

PN-AY-432

ser=52646

**INSTITUTO CENTROAMERICANO DE INVESTIGACION  
Y TECNOLOGIA INDUSTRIAL  
(ICAITI)**

**MANUAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION  
PLANTA DE BIOGAS**

**(D102)**



**Proyecto de Lefia y Fuentes Alternas de Energía  
ICAITI-ROCAP No. 596-0089**

**1983**

## CONTENIDO

Introducción	1
Descripción general de la planta y de su operación	2
<b>1. Consideraciones generales</b>	<b>5</b>
La fermentación anaeróbica	
Temperatura	
Tipo de material orgánico	
Relación carbono-nitrógeno	
El pH.	
Período de retención	
Continuidad de operación	
Otros agentes	
<b>2. Condiciones del diseño</b>	<b>13</b>
Zona de recolección	
Fuente de agua	
Pileta de carga	
Biodigestor	
Pozo de descarga y pileta de compensación	
Sistema de recolección	
Sistema de conducción	
Almacenamiento de biogás	
Sistema de distribución	
Aparatos para usar biogás	
Cómo usar el efluente	
Natas sobre el contenido del digestor	
<b>3. Diseño</b>	<b>29</b>
Preliminar	
Demanda de biogás	
Productividad de biogás	
Volumen del digestor	
Cálculo de la carga diaria	
Dimensionamiento del digestor	
Aplicación a un caso	
<b>4. Construcción del digestor</b>	<b>41</b>
Indicación preliminar	
Limpia, chapeo y desmonte	
Trazo	
Excavación del digestor	
Construcción del piso	
Levantado de paredes	
Acabado de las paredes del piso	
Tubos de carga	

Formaleta de la cubierta  
Armadura de refuerzo de la cubierta  
Vertido del concreto de la cubierta  
Acabados finales  
Pileta de carga, pozo de descarga y pileta de compensación  
Red de distribución de biogás  
Almacenamiento de biogás

**5. Operación de la planta 57**

Carga inicial  
Carga y descarga diaria  
Almacenamiento de biogás  
Usos del biogás y del efluente

**ANEXOS 61-70**

Diagrama de la fermentación anaeróbica  
Glosario  
Cuadro de problemas comunes de operación  
Parámetros involucrados en la fermentación anaeróbica  
Composición del biogás  
Composición del efluente  
Sólidos totales en sustratos diferentes  
Poder calorífico de diferentes combustibles  
Equivalencia del biogás con otros combustibles  
Planos de construcción (Biodigestor 15 m<sup>3</sup>)

## INTRODUCCION

En la actualidad, en Centroamérica, en especial en las zonas rurales, están recibiendo mucha atención las plantas para producción de BIOGAS. En estas plantas se usa principalmente estiércol animal como materia prima, y se obtiene BIOGAS y bioabono.

El BIOGAS es un excelente combustible que puede usarse para cocinar, para iluminación y para operar motores pequeños. El bioabono es una sustancia viscosa que no tiene mal olor y que es rica en elementos nutrientes naturales para el suelo.

La parte principal de una planta es el "digestor", en el que el estiércol que se ingresa sufre una fermentación anaeróbica cuyos subproductos son el biogás y el bioabono.

Resulta muy atractivo un sistema en el que, por una parte se procesan desechos que resultan inútiles, de manejo desagradable, y que promueven la proliferación de moscas y otros animales indeseables, y en el que, por otra parte, se obtienen productos útiles que normalmente deberían comprarse.

La tecnología no es nueva, ya que ha sido aplicada desde hace muchos años en diversos países, en algunos de ellos con mejores resultados que en otros. El interés actual en las plantas de BIOGAS se debe principalmente a la carestía de los energéticos, a la creciente deforestación y a los riesgos de deterioro ambiental.

La propagación en gran escala de esta tecnología es deseable, aunque para eso se deben atender circunstancias económicas que afectan toda campaña de difusión de este tipo, en especial, lo que corresponde a los gastos que debe hacer cada interesado. Por eso, esta tecnología debe ponerse a disposición de los usuarios de modo que tenga la máxima sencillez constructiva y operacional, y que sea de bajo costo.

Este manual describe el diseño, la construcción y la operación de una planta doméstica de producción de BIOGAS que requiere sólo materiales comunes en Centroamérica y técnicas de construcción tradicionales.

El prototipo de la planta que se describe ha sido construido y probado por personal técnico del Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial, ICAITI, y sirve como unidad demostrativa y de promoción. Tanto la planta prototipo como las investigaciones realizadas para diseñarla y construirla, así como este manual, son parte del Proyecto de Leña y Fuentes Alternas de Energía, patrocinado por la Oficina Regional para Programas Centroamericanos, ROCAP.

## **DESCRIPCION GENERAL DE LA PLANTA Y DE SU OPERACION.**

La planta de biogás que se describe en este manual consiste, esencialmente, en cuatro partes: un tanque cerrado que se llama "digestor" o "biodigestor"; una pileta de carga; un pozo de descarga con una pileta de compensación; y un sistema de conducción y almacenamiento de biogás.

El digestor es un tanque cerrado, de forma alargada, que se construye bajo tierra. Por un extremo está conectado, mediante dos tubos con la pileta de carga. Y por el otro, está conectado directamente con el pozo de descarga. En la parte superior (cubierta), el digestor tiene conectada una tubería pequeña de metal, por la cual fluye el biogás.

Si el digestor se llena con una mezcla preparada con desechos animales (estiércol, generalmente) y desechos vegetales, mezclados con agua, y esa mezcla se deja un tiempo adecuado dentro del tanque o digestor, se produce una fermentación de los materiales que la forman. Esta fermentación produce el BIOGAS y un residuo o efluente que se conoce como BIOABONO.

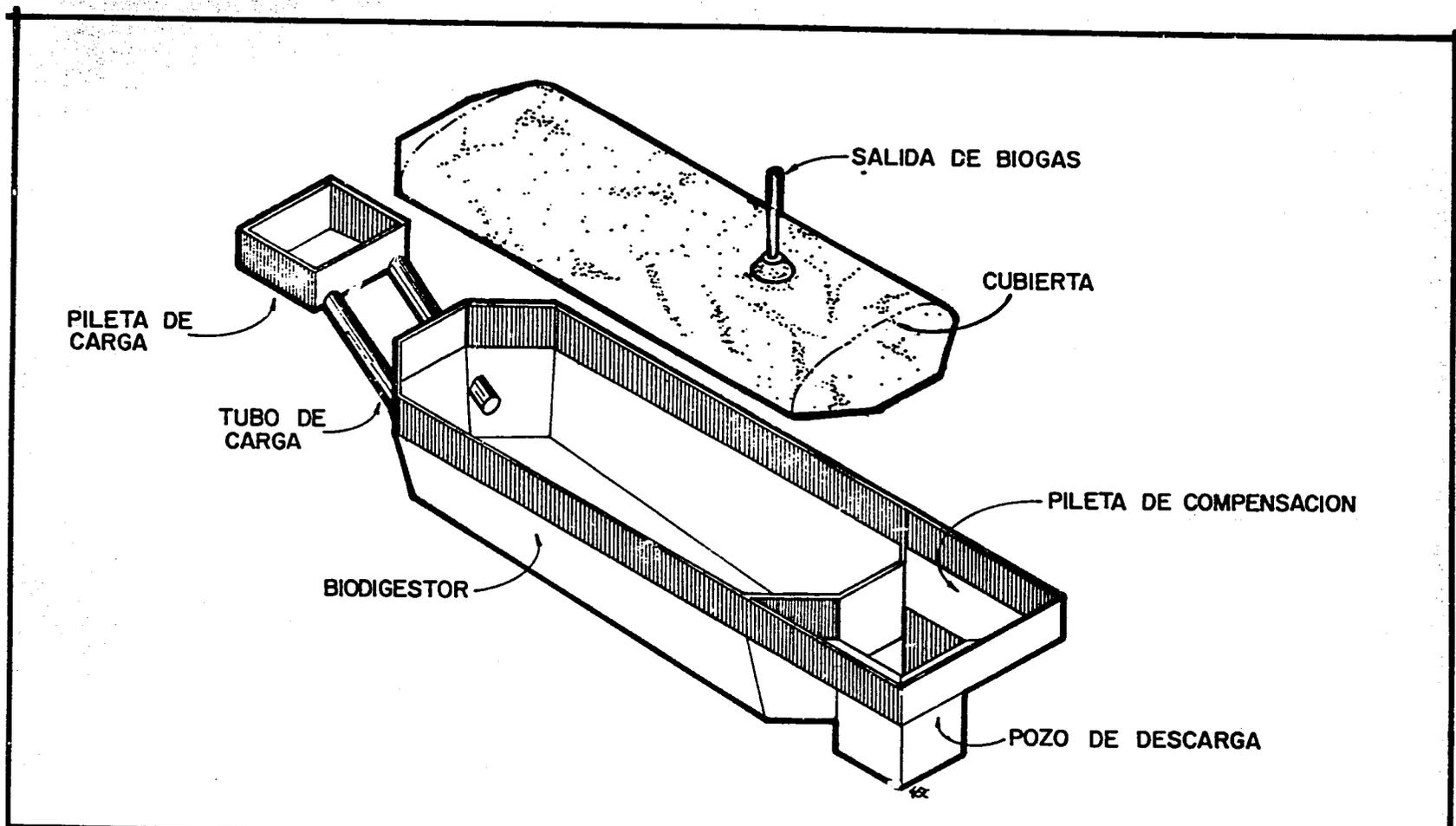
La pileta de carga sirve para depositar y homogenizar en ella la mezcla con que se alimenta el digestor. Esta pileta es pequeña y de poca profundidad. La mezcla ya homogenizada se deja reposar durante unos minutos para que se asienten las piedras y la tierra que pudieran llevar consigo los materiales, con el fin de evitar que ingresen al digestor en el que, con el tiempo, producirían un azolvamiento indeseable. Al retirar unos tapones que cierran el paso por los dos tubos, la mezcla pasa al tanque.

Por el pozo de descarga se retira la mezcla ya usada que sale del digestor (efluente). Este pozo es hondo, y su profundidad es mayor que la del tanque. Por arriba es abierto y tiene un ensanchamiento (pileta de compensación) que hace posible y cómodo recoger y retirar el efluente, y que sirve de medio de compensación para los cambios de nivel del contenido del digestor.

La operación de la planta se inicia con la primera carga del digestor, mediante la cual se llena hasta el nivel de operación; esta primera carga debe permanecer varios días en el interior, hasta que se compruebe que se produce el biogás en cantidad aprovechable. Cuando esto ocurre, se inicia la carga diaria.

Para que la planta produzca biogás constantemente, y para que no surjan problemas de operación, es necesario alimentar al digestor todos los días con un poco de mezcla ("carga diaria") que mantenga la producción del biogás a régimen constante; esta carga diaria se introduce por la pileta de carga. Cuando se hace la carga diaria, es necesario retirar del pozo de descarga un volumen igual al de la mezcla que se cargó. Y este efluente puede aplicarse directamente a los campos de cultivo.

Aparte del sistema de conducción y almacenamiento, una planta tiene otras instalaciones accesorias: zona de recolección de los desechos orgánicos, fuente de agua, instalaciones para uso del biogás e instalaciones para uso del bioabono. Estas instalaciones accesorias se describen con detalle en este manual, en secciones especiales.



PILETA DE CARGA

TUBO DE CARGA

BIODIGESTOR

SALIDA DE BIOGAS

CUBIERTA

PILETA DE COMPENSACION

POZO DE DESCARGA

**ICAITI**

**BIOGAS**

LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA

ELEMENTOS DEL DIGESTOR

1

## CONSIDERACIONES GENERALES

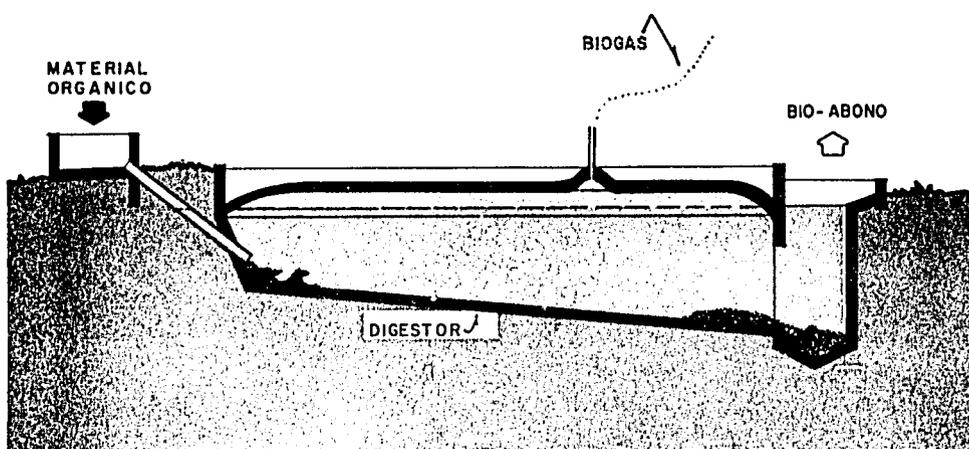
### LA FERMENTACION ANAEROBICA

La fermentación anaeróbica es un proceso biológico mediante el cual la materia orgánica, en ausencia de aire, puede ser convertida en un gas rico en metano, llamado "biogás", y un residuo rico en nitrógeno, llamado "bioabono" o "efluente".

El biogás es un gas combustible formado por metano ( $\text{CH}_4$ ) en un 60 por ciento, y por dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en un 40 por ciento. Suele contener pequeñas cantidades de hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, monóxido de carbono, y trazas de sulfuro de hidrógeno ( $\text{SH}_2$ ). Este último ingrediente le confiere un olor característico a azufre, lo que se aprovecha para la detección de fugas. El biogás se quema con una llama azul pálido, casi invisible a la luz del día; su poder calorífico es cercano a 5 342 kilocalorías, valor inferior al del propano y del butano.

El bioabono es un material viscoso, rico en nitrógeno y que, además, contiene cantidades considerables de potasio, fósforo y otros elementos indispensables para el desarrollo vegetal. Desde cualquier punto de vista, las condiciones del bioabono son mucho mejores que las del material orgánico sin digerir, ya que los nutrientes del primero son más asimilables por las plantas que los del segundo.

En una instalación para producción de biogás, el proceso se realiza dentro de un recipiente o tanque sin aire, denominado "digestor", "biodigestor" o "digestor anaeróbico".



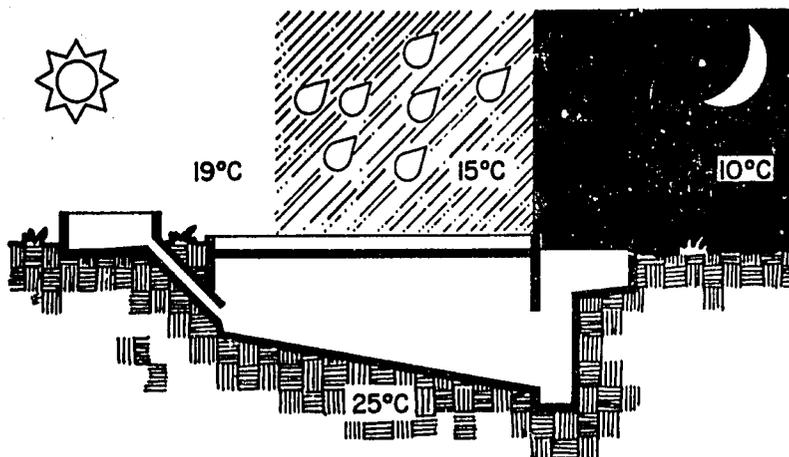
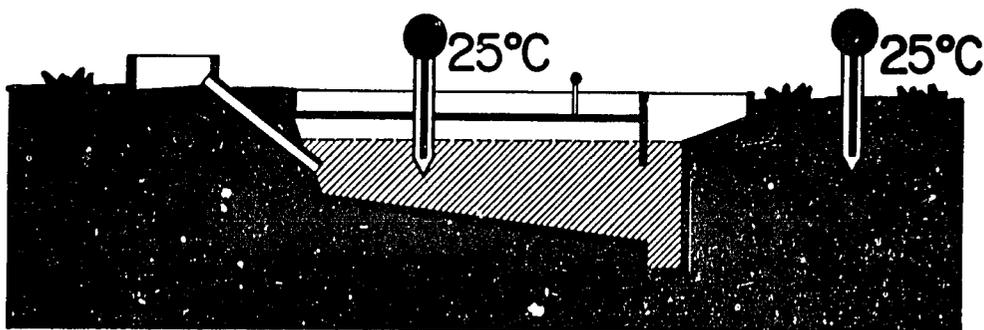
En el proceso de fermentación anaeróbica intervienen varios agentes que afectan directa o indirectamente la productividad del digestor. Estos son: temperatura, tipo de material orgánico, relación carbono-nitrógeno, pH, período de retención y continuidad de la operación de la planta.

## TEMPERATURA

Las condiciones de temperatura resultan ser el aspecto más importante en la productividad de un digestor. Se ha logrado establecer que, por lo general, a mayor temperatura, se logra mayor productividad, aunque, por supuesto, es necesario que se reúnan otras condiciones especiales de las que se trata más adelante.

Aún más importante que el nivel de temperatura, ya sea ésta alta o baja, es el mantenerla lo más constante posible, ya que las fluctuaciones perjudican la acción bacteriana que se desarrolla dentro del tanque y que es responsable de la fermentación.

Una forma sencilla de lograr que la temperatura dentro del digestor se mantenga constante día y noche, es construirlo enterrado, para aprovechar la propiedad natural aislante de la tierra.



## TIPO DE MATERIAL ORGANICO

Este es otro elemento importantísimo en la operación de un digestor, en vista de que no todos los materiales orgánicos tienen la misma capacidad de producir biogás.

Puede emplearse una gran variedad de desechos orgánicos, animales, vegetales o humanos, en algunos casos solos y, en otros, mezclados.

Existen dos formas de escoger los materiales orgánicos para la mezcla que usa un digestor; puede usarse solamente desechos animales o bien desechos animales con una pequeña proporción de vegetales.

Los materiales orgánicos de origen animal más comúnmente empleados son: estiércol vacuno, porcino y avícola. Los residuos vegetales más usados se obtienen de: plantas de maíz, arroz, trigo, café, grama, serrín, e incluso basura doméstica.

Si se usan desechos vegetales, lo más aconsejable es hacerlo de manera que no representen más del 25 por ciento del total del volumen de desechos (es decir, no más del 33o/o del volumen de desechos animales). Esta limitación tiene el fin de evitar que un alto contenido de fibra vegetal en la mezcla pueda llegar a interferir en el proceso de fermentación. Los desechos vegetales deben recortarse en trozos pequeños, para facilitar su digestión.

Los desechos orgánicos vacunos y porcinos, en particular, se diluyen con agua en proporción 1 a 1, es decir, usando una parte de agua por cada parte de material orgánico. Esta dilución tiene el propósito de adecuar los sólidos de la mezcla para que se logre un mejor proceso de fermentación. En el anexo de este manual puede hallarse información sobre los contenidos de sólidos totales de varios materiales orgánicos; estos datos facilitan la elección de una mezcla correcta para la carga del digestor.

Al ingrediente no líquido de la mezcla que se usa en un digestor, se le suele llamar "sustrato", término que usaremos en lo que sigue de este manual.



COMPOSICION DE LA MEZCLA

## RELACION CARBONO-NITROGENO

La relación carbono-nitrógeno (C/N) tiene mucha importancia en la productividad de una planta de biogás. Esta relación está dada por un número que representa el resultado de dividir la cantidad de carbono (C) entre la cantidad de nitrógeno (N) que tiene un material orgánico dado. Las relaciones carbono-nitrógeno se han obtenido para varios materiales, y se han preparado tablas con los valores; estas tablas permiten hacer mezclas adecuadas para la carga de un digestor.

Cuál es la importancia de la relación carbono-nitrógeno en los procesos de fermentación anaeróbica, lo explica la presencia de bacterias en el interior del biodigestor, bacterias que son los agentes del proceso.

