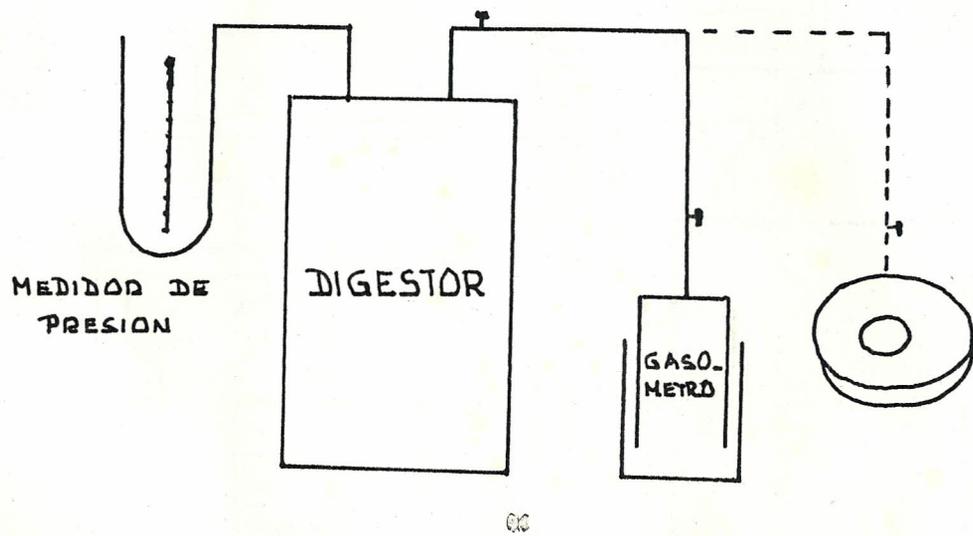


Figura # 13.- Esquema del sistema implementado.

