

T-UES  
1503  
D 611  
1992  
Ej. 1

3519

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**



**TRABAJO DE GRADUACION**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA PARA LA  
OBTENCION Y UTILIZACION DE BIOGAS, A TRAVES  
DE DESECHOS ORGANICOS DIVERSOS, PARA USO DEL  
CAMPO EXPERIMENTAL DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS AGRONOMICAS DE LA U. E. S.”**

**PRESENTADO POR:**

**CARLOS HUMBERTO ARDON RAMIREZ**  
**RICARDO ALEJANDRO FLORES TORRES**  
**VICTOR ANIBAL RODRIGUEZ SALAZAR**  
**CARLOS ALBERTO VILLANUEVA CASTANEDA**

**PARA OPTAR AL TITULO DE:**  
**INGENIERO MECANICO**

**OCTUBRE DE 1992.**

**SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA.**

*Recibido el 10 noviembre/92*

*15100811*  
*15100811*

THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

1120011

THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA  
THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

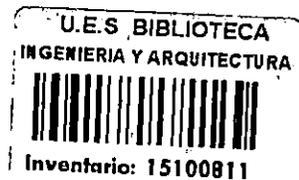
THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA  
THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA  
THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA  
THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA  
THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA  
THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA  
THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA  
THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA  
THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA  
THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA  
THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA  
THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA  
THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR:**

**DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA**

**SECRETARIO GENERAL:**

**LIC. MIRNA ANTONIETA PERLA DE ANAYA**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

**DECANO:**

**ING. JUAN JESUS SANCHEZ SALAZAR**

**SECRETARIO:**

**ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS**

**ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

**DIRECTOR DE ESCUELA:**

**ING. ALVARO ANTONIO AGUILAR ORANTES**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de:  
INGENIERO MECANICO

Título:

"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA PARA LA OBTENCION Y  
UTILIZACION DE BIOGAS, A TRAVES DE DESECHOS ORGANICOS DIVERSOS,  
PARA USO DEL CAMPO EXPERIMENTAL DE LA FACULTAD DE CIENCIAS  
AGRONOMICAS DE LA U.E.S."

Presentado por: CARLOS HUMBERTO ARDON RAMIREZ  
RICARDO ALEJANDRO FLORES TORRES  
VICTOR ANIBAL RODRIGUEZ SALAZAR  
CARLOS ALBERTO VILLANUEVA CASTANEDA

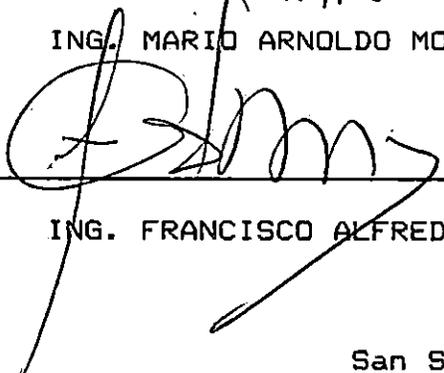
Trabajo de Graduación aprobado por:

Coordinador:

  
\_\_\_\_\_  
ING. MARIO ARNOLDO MOLINA ARGUETA

UNIVERSIDAD DE  
EL SALVADOR  
ESCUELA DE INGENIERIA  
MECANICA  
Facultad de Ingeniería  
y Arquitectura

Asesor:

  
\_\_\_\_\_  
ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEON TORRES

San Salvador, Octubre de 1992.

## DEDICATORIA

A DIOS  
TODOPODEROSO: Por haberme iluminado en el camino hacia la culminación de mi carrera.

A MIS PADRES: MARTA DE FLORES Y RICARDO FLORES, con mucho amor y cariño por su apoyo ya que sin él hubiera sido imposible este triunfo.

A MI ESPOSA: MARIA CECILIA, por su amor y apoyo desinteresado el cual me ayudó grandemente a finalizar mi carrera.

A MI HIJA: ALEXANDRA DANIELA con especial cariño y amor ya que tu presencia en mi vida me motivó aún más a lograr este objetivo.

A MIS COMPAÑEROS  
DE TRABAJO  
DE GRADUACION: Por permitirme formar parte del grupo de trabajo y por haberme ayudado en los momentos difíciles en los cuales me faltaban las fuerzas para seguir adelante.

A TODOS MIS FAMILIARES, PROFESORES, COMPAÑEROS Y AMIGOS QUE ESTUVIERON A MI LADO BRINDANDOME SU APOYO DURANTE TODA MI CARRERA.

RICARDO ALEJANDRO FLORES TORRES

## DEDICATORIA

- A DIOS  
TODOPODEROSO: Por haberme permitido alcanzar este triunfo y permitir que mis seres queridos disfruten de él.
- A MI PADRE: JESUS HUMBERTO ARDON a quien con este logro, quiero expresarle lo mucho que lo quiero y admiro pues él me impulsó la disciplina para cumplir mis metas.
- A MI MADRE: ROSARIO RAMIREZ DE ARDON por su gran amor y abnegados sacrificios, quiero dedicarle especialmente este triunfo y decirle que nunca podría expresarle con palabras todo lo que la amo. Gracias Madrecita Querida.
- AL AMOR DE MI VIDA: BETTY, quien comparte conmigo alegrías y tristezas, triunfos y fracasos, quiero agradecerle por haberme animado en los momentos difíciles y decirle que este triunfo es de los dos. Gracias mi amor, su compañía fue determinante.
- A MIS HERMANOS: ERICK, IVAN Y PATTY con todo el amor que siento por ellos.

A TODA MI FAMILIA: Con mucho cariño.

A MIS COMPAÑEROS DE A quienes mas que compañeros los  
TRABAJO DE considero mis amigos y de quienes tengo  
GRADUACION: un buen concepto.

A MIS COMPAÑEROS DE ESTUDIOS, PROFESORES Y DEMAS AMIGOS QUE ME  
AYUDARON EN MI FORMACION PROFESIONAL.

CARLOS HUMBERTO ARDON RAMIREZ

## DEDICATORIA

A DIOS  
TODOPODEROSO: Por haberme dado sabiduría y salud para lograr mis metas.

A MIS ABUELOS: JOSE RAFAEL LEMUS y MARIA ELENA RODRIGUEZ por darme su apoyo en todo momento, por sus sabios consejos que siempre estuvieron guiando mi vida y lograr así mis metas.

A MI MADRE: DORA ALICIA RODRIGUEZ, por estar en todo momento conmigo y darme su apoyo, alentándome siempre con todo amor para lograr este triunfo.

A MI PADRE: REGINALDO DE JESUS SALAZAR, por darme su apoyo y cariño, por guiar mis pasos por un buen camino siempre.

A MI ESPOSA: ARACELY CLARIBEL LINARES DE RODRIGUEZ, por darme su amor y apoyo en los momentos más difíciles de este trabajo y de esta manera ayudarme a lograr este triunfo. Gracias Amor.

A MI HIJA: ESTEFANIA CLARIBEL RODRIGUEZ, por ser mi más grande inspiración en el logro de mis metas. Con muchos amor y cariño.

A UN GRAN AMIGO:

JOSE RAMOS PEREZ, que siempre me dio su mano en todo momento y de esta forma es responsable de este triunfo. Gracias con todo respeto.

A MIS HERMANOS:

CLAUDIA, ROSARIO, GLORIBEL, CAROLINA, ENRIQUE y EDUARDO. Que siempre me dieron todo su apoyo.

A MIS FAMILIARES  
Y AMIGOS:

Gracias por sus consejos para lograr triunfos.

VICTOR ANIBAL RODRIGUEZ SALAZAR

## DEDICATORIA

A DIOS  
TODOPODEROSO:

Por todas sus bendiciones y por permitirme ver que la vida es una constante caminata; en donde encontramos diversos caminos, con verdades y mentiras. Gracias le doy por haberme iluminado, por colocarme en este camino y permitirme recorrerlo.

A MI PADRE:

JORGE ALBERTO VILLANUEVA, ha sido la persona que me ha brindado ayuda durante toda mi carrera, por ser la persona de los consejos acertados, por ser la persona que antepuso mis problemas a los suyos. En pocas palabras el gran artífice de mi trabajo.

A MI MADRE:

MARIA ISABEL DE VILLANUEVA, por ser la persona que me soportó, en mis malos ratos, me aconsejó en mis momentos de duda, me apoyó en mis decisiones y sobretodo por ser como es, la persona más importante de mi mundo.

A MI ABUELA:

MARIA ALICIA MOLINA, de quien he recibido el más grande cariño, todo el apoyo de este mundo y la fuerza que siempre me impulsa a seguir adelante.

A MIS HERMANOS:

JOSE LUIS, ILIANA ELIZABETH y MARTA ALICIA VILLANUEVA, por ser parte activa en mi trabajo, por la ayuda y confianza que me brindaron durante este tiempo.

A MI SOBRINO:

JORGE ALBERTO VILLANUEVA, que con su forma infantil e ingenua de ver la vida, me ayudó a convertir mis problemas, en cosas más llevaderas.

A LA MEMORIA DE  
MI ABUELO:

JOSE MARIA RAMIREZ, que me vio iniciar este trabajo y que gracias a la confianza y el gran cariño que siempre me tuvo, hoy me permito terminarlo.

A TODOS AQUELLOS QUE CON SUS ENSEÑANZAS ME HAN AYUDADO A FORJAR EL CARACTER, Y QUE GRACIAS A EL, HE PUESTO PARTE DE MI EN ESTE TRABAJO.

CARLOS ALBERTO VILLANUEVA CASTANEDA

## INDICE

	<u>Pagina</u>
- INTRODUCCION . . . . .	i
1.0 ANTECEDENTES DEL USO DEL BIOGAS EN EL SALVADOR . . . . .	1
1.1 ANTECEDENTES DEL USO DEL BIOGAS EN EL SALVADOR . . . . .	2
2.0 PROCESO DE LA DIGESTION ANAEROBICA . . . . .	12
2.1 GENERALIDADES DE LA DIGESTION . . . . .	13
2.2 PARAMETROS DE LA DIGESTION ANAEROBICA . . . . .	16
2.2.1 TEMPERATURA . . . . .	16
2.2.2 EL PH: . . . . .	18
2.2.3 RELACION CARBONO-NITROGENO. . . . .	18
2.2.4 TIEMPO DE RETENCION . . . . .	20
2.2.5 SUSTRATO. . . . .	21
2.2.6 CONCENTRACION DE SOLIDOS (SOLIDOS TOTALES Y SOLIDOS VOLATILES). . . . .	23
2.2.7 OTROS FACTORES. . . . .	24
3.0 EL EFLUENTE O BIOABONO . . . . .	26
3.1 EL EFLUENTE O BIOABONO . . . . .	27
4.0 TIPOS DE DIGESTORES. . . . .	29
4.1 MODELO HINDU. . . . .	30
4.1.1 MODELO HINDU CONVENCIONAL . . . . .	30
4.1.2 MODELO HINDU MODIFICADO . . . . .	32
4.2 MODELO FRY. . . . .	33
4.3 MODELO PLASTICO . . . . .	36
4.4 MODELO ICAITI . . . . .	38
4.5 MODELO BETHANIA . . . . .	40

	<u>Página</u>
4.6 BIODIGESTOR CHINO . . . . .	.42
5.0 EQUIPO ESPECIAL PARA USO DEL BIOGAS. . . . .	.44
5.1. EQUIPO ESPECIAL PARA USO DEL BIOGAS . . . . .	.45
5.2 EQUIPO PARA COCCION DE ALIMENTOS. . . . .	.45
5.3 EQUIPO PARA ILUMINACION . . . . .	.46
5.4 EQUIPO PARA REFRIGERACION (ABSORCION) . . . . .	.46
5.5 EQUIPO GENERADOR DE POTENCIA. . . . .	.47
6.0 JUSTIFICACION DE LA CONSTRUCCION DE UN DIGESTOR EN LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS. UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. . . . .	.48
6.1 JUSTIFICACION DE LA CONSTRUCCION DE UN DIGESTOR EN LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR . . . . .	.49
7.0 CONSIDERACIONES PRELIMINARES PARA LA SELECCION DEL TIPO DE BIODIGESTOR. . . . .	.51
7.1 CONSIDERACIONES PRELIMINARES PARA LA SELECCION DEL TIPO DE BIODIGESTOR. . . . .	.52
8.0 EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS BIODIGESTORES EN ESTUDIO . . . . .	.54
8.1 TIPO DE SUSTRATO. . . . .	.55
8.2 AISLAMIENTO TERMICO Y ADAPTABILIDAD AL CLIMA. .55	
8.3 PRESION DE OPERACION. . . . .	.56
8.4 PRODUCCION Y PRODUCTIVIDAD DE BIOGAS. . . . .	.57
8.5 ALMACENAMIENTO DE BIOGAS. . . . .	.59
8.6 PRODUCCION DE BIOABONO. . . . .	.60
8.7 MATERIALES DE CONSTRUCCION. . . . .	.61

	<u>Página</u>
8.8 TECNICAS DE CONSTRUCCION Y GEOMETRIA. . . . .	.61
8.9 CAMARA DE ENTRADA Y SALIDA. . . . .	.62
8.10 NIVEL DE COSTO. . . . .	.63
8.11 LIMPIEZA. . . . .	.68
8.12 AGITACION DE LA MEZCLA. . . . .	.69
8.13 CUADRO SINOPTICO. . . . .	.69
9.0 REQUERIMIENTOS ESPECIFICOS DEL CAMPO EXPERIMENTAL. .72	
9.1 REQUERIMIENTOS ESPECIFICOS DEL CAMPO EXPERIMENTAL . . . . .	.73
10.0 SELECCION DEL TIPO DE DIGESTOR MAS ADECUADO A LAS NECESIDADES DEL CAMPO EXPERIMENTAL . . . . .	.75
10.1 SELECCION DEL TIPO DE DIGESTOR MAS ADECUADO A LAS NECESIDADES DEL CAMPO EXPERIMENTAL. . . . .	.76
11.0 CONDICIONES DE DISEÑO. . . . .	.77
11.1 CONDICIONES DE DISEÑO . . . . .	.78
11.1.1 ZONA DE RECOLECCION. . . . .	.78
11.2 FUENTE DE AGUA. . . . .	.79
11.3 PILETA DE CARGA . . . . .	.79
11.4 DIGESTOR. . . . .	.80
11.4.1 TEMPERATURA. . . . .	.81
11.4.2 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL . . . . .	.81
11.4.3 CUBIERTA . . . . .	.81
11.4.4 MATERIALES INERTES . . . . .	.83
11.4.5 FLUJO. . . . .	.83
11.4.6 NIVELES DEL CONTENIDO DEL DIGESTOR . . . . .	.85
11.4.7 VOLUMEN OCUPADO POR EL BIOGAS. . . . .	.85

	<u>Pagina</u>
11.5 POZO DE DESCARGA Y PILETA DE COMPENSACION . . . . .	.88
11.6 RECOLECCION DEL GAS . . . . .	.90
11.7 SISTEMA DE CONDUCCION . . . . .	.92
11.8 NATAS SOBRE EL CONTENIDO DEL DIGESTOR . . . . .	.93
<b>12.0 ECUACIONES DE DISEÑO . . . . .</b>	<b>.94</b>
12.1 ECUACIONES DE DISEÑO. . . . .	.95
12.1.1 DEFINICION DE VARIABLES. . . . .	.95
12.2 PRODUCTIVIDAD DEL BIOGAS. . . . .	.96
12.3 CALCULO DE LA CARGA DIARIA. . . . .	.97
12.4 RELACIONES ENTRE EL VOLUMEN DEL DIGESTOR Y SUS LONGITUDES PRINCIPALES. . . . .	.98
12.5 DIMENSIONES DE LA PILETA DE CARGA . . . . .	102
12.6 DIMENSIONES DE LA PILETA DE COMPENSACION. . . . .	103
12.7 DIMENSIONES DE LA BOVEDA. . . . .	105
<b>13.0 CALCULO DE LAS DIMENSIONES PRINCIPALES DEL DIGESTOR.. . . . .</b>	<b>110</b>
13.1 CALCULO DE LAS DIMENSIONES PRINCIPALES DEL DIGESTOR. . . . .	111
13.2 DIMENSIONES DE LA PILETA DE CARGA . . . . .	113
13.3 PILETA DE COMPENSACION. . . . .	114
13.4 DIMENSIONES DE LA BOVEDA. . . . .	115
<b>14.0 DISEÑO DE LOS DISPOSITIVOS . . . . .</b>	<b>117</b>
14.1 SISTEMA DE ALMACENAJE . . . . .	118
14.2 ANALISIS SOBRE EL DISEÑO DE LA LAMPARA. . . . .	119
14.2.1 PARAMETROS DE DISEÑO . . . . .	123
14.2.1.1 PESO ESPECIFICO . . . . .	123

	<u>Pagina</u>
14.2.1.2 VALOR CALORIFICO DEL BIOGAS .	125
14.2.1.3 SUMINISTRO TEORICO DE AIRE. .	126
14.2.2 CALCULO DE LAS DIMENSIONES PRINCIPALES DE LA LAMPARA. . . . .	127
14.2.2.1 DIAMETRO DE LA ABERTURA DE LA BOQUILLA. . . . .	127
14.2.2.2 SUPERFICIE DE LA TONA PARA EL AIRE PRIMARIO (Fk). . . . .	128
14.2.2.3 DIAMETRO DEL INYECTOR . . . .	128
14.3 ANALISIS SOBRE EL DISEÑO DE LA COCINA . . . .	129
14.3.1 CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LA COMBUSTION DEL BIOGAS . . . . .	131
14.3.2 EL DISEÑO. . . . .	133
14.3.3 CALCULO DEL QUEMADOR . . . . .	134
14.3.3.1 SUPERFICIE DE LOS AGUJEROS .	134
14.3.3.2 NUMEROS DE AGUJEROS . . . . .	134
14.3.3.3 DIAMETRO DEL QUEMADOR. . . .	135
14.3.3.4 DIAMETRO DE LA ABERTURA DE LA BOQUILLA. . . . .	136
15.0 DEFINICION DE COSTOS PARA LA CONSTRUCCION. . . . .	137
15.1 DEFINICION DE COSTOS PARA LA CONSTRUCCION . .	138
16.0 MANUALES DE CONSTRUCCION DEL DIGESTOR. . . . .	142
16.1 MANUAL DE CONSTRUCCION DEL DIGESTOR . . . . .	143
16.1.1 SELECCION Y LIMPIEZA DEL LUGAR. . . .	143
16.1.2 TRAZOS. . . . .	144

	<u>Pagina</u>
16.1.3 EXCAVACION Y REMOCION DE SUELO. . . .	144
16.1.4 CONSTRUCCION DEL PISO DEL DIGESTOR. .	147
16.1.5 LEVANTADO DE LAS PAREDES. . . . .	149
16.1.6 LEVANTAMIENTO DE LAS PAREDES DEL FOSO DE DESCARGA . . . . .	149
16.1.7 HECHURA DE LA PILETA DE COMPENSACION.	151
16.1.8 HECHURA DE LA PILETA DE CARGA . . . .	151
16.1.9 TUBOS DE CARGA. . . . .	153
16.1.10 ACABADO DE LAS PAREDES, PISO DEL DI- GESTOR Y PILETAS DE CARGA Y DESCARGA.	155
16.1.11 FABRICACION DE OBRA FALSA PARA CUBIERTA DEL DIGESTOR. . . . .	155
16.1.12 ARMADURA DE REFUERZO DE LA CUBIERTA .	157
16.1.13 COLADO DE CONCRETO SOBRE LA ESTRUCTURA, REPELLADO Y AFINADO DE LA CUBIERTA. .	157
16.1.14 DESENCOFRADO DEL DOMO . . . . .	159
16.2 MANUAL DE CONSTRUCCION DE LA LAMPARA. . . . .	160
16.3 MANUAL DE CONSTRUCCION DE LA COCINA . . . . .	166
17.0 MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO. . . . .	183
17.1 MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO . . . . .	184
17.2 OPERACION DEL DIGESTOR. . . . .	184
17.2.1 CARGA INICIAL. . . . .	184
17.2.2 CARGA Y DESCARGA DIARIA. . . . .	186
17.2.3 AGITACION. . . . .	188
17.3 MANTENIMIENTO DEL DIGESTOR. . . . .	188

17.4 OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ALMACENAJE. . . . .	191
17.5 OPERACION Y MANTENIMIENTO DE LA LAMPARA . . .	193
17.6 OPERACION Y MANTENIMIENTO DE LA COCINA. . . .	194
- CONCLUSIONES . . . . .	196
- RECOMENDACIONES . . . . .	198
- BIBLIOGRAFIA . . . . .	200
- ANEXOS . . . . .	203

## INTRODUCCION

A principios de la década de los ochenta se construyó en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de el Salvador, un biodigestor modelo Hindu modificado con el propósito de contar con material didáctico para la asignatura "Maquinaria Agrícola", asignatura en la cual se aborda la problemática del balance energía-ecología, y puesto que la tecnología del Biogás presenta una alternativa de solución, esta situación se incluye en el programa de dicha asignatura. Es en ese sentido que la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, consciente de su responsabilidad histórica de generar y difundir tecnología encausada a mejorar las condiciones del pueblo salvadoreño, decide proponer como tema de Trabajo de Graduación la Construcción de un Biodigestor en el campo experimental de Comalapa de la Facultad de Ciencias Agronómicas, con el objetivo doble de difundir la tecnología del Biogás como fuente alternativa de energía en el sector rural, y el de dotar al campo experimental con un modelo diferente al construido ahí previamente.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, el presente Trabajo de Graduación trata de la implementación de un Biodigestor en el campo experimental de Comalapa.

A continuación se detalla en términos generales los temas abordados en la presente obra.

Se comienza con los antecedentes del uso del biogás en El Salvador, para luego proceder a explicar el proceso de digestión anaeróbica. A continuación se presentan en el capítulo cuatro los diversos modelos de biodigestores que han sido desarrollados a través de la historia, esto con el objetivo de tener elementos de juicio para luego seleccionar el modelo a construir.

Posteriormente en el capítulo cinco se detallan los dispositivos que pueden ser accionados con el biogás producido.

Una vez establecido el preámbulo anterior, se procede a la selección del biodigestor más adecuado a las condiciones de la zona rural salvadoreña.

Partiendo del hecho de que el campo experimental ya cuenta con un digestor modelo hindu modificado, dicho modelo es excluido del proceso de selección antes mencionado al igual que otros modelos obviamente no convenientes, quedando así sometidos a selección los modelos hindu convencional, chino e ICAITI, tomándose en cuenta para dicha selección factores tales como: productividad, costos, facilidad de construcción, etc.

Del proceso de selección antes mencionado, resulta que el modelo más conveniente para nuestro medio es el modelo ICAITI, puesto que aventaja a los otros modelos en la mayoría de factores considerados.

Una vez establecido el modelo a construir se hacen los cálculos de las dimensiones del digestor, partiendo de los datos de producción diaria de estiércol de las reses del campo experimental de Comalapa, detallándose además en un manual

presentado en el capítulo dieciséis el proceso de producción del modelo ICAITI.

Es importante destacar que una vez construido y puesto en operación el modelo ICAITI, este confirmó a través de pruebas objetivas la conveniencia que ofrece para su difusión en el campo salvadoreño.

**C A P I T U L O   U N O**  
**ANTECEDENTES DEL USO DEL**  
**BIOGAS EN EL SALVADOR**

## 1.1 ANTECEDENTES DEL USO DEL BIOGAS EN EL SALVADOR

Las primeras experiencias relacionadas con la obtención de biogás en El Salvador, se remontan a principios de la séptima década del siglo actual, y fueron estudios esporádicos dirigidos a producir biogás a partir de la pulpa de café y las aguas residuales resultantes del beneficiado húmedo del café.

Black (1960) reportó un estudio realizado por el Dr. Victor H. Ortiz en 1960 con dos digestores metálicos de siete metros cúbicos de capacidad y un volumen efectivo de seis metros cúbicos cargados inicialmente con aguas negras no tratadas y a los que se agregaron diariamente cantidades crecientes de pulpa de café desde 22.7 kg. hasta 272.1 kg., logrando producir biogás con un rendimiento equivalente a 0.5 m<sup>3</sup> por Kg. de sólidos secos. La composición del gas era aproximadamente 63% volumen sobre volumen (v/v) de bióxido de carbono. El sustrato se agitaba tres veces diarias durante 15 minutos y se estudió el comportamiento del sistema a temperaturas mesofílicas (35°C) y a termofílicas (55°C). El tiempo de retención era de doce días, Chiquillo A. (1980).

El mismo autor reporta, que las experiencias del Dr. Ortiz interesaron a una corporación, que con asesoría técnica de una empresa alemana pretendía instalar una planta consistente en ocho digestores de 550 metros cúbicos de capacidad individual, que

producirían 6,820 metros cúbicos de biogás al día para utilizarlos en la generación de energía eléctrica comercial. Como materia prima se utilizaría una mezcla de pulpa y cascarilla de café proveniente de nueve beneficios localizados en las cercanías de la ciudad de Santa Ana. El sistema debería operar a una temperatura termofílica de 55°C durante 360 días. Su costo estimado para esa época (1960) era de un millón de dólares. Este proyecto no se realizó probablemente debido a causas económicas.

A. García Prieto citado por Chiquillo A. (1980) experimentó durante dos cosechas de café (1963-1965) la digestión anaeróbica de las aguas residuales de beneficios con el doble objetivo de reducir la contaminación ambiental y obtener gas combustible. Una caldera vieja de tres metros cúbicos (dos metros cúbicos efectivos) se adecuó para que sirviera como digestor prototipo el cual funcionó a temperatura ambiente con tiempos de retención de 10 y 15 días. Aunque no se logró producir biogás combustible en este experimento se logró una reducción del 36.4% en los sólidos volátiles por simple anaeróbica.

Trece años más tarde (1978), luego de la crisis energética de 1973, el tema del biogás que se había olvidado despertó nuevamente el interés en algunos profesionales y estudiantes universitarios el proceso del beneficiado del café y otros residuos orgánicos con el fin de obtener una fuente de energía económica y de fácil aplicación. Lardé (1981) realizó experimentos más controlados sobre la producción del biogás con

pulpa de café. Estudió el efecto del excremento bovino sobre la cantidad y composición del gas obtenido al digerir anaerobicamente la pulpa de café semidescompuesta. La pulpa utilizada se mantuvo en pilas de concreto con piso de tierra durante tres meses antes de iniciar el experimento mientras que el estiércol fue desecado al sol un mes antes del inicio del estudio. Utilizó diferentes mezclas homogéneas de pulpa de café y estiércol bovino, las cuales se mantuvieron en depósitos metálicos de 0.23 metros cúbicos. Los resultados indicaron que la mejor calidad y la mayor cantidad de biogás así como una fermentación más estable se obtenían con el tratamiento sin estiércol.

Poco tiempo después se estudió la influencia del grado de descomposición aeróbica de la pulpa de café previa a la digestión anaeróbica, Larde (1982). En este experimento se emplearon digestores del mismo tipo que en el anterior y pulpa de café mantenida en las condiciones ya descritas durante tres, cinco y siete meses. Se observó que a medida que aumenta el período de descomposición aeróbica previa se reduce el potencial de la pulpa para generar biogás.

Nave y colaboradores (1980), también estudiaron la utilización de la pulpa de café fresca para producir biogás. Encontraron que con pulpa fermentada anaeróbicamente durante ocho semanas se genera menor cantidad de gas que con excremento bovino fresco diluido, cuando ambos actúan como iniciadores de la descomposición de la pulpa de café a biogás.

Entre los experimentos con otros desechos diferentes a los residuos del beneficiado del café, está el realizado por Granados Vásquez en 1978, quien utilizó el estiércol de cerdo para producir biogás cualitativamente. El estiércol se fermentó en frascos de dos litros inicialmente, luego en frascos de 19 litros y en depósitos metálicos de 0.23 metros cúbicos. El objetivo principal de este experimento era comprobar la factibilidad técnica de producir biogás con estiércoles animales, según lo expuesto por Chiquillo A. (1980).

Burgos y colaboradores (1979) estudiaron el aprovechamiento del jacinto acuático (*Eichhornia Crassipes*) para producir biogás. Ensayaron en frascos de 2000 centímetros cúbicos con mezclas de jacinto acuático y agua que mantuvieron a temperaturas que oscilaron entre 31° y 38° grados centígrados. Obtuvieron de 10.5 a 140 milímetros cúbicos de biogás por cada gramo de jacinto acuático fresco en 90 días con un contenido de metano cerca de 76%, Chiquillo A. (1980). Estudiaron el uso como inóculo de aguas negras, sedimentos extraídos del lugar donde recolectaron el jacinto y descargas de un digestor anaeróbico que ya estaba operando con jacinto acuático, no habiendo observado diferencias notables. Recomendaron estudiar mezclas de jacinto con otros desechos y formas de acelerar la producción con el fin de mejorar los rendimientos del biogás.

En el mismo año, Chiquillo Alas (1980) también experimentó con el jacinto acuático en un envase de 2 litros en el que colocó 0.774 kg de jacinto fresco y molido más 1,620 milímetros cúbicos de agua destilada. Esta mezcla se obtuvo a una temperatura de 48°C y produjo cerca de 0.01 metros cúbicos de gas en 233 días de observación, aproximadamente con 80% de metano y 17% de bióxido de carbono. Consideró que debería continuarse la experimentación para establecer datos de diseños más precisos y para encontrar formas de reducir el volumen de digestor.

Los experimentos realizados por Granados Vásquez en 1978 repercutieron en otras personas y fue así como se construyeron en 1979 dos digestores anaeróbicos diferentes de los utilizados en los anteriores estudios. Uno de éstos era de tipo horizontal, metálico, de 0.63 metros cúbicos de capacidad y el otro era de concreto de 6 metros cúbicos de tipo vertical, diseñado en base a los digestores hindúes. De los dos, el único que funcionó bien fue el metálico, puesto que el otro tuvo fugas de gas y la temperatura de la mezcla era muy baja, Chiquillo A. (1980).

Craig Warriner, miembro del Cuerpo de Paz, de Los Estados Unidos construyó en 1979 otro digestor de 0.69 metros cúbicos siguiendo los pasos de un antecesor suyo de acuerdo a lo mencionado por Chiquillo A. (1980). Usó en este caso estiércol bovino. Luego de esta experiencia preliminar, diseñó y dirigió la construcción de un digestor hecho de ladrillos con cúpula de

concreto reforzado, con una capacidad total de siete metros cúbicos. Este digester es del tipo de los construidos por J. Fry en Africa del Sur. La construcción de este digester condujo a la creación de la Cooperativa de Gas Metano de Las Chinamas, formada por campesinos propietarios de pequeñas parcelas ubicadas en esta zona del departamento de Ahuachapán. Sin embargo al poco tiempo de construido sufrió roturas en las paredes y hubo fugas de gas, pero fue reparado y se esperaba que a mediados de 1980, estuviera operando nuevamente, Chiquillo A. (1980).

Los intentos realizados hasta 1979, por desarrollar la tecnología del biogás en El Salvador, interesaron al Centro Nacional de Productividad (CENAP), institución que tomó la iniciativa y reunió a varios técnicos nacionales con experiencia en la generación de biogás. Poco tiempo después se formó la Comisión de Biogás (de corta duración) cuya primera tarea fue la de elaborar un proyecto para presentarlo al Comité Técnico Consultivo de Política y de Planificación en 1980.

Hasta 1980 se distinguen básicamente dos etapas: una relacionada con la utilización de los subproductos obtenidos del beneficiado del café y la otra relacionada con el uso de los estiércoles animales y residuos vegetales.

La mayoría de experimentos se hicieron a escala de laboratorio y son muy escasos los que se intentaron en el campo, los cuales no llegaron a tener el éxito esperado por el poco

interés que se le dió al tema por parte de instituciones gubernamentales y privadas.

En el período 1980-1984 la tecnología del biogás tuvo en El Salvador una mayor atención en cuanto a investigación y desarrollo se refiere.

En el instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café (ISIC) se ha continuado experimentando con las aguas residuales de beneficios de café y con la pulpa de café, puesto que éste se concentra en cantidades abundantes en las regiones cafetaleras del país, representando un potencial de biogás equivalente a 9,274 metros cúbicos en condiciones estándar.

Flores (1981) construyó un equipo sencillo y económico para producir y utilizar el biogás en los hogares rurales como complemento de la leña. Con este equipo logró producir 0.140 metros cúbicos diarios de gas, utilizando estiércol bovino como materia prima. En la carga inicial se ocuparon 136 kg. de estiércol fresco y diluido en agua hasta obtener una concentración del 12% de sólidos totales. A los treinta días de realizada la carga inicial se agregaron diariamente 3,078 centímetros cúbicos de mezcla estiércol-agua con el fin de mantener una producción continua de gas. El costo del equipo para ese año era de ₡ 180.00.

Posteriormente en 1982 se realizó un estudio experimental a escala de laboratorio con residuos de zacate limón (*ymbopogon sp*) y hojas de lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) como substratos

para producir biogás con digestores discontinuos mantenidos a temperatura ambiente ( $27^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) habiéndose obtenido 0.102 metros cúbicos de gas por kg. de sólidos totales (0.522  $\text{m}^3/\text{kg}$ . sólidos volátiles) con residuos de zacate limón en 100 días y 0.40 metros cúbicos por kg las hojas de lechuga de agua en 80 días, Lardé (1984). A diferencia del residuo de zacate limón las hojas de lechuga de agua resultaron un buen sustrato para producir biogás.

En 1982 por medio de la cooperación técnica-agrícola que mantiene la República de China (Taiwan) con el Gobierno de El Salvador, se instaló en la Escuela Nacional de Agricultura (ENA) un digestor plástico de cincuenta metros cúbicos de capacidad para producir biogás a partir del estiércol porcino, con propósitos de demostración de la tecnología.

A finales de 1982 el Instituto Centroamericano de investigación y Tecnología Industrial (ICAITI) por medio del proyecto "Leña y Fuentes Alternas de Energía", construyó en una hacienda del sector reformado, un digestor hecho de ladrillos y concreto reforzado, de quince metros cúbicos de capacidad total.

Luego en 1983 ese mismo Instituto por medio de convenios de cooperación con dos instituciones nacionales: La Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL) y la Dirección de Desarrollo Comunal (DIDECO) propició la construcción de otros dos digestores similares al anterior, uno en una finca particular y el otro en los terrenos de la ENA, el cual está actualmente a cargo de técnicos del Centro de Tecnología Agrícola (CENTA).

En octubre de 1983 se realizó el Primer Seminario Nacional de Biogás, cuyos objetivos fueron:

1. Promover el ahorro de leña y combustible importado mediante la aplicación de la tecnología del biogás.
2. Establecer recomendaciones para el desarrollo de la tecnología del biogás en el país.

En este seminario se observó la necesidad de continuar con la investigación relacionada con la disposición de los subproductos resultantes del beneficiado del café, así como también de los desechos agropecuarios como es el caso de los estiércoles animales. Además se logró que otras instituciones gubernamentales y empresas particulares se interesaran por adoptar la tecnología del biogás. A mediados de 1984 en una granja de Metapán, se construyó un digestor modelo hindú, con una capacidad de 12 metros cúbicos, bajo la supervisión del Ing. Agr. Marco Tulio Vaquero quien había adquirido experiencia en la construcción de esta clase de digestores en sus estudios realizados en Brasil. El digestor se construyó con el propósito de reducir el problema sanitario ocasionado por el estiércol porcino. El biogás se ha propuesto para cocinar las vísceras de aves de corral de la misma granja para alimentar a los cerdos.

A finales de 1984 se construyó otro digestor como parte de un seminario de graduación de tres estudiantes de Ingeniería Mecánica de la Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas" (UCA). Este modelo de digestor está basado en el diseño de otros modelos conocidos, como el hindú y el ICAITI. En este documento se le mencionará como modelo BETHANIA que proviene del lugar donde se encuentra instalado.

Su capacidad total es de 10 metros cúbicos y tuvo un costo aproximado de \$ 5,000.00. La finalidad de este digestor es producir biogás para la cocción de alimentos de una parte de las personas que se encuentran reubicadas en el campamento Bethania para desplazados de las zonas conflictivas del país, ubicado cerca de Zaragoza, Departamento de La Libertad. Lo interesante de este caso es que se utilizan las heces humanas de las personas del lugar, siendo la primera experiencia de este tipo en El Salvador.

**C A P I T U L O   D O S**  
**PROCESO DE DIGESTION**  
**ANAEROBICA**

## 2.1 GENERALIDADES DE LA DIGESTION

Este proceso se lleva a cabo cuando ciertos microorganismos, en ausencia de oxígeno descomponen la materia orgánica compleja a materia orgánica mas simple y luego a dióxido de carbono y metano. Los microorganismos encargados de este proceso son de dos clases: las bacterias facultativas y las bacterias metanogénicas.

Las bacterias facultativas son principalmente bacterias celulolíticas, usan el oxígeno que pueda encontrarse presente en el proceso protegiendo así a las bacterias estrictamente anaeróbicas de cualquier cantidad de oxígeno libre que pudiera introducirse al sistema. Los productos finales principales que se obtienen a partir de ellos a PH neutro son los ácidos volátiles que son ácidos orgánicos de bajo peso molecular.

En la producción de metano a partir de desechos orgánicos se dan procesos secuenciales los cuales incluyen dos etapas: la fermentación ácida seguida por la fermentación del metano.

En la fermentación ácida la materia orgánica digerible (grasas, proteínas y almidones) es transformada a compuestos más simples. Los compuestos principales que resultan de la conversión del sustrato son los ácidos orgánicos volátiles, encontrándose en mayor cantidad el acético, propiónico y butírico; también esta fermentación se caracteriza por un descenso del PH desde cerca

del valor neutro hasta aproximadamente un valor de 5.0, aunque la conversión de los ácidos a metano y dióxido de carbono resultan en un PH de 6.8 a 7.4. Las bacterias formadoras de ácidos son relativamente tolerantes a los cambios en PH y temperatura y crecen con mayor rapidez que las metanobacterias.

En la etapa de la fermentación del metano, los ácidos orgánicos producidos en la etapa anterior son convertidos a metano y dióxido de carbono, lo cual trae como resultado una marcada reducción en el contenido de material orgánico en el sistema. En esta etapa se realiza la estabilización del material orgánico oxidable, siendo así que la cantidad de material orgánico estabilizado es directamente proporcional a la cantidad de metano producido. Las bacterias formadoras de metano, son estrictamente anaeróbicas y el principal compuesto orgánico utilizado por ella, para la producción de metano es el ácido acético.

El metano total producido es el formado en el proceso anteriormente descrito más el producido por otras bacterias reductoras del dióxido de carbono y el hidrógeno.

Debido a que el metano es insoluble en agua pasa a la etapa gaseosa y puede ser colectado o usado directamente como se obtiene.

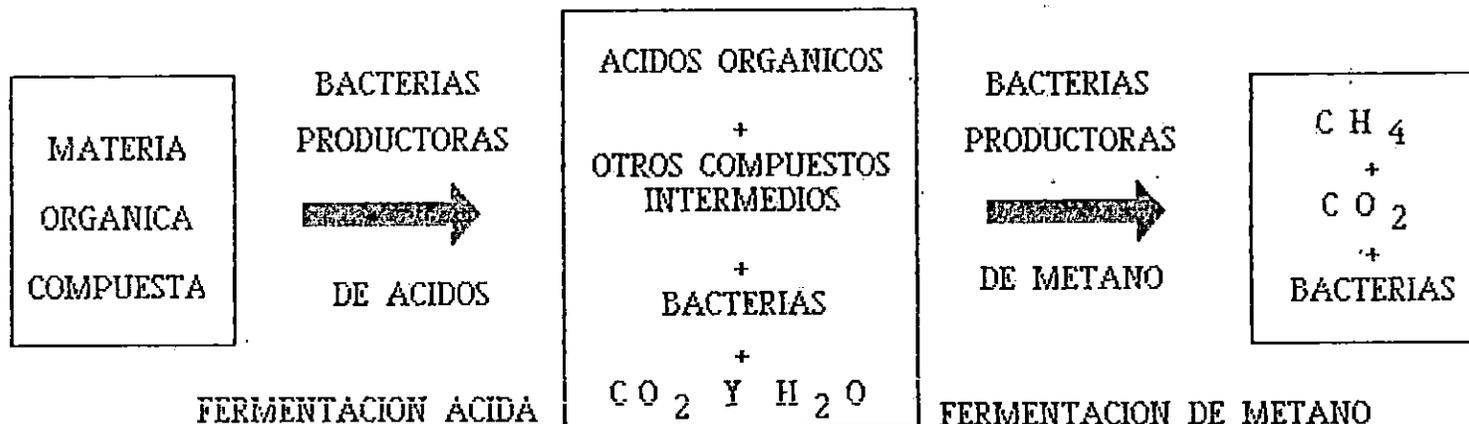


FIGURA 2.1. Mecanismo secuencial de los procesos anaeróbicos

En la figura 2.1., se muestra el mecanismo secuencial del proceso anaeróbico. El cuadro 2.1, muestra la composición del biogás.

CUADRO 2.1. COMPOSICIÓN DEL BIOGAS<sup>1</sup>

METANO CH <sub>4</sub>	54-70%
BIOXIDO DE CARBONO CO <sub>2</sub>	27-45%
NITROGENO N <sub>2</sub>	0.5-3.0%
HIDROGENO H <sub>2</sub>	1.0-10%
ACIDO SULFUHIDRICO H <sub>2</sub> S	0.1%

## 2.2 PARAMÉTROS EN LA DIGESTION ANAEROBICA

El proceso de la fermentación anaeróbica depende sobre todo de que se logre y se mantenga un balance entre las bacterias acidogénicas y las metanogénicas, las productoras de ácidos y las productoras de metano, respectivamente, las bacterias formadoras de metano son estrictamente anaeróbicas y son extremadamente sensibles a pequeños cambios en el PH y la temperatura, lo cual proporciona dos parámetros importantes a estudiar en el proceso de fermentación anaeróbica. Aunque existen otros factores tales como la relación carbono-nitrógeno, el periodo de retención, tipo de sustrato, sólidos totales y operación continua del digestor que también influyen en la fermentación anaeróbica.

### 2.2.1 TEMPERATURA

Las bacterias formadoras de metano son activas en dos rangos de temperatura, en el rango mesofílico ( $30^{\circ}$ - $35^{\circ}$ C) y en el rango termofílico ( $50^{\circ}$ - $60^{\circ}$ C), aunque el proceso anaeróbico ha sido operado a  $25^{\circ}$ C satisfactoriamente proporcionando suficiente tiempo de residencia para las metanobacterias<sup>2/</sup>. Se ha comprobado además que en el rango entre  $40^{\circ}$  y  $50^{\circ}$ C, la producción de metano disminuye (BUSWELL, 1958), por lo que la temperatura a la cual se realice la fermentación es factor a tomar en cuenta.

---

<sup>2/</sup> Obtención de biogás a partir del jacinto acuatico/Guillermo Villacorta/Noviembre de 1980.

La fermentación anaeróbica resulta más eficiente si se mantiene una temperatura más o menos estable dentro del proceso, variando dentro del rango mesofílico. Aunque Cooney (1976) encontró que la eficiencia de digestión (la relación de material orgánico convertido a gas con respecto al material orgánico disponible) se incrementa en el rango termofílico de temperatura; sin embargo la principal desventaja de operar en este rango es el requerimiento extra de calor y además un apareamiento de un alto porcentaje de  $\text{CO}_2$  en el gas producido. Además por arriba de  $60^\circ\text{C}$  es muy difícil que la población bacteriana anaeróbica se mantenga con vida. En la figura 2.2 se muestra el efecto de la temperatura en la producción de biogás.

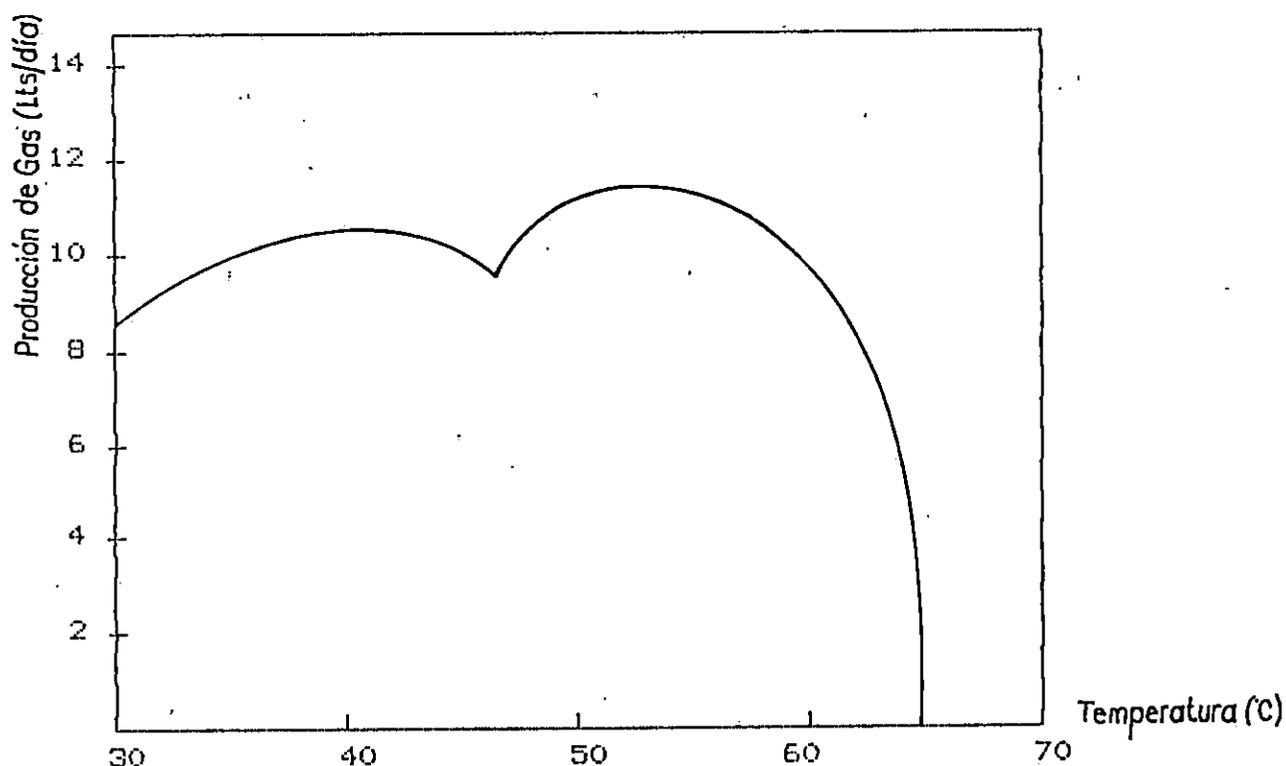


FIGURA 2.2. Efecto de la temperatura en producción de biogás

### 2.2.2. EL PH:

El PH es el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia y puede medirse mediante el uso de tiras reactivas. El rango óptimo de PH para una buena fermentación es de 6.4 a 7.2 (rango neutro<sup>3/</sup>), es decir dentro de este rango la variación de las velocidades de fermentación de metano es grande, pero fuera de él disminuyen notablemente. Esto debido a que la fermentación ácida provoca inicialmente un descenso del PH por la producción de ácidos; si estos ácidos no son oxidados tan pronto como son producidos su concentración aumenta, por lo que el crecimiento de las metanobacterias disminuye rápidamente.