El carbono es importante, pues es fuente de energía para las bacterias que hay en el sustrato; y el nitrógeno, por su parte, sirve para la formación de la estructura de nuevas células. Por lo tanto, los contenidos de estos dos elementos deben estar en una proporción adecuada para proporcionar un ambiente propicio para que la fermentación ocurra en forma apropiada y sostenida.

Teóricamente, las bacterias consumen 30 veces más rápidamente el carbono que el nitrógeno; por lo tanto, 30 sería una relación C/N ideal. Sin embargo, se acostumbra trabajar con relaciones C/N entre 15 y 30 sin que se presenten problemas de funcionamiento. Una relación C/N con valor de 18, por ejemplo, indica que el material orgánico tiene un contenido de carbono que equivale a 18 veces el de nitrógeno.

Valores inferiores a 15, por ejemplo, 5, indican que hay demasiado nitrógeno en el material, y muy poco carbono; por lo tanto, este último se agotará con rapidez, causando la paralización del proceso. En cambio, valores mayores de 30 indican exceso de carbono en el material orgánico, y que la provisión de nitrógeno se consumirá rápidamente haciendo que el proceso marche con lentitud.

RELACION CARBONO/NITROGENO (C/N)	
MATERIAL	C/N
ESTIERCOL DE VACUNOS	16 - 20
ESTIERCOL DE CERDO	15 - 20
ESTIERCOL DE GALLINA	6 - 7
ESTIERCOL DE CABALLO	25
DESECHOS DE MATADEROS	2
GRAMA NAPIER	41
GRAMA CORRIENTE	12
TALLOS DE TRIGO	128
ASERRIN	200-500
RASTROJO DE MAIZ	530

Algunos materiales de desecho, como la gallinaza, tienen una relación C/N de valor bajo, debido a su alto contenido de nitrógeno, por lo que deben emplearse en combinación con un material que aporte exceso de carbono.

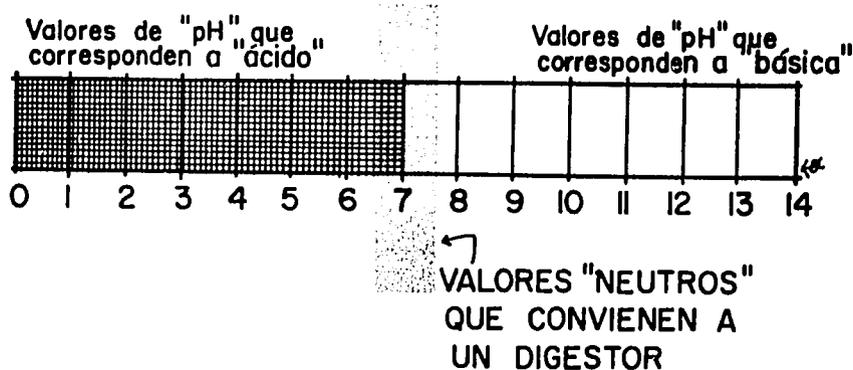
## El pH.

El pH indica el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia, y se puede medir mediante el empleo de papeles reactivos que se expenden en el comercio, o con potenciómetros o medidores electrónicos del pH.

Para que el proceso de fermentación anaeróbica marche correctamente, el valor de pH debe mantenerse entre 6.5 y 7.5, o sea cerca del valor neutro de la escala (que va de 0 hasta 14).

pH 6.5 a 7.5

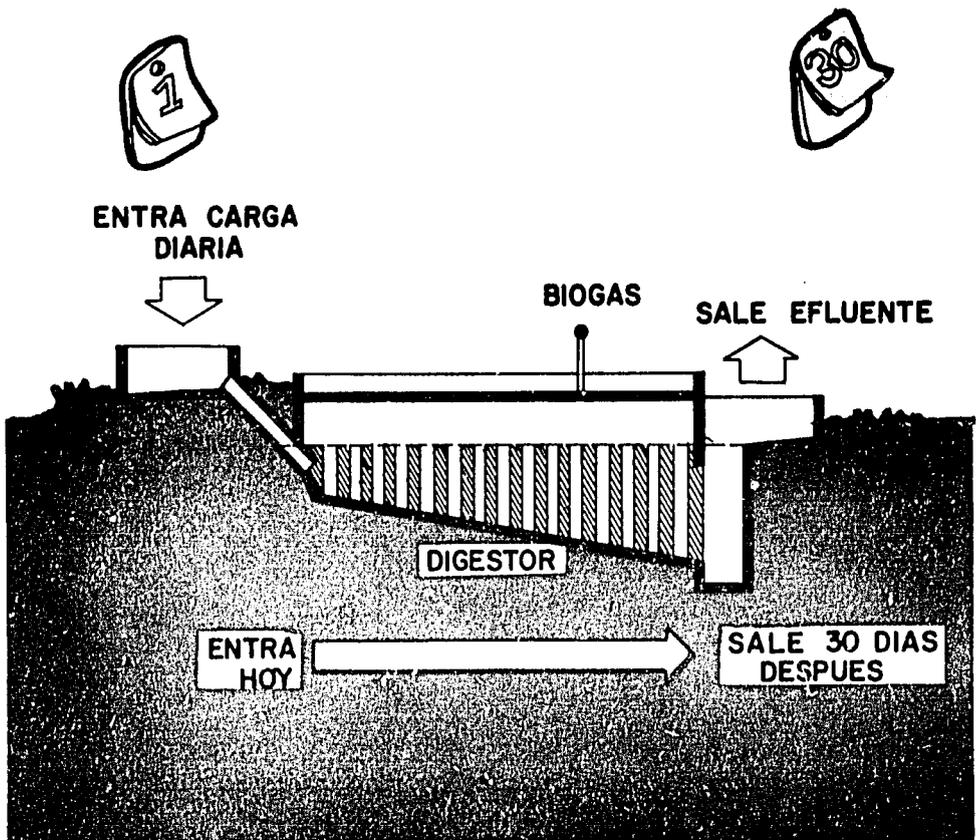
Cuando se emplean materiales de origen animal en el proceso, por lo general no se presentan problemas de acidez; pero con algunos de origen vegetal, tal como la pulpa de café, es frecuente que haya exceso de acidez, y si no se somete a control esta anomalía, puede detener el proceso de fermentación. Lo más recomendable en estos casos es agregar pequeñas cantidades de agua de cal, o bien suspender la carga de mezcla, por varios días, hasta que el pH se normalice.



## PERIODO DE RETENCION

El período de retención es el número de días que una tanda de mezcla permanece dentro del digestor desde la fecha de su ingreso hasta la fecha de su salida. La duración del período se ha de fijar atendiendo a varias características del proceso, entre ellas, la temperatura ambiente, el tipo de sustrato y el volumen de la tanda diaria que recibe el digestor.

Generalmente, cuando la temperatura ambiente es alta (cerca de  $30^{\circ}\text{C}$  en las costas), pueden usarse períodos de retención cortos, por ejemplo, de 15 a 30 días, siempre que se disponga diariamente de suficiente material para cargar el digestor. Si la temperatura ambiente es baja (cerca de  $20^{\circ}\text{C}$ , en el altiplano), es recomendable usar períodos de retención más largos, de 30 a 60 días.



## **CONTINUIDAD DE OPERACION**

Para que la planta produzca las cantidades esperadas de **BIOGAS**, con la calidad necesaria, es indispensable que la operación sea continua. Esto significa que tanto la carga diaria como la descarga diaria deben hacerse sin interrupción, y preferiblemente a una hora fija del día.

Este requisito resulta de la necesidad de ofrecer a las bacterias un régimen regular que no altere las condiciones de alimentación ni el medio en que se desarrollan. La primera manifestación que se observa en una planta de **BIOGAS** cuando se altera la continuidad y el ritmo de operación, es una merma notoria en el volumen de gas producido.

## **OTROS AGENTES**

Existen otros agentes que afectan la productividad de un digester; por ejemplo, el tipo de alimento que consumen los animales cuyo estiércol se usa en la mezcla, porque según el alimento, así será la composición del estiércol. La mezcla correctamente hecha al cargar el digester, y la ausencia de material inerte (piedras, tierra) en la mezcla usada, son otros dos agentes que contribuyen a un mejor funcionamiento de la planta y a mayor productividad.

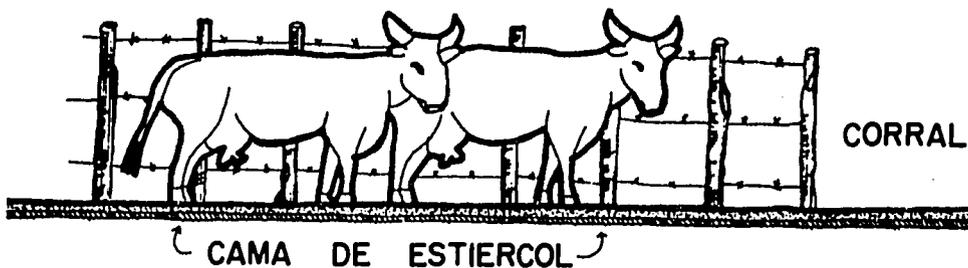
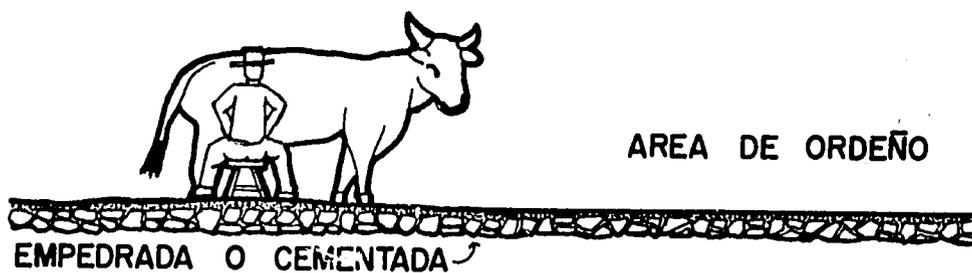
## 2

CONDICIONES  
DEL DISEÑO

## ZONA DE RECOLECCION

Es conveniente que la zona en la que se recolecta diariamente el estiércol para la mezcla esté delimitada, y que su piso sea firme y limpio; esto último es necesario para evitar que el estiércol acarree consigo materiales inertes.

Los lugares que pueden reunir estas condiciones son el corral del ganado y los establos de ordeño; resulta sumamente favorable construir un piso de cemento en la zona de recolección, para conseguir las condiciones más apropiadas.



## FUENTE DE AGUA

Resulta conveniente disponer de un depósito para agua que por lo menos tenga la capacidad para el gasto de un día. Puede usarse una pila o un pozo excavado en el suelo. La fuente puede contener agua pluvial, pero libre de jabón o detergentes.

## PILETA DE CARGA.

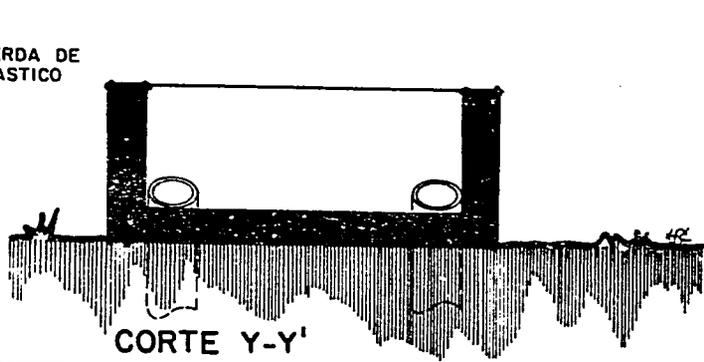
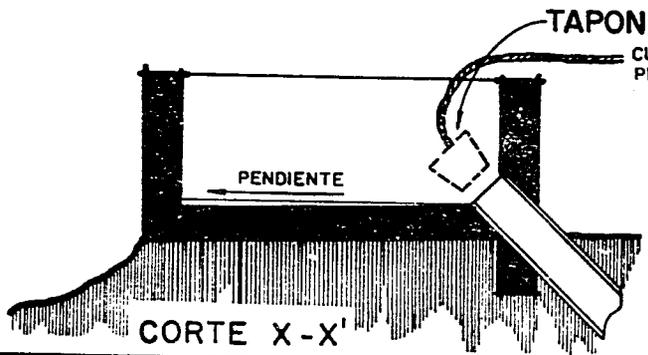
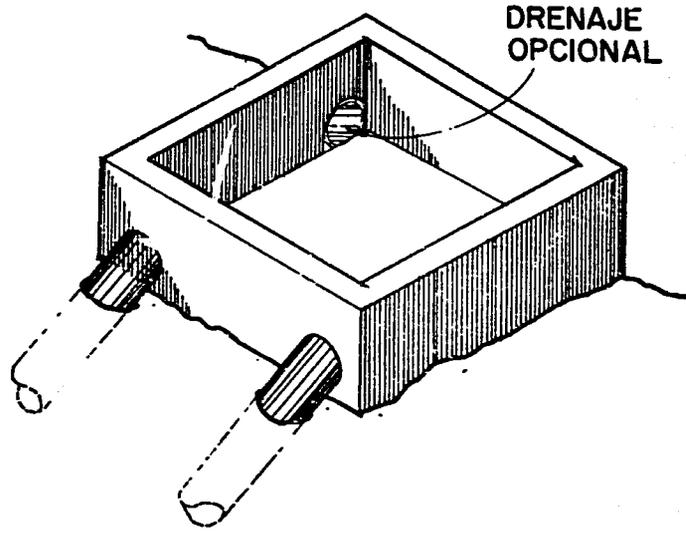
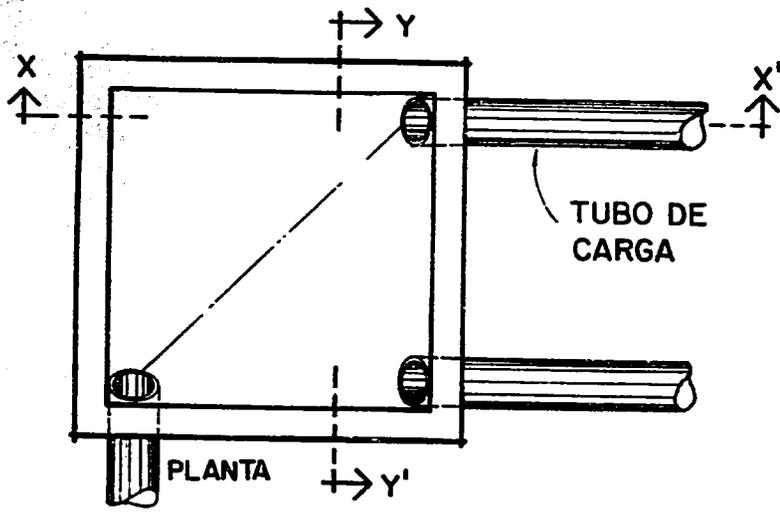
La piletta de carga es un depósito que puede disponerse de forma rectangular y de poco fondo, siempre que su volumen admita por lo menos la cantidad de mezcla que se prepara por día. La forma rectangular resulta mejor, porque facilita la construcción.

En un lado de la piletta se instalan dos tubos de carga, con la parte inferior de sus bocas a ras del piso de la piletta, y que comuniquen con el biodigestor.

Debido a que la carga puede acarrear materiales inertes, es necesario disponer la piletta de manera que estos materiales no pasen al digestor. Esto se logra si se construye el piso de la piletta con inclinación hacia el lado opuesto de la boca de los tubos de carga. Así se consigue que, dejando reposar la mezcla durante unos minutos, se asienten los materiales inertes y se depositen en el extremo más alejado de los tubos, en el que quedan depositados aunque se vacíe la piletta. Si el relieve del terreno en que se construya lo permite, se puede dejar colocado un drenaje mediante el cual se evacúan los materiales asentados; cuando esto no sea posible, los materiales asentados han de retirarse manualmente.

La piletta de carga es la parte de la planta que debe estar situada más cerca de la zona de recolección del estiércol. Cuando se trate de plantas en que éste se obtiene de los establos de ordeño, resulta muy ventajoso construir un canal que permita, al lavar el piso del establo, conducir el estiércol por gravedad hasta la piletta. Pueden estudiarse soluciones análogas para otros casos, siempre que simplifiquen las operaciones de recolección y de carga.

Cuando la planta ya esté terminada, debe colocarse un tapón de madera en la boca de cada tubo de carga, del lado de la piletta; estos tapones deben ser fácilmente removibles a mano sin que para ello sea necesario tocar el material de la mezcla.



**ICAITI**

**BIOGAS**

LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA

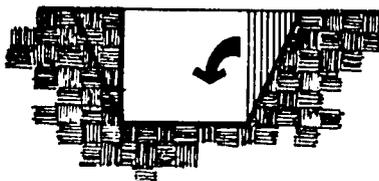
PILETA DE CARGA

## BIODIGESTOR

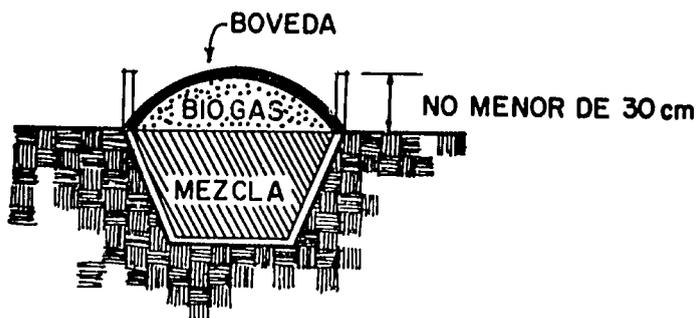
Para fijar las características más apropiadas del digestor, se necesita tomar en cuenta varios aspectos importantes, los cuales se comentan a continuación.

**Temperatura.** Ya se ha indicado en este manual que la temperatura interior de un biodigestor debe ser constante, y que una de las formas de lograrlo es construirlo bajo tierra, para aprovechar las propiedades aislantes naturales del suelo.

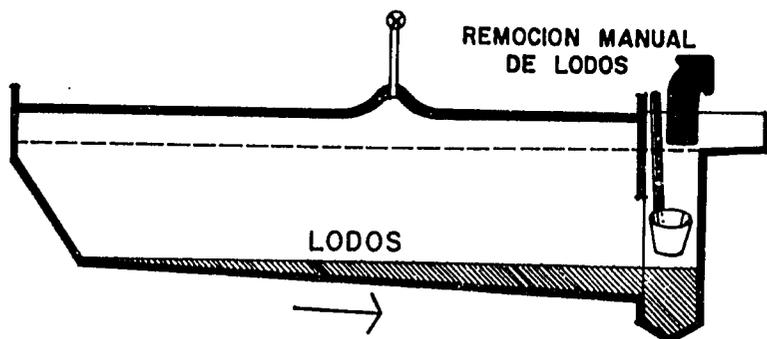
**Comportamiento estructural.** Si el biodigestor se construye enterrado, debe tomarse en cuenta el empuje del suelo sobre las paredes. A pesar de que resultaría más sencillo construir las paredes en forma vertical, el empuje del suelo en este caso sería el máximo, y las paredes deberían ser robustas. En cambio, si se construyen inclinadas, el empuje se reduce, las paredes pueden ser más livianas y económicas; y se obtiene la ventaja adicional de que esta inclinación favorece el funcionamiento del digestor cuando ya está en operación.



**Cubierta.** El biogás producido se acumula en la parte superior del digestor, y es la cubierta de éste la que debe impedir que se pierda en la atmósfera; por eso, la cubierta debe construirse de material apropiado, y con una forma conveniente. Según estas condiciones, se necesita que la cubierta sea rígida, que no sufra corrosión y que asegure que no habrá fugas. Una manera de conseguir estas condiciones es construir la cubierta de concreto y en forma de bóveda, lo cual reduce a un mínimo las grietas.



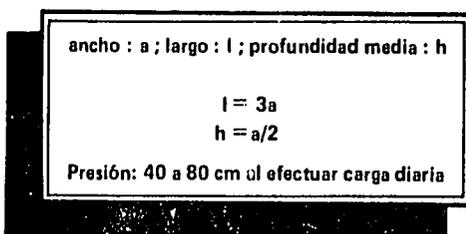
**Materiales Inertes (Lodos).** Inevitablemente, algunos materiales inertes ingresan al digestor con cada carga diaria; y si no se retiraran, resultarían azolvándolo. Es un trabajo muy incómodo y desagradable el vaciar y limpiar un digestor manualmente, aparte de que eso representa interrumpir la operación y causa problemas. Para evitar, tanto el azolvamiento como la operación de limpieza total, se dispuso que el piso del tanque sea inclinado para que los depósitos se desplacen hacia el extremo de salida de donde pueden ser removidos mecánicamente desde el exterior, en pequeñas cantidades y cada cierto lapso de tiempo.