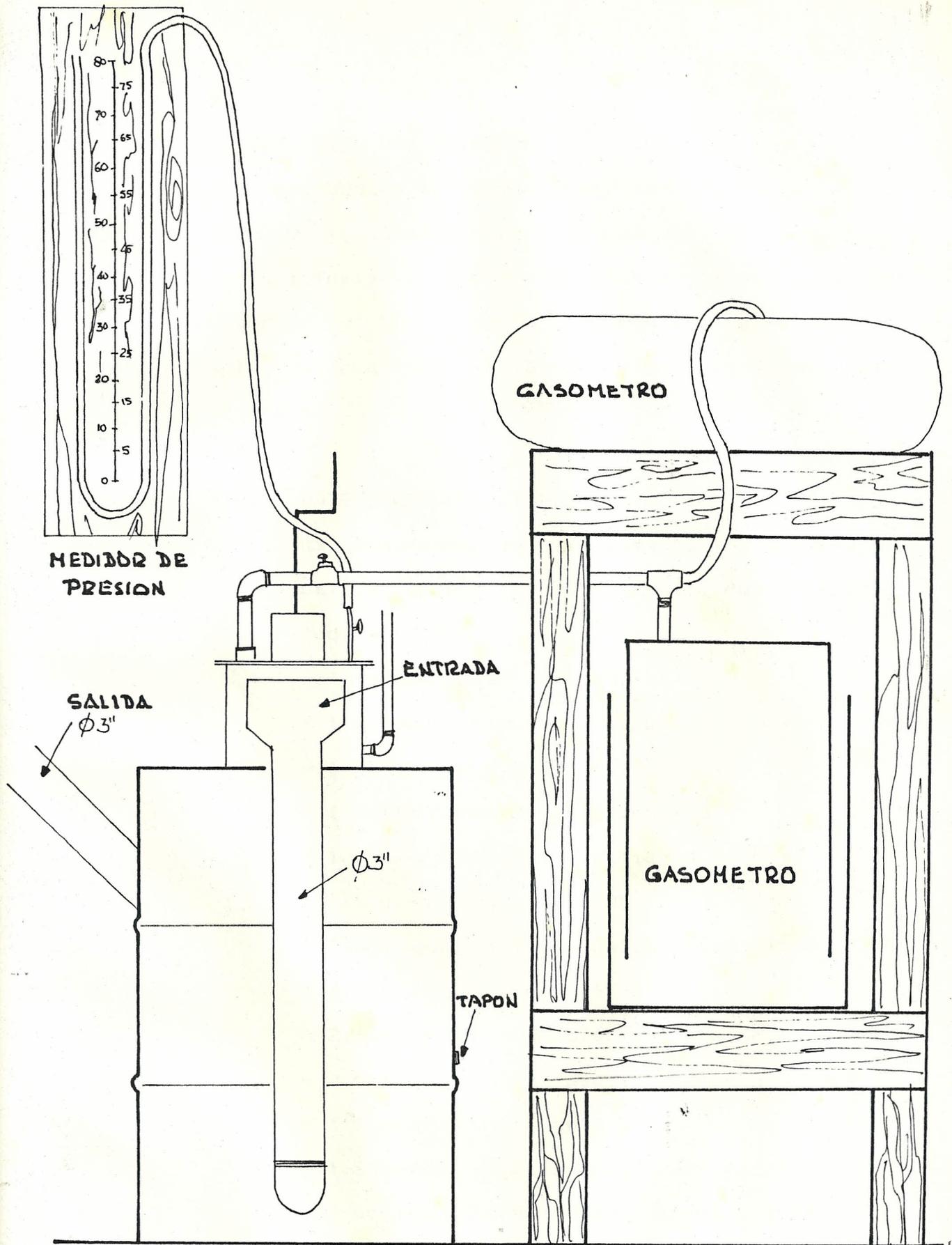


Fig. #14.- Diseño del conjunto

3.2. CONSTRUCCION DEL DIGESTOR

La construcción se realizó en los talleres de la ESPOL y constaba básicamente de una entrada en la parte inferior y una salida lateral en la parte superior y una tapa o cubierta con su respectivo sello de agua como se aprecia en el diseño. Ver figura #14.

3.2.1. MATERIALES UTILIZADOS

La siguiente es la lista de los materiales utilizados para la construcción del prototipo indicado:

- 1 tanque de 55 galones
- 1 tanque vacío de carburo
- 1 tanque de 5 galones
- 1 metro tubería galvanizada 3"
- 1/2 metro tubería plástica 3 1/2"
- 1/2 plancha 4'x8'x1/20"
- 4 uniones y 1 tapón galvanizado 1/2"
- 1 llave paso bronce 1/2"
- 2 metros manguera plástica transp. 3/8"
- 2 metros manguera plástica transp. 1/2"
- 1 llave paso bronce 3/8"
- 1.5 metros varilla acero corrugado 1/2"
- 4 neplós galvanizados 6" largo x 1/2"
- 0.80 metros platina 2"x3/16"
- 1 cinta métrica plástica

- 1 soporte circular torneado $\varnothing=3"$ x $3/4"$
- 2 anillos torneados $\varnothing=3"$ x $1/2"$
- 1 bola de acero $1/2"$
- 0.30 metros tubería galvanizada 3"
- 0.30 metros tubería galvanizada $1/2"$
- 1 tubo de automotor aro 14
- 2 codos galvanizados $1/2"$
- 0.30 metros tubería cobre $3/8"$

3.2.2. TECNICA DE CONSTRUCCION DE LOS COMPONENTES

Se utilizó un tanque de 55 galones al que se le cortó la cubierta superior y en su lugar se colocó una plancha de $1/20"$ de espesor con los cilindros que hacían de sellos; la entrada estaba constituida por una tubería de 3" hasta el filo superior del tanque y remataba con la base de un tanque de gas como receptáculo de la mezcla de entrada; la salida estaba constituida por un tubo plástico de 3.5" con una capucha de caucho para evitar el derrame del estiércol cuando suba la presión dentro del digestor.

Como agitador se utilizó una varilla de acero corrugado (de construcción) de 1", con platinas soldadas como aspas. El agitador se asentaba en una bola de acero de $1/2"$ sobre una base circular torneada. Ver figura # 15.