### 2.2.3 RELACION CARBONO-NITROGENO

Los digestores anaeróbicos pueden considerarse como un medio para el cultivo de bacterias las cuales oxidan la materia orgánica. Los elementos como el carbono, en forma de carbohidratos y el nitrógeno como proteínas, amoníaco, nitratos son principales nutrientes de las bacterias anaeróbicas.

La fermentación toma su curso cuando el material orgánico, en la digestión anaeróbica contiene una cierta cantidad de

---

<sup>3/</sup> Obtención de biogás del jacinto acuatico/Guillermo Villacorta/Noviembre de 1980.

nitrógeno y carbono juntos. La relación carbono-nitrógeno (C/N) representa esta proporción. El carbono es utilizado para energías y el nitrógeno para la reproducción bacteriana.

Teóricamente las bacterias anaeróbicas usan el carbono alrededor de 30 veces más rápido que nitrógeno, es decir con una razón 30 a 1. Esta relación dará a la fermentación una velocidad óptima, si las otras condiciones son favorables. Si hay demasiado carbono en el material orgánico alimentado, el nitrógeno existente será consumido antes que el carbono y esto ocasionará una digestión lenta. Por otro lado, si hay muy poco carbono (demasiado nitrógeno), este se consume rápidamente y la fermentación se detiene. El nitrógeno remanente se perderá en forma de amoníaco gaseoso ( $\text{NH}_3$ ), disminuyendo así la fertilidad del bioabono como subproducto.

El contenido de C/N de un material puede variar con la edad y condiciones de crecimiento de las plantas y la edad y dieta de los animales que produzcan el desecho que sirva de materia prima para la fermentación. El cuadro 2.II., muestra las relaciones C/N de algunos substratos.

CUADRO 2.II. RELACION C/N DE ALGUNOS SUSTRATOS<sup>4/</sup>

SUSTRATOS	%C	%N	C/N
BOVINO	7.3	1.7	16-20
PORCINO	7.3	3.8	15-20
AVIAR	-	6.3	6-7
CABALLAR	10	2.3	25
HUMANO	2.5	0.85	3

#### 2.2.4 TIEMPO DE RETENCION:

Es el período de tiempo en el cual el material orgánico permanece dentro del digestor; sobre este parámetro influye la temperatura. A temperatura constante, la producción de biogás y la degradación de la materia orgánica serán consecuentemente mayores, pero es necesario un mayor volumen de digestor que con tiempos de retención menores; entonces si la biodigestión se realiza en un lugar con clima cálido, se pueden adaptar tiempos de retención cortos, ya, que la alta temperatura interna acelera la fermentación. Se han encontrado tiempos desde 20 hasta 30 días para climas cálidos y para climas frío deben adoptarse tiempos de retención más largos desde 30 a 60 días dependiendo de la temperatura.

---

<sup>4/</sup> National Academy of Sciences/Marzo de 1977.

Aunque algunas veces el tiempo de retención está supeditado a la cantidad de material orgánico con que se dispone diariamente, ya que con tiempos de retención cortos, las cargas de materia prima tendrían que ser mayores.

#### 2.2.5 SUSTRATO:

El sustrato es el material orgánico utilizado para el proceso de digestión anaeróbica. Existe una variedad de sustratos vegetales y animales, pero se usa aquel que por sus características sea adaptable a las condiciones de uso. Los desechos animales, principalmente el bovino y el porcino, presentan ciertas ventajas sobre otros tipos de desecho, como la de contar con las bacterias adecuadas que aceleran el proceso de fermentación anaeróbica, además de su fácil y económica obtención. El desecho vegetal tiene el inconveniente de no poseer desde el principio estas bacterias por lo que su degradación es más lenta y difícil, aunque las mezclas de desechos vegetales con desecho animal proporcionan un sustrato de más fácil degradación.

De los desechos animales el que presenta problemas es la gallinaza, ya que debido a su alto contenido de nitrógeno impide su empleo en un cien por ciento al inicio del proceso de fermentación. Su dosificación tiene que hacerse gradualmente y combinado con otro desecho animal.

Lo importante es que la materia prima después de degradada puede ser usada como abono orgánico.

A continuación se da un listado de algunos materiales orgánicos encontrados en nuestro medio y que pueden producir biogás y bioabono.

CUADRO 2.III. MATERIALES ORGANICOS Y PRODUCCION DE BIOGAS<sup>5/</sup>

MATERIAL ORGANICO	EXCRETA KG	HUMEDA DIARIA	PRODUCC. DE BIOGAS m <sup>3</sup> /DIA
BOVINO		10	0.360
CERDO	(50kg)	2.25	0.101
GALLINA	(2 kg)	0.18	0.008
CABALLO		10	0.300
CARNERO		2	0.100
TERNERO		5	0.200
PERSONA ADULTA		0.40	0.025

La cantidad de animales que son necesarios para producir un metro cúbico de biogás es:

- 3 vacas
- 9 cerdos
- 130 gallinas
- 4 caballos
- 10 carneros
- 5 terneros
- 40 personas adultas.

<sup>5/</sup> La tecnología del biogás y el bioabono en El Salvador/Nelson Roberto Flores, Gerardo Larde/Abril de 1980.

## 2.2.6 CONCENTRACION DE SOLIDOS (SOLIDOS TOTALES Y SOLIDOS VOLATILES)

Cualquiera que sea el material orgánico usado como materia prima (sustrato), contiene siempre cierto porcentaje de humedad y otro de sustancia sólida. Los sólidos totales representan el peso del material seco remanente, después de un proceso de secado a 105°C, por 24 horas ó hasta que se nota pérdida de peso.

Los sólidos no es un factor crítico en el funcionamiento del mecanismo de fermentación , pero es necesario tomarlos en cuenta para establecer la dilución correcta del material a emplear. Por lo general se opera un proceso con un porcentaje de sólidos totales entre 5% y 10%.

Los sólidos volátiles con la parte orgánica de los sólidos totales se degradan para producir biogás. Su cantidad en los residuos animales y vegetales varía ampliamente dependiendo de la clase de alimento que ingiera el animal.

Experimentalmente se ha determinado una relación de uno a uno de mezcla con agua y excremento. El cuadro 2.IV muestra los sólidos totales presentes en algunos sustratos.

CUADRO 2.IV. SOLIDOS TOTALES PRESENTES EN ALGUNOS SUSTRATOS<sup>6/</sup>

SUSTRATO	% ST
ESTIERCOL BOVINO	16-20
ESTIERCOL DE CERDO	18
ESTIERCOL DE GALLINA	40-50
ESCRETAS HUMANAS	17
RASTROJO Y HOJAS DE MAIZ	77.0
PAJA DE ARROZ	92.6
PAPEL PERIODICO	93.0

2.2.7. OTROS FACTORES:

Para que se dé la producción esperada de biogás es necesario que el proceso sea continuo. Esto significa que tanto la carga diaria como la descarga diaria deben hacerse sin interrupción, proporcionando así a las bacterias un régimen regular que no altere las condiciones de alimentación ni el medio en que se desarrollan.

Esto significa que, aún cuando los restantes parámetros se encuentren en sus valores correctos, si se suspende la operación diaria del proceso o se hace desordenadamente, la producción de biogás comenzará a disminuir, hasta un punto en el que quizás no se produzca nada.

Otro factor importante que influye en la producción de biogás es el movimiento continuo de la materia orgánica, ya que

<sup>6/</sup> Manual D(104)/ICAITI/1983.

si ella permanece en reposo, las partículas sólidas sedimentan, mientras que en la parte superior tiende a formarse una costra dura que obstaculiza el paso del biogás. Por lo tanto es recomendable cierto grado de agitación, para evitar la formación de costras indeseables como para aumentar el tiempo de contacto de las bacterias con el sustrato. Esta agitación se logra mediante procedimientos mecánicos o con el movimiento producido por la carga y descarga diaria, permitiendo así obtener más biogás.

En el cuadro 2.V se dá un resumen de los parámetros antes mencionados y sus valores óptimos para la producción de biogás.

CUADRO 2.V. RESUMEN DE PARAMETROS

PARAMETROS	CONDICION
PH	RANGO NEUTRO : 6.5-7.5
TEMPERATURA	RANGO MESOFILICO : 20-40°C RANGO TERMOFILICO: 40-60°C
TIEMPO DE RETENCION	CON TEMPERATURAS ALTAS: 15-30 DIAS CON TEMPERATURAS BAJAS: 30-60 DIAS
SUSTRATO	ANIMAL, VEGETAL O AMBOS
RELACION C/N	15 A 30 (DE ACUERDO AL SUSTRATO)
SOLIDOS TOTALES	5-10%
OPERACION	CONSTANTE

**C A P I T U L O   T R E S**  
**EL EFLUENTE O BIOABONO**

### 3.1 EL EFLUENTE O BIOABONO

El bioabono está constituido por la materia resultante de la biodegradación de los desechos agropecuarios con que se carga el digestor.

La primera asociación de una persona con el efluente es, generalmente, una sensación de repugnancia; sin embargo este bioabono deberá tener un olor no desagradable (como el alquitrán) o cierto olor a humedad, similar al gas que sale de él. Su apariencia oscura podría dar la impresión de que mataría toda vegetación sobre la que se aplique, pero la realidad es diferente; los resultados observados muestran que no quema las plantas como lo hace el estiércol fresco cuando se hacen aplicaciones dirigidas.

Los lodos o efluentes pueden tener un alto porcentaje de N amoniacal y son ricos en los nutrientes que son de gran importancia para plantas cultivadas. La relación carbono-nitrógeno del bioabono no presenta el riesgo de que los microorganismos que llevan a cabo la degradación final en el suelo compitan por el nitrógeno con las plantas que crecen en él.

Además de una razón de N, P, y K, el efluente contiene un complemento de elementos traza (B, Ca, Cu, Fe, Mg, S, y Zn.), muchos de los cuales están en forma de quelatos (iones metálicos

químicamente adheridos a ciertas partículas sólidas) que son accesibles solamente para los ácidos orgánicos asociados con las raíces de las plantas.

Los gérmenes patógenos son destruidos por el proceso de fermentación anaeróbica; es posible que se hallen algunas bacterias patógenas en biólodos provenientes de una digestión que no sea suficientemente larga para el caso. Además las semillas de las malezas, tienden a perder su viabilidad durante el proceso de digestión, mientras que en el estiércol y el compost, dichas semillas pueden mantenerse vivas con más facilidad.

El bioabono puede ser secado, almacenado y usado como fertilizante corriente (en sacos); aunque en este método se pierde hasta la mitad de su valor nutritivo y sería muy voluminoso en comparación con el fertilizante químico.

La aplicación de bioabono digerido a las siembras sirve para otro propósito: acondicionador del suelo. El humus del lodo en la forma de partículas, además de proveer alimentos a las plantas, beneficia al suelo incrementando su capacidad de retener agua y mejorando su estructura.

El manejo del bioabono líquido puede facilitarse almacenándolo en fosas recipientes de mínima área superficial, ya que así se conserva más el Nitrógeno en forma amoniacal que si esparciera directamente en el suelo se dejan muy expuestos al ambiente, donde el Nitrógeno por ser muy volátil se pierde más rápidamente.

**C A P I T U L O   C U A T R O**  
**TIPOS DE DIGESTORES**

## 4.1 MODELOS HINDU

### 4.1.1. MODELO HINDU CONVENCIONAL

En la figura 4.1 se observa el digestor modelo hindú convencional, el cual posee un depósito de digestión de base cilíndrica. Sobre este depósito se encuentra el captador de biogás que flota sobre el nivel libre del desecho en digestión. Una guía hecha de tubería metálica permite el ascenso de este captador en forma equilibrada.

Dentro del depósito de digestión (cámara de fermentación) se construye una pared vertical la cual no permite el desplazamiento del desecho aún en proceso de digestión ya que las tuberías de carga y descarga están a un mismo nivel y en posición diametralmente opuesta.

Este modelo cuenta con piletas de carga y descarga. La agitación del desecho se logra por medio de unas aspas colocadas en la estructura metálica del captador de gas.

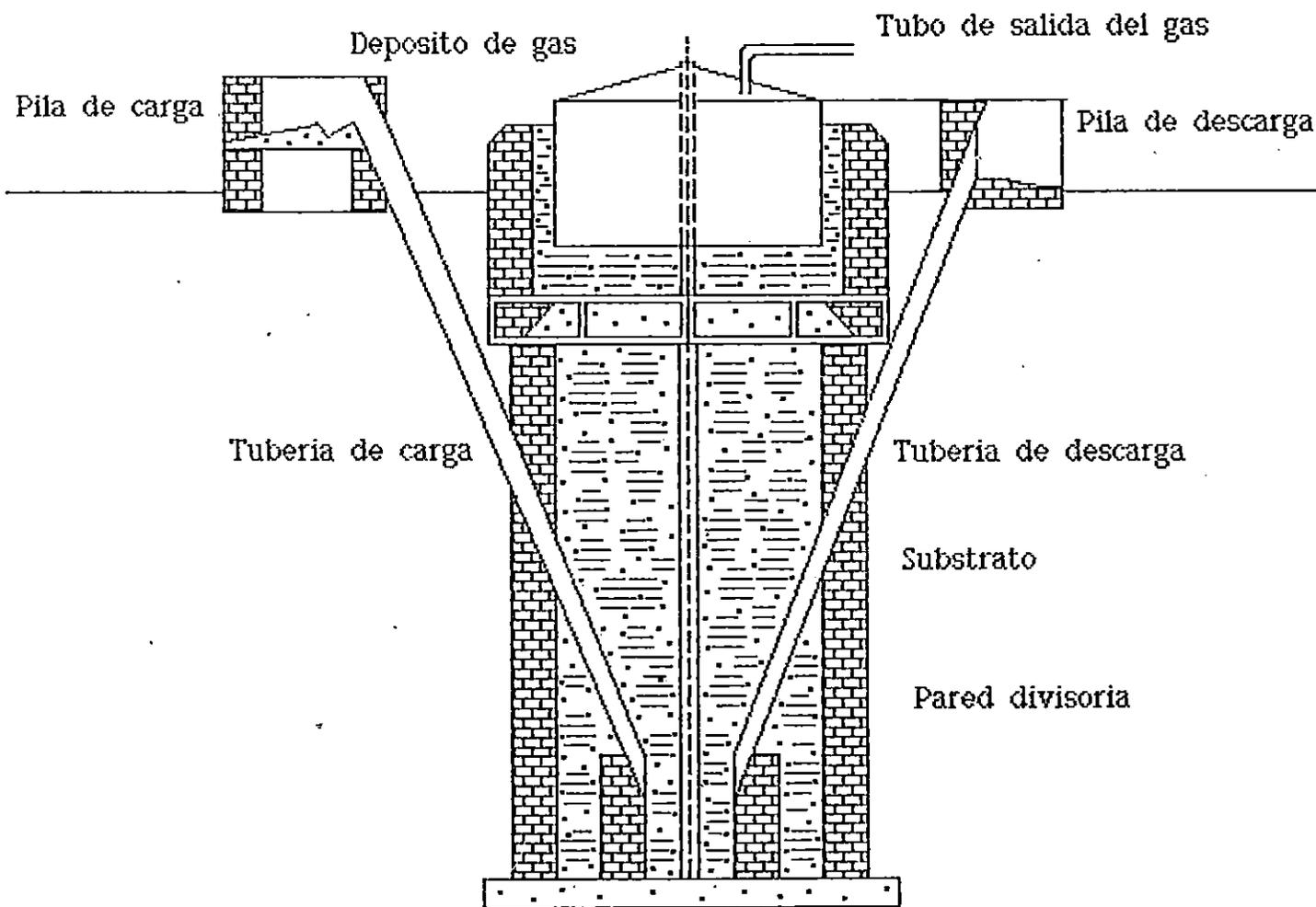


FIGURA 4.1 DIGESTOR MODELO HINDU CONVENCIONAL.

#### 4.1.2 MODELO HINDU MODIFICADO

En la figura 4.2 se muestra el digestor modelo Hindú modificado, el cual consiste en un depósito de sección cuadrada para la digestión del estiércol, sobre el cual se instaló un mecanismo con poleas que permite la agitación del desecho. Acoplada a la parte superior está una tapadera metálica para impedir la entrada de aire. Este sistema se eligió en lugar de la campana flotadora del modelo hindú convencional buscando reducir los costos. El biogás llega a tres colectores metálicos conectados en serie a través de una tubería enterrada.

Cuenta con una pileta de carga que está conectada al depósito por medio de un tubo de diámetro medio. Esta pileta tiene una diferencia de altura de tres metros con respecto al fondo del depósito, lo que facilita la carga diaria por medio de la gravedad.

La descarga ocurre a lo largo de otro tubo de similar diámetro, que se encuentra sobre el nivel libre de la superficie del desecho. Al elevarse este nivel, debido al desplazamiento de volumen causado por la nueva carga del día, el desecho anteriormente digerido debe fluir hacia la pileta de descarga de donde puede ser recogido con mayor facilidad.

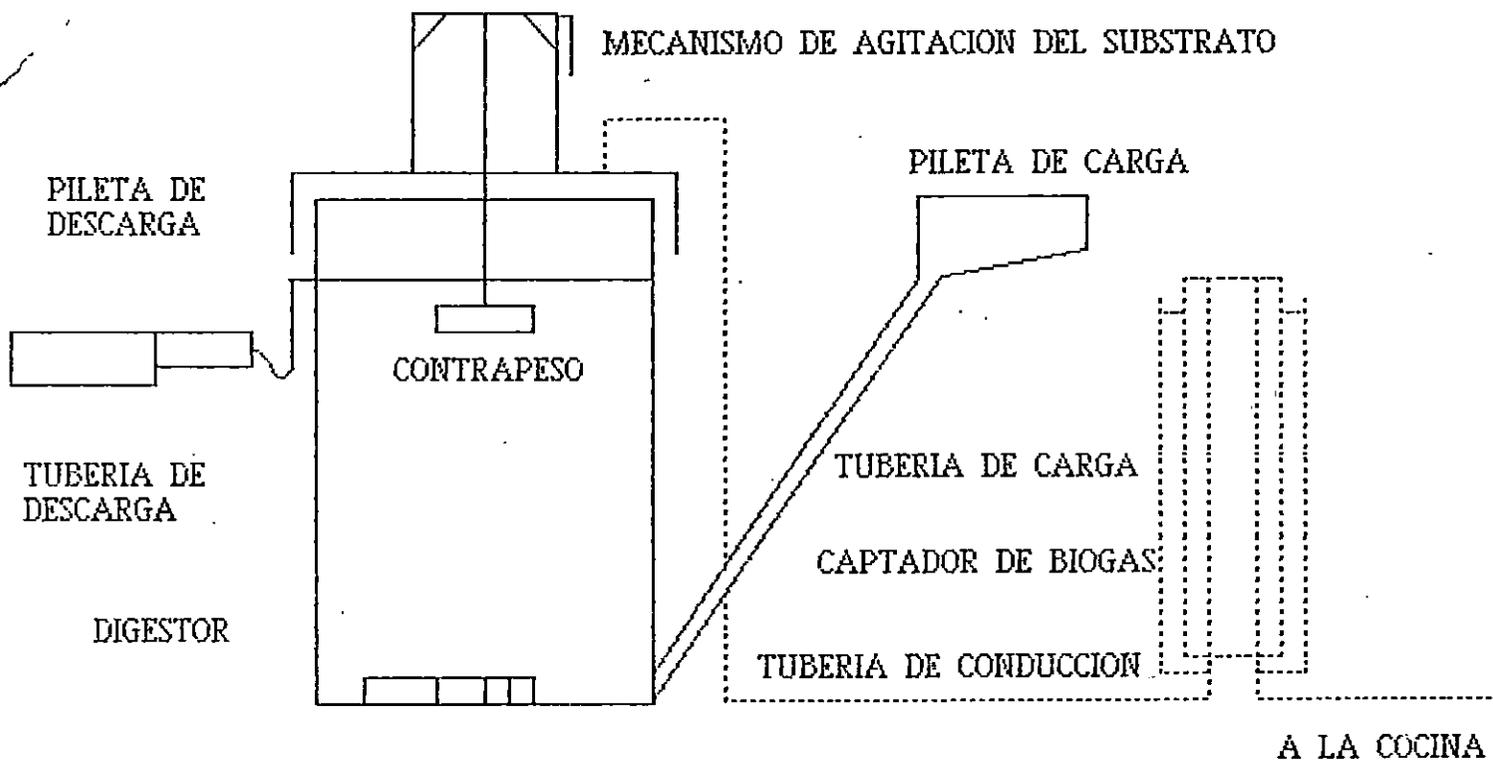


FIGURA: 4.2 DIGESTOR HINDU MODIFICADO

#### 4.2.0. MODELO FRY

Este digester mostrado en la figura 4.3, es de forma alargada y cuenta con una cúpula hecha de concreto reforzado.

Las paredes del depósito de digestión son rectas y el piso es uniforme. En este modelo el desecho orgánico, se desplaza

horizontalmente debido al empuje sufrido por la carga diaria, que luego de haberse digerido durante un periodo determinado, sale a lo largo de dos tubos colocados en el extremo opuesto al tubo de la pileta de carga. Los dos tubos de salida están conectados a la pileta de descarga y ésta a su vez a los patios de secado de los efluentes.

La salida del biogás se realiza por la parte superior de la cúpula por medio de tubería plástica, la cual está conectada a un sistema de purificación y a dos captadores metálicos.

El digestor cuenta además con un colector solar para precalentar el agua utilizada para preparar la mezcla y un techo plástico para cubrir toda la estructura. Para construirlo se hace una excavación en el suelo para que la cámara de fermentación esté enterrada y aislada térmicamente. La cúpula es la única sección que sobresale del piso. Para evitar el excesivo calentamiento por los rayos solares, se construye una cama de madera para aislar la cúpula con rastrojos de sorgo o maíz.

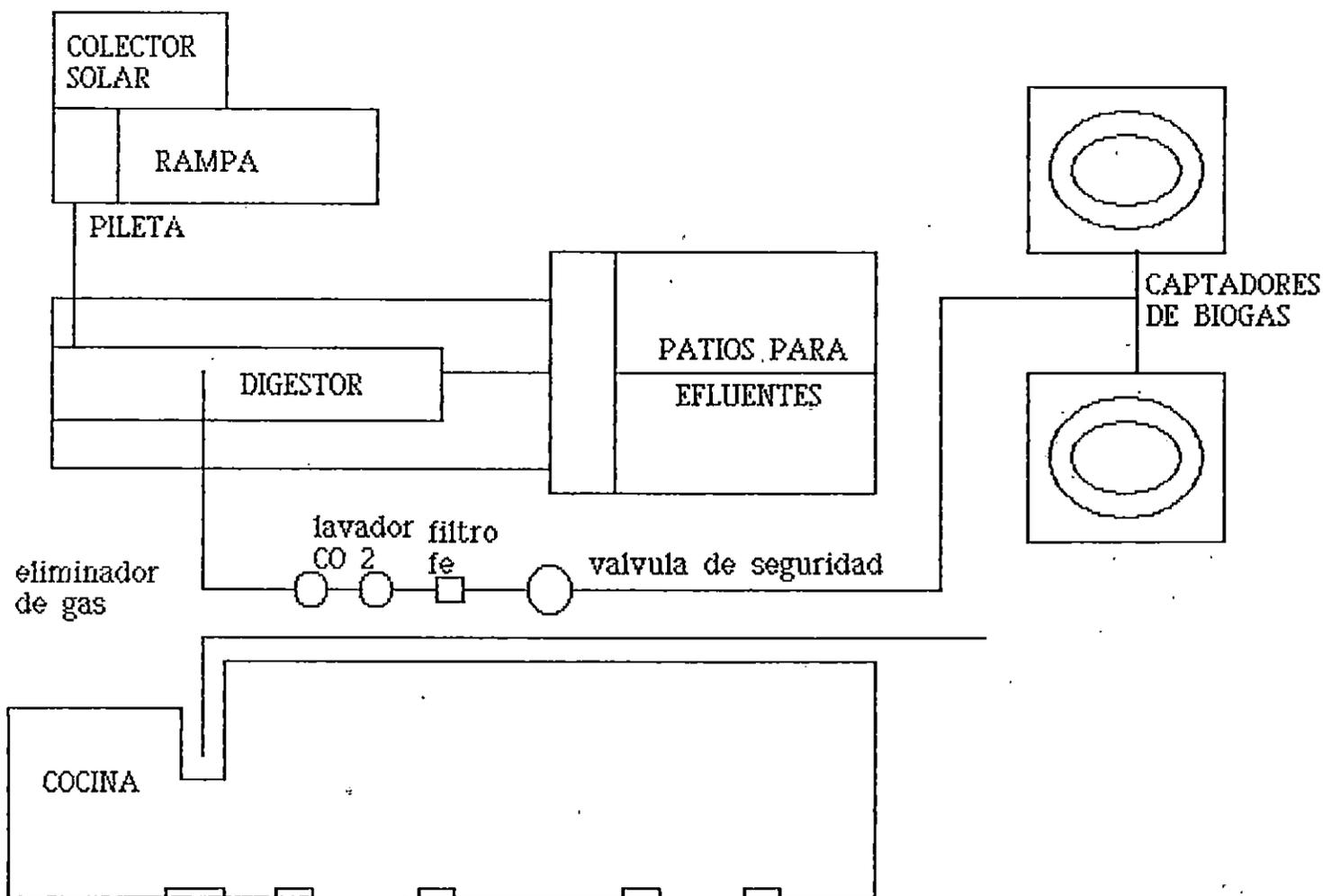


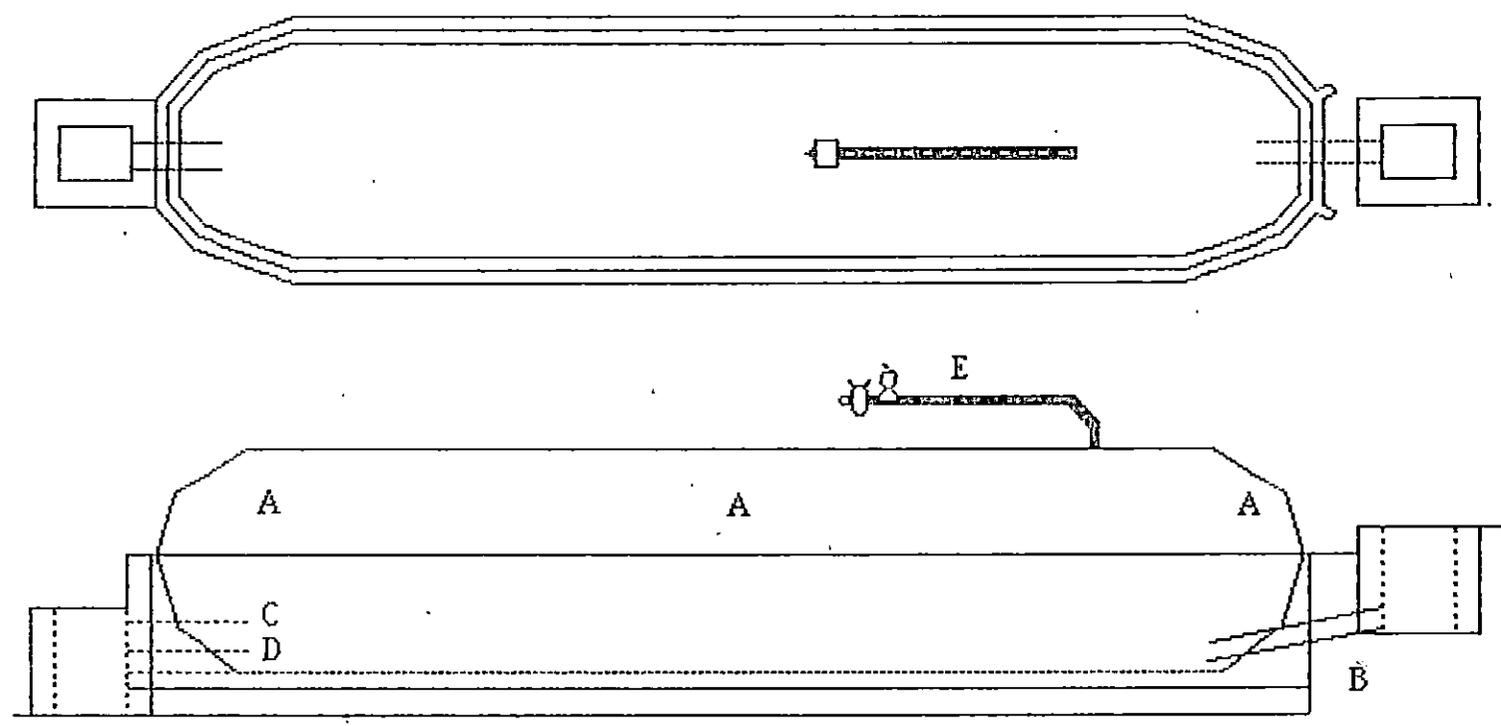
FIGURA 4.3 DISTRIBUCION ESQUEMATICA EN PLANTA DEL DIGESTOR MODELO FRY . VISTA EN PLANIA

### 4.3 MODELO PLASTICO

Este digester consiste en una bolsa hecha de un polímero plástico (Red Mud Plastic) el cual se originó en Taiwan. Como se observa en la figura 4.4, la bolsa está ajustada a una cavidad de paredes rígidas en cuyos extremos se encuentran las piletas de carga y descarga.

La pileta de carga está conectada a través de tubería de PVC con un recolector de las aguas de desechos provenientes de las porquerizas. La pileta de descarga está conectada a una laguneta de estabilización por medio de un canal de drenaje.

El gas producido sale por un tubo colocado en la parte superior de la bolsa. Sobre el digester se construye una cúpula de película plástica transparente sostenida por una estructura de varillas de hierro y madera. El objetivo de ésta es el de aumentar la temperatura dentro de la bolsa, por medio del efecto de invernadero. Su capacidad total es de 50 metros cúbicos y para este modelo de digester, el mejor tiempo de retención es de 16 días con un porcentaje de carga de 0.8 kg. de sólidos volátiles por metro cúbico de digestión, cuando el desecho es estiércol porcino.



- CLAVE:  
A = Bolsa  
B = Tubo de entrada  
C = Tubo de salida  
D = Tubo de limpieza  
E = Tubo de biogas

FIGURA 4.4 VISTA EN PLANTA Y LATERAL DEL BIODIGESTOR DE BOLSA PLASTICA

#### 4.4 MODELO ICAITI

Consiste en cuatro partes: cámara de fermentación, piloto de carga, pozo de descarga con pileta de compensación y sistema de conducción y almacenaje del biogás (figura 4.5).

Se encuentra enterrado y está hecho de ladrillos de barro y cúpula de concreto reforzado. La pila de carga está conectada a la cámara por medio de dos tubos de cemento. En el extremo cuenta con una cavidad conectada directamente con el pozo de descarga para lograr la salida del efluente y los sólidos no convertidos a biogás. Sobre este pozo se encuentra un ensanchamiento (pileta de compensación) poco profundo para hacer más cómoda la recolección y retiro del efluente, además sirve para compensar los cambios de nivel del contenido del digestor. Sobre la cúpula de concreto está conectado un tubo metálico de diámetro pequeño que a su vez está unido a una tubería plástica del mismo diámetro y es por donde fluye el gas hacia una bolsa de lona revestida con hule natural, la cual sirve como almacenaje.

Su forma alargada y posición horizontal permite que el desecho en digestión fluya por secciones (plug flow) hasta completar el tiempo de retención adecuado. Las paredes internas de la cámara de fermentación son oblicuas para reducir el empuje del suelo, mientras que el piso está provisto de una pendiente del 10 por ciento para facilitar el flujo del desecho.

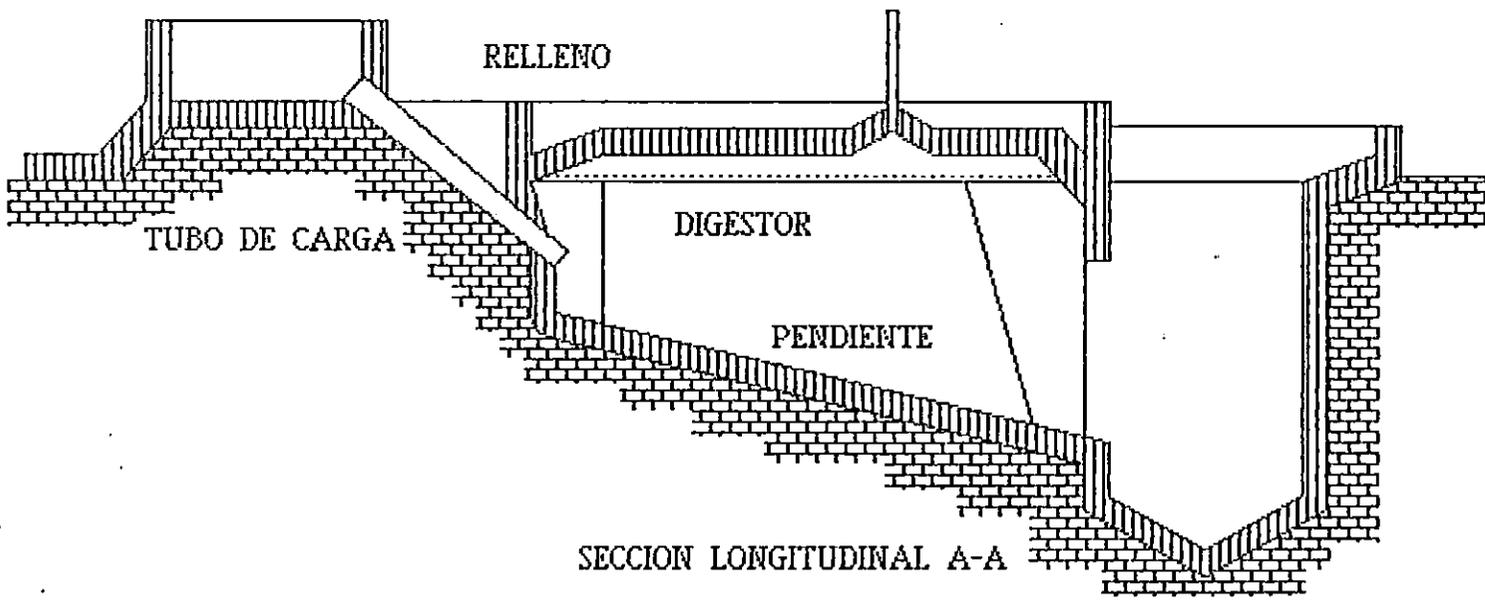
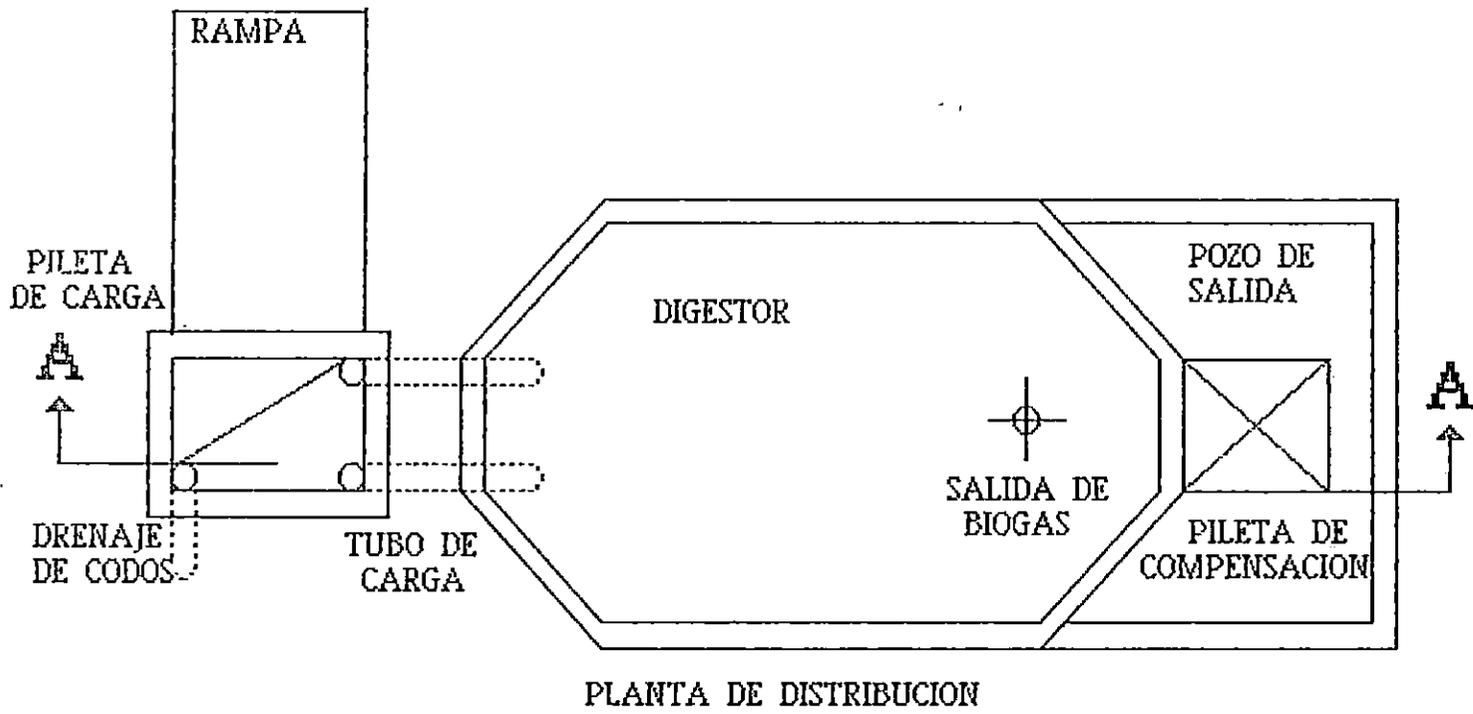


FIGURA 4.5 DIGESTOR MODELO ICAITI.

La capacidad total del digestor es de 15 metros cúbicos, de éstos 13.5 metros cúbicos son ocupados por la mezcla de material orgánico y agua.

Para lograr el agitado de la mezcla se le ha provisto de una paleta de madera, atada a un cable sintético, el cual es halado en forma manual desde el exterior.

#### 4.5 MODELO BETHANIA

Este digestor descrito en la figura 4.6 difiere en varios aspectos de los más conocidos, sin embargo se considera de tipo vertical de carga semicontinua. Sobre la pileta de carga se encuentran las letrinas, de las que provienen las heces humanas.

Para obtener una concentración adecuada de los sólidos entrantes se le ha provisto de una sección en donde se mezclan las heces con agua por medio de un mecanismo que cuenta con unas aspas metálicas en el extremo inferior. Luego del mezclado se abre el paso en la tubería de carga, por medio de una tapa metálica conectada a una varilla. El tubo de carga está conectado directamente a la cámara de fermentación en donde se encuentra una pared vertical que evita la salida del desecho en su trayecto hacia la pileta de descarga.

El biogás sale por la parte superior de la cámara hacia tres captadores metálicos por medio de tubería enterrada, y de éstos hacia las cocinas también por tubería enterrada.

LETRINAS

LETRINAS

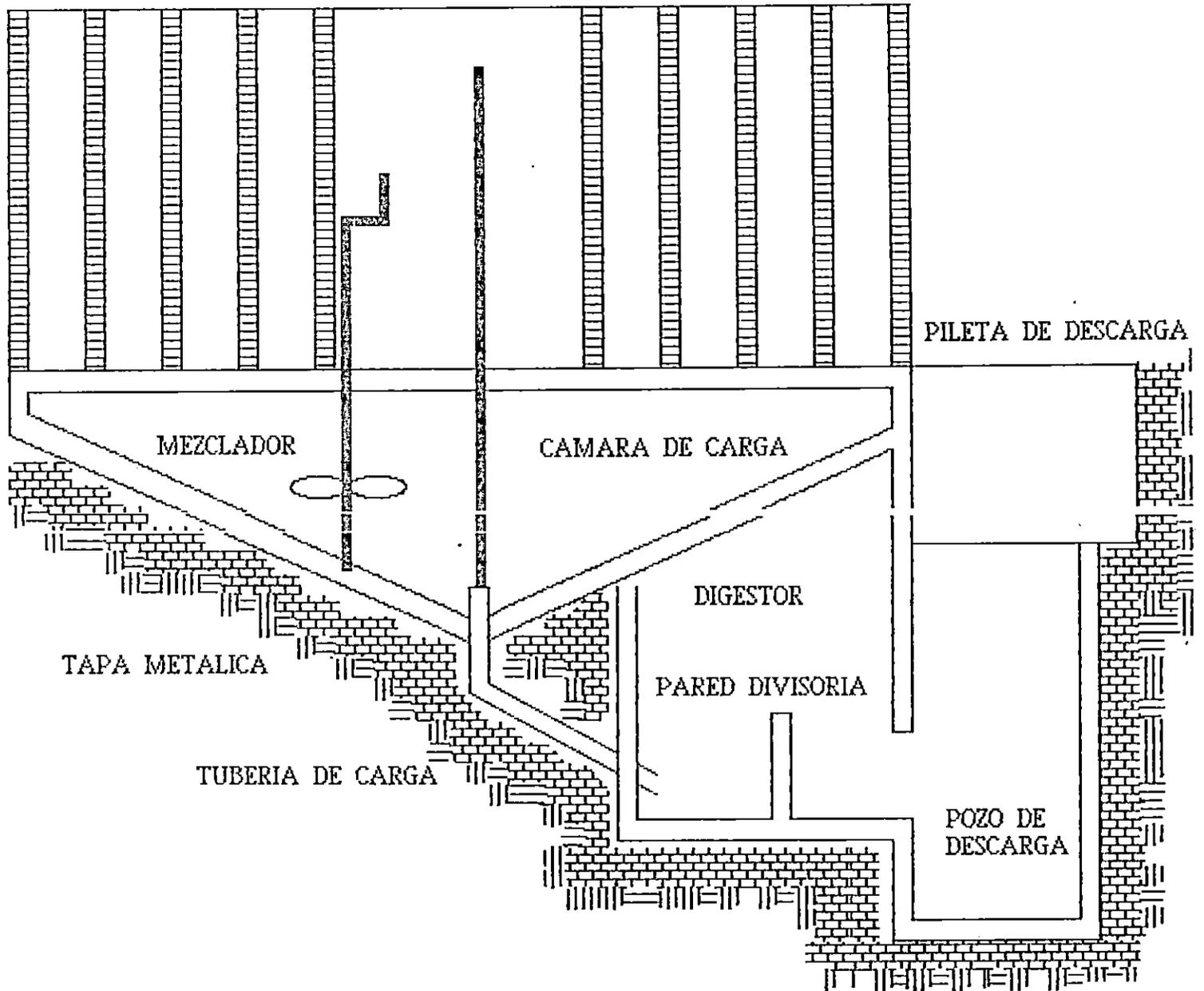


FIGURA 4.6 DIGESTOR MODELO BETHANIA.