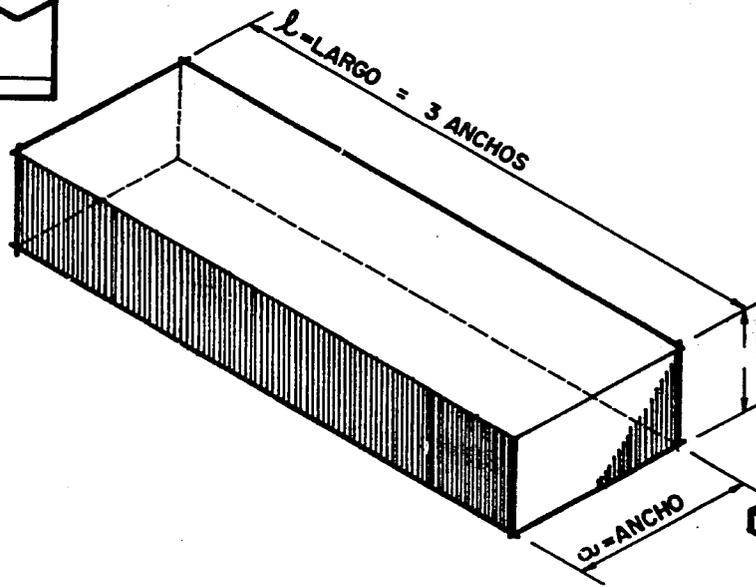
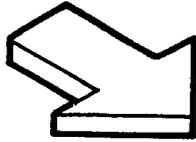
**Flujo.** En este biodigestor, que es del tipo semicontinuo porque se le carga una tanda por día y se retira un volumen igual de efluente, el flujo es tal que cada tanda que se carga desplaza a la tanda del día anterior, ocupando su lugar, y así sucesivamente. De este modo, cada tanda se ve sometida a un desplazamiento progresivo hasta que llega al extremo de salida. Este desplazamiento ocurre en un período de tiempo predeterminado (período de retención) durante el cual se aprovecha al máximo el potencial del material de la tanda para producir biogás; transcurrido el período de retención, el material se ha degradado convenientemente como para ser usado para abonar tierras de cultivo.

Para provocar el desplazamiento necesario se debe construir la pileta a un nivel más alto que el digestor, así, al depositar una tanda de carga, se produce una columna de presión sobre el contenido del digestor.

Con el propósito de favorecer el desplazamiento se ha de dar al tanque una forma alargada y unas dimensiones que guarden una relación geométrica que favorezca el flujo. En el recuadro siguiente se indican las relaciones geométricas principales.



PILETA DE CARGA



$$h = \text{PROFUN.} = \frac{\text{ANCHOS}}{2} = \frac{a}{2}$$



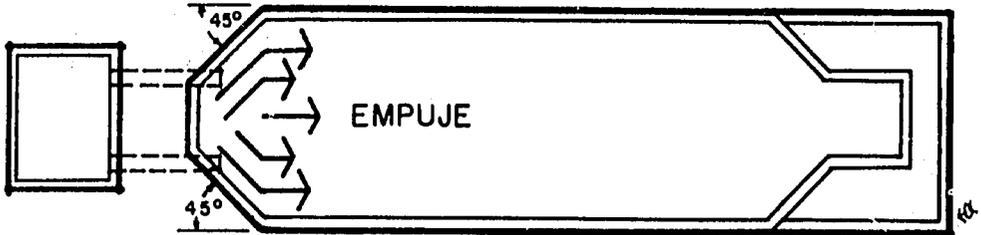
PILETA DE DESCARGA

**ICAITI**

**BIOGAS**  
LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA

PROPORCIONES  
TEORICAS DEL DIGESTOR

Para lograr que el efecto de la columna de presión sea más directo y eficaz, se dispuso que las esquinas del tanque, en el extremo de carga, fueran oblicuas (a  $45^{\circ}$ ).

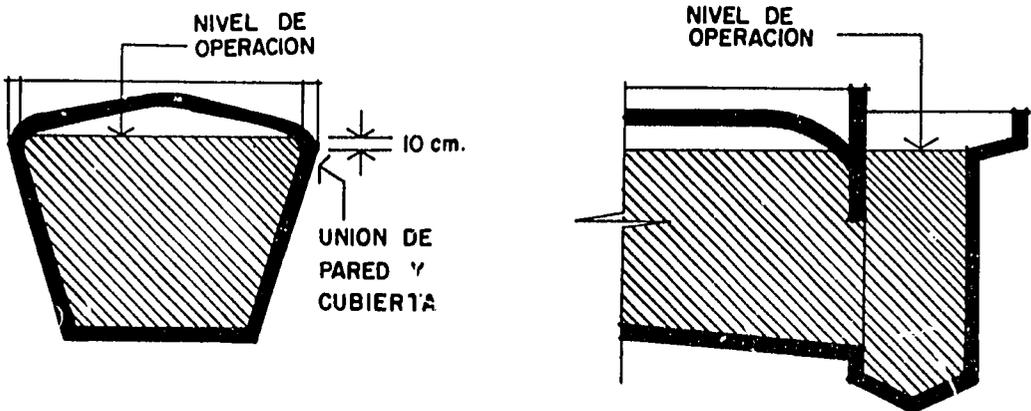


Niveles del contenido del digestor. Es necesario que el nivel máximo a que pueda subir el contenido sea el de la cara inferior de la cubierta, para evitar que la dañe. Esto se logra construyendo el borde de la pileta de descarga exactamente a este nivel, de manera que funcione como un rebalse en caso de que llegara a ingresar un exceso de mezcla en el digestor.

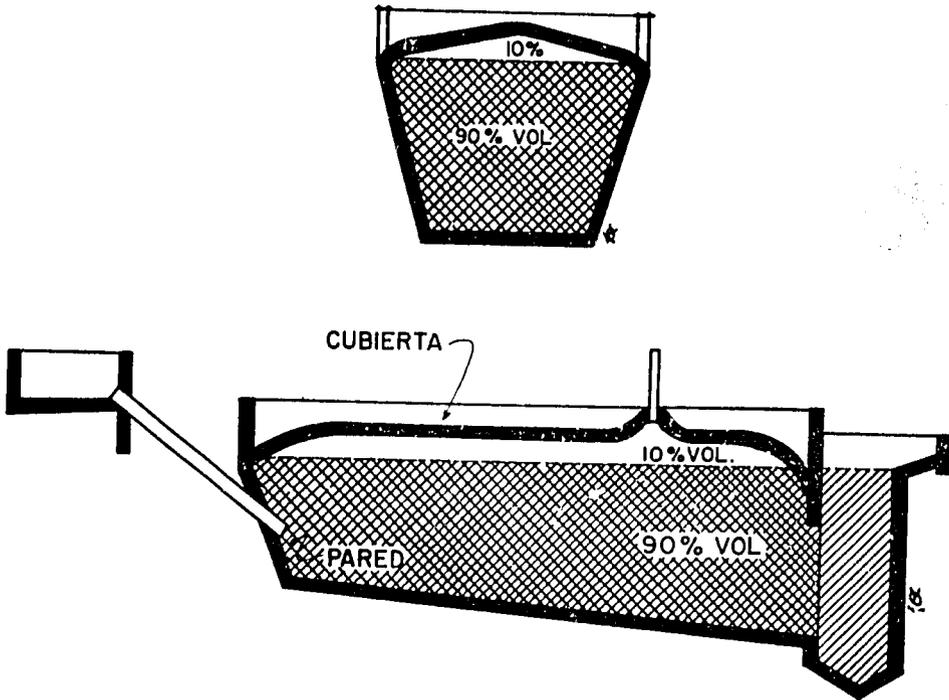
Por otra parte, el nivel mínimo del contenido es el de la unión de la cubierta con las paredes, ya que en ese lugar es muy probable que existan grietas por las que es posible que escape el biogás.

Se ha escogido un nivel intermedio entre esos dos extremos como nivel de operación; con eso se logra dejar espacio para que se acumule gas y también se consigue conservar selladas con líquido las grietas de la unión cubierta-paredes. El nivel normal de operación debe coincidir con el nivel del brocal del pozo de descarga.

Como se indica en la sección que trata de la pila de compensación, el nivel de operación real se conserva automáticamente dentro de los límites máximo y mínimo gracias a la configuración de esa pila.



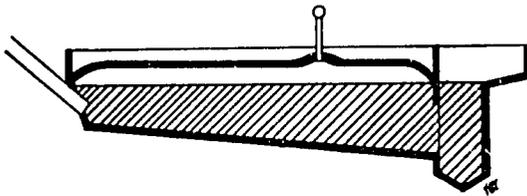
Volumen ocupado por el biogás. Mientras que no haya consumo o extracción de gas, éste se acumula encima del contenido del digestor, y por debajo de la cubierta. Es conveniente que el biogás acumulado ocupe como máximo un 10 por ciento del volumen interior total del biodigestor; esto significa que este mismo volumen es el del espacio que debe existir entre la cubierta y el nivel de la unión cubierta-paredes.



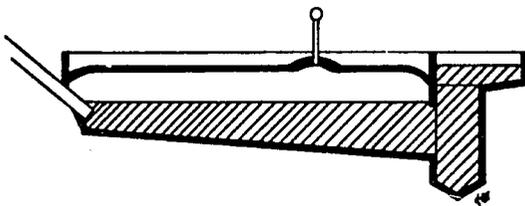
## POZO DE DESCARGA Y PILETA DE COMPENSACION

El biogás producido se acumula en la parte superior del digestor debajo de la cubierta, y sólo se extrae cuando va a ser usado o bien cuando va a ser almacenado en algún depósito especial. Debido a que la producción de biogás se puede suponer continúa durante las 24 horas del día, en tanto que la extracción (o el consumo) es ocasional y durante períodos limitados de tiempo, el volumen ocupado por el gas no es constante. A la presión y la temperatura de la digestión anaeróbica, el biogás es prácticamente incompresible; por eso, al aumentar este fluido dentro del digestor, resulta desplazado un volumen del material procesado, equivalente al aumento de gas. Se necesita, entonces una instalación que admita este material desplazado y de la cual regrese cuando el gas disminuya al ser extraído para consumo.

La función primaria de la pileta es permitir la compensación requerida por los cambios de nivel del contenido del tanque. Es necesario recordar, sin embargo, que el nivel mínimo del contenido es el de la unión de la cubierta con las paredes, ya que si descendiera más y hubiera grietas en la unión, el gas podría escapar por ellas; al ocurrir esto último, la disminución de presión permitiría que subiera de nuevo el nivel del contenido del digestor y bajara el nivel del contenido de la pileta.



BIOGAS A PRESION  
ATMOSFERICA



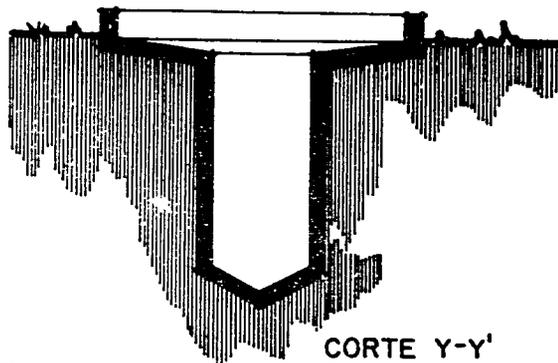
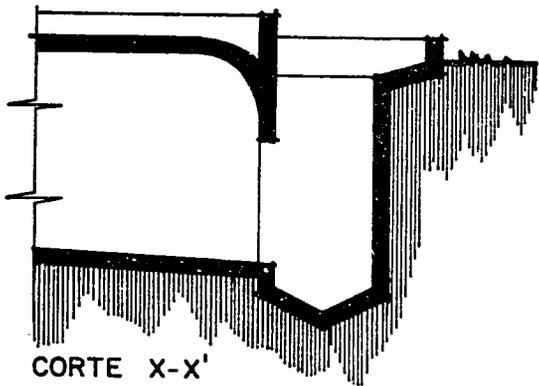
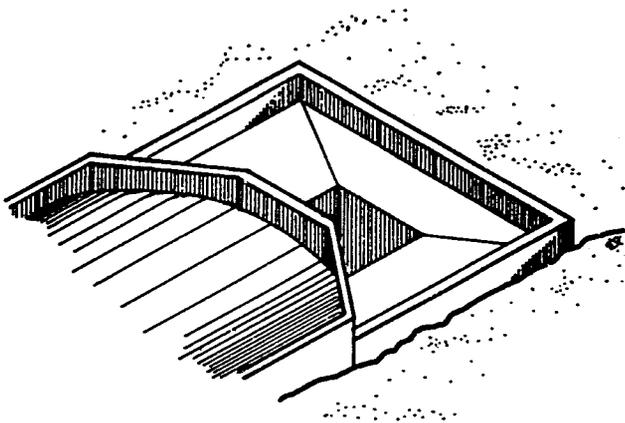
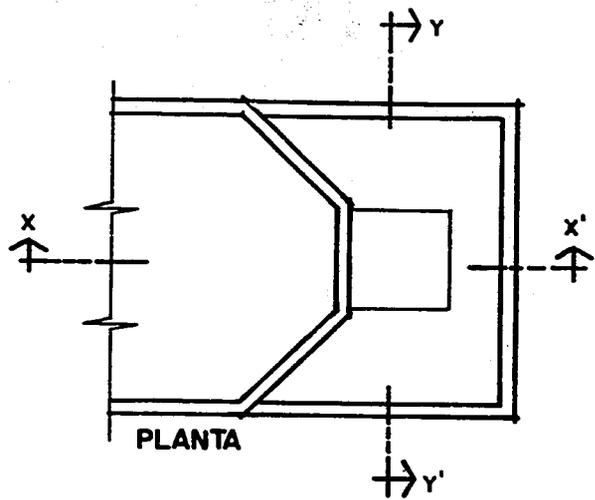
BIOGAS A PRESION  
MAYOR QUE LA AT-  
MOSFERICA. LA PILETA  
ADMITE EL MATERIAL  
DESPLAZADO.

El pozo es una cámara vertical de sección cuadrada que tiene un ensanchamiento en la parte superior, en forma de pileta. Una abertura comunica el digestor con el pozo.

Las dimensiones de la abertura y del pozo deben fijarse de modo que una persona pueda entrar al digestor, ya sea para examinar los trabajos de construcción, ya sea para reparar una falla de la estructura o bien para hacer la limpieza del digestor si esto resultara inevitable. Es necesario que el fondo del pozo quede por debajo del piso del digestor.

Las dimensiones de la pileta están gobernadas por las condiciones que siguen: El material desplazado hacia la pileta entra en contacto con la atmósfera (que es un ambiente no anaeróbico), y si el volumen de material así expuesto fuera grande, podrían presentarse problemas en la población bacteriana.

Por lo anterior, la capacidad de la pileta debe ser equivalente a un 10o/o del volumen del digestor, como máximo; su profundidad no debe exceder de 50 cms. Y para facilitar la construcción, su ancho se hace igual al del digestor.

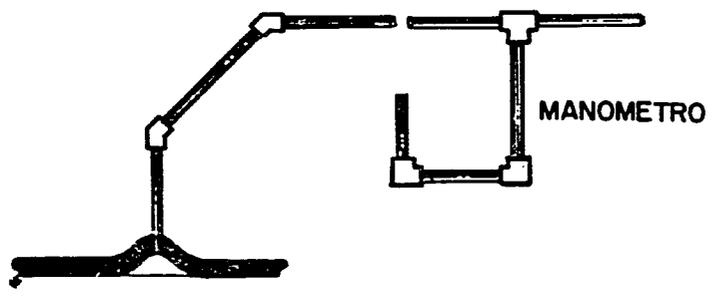


**ICAITI**

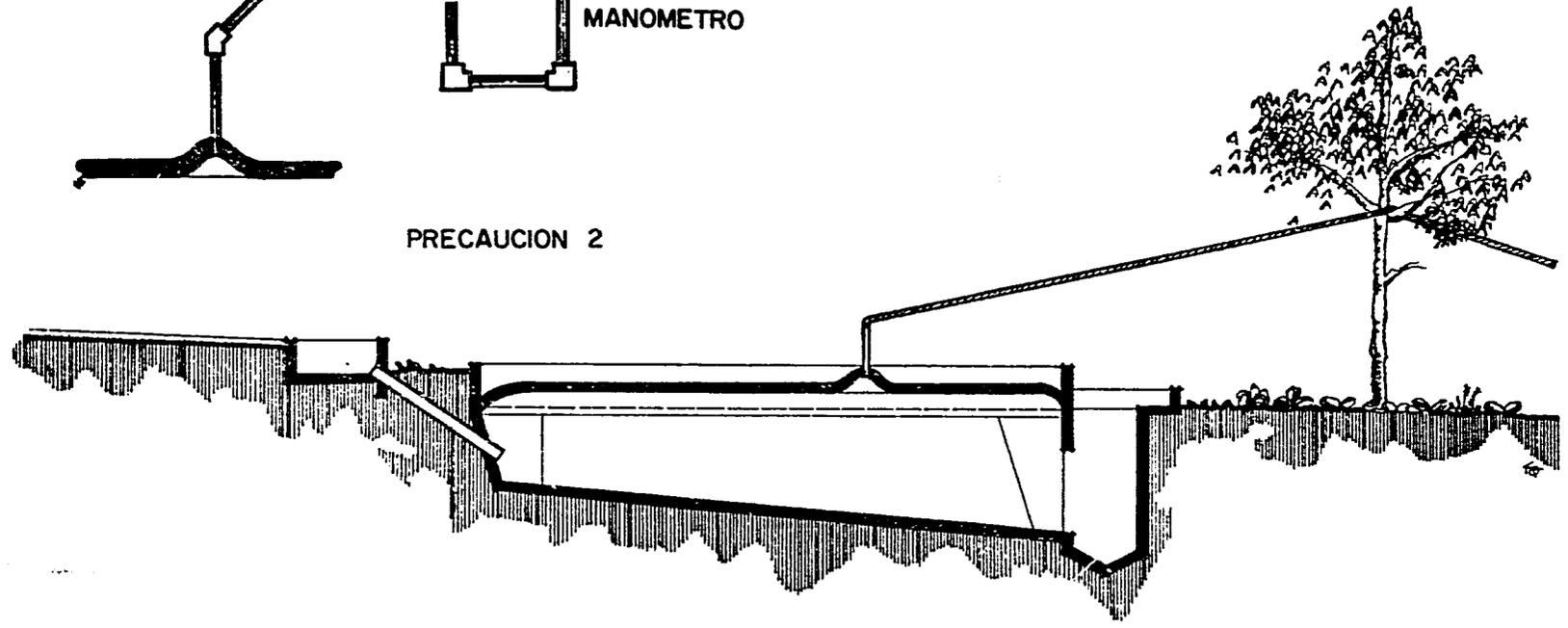
**BIOGAS**

LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA

POZO DE DESCARGA  
Y PILETA DE COMPENSACION



PRECAUCION 2



PRECAUCION 1

**ICAITI**

**BIOGAS**  
LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA

SISTEMA DE  
RECOLECCION

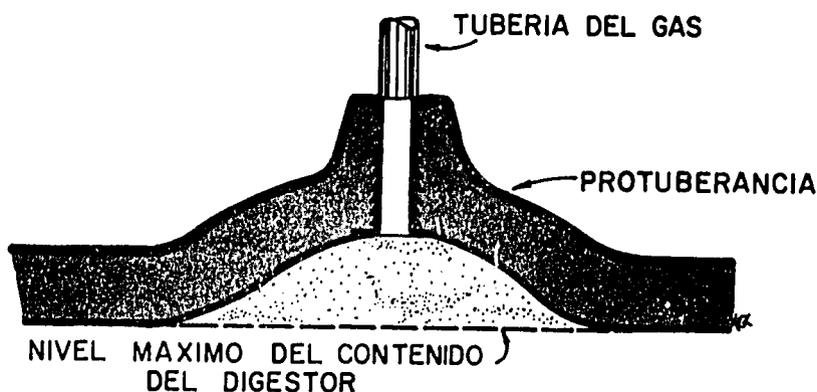


## RECOLECCION DEL GAS

El gas acumulado en la parte superior del digestor se recoge mediante una tubería instalada en la cubierta. El contorno de esta salida es uno de los puntos críticos en que pueden ocurrir fugas del gas, y demanda atención especial, tanto en la fase de diseño como en la de construcción.