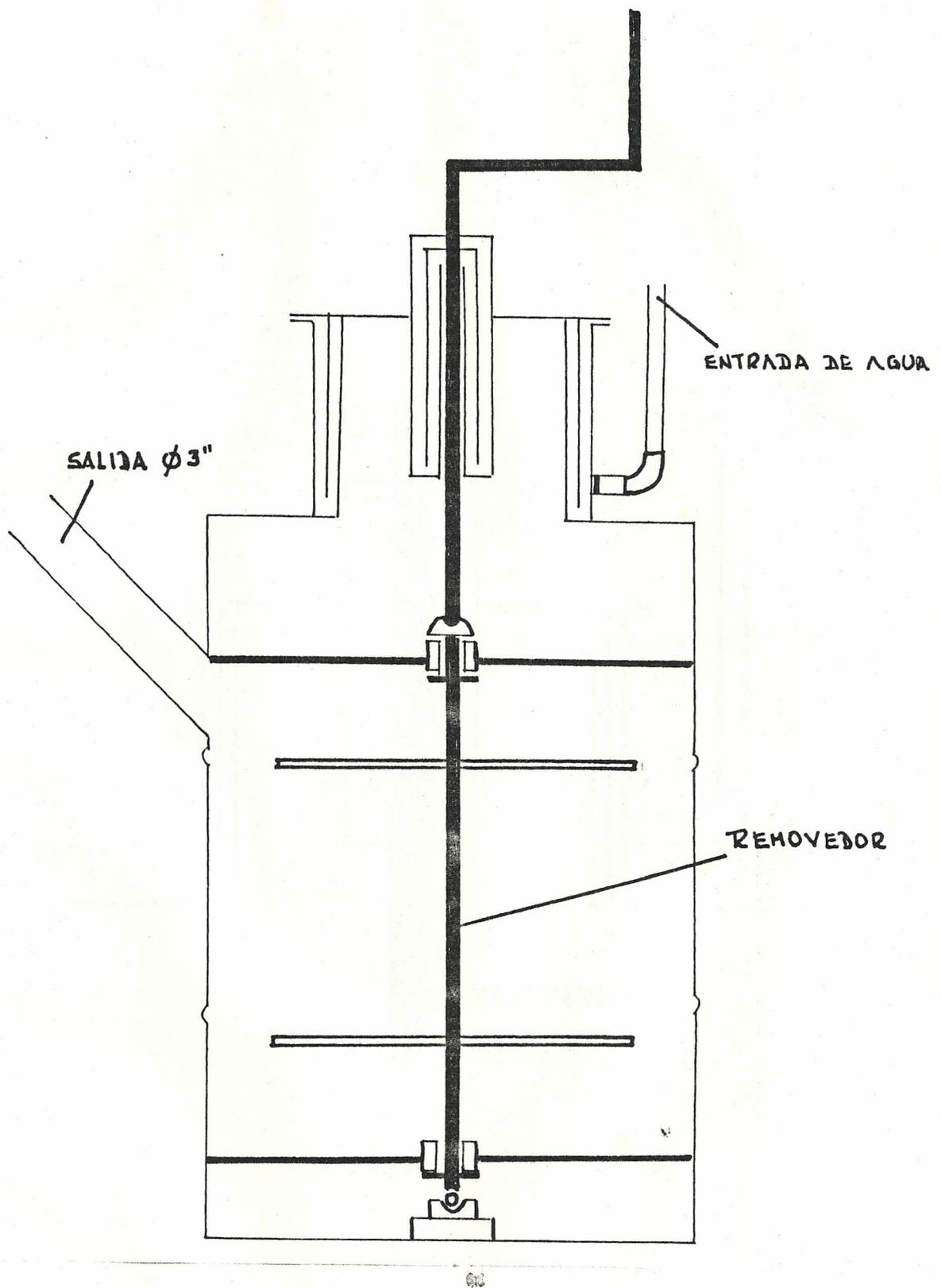


Fig. #15.- Diseño del agitador

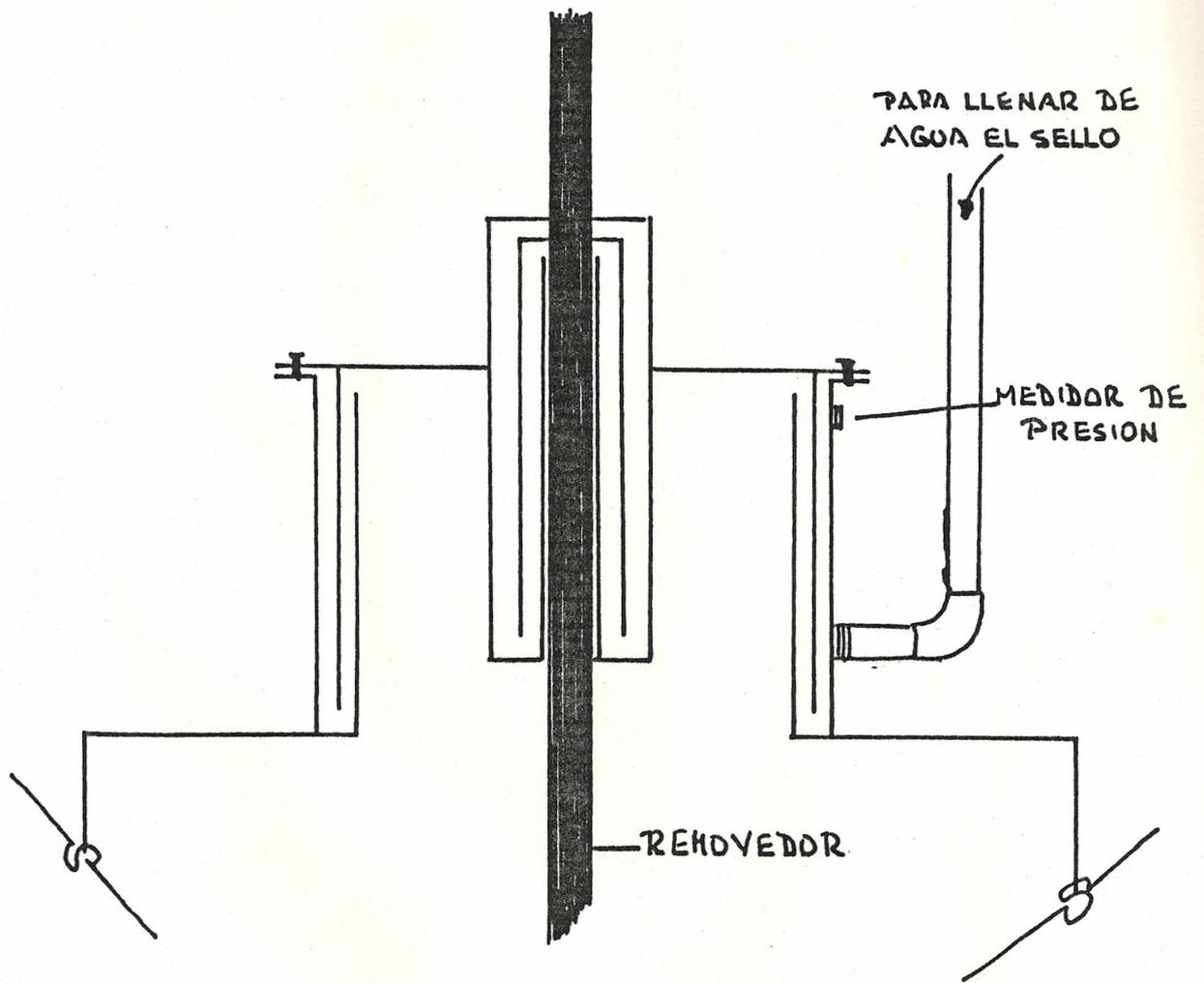


Fig. #16.- Diseño del sello de agua

El sello de agua del tanque fue construido con plancha de acero de 1/20" de espesor.

El sello de agua del agitador estaba constituido de 2 tuberías de hierro galvanizado como se puede apreciar en el diseño. Ver figura # 16.