#### 4.6 BIODIGESTOR CHINO

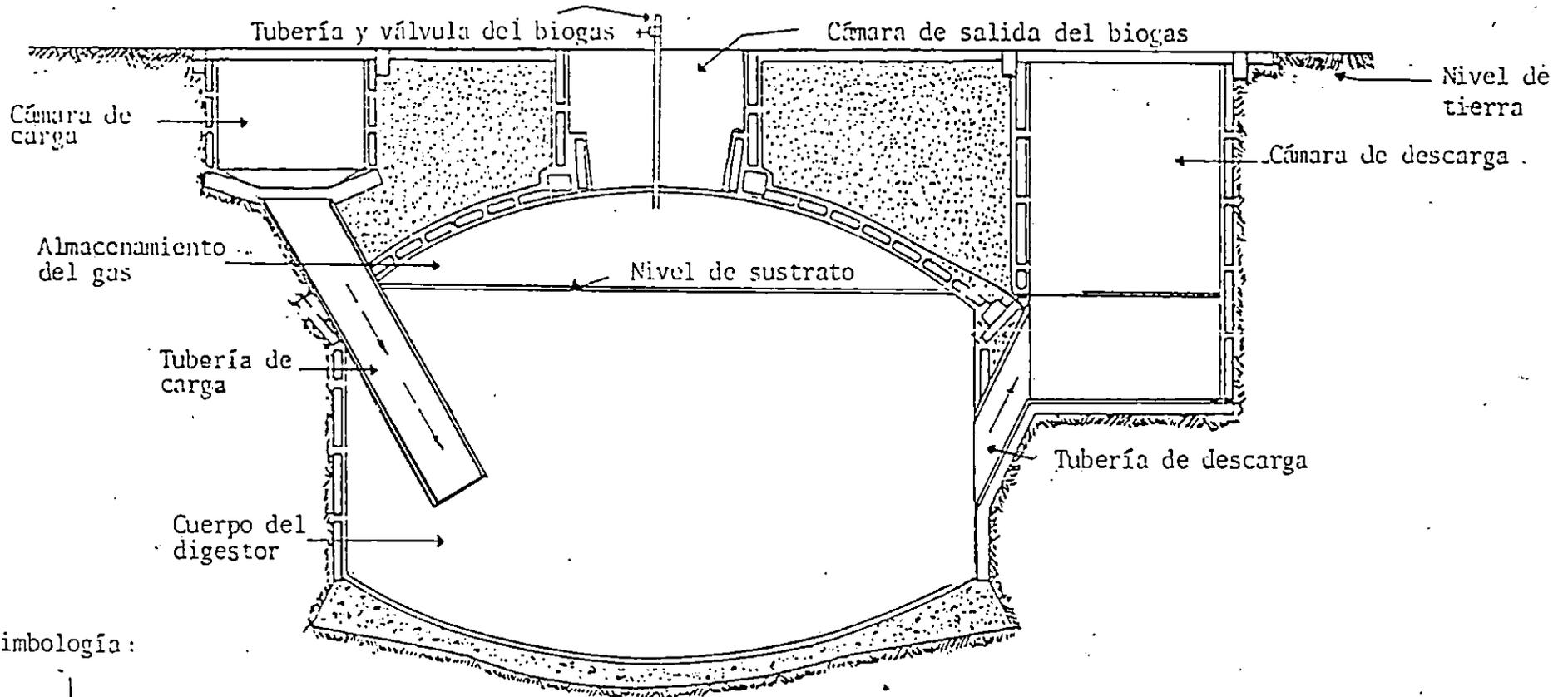
China ha desarrollado bastante la producción de gas por digestión anaeróbica, debido a la poca disponibilidad de recursos para la eliminación de desechos. Las principales características del modelo fijo o chino fijo (figura 4.7) son:

1. El recipiente contenedor de gas está incorporado al biodigestor, por lo que la entrada y salida de desechos se efectúa por gravedad.
2. La entrada es de boca inclinada en forma de campana de chimenea invertida y una cámara de salida rectangular.
3. Tapa en forma semiesférica fija, con cierre hidráulico.
4. Piso en forma semiesférica.
5. Este modelo no está diseñado con agitación, debido a que éste se logra por los flujos de alimentación, de escape y retorno

Las características de esta planta la hacen más adecuada para funcionamiento en pequeña escala y para uso de los países en vías de desarrollo.

Una de las mayores ventajas de esta planta es la ausencia de piezas animadas de movimiento lo que reduce al mínimo el desgaste que con el uso pueda sufrir la planta.

# DIGESTOR TIPO CHINO



Simbología:



**C A P I T U L O   C I N C O**  
**EQUIPO ESPECIAL PARA**  
**USO DEL BIOGAS**

## 5.1 EQUIPO ESPECIAL PARA USO DEL BIOGAS

Producir biogás utilizando recursos biológicos tiene muchas ventajas en las zonas rurales, como la simplicidad del equipo necesario, su bajo costo y rápida puesta en marcha. No sólo constituye una solución adecuada al problema energético en las zonas rurales, sino también en la protección de las reservas forestales, por sustituir a la leña y los tallos de cultivos como fuente energética y contribuye a mejorar la ecología al reducir la contaminación ambiental.

El uso doméstico de más importancia para el biogás es como sustituto de la leña o del gas propano en la cocina; entre otras aplicaciones de biogás tenemos:

- Iluminación con lámpara de camisa.
- Refrigeración.
- Operación de motores de combustión interna, como sustituto de gasolina o diesel.

## 5.2. EQUIPO PARA COCCION DE ALIMENTOS

Para usar el biogás en la cocina se puede utilizar una estufa de gas propano, esta necesita pequeñas modificaciones las cuales pueden realizarse sin mayores costos.

### 5.3 EQUIPO PARA ILUMINACION

Para usar el biogás en el alumbrado, pueden emplearse lámparas comerciales de camisa u otro tipo especial de lámpara. 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.

### 5.4 EQUIPO PARA REFRIGERACION (ABSORCION)

Las unidades de absorción de agua y bromuro de litio utilizan dos factores básicos para producir el efecto refrigerante:

- 1- El agua hierve y se enfría a sí mismo por vaporización a temperaturas bajas cuando se conserva a alto vacío.
- 2- Ciertas sustancias, por ejemplo, una sal, absorben vapor de agua.

La solución bromuro de litio es una solución salina hidroscofia que ha demostrado tener mejor relación solubilidad/ presión de vapor para permitir una gran eficiencia de ciclo. En la unidad de absorción, el agua se vaporiza desprendiendo una porción de vapor y la temperatura del agua restante disminuye.

## 5.5 EQUIPO GENERADOR DE POTENCIA

El biogás es un combustible gaseoso de alta calidad y bajo costo con un contenido de metano de mas de 50%.

Aparte de su alto valor calorífico, el biogás tiene la ventaja de ser un buen antidetonante, con un octanaje de 115 a 125; por ese motivo puede utilizarse un coeficiente más elevado para el motor, de modo que para un mismo volumen útil de motor de combustión interna se alcanza, con la utilización del biogás, una potencia similar a la obtenida con combustible convencional.

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

No se necesita presión adicional si se usa una tubería adecuada, pudiéndose emplear cualquier tipo de válvula.

Una vez que 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 ó diesel.

**C A P I T U L O   S E I S**  
**JUSTIFICACION DE LA CONSTRUCCION**  
**DE UN DIGESTOR EN LA FACULTAD**  
**DE CIENCIAS AGRONOMICAS,**  
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

## 6.1 JUSTIFICACION DE LA CONSTRUCCION DE UN DIGESTOR EN LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.

Las investigaciones que en el campo de los digestores ha desarrollado la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, data del año de 1979, año en el cual un grupo de estudiantes y docentes de dicha facultad construyeron un digestor tipo hindú modificado con objetivos propiamente experimentales.

Las pruebas que se habían programado fueron lamentablemente imposibles de realizar debido al cierre de la Universidad ocurrido en 1979.

Posteriormente a principios de 1989, a iniciativa del Ing. Teodoro Antonio Romero, Docente del Departamento de Maquinaria Agrícola de dicha Facultad se proyectó otro digestor de tipo horizontal, el cual fue hecho utilizando barriles de los que se utilizan para envasar petróleo, es esta ocasión se pretendía utilizar el biogás en las cocinas del comedor del campo experimental. Ambos digestores nunca fueron puestos en funcionamiento pues en el periodo que se habían programado las pruebas sobrevino la ofensiva guerrillera de noviembre de 1989, con el consiguiente cierre de la Universidad.

En vista de que las circunstancias han impedido que el campo experimental cuente con un digestor, se ha retomado la idea de un

nuevo diseño de digestor, teniendo como consecuencia su construcción.

Esta nueva construcción seguiría encaminada a cubrir los mismos objetivos que los anteriores digestores y aún más ésta diferencia de ellos, tratando de ser más económicos, más eficiente y que diera una mayor perspectiva en lo que se refiere a los digestores tanto en su factibilidad técnica como en su rentabilidad económica. A esta idea original se ha agregado la construcción de dispositivos afines a los digestores para un mejor aprovechamiento.

**C A P I T U L O   S I E T E**  
**CONSIDERACIONES PRELIMINARES PARA**  
**LA SELECCION DEL TIPO DE DIGESTOR**

## 7.1 CONSIDERACIONES PRELIMINARES PARA LA SELECCION DEL TIPO DE BIODIGESTOR

Anteriormente se han descrito algunos de los tipos de digestores que se han desarrollado en diferentes regiones del mundo. La diversidad de modelos de digestores descansa o tiene sus bases en tres tipos de digestores los cuales son: Modelo Fry, Modelo Hindú, Modelo Chino. Los modelos modificados responden a las necesidades de las regiones o del medio donde sea desarrollado.

Como ejemplo de lo anteriormente dicho se puede mencionar el modelo ICAITI que es una modificación del modelo Fry. El modelo ICAITI fue diseñado particularmente para la región centroamericana, habiéndose realizado profundas investigaciones y exhaustivas pruebas de tal manera que la información con la que se cuenta en la actualidad es basta y completa.

Antes de que el modelo ICAITI fuera difundido en nuestro país ya se habían puesto en funcionamiento digestores del tipo Hindú y Chino, los cuales mostraron resultados aceptables.

En base a esto los modelos a evaluar son: Modelo Hindú, Chino e ICAITI.

El proceso de selección a seguir se divide en tres etapas: una en la cual se hará una comparación entre los tres digestores teniendo como base una serie de parámetros que influyen directamente en su construcción y funcionamiento, estos parámetros son: tipo de sustrato, aislamiento térmico y adaptabilidad al clima, presión de operación, producción de bioabono, materiales de construcción, técnicas de construcción y geometría, cámaras de entrada y salida, nivel de costo y limpieza.

La segunda etapa está basada en los requerimientos propios del campo experimental así como a los objetivos propios del presente trabajo. Estos requerimientos son los siguientes: Cantidad de Sustrato, Bajo Costo, Facilidad de Construcción, Facilidad de Operación y Mantenimiento.

De los resultados obtenidos de las dos etapas la más decisiva será la segunda ya que son las condiciones reales a las cuales el modelo seleccionado tiene que ajustarse.

La tercera etapa es la de selección la cual se basa en los resultados obtenidos en las etapas previas.

C A P I T U L O   O C H O

EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS DE  
LOS BIODIGESTORES EN ESTUDIO

## 8.1 TIPO DE SUSTRATO

El sustrato es el material orgánico con que se alimenta a un digestor, entendiéndose por material orgánico todas aquellas sustancias que no poseen otra utilidad práctica.

De la diversidad de digestores existentes no todos utilizan el mismo tipo de sustrato, ya que cada modelo está identificado con determinado tipo, esto debido a su diseño particular y el tipo de material usado para su construcción.

De los tres modelos en estudio, cada uno de ellos presenta la característica de operar con estiércol bovino como sustrato, con la salvedad de que el modelo Chino puede fermentar además otros estiércoles animales, basuras domésticas y algunos desechos vegetales, siempre que se carguen cortados en piezas pequeñas.

De lo anteriormente expuesto este parámetro no es relevante en cuanto a la selección del digestor a usar.

## 8.2. AISLAMIENTO TERMICO Y ADAPTABILIDAD AL CLIMA

Una forma sencilla de lograr que la temperatura dentro del digestor se mantenga constante día y noche es construirlo

enterrado, para, aprovechar la propiedad aislante de la tierra. Este aislante natural permite que sea adaptable a diferentes climas.

Los tres tipos de digestores en estudio presentan este tipo de construcción con la única diferencia que el modelo ICAITI presenta una ventaja adicional, la cual consiste en que la parte superior de su bóveda se encuentra cubierta de agua, con el fin de detectar fugas y mantener su temperatura constante durante la noche.

En conclusión el que presenta mayor ventaja de los tres es el modelo ICAITI.

### 8.3. PRESION DE OPERACION

Para que el equipo que utiliza el biogas trabaje eficientemente se necesita que la presión del biogas se mantenga lo más constante posible. En el modelo Hindú esto se consigue gracias a un mecanismo en el cual la presión del gas acumulado en la campana, más la fuerza de empuje del fluido en digestión equilibren el peso de la campana, de tal manera que un eventual cambio en la presión del biogas es rápidamente contrarrestado por la inmersión o emergencia de la campana, manteniéndose así la presión constante.

En el caso de los modelos ICAITI y Chino, la presión que se genera no es constante debido a que al existir un volumen constante para el asinamiento del gas, esta decae al no existir una igualdad entre la tasa de consumo y la de gas generado. Para salvar este problema se recomienda que para estos modelos se haga uso de depósitos captadores externos los cuales deben de ser lo suficientemente grandes para lograr que el consumo de gas parezca insignificante comparado con el volumen de dicho recipiente lo que originaría un insignificante cambio en la presión el cual es aceptable. Una forma alternativa de lograr una presión constante es almacenar al mismo en un depósito capaz de variar su volumen, como respuesta a un cambio.

#### 8.4. PRODUCCION Y PRODUCTIVIDAD DE BIOGAS

La producción de biogas es la cantidad de biogas que se genera diariamente, medida esta en metros cúbicos por día. Otra medida estrechamente relacionada con la producción es la productividad y esta se refiere al volumen de biogas producido diariamente con respecto al volumen efectivo del digester. En otras palabras la productividad no es más que la velocidad de producción de biogas.

Básicamente, los tres modelos descritos: Hindú, Chino e ICAITI se clasifican como digestores de baja productividad y de uso doméstico, oscilando su valor alrededor de 0.33 metros cúbicos de biogás por metros cúbicos de biodigestor, con tiempos de retención de 30 a 60 días.

Según estudios del CENTA la producción diaria de biogás para los modelos ICAITI, Chino e Hindú son: 4.5 metros cúbicos/día, 3.5 metros cúbicos/día, 3 metros cúbicos/día, respectivamente, observando de esto que el que presenta mayor producción diaria de biogás es el ICAITI.

De estos mismos estudios los datos de productividad son: 0.35, 0.33 y 0.32 metros cúbicos biogás/metros cúbicos digestor, para el ICAITI, Chino e Hindú respectivamente<sup>Z/</sup>.

Aunque no existe mayor diferencia en cuanto a este parámetro, para los tres modelos, el ICAITI presenta una ligera ventaja.

---

<sup>Z/</sup> La tecnología del Biogás y Bicabono en El Salvador/Boletín Técnico Nº 11, CENTA abril 1980.

## 8.5. ALMACENAMIENTO DE BIOGAS

Existen dos tipos de almacenamiento del biogás: interno y externo.

El almacenamiento interno se dá en la misma cámara de fermentación.

El almacenamiento externo se dá como resultado de que el gas producido por el digestor pueda exceder el volumen que es posible acumular dentro de la cámara de fermentación, aún cuando haya consumo. Es necesario construir un tanque en que pueda almacenarse en exceso para uso posterior y para que se mantenga constante un nivel de presión que resulte adecuado para el uso del biogás.

Los digestores que pertenecen al tipo con almacenamiento interno son:

El Hindú y el Chino.

El Hindú posee un gasómetro interno por lo general metálico llamado campana, el cual flota sobre el nivel libre del desecho en digestión; una guía hecha de tubería metálica permite el ascenso y descenso de este captador en forma equilibrada. Mediante este arreglo el gas se conserva a presión constante y existe la posibilidad de variar el volumen.

El modelo Chino por su parte presenta problemas de fugas, presiones variables y control del nivel freático, por lo que el almacenamiento interno para este modelo representa una desventaja.

El almacenamiento externo es recomendable en el modelo ICAITI el cual hace uso de un gasómetro ahulado que le dá las ventajas mencionadas anteriormente en cuanto a un volumen mayor y presión constante, pero presenta la desventaja que luego de poco tiempo la bolsa se pica y además existen pocos fabricantes de tales bolsas.

El uso de recipientes metálicos para el almacenaje del gas practicamente se descarta por las dificultades técnicas que se presentan.

En cuanto a almacenaje el que presenta mayor ventaja es el hindú siguiendo con el ICAITI y por último el Chino.

#### 8.6. PRODUCCIÓN DE BIOABONO

La producción de bioabono es el resultado final del proceso digestión anaeróbica. El bioabono o efluente, tiene características diferentes a la materia orgánica con que se alimenta el digestor; no tiene mal olor; su relación carbono-nitrógeno es menor; no tiene condiciones que permitan la proliferación de organismos patógenos, ni insectos. Además es abono orgánico de buena calidad, mejora los cultivos y acondiciona el suelo, en estas razones radica la importancia de la producción de bioabono, que vendría a ser un resultado colateral de la producción del biogás.

Según estudios del CENTA, para la misma productividad de

biogás, de los tres<sup>8/</sup>, modelos mencionados, el que presenta mayor producción anual del bioabono es el modelo ICAITI ya que su volumen efectivo es mayor.

#### 8.7. MATERIALES DE CONSTRUCCION

Los materiales de construcción utilizados en los tres tipos de digestores son los utilizados en cualquier otra obra civil, con la única diferencia de que en el modelo Hindú es necesario utilizar láminas de metal para la construcción de la campana, por lo tanto los que presentan más ventajas son el modelo Chino y el modelo ICAITI.

#### 8.8. TECNICAS DE CONSTRUCCION Y GEOMETRIA

Dentro de la etapa de construcción, los tres digestores en evaluación son construídos bajo tierra con el objeto de que el suelo sirva de aislante térmico y así la cámara de fermentación se mantenga a temperatura constante, garantizando una estabilización dentro de la población bacteriana.

---

<sup>8/</sup> La Tecnología del Biogás y Bioabono en El Salvador/Boletín Técnico Nº 11, CENTA abril 1980.

El modelo ICAITI junto con el modelo Chino son del tipo de construcción monolítica; es decir, que no presentan piezas móviles, mientras que en el Hindú, la campana tiende a desplazarse de acuerdo a la cantidad de volumen de gas.

Observando la forma geométrica de cada uno de los digestores, es fácil concluir que existe la necesidad de dominar técnicas de construcción más elaboradas para los modelos Chinos e Hindú; pues estos presentan una sección circular con respecto a un eje vertical; mientras el modelo ICAITI presenta una forma rectangular, lo cual hace más fácil su construcción.

El modelo Chino presenta la complicación adicional de que tanto su techo como su fondo son semiesféricos, mientras el modelo Hindú requiere de un techo metálico que sería la campana, la cual tiene que ser construida en un taller mecánico.

Dada la configuración geométrica el ICAITI es el que presenta la mayor facilidad para la construcción de acuerdo a su forma rectangular.

#### 8.9. CAMARA DE ENTRADA Y SALIDA

Tanto el modelo Hindú como el Chino tienen la cámara de carga y descarga diametralmente opuestas en tanto que en el modelo ICAITI ésta se encuentra longitudinalmente opuesto.

La ventaja que presenta el modelo ICAITI sobre los modelos, Chino e Hindú es que este posee una piletta de compensación cuya función es permitir la compensación requerida por los cambios de nivel del tanque ocasionados por una sobre presión en el interior del digestor.

#### 8.10. NIVEL DE COSTO

Los costos presentados a continuación tienen por finalidad dar una idea del precio por cada biodigestor; sin embargo, hay que tener presente que estos pueden estar sujetos a aumentos, en determinadas épocas o lugares. Del costo total de cada modelo más o menos el 60% del costo total es absorbido por la mano de obra y el restante entre material y transporte de los mismos.

De los tres modelos en evaluación el que presenta mayor costo es el modelo Hindú y es debido a la campana, pues esta es metálica o bien de fibra de vidrio, lo cual hace que los costos aumenten; dicha campana representa más del 50% de los costos de materiales.

Del material bibliográfico recopilado, no se logró adquirir información de construcción de digestores a volúmenes iguales, que de alguna forma hubiera dado una mejor idea de cual presenta

mayor costo de construcción entre el modelo ICAITI y el modelo Chino, no tomando en cuenta el modelo Hindú, pues este siempre presentaría mayor costo por lo ya anteriormente dicho.

Aunque según estudios del CENTA, se han construido digestores con similares volúmenes, siendo mayor el volumen del ICAITI (ver cuadro sinóptico), lo que trae como resultado que su costo de construcción es un tanto más elevado. Pero la diferencia en costos del modelo ICAITI es compensado o absorbido por su mayor producción tanto de biogás como de bioabono.

En conclusión el modelo que presenta mayores ventajas económicas es el ICAITI.

CUADRO 8.10.1

COSTO EN COLONES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN  
LA CONSTRUCCION DEL DIGESTOR MODELO HINDU. 1985

VOLUMEN: 8 m<sup>3</sup>.9/

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNIT.	TOTAL
Arena de Río	m <sup>3</sup>	24	11.66	279.84
Cemento Gris	Bolsa	67	8.25	552.75
Ladrillo de Barro		3000	0.25	750.00
Grava No. 1	m <sup>3</sup>	3	26.00	78.00
Piedra Bruta	m <sup>3</sup>	3	53.33	160.00
Tubo Cemento 8"x1 m		1	45.50	45.50
Adaptador Hembra PVC 1"		2	2.85	5.70
Codo PVC 90"x 1"		10	4.25	42.50
Reductor PVC 1"x1/4"		1	1.70	1.70
Tee Lisa PVC 1"		7	4.60	32.20
Tubo PVC 1"x 6 m		3	17.00	51.00
Válvula de Paso 1"		1	40.00	40.00
Manguera Plástica 1"	m	6	4.75	28.50
Bomo y Soporte Metálico		1	4,500.00	4,500.00
TOTAL				4,718.60

9/ "Investigación de Modelos de Digestores para producción de Biogás". Informe de resultados. Proyecto DEA-CEL, Enero de 1989.

CUADRO 8.10.II

COSTO EN COLONES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN  
LA CONSTRUCCION DEL DIGESTOR MODELO CHINO. 1985  
VOLUMEN: 12 m<sup>3</sup>. 10/

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	TOTAL
Arena de Río	m <sup>3</sup>	12	10.00	120.00
Cemento Gris	Bolsa	37	8.25	305.25
Ladrillo de Barro		1000	0.25	250.00
Tierra Blanca	m <sup>3</sup>	6	5.00	30.00
Alambre de Amarre	lb.	6	1.50	9.00
Clavo de 2.5"	lb.	2	1.22	2.44
Clavo de 2.0"	lb.	0.5	3.60	1.80
Clavo de 1.0"	lb.	1.0	1.20	1.20
Grava No. 1	m <sup>3</sup>	3	26.00	78.00
Lámina Lisa galv. No.30		6	15.75	94.50
Regla Conacaste 3V		4	3.75	15.00
Tabla Pino 3V		8	12.00	96.00
Varilla Hierro Liso 1/4		10	2.50	25.00
Varilla Hierro Corrugado		1	5.00	5.00
Tubo Cemento 12"x1 m		2	12.00	24.00
Tubo Cemento 8" x1 m		1	9.00	9.00
Tubo PVC 1"x 6 m		3	13.25	39.75
Válvula de Paso 1"		2	17.00	34.00
Adaptador Macho PVC		2	2.10	4.20
Adaptador PVC		2	2.70	5.40
Codo PVC 90 x 1"		10	3.25	33.50
Codo PVC 45 x 2"		2	4.20	8.40
Cruz PVC 1"		1	7.70	7.70
Tee PVC 1"		2	4.20	8.40
Niple Galv. 12 x 1"		1	7.50	7.50
Silicato de Sodio	KG	2	10.00	20.00
Cloruro de Calcio	KG	1	85.00	85.00
Cloruro Férrico	KG	0.93	116.13	108.00
<b>TOTAL</b>				<b>1,428.04</b>

10/"Investigación de Modelos de Digestores para la  
Producción de Biogás", Informe de Resultados.  
Proyecto OEA-CEL. Enero de 1989.

CUADRO 8.10.III

COSTO EN COLONES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN  
LA CONSTRUCCION DEL DIGESTOR MODELO ICAITI 1985  
VOLUMEN: 15 m<sup>3</sup>.11/

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COST-UNIT.	TOTAL
Arena de Rio	m <sup>3</sup>	18	8.33	149.94
Cemento Gris	Bolsa	87	8.25	717.75
Grava No. 1	m <sup>3</sup>	3	30.00	90.00
Ladrillo de Barro	c/u	1,269	0.19	241.11
Tierra Blanca	m <sup>3</sup>	3	3.33	10.00
Tubo Cemento 6" c/b	c/u	8	4.50	36.00
Alambre de Amarre	lb.	30	1.60	48.00
Caño Galvan. 24" x 1"	c/u	1	4.60	4.60
Clavo de Acero 2.5"	c/u	5	0.15	0.75
Clavo de Alambre 1"	lb.	12	1.60	19.20
Clavo de Alambre 2.5"	lb.	12	1.30	15.00
Clavo de Alambre 3"	lb.	20	1.50	30.00
Hierro Corrugado 3/8"	Varillas	75	4.50	337.50
Hierro Liso 1/4"	Varillas	18	4.13	74.34
Lámina Lisa # 26	c/u	4	20.00	80.00
Costanera de Pino 3v.	c/u	5	4.95	24.75
Cuartón de Pino 5v.	c/u	18	16.00	288.00
Tabla de Pino 5v.	c/u	38	17.00	646.00
Tabloncillo de Cedro 3v.	c/u	1	25.00	25.00
Cable Sintético 3/8"	lb.	3.5	8.5	29.75
Esponja	c/u	3	1.5	4.50
Tela Plástica Transparente	yd.	20	4.5	90.00
<b>TOTAL</b>				<b>2,962.79</b>

11/"Construcción y Evaluación de una planta de Biogás de 15 m<sup>3</sup> de capacidad".  
Boletín Técnico Nº 14. CENTA.

## 8.11 LIMPIEZA

La limpieza es un factor importante en la operación de un biodigestor. Por lo que es necesario que estos tengan una forma sencilla de efectuarla, teniendo en cuenta que la persona encargada de esta, la realice, sin tener que entrar en contacto con la materia orgánica que se encuentra en el interior del biodigestor.

El tener que vaciar y limpiar un biodigestor manualmente es un trabajo muy incómodo y desagradable aparte de que esto representa interrumpir la operación del mismo.

De los tres modelos en estudio ( CHINO, HINDU e ICAITI ) el único que representa de alguna manera, aunque no sencilla, una forma de limpieza es el modelo ICAITI, debido a su geometría, pues posee el piso inclinado para que los sedimentos se desplacen hacia el extremo de salida de donde pueden ser removidos mecánicamente desde el exterior, en pequeñas cantidades y cada cierto tiempo.

En conclusión ninguno de los digestores en estudio presenta forma sencilla de limpieza, presentando el modelo ICAITI, una ligera ventaja por lo expuesto anteriormente, por lo que se hace necesario trabajar más en este aspecto.

## 8.12 AGITACION DE LA MEZCLA

La agitación de la mezcla es importante ya que de ello depende que no se formen costras y natas en el sustrato, lo que tiene influencia en la producción de biogás y en que el digestor no presenta obstrucciones.

El modelo CHINO no tiene partes móviles por lo tanto no posee agitación, el modelo HINDU posee una cúpula metálica que tiene rotación para agitar el sustrato y el modelo ICAITI posee un flotador de madera unido a una cuerda que pasa por los tubos de carga y de descarga.

Para este parámetro resulta difícil decir cual de los digestores de parte móvil es el que presenta mayor ventaja, lo que sí puede señalarse es que la agitación es necesaria para evitar la disminución en la producción de biogás.

## 8.13 CUADRO SINOPTICO.

En las siguientes páginas se presenta un cuadro sinóptico de todas las características analizadas.

8.13.1 CUADRO SINOPTICO.

TIPO DE DIGESTOR	CHINO	HINDU	ICAITI
CARACTERISTICAS			
- Geometría	- Es de tipo cilíndrico.	- De tipo cilíndrico vertical similar a un pozo	- De tipo prismático horizontal
- Agitación de la mezcla.	- No tiene partes móviles.	- Posee una cúpula metálica que tiene rotación para agitar el sustrato.	- Posee un flotador de madera unido a una cuerda que pasa por los tubos de carga y descarga.
- Aislamiento Térmico.	- Construcción bajo nivel del suelo: enterrado.	- Construcción bajo nivel del suelo: enterrado.	- Construcción bajo nivel del suelo enterrado.
- Cámara de entrada y salida	- Laterales diametralmente opuestas.	- Laterales diametralmente opuestas.	- Laterales, longitudinales, opuestas, posee pileta de compensación en la descarga.
- Adaptabilidad al clima	- Se adapta a climas variados.	- Se adapta a climas variados.	- Se adapta a climas variados.
- Materiales de Construcción.	- Comunes a otras obras civiles.	- comunes a otras obras civiles.	- Comunes a otras obras civiles.
- Técnicas de Construcción.	- Especiales.	- Sencilla, similar a pozos.	- Sencillo.

... viene

TIPO DE DIGESTOR CARACTERISTICAS	CHINO	HINDU	ICAITI
- Almacenamiento	- la parte superior del cuerpo se emplea para almacenamiento.	- La cúpula metálica sirve para almacenamiento.	- La parte superior del cuerpo se emplea para almacenamiento. - Se recomienda para un excedente de gas la utilización de un recipiente de captación.
- Tipo de sustrato.	- Puede utilizar materia prima de origen animal o Vegetal, con resultados bastante buenos.	- No es recomendable utilizar materia orgánica vegetal.	- Estiércol Bovino.
- Presión de operación.	- Variable	- Constante	- Variable
- Nivel de Costo	- Barato	- Caro.	- Barato
- Limpieza	- Difícil.	- Difícil	- Fácil. Presenta la ventaja de poder pasar largos periodos sin limpieza.
- Productividad */	$\frac{0.33 \text{ m}^3 \text{ de biogás}}{1 \text{ m}^3 \text{ de digester}}$	$\frac{0.32 \text{ m}^3 \text{ de biogás}}{1 \text{ m}^3 \text{ de digester}}$	$\frac{0.35 \text{ m}^3 \text{ de biogás}}{1 \text{ m}^3 \text{ de digester}}$
- Producción de Biogás por año.	- 127.75 Toneladas	- 96.0 Toneladas a pozos.	- 164.25 Toneladas.

\*/ Datos obtenidos por el CENTA a partir de mediciones hechas en digestores ICAITI (15 m<sup>3</sup> de volumen total), CHINO (13 m<sup>3</sup> de volumen total), e HINDU (9 m<sup>3</sup> de volumen total).

**C A P I T U L O   N U E V E**  
**REQUERIMIENTOS ESPECIFICOS DEL**  
**CAMPO EXPERIMENTAL**

## 9.1 REQUERIMIENTOS ESPECIFICOS DEL CAMPO EXPERIMENTAL

Esta etapa es de vital importancia ya que aquí se establecerán los diversos parámetros a los que debe ajustarse el modelo de digestor que sea seleccionado y cuya consecuencia inmediata es el proceso de diseño del mismo.

Existen dos tipos de requerimientos: generales y específicos. Los segundos pasarán sobre los primeros debido a que los específicos se generan de acuerdo a las necesidades propias del trabajo en cuestión.

Dada la naturaleza de los requerimientos generales, éstos son de carácter técnico y se detallaron en una sección previa bajo el título : "Evaluación de las características de los digestores en estudio".

Con respecto a las necesidades específicas, no debe perderse de vista que el modelo seleccionado se utilizará como equipo de prueba en la asignatura: Maquinaria Agrícola II, impartida en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. Además se busca la difusión de esta tecnología en el área rural, para lo cual debe cumplirse que el equipo sea de bajo costo, es decir junto a esta variable se conjuga el factor eficiencia, ya que en esta evaluación no resulta justificable el simple hecho de comparar costos y elegir el modelo más caro sea a

la vez el de mayor productividad y luego con esto la inversión inicial sea más rápidamente al generarse más biogás y bioabono de obra capacitada.

También tiene que cumplirse que el modelo seleccionado sea de fácil construcción ya que ésta tecnología está dirigida al sector rural y este sector por lo general no cuenta con equipo adecuado y mano de obra capacitada.

A la vez debe tomarse en cuenta que el tipo de construcción sea convencional, es decir que los materiales de construcción empleados sean de fácil adquisición.

Seguidamente el modelo seleccionado debe ser fácil de operar y con relativamente poco mantenimiento.

Un factor importante a tomar en cuenta es la cantidad de sustrato disponible para generar biogás y bioabono, siendo éste un factor sobre el cual no puede ejercerse control, dependiendo únicamente del ganado vacuno existente en el campo experimental. Este factor es quizás el más decisivo para poder diseñar el digestor más adecuado a esa condición.

Con respecto a lo anterior el campo experimental cuenta con una población de 17 reses, las cuales generan una carretillada de estiércol fresco, la cual representa aproximadamente 50 litros de estiércol fresco.

**C A P I T U L O   D I E Z**  
**SELECCION DEL TIPO DE DIGESTOR**  
**MAS ADECUADO A LAS NECESIDADES**  
**DEL CAMPO EXPERIMENTAL**

## 10.1 SELECCION DEL TIPO DE DIGESTOR MAS ADECUADO A LAS NECESIDADES DEL CAMPO EXPERIMENTAL.

En este punto se está en la capacidad de tomar una decisión en cuanto a la selección de un modelo de digestor. Valorando tanto los requerimientos específicos como generales, el modelo que reúne las mayores ventajas es el modelo ICAITI; la anterior afirmación puede comprobarse observando el cuadro sinóptico 8.13.I presentado para las características de los digestores, en el que dicho modelo ofrece el mayor número de ventajas. Por otra parte las necesidades demandadas por el campo experimental están acordes a las cualidades del modelo ICAITI.

**C A P I T U L O   O N C E**  
**CONDICIONES DE DISEÑO**



## 11.1 CONDICIONES DEL DISEÑO.

Es necesario establecer las condiciones necesarias bajo las cuales el diseño de digestor seleccionado tiene que operar, para que de él se obtenga el mayor provecho posible.

Estas condiciones se detallan a continuación.

### 11.1.1 ZONA DE RECOLECCION

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

Para lograr lo anterior se debe contar con un establo de ordeño con piso empedrado o de cemento para conseguir las condiciones más apropiadas (Figura 11.1).

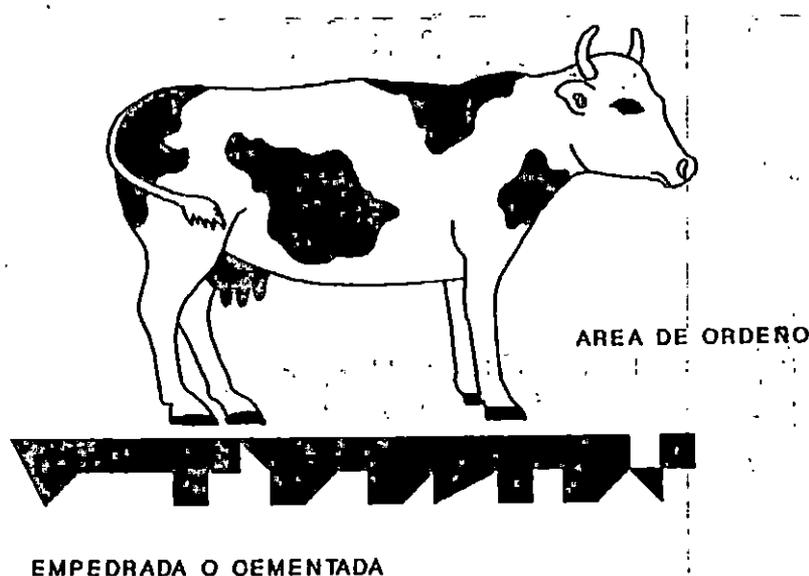


FIGURA 11.1 Zona de Recolección del Estiercol.

### 11.2. FUENTE DE AGUA.

Se debe disponer de un depósito para agua que por lo menos tenga la capacidad para el gasto de un día; para éste propósito puede usarse una pila o un pozo excavado en el suelo.

La fuente puede contener agua pluvial, pero libre de jabón o detergentes.

### 11.3 PILETA DE CARGA

La pileta de carga en la parte de la planta que debe estar situada más cerca de la zona de recolección del estiércol. Es un depósito que puede disponerse de forma rectangular o cuadrada y de poca profundidad, siempre que su volumen admita por lo menos la cantidad de mezcla que se prepara por día; la forma rectangular o cuadrada resulta mejor, porque facilita la construcción.

En un lado de la pileta se instalan dos tubos de carga (fig. 11.2) con la parte inferior de sus bocas a ras del piso de la pileta y que comuniquen con el digestor.

El piso de la pileta se construye con una inclinación hacia el lado opuesto de la boca de los tubos de carga, con el objetivo de que los materiales inertes que pueda acarrear el estiércol se depositen en el extremo más alejado de los tubos, en el que quedan depositados aunque se vacíe la pileta.

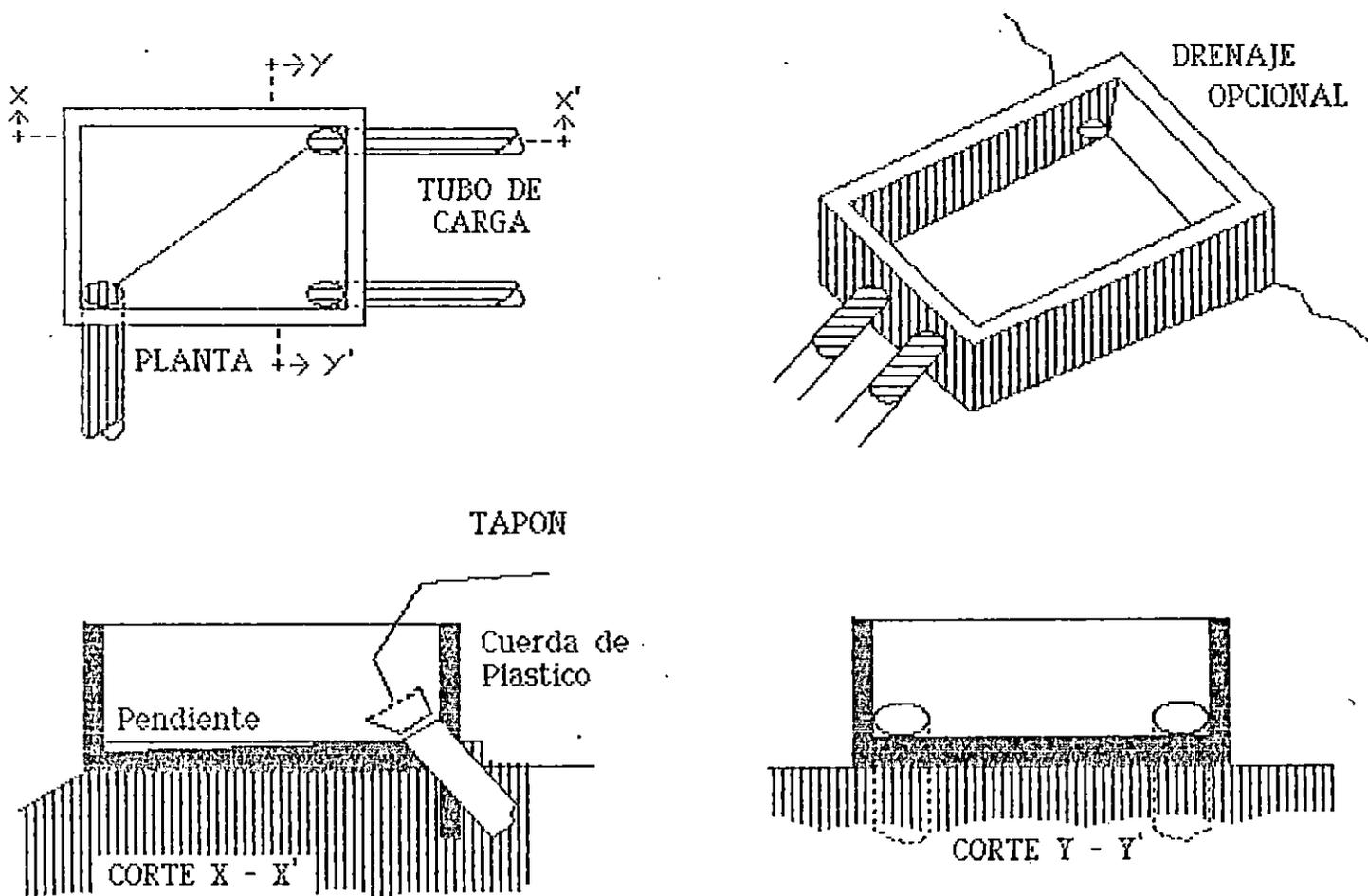


FIGURA 11.2 PILETA DE CARGA.

Al terminar la planta, debe de colocarse un tapón de madera o de cualquier otro material, en la boca de cada tubo de carga; estos tapones deben ser fácilmente removibles a mano sin que para ello sea necesario tocar el material de la mezcla. (figura 11.2)

#### 11.4. DIGESTOR

Para fijar las características más determinantes del biodigestor, se necesita tomar en cuenta varios aspectos importantes, tales como los que se comentan a continuación.

#### 11.4.1. TEMPERATURA

Ya se ha indicado anteriormente que la temperatura interior de un digestor debe ser constante, y que una de las formas de lograrlo es construirlo bajo tierra, aprovechando las propiedades aislantes naturales del suelo.

#### 11.4.2. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

Si se construye enterrado, debe tomarse en cuenta el empuje del suelo sobre las paredes, por lo que se construyen éstas inclinadas, de esta manera se reduce el empuje y las paredes pueden ser livianas, y económicas; y se obtiene la ventaja adicional de que ésta inclinación favorece el funcionamiento del digestor cuando ya está en operación.

La inclinación de las paredes laterales del digestor depende de la estabilidad del suelo, pudiendo ser más inclinados en algunos lugares y menores en otros (figura 11.3).

#### 11.4.3. 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; debe de construirse de material apropiado, y con una forma conveniente (figura 11.4).

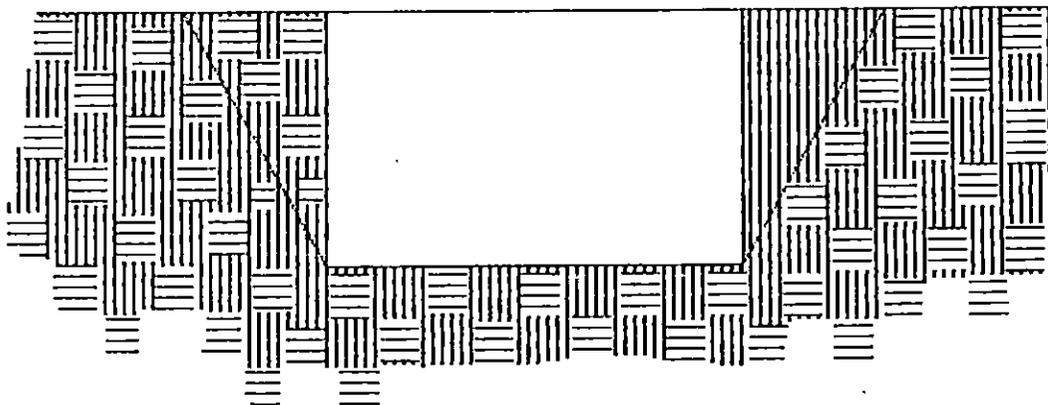


FIGURA 11.3 SECCION TRANSVERSAL DEL DIGERTOR.

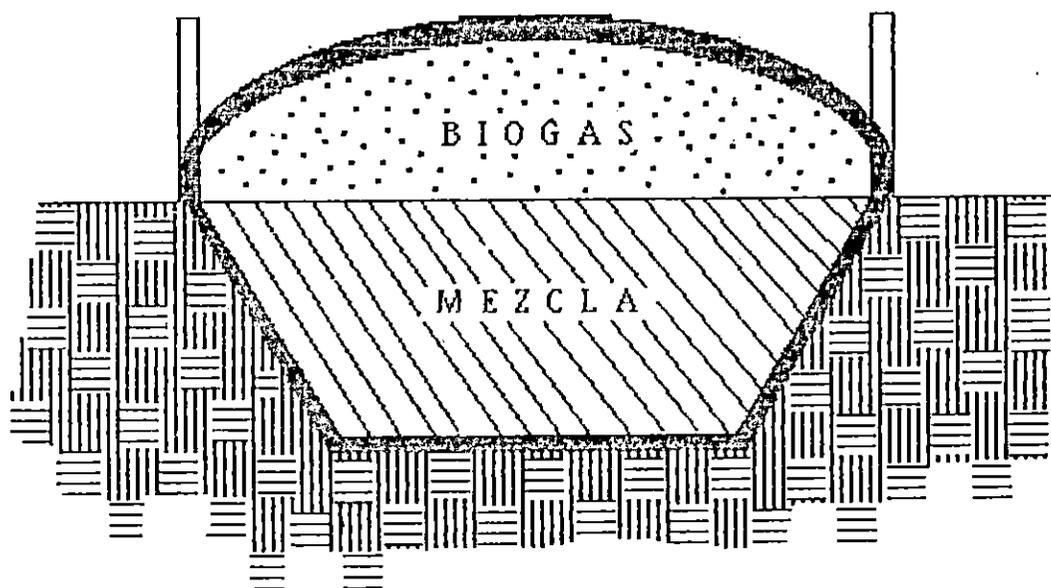


FIGURA 11.4 SECCION TRANSVERSAL DE LA CUBIERTA.

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, la cual reduce a un mínimo las grietas.

#### 11.4.4. MATERIALES INERTES (Lodos).

Inevitablemente, algunos materiales inertes regresan al digester con cada carga diaria; y si no se retiran, terminarán obstruyéndolo. Es un trabajo muy incómodo y desagradable el vaciar y limpiar un digester manualmente, aparte de que eso representa interrumpir la operación y causa problemas. Para evitar estos problemas, se dispuso que el 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 tiempo. (fig. 11.5)

#### 11.4.5 FLUJO

El modelo ICAITI es de 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 un lugar y así sucesivamente. De esta manera cada carga se ve sometida a un desplazamiento progresivo hasta que llega al extremo de salida.