Se construye una protuberancia en forma de campana sobre el eje central de la cubierta del digestor, a un tercio de la longitud de éste, medido del extremo de descarga. En la parte superior de esta protuberancia se conecta la tubería. Con esta disposición se evita el peligro de que la espuma o nata que tenga el contenido del digestor cuando esté lleno hasta su nivel máximo, obstruya la tubería de recolección.

La protuberancia tiene un diámetro de 50 centímetros y una altura de 20 centímetros.



## SISTEMA DE CONDUCCION

El biogás puede conducirse por una tubería o una manguera hasta el sitio en que se usará o almacenará. Esta tubería o manguera se conecta al tubo de salida de biogás que se ha instalado en el digestor.

Normalmente, el biogás que sale del digestor lleva consigo cantidades apreciables de humedad; cuando el biogás se conduce por una tubería hacia el exterior del digestor, regularmente pasa a una condición de menor temperatura, por lo que la humedad se condensa.

Para evitar que el agua condensada pudiera obstruir o estorbar el flujo libre de biogás en algún sifón que se instale en la línea de conducción, es necesario adoptar dos precauciones.

Una de ellas, es colocar la manguera con inclinación hacia el digestor, para que el agua fluya de regreso. Otra, es intercalar en la tubería de conducción un manómetro que funciona como trampa de agua al mismo tiempo que opera como válvula de seguridad para evitar que se dañe la estructura si llegara a aumentar accidentalmente la presión dentro del digestor.

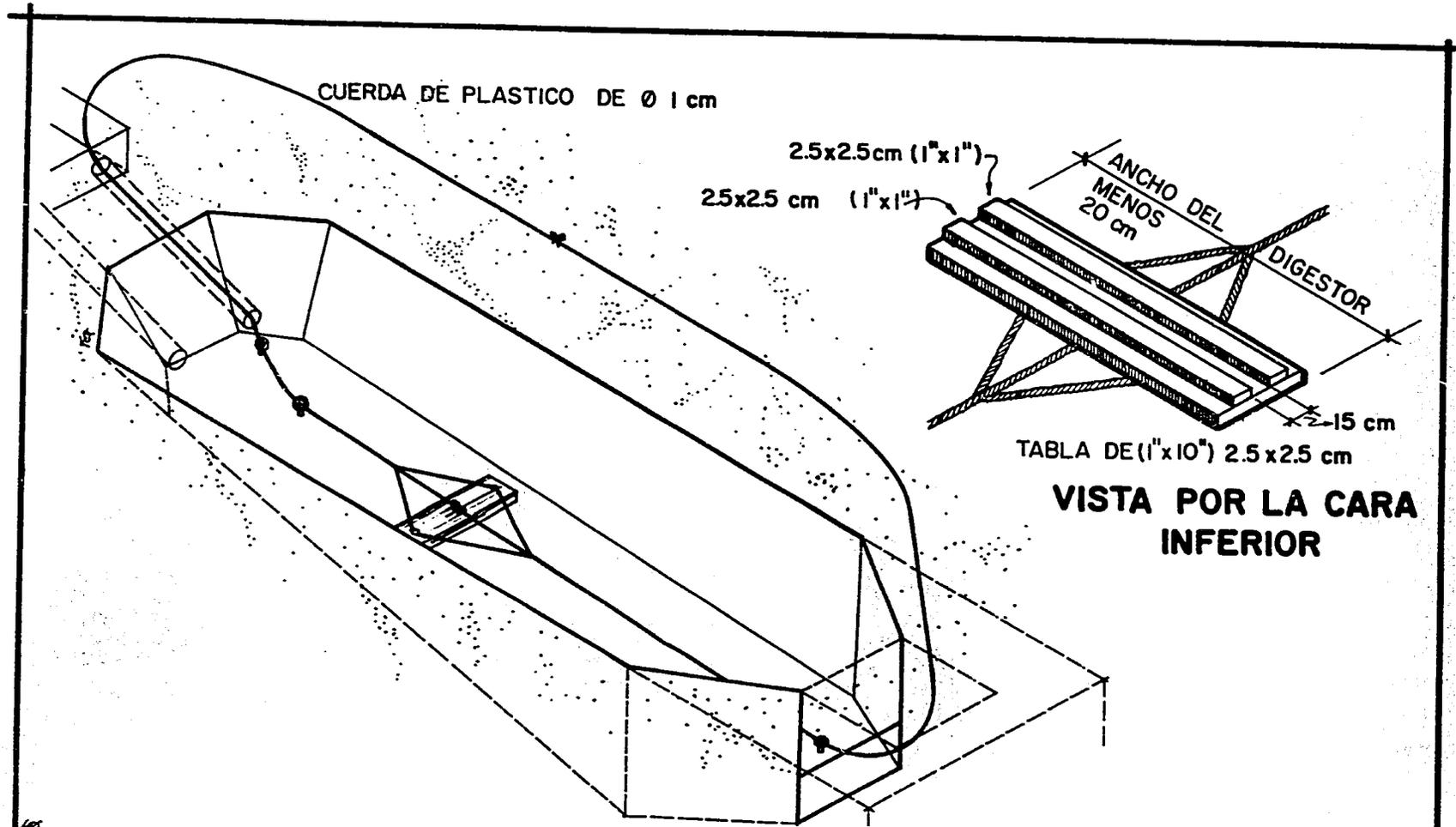
Este manómetro debe tener una columna de agua de 50 centímetros como máximo y se coloca inmediato al extremo del tubo de salida del biogás.

## NATAS SOBRE EL CONTENIDO DEL DIGESTOR

Es probable que se formen natas o costras durante el proceso de digestión anaeróbica; tienen el inconveniente de impedir el paso del biogás hacia la cámara de acumulación, y por eso es necesario provocar cierta agitación en la superficie líquida para que se disuelvan.

Esto último se logra mediante un flotador de madera que se deja dentro del tanque y que está sujeto a dos cuerdas; una de ellas se hace pasar por uno de los tubos de carga hacia el exterior y la otra se hace pasar por el pozo de descarga y la piletta de compensación; entonces, ambos extremos libres se atan para evitar que se pierdan accidentalmente dentro del digestor. Mediante estas cuerdas se mueve el flotador a lo largo del tanque unas tres veces por día.

Para evitar que el flotador roce con las paredes, es necesario dejar firmemente colocadas unas argollas en el piso del digestor. El ojo de cada argolla debe ser mayor que los nudos en la cuerda, para que no se atasque el sistema al ser operado.



**ICAITI**

**BIOGAS**

LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA

FLOTADOR.

## PRELIMINAR

La parte principal de la planta es el biodigestor, y la característica más importante de éste es su volumen. Una planta se puede diseñar para llenar uno o dos de los objetivos siguientes:

- a) Eliminar focos de contaminación  
(= procesar toda la materia orgánica disponible)
- b) Producir combustible  
(= cubrir la demanda de biogás)
- c) Producir abono  
(= cubrir la demanda de bioabono)

En esencia, los cálculos necesarios en cualesquiera de estos casos, son análogos. En este manual se desarrolla un caso especial del tipo (b), es decir, un diseño gobernado por la demanda de biogás.

## DEMANDA DE BIOGAS

Para establecer cuánto biogás se necesita en ciertas condiciones dadas de consumo, se pueden usar los valores siguientes:

### Consumo por tipo de alimento.

135	litros de biogás para cocer 1 libra de maíz.
160	litros de biogás para hacer tortillas de 1 libra de maíz.
500	litros de biogás para cocer 1 libra de frijol.
100	litros de biogás para freír 1 libra de frijol.
125	litros de biogás para hacer hervir 1 litro de café.
8	litros de biogás para cocer 1 huevo de gallina.
50	litros de biogás para freír 1 plátano.
200	litros de biogás para cocer 1 litro de sopa de verduras.

### Consumo por tiempo de cocimiento.

600	litros de biogás por una hora de funcionamiento de un quemador capaz de mantener una temperatura adecuada para preparar tortillas de maíz en un comal de hierro de 50 centímetros de diámetro.
300	litros de biogás por una hora de funcionamiento de un quemador capaz de mantener una temperatura adecuada en un recipiente de 5 litros.

### Otros usos

100	litros de biogás por cada 25 watt, por hora (iluminación).
500	litros de biogás por cada caballo de fuerza, por hora, en motores estacionarios de gasolina, adaptados.

## PRODUCTIVIDAD DE BIOGAS

La productividad diaria de un biodigestor puede considerarse 1/3 dentro de márgenes de seguridad aceptables; es decir, por cada metro cúbico de capacidad del digestor, se produce un tercio de metro cúbico de biogás, por día. (\*)

Sea P la productividad; sea Vbd el volumen de biogás producido por el digestor al día; sea VD el volumen neto del digestor.

Entonces:

$$P = \frac{Vbd}{VD} = \frac{1}{3}$$

luego:

$$VD = 3Vbd$$

Fórmula 1

## VOLUMEN DEL DIGESTOR

El volumen neto del digestor puede obtenerse directamente de la fórmula 1, si se conoce la demanda diaria de biogás; este valor puede hacerse igual a Vbd, en la fórmula 1.

## CALCULO DE LA CARGA DIARIA

Cuando ya se ha determinado el volumen del digestor (VD), es preciso comprobar que se dispone de los volúmenes de estiércol y de agua necesarios para la carga diaria.

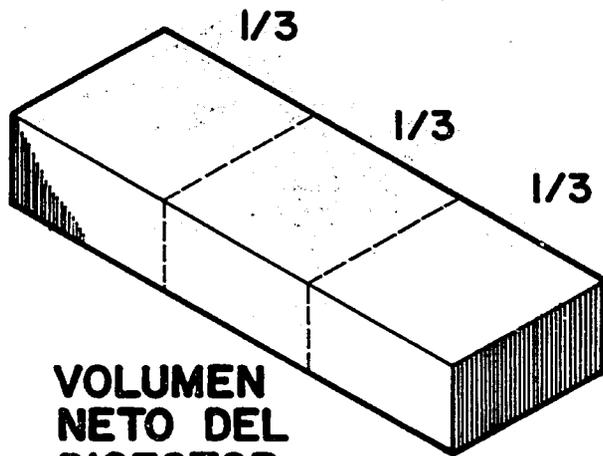
Para las condiciones de temperatura promedio del suelo en Centroamérica, y al usar estiércol como sustrato, puede adoptarse un período de retención de 30 días; en ese caso, el volumen de la carga diaria, que designaremos por Vc, es 1/30 del volumen del digestor:

$$Vc = \frac{VD}{30}$$

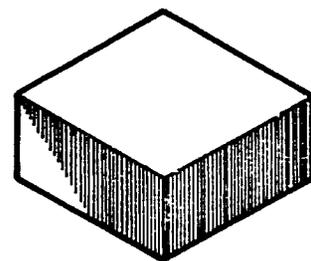
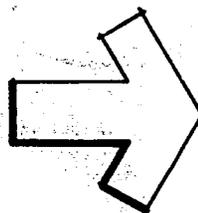
Fórmula 2.

---

(\*) Cuando la temperatura dentro del digestor está dentro del intervalo 28°-30°C la productividad oscila entre 0.25 y 0.50.



**VOLUMEN  
NETO DEL  
DIGESTOR**



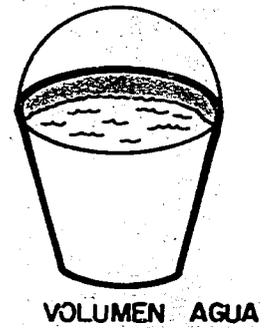
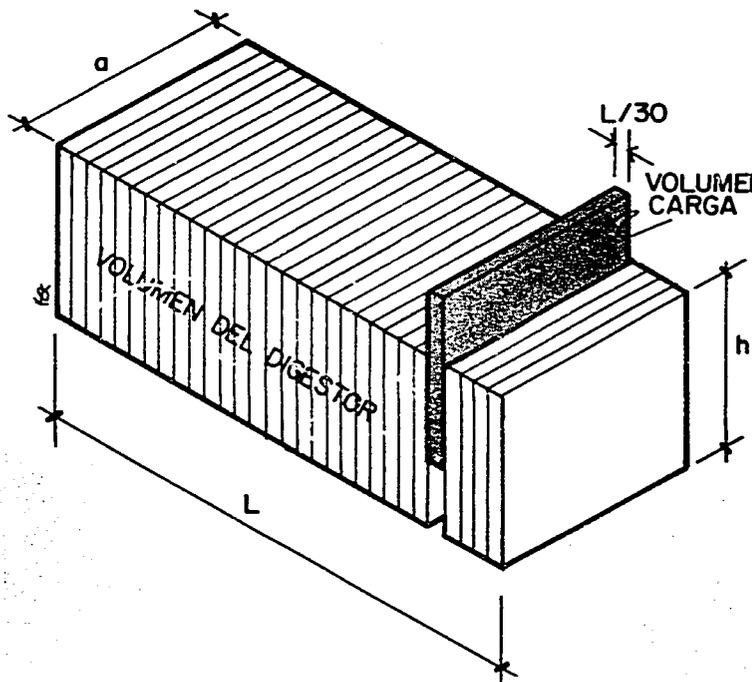
**VOLUMEN  
BIOGAS  
DIARIO**

**ICAITI**

**BIOGAS**

LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA

PRODUCTIVIDAD DEL  
DIGESTOR



NOTA: ESTA RELACION SE APLICA AL CASO DE UN PERIODO DE RETENCION DE 30 DIAS Y A MEZCLA ESTIERCOL - AGUA.

**ICAITI**

**BIOGAS**

LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA

CARGA DIARIA DE MEZCLA

En general, el estiércol fresco de bovino tiene alrededor de 18-20 por ciento de sólidos totales, y por facilidad y conveniencia, se diluye con agua, en relación volumétrica 1 a 1. Por eso, el volumen de carga diaria está compuesto de volúmenes iguales de estiércol y agua.

Si designamos por  $V_e$  el volumen de estiércol fresco que lleva la carga diaria, y por  $V_a$  el volumen de agua correspondiente, se tiene:

$$\frac{V_e}{V_a} = 1$$

$$V_e + V_a = V_c$$

Luego, sustituyendo resulta:

$$V_c = V_e + V_a$$

$$= V_e + V_e$$

$$V_c = 2V_e$$

Y al aplicar la Fórmula 2:

$$\frac{VD}{30} = 2V_e$$

y se tiene:

$$V_e = \frac{VD}{60}$$

Fórmula 3;

$$V_a = \frac{VD}{60}$$

Fórmula 4

Si se hace el cálculo por cada metro cúbico de digestor, resulta:

$$V_e/m^3 = \frac{1000}{60} = 16.7 \text{ litros/día}$$

El último valor equivale aproximadamente a 1/4 de la capacidad de una carretilla de mano, y es además, el valor del volumen de agua en la carga diaria por cada metro cúbico de digestor.

## DIMENSIONAMIENTO DEL DIGESTOR

En otra sección de este manual se ha indicado que, si se designa por  $a$  el ancho superior del digestor, por  $L$  la longitud media del mismo, y por  $h$  la profundidad media se pueden adoptar las siguientes relaciones:

$$L = 3a$$

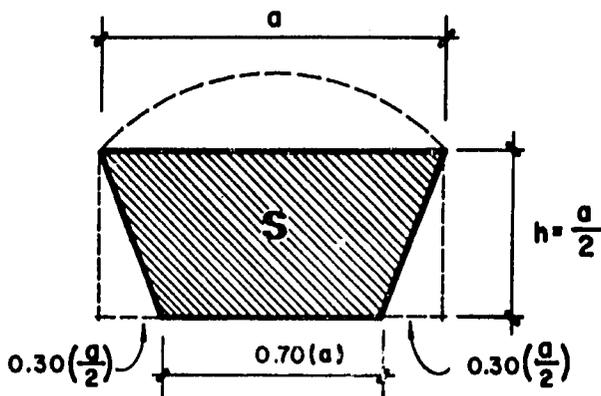
Fórmula 5.

$$h = \frac{a}{2}$$

Fórmula 6.

Además, por las razones expuestas en la sección de "Condiciones del Diseño", se ha escogido un talud de 30o/o para las paredes, y una pendiente del 10o/o para el piso.

Si se analiza la geometría de la sección media del digestor, y si se designa por  $S$  el área de esta sección media se tiene:



$$S = \frac{(a + 0.7a)}{2} \cdot h$$

$$= \frac{ah(1.7)}{2}$$

$$S = 0.85 ah$$

Y tomando en cuenta la fórmula 6

$$S = 0.85 a \left(\frac{a}{2}\right)$$

$$S = 0.425 a^2$$

Fórmula 7.

El volumen neto del digestor se puede calcular así, tomando en cuenta la fórmula 5 y la fórmula 7:

$$VD = L \cdot S$$

$$VD = (3a) (0.425 a^2)$$

$$VD = 1.275 a^3$$

Fórmula 8

### APLICACION A UN CASO

Se desea construir un digestor que supla biogás suficiente para: cocinar alimentos durante 2.5 horas diarias, en un quemador grande, y 4 horas en un quemador medio; bombear agua con un motor de 3HP durante 1 hora diaria; y 2 lámparas para iluminación que se encenderán 1.5 horas diarias.

a) Demanda de biogás.

Para cocinar alimentos:

2.5	horas de quemador grande (preparación de tortillas de maíz), a razón de 600 litros por día	-----	1 500 litros
4.0	horas de quemador medio (ollas) a 300 litros por día	-----	1 200 litros

Iluminación:

3	horas lámpara a 100 litros/hora	-----	300 litros
---	---------------------------------	-------	------------

Motor

1	hora por 3 caballos de fuerza a 500 litros por día	---	1 500 litros
			<u>4 500 litros</u>

Imprevistos (10o/o)	-----		450 litros
			<u>4 950 litros</u>

$$\underline{Vbd = 4.95 m^3}$$

Volumen del digestor.

Según la fórmula 1:

$$VD = 3Vbd$$

$$VD = 3 \times 4.95$$

$$VD = 14.85 \text{ m}^3$$

Asumiremos el valor

$$\underline{\underline{VD = 15 \text{ m}^3}}$$

c) Cálculo de la carga diaria.

El volumen total de la carga diaria, según fórmula 2, resulta ser:

$$Vc = \frac{VD}{30} = \frac{15\ 000}{30}$$

$$\underline{\underline{Vc = 500 \text{ litros/día}}}$$

Y el volumen de estiércol fresco necesario para la carga diaria, según fórmula 3 es:

$$Ve = \frac{15\ 000}{60}$$

$$\underline{\underline{Ve = 250 \text{ litros/día}}}$$

Asimismo, el volumen de agua para la carga diaria resulta ser:

$$Va = 250 \text{ litros/día.}$$

d) Dimensionamiento del digestor.

Con base en la fórmula 8, se tiene:

$$15 = 1.275 a^3$$

Luego, el valor del ancho está dado por

$$a = \sqrt[3]{\frac{15}{1.275}}$$

$$\underline{a = 2.27 \text{ m}}$$

Según fórmulas 5 y 6, resulta:

$$L = 3(2.27)$$

$$\underline{L = 6.81 \text{ m}}$$

$$h = \frac{1}{2} (2.27)$$

$$\underline{h = 1.13 \text{ m}}$$

Adoptaremos valores redondeados, así:

$a = 2.30 \text{ m}$	(ancho superior)
$L = 7.00 \text{ m}$	(longitud total)
$h = 1.15 \text{ m}$	(profundidad media)

Digestor

c) Dimensiones de la pileta de carga.