La llave del control de salida del gas era de 1/2". El medidor de presión lo constituía una manguera plástica transparente en forma de U de 3/8" sobre una tabla la cual tenía pegada una cinta métrica que nos permitía tomar la lectura de la presión en centímetros de agua. La toma de presión se hacía solamente en el sello de agua del tanque.

El gasometro lo constituía un tanque de carburo lleno de agua dentro del cual se ponía en forma invertida un tanque de 20 litros de capacidad el cual flotaba conforme se llenaba el gas. Paralelamente se utilizó como gasómetro un neumático de caucho de automotor de aro 14, con una capacidad aproximada de 50 litros.

3.2.3. ENSAMBLADO GLOBAL DE LA PLANTA

Lo primero que se hizo fue soldar los cilindros de sellos de agua del tanque; luego en la tapa de dichos cilindros acoplar el

sello de agua del agitador con la manivela del mismo ya incorporada; posteriormente se hizo el asiento del agitador en el fondo del tanque debidamente centrado con soportes de varilla de hierro de 1/2" con una platina en forma de V, en la parte superior para que engrapara la punta de la manivela. Esto nos permitía sacar la tapa y realizar la carga inicial del digestor y tener acceso directo a su interior en un momento determinado. La tapa estaba asegurada con 8 tornillos, las pletinas que actuaban como aspas tenían un ángulo de ataque para facilitar su movimiento. Tanto el sello de agua del tanque como del agitador tenían conectada una pequeña tubería de cobre de 3/8" para poder introducir el agua que actuaba como sello. La tapa tenía además una tubería de 1/2" de hierro galvanizado para la salida del gas con una llave de paso incorporada y una reducción de 3/8" a la salida para conectarla a la manguera y a la llave de bronce que comunicaba al gasómetro. El medidor de presión estaba conectado a una pequeña tubería de cobre de 3/8" que tenía el sello de agua de la tapa en la parte superior lateral.

Un codo de 3" de hierro galvanizado fue soldado en la parte inferior del tanque conjuntamente con la tubería del mismo diámetro para la entrada de la mezcla. Para la salida se soldó una pequeña tubería de hierro galvanizado de 3.5" a la cual se le acopló otro pedazo de tubería plástica como salida de la mezcla. En la mitad del tanque se colocó una unión de hierro galvanizado con un tapón para poder tomar la temperatura y el PH de la mezcla.

3.3. PRUEBAS DEL DIGESTOR

3.3.1. PRUEBAS PRELIMINARES

Las primeras pruebas que se hicieron fue las de verificación de la confiabilidad del sistema en lo que respecta a los sellos de agua y posibles fugas de gas. Para detectar estas, se procedió a cargar el digestor con agua presurizandolo a unos 15 cm de columna de agua (presión estimada de operación del digestor), y pasando agua jabonosa por las uniones soldadas y otros puntos críticos. Donde se detectaba burbujas se aplicaba másilla plástica. También se comprobó el sistema de agitación.

3.3.2. CARGA INICIAL

Se puso estiércol en el tanque y se le añadió agua hasta que la mezcla presentó una consistencia fluida, se apreció que la relación apropiada para las condiciones de ésta materia prima era: 2 volúmenes de agua por uno de estiércol.

Luego se puso la tapa que tenía incorporada la manivela, se comprobó que ésta giraba sin dificultad; se aseguró la tapa con seis tornillos. Aproximadamente se pusieron 75 libras de estiércol.

3.3.3. SEGUIMIENTO DE OPERACION

Después de poner la carga inicial se comienza a tomar la temperatura diariamente obteniendo como promedio 26 - 27 °C. Así mismo se verificaba el PH con papel tornasol, el cual al principio dió una lectura entre 6 y 7. Al quinto día se observó que el gasómetro comenzaba a llenarse de gas, el cual pudimos verificar que tenía un mal olor y no era combustible. Fue a partir del décimo segundo día que comenzó a generarse gas en cantidades apreciables y con propiedades combustibles; la temperatura no variaba pero si el PH, que tenía un valor de 7.5 y la presión una

columna de agua de 7 centímetros.