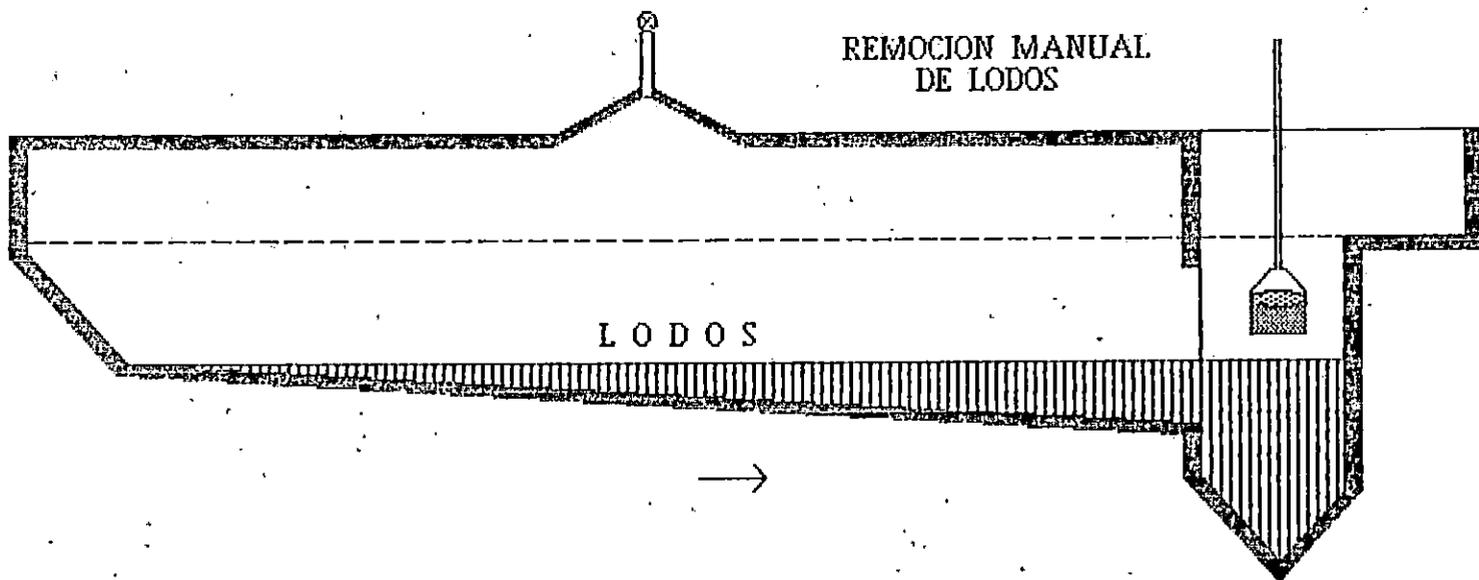


FIGURA 11.5 REMOCION DE LODOS.

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 carga 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 carga, se produce una columna de presión sobre el contenido del digestor.

#### 11.4.6. NIVELES DEL CONTENIDO DEL DIGESTOR

Es necesario que el nivel máximo a que pueda subir el contenido de mezcla sea el de la cara inferior de la cubierta, como se muestra en la figura 11.6, para evitar que la dañe. Esto se logra construyendo el borde de la pileta de descarga exactamente a este nivel; de manera que esta funcione como rebalse en caso de que llegue a ingresar un exceso de mezcla en el digestor.

Se ha escogido un nivel intermedio como nivel de operación, o sea la unión de cubierta y paredes, con eso se logra dejar espacio para que se acumule gas y se consigue además conservar selladas con líquido las grietas de dicha unión. (fig. 11.6)

#### 11.4.7. VOLUMEN OCUPADO POR EL BIOGÁS

Mientras no haya consumo de biogás, 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% del volumen interior total del digestor. (fig. 11.7)

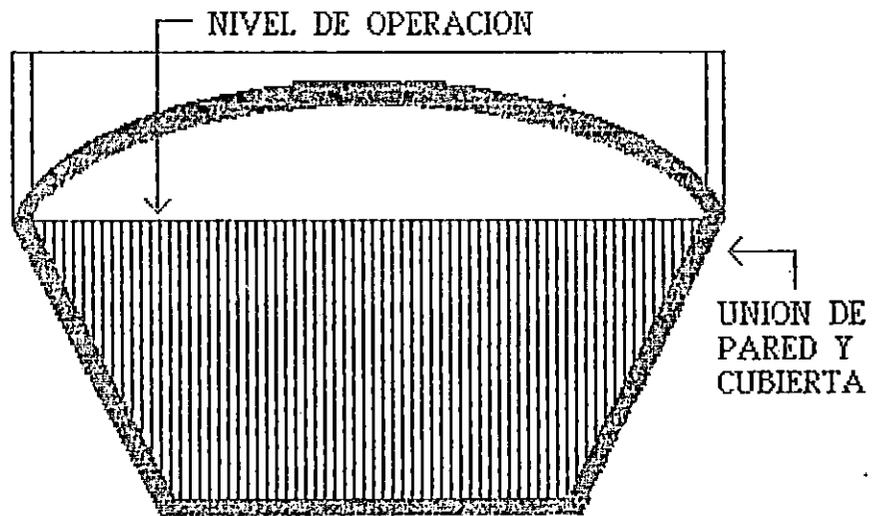
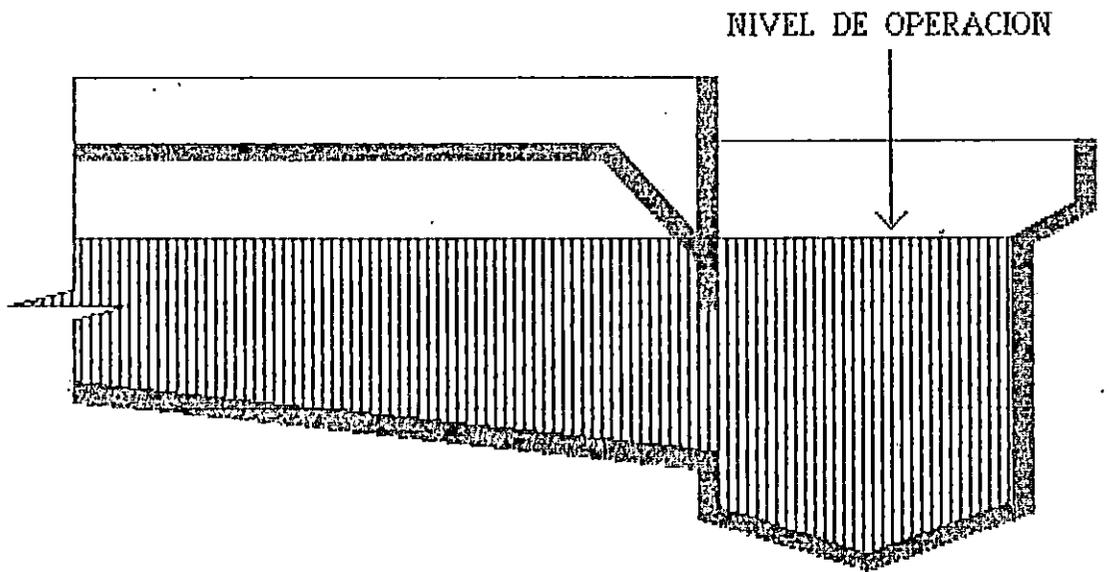


FIGURA 11.6 NIVEL DE OPERACION.

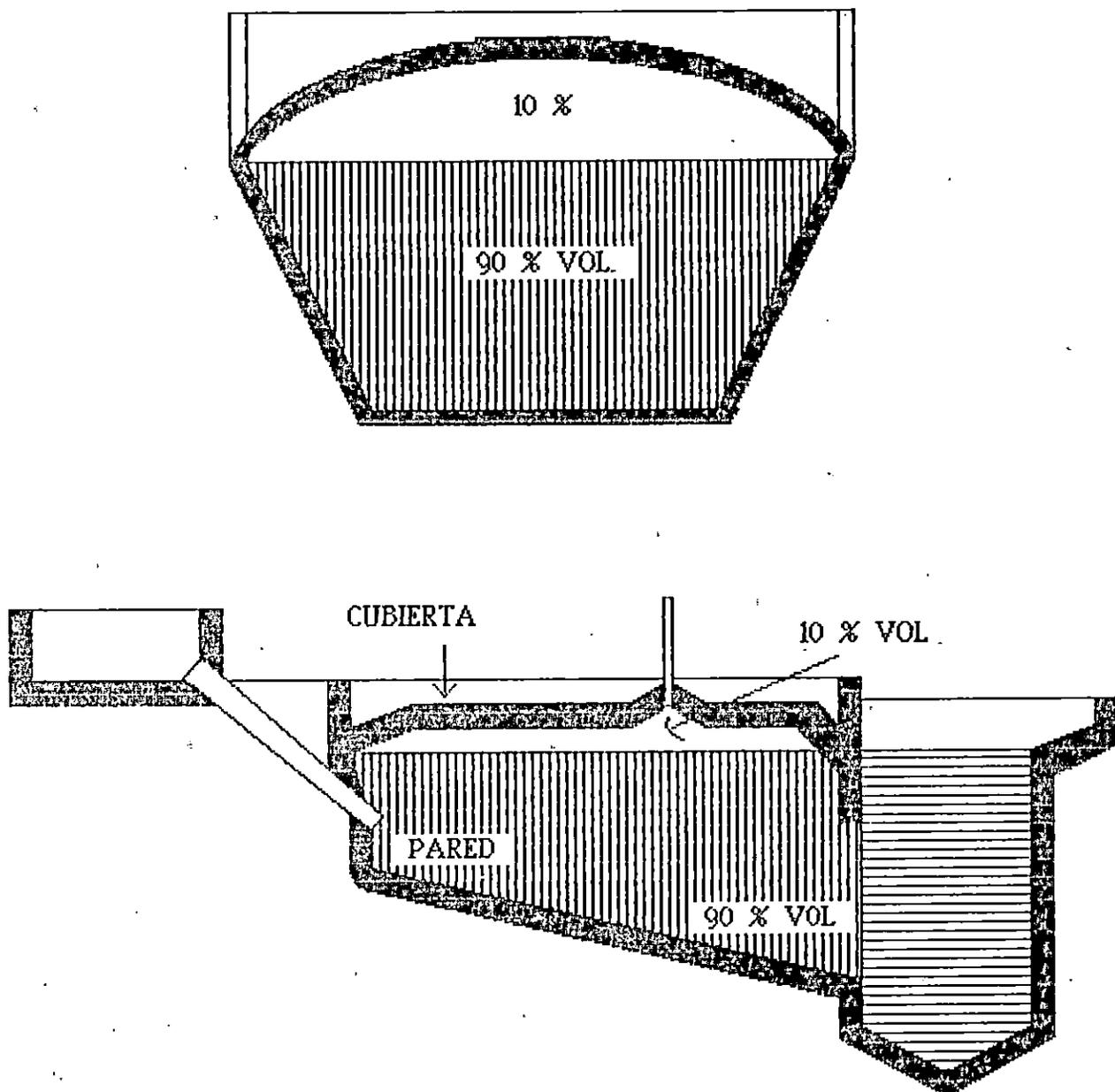


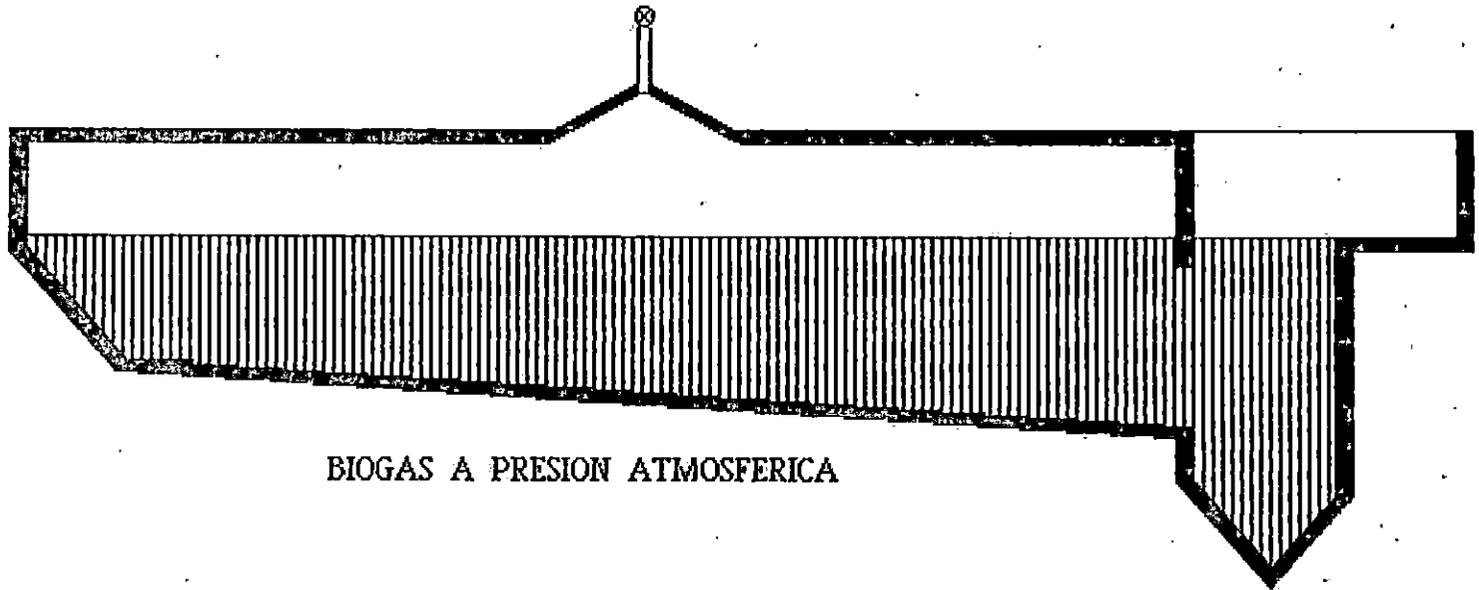
FIGURA 11.7 VOLUMEN OCUPADO POR EL BIOGAS Y EFLUENTE.

### 11.5. POZO DE DESCARGA Y PILETA DE COMPENSACION

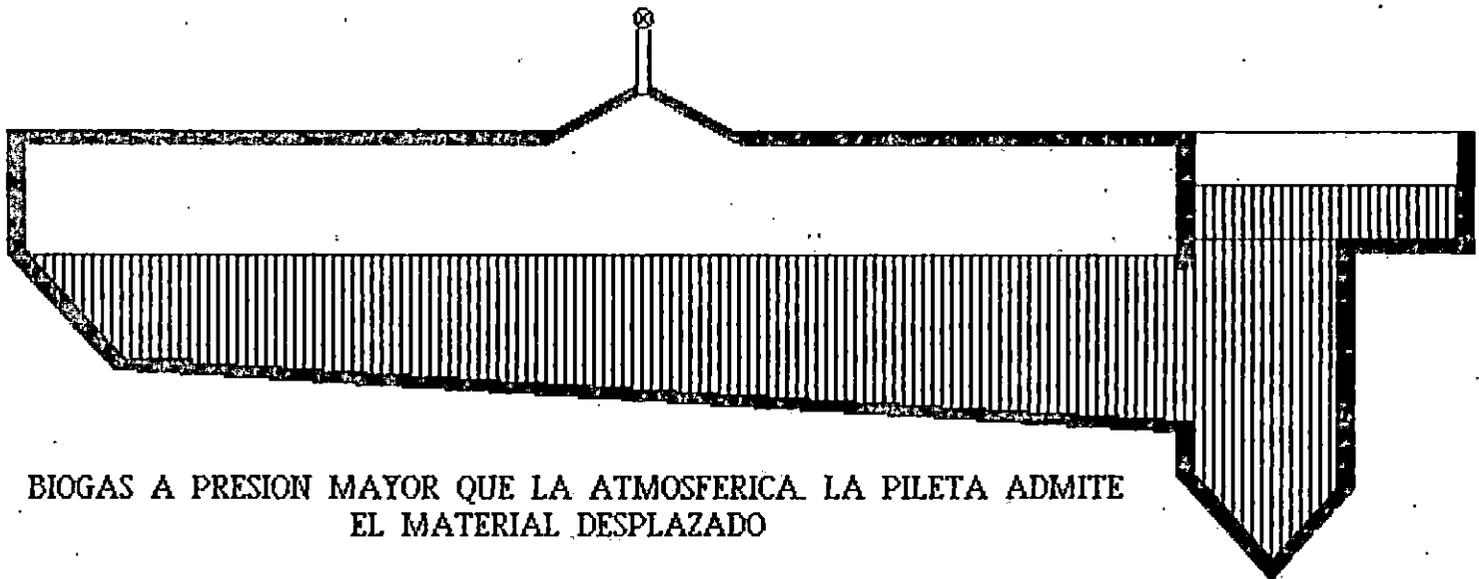
El biogás que se produce se acumula en la parte superior del digester, debajo de la cúpula y sólo es extraído cuanto va a ser usado ocasionalmente o almacenado. La producción de biogás puede suponerse continúa durante todo el día, mientras la extracción o consumo es ocasional y durante períodos limitados de tiempo, de tal forma que el volumen de gas no es constante y a la temperatura y presión de digestión el gas prácticamente es incompresible; de esta manera al aumentar el fluido dentro del digester este desplaza un volumen de material procesado, equivalente al biogás producido. Por tanto se necesita una instalación que admita este material desplazado y de la cual regrese cuando la cantidad de fluido disminuya al ser extraído para consumo.

La función primaria de la pileta es permitir la compensación requerida por los cambios del nivel del contenido del tanque. (figura 11.8)

La pileta deberá ser una cámara vertical de sección cuadrada con un ensanchamiento en la parte superior (pileta), una abertura comunica el digester con esto.



BIOGAS A PRESION ATMOSFERICA



BIOGAS A PRESION MAYOR QUE LA ATMOSFERICA. LA PILETA ADMITE  
EL MATERIAL DESPLAZADO

FIGURA 11.8 PILETA DE COMPENSACION.

Las dimensiones de la abertura y del pozo de la pileta deben ser tales que permitan que una persona pueda entrar al digestor, ya sea para examinar los trabajos de construcción, reparar una falla de la estructura o para efectuar limpieza si esto resulta inevitable.

La capacidad de la pileta debe ser equivalente a un 10% del volumen del digestor, como máximo; su profundidad no debe exceder de 50 cm. su ancho se hace igual al del digestor para facilitar su construcción. (fig. 11.9)

#### 11.6. RECOLECCION DEL GAS

El gas acumulado en la parte superior del digestor se recoge mediante una tubería instalada en cubierta.

Se construye una protuberancia en forma de campana sobre el eje central de la cubierta del digestor, a un tercio de longitud de éste, medido del extremo de la 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. (fig. 11.10)

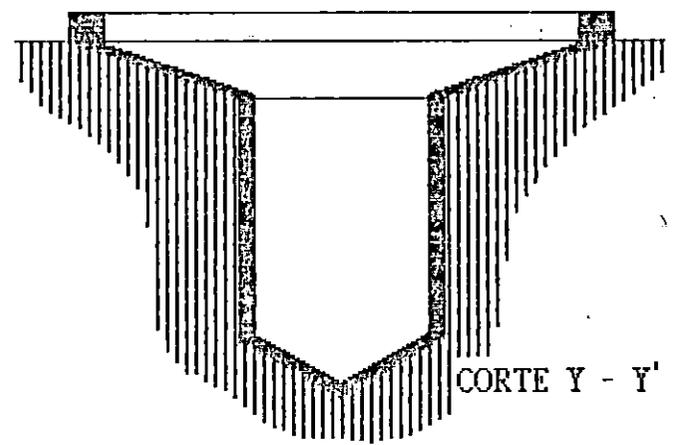
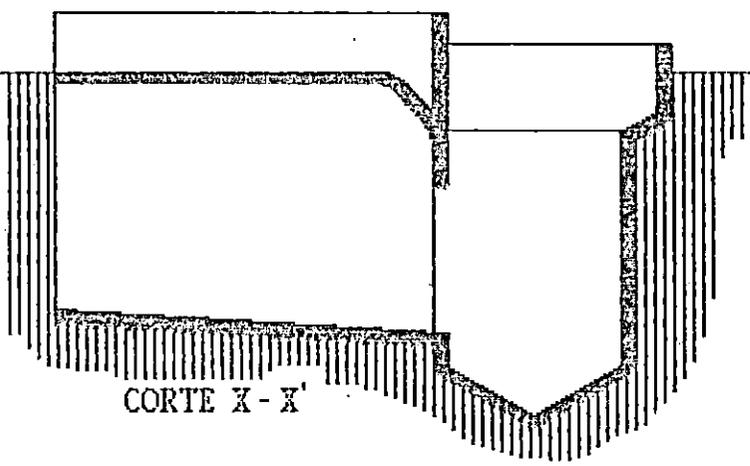
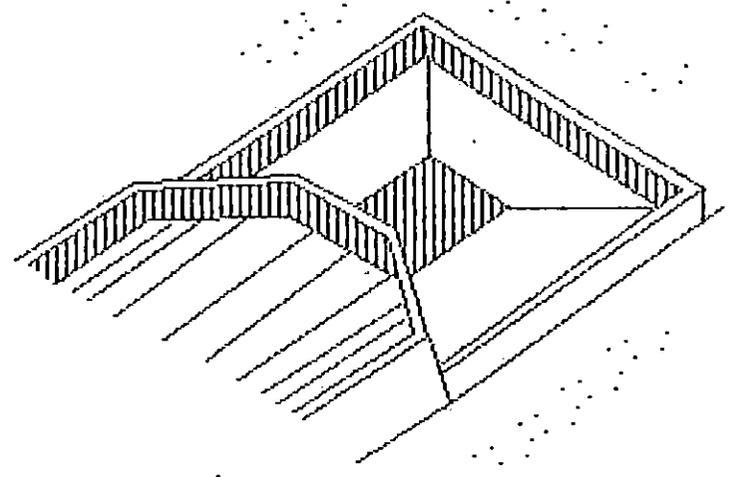
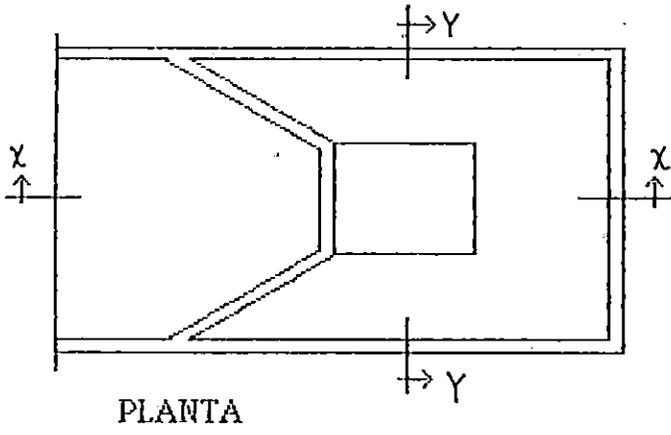


FIGURA 11.9 SECCIONES DE LA PILETA DE COMPENSACION.

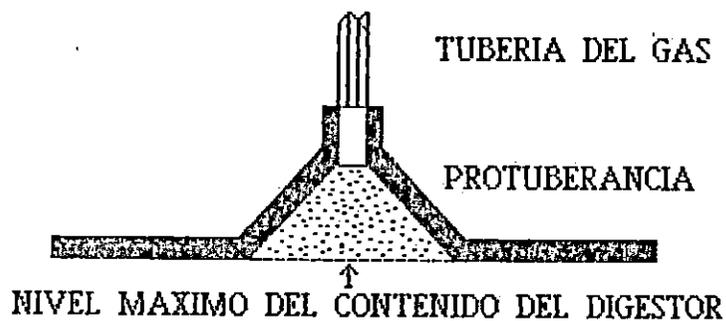


FIGURA 11.10 SECCION TRANSVERSAL DE LA CUPULA  
DONDE SE MUESTRA LA TUBERIA DE  
RECOLECCION DEL BIOGAS.

### 11.7. SISTEMA DE CONDUCCION

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

El fluido que sale del digestor lleva consigo cantidades apreciables de humedad; y al pasar de una temperatura mayor a una menor, esta humedad se condensa.

Para evitar este problema, se debe colocar la tubería con inclinación hacia el digestor para que el agua fluya de regreso, o también colocar un manómetro que funcione como trampa de agua al mismo tiempo que opera como válvula de seguridad para evitar que se dañe la estructura si llega a aumentar la presión dentro del digestor.

#### 11.8. NATAS SOBRE EL CONTENIDO DEL DIGESTOR

Es de esperar que se formen natas o costras durante el proceso de digestión anaeróbica; estas impiden el paso del biogás hacia la cámara de acumulación y por ésta razón será necesario provocar cierta agitación en la superficie líquida para que se disuelvan.

**C A P I T U L O   D O C E**  
**ECUACIONES DE DISEÑO**

## 12.1 ECUACIONES DE DISEÑO

Es necesario definir las ecuaciones que darán el volumen necesario de digester, así como sus principales dimensiones, de tal forma que éste se adapte a las condiciones existentes en el campo experimental y a las condiciones de diseño expuestas anteriormente.

### 12.1.1 DEFINICION DE VARIABLES

Las principales variables con que se trabajará son las siguiente:

- p : productividad de biogás.
- V<sub>bd</sub> : volumen de biogás producido por el digester al día.
- V<sub>D</sub> : volumen neto del digester.
- V<sub>C</sub> : volumen de carga diaria.
- V<sub>e</sub> : volumen de estiércol fresco.
- V<sub>a</sub> : volumen de agua.
- V<sub>pp</sub> : volumen de la pileta de carga.
- V<sub>cc</sub> : volumen de la pileta de compensación.
- V<sub>b</sub> : volumen de la bóveda.
- a : ancho superior del digester.
- L : longitud media del digester.
- h : profundidad media del digester.
- A : área de la sección transversal media del digester.
- t : longitud de cada lado de la pileta de carga.

- W : profundidad de la pileta de carga.
- b : profundidad de la pileta de compensación.
- Z : largo de curvatura de la bóveda.
- $\alpha$  : ángulo de inclinación de las paredes laterales del digestor.

## 12.2 PRODUCTIVIDAD DEL BIOGAS

Experimentalmente se ha encontrado que aproximadamente la productividad de un digestor es aproximadamente de 1/3, dentro de márgenes de seguridad aceptables; es decir, por cada metro cúbico de capacidad del digestor, se produce 1/3 de metro cúbico de biogás por día, considerando además que cuando la temperatura dentro del biodigestor está en el intervalo de 28-30 grados centígrados la productividad oscila entre 0.25 - 0.50 m<sup>3</sup> biogás/m<sup>3</sup> dig.

De lo anterior, se tiene:

$$p = \frac{V_{bd}}{VD} = \frac{1}{3}$$

Luego :  $VD = 3 V_{bd}$  EC. (12.1)

De esta ecuación puede conocerse VD si se conoce el volumen de biogás a utilizar, sustituyéndolo por V<sub>bd</sub>. Además, resulta necesario comprobar si la cantidad de sustrato de que se dispone, sea suficiente para generar la cantidad de biogás demandada; esto puede hacerse al calcular la carga diaria:

### 12.3. CALCULO DE LA CARGA DIARIA

Para las condiciones de temperatura promedio en Centroamérica y usando estiércol como sustrato, puede adoptarse un periodo de retención de 30 días: en ese caso, el volumen de carga diaria,  $V_c$ , será 1/30 del volumen del digestor.

$$V_c = \frac{VD}{30} \quad \text{Ec. (12.2)}$$

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

$$\frac{V_e}{V_a} = 1 \quad \text{Ec. (12.3)}$$

$$Y \quad V_e + V_a = V_c \quad \text{Ec. (12.4)}$$

Sustituyendo Ec. (12.3) en la Ec. (12.4), se tiene:

$$V_c = V_e + V_a$$

$$V_c = V_e + V_e$$

$$V_c = 2V_e \quad \text{Ec. (12.5)}$$

Igualando las Ec. (12.5) y (12.2):

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

$$Ve = \frac{VD}{60} \quad \text{Ec. (12.6)}$$

pero  $Ve = Va$ , se tiene:

$$Va = \frac{VD}{60} \quad \text{Ec. (12.7)}$$

#### 12.4. RELACIONES ENTRE EL VOLUMEN DEL DIGESTOR Y SUS LONGITUDES PRINCIPALES

El dimensionamiento del digestor se basa fundamentalmente en la determinación de tres longitudes principales a saber: "a", "h" y "L" las cuales han sido definidas previamente. Dichas longitudes están interrelacionadas entre sí por medio de fórmulas recomendadas por el ICAITI, las cuales son las siguientes:

$$L = 3a \quad \text{Ec. (12.8)}$$

$$h = \frac{a}{2} \quad \text{Ec. (12.9)}$$

Estas longitudes pueden apreciarse en la Figs. 12.1 y 12.2

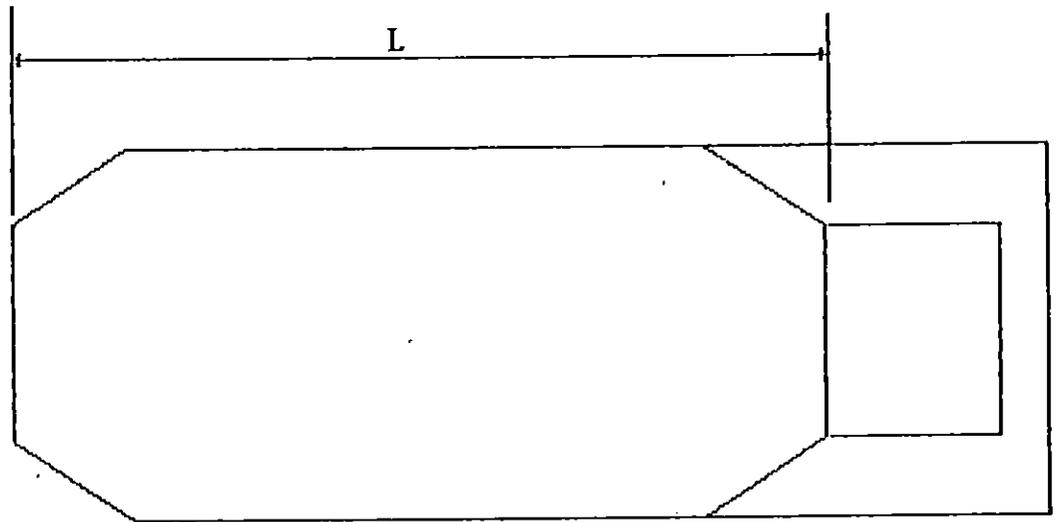


FIGURA 12.1. VISTA EN PLANTA DEL DIGESTOR.

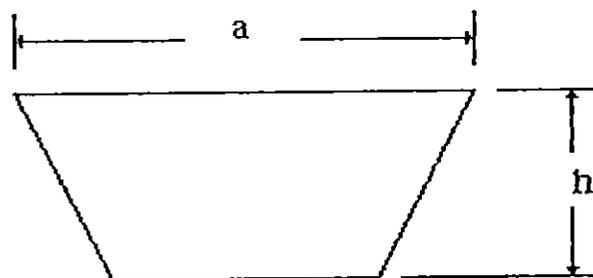


FIGURA 12.2. SECCIÓN TRANSVERSAL EN LA PARTE MEDIA DEL BIODIGESTOR.

Además, por las razones expuestas en la sección de "condiciones de diseño", se ha escogido un talud de 30% para las paredes y una pendiente del 10% para el piso.

Si se analiza la geometría de la sección media del digestor y se designan por A el área de esta sección media:

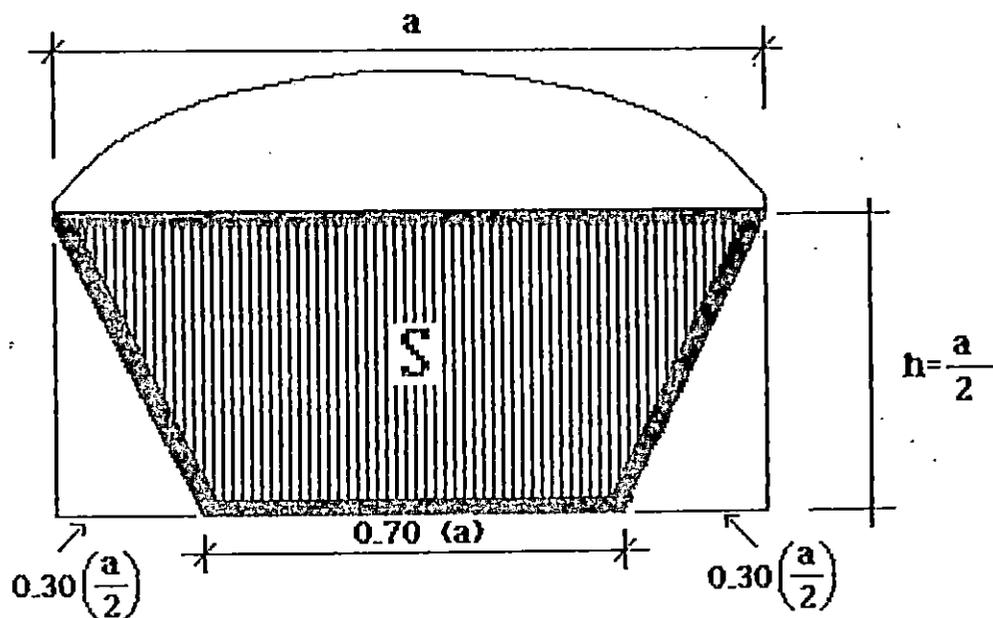


FIGURA 12.3. SECCIÓN MEDIA DEL DIGESTOR.

De la Fig. 12.3 se tiene que:

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

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

$$A = 0.85 ah$$

Sustituyendo la Ec. (12.9) en la Ec. anterior.

$$A = 0.85 a \frac{a}{2}$$

$$A = 0.425 a^2 \quad \text{Ec. (12.10)}$$

Se puede ahora expresar el volumen neto del digestor en función del área de la sección media y la longitud media:

$$VD = L \times A$$

Sustituyendo ahora la Ec. (12.8) y la Ec. (12.10), a fin de expresar VD en términos de "a" se tiene:

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

$$VD = 1.275 a^3 \quad \text{Ec. (12.11)}$$

## 12.5 DIMENSIONES DE LA PILETA DE CARGA.

El volumen de esta pileta ha de ser igual al del volumen de carga diaria mas un 10% para evitar rebalses. Por lo tanto el volumen de la pileta de carga es:

$$V_{pp} = 1.10 V_c \quad \text{Ec. (12.12)}$$

pero de acuerdo a la Ec.(12.2):  $V_c = \frac{VD}{30}$

$$V_{pp} = 1.10 \frac{V_d}{30} \quad \text{Ec. (12.13)}$$

Si la pileta tiene forma cuadrada, la longitud de cada lado es "t" y su profundidad "w", estas dimensiones se pueden relacionar con  $V_{pp}$  asi:

$$V_{pp} = w * t^2$$

por simplicidad se establece que:  $t = 3w$ , entonces:

$$V_{pp} = w (3w)^2$$

$$V_{pp} = 9w^3 \quad \text{Ec. (12.14)}$$

## 12.6. DIMENSIONES DE LA PILETA DE COMPENSACION.

Para establecer el volumen de esta pileta se toma el criterio empirico de asignarle el mismo volumen que ocupa el gas producido por el digester durante 8 horas de la noche:

$$V_{cc} = \frac{8}{24} V_{bd}$$

$$V_{cc} = \frac{1}{3} V_{bd}$$

Pero:

$$V_{bd} = \frac{1}{3} V_D$$

Luego:

$$V_{cc} = \frac{1}{3} \times \frac{1}{3} V_D$$

$$V_{cc} = \frac{1}{9} V_D \quad \text{Ec. (12.15)}$$

El volumen de la pileta de compensación se puede expresar en función de sus tres dimensiones lineales notando en la Fig.(12.4) que se trata de un paralelepípedo:

$$V_{cc} = abZ \quad \text{Ec. (12.16)}$$

donde "a" y "b" pueden tomarse por conveniencia, de la siguiente manera: (Fig. 12.5).

$$a = 5b \quad \text{Ec. (12.17)}$$

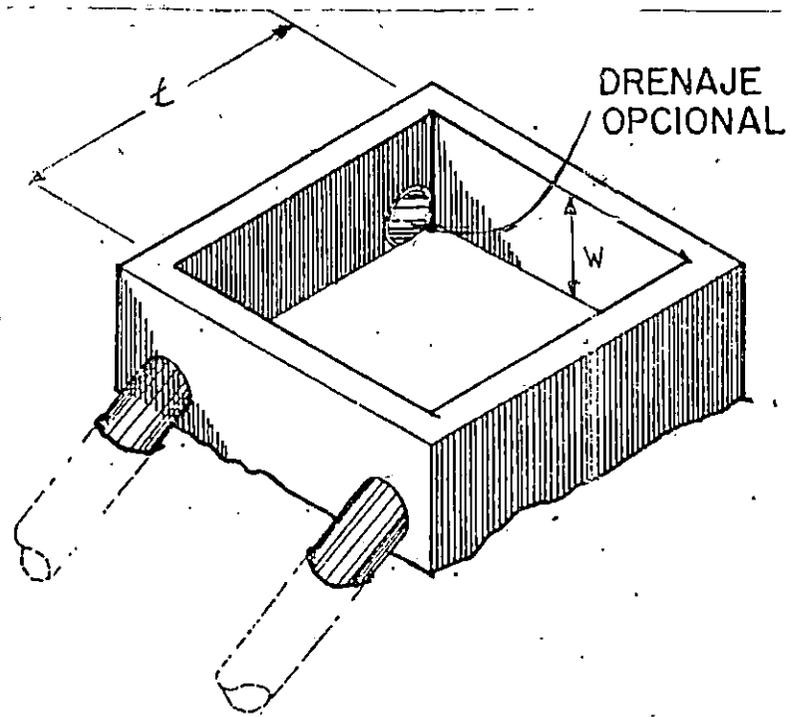


FIGURA 12.4 PILETA DE CARGA.

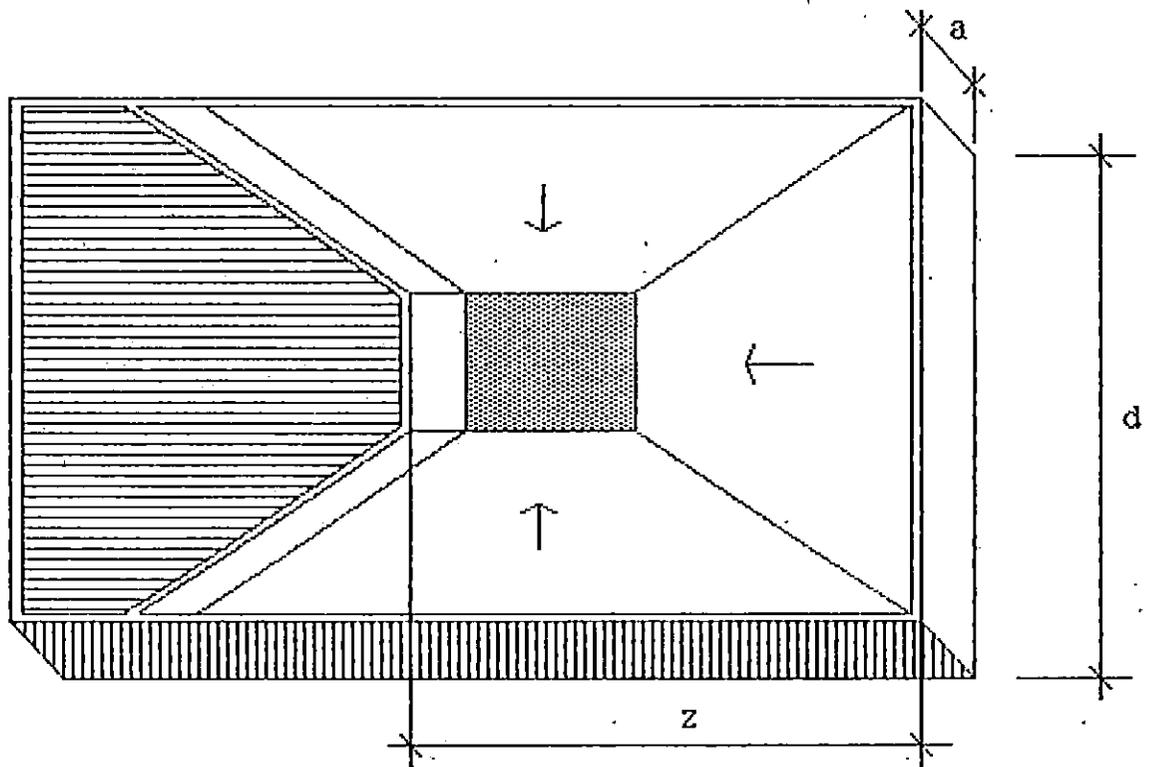


FIGURA 12.5 DIMENSIONES DE LA PILETA DE COMPENSACION.

## 12.7. DIMENSIONES DE LA BOVEDA

La boveda del digestor, es el espacio destinado para almacenar el gas producido diariamente y su dimensionamiento esta relacionado con la productividad de biogás esperada. En la figura 12.6 se muestra la seccion transversal de la boveda (parte sombreada), la cual esta limitada en su parte superior por un arco de circunferencia de radio "R" y en su parte inferior por una cuerda horizontal de longitud "a" igual al ancho superior del cuerpo del digestor. El centro de la circunferencia esta localizado a una distancia "X" de la cuerda, medida sobre un eje perpendicular a la misma. La altura maxima de la boveda se denota por la letra "Y". El area del segmento circular Ab es 12/ :

$$Ab = \frac{Y}{6a} (3Y^2 + 4a^2) \quad \text{Ec. (12.18)}$$

Se recomienda que el volumen de la boveda sea aproximadamente el 10% del volumen del digestor 13/ , entonces:

$$V_b = 0.10 V_D \quad \text{Ec. (12.19)}$$

Ademas: 
$$V_b = L A_b \quad \text{Ec. (12.20)}$$

---

12/Manual de Fórnulas Técnicas/, Kurt Gieck/Representaciones y servicios de Ingeniería.

13/Manual de construcción y Operación de una PLanta de Biogás (U102)/ICAITI-ROCAP Nº 596-0089. 1983.

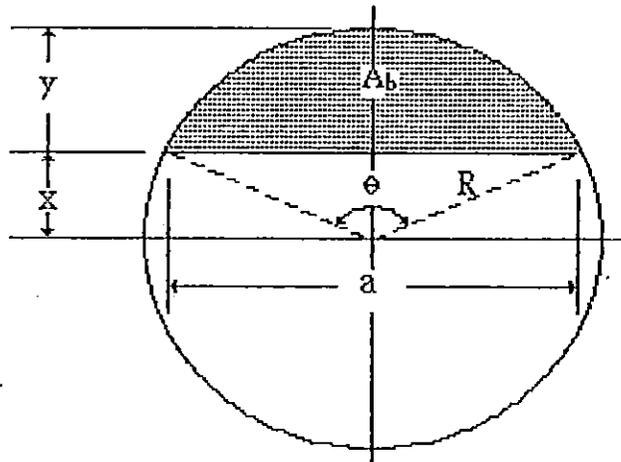


Figura 12.6 Dimensiones Principales para el cálculo de la bóveda.

Igualando la Ec. (12.19) con la Ec. (12.20) se tiene:

$$L \cdot Ab = 0.10 \cdot VD$$

$$Ab = 0.10 \frac{VD}{L} \quad \text{Ec. (12.21)}$$

Igualando la Ec. (12.18) con la Ec. (12.21), se tiene:

$$\frac{Y}{6a} (3Y^2 + 4a^2) = 0.10 \frac{VD}{L}$$

$$\frac{a}{2} Y^3 + \frac{2a^2}{3} Y - 0.10 \frac{VD}{L} = 0$$

$$\frac{Y^3}{a} + \frac{4a}{3} Y - 0.2 \frac{VD}{L} = 0$$

Pero  $L = 3a$  y  $VD = 1.275 a^3$  (Ecs. 12.8 y 12.11, respectivamente).

Sustituyendo:

$$Y^3 + \frac{4}{3} a^2 Y - 0.085 a^3 = 0 \quad \text{Ec. (12.22)}$$

La Ec. (12.22), es la ecuación fundamental del diseño de la bóveda, la cual debe ser resuelta para proceder a calcular las demás dimensiones de la Fig. 12.6, con las siguientes fórmulas:

$$R = \frac{Y}{2} + \frac{a^2}{8Y} \quad \text{Ec. (12.23)}$$

$$x = R - Y \quad \text{Ec. (12.24)}$$

$$\theta = 2 * \left( \text{sen}^{-1} \frac{a}{2R} \right) \quad \text{Ec. (12.25)}$$

CUADRO 12.1.  
PRINCIPALES FORMULAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL DIGESTOR.

SIMBOLO	DESCRIPCION DEL	FORMULA	COMENTARIO	Nº DE ECUACION
$V_e$	VOLUMEN DE ESTIERCOL	DATOS DE ENTRADA	LA CANTIDAD DE ESTIERCOL DISPONIBLE ES LA CONDICION DE DISEÑO.	----
		$V = V_{[X]} / 20$	LA DEMANDA DE BIOGAS ES LA CONDICION DE DISEÑO	COMBINACION 12.1 Y 12.6
$V_{[X]}$	VOLUMEN DE BIOGAS PRODUCIDO AL DIA.	$V_{[X]} = 20 V_e$	LA CANTIDAD DE ESTIERCOL DISPONIBLE ES LA CONDICION DE DISEÑO.	COMBINACION DE 12.1 Y 12.6
		DATO DE ENTRADA	LA DEMANDA DE BIOGAS ES LA CONDICION DE DISEÑO.	----
VD	VOLUMEN NETO DEL DIGESTOR.	$VD = 3V_e$	LA CANTIDAD DE ESTIERCOL DISPONIBLE ES LA CONDICION DE DISEÑO.	12.6
		$VD = 3V_{[X]}$	LA DEMANDA DE BIOGAS ES LA CONDICION DE DISEÑO.	12.1
a	ANCHO SUPERIOR DEL	$a = [VD / 1.275]^{1/3}$	VER FIGURA 12.12.	12.11
L	LONGITUD MEDIA DEL DIGESTOR	$L = 3a$	VER FIGURA 12.11.	12.8.
h	PROFUNDIDAD MEDIA DEL DIGESTOR.	$h = a/2$	VER FIGURA 12.12.	12.9.
$V_{PP}$	VOLUMEN DE LA PILETA DE CARGA.	$V_{PP} = 1.1 [VD / 30]$	VER FIGURA 12.14.	12.13.
w	PROFUNDIDAD DE LA PILETA DE CARGA.	$w = [V_{PP} / 9]^{1/3}$	VER FIGURA 12.14.	12.14.
t	LONGITUD DE CADA LADO DE LA PILETA DE CARGA	$t = 3w$	VER FIGURA 12.14.	----

CONTINUACION DEL CUADRO 12.1

SIMBOLO	DESCRIPCION DEL PARAMETRO	FORMULA	COMENTARIO	Nº DE EC.
$V_{cc}$	VOLUMEN DE LA PILETA DE COMPENSACION	$V_{cc} = VD/9$	VER FIGURA 12.15	12.15
b	PROFUNDIDAD DE LA PILETA DE COMPENSACION	$b = a/5$	VER FIGURA 12.15	12.17
Z	LARGO DE LA PILETA DE COMPENSACION	$Z = V_{cc} / (a \cdot b)$	VER FIGURA 12.15	12.16
Y	ALTURA MAXIMA DE LA BOVEDA, MEDIDA SOBRE EL ANCHO SUPERIOR DEL DIGESTOR	$Y^3 + \frac{4}{3} a^2 Y - 0.085a^3 = 0$	VER FIGURA 12.7 SE RECOMIENDA UTILIZAR EL METODO NEWTON-RABSON	12.22
R	RADIO DE LA BOVEDA	$R = Y/2 + a^2 / (8 \cdot Y)$	VER FIGURA 12.7	12.23
X	DISTANCIA PERPENDICULAR ENTRE EL ANCHO SUPERIOR DEL DIGESTOR Y EL CENTRO DE LA CIRCUNFERENCIA DE LA BOVEDA	$X = R - Y$	VER FIGURA 12.7	12.24
$\theta$	ANGULO COMPENDIDO ENTRE LOS RADIOS QUE PASAN POR LAS INTERSECCIONES DE LA BOVEDA Y EL ANCHO SUPERIOR DEL DIGESTOR.	$\theta = 2 \arcsen (a/2R)$	VER FIGURA 12.7	12.25

**C A P I T U L O   T R E C E**  
**C A L C U L O   D E   L A S   D I M E N S I O N E S**  
**P R I N C I P A L E S   D E L   D I G E S T O R**

### 13.1 CALCULO DE LAS DIMENSIONES PRINCIPALES DEL DIGESTOR.

El cálculo puede hacerse de dos formas: de acuerdo a la demanda de biogás y de acuerdo a la cantidad de estiércol disponible.