El volumen de esta pileta ha de ser igual al del volumen de carga diaria más un 10o/o para evitar rebalses. Si designamos por  $V_{pp}$  el volumen de la pila de carga se tiene:

$$V_{pp} = 1.10 V_c$$

$$V_{pp} = 1.10 (500)$$

$$\underline{V_{pp} = 550 \text{ litros.}}$$

Si la pileta tiene forma cuadrada, y su profundidad  $P$  (adoptada) es de 40 centímetros, y si se designa la longitud del lado por  $t$ , tenemos:

$$0.55 = 0.4 (t^2)$$

$$\underline{t = 1.17 \text{ m}}$$

Finalmente, adoptamos los valores siguientes con redondeo, por sencillez:

$t = 1.20 \text{ m}$  (ancho y largo de la pila)

$P = 0.40 \text{ m}$  (profundidad)

Pendiente del piso = 2o/o

Diámetro de tubo de carga = 15 cm (6 pulgadas)

Número de tubos de carga = 2

**Pileta  
de  
carga**

f) Dimensiones de la pileta de compensación.

Es necesario establecer primero el volumen de esta pileta. Un criterio, es asignarle un valor igual al 150/o del volumen neto del digestor; sea  $V_{cc}$  el volumen de esta pileta:

$$V_{cc_1} = 0.15 VD$$

$$V_{cc_1} = 2.25 \text{ m}^3$$

Otro criterio, es asignarle el mismo volumen que ocupa el gas producido por el digestor durante 8 horas de la noche:

$$V_{cc_2} = \left( \frac{8}{24} \right) (V_{vd})$$

$$= \frac{1}{3} (VD/3)$$

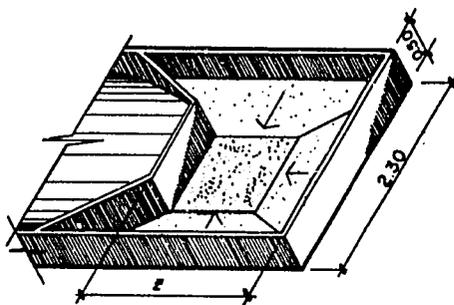
$$= \frac{1}{9} VD$$

$$= \frac{1}{9} (15)$$

$$V_{cc_2} = 1.67 \text{ m}^3$$

Adoptaremos como el valor máximo del volumen acumulado dentro del digestor, 1.5 metros cúbicos. Y por lo tanto, un volumen igual para la pileta de compensación.

Si designamos el largo de la pileta por  $Z$ , adoptamos una profundidad media de 0.50 m, y asignamos a la pileta el mismo ancho que el digestor, se tiene:



$$1.5 = 0.50(2.30)Z$$

De lo que resulta que  $Z$  tiene un valor de

$$\underline{\underline{Z = 1.30 \text{ m.}}}$$



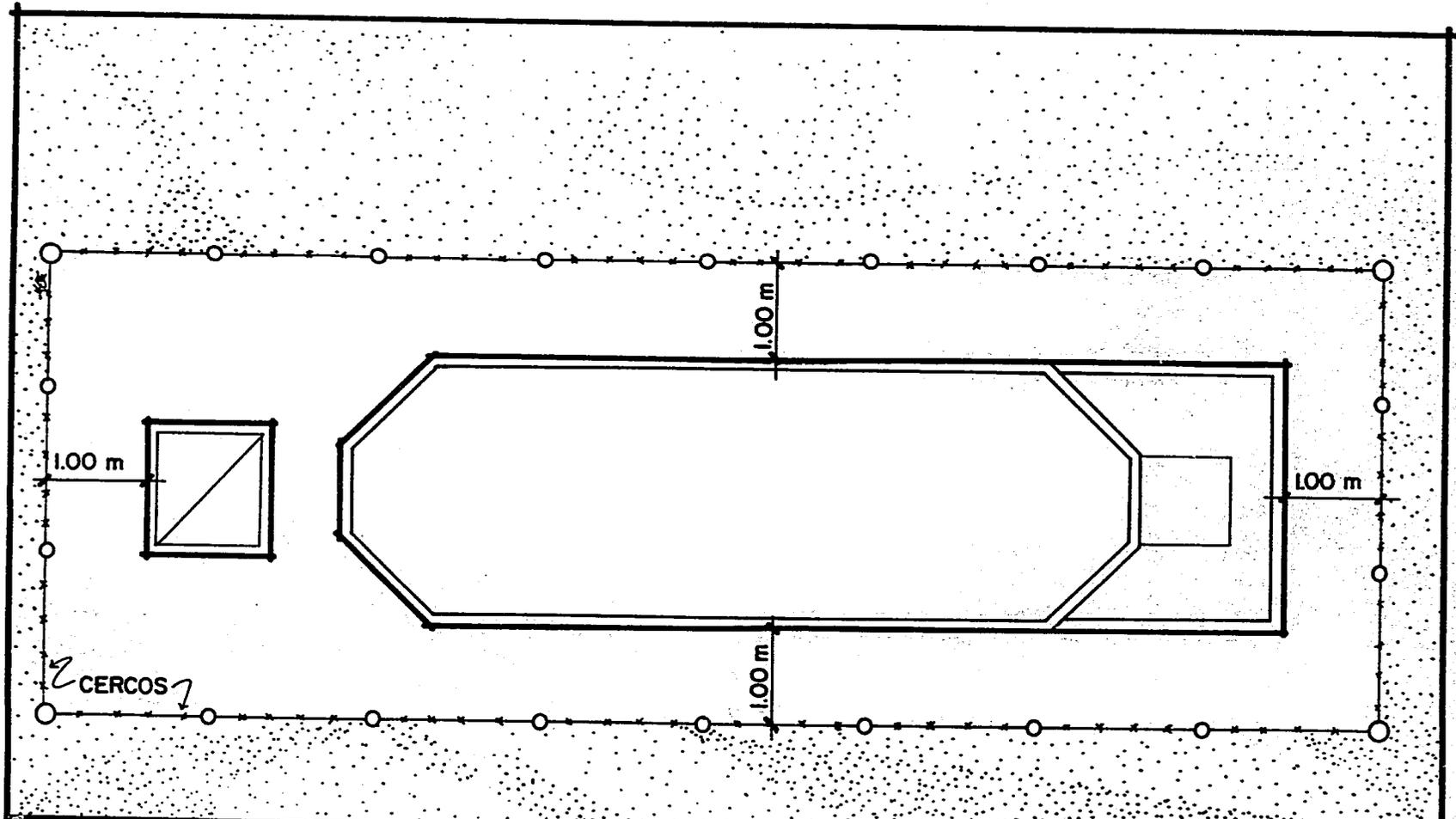
## **INDICACION PRELIMINAR**

La construcción está planeada de forma que se usen materiales de construcción disponibles en la mayoría de las localidades urbanas y rurales de Centroamérica; y de forma que se haga uso de técnicas de construcción tradicionales y ya conocidas por los albañiles: levantado de paredes de ladrillo, formateado y construcción de losas de concreto.

## **LIMPIA, CHAPEO y DESMONTE**

Cuando se haya escogido el lugar conveniente para la construcción se procede a colocar un cerco a un metro, como mínimo, de las líneas de los bordes del digestor y de las pilletas.

Debe retirarse el material vegetal que haya, así como las piedras, la basura u otros materiales inútiles, hasta dejar limpia toda la zona cercada.



**ICAITI**

**BIO GAS**  
LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA

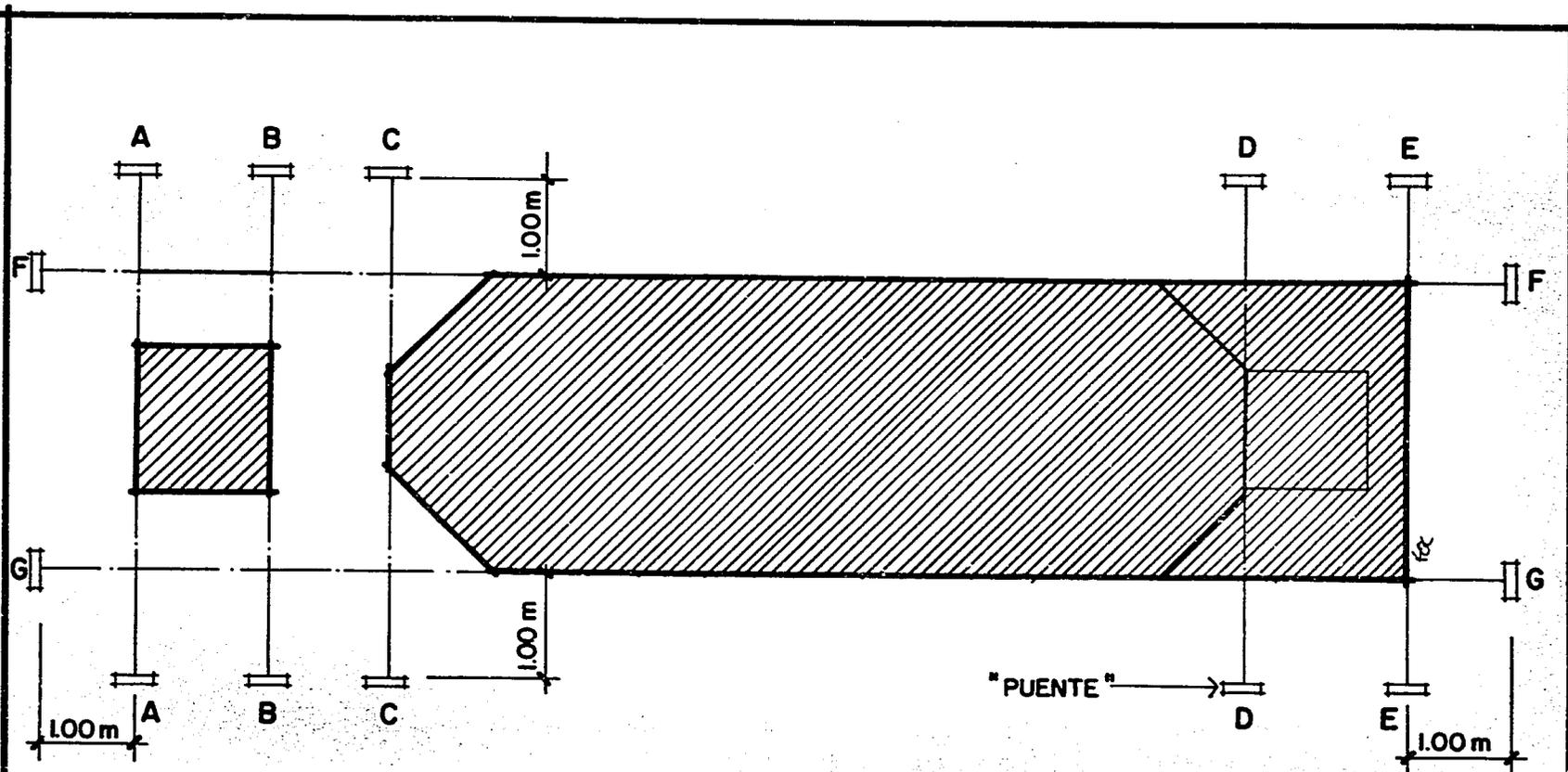
CERCO

F	A

## **TRAZO**

Con base en las medidas del digestor y de las pletas, se hace un trazo sobre el suelo, y se colocan puentes de madera que queden situados a un metro de distancia de los bordes de la construcción.

Todos los puentes deben tener el mismo nivel, el cual servirá como referencia para las profundidades de la construcción.



**ICAITI**

**BIOGAS**

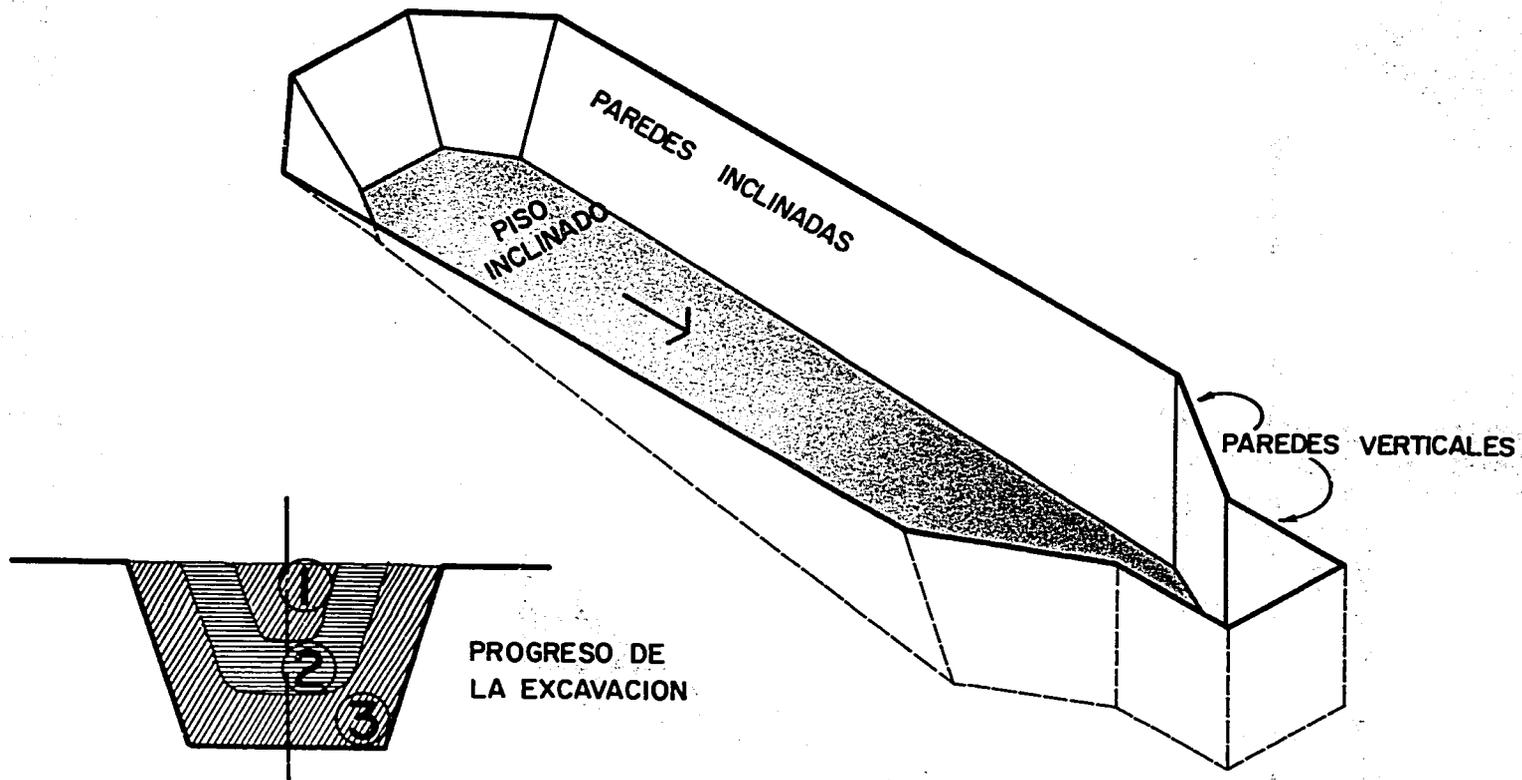
LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA

TRAZO

## **EXCAVACION DEL DIGESTOR**

La excavación debe hacerse, preferiblemente, en una sola operación, tratando de que el material del piso y las paredes quede firme. Se sugiere iniciar la excavación desde el eje central hacia el contorno, siempre con el cuidado de tallar el talud correcto de las paredes, hasta llegar a la profundidad mínima del piso. Luego se termina la excavación recortando en el piso una pendiente del 10 por ciento, hacia el extremo de descarga.

Las paredes oblicuas del extremo de descarga y las paredes del pozo de descarga, deben excavar a plomo.



**ICAITI**

**BIOGAS**

LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA

EXCAVACION

## **CONSTRUCCION DEL PISO**

Se puede construir con ladrillo o con bloque de piedra pómez y cemento, de 10 centímetros de ancho.

Los ladrillos o bloques se colocan directamente sobre el suelo, acostados en hileras que conserven medio bloque o ladrillo de traslape o amarre (es decir, la técnica tradicional de levantado de ladrillo de canto).

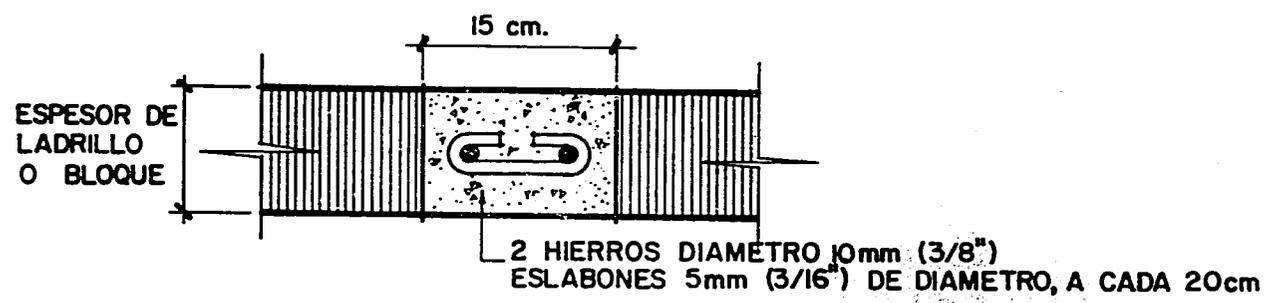
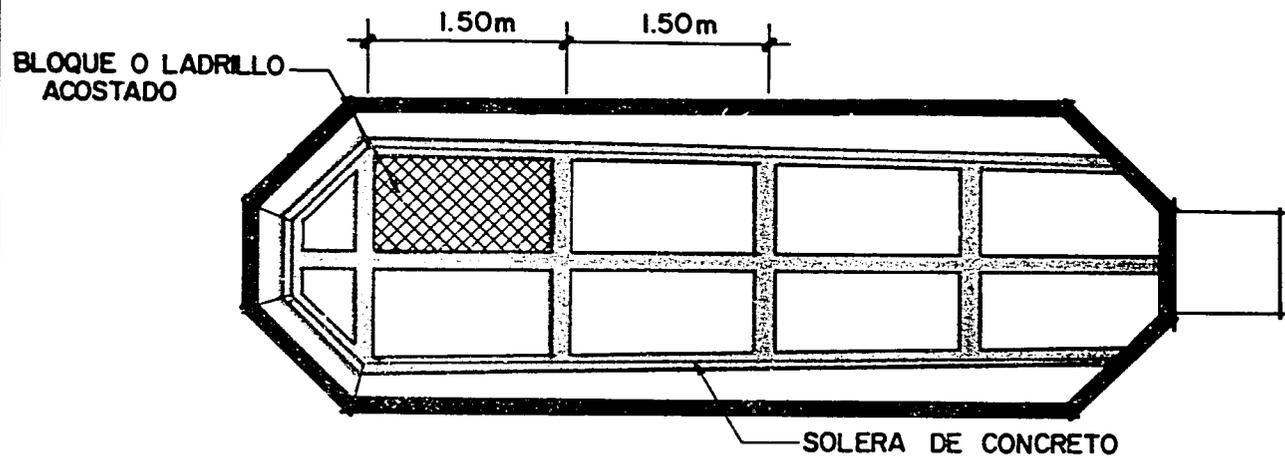
Los ladrillos o bloques deben unirse con mortero de cemento y arena en una proporción 1:3, dejando una ciza de 1 centímetro de ancho.

En el sentido transversal del piso del digestor, se hacen soleras de concreto de 15 centímetros de ancho y con espesor igual al del ladrillo o bloque utilizado; estas soleras deben equidistar 1.50 metros.

En el sentido longitudinal del piso del digestor se hacen soleras del mismo tipo y con la misma separación.

Debe construirse una solera en el contorno del piso del digestor sobre la cual se levantarán todas las paredes.

Cada solera tiene de refuerzo longitudinal 2 varillas de hierro de 10 mm (3/8 de pulgada) de diámetro, y de refuerzo transversal (amarro), varillas dobladas de hierro de 5 mm (3/16 de pulgada) de diámetro espaciadas entre sí 20 centímetros.