A los 15 días el PH tenía un valor cercano a 8 y se comenzó a adicionar una carga diaria de mezcla de 1/40 del volumen del digestor (alrededor de 0.2 libras de SVX ft³/día). A los tres días de iniciar la adición de mezcla se notó que el lodo residual tenía mal olor, lo que significó que estaba saliendo materia prima sin digerir, así que se optó por adicionar la misma cantidad pasando un día. A los cinco días desapareció el mal olor. Después de 30 días pudimos constatar que el PH se mantenía igual a 7.8, la presión promedio en 12 cm de columna de agua y que las propiedades combustibles del gas eran excelentes, esto último se comprobó con un quemador casero, constituido por un neopreno galvanizado de 6"x1/2" unido a una ducha de baño y a un regulador de cocina. También se utilizó como combustible de un pequeño motor a gasolina que existía en el laboratorio de energía. En esta prueba se logró hacer funcionar dicho motor por breves segundos.

3.3.4. PRODUCCION DE GAS

A los 24 días pudimos observar que la producción de gas se estabilizó en

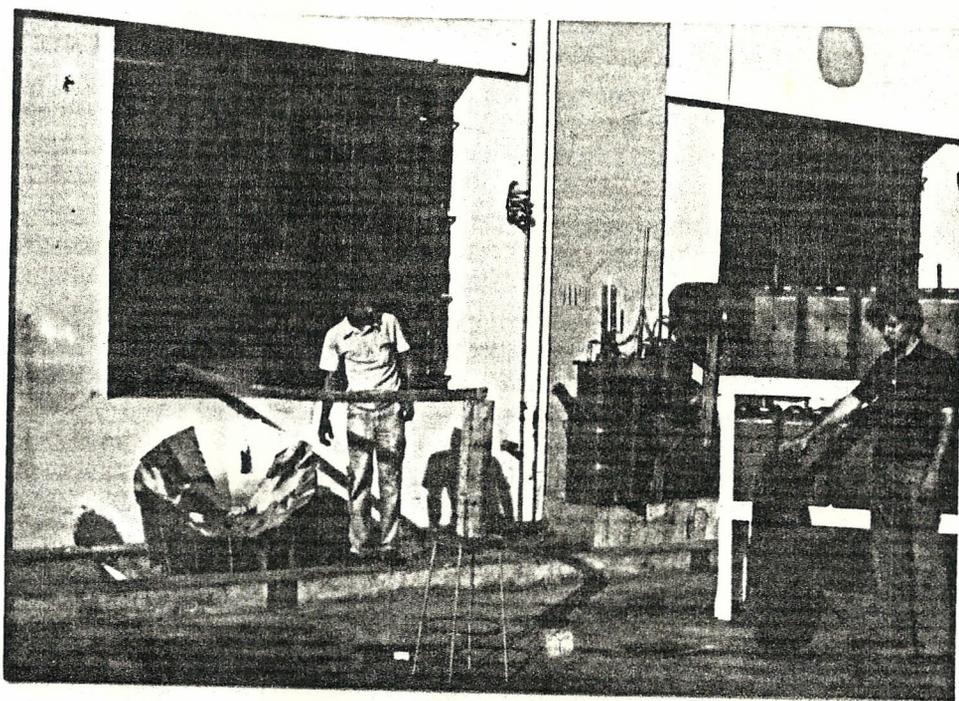
aproximadamente 25 litros diarios, ya que el tubo de caucho tomaba dos días en llenarse completamente (ver fotografía). Cuando los días eran soleados se generaba un 20% más de gas y se alcanzaba una presión máxima. Con una columna de agua de 13 cm, normalmente la presión fluctuaba entre los 9 y 10 cm de columna de agua. La generación de gas se mantuvo en los 25 litros diarios durante 60 días que se realizó la experiencia. Se analizó el gas y se comprobó que estaba constituido por 57-59% de metano.