Si se hace de acuerdo a la demanda de biogás existe la posibilidad que el estiércol disponible no sea el suficiente para generar la cantidad adecuada de biogás para suplir tal demanda. Por lo tanto resulta más seguro hacer el cálculo por la segunda forma ya que así se establece la cantidad máxima de biogás que puede obtenerse a partir del estiércol disponible.

Se sabe que en el campo experimental se generan diariamente aproximadamente una carretillada de estiércol fresco lo que hace aproximadamente 50 litros, entonces:

$$V_e = 50 \text{ lts.}$$

y de la Ec. (12.6), se tiene que:

$$V_D = 60 V_e$$

Sustituyendo:

$$V_D = 3000 \text{ lts.} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lts.}}$$

$$V_D = 3 \text{ m}^3$$

Conocido este valor, se procederá a calcular el ancho superior del digestor utilizando la Ec.(12.11), y despejando "a".

$$a^3 = \frac{VD}{1.275}$$

$$a = \left[ \frac{3}{1.275} \right]^{(1/3)}$$

$$a = 1.33 \text{ mts.}$$

Ahora conociendo el valor de "a" se puede calcular la longitud y altura media del digestor con las ecuaciones (12.8) y (12.9) respectivamente:

$$L = 3a$$

$$L = 3 (1.33) \text{ mts.}$$

$$L = 4 \text{ mts.}$$

$$h = a/2$$

$$h = 1.33/2$$

$$h = 0.665 \text{ mts.}$$

$$h = 0.67 \text{ mts.}$$

Resumiendo:

$$a = 1.33 \text{ mts.}$$

$$h = 0.67 \text{ mts.}$$

$$L = 4 \text{ mts.}$$

### 13.2 DIMENSIONES DE LA PILETA DE CARGA

Conociendo el volumen de carga del digestor se puede aplicar la Ec.(12.2).

$$V_{pp} = 1.1 V_c$$

En donde

$$V_c = V_e + V_a$$

Pero de la relación 1:1 de agua a estiércol se tiene:

$$V_e = V_a$$

$$V_c = 2V_e; \quad V_e = 50 \text{ litros}$$

$$V_c = 2(50) \text{ litros}$$

$$V_c = 100 \text{ litros} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}}$$

$$V_c = 0.1 \text{ m}^3$$

Sustituyendo:

$$V_{pp} = 1.1 (0.1)$$

$$V_{pp} = 0.11 \text{ m}^3$$

Utilizando la Ec.(12.14) se determina la profundidad de la pileta de carga.

$$V_{pp} = 9W^3$$

Despejando:

$$W = \left[ \frac{V_{pp}}{9} \right]^{(1/3)} = \left[ \frac{0.11}{9} \right]^{(1/3)}$$

$$W = 0.23 \text{ mts.}$$

Se estableció que:

$$t = 3W$$

$$t = 3(0.23)$$

$$t = 0.69 \text{ mts.}$$

### 13.3 PILETA DE COMPENSACION

El volumen de la pileta de compensación es según la Ec.(12.15):

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

$$V_{cc} = \frac{1}{9}(3)$$

$$V_{cc} = \frac{1}{3}m^3$$

Con este valor de volumen y el ancho "a" conocido se puede aplicar las ecuaciones (12.16) y (12.17) para determinar las longitudes "b" y "Z":

$$a = 5b$$

$$b = \frac{9}{5} = \frac{1.33}{5} = 0.266$$

redondeando:

$$b = 0.27 \text{ mt.}$$

De la Ec. ( 12.16 )

$$V_{cc} = abZ$$

despejando Z

$$Z = V_{cc} / ab$$

$$Z = \frac{1}{3 * 1.33 * 0.27}$$

$$Z = 0.93 \text{ mts.}$$

#### 13.4 DIMENSIONES DE LA BOVEDA

El primer paso en el dimensionamiento de la bóveda, es determinar la altura máxima de ésta por encima del ancho superior del digestor. Esto se logra resolviendo la Ec.(12.22) que a continuación se escribe:

$$Y^3 + \frac{4}{3} a^2 Y - 0.085 a^3 = 0$$

Donde  $a=1.33$  mts. fue obtenido en la sección 13.0. Luego sustituyendo y operando se tiene:

$$Y^3 + 2.3585 Y - 0.1999 = 0$$

Al resolver la ecuación anterior se determina que solo posee una raíz real cuyo valor es:

$$Y = 0.08454434$$

Redondeando:

$$Y = 0.085 \text{ mts.}$$

Con el valor de "Y" conocido puede ahora encontrarse el radio de curvatura de la bóveda utilizando la Ec.(12.23):

$$R = \frac{Y}{2} + \frac{a^2}{8Y}$$

$$R = \frac{0.085}{2} + \frac{(1.33)^2}{8(0.085)} = 3.4868828$$

Redondeando:  $R = 2.64$  mts.

Luego la distancia del centro de la circunferencia de la bóveda al ancho superior del digestor será:

$$x = R - Y$$

$$x = 2.64 - 0.085$$

$$x = 2.55$$
 mts.

Finalmente de la Ec.(12.25) se obtiene:

$$\theta = 2 \left( \text{sen}^{-1} \frac{a}{2R} \right)$$

$$\theta = 2 \left[ \text{sen}^{-1} \frac{(1.33)}{2(2.64)} \right]$$

$$\theta = 29.18^\circ$$

**C A P I T U L O   C A T O R C E**  
**DISEÑO DE LOS DISPOSITIVOS**

#### 14.1. SISTEMA DE ALMACENAJE

Para almacenar el biogás producido por el digestor, se cuenta con un sistema el cual en términos generales consta de un barril sumergido en agua, con su abertura hacia abajo, en una pileta de cemento. Al interior del barril se encuentran los extremos de dos tuberías independientes, provenientes del exterior como se muestra en la figura 14.1; una de ellas es la de entrada, la cual se conecta con la tubería proveniente del digestor, y la otra es la de salida en la cual debe ser conectado el sistema de distribución del gas o algún dispositivo en particular. Ambas tuberías, la de entrada y la de salida, están provistas de válvulas, de tal forma que al estar cerrada la de salida y abierta la de entrada, el biogás es almacenado en el interior del barril. Conforme va almacenándose mayor cantidad de gas el barril sufre un desplazamiento vertical hacia arriba proporcional a la cantidad de gas proporcionado.

Este sistema tiene la ventaja de mantener constante la presión en el interior del tanque al momento de utilizar el biogás, condición que es muy importante para el buen funcionamiento de los dispositivos que funcionarán con el biogás producido.

En cuanto a la tubería que comunica el digestor con el sistema de almacenamiento, esta ha sido provista de un manómetro, el cual está colocado a la salida del digestor; posterior al manómetro se

cuenta con una válvula, la cual al permanecer cerrada, permite controlar el nivel de presión deseado a través de la lectura del manómetro. A fin de controlar la presión de salida del tanque o barril de almacenamiento de biogás se ha instalado otro manómetro en la tubería de salida del mismo. La figura 14.1 muestra esquemáticamente todo el sistema y los diversos accesorios de control.

#### 14.2. ANALISIS SOBRE EL DISEÑO DE LA LAMPARA

La lámpara de biogás es un dispositivo para convertir energía química en energía lumínica. Así como la lámpara, también los quemadores para cocinar son utensilios importantes para usarlos en zonas donde la energía eléctrica es difícil de obtener o muy cara. El consumo de biogás en una lámpara teóricamente es  $1/5$  ó  $1/6$  de un quemador. El excedente diario de biogás después de cocinar puede ser utilizado para iluminación.

Básicamente la lámpara opera con una mezcla de biogás y oxígeno en una proporción variable y está compuesta de inyector, boquilla, una cabeza de cobre, una camisa y un reflector de la luminosidad.

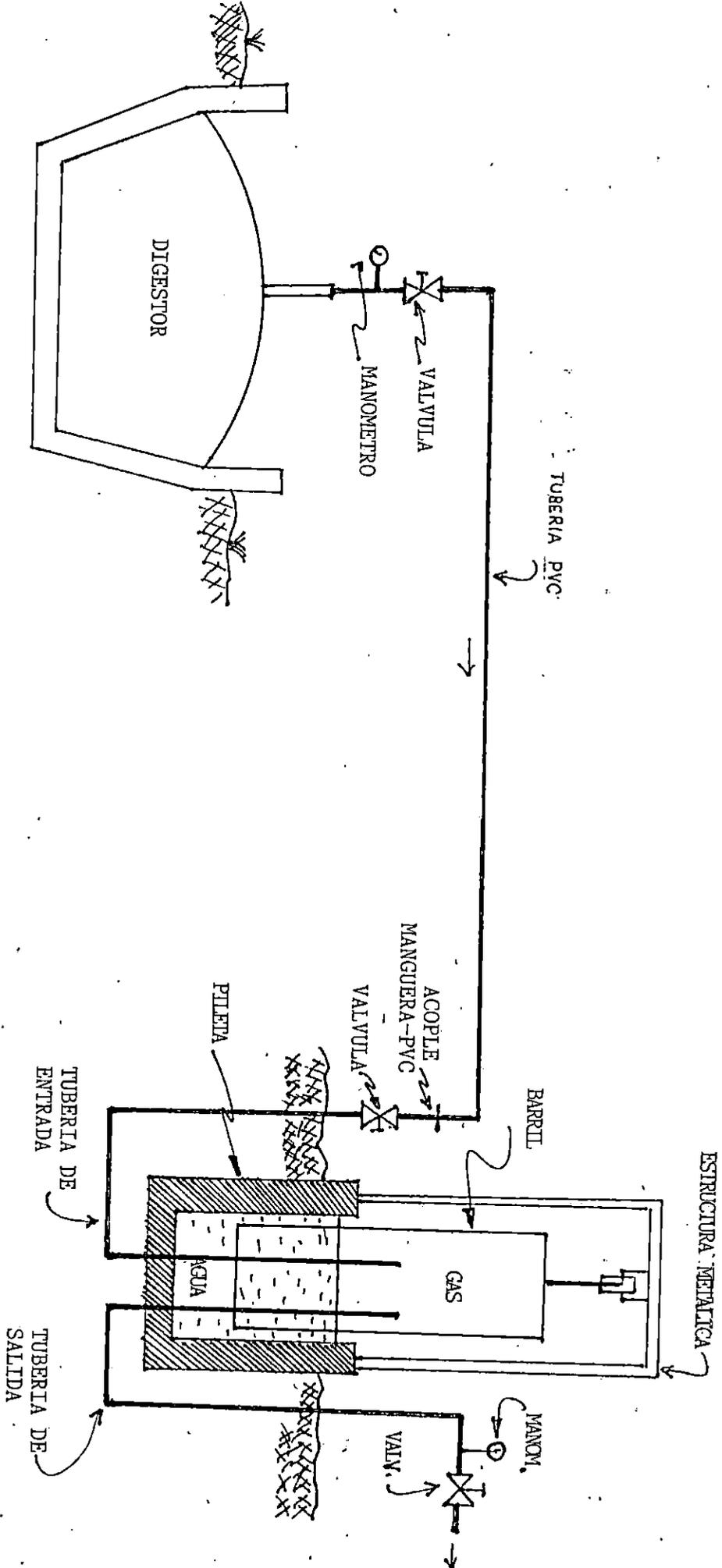


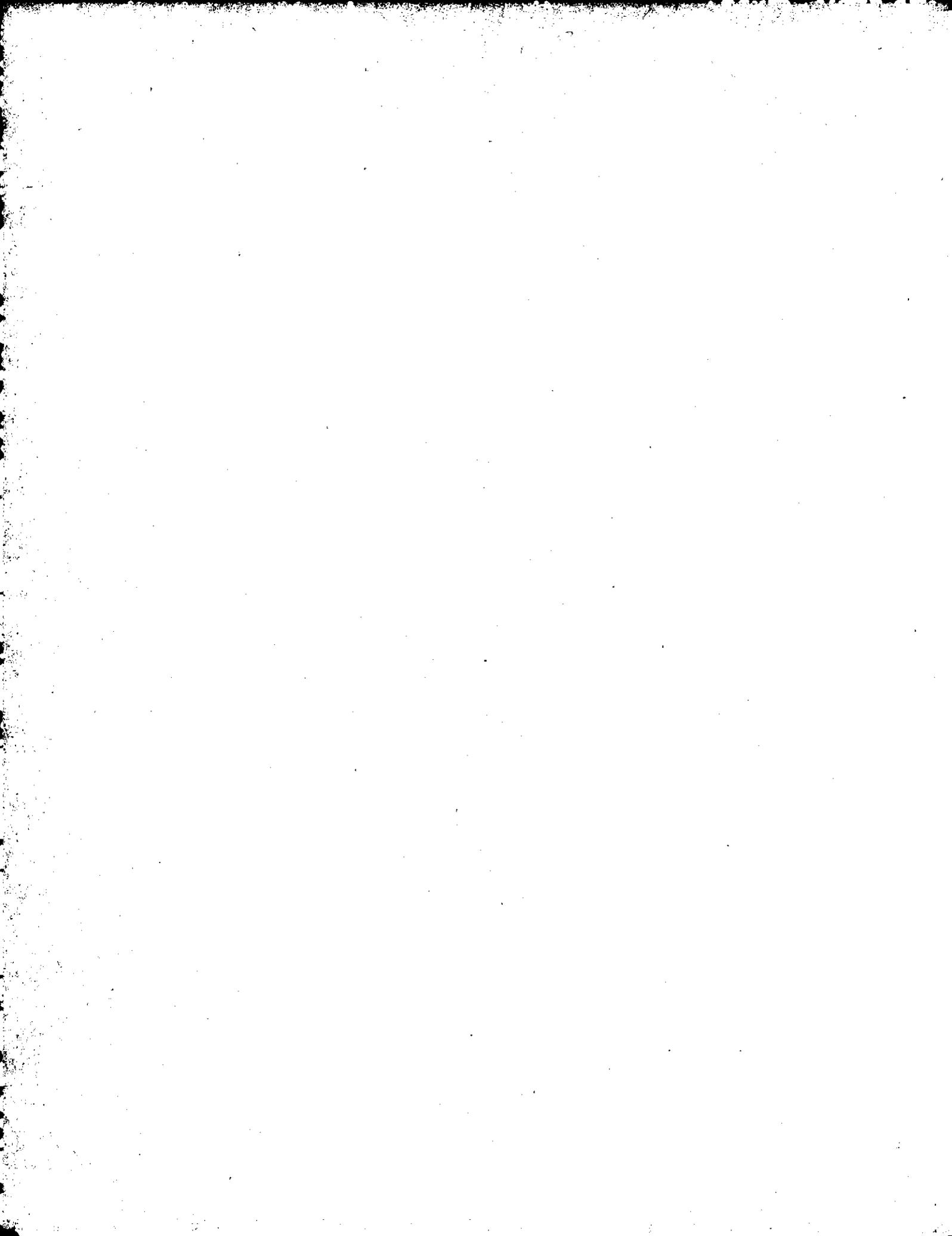
FIGURA 14.1. DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE BIOGAS Y LOS ACCESORIOS DE CONTROL.

El biogás fluye a la boquilla a través de un conducto y luego es lanzado al inyector a la boquilla a una cierta presión. Al mismo tiempo una cierta cantidad de aire es impulsado al interior de la lámpara por medio de una ranura que ha sido labrada en el tubo de hierro galvanizado la cual funciona como entrada de oxígeno elemento que es indispensable para la combustión del biogás. Debido a que la mezcla no es uniformemente homogénea, es

El biogás es inyectado a la lámpara a través de una manguera desde la tubería de conducción proveniente del tanque almacenador o del digestor mismo a un tubo de cobre, el cual se introduce en un tubo de hierro galvanizado que sirve como protector y al mismo tiempo de asidero del coligante de lámpara.

A continuación se especifica el funcionamiento de los diferentes componentes que intervienen en el proceso, describiendo además la trayectoria del biogás desde su entrada a la lámpara hasta el momento de su combustión cuando produce la luminosidad deseada.

- El área de la entrada de oxígeno.
  - combustión
  - La cantidad de oxígeno necesaria en la mezcla para la
  - El diámetro del inyector.
  - El diámetro de la boquilla
- En el diseño de este modelo se determinará:



La camisa que produce la luz blanca producto de la combustión de la mezcla se fija en la cabeza de cobre la cual tiene una ranura en todo su costado lo que permite una mejor fijación.

El biogás y el aire son mezclados por el inyector y es necesario conducir la mezcla hasta el lugar donde se realizará la combustión, esto se logra acoplando otro tubo de hierro galvanizado, el cual permite continuidad en el transporte de la mezcla biogás-oxígeno. Esta mezcla escapa por los agujeros de una cabeza de cobre los cuales están distribuidos uniformemente de modo que el flujo del gas se distribuya de igual forma y su presión descienda. La cabeza de cobre está roscada al tubo para facilitar su cambio.

Con respecto a la boquilla es necesario aclarar que el diámetro de la abertura es muy pequeño y de fácil corrosión, por lo que se recomienda que su fabricación sea de un material resistente a la corrosión (en este caso será de cobre).

necesario variar la cantidad de oxígeno a mezclar. Para esto es conveniente diseñar un elemento que permita controlar la cantidad de oxígeno en mayor o menor proporción en la zona de mezcla. Esto se logra labrando una ranura en una zona roscada con el objeto que una tuerca pueda desplazarse sobre la ranura permitiendo una mayor o menor área para la entrada del oxígeno.

#### 14.2.1. PARAMETROS DE DISEÑO

Es necesario establecer los parámetros de diseño necesarios y suficientes para la construcción de la lámpara de biogás garantizando de ésta forma un funcionamiento aceptable.

Estos parámetros son: peso específico del biogás, valor calorífico del biogás y suministro teórico de aire.

##### 14.2.1.1. PESO ESPECIFICO

La composición promedio del biogás es:

CH<sub>4</sub> : 60%

H<sub>2</sub> S : 0.5%

CO<sub>2</sub> : 0.5%

El peso normal del biogás es el peso del mismo por unidad de volumen en estado estándar y se mide en kg/m<sup>3</sup>. El peso normal se calcula con:14/

$$P_n = 0.01 * \sum X_i P_i \quad \text{Ec. (14.1)}$$

---

14/Anexo A, cuadro N<sup>o</sup> 1.

Donde:

$P_n$  : peso normal

$x_i$  : cantidad de cada gas que componen el biogás (%)

$P_i$  : peso de cada componente del biogás (kg/m<sup>3</sup>)

Peso del CH<sub>4</sub> = 0.71

Peso del CO<sub>2</sub> = 1.98

Peso del H<sub>2</sub> S = 1.54

Peso del N<sub>2</sub> = 1.25

Por tanto:

$$P_n = 0.01[(60*0.717)+(39*1.98) + (0.5*1.54)+(0.5*1.25)]$$

$$P_n = 1.22 \text{ kg/m}^3$$

El peso específico viene dado por:15/

$$S = \frac{P_n}{1.293} \quad \text{Ec. (14.2)}$$

luego:

$$S = \frac{1.22}{1.293}$$

$$S = 0.94 \text{ kg/m}^3$$

---

15/Material de enseñanza FAO-CHINA, curso de capacitación en biogás.  
Chengdú, CHINA, 1984. V parte.

#### 14.2.1.2. VALOR CALORIFICO DEL BIOGAS

Corresponde al valor calorífico liberado por la combustión total de una unidad de volumen de biogás, expresado en kcal/m<sup>3</sup>. Se calcula de la siguiente manera<sup>16/</sup> :

$$Q = 0.01 * \sum X_i Q_i \quad \text{Ec. (14.3)}$$

donde:

- Q : valor calorífico del biogás
- X<sub>i</sub> : cantidad de cada combustible componente del biogás
- Q<sub>i</sub> : valor calorífico de cada combustible componente del biogás (kcal/m<sup>3</sup>)

También se tiene que:<sup>17/</sup>

- Valor calorífico del CH<sub>4</sub> = 8570
- Valor calorífico del H<sub>2</sub>S = 5581
- Valor calorífico del CO<sub>2</sub> = 0
- Valor calorífico del N<sub>2</sub> = 0

Sustituyendo los valores anteriores en la Ec. (14.3), se tiene:

$$Q = 0.01[(60 \times 8570) + (0.5 \times 5581)]$$

$$Q = 5170 \text{ kcal/m}^3$$

---

<sup>16/</sup>Ver referencia N<sup>o</sup> 15.

<sup>17/</sup>Anexo A, cuadro N<sup>o</sup> 1.

### 14.2.1.3. SUMINISTRO TEORICO DE AIRE

Corresponde a la cantidad de aire que necesita 1 m<sup>3</sup> de biogás para su combustión total. Viene dada por:18/

$$V_o = 0.01 * \sum X_i V_i \quad \text{Ec. (14.4)}$$

donde:

$V_o$  : suministro teórico de aire.

$X_i$  : cantidad de cada combustible componente en %.

$V_i$  : demanda teórica de aire de cada combustible.

A la vez se sabe que:19/

Demanda teórica de aire del CH<sub>4</sub> = 9.52

Demanda teórica de aire del H<sub>2</sub>S = 7.14

Sustituyendo en la Ec. (14.4) se tiene:

$$V_o = 0.01[(60 \times 9.52) + (0.5 \times 7.14)]$$

$$V_o = 5.75$$

Por lo tanto los parámetros de diseño son los siguientes:

$$S = 0.94 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = 5170 \text{ kcal/m}^3$$

$$V_o = 5.75$$

---

18/Material de enseñanza FAO-CHINA. Curso de capacitación de Biogás. Chengdú, CHINA. 1984.

19/Anexo B, cuadro N<sup>o</sup>1.

#### 14.2.2. CALCULO DE LAS DIMENSIONES PRINCIPALES DE LA LAMPARA

Estas dimensiones son las siguientes:

- Diámetro de la abertura de la boquilla.
- Superficie de la toma para el aire primario.
- Diámetro del inyector.

##### 14.2.2.1. DIAMETRO DE LA ABERTURA DE LA BOQUILLA(d<sub>n</sub>)

Puede calcularse a partir de la siguiente expresión:<sup>20/</sup>

$$d_n = 10 * \left[ \frac{I}{Q} \right]^{(1/2)} * \left[ \frac{P_n}{P} \right]^{(1/4)} \quad \text{Ec. (14.5)}$$

donde:

d<sub>n</sub> : diámetro de la abertura de la boquilla.

I : carga calórica = 465 kcal/hr

Q : valor calórico del biogás (kcal/m<sup>3</sup>)

P<sub>n</sub> : peso normal del biogás (kg/m<sup>3</sup>)

P : presión (mm.col. agua)=200 mm. col. agua.

Sustituyendo en la Ec.(14.5) se tiene:

$$d_n = 10 * \left[ \frac{465}{5170} \right]^{(1/2)} * \left[ \frac{1.22}{200} \right]^{(1/4)}$$

$$d_n = 0.83 \text{ mm.}$$

---

<sup>20/</sup>Material de enseñanza FAO-CHINA. Curso de capacitación de Biogás. Chengdú CHINA 1984.

#### 14.2.2.2. SUPERFICIE DE LA TOMA PARA EL AIRE PRIMARIO (Fk)

Esta viene dada por la siguiente expresión:21/

$$Fk = (228 * \alpha * VoI) / (wkQ) \quad \text{Ec. (14.6)}$$

donde:

$\alpha$  : coeficiente de aire primario = 0.9

wk : velocidad del aire primario = 1.1 m/s.

Luego:

$$Fk = (228 * 0.9 * 5.75 * 465) / (1.1 * 5170)$$

$$Fk = 118 \text{ mm}^2.$$

#### 14.2.2.3. DIAMETRO DEL INYECTOR

Puede encontrarse por medio de la siguiente expresión:21/

$$D = dn * \left[ k(1 + \alpha * Vo) \left[ 1 + (\alpha * Vo / S) \right] \right]^{(1/2)} \quad \text{Ec. (14.7)}$$

donde:

dn : diámetro de la apertura de la boquilla.

k : coeficiente de resistencia del inyector.

S : peso específico del biogás.

$\alpha$  : coeficiente de aire primario.

Vo : suministro teórico de aire.

---

21/VER referencia 20.

Tomando  $k = 1.3$  y  $\alpha = 0.9$  22/ entonces:

$$D = 0.83 * \left[ 1.3 * [1 + (0.9 * 5.75)] [1 + (0.9 * 5.75 / 0.94)] \right]^{(1/2)}$$

$$D = 7.00 \text{ mm.}$$

Por tanto las dimensiones principales son:

$$d_n = 0.83 \text{ mm.}$$

$$F_k = 118 \text{ mm.}$$

$$D = 7 \text{ mm.}$$

#### 14.3. ANALISIS SOBRE EL DISEÑO DE LA COCINA

La parte principal y que requiere atención en el diseño en la construcción de la cocina que funcionará con biogás, es el quemador. Se utilizará el tipo de quemador en el cual no es necesario la mezcla de aire con biogás antes de la combustión (quemador difuso), por lo que el coeficiente de aire primario será igual a cero; es decir, el aire necesario para apoyar la combustión es proporcionado exclusivamente por el aire secundario, que se mezcla con el biogás durante el proceso de combustión.

Este tipo de quemador es de estructura simple y de fácil manufactura. El método más sencillo para hacerlo consiste en perforar algunos agujeros en un tubo redondo por los cuales sale el biogás para ser consumido.

---

22/Anexo B, cuadro N<sup>o</sup> 4.

El quemador tiene que cumplir, además, con ciertos requisitos técnicos básicos, los cuales se enumeran a continuación:

a) La carga calórica de los quemadores debe satisfacer las exigencias de la cocina.

La carga calórica del quemador es la cantidad de calor liberada por él por unidad de tiempo y se mide en kcal/hr. En otras palabras, es la incandescencia que se produce. Si la carga calórica es demasiado pequeña, no habrá suficiente calor para cocinar. Si es demasiado grande aumentará la pérdida de calor, disminuirá la eficiencia y una parte del biogás será desperdiciado.

Según investigaciones, la carga calórica para cocinar para una familia de cinco miembros es aproximadamente de 2400 kcal/hr 23/

b) Buena estabilidad del encendido.

El valor calórico y la presión del biogás varían regularmente, por lo que el quemador tiene que ser capaz de ajustarse a esta variación. Es necesario garantizar una combustión normal de tal manera que a pesar de las variaciones, se eviten fenómenos tales como la elevación o la coloración amarilla de la lláma y las explosiones.

---

23/Material de enseñanza FAO-CHINA. Curso de capacitación en Biogás. Chengdú. CHINA, 1984, V parte.

c) Eficiencia térmica.

Un quemador de biogás bien diseñado debe poseer combustión completa del biogás, completa utilización de su energía calórica y una eficiencia térmica no inferior al índice establecido. En la actualidad la eficiencia térmica establecida provisionalmente supera el 55%.

d) Bajo nivel de ruido, buena resistencia al viento, baja temperatura en la superficie de la cabeza, estructura simple, fácil manufactura, larga duración y bajo costo.

#### 14.3.1. CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LA COMBUSTION DEL BIOGAS

La característica más destacada de la combustión del biogás es la ascensión de la llama. Esto significa que la llama se separa totalmente de la abertura del gas y luego se extingue.

Este fenómeno se explica por las características de los principales componentes de la mezcla de biogás,  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ . La velocidad de la llama del  $\text{CH}_4$  es muy reducida ya que alcanza solamente 0.38 m/s. 24/

---

24/Anexo A, cuadro. N° 2.

La velocidad de combustión de la mezcla de gas combustible y gas inerte debe calcularse con la siguiente fórmula:25/

$$V_0 = V(1 - 0.01N_2 - 0.012CO_2) \quad \text{Ec. (14.8)}$$

donde:

$V_0$  : velocidad de combustión de la mezcla de gas combustible y gas inerte.

$N_2$  ,  $CO_2$  : volúmenes respectivos de  $N_2$  y  $CO_2$  en la mezcla.

La composición del biogás, con sus respectivas velocidades de combustión es:26/

		velocidad
$CH_4$	: 60%	0.38 m/s
$H_2S$	: 0.5%	-----
$CO_2$	: 39%	-----
$N_2$	: 0.5%	-----

luego, sustituyendo en la Ec.(14.8), se tiene que:

$$V_0 = 0.38 * [1 - (0.01 * 50) - (0.012 * 40)]$$

$$V_0 = 0.2 \text{ m/s.}$$

Puede observarse que la velocidad de combustión del biogás es muy inferior a la del  $CH_4$  por sí solo. Debido a su reducida velocidad de combustión, la velocidad del gas en la llama tiende a sobrepasarla. Como resultado, biogás escapa sin quemarse.

---

25/Material de enseñanza FAO-CHINA. Curso de capacitación en Biogás. Chengdú, CHINA 1984. V parte.

26/Anexo A, cuadro Nº 2.

Mientras más  $\text{CO}_2$  contenga el biogás, menor será su velocidad de combustión, y, consecuentemente más frecuente el ascenso de la llama.

#### 14.3.2 EL DISEÑO

La cocina consta de tres quemadores, los cuales son alimentados por medio de un número igual de válvulas.

El biogás es inyectado a la cocina por medio de una tubería de hierro fundido, la cual funciona como tubería de distribución y al mismo tiempo sirve de soporte para las válvulas, ya que para tal efecto tiene perforados y roscados tres agujeros. Este sistema es el mismo que utilizan los quemadores de gas propano.

Los quemadores son montados en la cocina, fijando uno de sus extremos en la válvula, debido a que el peso de éstos es de poca consideración no causa ningún riesgo adaptarlos de esta forma. Ya que la cantidad de agujeros en el quemador es considerable y que son de diámetro pequeño y de fácil corrosión, el material con que se construyen es el cobre. La forma del diseño es circular debido a que se busca poder calentar los depósitos en una mayor área, además el calor necesario para calentar el quemador es menor que en los convencionales (hierro fundido), por lo cual se utiliza en mayor y mejor forma la llama.

### 14.3.3. CALCULO DEL QUEMADOR

#### 14.3.3.1. SUPERFICIE DE LOS AGUJEROS

La superficie de los agujeros se calculará con la siguiente expresión:<sup>27/</sup>

$$F_o = 278I(1 + \alpha * V_o) / (Q_w o) \quad \text{Ec. (14.9)}$$

donde:

$w_o$  : velocidad en la abertura de los agujeros (m/s)

oscila entre 0.5 - 0.8 m/s.

$Q.I$  Y  $V_o$  son los mismos definidos en el diseño de la lámpara

Por tanto:

$$F_o = 278 * 800 (1 + 0 * 5.75) / (5170 * 0.6)$$

$$F_o = 71.7 \text{ mm}^2.$$

#### 14.3.3.2. NUMERO DE AGUJEROS

Estos se calculan así:

$$n = F_o / (\pi / 4 * d^2) \quad \text{Ec. (14.10)}$$

---

<sup>27/</sup>Material de enseñanza FAQ-CHINA. Curso de Capacitación en Biogás, Chengdú China, 1984, V parte.

donde:

d : diámetro de los agujeros para llamas (mm) el cual de experiencias en la China es de d=2 mm.

Luego sustituyendo en la Ec.(14.10), se tiene:

$$n = 71.7 / (\pi / 4 \times 2^2)$$

$$n = 23 \text{ agujeros.}$$

#### 14.3.3.3. DIAMETRO DEL QUEMADOR

Se tiene que el número de agujeros que debe poseer el quemador es de 23. El diámetro de los agujeros debe ser de 2 mm y espaciados entre sí 10 mm., entonces:

$$23 \times 2 \text{ mm.} = 46 \text{ mm}$$

$$22 \text{ espaciamentos} \times 10 \text{ mm} = 230 \text{ mm.}$$

Por lo que la longitud de la tubería donde se perforarán los orificios es de 276 mm., luego:

$$L = 2 * \pi * r \quad \text{y} \quad r = L / (2\pi) \quad \text{Ec.(14.11)}$$

sustituyendo los datos anteriores en la Ec.(14.11), se tiene:

$$r = 276 / (2 * \pi)$$

$$r = 44 \text{ mm.}$$

y el diámetro del quemador es de 88 mm.

El resto de la longitud de la tubería dependerá de la distancia existente entre la posición del quemador y la válvula.

#### 14.3.3.4. DIAMETRO DE LA ABERTURA DE LA BOQUILLA

Viene dado por la Ec.(14.5), que se repite aquí:

$$dn = 10 \left[ I/Q \right]^{(1/2)} * \left[ Pn/P \right]^{(1/4)}$$

Tomando:

$$I = 800 \text{ kcal/hr}$$

$$Q = 5170 \text{ kcal/m}^2$$

$$Pn = 1.22$$

$$P = 200 \text{ mm. col. agua.}$$

sustituyendo en la expresión anterior:

$$dn = 10 * \left[ 800/5170 \right]^{(1/2)} * \left[ 1.22/200 \right]^{(1/4)}$$

$$dn = 1.1 \text{ mm.}$$

**C A P I T U L O   Q U I N C E**  
**DEFINICION DE COSTOS PARA**  
**LA CONSTRUCCION**

## 15.1 DEFINICION DE COSTOS PARA LA CONSTRUCCION

Los costos para la construcción del digester y sus utensilios se dividen en tres:

- i) Costo de materiales.
- ii) Costo de transporte de materiales.
- iii) Costo de mano de obra.

El costo de los materiales se subdividen en:

- Costo de materiales del digester.
- Costo de materiales del sistema de almacenaje.
- Costo de materiales de la lámpara.
- Costo de materiales de la cocina.

Estos costos se detallan a continuación: (datos obtenidos de los cuadros 15.1.I, 15.1.II, 15.1.III y 15.1.IV).

Costo de materiales del digester .....	2,537.25
Costo de materiales del sistema de almacenaje.....	408.40
Costo de materiales de la lámpara.....	52.35
Costo de materiales de la cocina.....	220.30
<hr/>	
Costo total de materiales .....	3,218.30

Costo total de materiales .....	3,218.30
El costo total de transporte .....	855.00
El costo de mano de obra .....	3,825.00
<hr/>	
El costo total del digestor y utensilios es	7,898.30

CUADRO 15.1.1

COSTO EN COLONES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA  
CONSTRUCCION DEL DIGESTOR. MODELO ICAITI. VOLUMEN: 3m<sup>3</sup>. 1992.

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSUNIT.	COSTO	TOTAL
arena de río	m <sup>3</sup>	6.53	6.70	232.00	
cemento gris	bolsa	31.00	22.00	682.00	
grava No. 1	m <sup>3</sup>	1.50	100.00	150.00	
ladrillo de barro		500.00	0.60	300.00	
pedra cuarta	m <sup>3</sup>	1.50	60.00	90.00	
tubo pvc 4"		1.00	120.00	120.00	
caño galv. 24"x3/4"	c/u	1mt.	20.00	20.00	
alambre de amarre	lb.	6.00	2.90	17.40	
clavó de alambre 2.5"	lb.	4.00	3.00	12.00	
clavo de alambre 3"	lb.	1.00	3.00	3.00	
hierro corrug. 3/8"	qq	2.00	155.00	310.00	
hierro liso 1/4"	qq	0.50	152.00	76.00	
tabla pino 4v	c/u	6.00	32.60	196.00	
tabloncillo pino 3v	c/u	1.00	32.25	32.25	
tabla pino 3v	c/u	2.00	25.50	51.00	
costanera pino 4v	c/u	2.00	13.00	26.00	
cable sintético 3/8"	yd.	22.00	5.20	114.60	
juego de argollas		1.00	7.00	7.00	
lámina galv. 2x1 #26		2.00	49.10	98.20	
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>2,537.25</b>	

CUADRO 15.1.II  
 COSTO EN COLONES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCION  
 DEL SISTEMA DE ALMACENAJE. DIGESTOR MODELO ICATTI VOLUMEN 3m<sup>3</sup>. 1992.

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
busshing galv. 3/4"		1.00	4.50	4.5
adapt. hembra 1"		1.00	2.95	2.95
adapt. 1" a 3/4"		2.00	2.15	4.30
bush. galv. 1"		2.00	6.00	12.00
manom. 2" , 30 psi		2.00	70.00	140.00
válv. globo 3/4" nac.		2.00	18.00	36.00
tee galv. 1"		1.00	9.00	9.00
niple t/r 3/4"		4.00	2.85	11.40
cinta teflon	rollos	2.00	2.00	4.00
tee galv. 3/4"		1.00	2.00	3.00
niple galv. t/r 1/4"		1.00	2.75	2.75
codo galv. 1/4"x9c		1.00	3.50	3.50
sierra p/metal		1.00	1.50	1.50
mangera plástica 3/4"	mt.	40.00	3.00	120.00
pintura anticorros.	gl.	0.50	80.00	40.00
thinner	gl.	0.50	26.00	13.00
COSTO TOTAL				¢ 408.40

CUADRO 15.1.III.  
 COSTO EN COLONES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCION  
 DE LA LAMPARA. DIGESTOR MODELO ICATTI. VOLUMEN 3 m<sup>3</sup>. 1992.

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
niple galv. 3/4"	c/u	2	2.85	5.70
tuerca bronce 3/4"	c/u	1	10.00	10.00
broca 3/16"	c/u		3.25	3.25
broca 1/16"	c/u	1	4.00	4.00
tubería cobre 3/8"	pie	1	3.00	3.00
arandelas 3/8"	c/u	2	0.30	0.60
lam. galv. #26	pie <sup>2</sup>	1	6.00	6.00
camisa Ho galv. 3/4"	c/u	1	6.00	6.00
camisas p/lamp.	c/u	2	4.05	8.10
COSTO TOTAL				¢ 52.35

CUADRO 15.1.IV.  
 COSTO EN COLONES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCION  
 DE LA COCINA. DIGESTOR MODELO ICAITI. VOLUMEN: 3 m<sup>3</sup>. 1992.

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTUNIT.	COSTO TOTAL
válv.p/gas prop.	c/u	3	30.00	90.00
maneral p/válv.	c/u	3	20.00	60.00
tornillo goloso 3/4"x10	c/u	34	0.20	6.80
tubería cobre 3/8"	pie	3	3.00	9.00
lám. galv. #26	c/u	1	49.00	49.00
varilla lisa 1/4"	c/u	1	5.50	5.50
COSTO TOTAL				¢ 220.30

**C A P I T U L O   D I E C I S E I S**  
**MANUALES DE CONSTRUCCION**

## 16.1. MANUAL DE CONSTRUCCION DEL DIGESTOR.

La construcción del digestor está planeada de forma que se usen materiales de construcción disponibles en la mayoría de las localidades urbanas y rurales de nuestro país, a la vez las técnicas de construcción son las tradicionales, de forma que son las conocidas por los albañiles, tales como: levantado de paredes de ladrillo, formateado y construcción de losas de concreto. En el anexo "C" se muestra el cuadro para la construcción de digestores de diferentes capacidades.

A continuación se detallan los pasos a seguir para la fabricación del digestor.

### 16.1.1 SELECCION Y LIMPIEZA DEL LUGAR.

La selección del lugar debe hacerse obedeciendo los siguientes factores:

- a) Cercano al lugar de recolección del estiércol.
- b) Debe estar libre de sombras.
- c) El terreno debe de ser plano de preferencia.
- d) Debe estar cerca de algún abastecimiento de agua.

Cuando se haya escogido el lugar conveniente para la construcción, se procede a realizar la limpieza, retirándose todo el material vegetal, así como la piedras, basura u otros materiales inútiles, hasta dejar completamente limpia la zona.

### 16.1.2. TRAZOS.

Una vez realizada la limpieza, se procede al trazado de las medidas del digestor y de las piletas. Se hace un trazo sobre el suelo y se colocan puentes de madera de forma 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 calcular la profundidad del digestor. (fig. 16.1)

### 16.1.3. EXCAVACION Y REMOCION DE SUELO.

La excavación debe hacerse preferiblemente, en una sola operación, tratando de que el material del piso y las paredes queden firmes. Se sugiere iniciar la excavación desde el centro hacia los contornos, 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 del piso recortando una pendiente del 10%, hacia el extremo de descarga.

Las paredes oblicuas del extremo de descarga y las paredes del pozo de carga deben excavarse a plomo. (fig. 16.2)



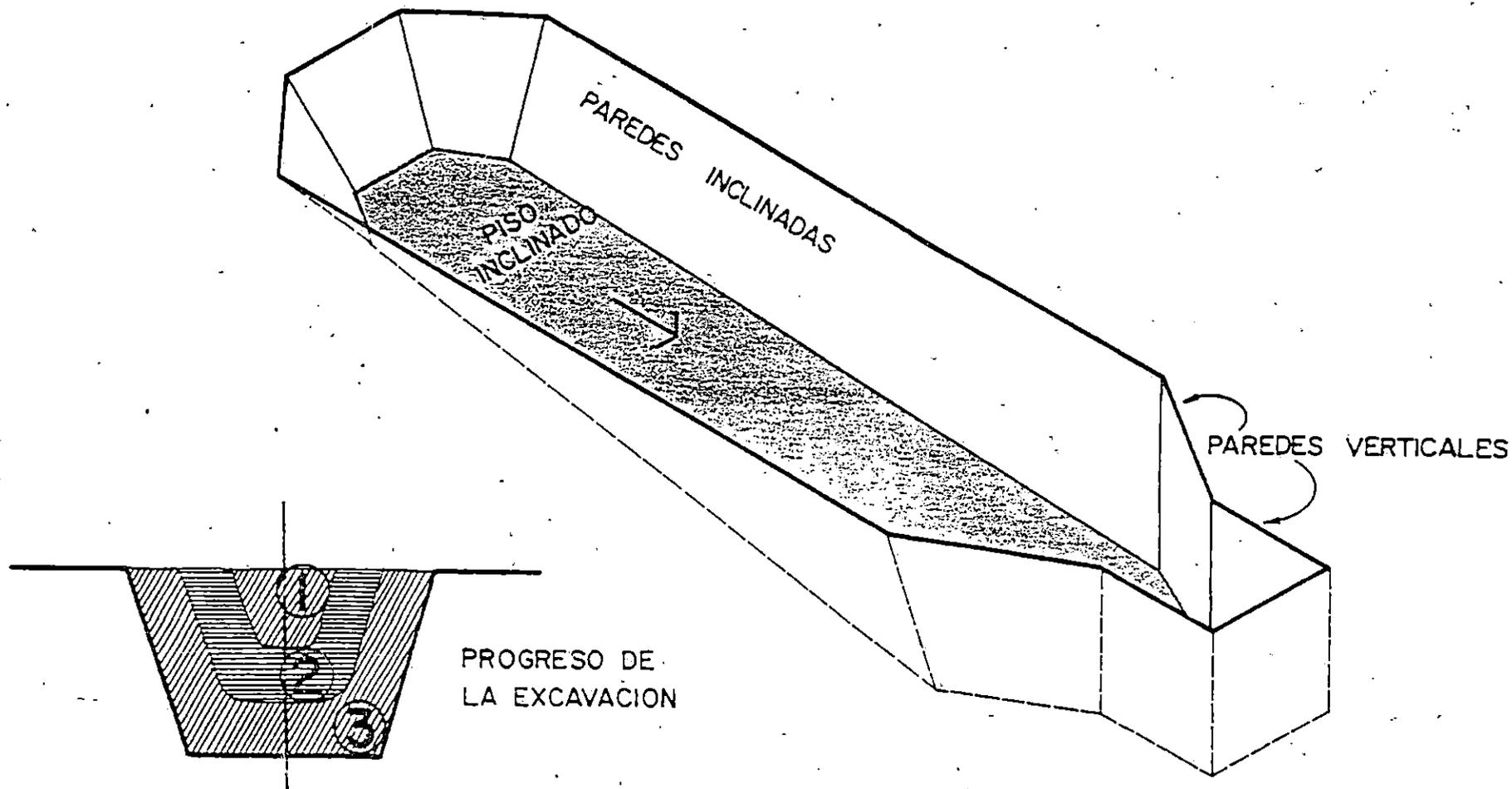


FIGURA 16.2. EXCAVACION Y REMOCION DEL SUELO

#### 16.1.4. CONSTRUCCION DEL PISO DEL DIGESTOR.

Una vez realizada la excavación, se procede de inmediato a la compactación del fondo del agujero, que es donde se construirá el piso digestor. Esta compactación puede realizarse con tierra blanca por sus características de presentar firmeza al ser utilizada para este propósito.