**ICAITI**

**BIOGAS**

LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA

CONSTRUCCION  
DEL PISO

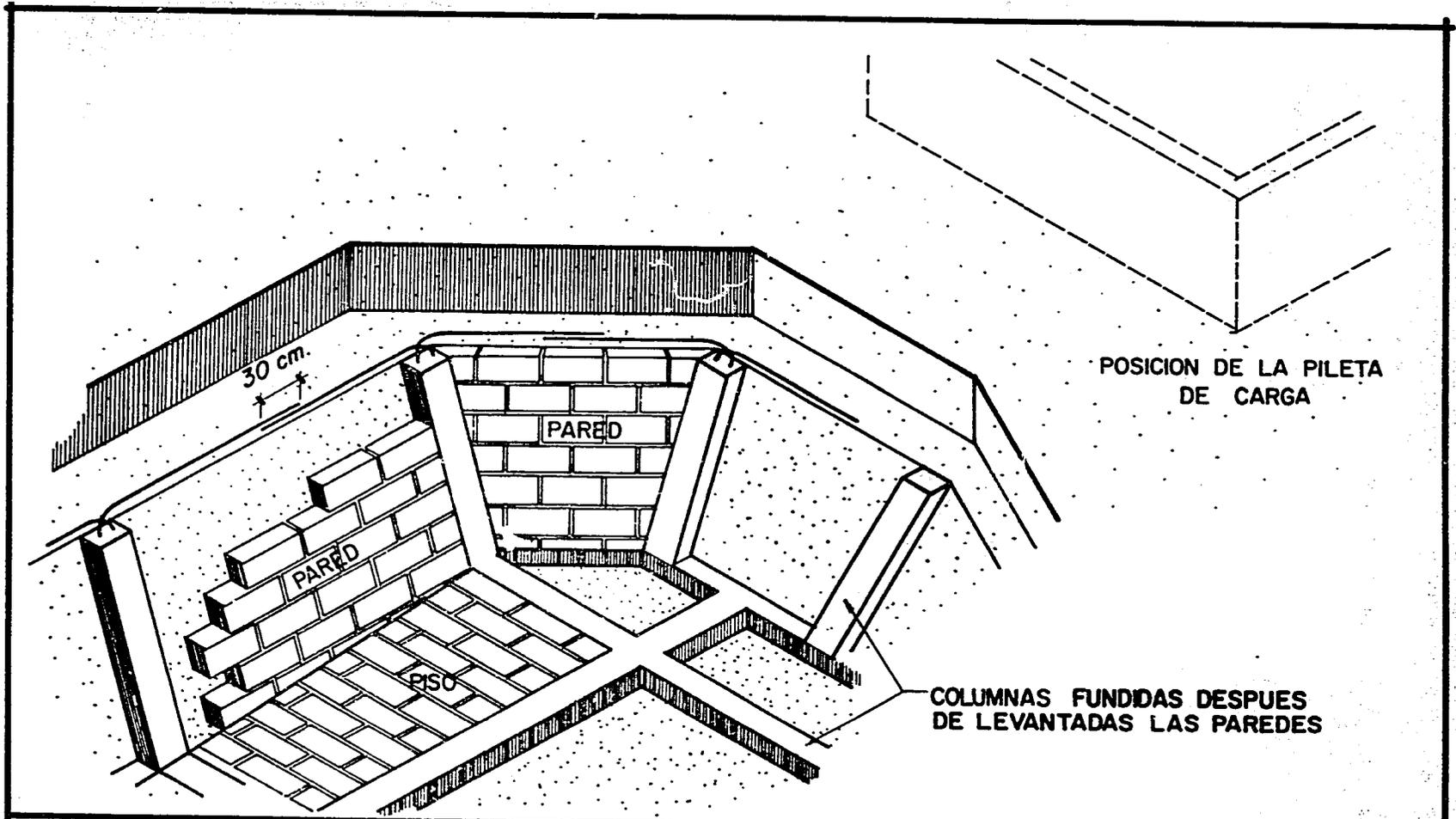
## **LEVANTADO DE PAREDES**

Las paredes se construyen con las mismas características que el piso. Las columnas que refuerzan las paredes son la continuación de las soleras del piso, con las mismas dimensiones y el mismo refuerzo.

El levantado debe hacerse con cizas al nivel, por lo que será necesario, dada la inclinación del piso, levantar en forma de cuña sobre la solera perimetral del piso, hasta llegar a nivel.

El remate superior de la pared consiste en una solera monolítica con la cubierta, de 15 centímetros de alto, que tiene de refuerzo una sola varilla de hierro de 10 mm (3/8 de pulgada) de diámetro; esta varilla es el extremo sobrante de las columnas de la pared; las varillas se doblan para este propósito y se deja un traslape mínimo de 30 centímetros en la unión de una varilla con otra.

En operación posterior, de esta varilla de la solera de remate, se engancha el refuerzo de hierro que se colocará en la losa de cubierta.



**ICAITI**

**BIOGAS**

LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA

CONSTRUCCION DE PAREDES

## ACABADO DE LAS PAREDES Y DEL PISO

Cuando ya se ha concluido la construcción de paredes y piso del digestor del pozo de descarga, se repella toda la superficie con mezcla de cemento y arena de río en proporción 1:3. El espesor del repello debe ser de 1 a 2 milímetros.

## TUBOS DE CARGA

Estos tubos deben colocarse en su lugar cuando se construya la pared del digestor. Puede usarse tubos de cemento, de arcilla, de PVC u otro material apropiado, siempre que sean totalmente rectos.

Los tubos se colocan directamente sobre una zanja excavada a propósito, o si resulta necesario, sobre un relleno correctamente compactado.

## FORMALETA DE LA CUBIERTA

La formaleta u obra falsa que sostendrá al concreto mientras se produce el fraguado, puede hacerse con la misma madera que luego se usará para formaleta de la estufa y para hacer una caja o jaula para la bolsa de almacenamiento del biogás.

Se necesitan unos puentes de madera de las dimensiones que se indican en el dibujo siguiente. Estos puentes se colocan transversalmente al eje del digestor y separados unos 80 centímetros entre sí. La curvatura de la pieza superior debe escogerse de manera que permita una flecha de por lo menos 30 centímetros.

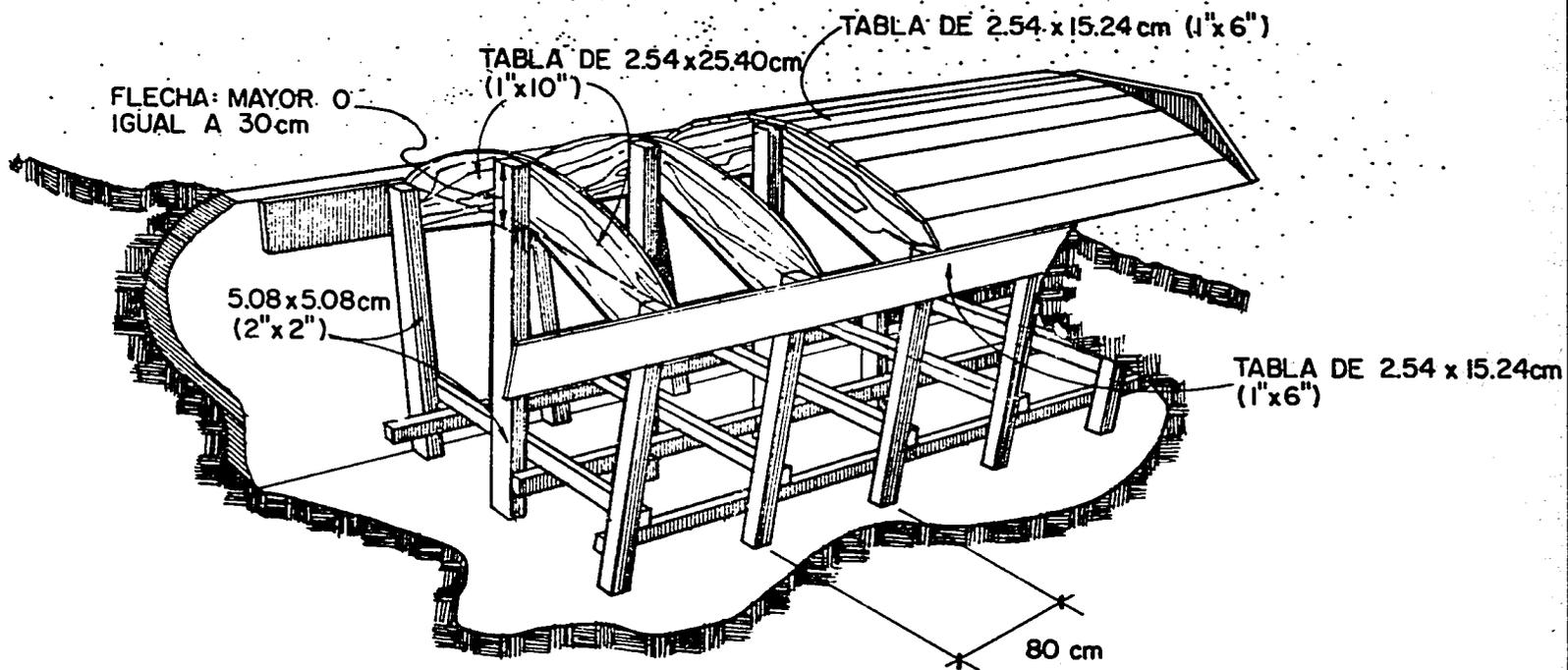
Todos los puentes se unen entre sí por su parte inferior mediante unas reglas de 2.5 x 5 cm (1 x 2 pulgadas).

Es necesario colocar unas tablas de 2.5 x 15 cm (1 x 6 pulgadas) a todo lo largo del digestor, en ambos lados, en el lugar en que la pared se une con la cubierta, para moldear la solera de remate

La formaleta de la cubierta, propiamente dicha, se forma con tablas de 2.5 x 15 cm (1 x 6 pulgadas) dispuestas a lo largo del tanque y clavadas sobre los puentes.

Sobre la formaleta de madera de la cubierta, se moldea con arcilla la "campana" sobre la que se colocará la tubería de recolección de biogás. Luego, se cubre toda la formaleta y la campana con tela delgada de plástico.

La cortina que separa el tanque y el pozo de descarga, debe tener un espesor de 10 centímetros, y es parte integral de la cubierta.



**ICAITI**

**BIOGAS**

LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA

FORMALETA

## **ARMADURA DE REFUERZO DE LA CUBIERTA**

El refuerzo de la cubierta tiene la función de absorber las tensiones causadas por los cambios de temperatura.

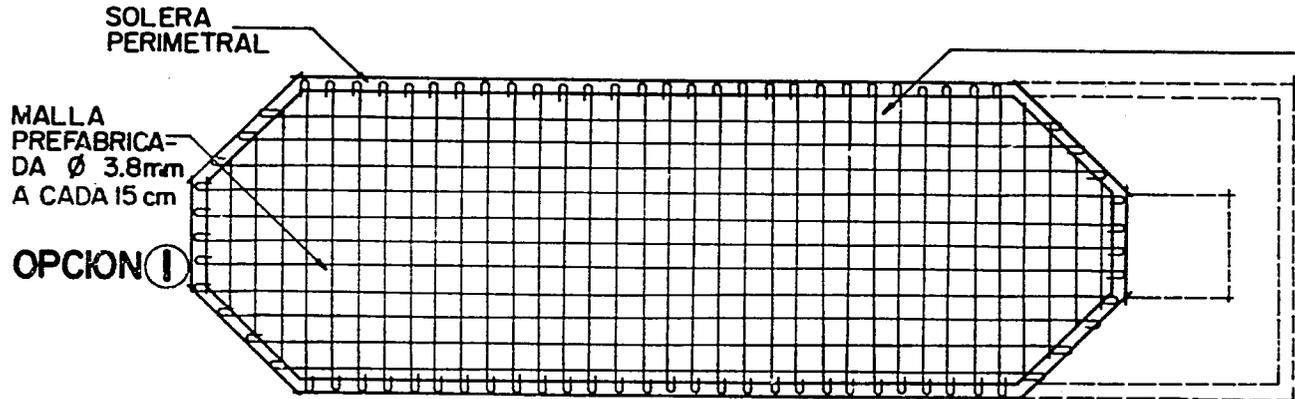
Se recomienda usar varilla de hierro corrugado de 10 mm (3/8 de pulgada) de diámetro, con separación de 20 centímetros en el sentido transversal del tanque, y 30 centímetros en el sentido longitudinal.

Puede usarse una malla electrosoldada de resistencia y adherencia equivalentes.

El refuerzo debe colocarse levantado 5 centímetros de la formaleta; para lograr esta condición pueden usarse caballetes de hierro que quedarán perdidos dentro del concreto. Los bordes de la armadura de refuerzo de la cubierta deben engancharse a la varilla colocada en la solera de remate de las paredes.

En la parte superior de la campana se coloca la tubería de salida de biogás, firmemente amarrada con alambre de hierro de refuerzo. En el dibujo siguiente se muestran dos detalles de este tubo: la parte que debe quedar limada ásperamente para aumentar su adherencia con el concreto, y las "patas" que deben hacerse para que sea más fácil su anclaje.

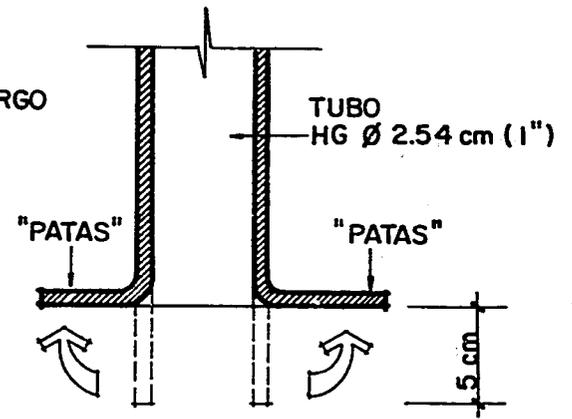
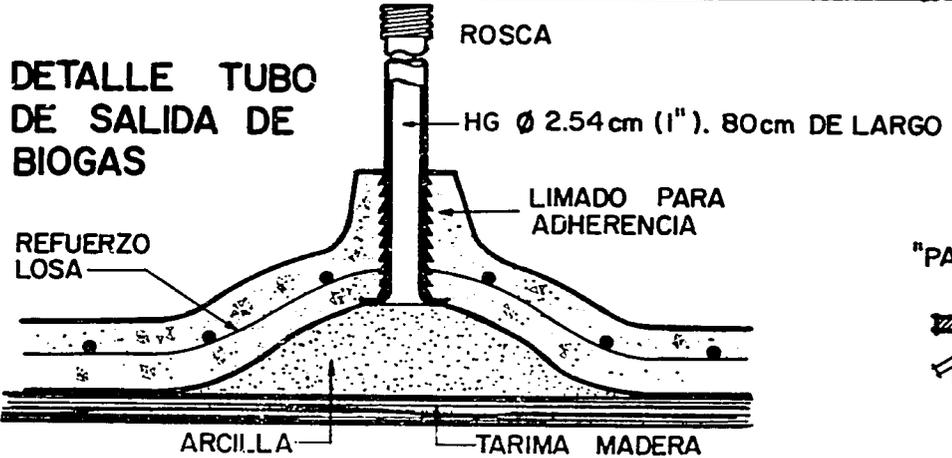
El refuerzo de la cortina que separa el digestor y el pozo de descarga deberá armarse en forma de malla con varillas de hierro de 10 mm (3/8 de pulgada) de diámetro separadas 20 centímetros entre sí.



**OPCION 2**  
 No. 3 A CADA 30 cm  
 EN SENTIDO LONGITUDINAL

No. 3 A CADA 20 cm  
 EN SENTIDO TRANSVER-  
 SAL

PLANTA



**ICAITI**

**BIOGAS**

LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA

CUBIERTA

## **VERTIDO DEL CONCRETO DE LA CUBIERTA**

El espesor de la cubierta es de 10 centímetros. Debe usarse una mezcla cemento-arena de río-grava, en una proporción 1:2:2. El proceso de vertido deberá ser continuo, y todo el trabajo debe terminarse en una sola operación. Tan pronto como sea posible, deben retirarse las piezas auxiliares que se hayan colocado para marcar el espesor de la cubierta ("arrastres").

Se recomienda cuidado especial en hacer un trabajo uniforme y homogéneo, si posible, utilizando algún sistema de vibración apropiado.

Al ser terminado el vertido, debe aplicársele un recubrimiento con una mezcla de cemento-arena de río cernida, en una proporción 1:2, mientras esté aún fresco el concreto. Debe conservarse húmeda la superficie hasta el día siguiente en que se aplicará otro recubrimiento con mezcla cemento-arena de río cernida, en proporción 1:1, con acabado alisado.

Para lograr que el concreto, se conserve húmedo durante los días de curado, conviene levantar un muro de 40 centímetros de alto alrededor de todo el digestor y formar así una pila que pueda conservarse llena de agua cuanto tiempo sea necesario. Este arreglo permitirá, también, examinar si la cubierta tiene grietas y ocurren filtraciones.

## **ACABADOS FINALES**

Cuando hayan transcurrido diez días desde la fecha de vertido, puede retirarse la formaleta. La cara interna de la losa se pinta con agua de cemento.

Las paredes del digestor se recubren con una mezcla cemento-arena de río cernida, en una proporción 1:2, con superficie alisada.

## **PILETA DE CARGA, POZO DE DESCARGA Y PILETA DE COMPENSACION**

Los pisos de estas instalaciones se construyen con espesor de 5 centímetros, de concreto (cemento-arena de río-piedrín, proporción 1:2:4).

Las paredes se construyen con ladrillo o bloque unidos con la mezcla de cemento-arena de río en proporción 1:3, sin refuerzo de hierro.

Toda la superficie interior de las paredes se recubren con una mezcla cemento-arena de río, proporción 1:2, con espesor de 1 a 2 milímetros.

## 5

OPERACION  
DE LA PLANTA**CARGA INICIAL**

Es necesario acumular estiércol durante varios días antes de proceder a la primera carga, y debe tratarse de conservarlo fresco. Si algún animal está enfermo o bajo tratamiento con antibióticos, **NO DEBE USARSE SU ESTIERCOL**, porque perjudicaría a las bacterias que intervienen en la fermentación dentro del biodigestor. (Es recomendable que la acumulación de estiércol y la fuente de agua estén situados cerca del digestor, para facilitar el trabajo de carga y mezcla).

Cuando se disponga de estiércol acumulado durante unos diez días, se puede proceder a ingresarlo al digestor. En la pileta de carga, se taponan los tubos de carga. Se depositan cantidades iguales de estiércol y de agua limpia. Luego, se agita el contenido de la pileta para homogenizar el material. Se espera unos pocos minutos para que se asienten las piedras y la tierra que pudiera haber en la mezcla. Se retiran los tapones, con cuidado de que las manos no entren en contacto directo con la mezcla. Las operaciones anteriores se repiten hasta que se agote el estiércol acumulado.

En los días subsiguientes, se carga el digestor de manera análoga, con la cantidad de material que hubiera disponible, hasta que se llegue al nivel de operación normal, que coincide con el brocal del pozo.

Una vez iniciado el proceso de carga, y si existen los medios para hacerlo, deberá controlarse periódicamente el pH para que sea posible saber si sufre disminución. Ya se indicó que la acidez es adecuada si el pH tiene un valor entre 6.5 y 7.5. Si el pH llegara a descender a 5.5 o menos, deberá contrarrestarse el exceso de acidez mediante pequeñas cantidades de agua de cal adicionadas a la carga diaria, hasta lograr que el valor ascienda a 6.5 como mínimo. (Ver página 9). Otra técnica efectiva para disminuir la acidez, es suspender la carga durante varios días, hasta que el pH se normalice.

En los primeros días del proceso de fermentación anaeróbica, se notará la aparición de un gas no combustible, el cual en su mayor parte es dióxido de carbono. Esto es normal, y dura entre una semana y diez días. Luego de esta fase, comenzará la producción del biogás combustible; esto se puede comprobar mediante un sencillo ensayo de inflamabilidad, tomando a la salida del tubo del gas una muestra en una bolsa plástica y luego probando con un fósforo si enciende. El inicio de la producción del biogás es una indicación de que el proceso está marchando correctamente y de que se puede proceder a la operación continua de carga y descarga diaria.

## CARGA Y DESCARGA DIARIA

Esta operación debe hacerse preferiblemente a la misma hora del día para "acostumbrar" a las bacterias presentes en el digestor y para no alterar el régimen del proceso fermentativo.