3.3.5. PROBLEMAS OPERACIONALES

- Como se recolectó el estiércol del Matadero Municipal este estaba bastante seco; para que tuviera la condición fluida adecuada, había que añadirle agua, siendo un poco laboriosa esta tarea.
- Como el agua que se consume en la ciudad contiene cloro y fue esta la que se utilizó en la mezcla, pudimos notar que esto inhibía un poco a la bacteria metanogénica por su efecto bactericida.
- Como el digestor estaba en el patio de la ESPOL (a la intemperie) y no estaba aislado, el calor ganado debido al sol del

día se perdía por el frío de la noche y daba origen a una pequeña fluctuación de temperatura.

- Si se dejaba de agitar la mezcla un día, esta se endurecía, esto indicaba la formación de nata que determina un poco la generación de gas.
- Las cantidades medidas (en volumen) de gas generado eran aproximadas, por no tener equipo apropiado para hacer las mediciones con mayor exactitud.



CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- a. Los resultados demuestran que debido a la temperatura que existe en La Costa, da buenos resultados la implementación de los digestores.
- b. El rendimiento es poco menor que el teórico calculado.
- c. Se puede implementar en las comunidades rurales.
- d. Debido a la ausencia de oxígeno no se produjo oxidación interior del digestor, lo que garantiza la durabilidad del mismo.

4.2. RECOMENDACIONES

- Por el alto contenido de proteínas del lodo residual debería iniciarse una investigación experimental para determinar si puede utilizarse como alimento para el camarón.
- Ciertos criaderos de cerdos ocasionan problemas ambientales debido a los malos olores del estiércol, por lo que estimo que la utilización de digestores solucionaría esta situación.
- Es necesaria una mayor difusión del uso de digestores para poder utilizar este recurso. Deberá considerarse tanto el uso de gas como el del lodo residual (abono).
- No es aconsejable construir digestores en zonas frías.

APENDICE

A continuación se presenta información que se considera importante para la aplicación de digestores.

APENDICE I

COMPOSICION GENERAL DE BIO-GAS OBTENIDO DE DESPERDICIOS ORGANICOS.

CH ₄	METANO	54 - 70 %
CO ₂	DIOXIDO DE CARBON	27 - 45 %
N ₂	NITROGENO	0.5 - 3 %
H ₂	HIDROGENO	1 - 10 %
CO	MONOXIDO DE CARBONO	0.1 %
O ₂	OXIGENO	0.1 %
SH ₂	SULFATO DE HIDROGENO	TRAZAS

APENDICE II

VALOR CALORIFICO DEL BIO-GAS CON RESPECTO A OTROS GASES
COMBUSTIBLES.

GAS COMBUSTIBLE	VALOR CALORIFICO BTU/H ₂
GAS DE CARBON	450 - 500
BIO-GAS	540 - 700
METANO	896 - 1069
GAS NATURAL (METANO Y PROPANO)	1050 - 2200
PROPANO	2200 - 2600
BUTANO	2900 - 3400

H H2

APENDICE III

USO	ft ³	RAZON
Iluminación	2.5	Por hora por lámpara
Cocinar	8 - 16	Por hora por quemador
	12 - 15	Por persona por día
Refrigeradora	1 - 2	Por hora por ft ³ del re- frigerador
Motor a gasolina *		
(CH ₄)	11	Por hora por HP al fre- no
Bio-gas	16	Por hora por HP al fre- no
DE GASOLINA		
CH ₄	135 - 160	Por galón
Bio-gas	180 - 250	Por galón
DE DIESEL		
CH ₄	150 - 188	Por galón
Bio-gas	200 - 278	Por galón

* 25% de eficiencia.

APENDICE IV

CANTIDAD DE ESTIERCOL PRODUCIDO POR LOS ANIMALES

- Bobino adulto estabulado	66 libras/día
- Bobino adulto semiestabulado	33 libras/día
- Bobino adulto no estabulado	22 libras/día
- Cerdo adulto	5.72 libras/día
- Cerdo adulto (estiércol+orina)	12.32 libras/día
- gallina	0.26 libras/día
- Caballo	26.40 libras/día

* 22 libras de estiércol fresco de bobino producen \approx 14
ft³ de bio-gas x día.