El piso del digestor se puede construir con ladrillo de barro, arena y cemento ó con piedra cuartera, arena y cemento en un proporción de 1:3.

Además cabe mencionar que el piso posee una inclinación del 10%, orientada hacia la pileta de descarga.

Después de la compactación, se procede a colocar en toda la superficie del fondo del agujero una cama de piedra cuartera procurando que esta no quede con espacios vacíos, luego se cubre esta capa de piedra con una mezcla de arena, agua y cemento en una proporción de 1:3. Luego se repite esta operación, logrando obtener así un piso fuerte y resistente y de aproximadamente unos 20 centímetros.

Luego de construido el piso debe construirse una solera alrededor de ésta, sobre la cual se construirán todas las paredes del digestor. Esta solera lleva de refuerzo tres varillas, colocadas en forma longitudinal, las cuales son de hierro corrugado de unos 3/8" de diámetro, y de refuerzos transversales coronas, fijadas con alambre de amarre. Estas coronas pueden construirse de hierro liso de 1/4" de diámetro y espaciadas unos 15 cm. entre sí (fig. 16.3).

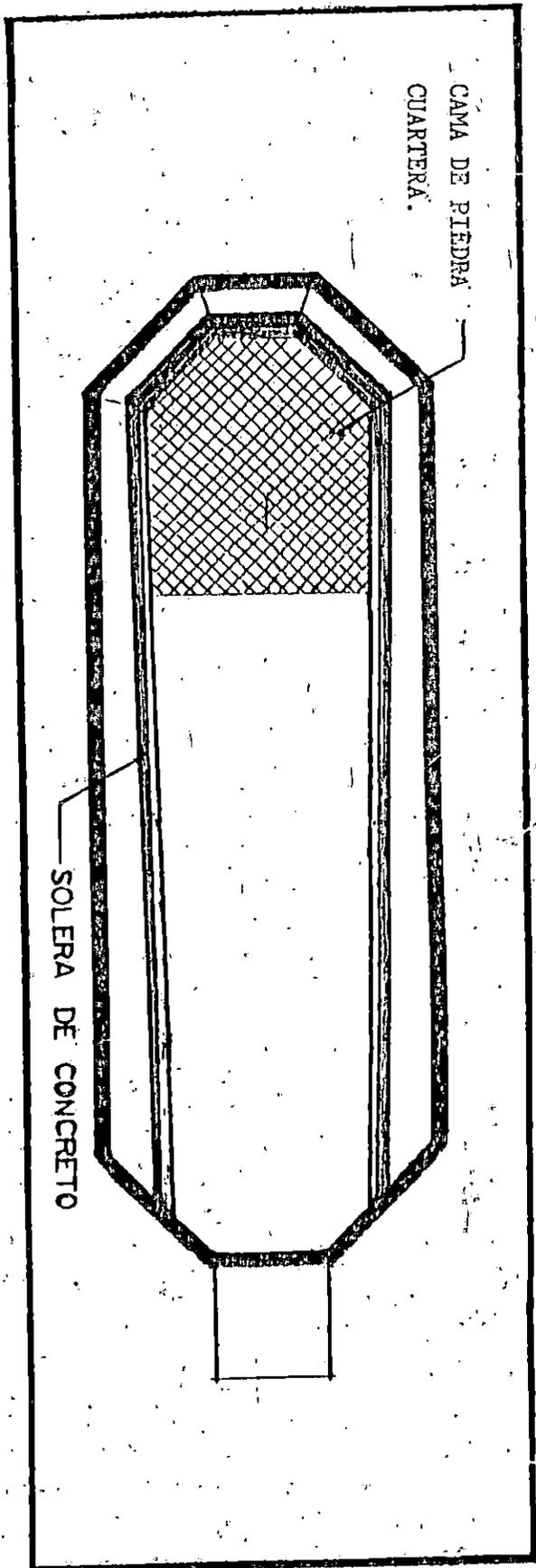


FIGURA 16.3. CONSTRUCCION DEL PISO DEL DIGESTOR.

#### 16.1.5. LEVANTADO DE LAS PAREDES.

Las paredes son construidas sobre la solera construida para este propósito; los ladrillos se colocan acostados en hileras que conservan medio ladrillo de traslape o amarre (es decir la técnica tradicional del levantado de ladrillo). Las columnas que refuerzan las paredes son la continuación de la solera del piso, con la misma dimensión y el mismo refuerzo.

El levantado debe hacerse con cizas a 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 de unos 15 cms. de alto de igual dimensión y refuerzo de las anteriores; en esta se enganchará la armazón de la cúpula por lo cual habrá que dejar espacio libre, sin mezcla para poder hacer el amarre. (fig. 16.4)

#### 16.1.6. LEVANTAMIENTO DE LAS PAREDES DEL FOSO DE DESCARGA.

Estas paredes se construyen de ladrillo de barro, cemento y arena, sin refuerzos de hierro, utilizando la técnica tradicional del levantado de paredes.

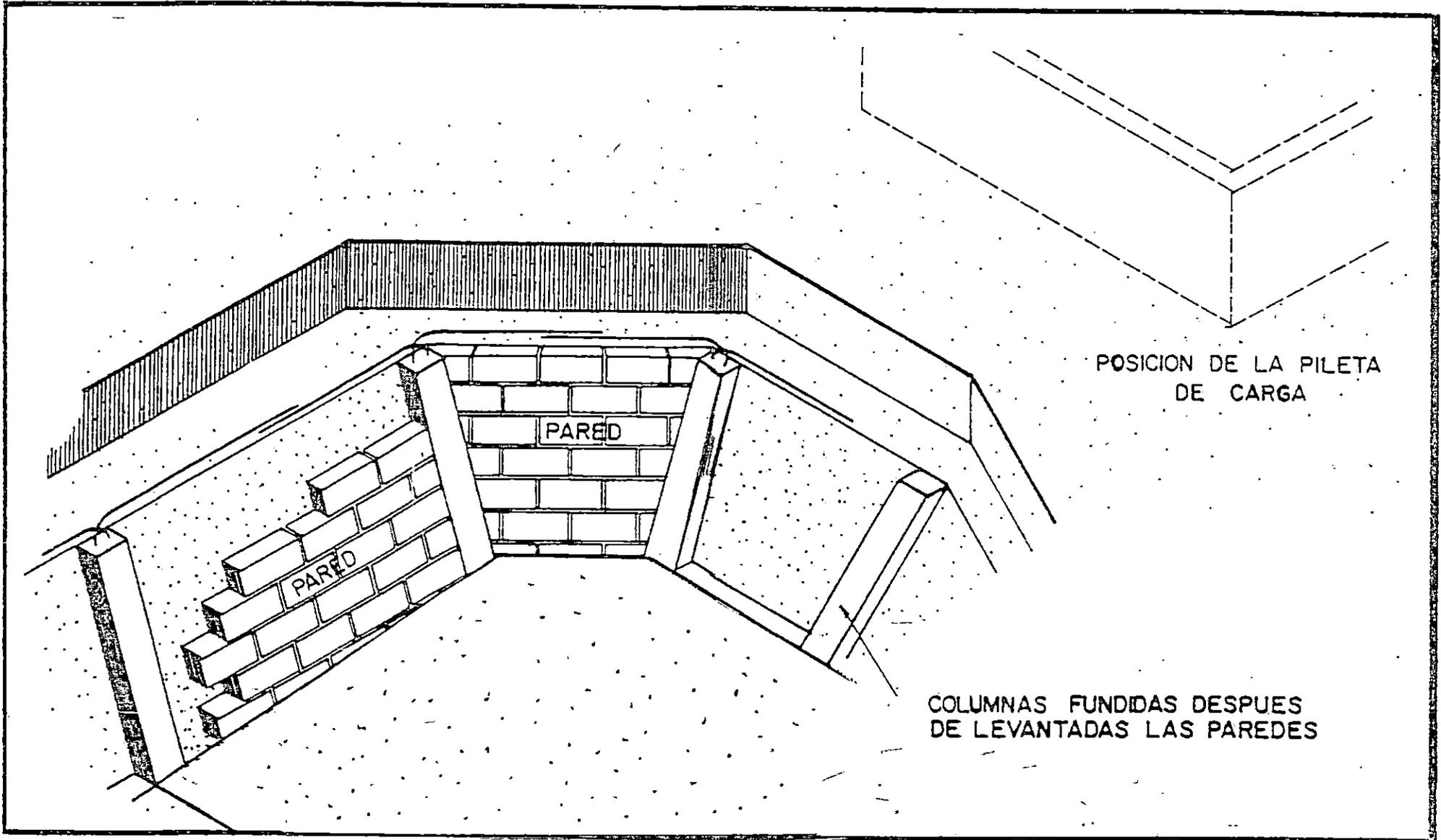


FIGURA 16.4. LEVANTADO DE LAS PAREDES.

Este foso está formado por tres paredes propias y una pared compartida con el cuerpo del digestor que es por donde la mezcla entra la fosa y se deposita en él, ya que en su fondo tiene unos treinta centímetros de profundidad abajo del nivel del piso del digestor, lo que facilita la extracción del substrato.

La altura de las paredes debe coincidir con la altura del cuerpo del digestor. (fig. 16.5)

#### 16.1.7. HECHURA DE LA PILETA DE COMPENSACION.

Una vez levantadas las paredes del foso de descarga hasta su nivel requerido, se procede a la hechura de la pileta de compensación la cual consiste en una ensanchadura del foso de descarga con paredes de 27 cm. de altura y fabricadas de igual forma y material que las paredes del digestor. Esta pileta en su piso posee un desnivel del 2%, cuyo objetivo es evitar que el substrato quede depositado allí. Este desnivel se muestra en la figura 16.6.

#### 16.1.8. HECHURA DE LA PILETA DE CARGA.

La pileta de carga se construye sobre el nivel del suelo, excavando únicamente para la colocación de sus cimientos, los cuales son hechos de piedra y mezcla de arena-cemento en

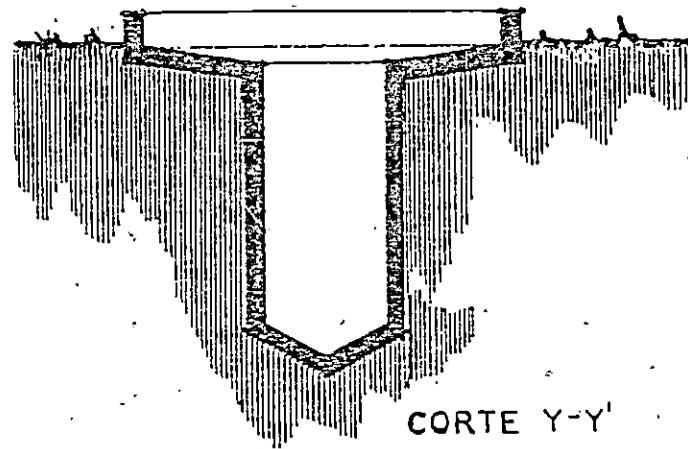
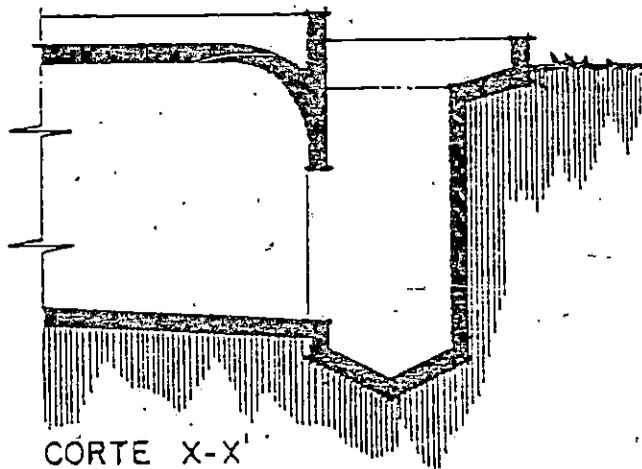
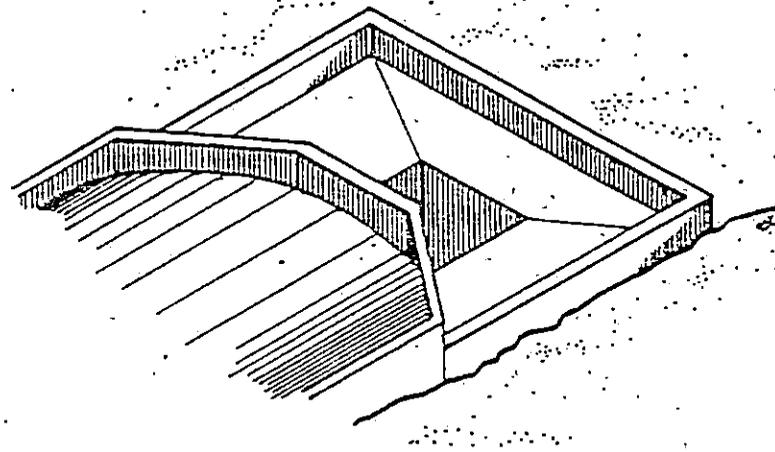
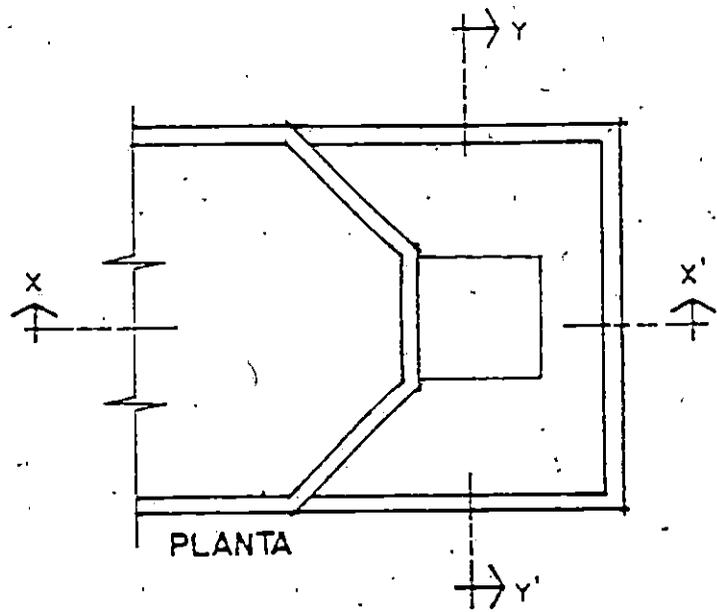


FIGURA 16.5. PILETA DE DESCARGA Y DE COMPENSACION.

proporción de 1:3. El levantamiento de sus cuatro paredes sigue la misma técnica de construcción descrita anteriormente, teniendo cuidado de dejar en una de sus paredes, los agujeros que comunicarán dicha pileta con el digestor mediante los tubos de carga.

El piso de esta pileta se construye con una ligera pendiente para provocar la acumulación de sedimentos que en cierto momento puede acarrear la materia orgánica. (fig. 16.6)

#### 16.9. TUBOS DE CARGA.

Después de construido el cuerpo del digestor y la pileta de carga, se colocan los tubos en los agujeros hechos para este propósito, pudiendo usarse tubos de cemento, arcilla u otro material apropiado, siempre y cuando sean totalmente rectos.

Para la colocación de los tubos es necesario remover la tierra que se encuentra entre la pileta de carga y el digestor o simplemente abrir dos canales y colocar los tubos en su respectivo lugar.

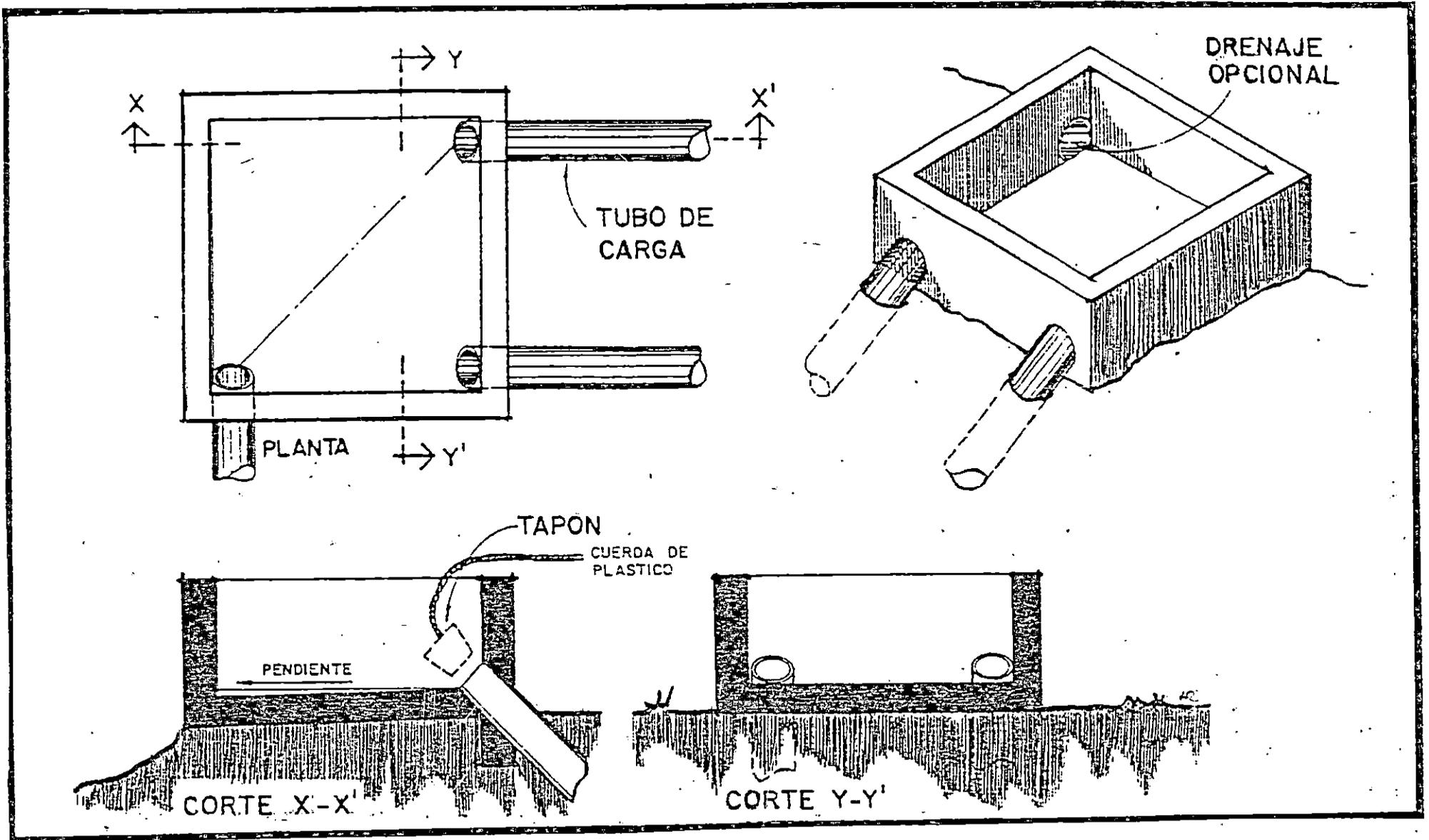


FIGURA 16.6. PILETA Y TUBOS DE CARGA.

#### 16.1.10. ACABADO DE LAS PAREDES, PISO DEL DIGESTOR Y PILETAS DE CARGA Y DESCARGA.

Construidas las paredes y piso, tanto del digestor como de las piletas de carga y descarga se procede a repellar todas las superficies con mezcla de cemento y arena en una proporción de 1:3, dejando aproximadamente un espesor de repello de 1 cm.

#### 16.1.11. FABRICACION DE OBRA FALSA PARA CUBIERTA DEL DIGESTOR.

La formaleta u obra falsa que sostendrá al concreto mientras se produce el fraguado, puede hacerse de madera. Se necesitan unos puentes de madera, colocados transversalmente al eje del digestor y separados unos 75 cm. entre sí; la curvatura de la pieza superior debe escogerse de tal forma que dé como resultado la curvatura de la bóveda.

Sobre los puentes se colocan unas tablas clavadas de 1 x 9" a todo lo largo del digestor, en ambos lados, en el sitio en que la pared se une con cubierta, con el objeto de moldear la solera de remate.

Además se colocan unos puntales que sirven de sostén a los puentes y a toda la estructura; estos puntales son colocados uno en cada extremo del digestor y otro en el centro del mismo. (fig. 16.7)

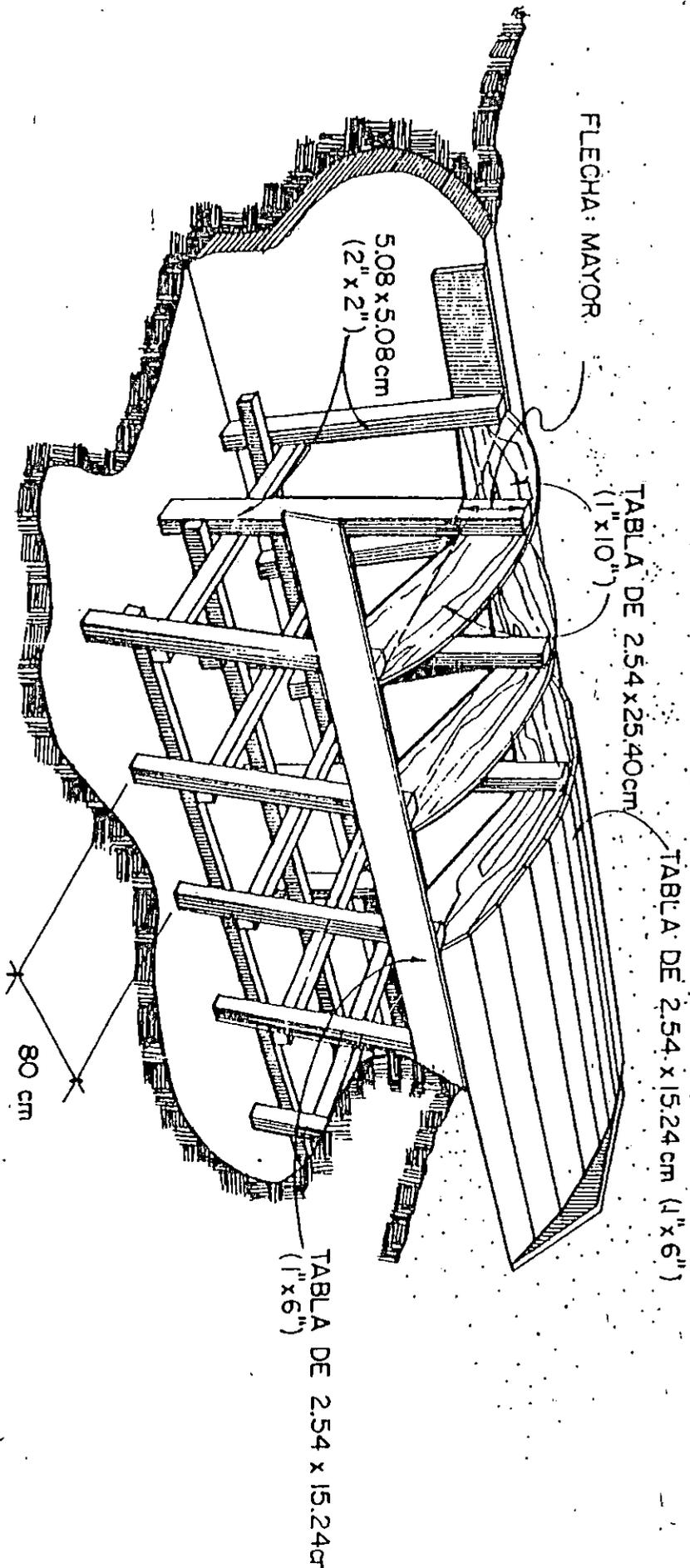


FIGURA 16.7. FORMALETA DE MADERA.

#### 16.1.12. ARMADURA DE REFUERZO DE LA CUBIERTA.

Colocada la estructura de madera, se procede a la colocación de la armadura de refuerzo de la misma, la cual dará a la cubierta mayor solidez y fuerza, además de que absorberá los cambios de temperatura.

Se recomienda el uso de varillas de hierro de 2/8" de diámetro y varillas de hierro de 1/4" de diámetro. La varilla de 3/8" se coloca longitudinalmente con una separación de unos 20 cms. La varilla de 1/4" se coloca transversalmente con una separación de 15 cms. La estructura así formada se sujeta con alambre de amarre.

El refuerzo debe colocarse levantado 5 cm. de la formaleta; para lograr esta condición pueden usarse caballetes de hierro los cuales quedarán perdidos en el concreto. Los bordes de la armadura de refuerzo de la cubierta deben engancharse a la estructura de hierro de la solera de remate de las paredes del digestor. (fig. 16.8)

#### 16.1.13. COLADO DE CONCRETO SOBRE LA ESTRUCTURA, REPELLADO Y AFINADO DE LA CUBIERTA.

El espesor de la cubierta es de 10 cm.; debe usarse una mezcla de cemento-arena-grava, en una proporción 1:2:2. El proceso de vertido deberá ser continuo y todo el trabajo debe terminarse en una sola operación.

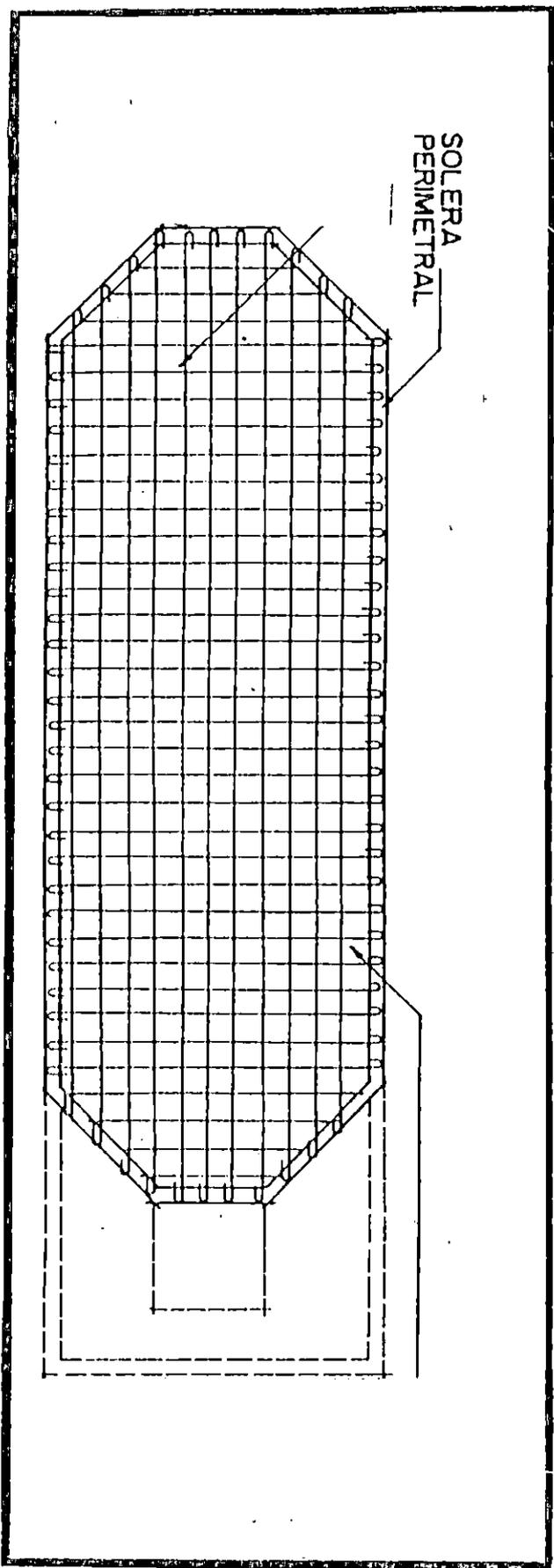


FIGURA 16.8. ARMADURA DE HIERRO.

Se recomienda un especial cuidado de realizar un trabajo uniforme y homogéneo.

Al ser terminado el vertido debe aplicarse un recubrimiento con una mezcla de cemento-arena fina, en una proporción de 1:2, mientras está aún fresco el concreto.

Debe conservarse húmeda la superficie hasta el día siguiente en que se aplicará otro recubrimiento con mezcla cemento-arena fina en proporción 1:1 con acabado alisado.

Para lograr que el concreto, se conserve húmedo durante los días de fraguado, conviene levantar un muro de 40 cm. de alto alrededor de todo el digestor y formar así una pila que pueda conservarse llena de agua el tiempo que sea necesario. Está permitirá verificar si la cubierta posee grietas y ocurren filtraciones.

#### 16.1.14. DESENCOFRADO DEL DOMO.

Cuando hayan transcurrido diez días desde la fecha de vertido, puede retirarse la formaleta, quitando tabla por tabla y luego la cara interna de la losa se fragua con agua de cemento.

## 16.2. MANUAL DE CONSTRUCCION DE LA LAMPARA.

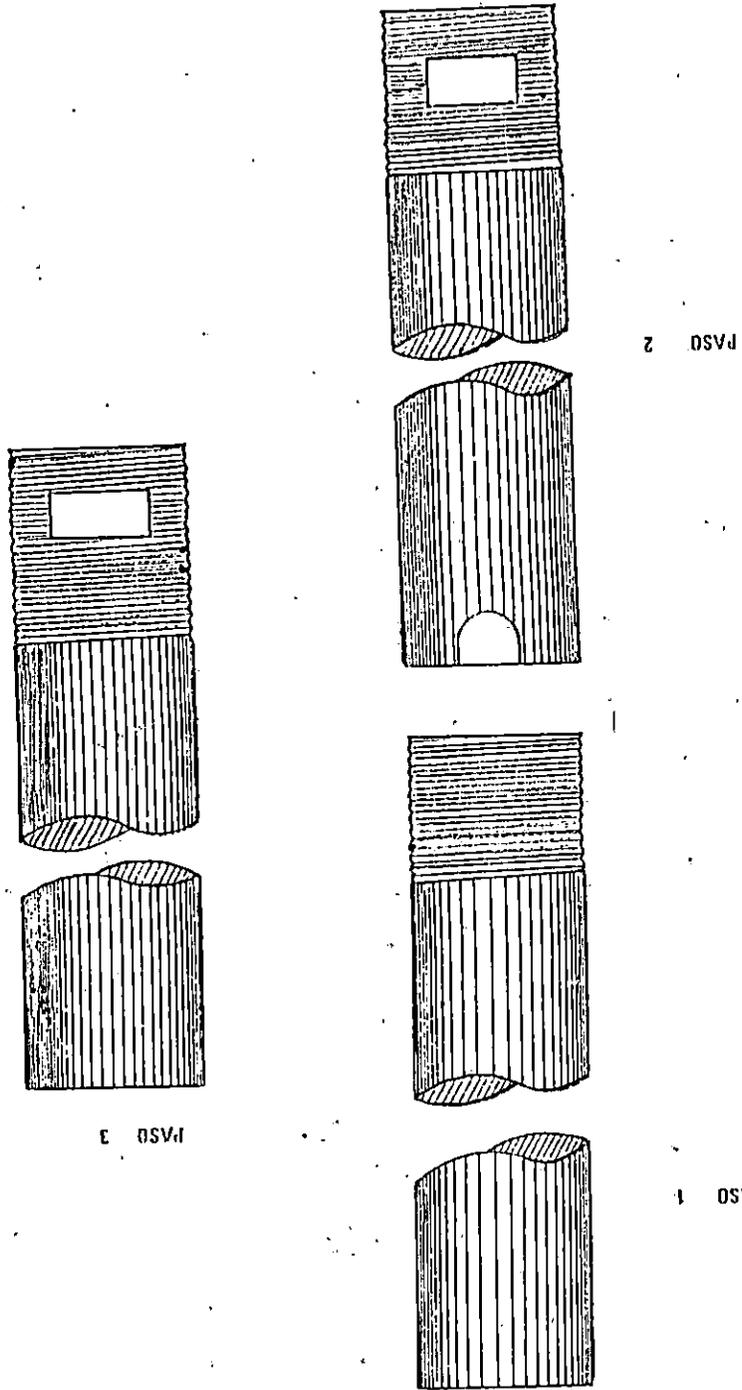
En un tubo de hierro galvanizado de 4" de longitud y 1" de diámetro, debe roscarse su extremo inferior en una longitud de una pulgada y media (paso de la rosca de acuerdo al diámetro del tubo, fig. 16.9).

Se labra una ranura en la zona de aproximadamente 1/2" de largo y 3/16" de alto en ambos lados del tubo. Hay que tener especial cuidado que la mencionada ranura se encuentre lo más cerca posible de la finalización de la rosca (parte superior), buscando con esto permitir el acople con otras piezas sin bloquear la ranura labrada. La ranura tiene por objetivo permitir el paso del aire primario. En los cálculos de diseño se determinó que la superficie de aire primario es igual a 118 mm<sup>2</sup> que es aproximadamente igual a 18.3 pulg<sup>2</sup>. Opcionalmente se pueden perforar agujeros de tal manera que el diámetro de ellos satisfagan la superficie deseada (fig. 16.9).

En el otro extremo del tubo, en la parte superior, se labra un canal que tenga la misma medida que el tubo de cobre que descansará allí. (3/8"). (fig. 16.9).

Se toma un tubo de cobre de 3/8" de diámetro y 5" de longitud doblándolo hasta formar un ángulo recto, dejando el lado corto de 1" de longitud para conectarse con la tubería que transporta el biogás. (fig. 16.10).

FIGURA 16.9. PASOS DE FABRICACION 1, 2 Y 3.



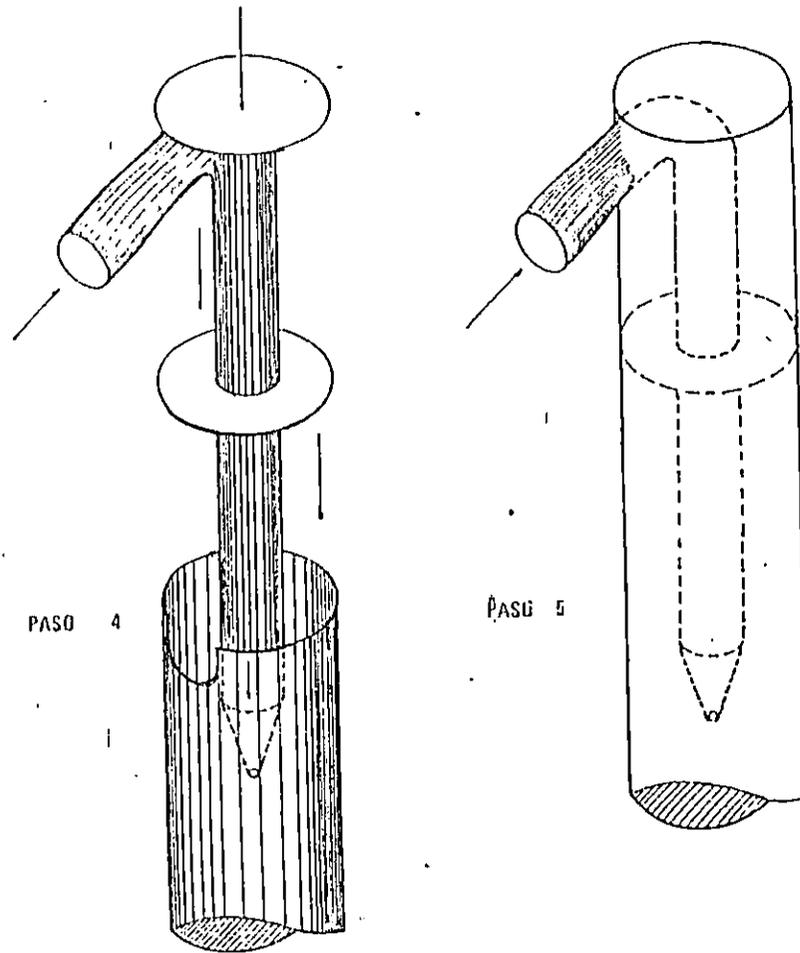


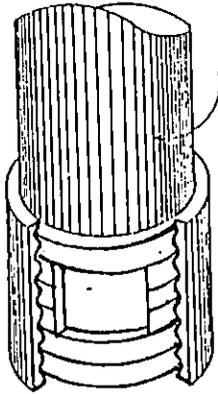
FIGURA 16.10. PASOS DE FABRICACION 4, 5.

Se introduce el tubo de cobre en el tubo de hierro galvanizado. Para evitar posibles daños en la tubería y buscar una mejor rigidez dentro del tubo, es conveniente colocar en el tubo de cobre una especie de arandela, dimensionada de acuerdo a las necesidades, de tal manera que funcione como seguro fijador; luego se introduce totalmente al tubo vigilando que el extremo del tubo que quedará en el exterior descansa sobre el canal en la parte superior del tubo, luego se coloca una tapadera sobre el extremo y se solda para asegurar un buen acople. (fig. 16.10).

Paso seguido se acondiciona una camisa roscada internamente de tal forma que se pueda acoplar el roscado del tubo de hierro galvanizado que protege la tubería conductora de biogás. Alrededor de la camisa se suelda en su parte exterior la caperuza que servirá de sombra protectora a la lámpara, la cual posee orificios cuya finalidad es la de disipar el calor producido por la combustión del gas al producirse la luminosidad de la lámpara. El material debe ser hierro galvanizado. (fig. 16.11).

Se introduce en el tubo de hierro galvanizado, en su parte roscada, una tuerca que servirá como regulador del flujo de oxígeno que penetrará en el tubo. Roscar también en el tubo de hierro galvanizado la camisa ya soldada con la sombra protectora de la lámpara y fijarla con la tuerca. (fig. 16.12).

PASO 6



PASO 7

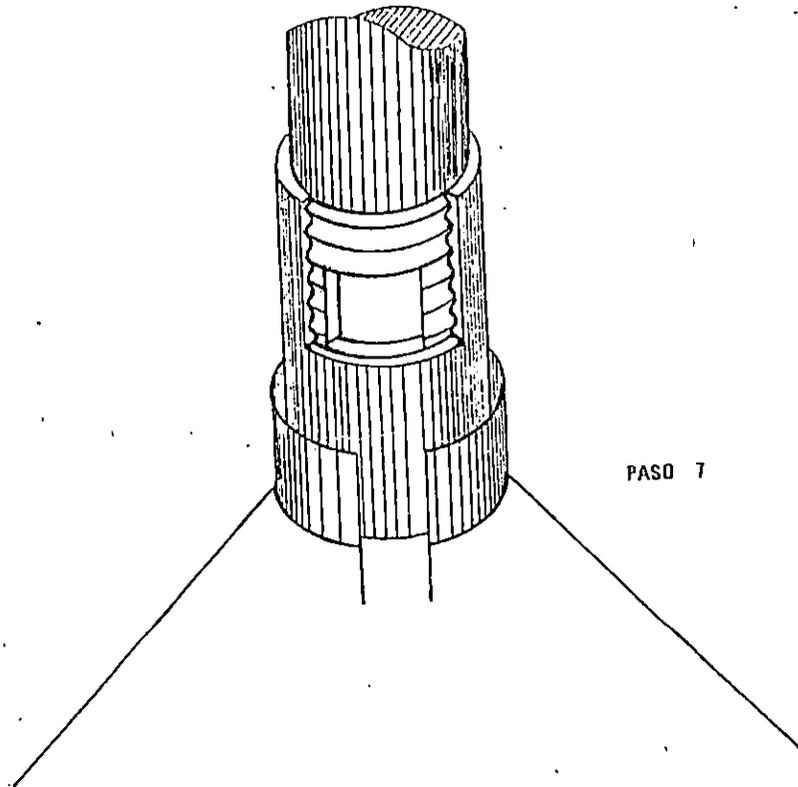


FIGURA 16.11. PASOS DE FABRICACION 6 y 7.

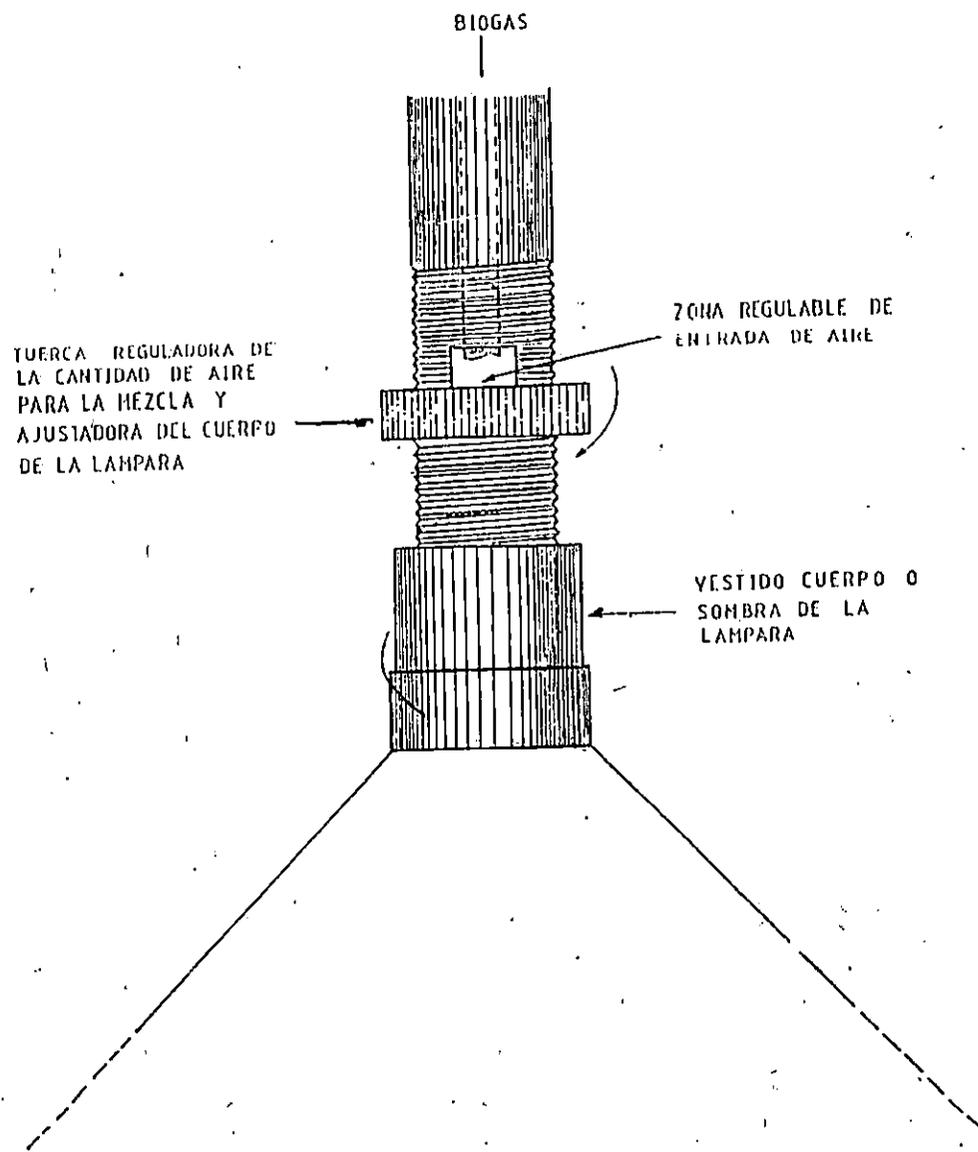


FIGURA 16.12. PASOS DE FABRICACION 8 y 9.

Como en el principio, a un tubo de hierro galvanizado roscarlo en uno de sus extremos, pero sin labrar la ranura al costado, ni canal en el otro extremo. Es necesario que en el otro extremo del roscado se labre un canal de tal manera de poder presionar allí la bolsa. Este extremo inferior debe ser sellado y dotado con agujeros de pequeño diámetro. (fig. 16.13).

Acoplar en el extremo inferior de la camisa, el tubo de hierro galvanizado. Colocar una bolsa de manta (tipo Colleman) en el extremo inferior del tubo de hierro galvanizado, vigilando que la cuerda que fija la bolsa descansa sobre el canal labrado para este fin. (fig. 16.14). Además es necesario que la bolsa de manta se le coloque una cubierta de vidrio con el propósito de evitar que corrientes de aire afecten el proceso de iluminación de la misma. En las figuras 16.15 y 16.16 se muestran el acople total de la lámpara.

### 16.3. MANUAL DE CONSTRUCCION DE LA COCINA.

Cortar un tubo de cobre de 3/8" de diámetro, vigilando sellar el extremo superior y dejar abierto el extremo inferior, el cual permitirá el paso del biogás hacia el interior del tubo. La longitud de este tubo es variable, ya que depende del diámetro del quemador que se desea construir y de la distancia hacia la válvula. Para el caso, el quemador tiene un diámetro de 88 mm. equivalente a una longitud de 276 mm.m, además una distancia hacia la válvula de 70 mm., haciendo una longitud total de aproximadamente 350 mm.

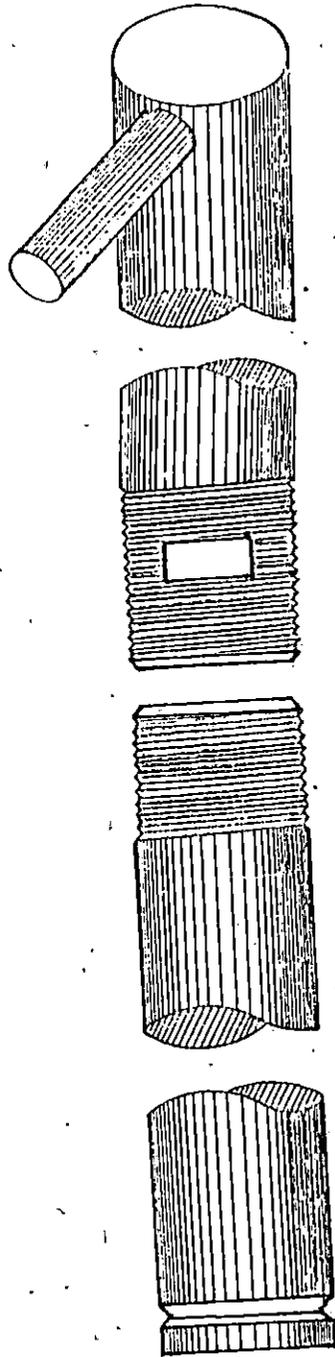


FIGURA 16.13. PASO DE FABRICACION. 10.