Se colocan los tapones en las tuberías de carga. Y se procede a cargar el estiércol y el agua; si el digestor es de 15 metros cúbicos, por ejemplo, y el período de retención es de 30 días, se cargan 16 cubetas de cada uno. Se agita la mezcla. Se deja reposar durante un minuto, y se retiran los tapones.

Por el otro extremo del digestor, en la pileta de compensación, se retiran 32 cubetas de efluente.



Cuanto se disponga de estiércol de varios tipos de animales, pueden mezclarse en cualquier proporción, siempre que el estiércol de res represente la mayor parte. Si se emplean desechos vegetales, debe procurarse que no representen más del 25o/o del volumen total de la mezcla, y que estén cortados en pedazos pequeños, para facilitar su digestión.

**NO DEBE USARSE** estiércol procedente de animales enfermos o bajo tratamiento con antibióticos.

## ALMACENAMIENTO DE BIOGAS

El volumen de gas producido por el digestor puede exceder del volumen que es posible acumular dentro del tanque, aun cuando haya consumo. Es necesario construir un tanque en que pueda almacenarse el exceso, para uso posterior y para que se mantenga constante un nivel de presión que resulte adecuado para los quemadores u otros dispositivos en que se use el gas.

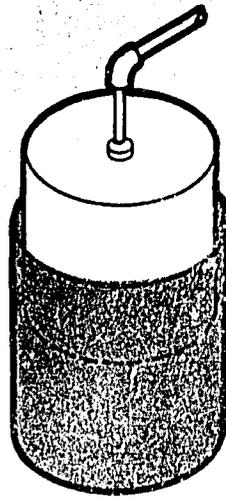
Hay varios tipos de recipiente para almacenar el biogás; unos son más costosos que otros. Entre los mejores, están los cilindros metálicos a presión, los cuales requieren un compresor.

También puede construirse un recipiente, llamado "gasómetro" que tiene un sello líquido, pero es costoso y su manufactura es un poco difícil.

Uno de los recipientes sencillos y baratos que puede usarse es una bolsa de plástico o de tela ahulada, siempre que se pueda tener la seguridad de que es impermeable al biogás y que no tiene fugas. En este caso, la presión de salida del gas puede aumentarse colocando objetos pesados sobre la bolsa.



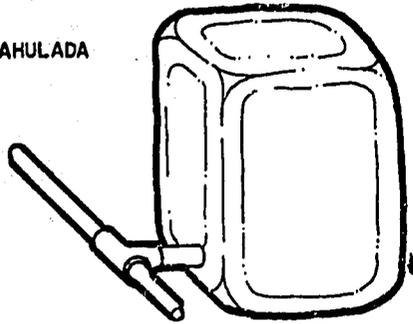
CILINDRO METALICO  
A PRESION



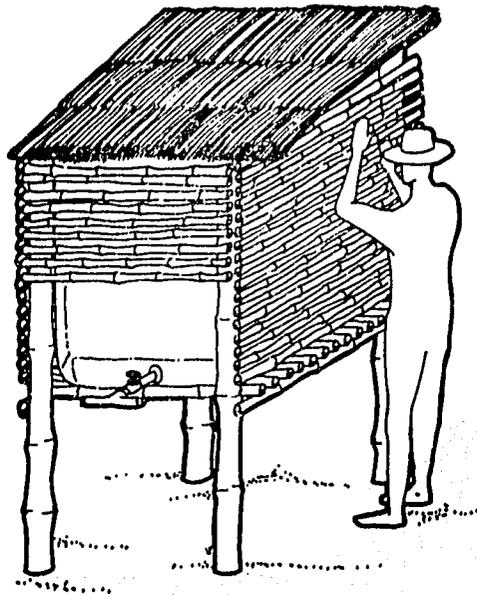
GASOMETRO

Para esta planta se eligió una bolsa de tela ahulada de 1.5 metros cúbicos en cada una de las casas en que el gas se usa en la cocina y para alumbrado.

BOLSA AHULADA



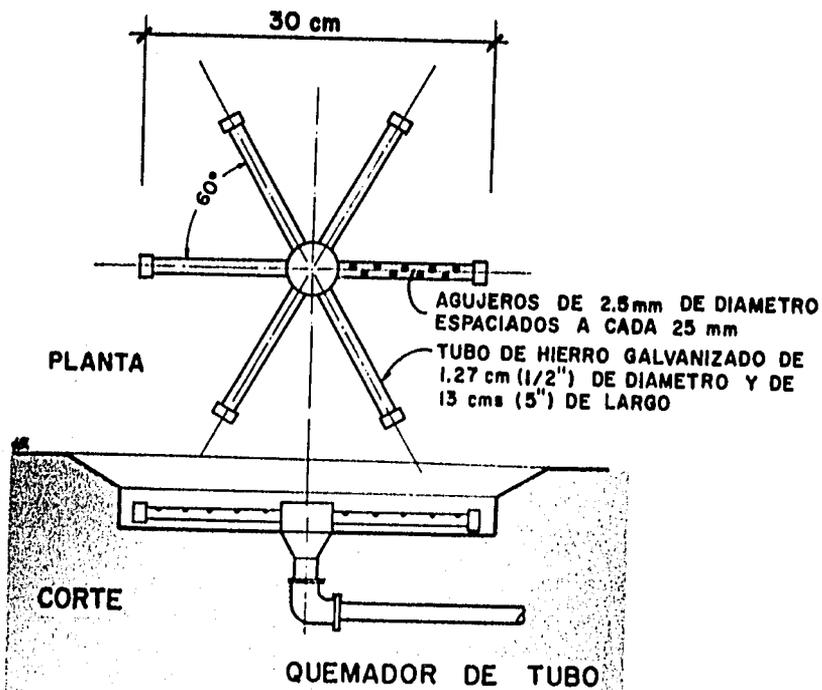
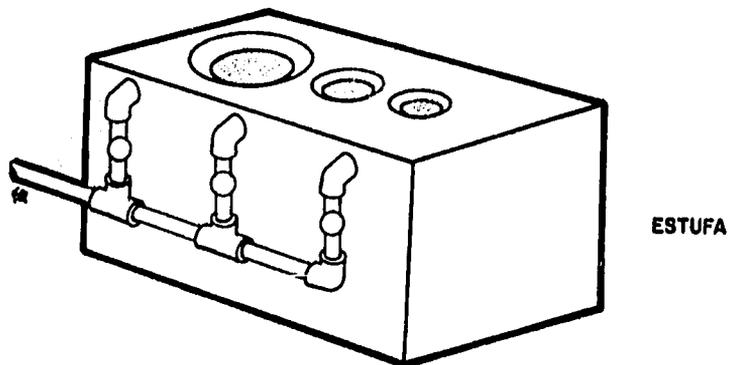
Las bolsas deben ser colocadas dentro de una especie de jaula techada, armada de bambú o de ramas, en la que haya una tarima elevada sobre el suelo, a fin de evitar que los animales o insectos las dañen. También puede construirse una caja de madera para este mismo fin.



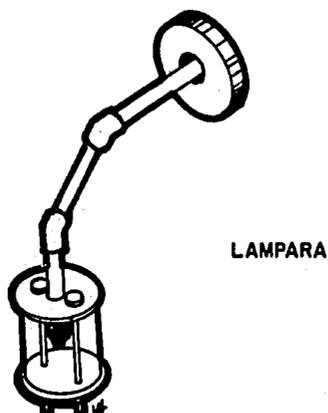
## USOS DEL BIOGÁS Y DEL EFLUENTE

El uso doméstico de más importancia para el biogás es como sustituto de la leña o del gas propano en la cocina. Otras aplicaciones son: iluminación con lámparas de camisa, refrigeración, operación de motores de combustión interna (como sustituto de gasolina o diesel).

Para usar el biogás en la cocina, si no se dispone de una estufa de gas propano (que necesita pequeñas modificaciones), puede construirse una de barro y fabricar para ella un quemador de metal (para una hornilla grande) y dos quemadores de barro o hechos con latas vacías (para dos hornillas pequeñas), o las que resulten necesarias en cada caso.



Para usar el biogás en el alumbrado, pueden emplearse lámparas comerciales de camisa o bien puede fabricarse una especial. El gas que demanda una lámpara debe estar a mayor presión que el que se usa en una estufa, y la luminosidad que se logra está en relación directa con la presión aplicada. Pueden llegar a obtenerse luminosidades equivalentes a las que producen las bombillas incandescentes de 50 watts.

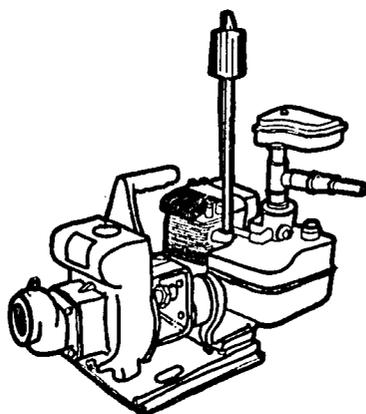


LAMPARA

Para usar el biogás en motores de combustión interna, deberá hacerse una sencilla adaptación al brazo que sostiene el filtro de aire; por éste entrará el biogás, y la proporción de la mezcla aire-biogás se regulará mediante una válvula colocada en la tubería del biogás.

No se necesita presión adicional si se usa tubería de 1.25 o 2.5 cm (1/2 o 1 pulgadas), y se puede emplear cualquier tipo de válvula.

Una vez que ya se ha logrado que el motor funcione bien, puede emplearse para generar electricidad, para extraer agua mediante bombeo, para impulsar agua para riego o cualquier otra aplicación adecuada para un motor de gasolina o diesel.



MOTOR

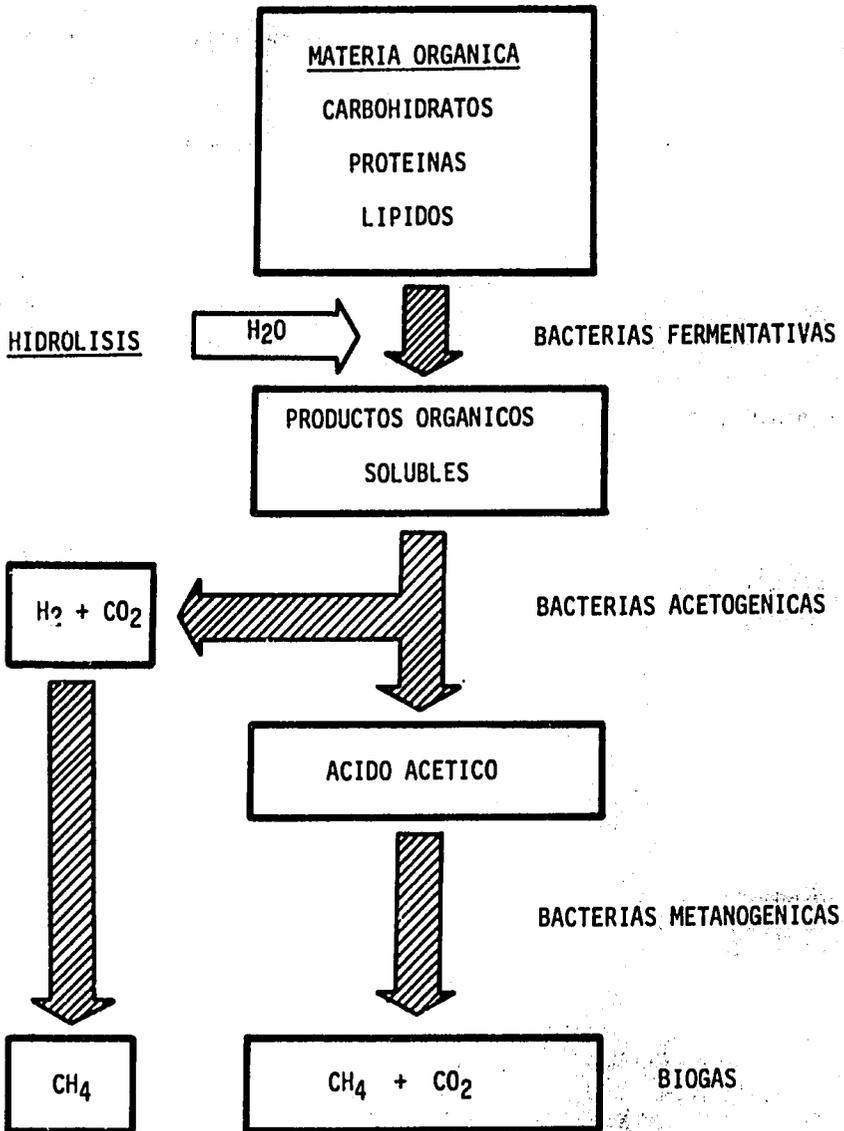
El ICAITI ha preparado instructivos para la construcción de estufas, quemadores y lámparas, los cuales están a disposición de los interesados.

El bioabono puede aplicarse directamente a los campos de cultivo; el volumen de bioabono producido diariamente es igual al de la carga diaria.

El color del bioabono (efluente del digestor) generalmente es un poco más oscuro que el material que se ingresa por la pila de carga; en algunos casos en que se emplea una importante porción de desechos vegetales, el color es casi negro.

En cualesquiera de los casos, el efluente carece de mal olor y no atrae moscas, y la mayor parte de los microorganismos patógenos han sido eliminados.

Anexos

FERMENTACION ANAEROBICA

## GLOSARIO

- ALCALINIDAD                      Medida de la concentración de los iones hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) libres en una solución.
- ACIDEZ                              Medida de la concentración de iones hidronio ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) libres en una solución.
- AZOLVAMIENTO                    Es la acumulación de material inerte en el fondo de los digestores, lo que disminuye su volumen efectivo, reduciendo su capacidad y productividad.
- BIOABONO                          Es el residuo o efluente de un digestor que presenta las propiedades de un abono orgánico, con alto contenido de nutrientes y materia orgánica estabilizada.
- BIODIGESTOR                      Ver digestor anaeróbico.
- BIOGAS                              Término usado para referirse a la mezcla de gases que se obtienen de la digestión anaeróbica. Sus principales componentes son metano ( $\text{CH}_4$ ) y bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).
- DESECHOS ORGANICOS            Material de origen animal o vegetal, del cual no puede obtenerse un beneficio directo y representa un desperdicio.
- DIGESTOR                            Ver digestor anaeróbico.
- DIGESTOR ANAEROBICO            Es el recipiente donde se lleva a cabo la digestión, en ausencia de oxígeno.
- DIGESTION ANAEROBICA            Es la estabilización de la materia orgánica por bacterias que no requieren oxígeno. En el proceso intervienen dos grupos de bacterias: las formadoras de ácido y las metanogénicas.
- EFLUENTE                            Material estabilizado que ha pasado por el proceso de digestión anaeróbica.
- FERMENTACION ANAEROBICA      Ver Digestión Anaeróbica.
- INFLAMABILIDAD                    Capacidad de un material para producir llama.

- GASOMETRO**                      Un depósito o recipiente donde se almacena el Biogás producido por el digestor, lo que permite tenerlo disponible en momento que se necesite usar.
- MATERIAL INERTE**                Material que no participa en la fermentación, y que al ocupar un volumen dentro del digestor, disminuye su eficiencia, tal como piedras, arena, etc.
- MATERIAL ORGANICO**            Ver Desechos Orgánicos.
- MICROORGANISMOS PATOGENOS**    Bacterias que pueden causar enfermedades tanto en personas como en animales.
- pH**                                    Medida de la acidez o alcalinidad. Se define como el logaritmo del recíproco de la concentración del ion hidrógeno. Un pH de 7 se considera neutro; menor de 7, ácido; y mayor de 7, alcalino.
- PLANTA PROTOTIPO**              Construcción original, donde se analizaron los distintos factores que afectan el proceso anaeróbico y mediante la cual se ratificaron y/o rectificaron los parámetros de operación.
- PRODUCTIVIDAD**                  La capacidad de un digestor para producir Biogás. Normalmente expresada en metros cúbicos de biogás por metros cúbicos de digestor, por día.
- PROCESO FERMEN-  
TATIVO**                                Es un proceso con cambios químicos sobre materia orgánica, efectuada por medio de organismos vivos.
- RELACION C/N**                    El cociente de los pesos totales de carbono y nitrógeno presentes en la materia orgánica.
- SUSTRATO**                          Material específico no líquido que provee los nutrientes que se utilizan en un proceso biológico, para el crecimiento y metabolismo de los microorganismos que lo llevan a cabo.

CUADRO DE PROBLEMAS COMUNES DE OPERACION			
PROBLEMAS	SINTOMAS	POSIBLES CAUSAS	SOLUCIONES
1. Acidez	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Descenso del pH</li> <li>— Baja producción de gas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Exceso de carga</li> <li>— Sustrato ácido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Agregar agua de cal en pequeñas cantidades con la carga</li> <li>— Suspender la carga varios días hasta normalización del pH</li> </ul>
2. Baja producción de gas		<ul style="list-style-type: none"> <li>— Acidez</li> <li>— Baja temperatura</li> <li>— Reducida cantidad de bacterias</li> <li>— Fugas</li> <li>— Antibiótico en estiércol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Neutralización de la acidez</li> <li>— Colocar invernaderos sobre digestor</li> <li>— Inocular con material de otro digestor</li> <li>— Recirculación de efluentes al digestor</li> <li>— Revisión de tubería y depósito del gas</li> <li>— Suspender carga por 4-5 días.</li> </ul>

PROBLEMAS	SINTOMAS	POSIBLES CAUSAS	SOLUCIONES
3. Mal olor y moscas en efluentes		<ul style="list-style-type: none"> <li>— Poca degradación del material orgánico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Aumentar tiempo de retención</li> <li>— Elevar temperatura en digester con invernadero o con cargas precalentadas</li> </ul>
4. Formación de costra		<ul style="list-style-type: none"> <li>— Falta de agitación</li> <li>— Exceso de sólidos en la carga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Usar dispositivos para romper costra diariamente</li> <li>— Aumentar la dilución de la carga diaria</li> <li>— Homogenizar la mezcla de carga diaria</li> </ul>

PARAMETROS INVOLUCRADOS EN LA FERMENTACION ANAEROBICA		
pH	Intervalo neutro:	6.5 – 7.5
Temperatura	Intervalo mesofílico:	15 – 35°C
	Intervalo termofílico:	35 – 60°C
Tiempo de retención	Con temperaturas bajas:	30 – 60 días
	Con temperaturas altas:	15 – 30 días
Tipo de sustrato	Animal, vegetal o mezclas.	
Relación C/N (*)	Desde 15 hasta 30	
Sólidos totales (*)	6 – 9 o/o	
Operación continua		

(\*) consultar tablas

COMPOSICION DEL BIOGAS	
Metano, CH <sub>4</sub>	54 – 70 o/o
Bióxido de Carbono, CO <sub>2</sub>	27 – 45 o/o
Nitrógeno, N <sub>2</sub>	0.5 – 3.0 o/o
Hidrógeno, H <sub>2</sub>	1.0 – 10 o/o
Acido Sulhídrico, H <sub>2</sub> S	0.1 o/o

COMPOSICION DEL EFLUENTE (pH = 7.5)	
COMPONENTE	VALOR (*)
Materia Orgánica	85.0 o/o
Nitrógeno	2.6 o/o
Fósforo	1.5 o/o
Potasio	1.0 o/o

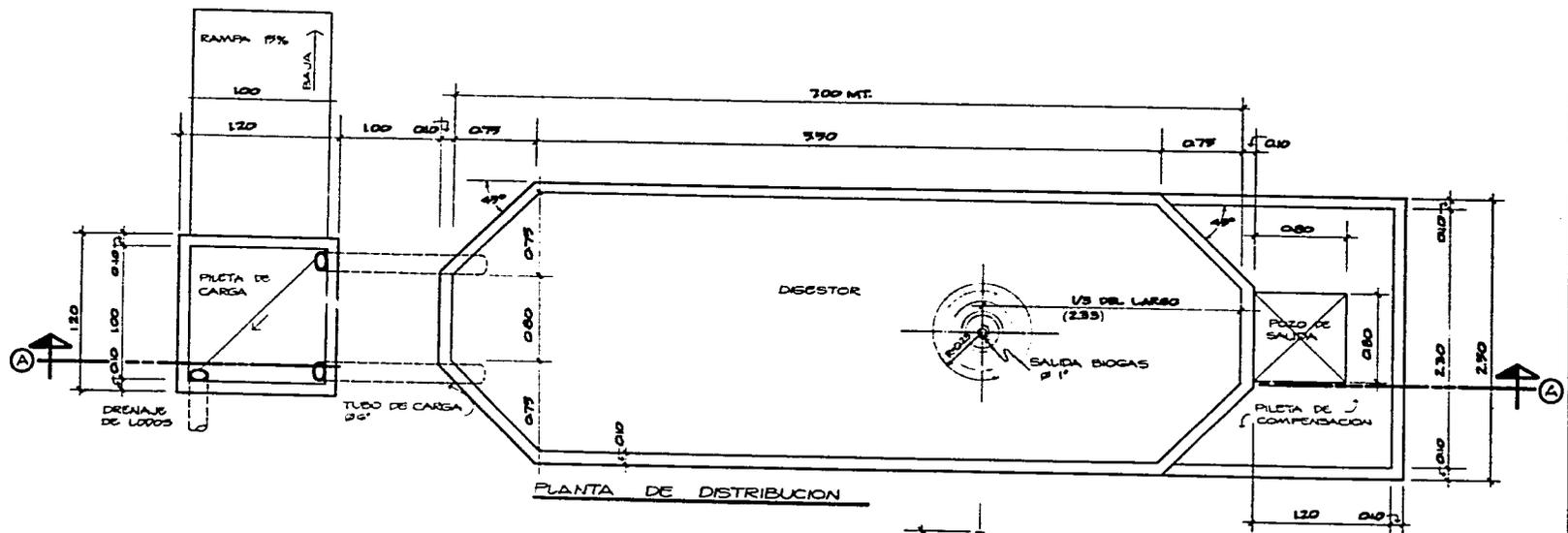
(\*) Valores promedio usando estiércol bovino como sustrato.