APENDICE V

CONTENIDO DE CARBON Y NITROGENO EN LOS DESPERDICIOS

ESTIERCOL	NITROGENO TOTAL % PESO SECO	RAZON C/N
BOVINO	1.7	18
CERDO	3.8	25
GALLINA	6.3	15
CABALLO	2.3	25
<u>VEGETALES</u>		
PAJA DE TRIGO	0.5	150
CESPED	4.0	12
ASERRIN	0.1	200-500

APENDICE VI

CALCULOS DE C/N

Usando la tabla del apéndice III podemos calcular la razón C/N de mezclas de materias primas.

Ejemplo #1:

Calcular la razón C/N de 50 libras de estiércol de caballo (C/N = 2) más 50 libras de paja de trigo (C/N = 150).

Nitrógeno en 50 libras de estiércol de caballo

$$= 2.3\% \times 50 = 1.2 \text{ libras.}$$

Carbón en 50 libras de estiércol de caballo = 25 veces más que el nitrógeno

$$= 25 \times 1.2 = 30 \text{ libras}$$

Nitrógeno en 50 libras de paja de trigo

$$= 0.5\% \times 50 = 0.25 \text{ libras}$$

Carbón en 50 libras de paja de trigo = 150 veces más que el nitrógeno

$$= 150 \times 0.25 = 37.5 \text{ libras}$$

	estiércol		total
CARBON	30	37.5	67.5 lbs
NITROGENO	1.2	0.25	1.45 lbs

$$\text{Razón C/N} = 67.5/1.45 = 46.5$$

Ejemplo #2:

Calcular la razón C/N de 8 libras de cesped (C/N = 12) y 12 libras de estiércol de gallina (C/N = 15).

Nitrógeno en 8 libras de cesped

$$= 4\% \times 8 = 0.32 \text{ libras.}$$

Carbón en 8 libras de cesped = 12 veces más que el nitrógeno

$$= 3.8 \text{ libras}$$

Nitrógeno en 2 libras de estiércol de gallina

$$= 6.3\% \times 2 = 0.13 \text{ libras}$$

Carbón en 2 libras de estiércol de gallina = 15 veces más que el nitrógeno

$$= 15 \times 0.13 = 1.9 \text{ libras}$$

	estiércol	cesped	total
CARBON	3.8	1.9	5.7 lbs
NITROGENO	0.32	0.13	0.45 lbs

$$\text{Razón C/N} = 5.7/0.45 = 12.6$$

TABLAS

TABLA I

PRODUCCION DE GAS DEBIDO A LA RELACION C/N DEL DESPERDICIO FRESCO.

		Metano	CO ₂	Hidrog.	Nitrogeno
C/N BAJO					
Mucho Ni- trógeno.	Sangre, orina	poco	mucho	poco	mucho
C/N ALTO					
Poco Ni- trógeno.	Cesped, paja desperdicios de caña de azúcar, maíz, papas, etc.	poco	mucho	mucho	poco
C/N BALANCEADO					
	Estiércol, basura.	mucho	algo	poco	poco

TABLA II

PROBLEMAS CON EL PH

CONDICION	POSIBLE RAZON	SOLUCION
Demasiado acido PH menor a 6	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se está añadiendo material fresco muy rápido. 2. Demasiada fluctuación de temperatura. 3. Sustancias tóxicas. 4. Nata muy gruesa. 	<p>Reducir la nata de carga; añadir un poco de amoníaco.</p> <p>Estabilizar la temperatura.</p> <p>Remover la nata.</p>
Demasiado alcalino PH 9 o mayor	<ol style="list-style-type: none"> 1. Material fresco Inicial bastante alcalino. 	<p>Paciencia</p> <p>Nunca poner acido en el digestor.</p>

BIBLIOGRAFIA

- 1.- C. Hopping, Producing Your Own Power How to Wake Nature's Energy Sources Work for You (Rodale Press Inc., 1974), pp. 145-147-149-150
- 2.- D. Stafford, D. Haukes y R. Horton, Methane Production From Waste Organic Matter (C.R.C. Press, 1980), pp. 6-7-8-9-22.
- 3.- J. Fry, Methane Digester for Fuel Gas and Fertilizer. pp. 9-10-11-12-18-19.