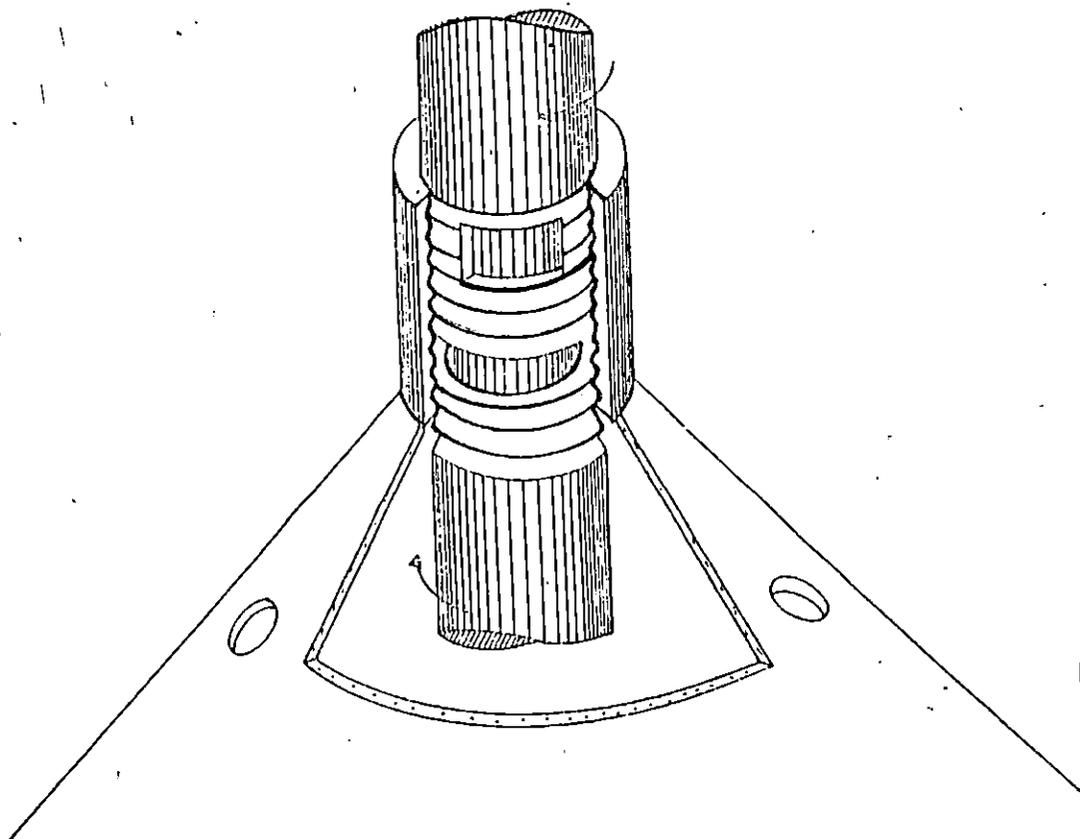
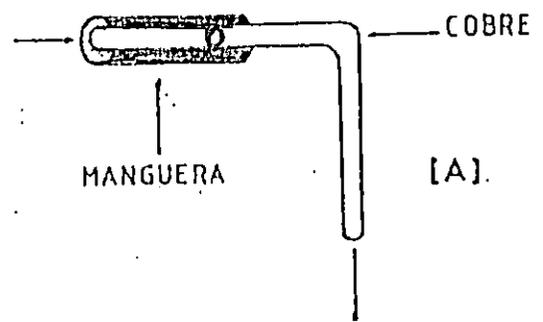
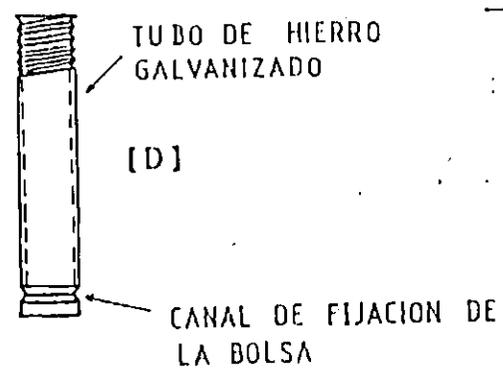
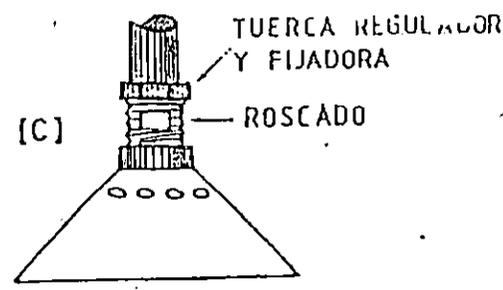
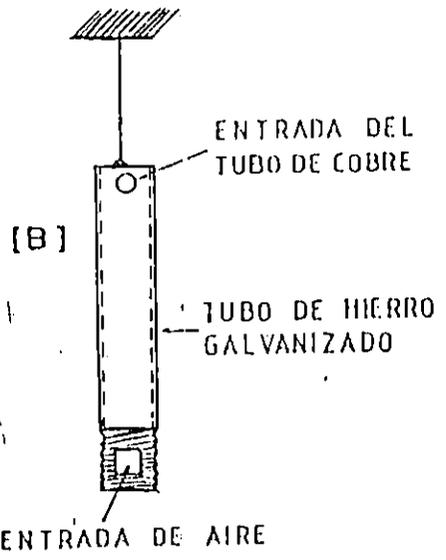
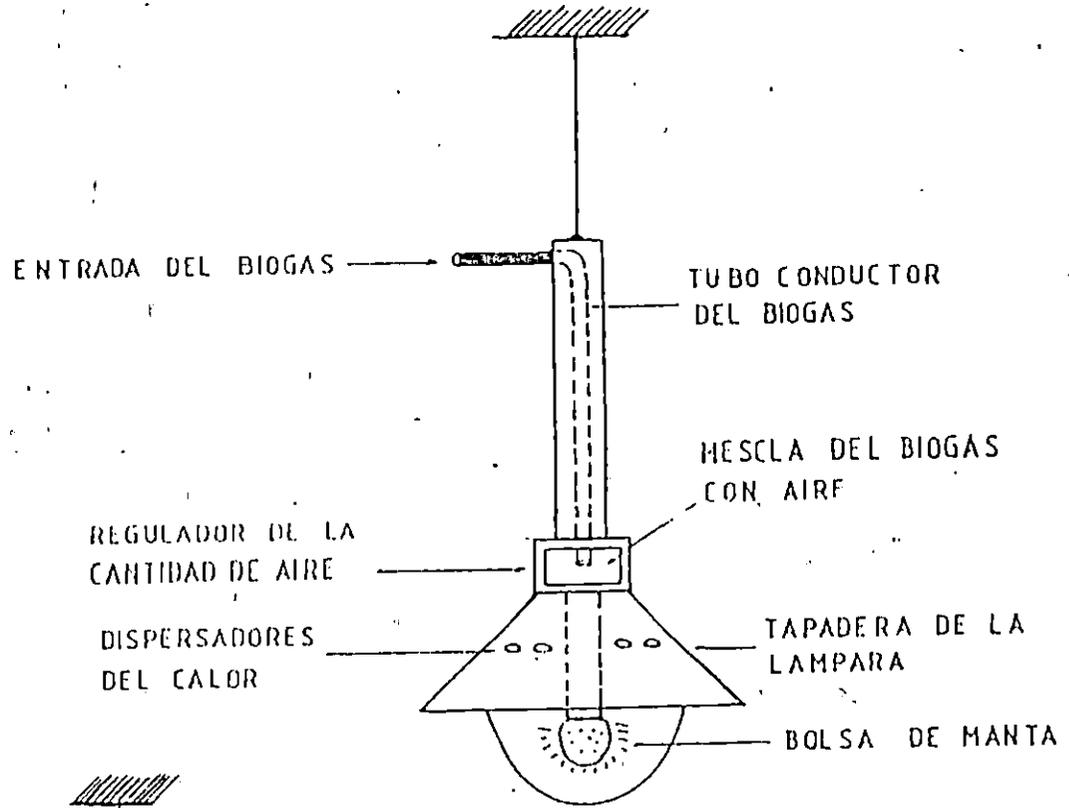


FIGURA 16.14. PASO DE FABRICACION 11.

FIGURA 16.15. DISEÑO DE LAMPARA QUE FUNCIONA CON BIOGAS



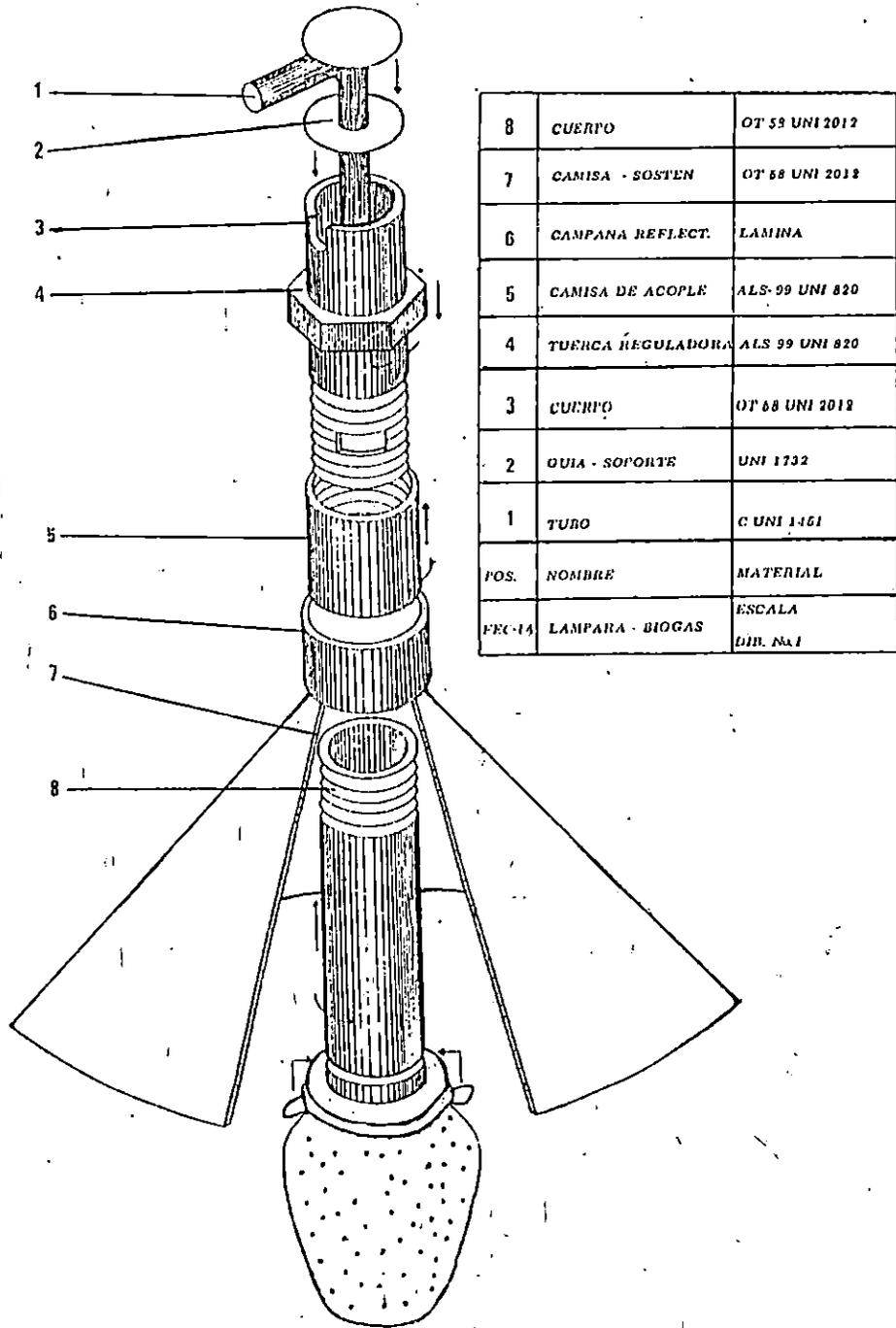


FIGURA 16.16. DISEÑO DEL ENSAMBLAJE TOTAL DE LA LAMPARA.

Doblar el tubo de cobre, buscando formar una espiral, cortando en un ángulo recto en la mitad, observando dejar la parte recta del tubo con la suficiente longitud para permitir una conexión con las válvulas. (ver fig. 16.17). Los diámetros de las espirales varían según las necesidades a satisfacer y los tamaños de las cocinas.

Paso seguido se realiza la perforación de los agujeros en la parte superior de la espiral, el diámetro de los agujeros debe ser de  $5/64$ " (2 mm.). El número de agujeros a perforar fueron determinados en los cálculos de diseño del quemador (23 agujeros). El espaciamiento de los agujeros está en gran parte determinado por el diámetro del quemador, de igual manera que en los quemadores de una cocina de gas propano. El diámetro promedio de un quemador es aproximadamente  $2\ 2/4$ " (70 mm.), este diámetro en el quemador que funciona con biogás se logra espaciando los 23 agujeros una distancia de  $3/8$ " (10 mm.). Ver figura 16.18.

Tomando ahora un tubo de hierro galvanizado de  $1/2$ " de diámetro, y en donde la longitud del tubo depende de la longitud de la cocina, se hacen tres agujeros de  $5/16$ " de diámetro simétricamente espaciados y se sella uno de sus extremos para no permitir la fuga del biogás. Soldar en los tres agujeros, tres tubos cortos ( $1/2$ " de altura), vigilando que no existan fugas en la unión y que los tubos cortos queden perfectamente perpendiculares. Luego se montan tres válvulas de las que

utilizan los quemadores de gas propano en los tubos cortos (los diámetros de los agujeros en el tubo de hierro galvanizado y el diámetro de los tubos cortos depende del diámetro de la base de la válvula), el montaje debe ser a presión, tratando de sellar en forma adecuada este acople, también con la finalidad de evitar fuga de biogás: (ver fig. 16.19).

De lámina de hierro fundido de 1/8" de espesor cortar cuatro franjas, soldarla en sus extremos para formar un rectángulo. Observar que es necesario perforar tres agujeros en la lámina frontal por donde se conectarán las válvulas. También en la lámina trasera se labrarán tres ranuras, para poder enganchar allí la tapadera y por último perforar un agujero en la lámina lateral para poder introducir la manguera que transporta el biogás y conectarla con el tubo que sostiene las válvulas. Luego se cortan dos láminas de hierro fundido, con las medidas necesarias para cubrir la superficie del rectángulo que forma la base de la cocina. En una de las dos láminas se perforan tres agujeros de diferente diámetro, según sean las necesidades de los quemadores, dejando que el diámetro de éstos agujeros sea un poco mayor que el de los quemadores, para evitar que el calor transmita para las láminas. (fig. 16.20).

En la parte posterior de la lámina frontal, se monta la pieza elaborada de acuerdo con la figura 16.19. La forma del montaje consiste en atornillar una pestaña en la parte superior de la

lámina frontal, la pestaña consiste de una placa doblada en "e" hacia abajo, la cual está soldada con un tubo que tiene como finalidad "envolver" y "sujetar o sostener" el extremo de salida del gas de la válvula. (fig. 16.21).

Una vez instalado el sistema de conducción y distribución del gas en la cocina, es necesario acoplar, en la cámara el extremo abierto del quemador, buscando lograr un acople lo más cerrado posible. También hay que aclarar que las ranuras laterales del extremo del quemador deben quedar descubiertas, al realizar el acople ya que es necesario para la filtración de oxígeno en la mezcla con biogás. La figura 16.22 muestra la camisa que se utilizará para cubrir los agujeros del extremo, con la finalidad de poder regular si es necesario la cantidad de oxígeno a mezclar.

Ya instalado todo el sistema, así montados los quemadores y colocada la tapadera de la cocina, se procede a colocar un protector para los quemadores, para lo cual la tapadera tiene cuatro agujeros distribuidos alrededor del agujero donde se encuentra el quemador, de forma que sirvan de guía de descanso a la base sobre la cual se colocará los utensilios de cocina. (fig. 16.23., 16.24., 16.25.).

PASO 1



PASO 2

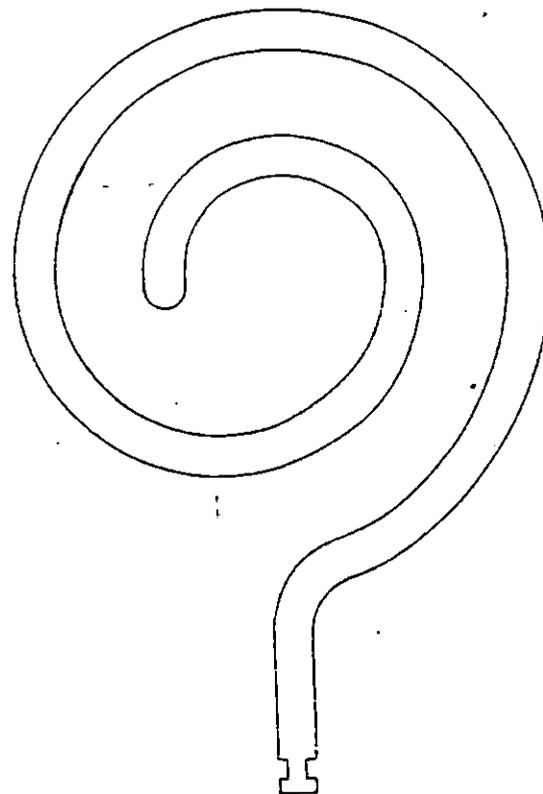
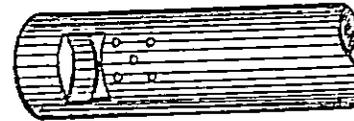
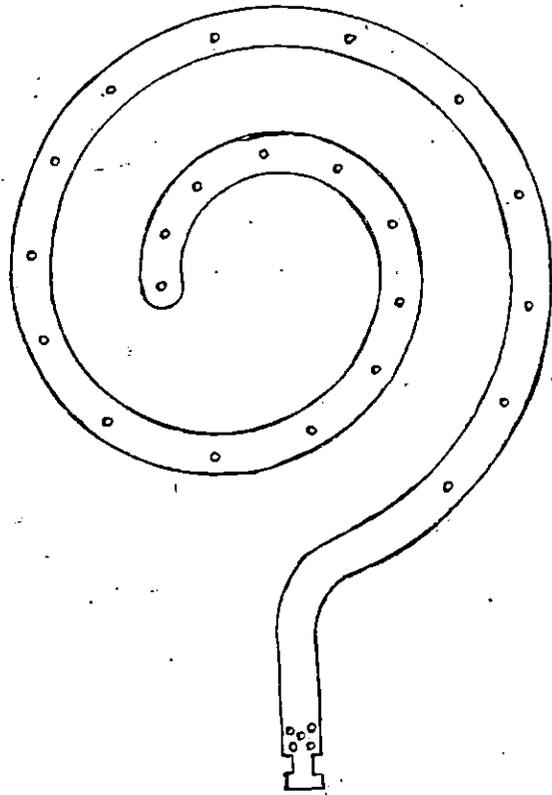


FIGURA 16.17. PASOS 1 y 2 EN EL DISEÑO DE LA COCINA.



VISTA AMPLIFICADA DEL ENSAMBLAJE.

FIGURA 16.18. PASO DE DISEÑO 3.

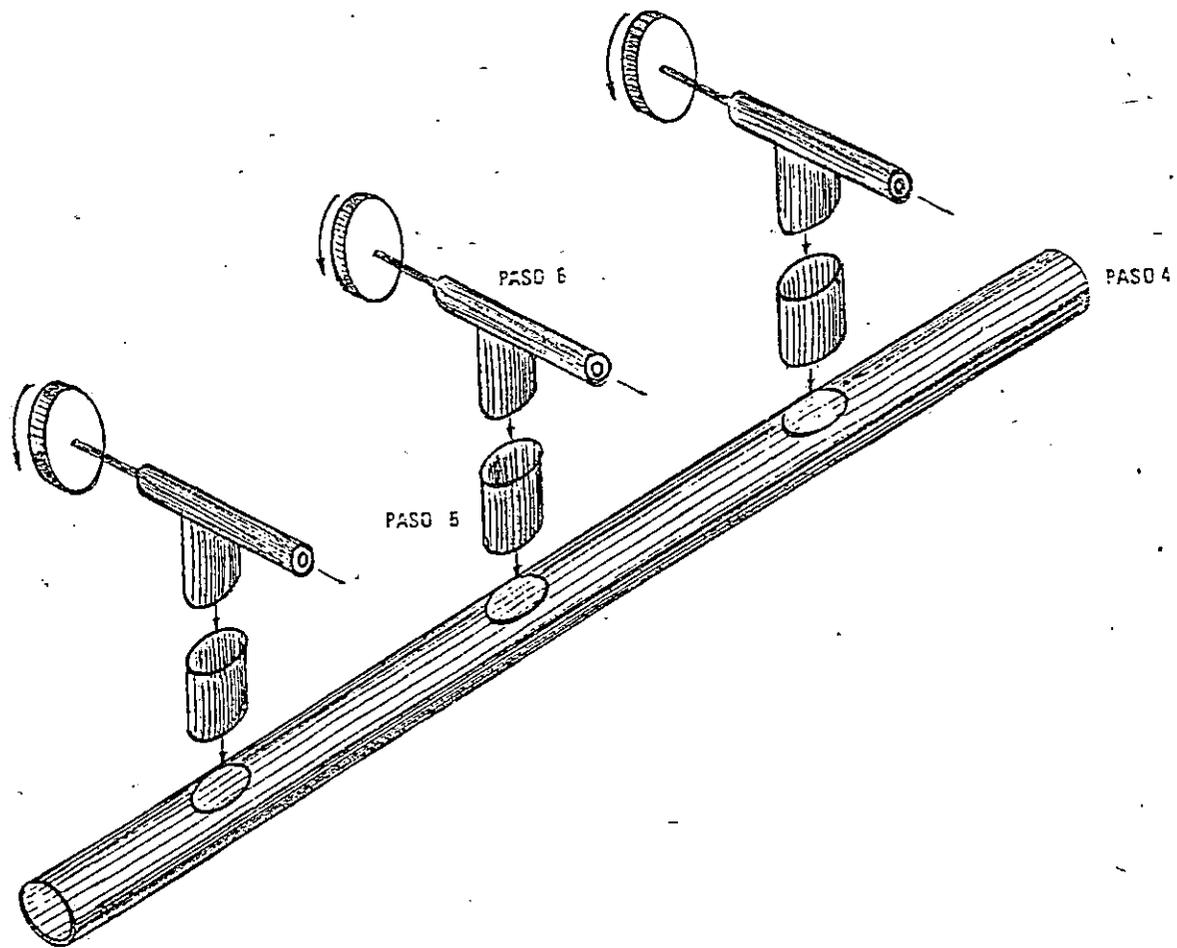


FIGURA 16.19. PASOS DE DISEÑO 4, 5 y 6.

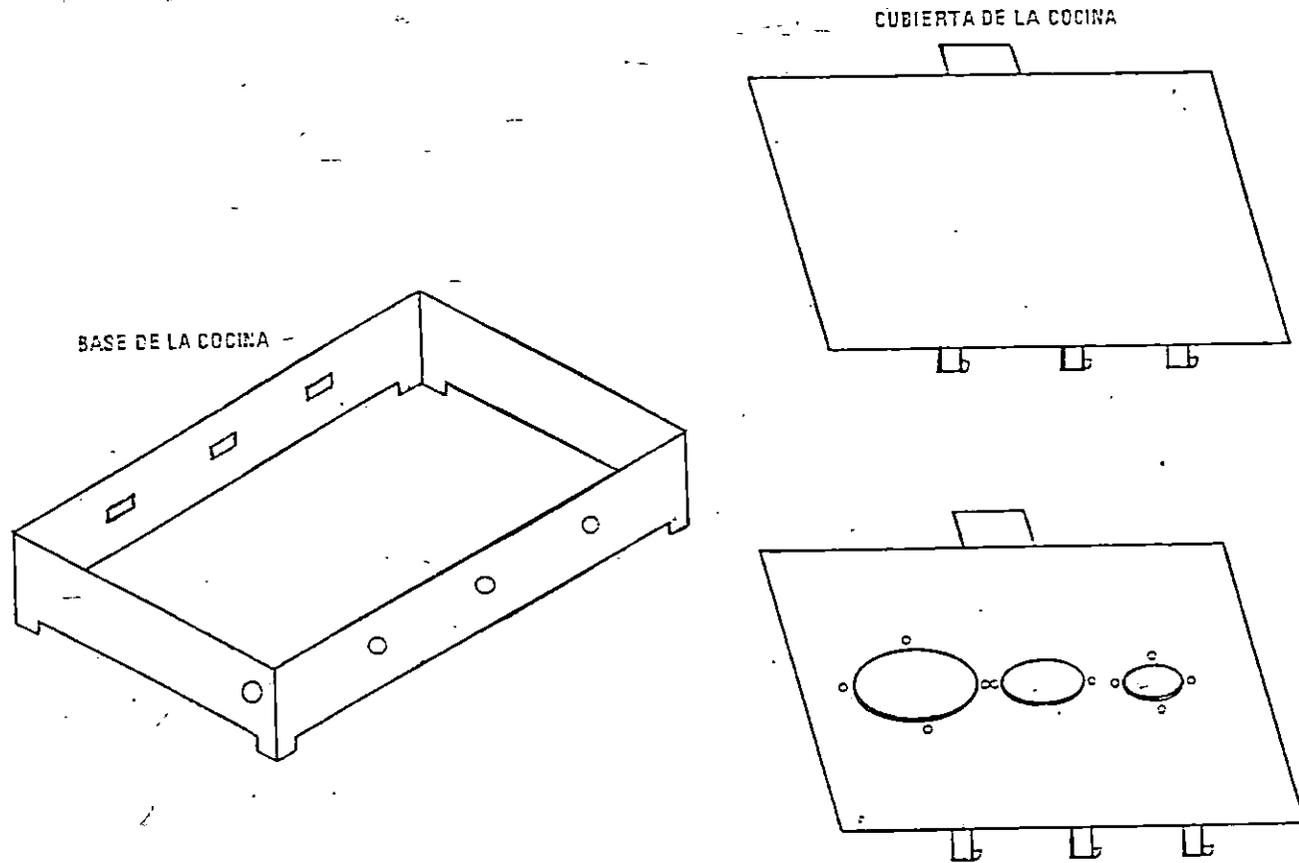


FIGURA 16.20. PASOS DE DISEÑO 7 y 8.

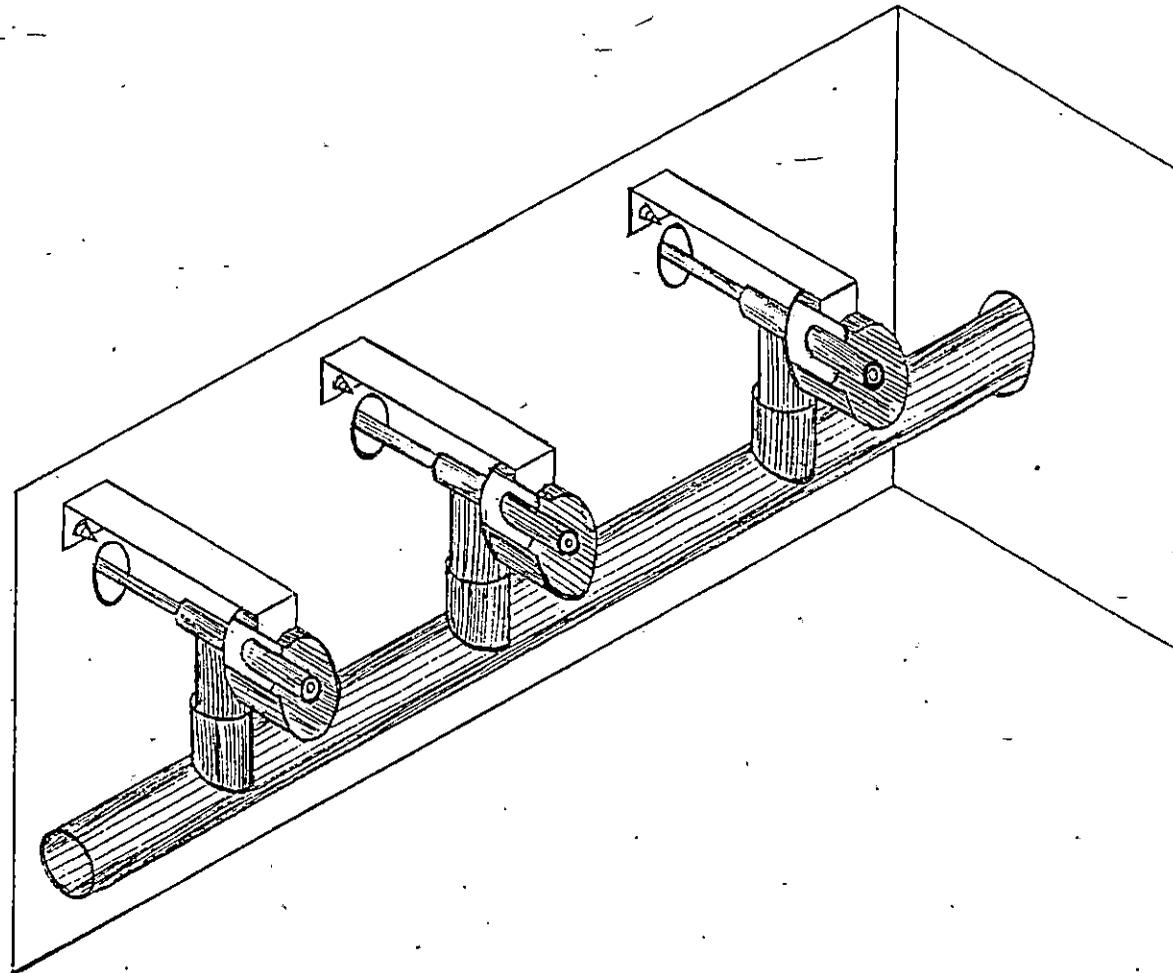


FIGURA 16.21. PASO DE DISEÑO 9.

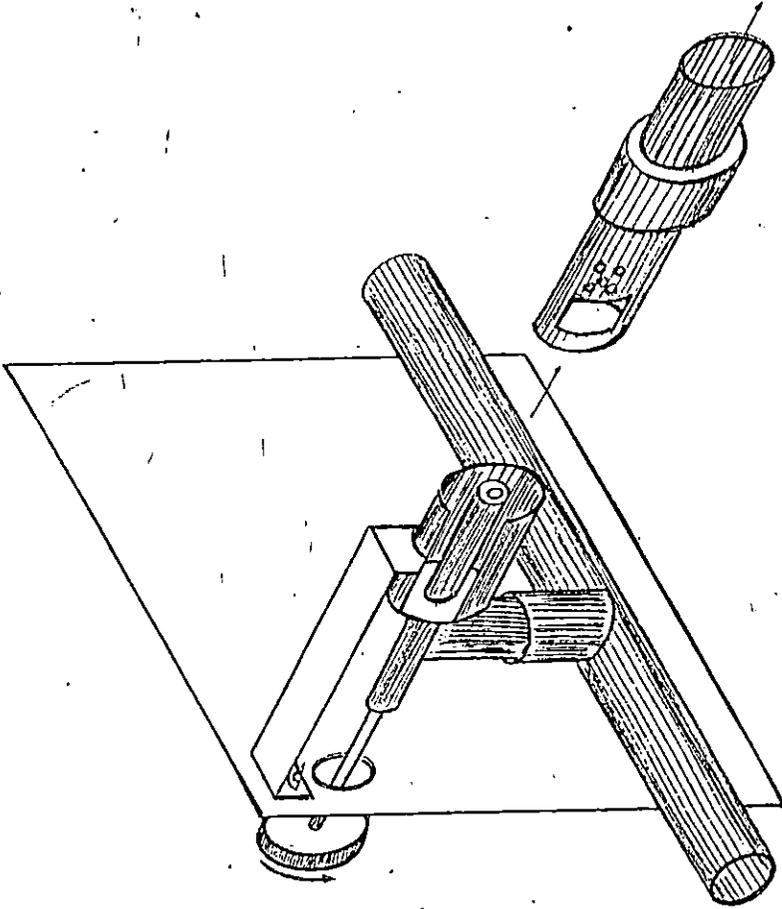


FIGURA 16.22. PASO DE DISEÑO 10.



FIGURA 16.23. DISEÑO DEL ENSAMBLAJE DE LA COCINA.

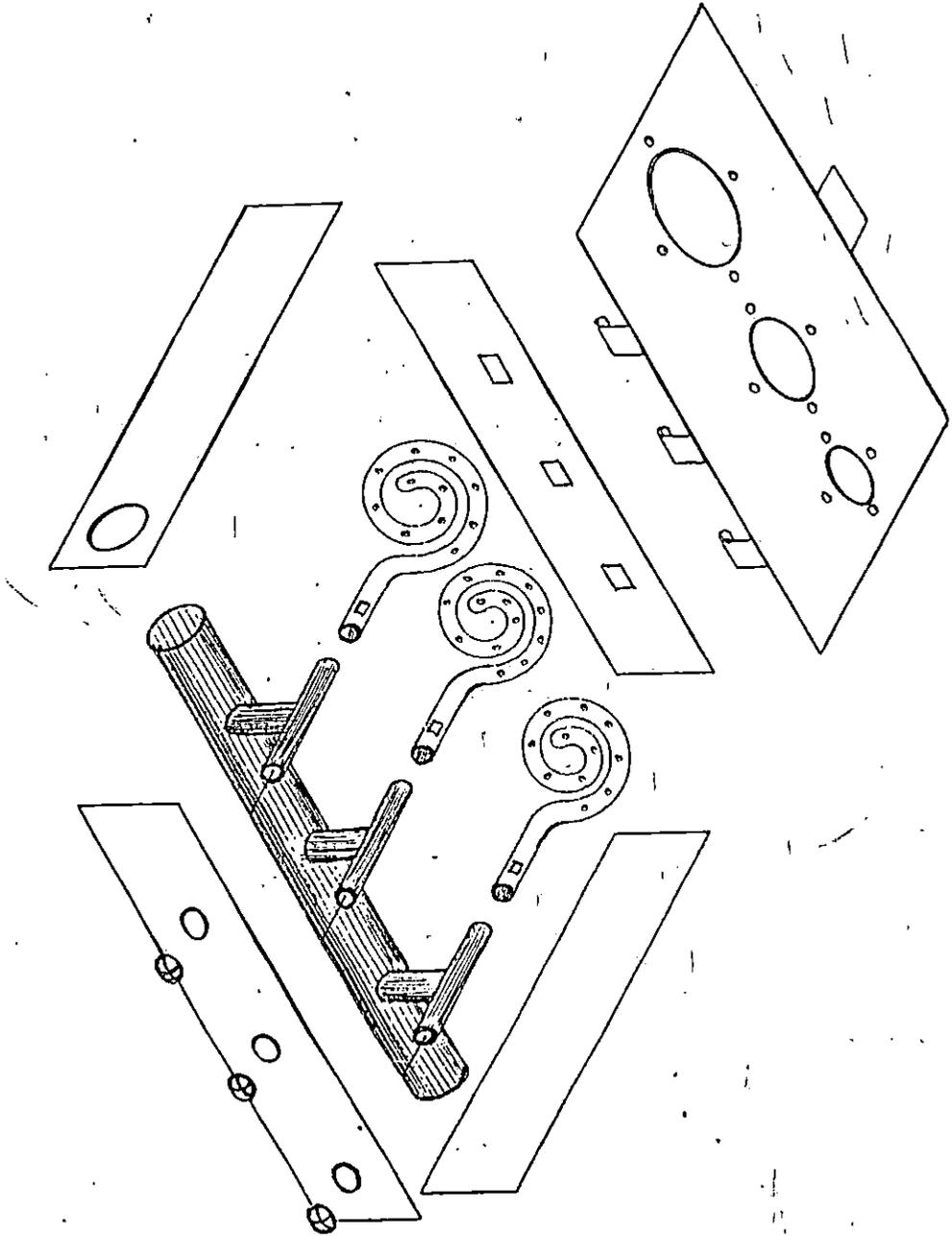
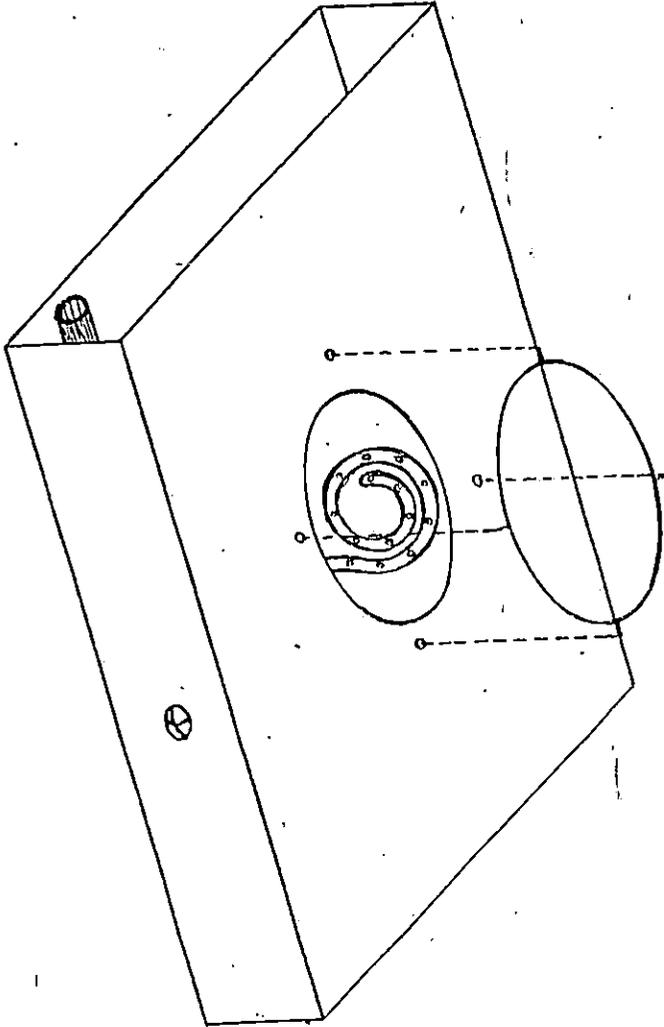


FIGURA 16.24. FORMA DE ACOPLE DEL SOPORTE BASE.



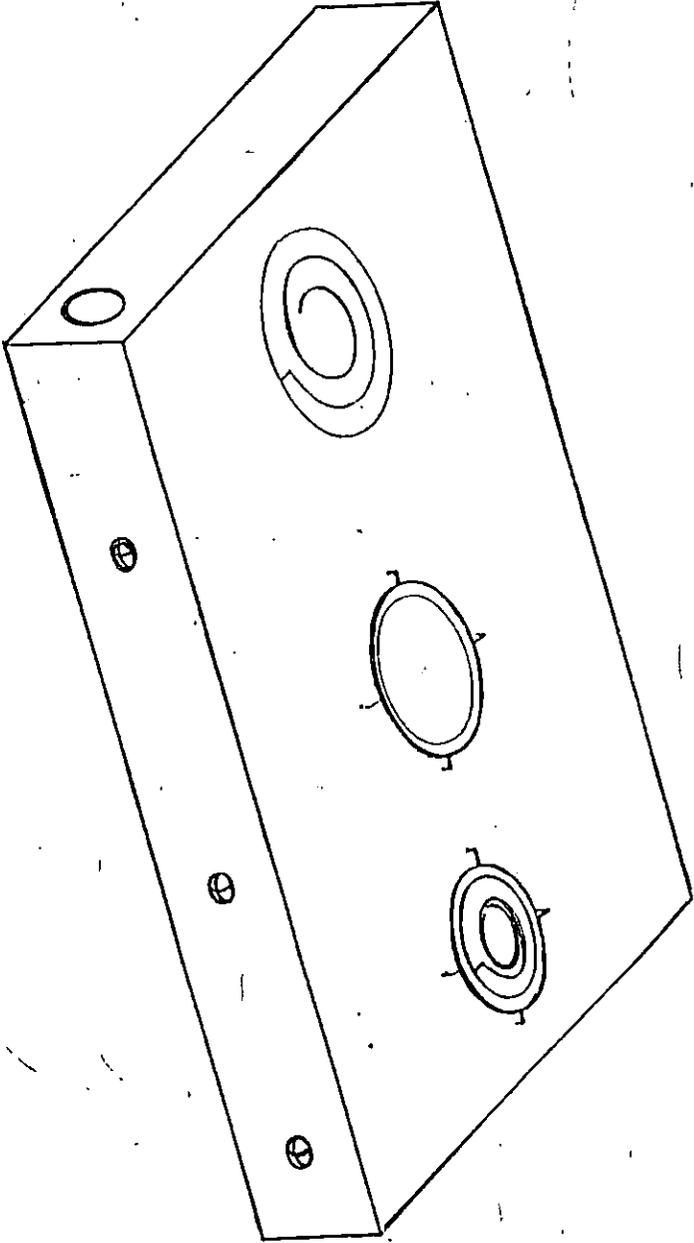


FIGURA 16.25. VISTA GENERAL DE LA COCINA ENSAMBLADA.

**C A P I T U L O   D I E C I S I E T E**  
**MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO**

## 17.1 MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO.

La operación y mantenimiento del digestor así como de sus dispositivos, sigue un proceso sencillo. Deben observarse las siguientes reglas prácticas a fin de mantener una operación estable del digestor para asegurar una producción de biogás constante y obtener de los dispositivos el máximo provecho posible.

## 17.2 OPERACION DEL DIGESTOR.

### 17.2.1 CARGA INICIAL.

Para llevar a cabo la primera carga de substrato al digestor, es necesario acumular estiércol durante varios días tratando de conservarlo fresco, teniendo cuidado que si algún animal se encuentra bajo tratamiento con antibióticos no deberá usarse su estiércol pues perjudicaría a las bacterias que intervienen en el proceso de fermentación.

Debe procurarse que el lugar donde se recolecte el estiércol esté limpio, condición que puede lograrse si el piso es de cemento; caso contrario deberá quitársele piedras u otros objetos similares por medio de una trampa de sedimentación o manualmente.

También es recomendable que el digestor se encuentre cerca del estiércol y fuente de agua para facilitar el trabajo de mezcla y carga. Cuando se disponga de estiércol acumulado durante unos diez días, puede procederse a ingresarlo al digestor en la siguiente forma: (primera carga).

En la pileta de carga, se quitan los tapones en los tubos de carga y enseguida se depositan cantidades iguales de estiércol y agua limpia. Luego se agita el contenido con una paleta de madera hasta homogenizar la mezcla. Se espera unos minutos para que se asienten piedras u otros agentes similares, con el fin de evitar que ingresen al digestor, en el cual, con el tiempo producirían un taponamiento indeseable. Acto seguido se retiran los tapones, cuidando que las manos no entren en contacto con la mezcla, para lo cual también si se desea pueden usarse unos guantes de hule. Las operaciones anteriores se repiten hasta que se agote el estiércol acumulado. En los días subsiguientes, se carga al digestor de manera análoga con la cantidad de estiércol que hubiera disponible, hasta que se llegue al nivel de operación normal, el cual coincide con el borde del pozo o pileta de descarga.

En los primeros días del proceso de fermentación se notará la aparición de un gas no combustible, el cual en su mayor parte es CO<sub>2</sub>. Esto es normal y dura aproximadamente entre una semana y diez días. Luego de este período comenzará la producción de gas combustible; esto puede comprobarse tomando a la salida del tubo

del gas una muestra en una bolsa plástica y luego probando con un fósforo si enciende. Esto será un indicio de que el proceso está marchando y que se puede proceder a la operación continua de carga y descarga diaria.

Es recomendable una vez iniciado el proceso de carga, y si existen los medios para hacerlo controlar periódicamente el PH del sustrato, ya que si sufre disminución se ofrecerá un medio no propicio para que las bacterias sobrevivan y por lo tanto puede bajar el nivel de producción de biogás.

Anteriormente se indicó que la acidez del sustrato es la adecuada si su PH tiene un valor entre 6.5 y 7.5. Si el Ph llegara a descender demasiado, deberá contrarrestarse el exceso de acidez mediante pequeñas cantidades de agua de cal adicionadas a la carga diaria, hasta lograr que el valor ascienda hasta 6.5 como mínimo. Otra forma práctica de hacer que disminuya la acidez consiste en suspender la carga por varios días, hasta que el PH se normalice.

#### 17.2.2. CARGA Y DESCARGA DIARIA.

Esta operación debe ejecutarse de preferencia a la misma hora del día y cuando el estiércol aún esté fresco para no alterar el régimen del proceso fermentativo y por consiguiente mantener constante la producción de biogás.

Se procede a cargar el digestor, colocando primero los tapones en las tuberías de carga ubicados en la pileta de carga y se procede a depositar el estiércol y el agua en proporciones iguales (la pileta de carga está diseñada de tal forma que su volumen es igual al de la carga diaria); para el caso, si el digestor es de 3 metros cúbicos y el periodo de retención es de 30 días, se cargarán tres cubetas de cada uno: agua y estiércol. (aprox. 1 caretillada de estiércol fresco). Se agita la mezcla hasta homogenizarla, se deja reposar durante unos minutos y luego se retiran los tapones dejando así paso libre hacia el digestor.

Por el otro extremo del digestor, en la pileta de compensación se retirará, a la vez de la carga diaria, la misma cantidad de efluente que se cargó: es decir para el ejemplo anterior se tendrían que retirar 6 cubetas de efluente. Este efluente retirado puede usarse directamente como abono orgánico o si no almacenarse para un uso posterior.

Si se dispone de estiércol de varios tipos de animales, puede aprovecharse, mezclando en cualquier proporción, siempre que el estiércol de res represente la mayor parte. También puede usarse desechos vegetales mezclados con estiércol procurando que aproximadamente no representen más del 25% del volumen total de la mezcla y además cortados en pequeños pedazos para facilitar digestión.