SOLIDOS TOTALES EN SUSTRATOS DIFERENTES	
Estiércol de vacunos	16 — 20 o/o
Estiércol de cerdos	18 o/o
Estiércol de gallinas	40 — 50 o/o
Excretas humanas	17 o/o
Rastrojo y hojas de maíz	77.0 o/o
Pajas de arroz	92.6 o/o
Papel periódico	93.0 o/o

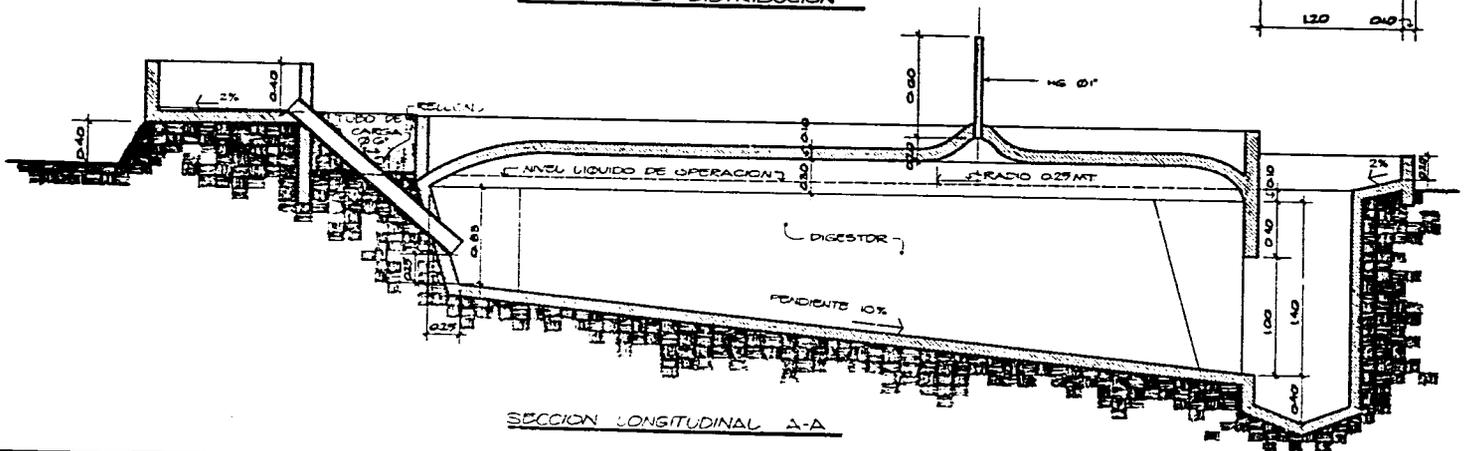
PODER CALORIFICO DE DIFERENTES COMBUSTIBLES		
Leña	7 063	kcal/kg (seco)
Biogás	5 335	kcal/m <sup>3</sup>
Gas Natural	9 185	kcal/m <sup>3</sup>
Metano	8 847	kcal/m <sup>3</sup>
Propano	22 052	kcal/m <sup>3</sup>
Butano	28 588	kcal/m <sup>3</sup>
Gasolina	32 169	kcal/galón
Diesel	28 980	kcal/galón

EQUIVALENCIA DEL BIOGAS CON OTROS COMBUSTIBLES (*)	
1 kg de leña	= 1.12 m <sup>3</sup> de biogás
1 galón de diesel	= 5.40 m <sup>3</sup> de biogás
1 galón de gasolina	= 6.02 m <sup>3</sup> de biogás
1 libra de propano líq.	= 1.01 m <sup>3</sup> de biogás
1 libra de keroseno	= 1.63 m <sup>3</sup> de biogás

(\*) equivalencias sólo respecto a energía calorífica.



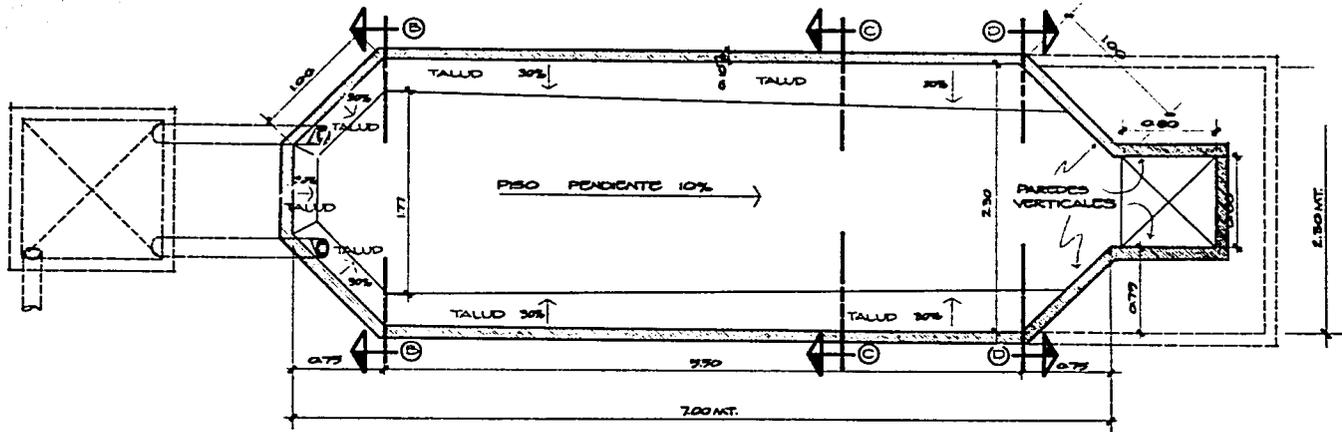
PLANTA DE DISTRIBUCION



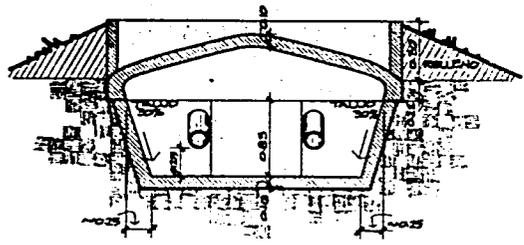
SECCION LONGITUDINAL A-A

<b>ICAITI</b>	<b>BIOGAS</b>	FECHA: AGOSTO 82	<b>PLANTA DE BIOGAS</b> VOLUMEN 15 MTS <sup>3</sup>	PLANTA DISTRIBUCION SECCION LONGITUDINAL	HOJA <b>1</b>
	DIBUJO: EKSTRO REVISION: ING. C. ALEGRE	ESCALA: 1:25 PROYECTO: 1680.3			

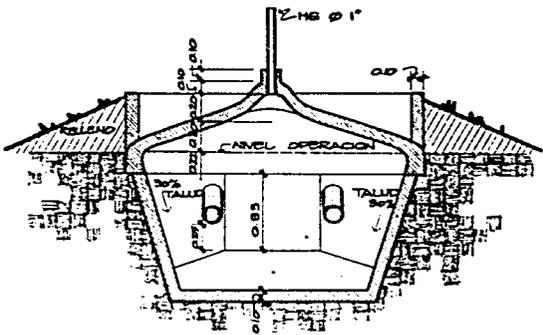
58



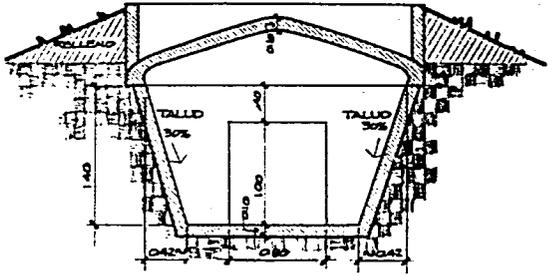
PLANTA INTERIOR DEL DIGESTOR



SECCION B-B



SECCION C-C



SECCION D-D

**ICAITI**

**BIOGAS**  
 DIBUJO EXSTRO  
 REVISO ING. C. ALEGRE

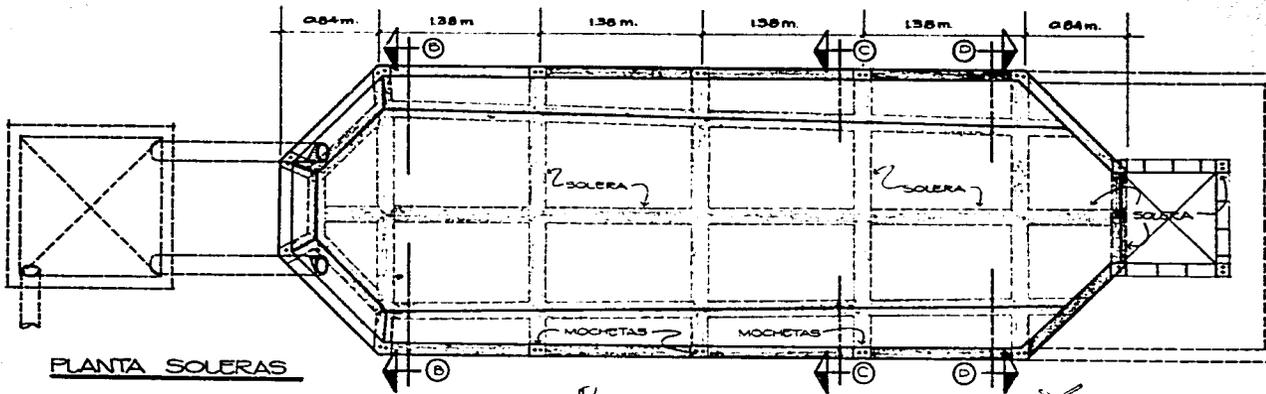
FECHA: AGOSTO 82  
 ESCALA 1:25  
 PROYECTO 1690.3

**PLANTA DE BIOGAS**  
 VOLUMEN 15 MTS<sup>3</sup>  
 LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA

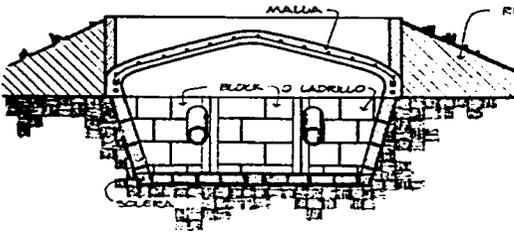
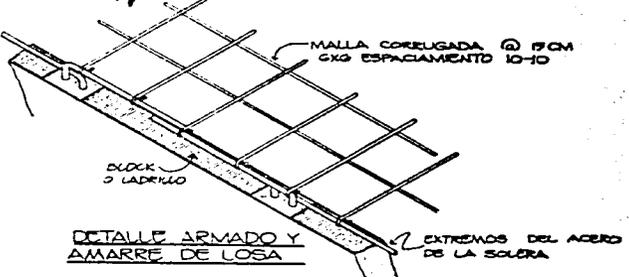
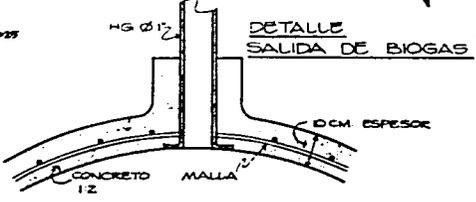
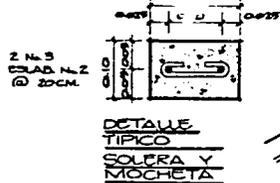
PLANTA INTERIOR DEL DIGESTOR  
 SECCIONES TRANSVERSALES

HOJA  
**2**

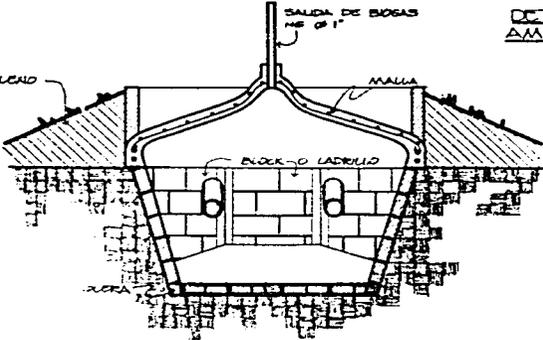
1/2



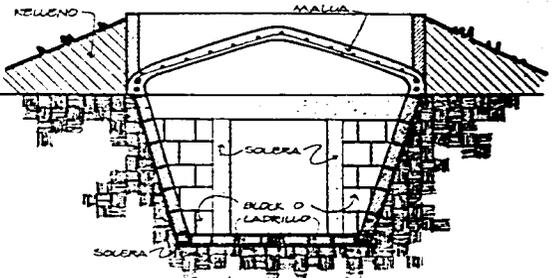
PLANTA SOLERAS



SECCION B-B



SECCION C-C



SECCION D-D

**ICAITI**

**BIOGAS**  
 DIBUJO: EKSTRO  
 REVISO: ING. C. ALEGRE

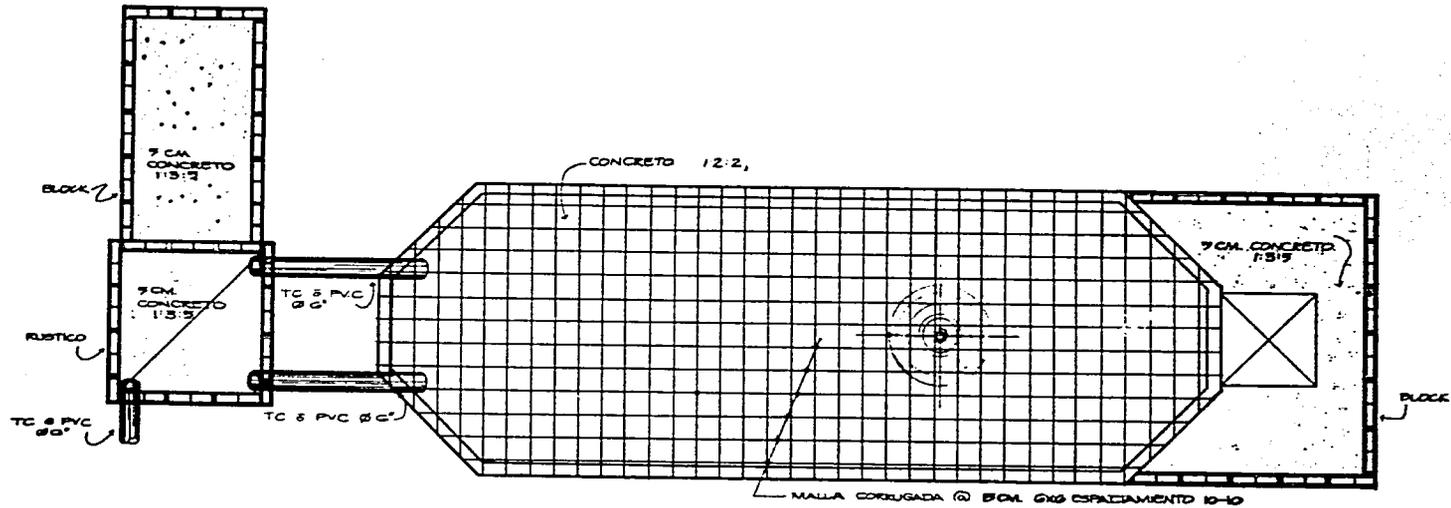
FECHA: AGOSTO 82  
 ESCALA: 1/25  
 PROYECTO 1680.3

**PLANTA DE BIOGAS**  
 VOLUMEN 15 MTS<sup>3</sup>  
 LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA

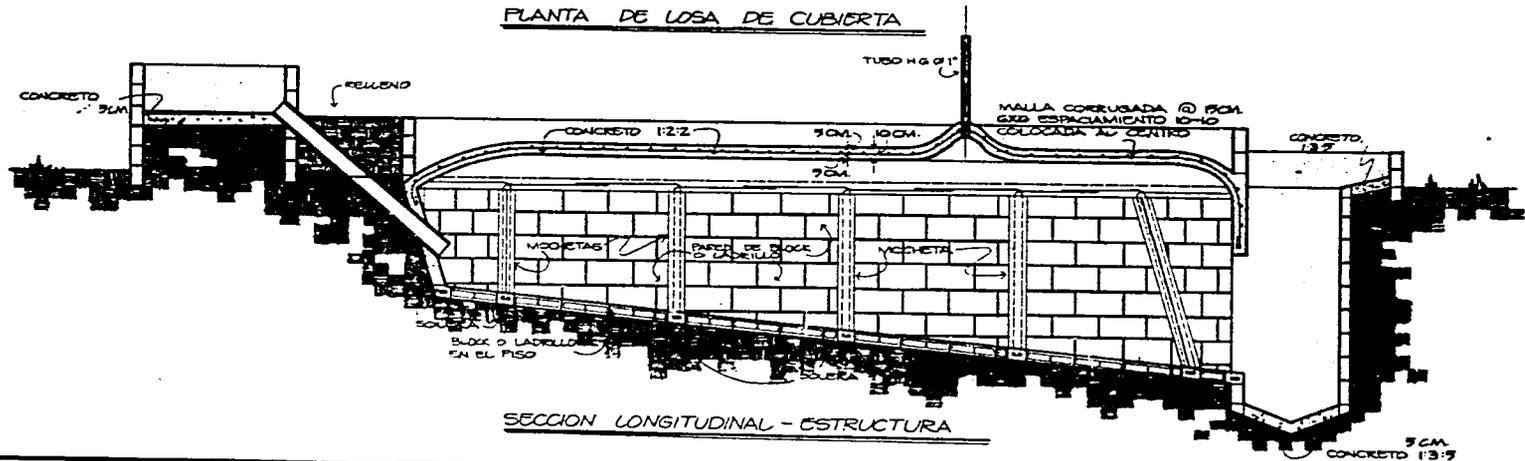
**ESTRUCTURA**  
 PISO Y PAREDES - DIGESTOR

HOJA  
**3**

170



PLANTA DE LOSA DE CUBIERTA



SECCION LONGITUDINAL - ESTRUCTURA

**ICAITI**

**BIOGAS**  
 DIBUJO: EKSTRO  
 REVISO: ING. C. ALEGRE

FECHA: AGOSTO 82  
 ESCALA: 1:25  
 PROYECTO: 1680.3

**PLANTA DE BIOGAS**  
 VOLUMEN 15 MTS<sup>3</sup>  
 LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA

ESTRUCTURAS  
 LOSA, CUBIERTA Y PAREDES - DIGESTOR

HOJA  
**4**