### 17.2.3 AGITACION.

El agitado es esencial en el proceso de fermentación, ayuda a remover las natas o costras que se forman en la superficie del sustrato, permitiendo así que ascienda el biogás producido en las capas inferiores. Además ayuda a que el sustrato fluya normalmente en toda la longitud del digestor ya que remueve cualquier objeto extraño que se encuentre en el fondo taponándolo.

El agitado debe hacerse por lo menos una vez diaria y después de introducida la carga diaria. Debe llevarse a cabo entre dos personas, colocándose cada una en los extremos del digestor y halando la cuerda de nylon alternadamente durante aproximadamente unos cinco minutos.

### 17.3. MANTENIMIENTO DEL DIGESTOR.

El mantenimiento del digestor consiste de su limpieza a reparación de cualquier grieta que pudiera presentar, aunque esta situación es remota pues su estructura es fuerte, si se sigue el proceso de construcción correcto.

La limpieza puede llevarse a cabo de forma sencilla pues la forma del digestor ayuda a que los sedimentos se acumulen en la

pileta de descarga y a partir de allí retirados manualmente o por medios mecánicos. Si quiere hacerse una limpieza total, entonces se requiere vaciar totalmente el digestor y su diseño permite que un hombre pueda entrar fácilmente en su interior y dársele un lavado con manguera y agua removiendo así toda la suciedad.

El tiempo de limpieza normal recomendado es de cada 3 a 4 años<sup>28/</sup>, aunque en condiciones desfavorables en la cual el sustrato posea demasiados sedimentos, es conveniente realizar una limpieza más frecuente (cada año) para no perder una porción significativa de su capacidad de operación. Es necesario además, mantener la pileta que se construye sobre la bóveda, siempre llena de agua pues así ayuda al aislamiento del digestor por las noches; como a poder detectar cualquier posible fuga de biogás en la estructura de la bóveda.

En el cuadro 17.I se presenta un resumen de problemas comunes que pueden darse en la operación del digestor así como de sus posibles causas y soluciones posibles.

---

<sup>28/</sup>Informe Técnico de Biodigestores diseño ICAITI. ICAITI 1987.

CUADRO 17.I. CUADRO DE PROBLEMAS COMÚNES DE OPERACION.

PROBLEMAS	SINTOMAS	POSIBLES CAUSAS	SOLUCIONES
1. Acidez	-Descenso del PH. -Baja producción	-Exceso de carga -Sustrato ácido.	-Agregar agua de cal en pequeñas cantidades con la carga.
2. Baja producción de gas.		-Acidez -Baja temperatura -Reducida cantidad de bacterias -Fugas -Antibiótico en estiércol.	-Neutralización de la acidez. -Colocar invernaderos sobre digestor. -Inocular con material de otro digestor. -Recirculación de efluentes al digestor. -Revisión de tubería y depósito del gas. -Suspender carga por 4-5 días.
3. Mal olor y moscas en efluente		-Poca degradación del material orgánico.	-Aumentar tiempo de retención. -Elevar temperatura en digestor con invernadero o con cargas precalentadas.
4. Formación de costra		-Falta de agitación. -Exceso de sólidos en la carga.	-Usar dispositivos para romper costra diariamente. -Aumentar la dilución de la carga diaria. -Homogenizar la mezcla de carga diaria.

#### 17.4 OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ALMACENAJE.

El sistema de almacenaje es un auxiliar para este modelo de digester ya que inicialmente éste almacena el biogás producido en la cúpula de su cuerpo pero presenta el problema que al querer usar el gas directamente de la cúpula la presión generada es baja y variable. Por lo que el sistema almacenador exterior al digester solventa la necesidad de mantener la presión constante y proporcionar un mayor volumen de almacenamiento. Para que este sistema funcione es necesario mantener abierta la válvula de salida del gas ubicada en la cúpula del digester y la válvula de entrada al tanque, manteniendo cerrada la válvula de salida del mismo, para que de esta forma el tanque llene totalmente de biogás y poder disponer de él para un uso posterior.

Para usar el biogás almacenado ya sea para cocinar o alumbrado debe abrirse totalmente la válvula de salida del tanque. La presión de salida puede controlarse por medio de un manómetro colocado en esa posición. Aproximadamente el tanque tiene una capacidad de almacenaje de 416 lts. de biogás. Este volumen de biogás puede usarse para cocinar en una estufa de tres hornillas durante unos 25 minutos o para alumbrado durante unas 2 horas, 50 minutos<sup>29/</sup>. Una vez el tanque se vacíe es necesario volver a cerrar su válvula de salida y esperar que almacene la

---

<sup>29/</sup>La Tecnología del Biogás en El Salvador, 1960 a 1984.  
Centro de Tecnología Agrícola. CENTA. Agosto de 1985.

cantidad suficiente para poder seguir cocinando o alumbrando. Pero si la demanda de biogás es menor o igual al producido por el digestor, el tanque siempre mantendrá una cantidad remanente de biogás, por lo que podrá usarse por un tiempo más prolongado. También puede aumentarse el número de tanques almacenadores para duplicar o triplicar la cantidad de biogás almacenado para el uso. Si quisiera aumentarse el número de tanques almacenadores, estos tendrían que ser alimentados con la misma tubería, de forma que su disposición será de tanques en serie, ubicados cada uno en sus respectivas piletas, para asegurar el sello hidráulico. Con respecto a esta pileta siempre debe mantenerse llena de agua de forma que cuando el tanque esté lleno de biogás este tenderá a subir y en este movimiento deberá mantenerse el sello para evitar que el gas se escape a la atmósfera.

El mantenimiento de este sistema consiste en el cambio de válvulas manuales, manguera flexible, manómetros o reparación (lijado y pintura, sellado o cambio) de los tanques almacenadores.

Si fuera necesario cambiar la manguera flexible que conduce el biogás desde el digestor hasta los tanques almacenadores y si además estos poseen biogás almacenado, deben cerrarse las válvulas manuales ubicadas a la entrada y salida de ellos para evitar que el biogás escape a la atmósfera.

Cuando se lleva a cabo la limpieza del digestor, también puede ejecutarse la operación mencionada en el párrafo anterior o solamente cerrar la válvula de salida del digestor para evitar

que el biogás regrese y se escape a través de su cuerpo. Bajo estas dos condiciones, aunque el digestor no esté operando pero hay suficiente biogás almacenado, éste puede utilizarse para cocinar o alumbrado.

Ya que los tanques almacenadores son metálicos y para alargar su vida útil esto se recubren con pintura anticorrosiva, aproximadamente cada tres años.

Para llevar a cabo esta operación y si existe gas almacenado en los tanque debe en lo posible consumirse o dejarlo escapar hacia el medio ambiente. Ya que la operación del digestor es continua, debe cerrarse la válvula de salida del biogás ubicada en su cuerpo, para lograr almacenar la cantidad de gas producida, mientras se hacen las reparaciones correspondientes.

#### 17.5. OPERACION Y MANTENIMIENTO DE LA LAMPARA.

La presión que necesita la lámpara para funcionar es mayor que la que necesita la cocina, por lo que el tanque almacenador deberá estar casi a dos tercios de su capacidad para lograr la condición de mayor presión.

Primero debe acoplarse la manguera de salida del tanque con la entrada de gas a la lámpara; esto puede lograrse usando un reductor adecuado a los diámetros respectivos. Luego la lámpara se cuelga en el lugar requerido para iluminar; además hay que

asegurarse que no exista fugas de gas. Paso seguido se abre la válvula de salida del tanque para permitir que el biogás fluya hacia la lámpara; se esperan unos segundos, dependiendo de que tan lejos se encuentre la lámpara del tanque. Se acerca un cerillo a la bolsa de manta y empezará a arder produciendo la luminosidad. Esta puede variarse cerrando o abriendo la entrada de aire, con la tuerca reguladora colocada en el cuerpo de la lámpara.

Para apagar la lámpara, solamente se cierra la válvula de suministro de biogás mencionada en el párrafo anterior.

El mantenimiento de lámpara consiste en el cambio periódico de la bolsa de manta, limpieza total de todas sus partes especialmente de la cabeza de cobre si posee demasiado carbón o de un cambio si está demasiado corroída.

#### 17.6 OPERACION Y MANTENIMIENTO DE LA COCINA.

La cocina de biogás funciona como una cocina de gas propano. Una vez conectada la manguera de salida del biogás con la tubería de entrada de la cocina, se abre la válvula manual de salida del tanque almacenador, permitiendo que el gas fluya hacia la cocina. Se acerca un cerillo y se abre la válvula del quemador e inmediatamente enciende. La llama puede regularse por medio de la válvula manual del quemador, recordando que mayor área a calentar, tiene que usarse el quemador más grande y una llama de mayor tamaño.

El color de llama adecuado para cocinar deberá ser en un tono azulado. Si la llama obtenida es amarillenta deberá regularse la entrada de oxígeno que se mezcla con el biogás. Esta entrada de oxígeno se encuentra en la parte interior del quemador y consiste de un agujero perforado en el quemador el cual puede regularse con una especie de tuerca colocada alrededor de él; esta se mueve hasta obtener el color adecuado de la llama.

La cocina necesita mantenimiento periódico de todas sus partes pero especialmente de los quemadores; el cual consiste de la remoción de carbón y limpieza de sus agujeros. Además debe removerse la grasa acumulada debida a la cocción de los alimentos. La limpieza puede realizarse quincenalmente si se somete a un uso frecuente, esto asegurará una larga duración para la cocina.

Para no desperdiciar el biogás debe tenerse cuidado de dar la altura adecuada a la llama, la cual no debe ser excesivamente alta, pero sobre todo debe tomarse en cuenta el área a calentar.

## CONCLUSIONES

- 1.- El modelo construido ha mostrado ser altamente eficiente para la producción de biogás, puesto que experimentalmente se ha registrado una productividad promedio de 0.4 m<sup>3</sup> de biogás/m<sup>3</sup> de digestor, resultado superior a los valores correspondientes a los modelos Chino e Hindú (ver cuadro 8.13.I, pág. 71). Al mismo tiempo, es de hacer notar que el modelo ICAITI construido en el campo experimental, supera en productividad a otros digestores del mismo modelo construidos anteriormente (ver cuadro 8.13.I, pag. 71), esto como consecuencia directa de las condiciones ambientales del campo experimental, especialmente la relativa a la temperatura, que para dicha zona oscila entre los 36°C y los 39°C.
- 2.- Según mediciones realizadas, el digestor es capaz de producir 1200 litros/día de biogás, cantidad que es suficiente para satisfacer las necesidades de cocción de alimentos e iluminación de una familia.
- 3.- La biodigestión presenta ser una solución viable a la descontaminación y limpieza del medio ambiente, especialmente por la forma económica y sencilla en que se lleva a cabo.

4.- Mediante un programa continuo y sistemático de orientación para la utilización del biogás para la cocción de alimentos e iluminación en zonas rurales, se puede evitar el consumo intensivo de leña, evitando así a contribuir al deterioro ambiental.

5.- Debido a que el modelo ICAITI no consta de un depósito de almacenaje interno de gran volumen, se concluye que es necesario construir un depósito para el almacenamiento del biogás y de esta forma facilitar su utilización.

6.- La agitación es un proceso importante para la operación eficiente del digestor, puesto que cuando ésta se realiza, se observa en el manómetro, que marca la presión interna del digestor, un incremento de presión del orden del 20%.

7.- La implementación de la tecnología del biogás en El Salvador, puede dar mejores resultados si ésta se lleva a cabo mediante un programa en el cual intervengan conjuntamente los diversos sectores del país, a los cuales les atañe la problemática ecológica y energética.

## RECOMENDACIONES

- 1.- Se recomienda dar continuidad al proyecto, para lograr cumplir con objetivos más amplios, y de esta forma contribuir a la eliminación de materia orgánica indeseable, transformándola en biogás y bioabono que de alguna manera contribuirán a reducir el deterioro ecológico.
- 2.- Para un funcionamiento normal del digestor, se recomienda seguir todas las indicaciones respecto a su carga, descarga, agitación de la mezcla, etc. Planteado en este Trabajo de Graduación.
- 3.- Si se desea utilizar el biogás en cocinas convencionales, éstas deben ser levemente modificadas, quitando de las válvulas reguladores del flujo de gas, unos pequeños elementos conocidos como "chicleros", los cuales no son más que unas toberas que poseen agujero de diámetro muy reducido (1 mm) que para el caso de biogás representa una obstrucción, debido a que la presión del digestor es bastante baja (0.20 psi).

- 4.- Puesto que la pileta que corona la cúpula del biodigestor permanece constantemente con agua estancada, ésta se presta para la encubación de larvas de zancudo, por lo que se recomienda verter aceite quemado o kerosene sobre dicha agua.
  
- 5.- Se recomienda mantener tapadas con lámina, tanto la pileta de carga como la de descarga con el objetivo de evitar la concentración de moscas.
  
- 6.- Es necesario que la persona que realiza la carga diaria esté provista de guantes y mascarilla, para no dañar su salud.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- 1.- "CONSTRUCCION Y EVALUACION DE UNA PLANTA DE BIOGAS DE 15 METROS CUBICOS DE CAPACIDAD"  
Autor: Centro Nacional de Tecnologia Agrícola. CENTA  
Publicación Boletín Técnico Nº 14, Junio de 1985.
- 2.- "SEMINARIO SOBRE LA TECNOLOGIA DEL BIOGAS EN EL SALVADOR Y LA EXPERIENCIA PARTICULAR EN CHINA".  
Patrocinado por la FAO-CENTA, 4 y 5 de Junio de 1985.
- 3.- "DEFINICION DEL BIOGAS A PARTIR DEL JACINTO ACUATICO".  
Autor: Flores C., Tévez F. ; Villacorta G.  
Tesis presentada 1986, Ingeniería Química, UES.
- 4.- "INVENTARIO Y EVALUACION DE LOS DIGESTORES CONSTRUIDOS EN COSTA RICA".  
Autor: Comisión Nacional sobre Biodigestión. Costa Rica  
1986.
- 5.- "SIMPOSIO SOBRE DIGESTION ANAEROBICA".  
Autor: Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial. ICAITI. San Salvador, 2 de Julio de 1986.

- 6.- "INSTALACION Y EXPERIMENTOS REALIZADOS EN EL SALVADOR PARA PRODUCIR BIOGAS".  
Autor: Organización Latinoamericana de Energía-Banco Interamericano de Desarrollo.  
18 y 19 de Abril de 1980. Atlanta Georgia, USA.
- 7.- "INVESTIGACION DE MODELOS DE DIGESTORES PARA PRODUCCION DE BIOGAS".  
Autor: Informe de Resultados, Proyecto OEA-CEL, Enero de 1989.
- 8.- "MANUAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION DE UNA PLANTA DE BIOGAS".  
Proyecto de Leña y Fuentes Alternas de Energia, ICAITI-ROCAC Nº 596-0089, 1983.
- 9.- "DISEÑO DE UNA PLANTA DE BIOGAS, SU DISTRIBUCION Y ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN UNA ZONA MARGINAL".  
Autor: Zárate Sánchez, Nelson.  
Trabajo de Graduación presentado en 1985. Ingeniería Mecánica UCA.
- 10.- "DISEÑO DE UN SISTEMA INTEGRAL APROVECHANDO BIOGAS PARA EL CENTRO MODELO DE DESPLAZADOS BETHANIA".  
Trabajo de Graduación presentado en 1984. Ingeniería Mecánica UCA.

- 11.- "CURSO DE CAPACITACION EN BIOGAS, CHENGDU-CHINA".  
Material de Enseñanza FAO-CHINA, V Parte, 1984.
  
- 12.- "BIOGAS: INFORMACION GENERAL"  
Autor: ICAITI-ROCAC  
Proyecto de Leña y Fuentes Alternas de Energía 1983.
  
- 13.- "LA TECNOLOGIA DEL BIOGAS Y BIOABONO EN EL SALVADOR".  
Autor: Flores Nelson, Lardé Gerardo.  
Abril de 1980.
  
- 14.- "MANUAL DE FORMULAS TECNICAS".  
Autor: Kurt, Glenck.

**A N E X O S**

ANEXO A. CUADRO Nº 1.

CARACTERISTICA DE ALGUNOS GASES.

Nº	Fórmula molecular	Ecuación química de combustión	Peso Normal Kg/m³	Peso Especifico relativo	valor calorífico Kcal/m³	
					Valor calorífico Alto	Valor calorífico Bajo
1	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> + 0.5O <sub>2</sub> = H <sub>2</sub> O	0.898	0.0695	3044	2576
2	CO	CO + 0.5O <sub>2</sub> = CO <sub>2</sub>	1.2506	0.9671	3018	3018
3	CH <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub> + 2O <sub>2</sub> = CO <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O	0.7174	0.5548	9510	8570
4	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S + 2.5O <sub>2</sub> = SO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	1.5363	1.188	6054	5581
5	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> + 2.5O <sub>2</sub> = 2CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	1.1709	0.9057	13364	13483
6	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> + 3O <sub>2</sub> = 2CO <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O	1.2605	0.9748	15142	14197
7	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> + 4.5O <sub>2</sub> = 3CO <sub>2</sub> + 3H <sub>2</sub> O	1.3196	1.479	22358	20925
8	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> + 5O <sub>2</sub> = 3CO <sub>2</sub> + 4H <sub>2</sub> O	2.0102	1.554	24172	22256
9	SO <sub>2</sub>		2.9275	2.264		
10	O <sub>2</sub>		1.429	1.1052		
11	CO <sub>2</sub>		1.97	1.5289		
12	H <sub>2</sub>		2.26	2.9670		
13	(Aire)		1.29	2.000		
14	(Vapor de agua)		0.8330	0.6440		

ANEXO A. CUADRO 2

PROPIEDADES DE GASES COMBUSTIBLES.

Fórmula molecular de los gases combustibles	Velocidad de Combustión (Hm/seg)	Coefficiente del aire primario a la velocidad de combustión máxima ( $\alpha$ ).
H <sub>2</sub>	2.8	0.57
CO	0.56	0.46
CH <sub>4</sub>	0.38	0.9
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	1.52	
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0.67	0.85
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.43	0.9
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0.5	0.9
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.46	1.00
C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	0.46	1.00
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.38	1.00

CARACTERISTICA DE ALGUNOS GASES.

ANEXO B. CUADRO N° 1.

N°	Formula molecular	Temperatura de Ignición °C	Demanda teorica de aire y de óxido $m^3/m$ Aire Óxido	Volumen de gas de escape teórico en $m^3/m$	Superior/Inferior Mezcla explosiva	
1	$N_2$	400	2.28	0.5	2.88	75.9/4
2	CO	605	2.38	1.0	2.88	74.2/12.5
3	$CH_4$	540	9.52	2.0	10.52	15/5
4	$H_2S$	270	7.14	1.5	7.65	45.3/4.3
5	$C_2H_2$	335	11.9	2.5	12.4	80/2.5
6	$C_2H_4$	425	14.28	3.0	15.22	34/2.7
7	$C_3H_6$	460	21.42	4.5	22.92	11.7/2
8	$C_3H_8$	450	23.8	5.0	25.8	9.5/2.1
9	$SO_2$					
10	$O_2$					
11	$-CO_2$					
12	$N_2$					
13	(Aire)					
14	(Vapor de agua)					
15	(Biogás)	575				



A N E X O D.

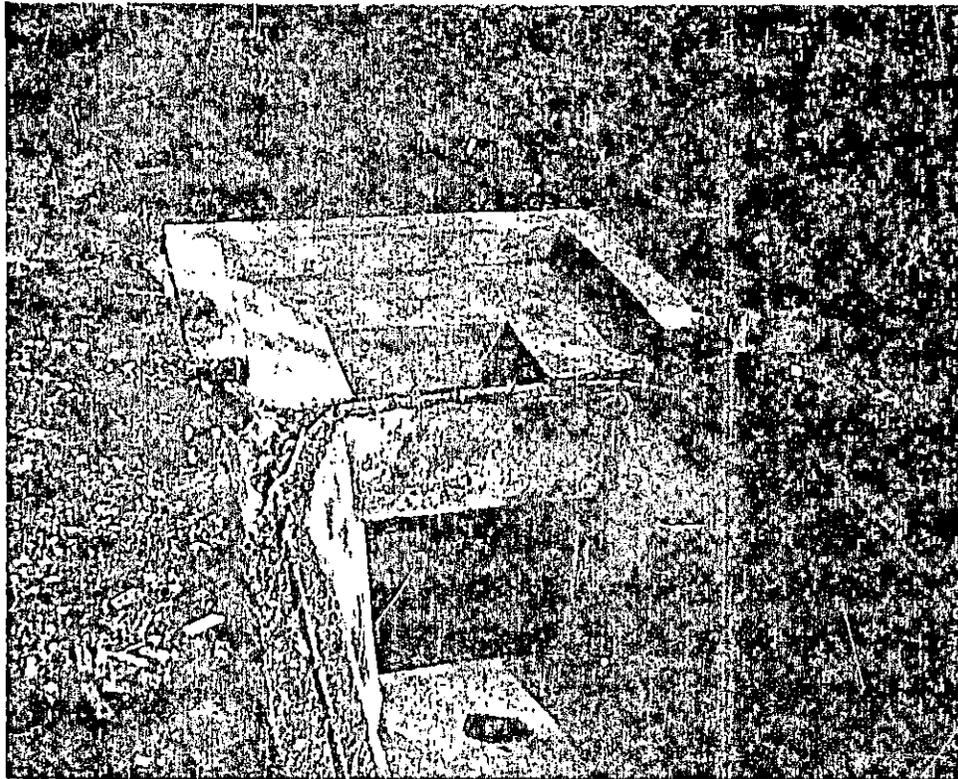
TOMAS FOTOGRAFICAS DE ALGUNAS DE LAS ETAPAS CONSTRUCTIVAS  
Y PARTES DEL DIGESTOR.



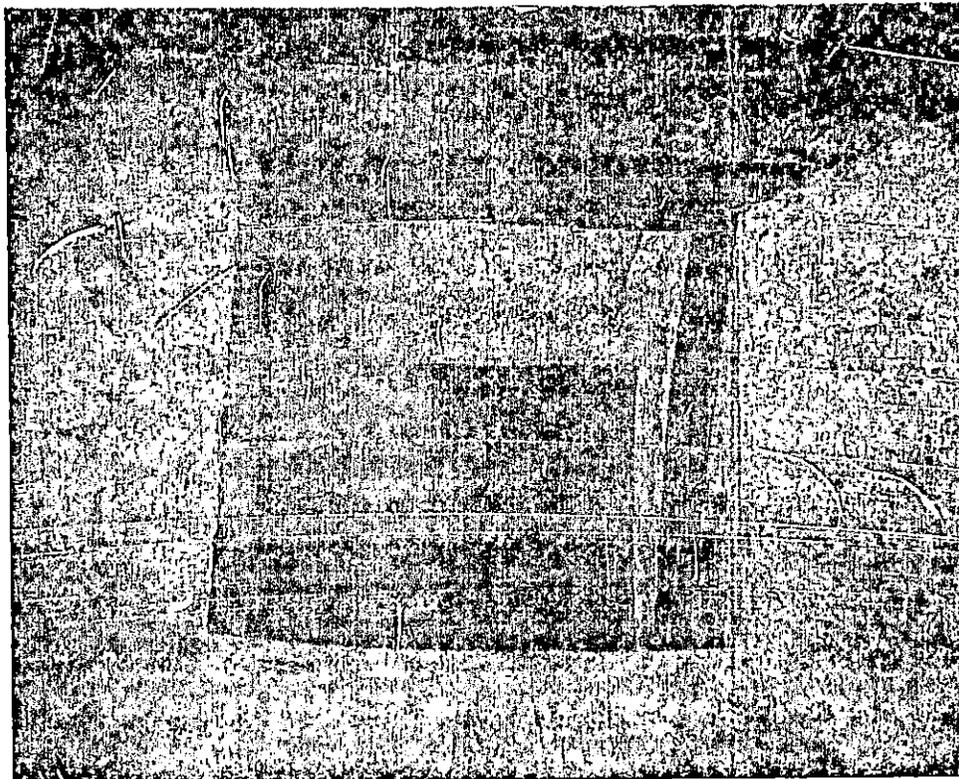
FOTOGRAFIA MOSTRANDO EL CUERPO DEL DIGESTOR SIN LA CUPULA. PUEDE APRECIARSE LA PILETA DE CARGA (PLANO INFERIOR) Y LA PILETA DE DESCARGA (PLANO SUPERIOR).



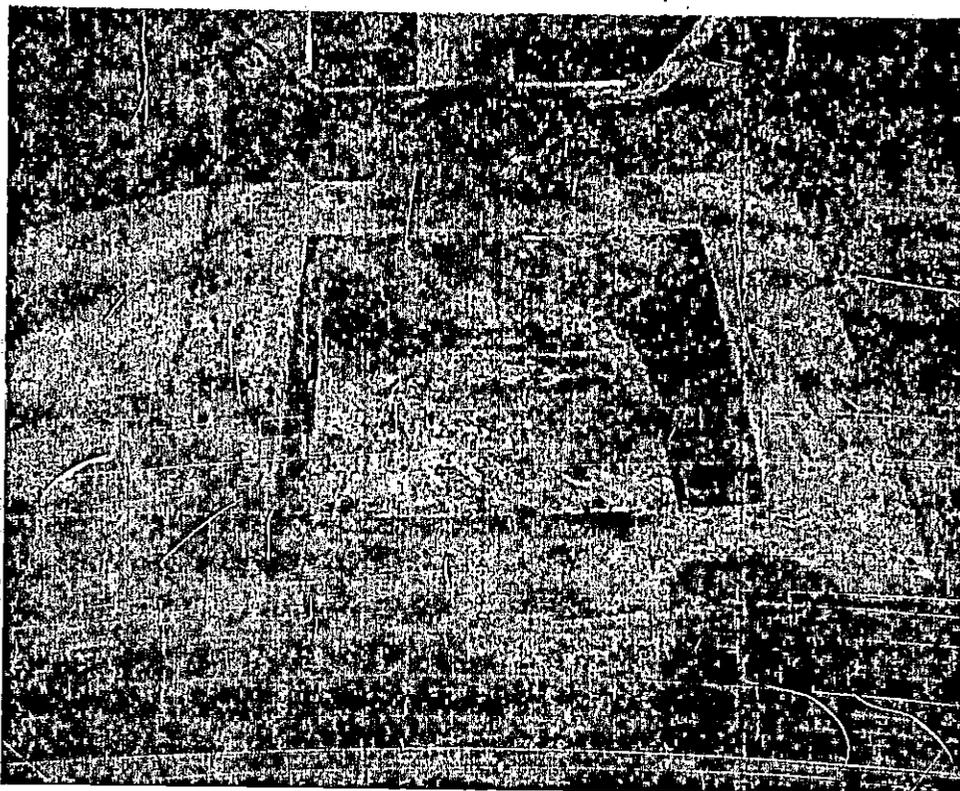
FOTOGRAFIA EN LA QUE SE MUESTRA LA SECCION QUE UNE EL CUERPO DEL DIGESTOR CON EL POZO DE DESCARGA.



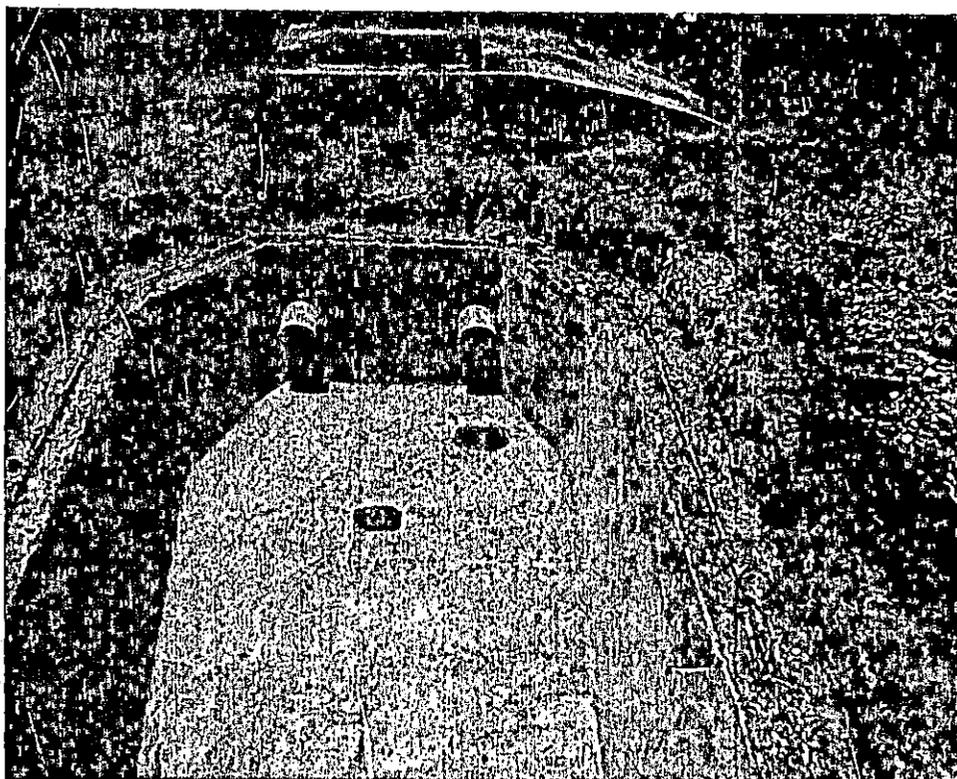
VISTA DEL POZO DE DESCARGA Y DE LA PILETA DE COMPENSACION.



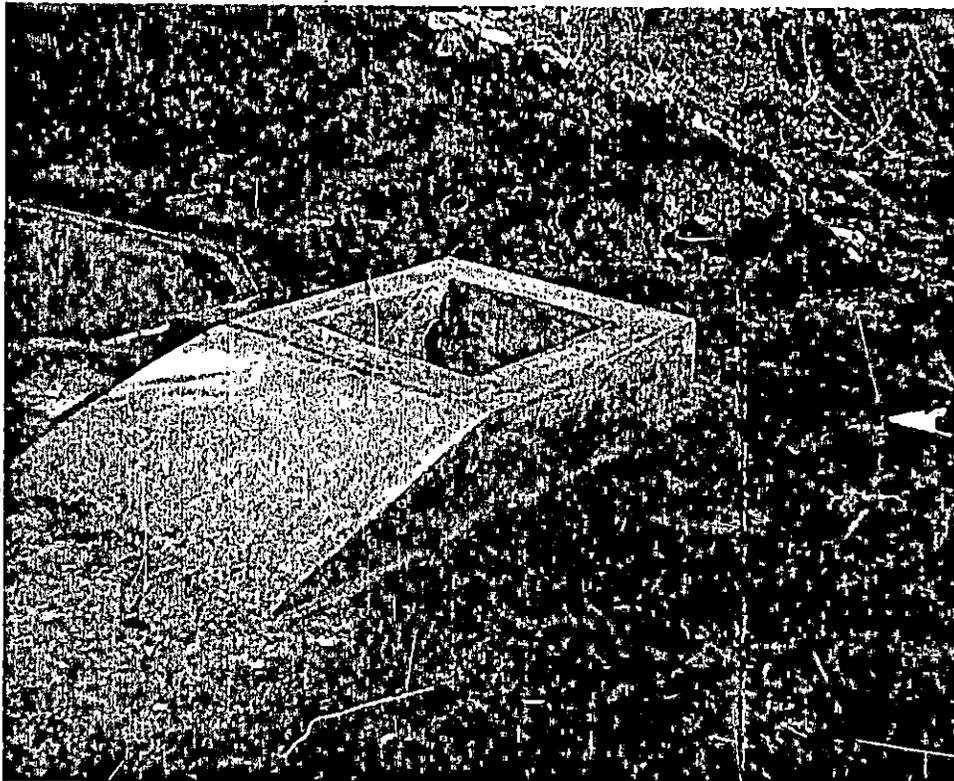
VISTA EN PLANIA DEL POZO DE DESCARGA.



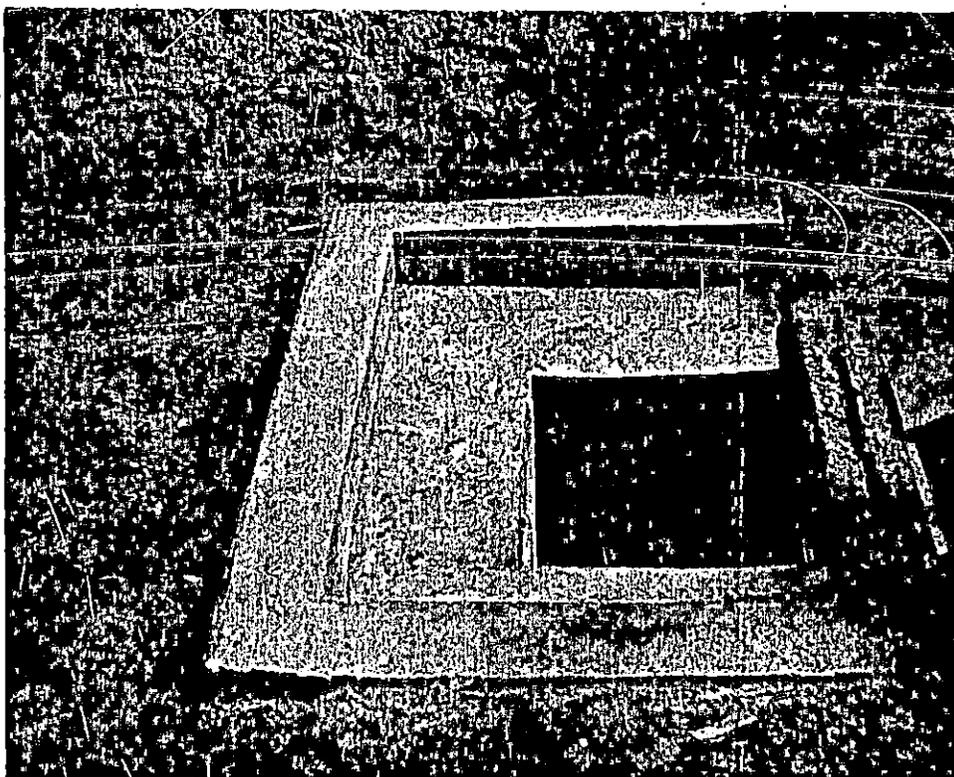
FOTOGRAFIA MOSTRANDO LA PILETA DE CARGA JUNTO CON LOS TUBOS DE CARGA.



CUERPO DEL DIGESTOR. EN LA FOTOGRAFIA SE PUEDEN APRECIAR LOS TUBOS DE CARGA



FOTOGRAFIA MOSTRANDO LA PILETA DE CARGA.

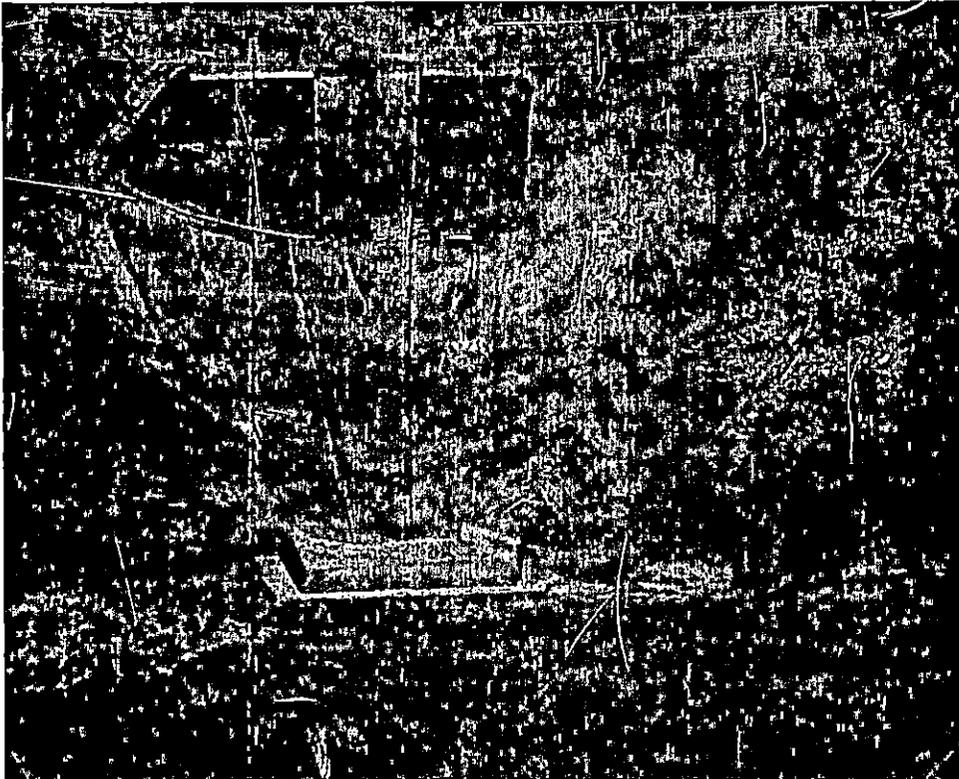


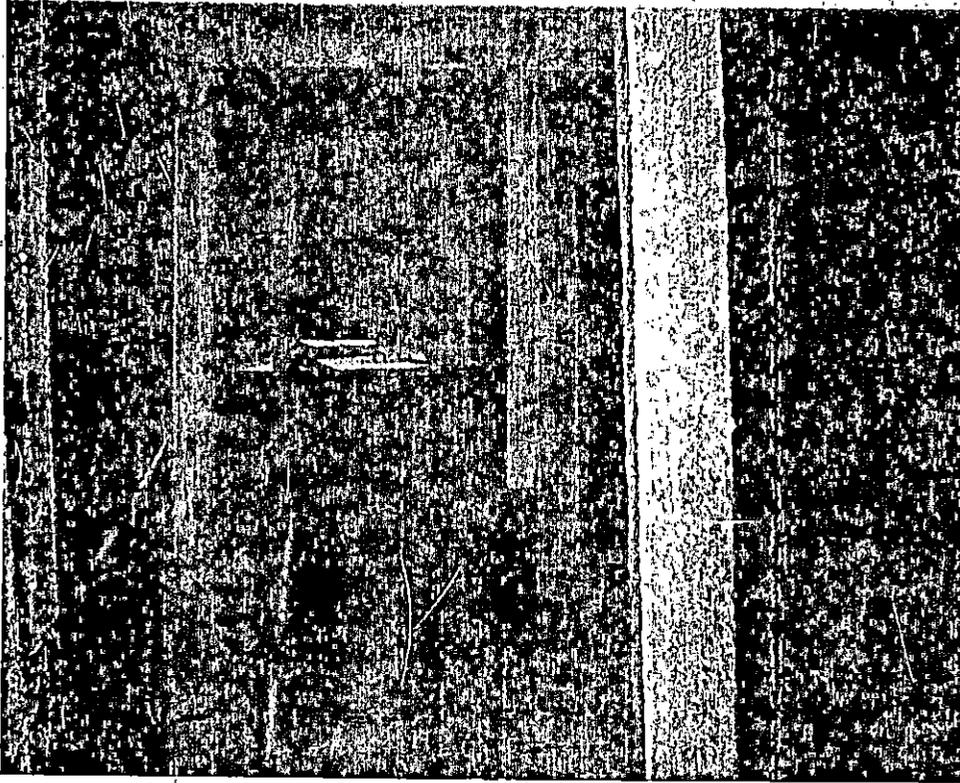
FOTOGRAFIA EN LA CUAL SE MUESTRA LA PILETA DE COMPENSACION Y EL POZO DE DESCARGA.

ETAPA DE CONSTRUCCION DE LA BOVEDA. LA FOTOGRAFIA MUESTRA LA ES  
TRUCTURA DE MADERA USADA PARA SU CONSTRUCCION.

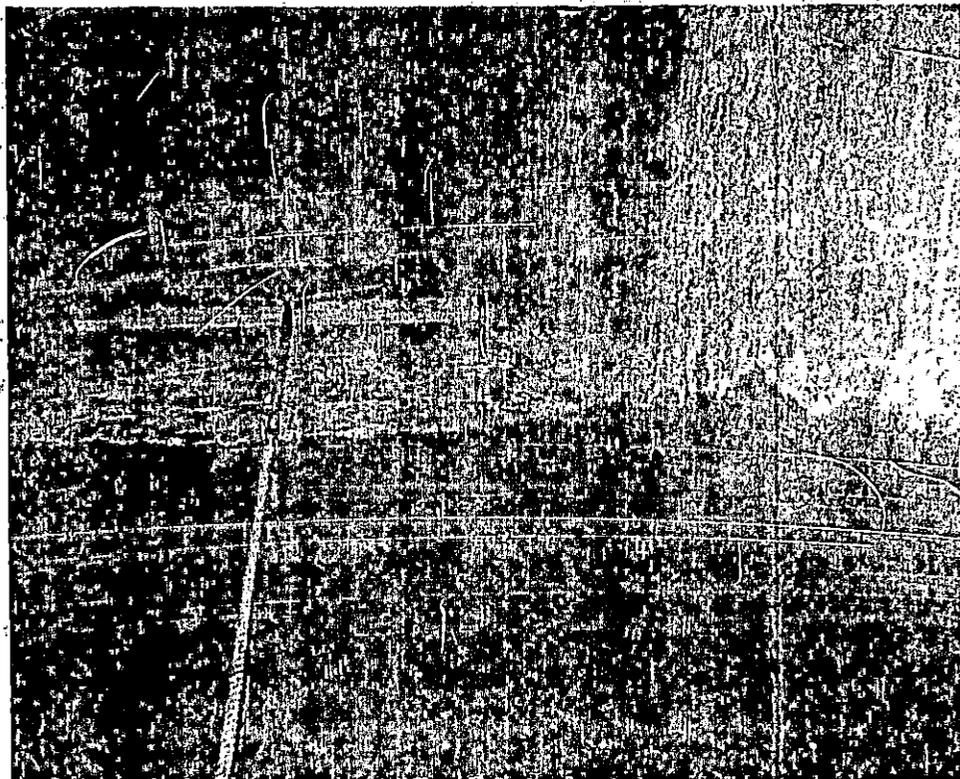


ETAPA DE CONSTRUCCION DE LA BOVEDA. LA FOTOGRAFIA MUESTRA LA ESTRUCTURA DE  
MADERA USADA PARA SU CONSTRUCCION, VISTA DESDE EL EXTERIOR.



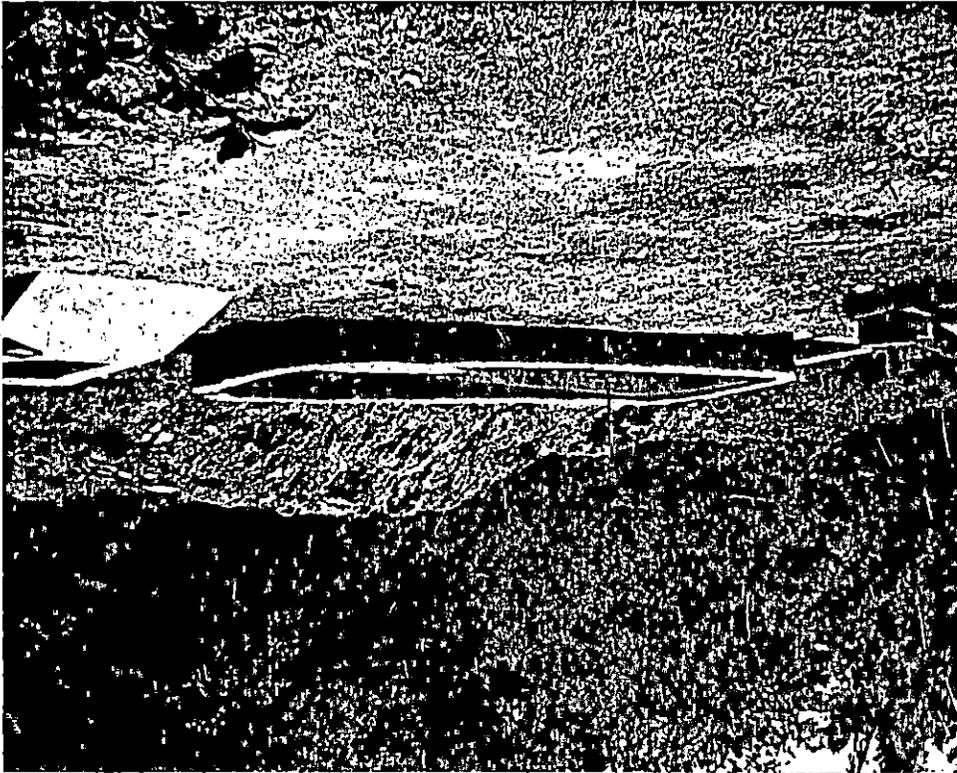


ETAPA DE CONSTRUCCION DE LA BOVEDA. LA FOTOGRAFIA MUESTRA LA ESTRUCTURA DE MADERA USADA PARA SU CONSTRUCCION.



FOTOGRAFIA INTERNA DEL DIGESTOR EN LA CUAL SE MUESTRA EL AGITADOR DE MADERA JUNTO CON SU CABLE.

VISTA GENERAL DEL DIGESTOR YA TERMINADO. PUEDE APPRECIARSE EN SU PARTE SUPERIOR EL TUBO POR EL QUE SALDRA EL BIOGAS.



## GLOSARIO

- ALCALINIDAD Medida de la concentración de los iones hidróxilo ( $\text{OH}^-$ ) libres en una solución.
- ACIDEZ Medida de la concentración de iones ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) 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 su 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.



- 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                    Material que no participa en la  
  INERTE                      fermentación, y que al ocupar un volumen dentro del digestor, disminuye su eficiencia, tal como piedras, arenas, etc.
  
- MICROORGANIS-            Bacterias que pueden causar enfermedades  
  MOS PATOGENOS            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 p de 7 se considera neutro; menor de 7, ácido; y mayor de 7, alcalino.
  
- PLANTA                      Construcción original, donde se analizaron  
  PROTOTIPO                  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 metro cúbico de digestor, por día

- PROCESO FER-  
MENTATIVO

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.

A N E X O E.

PLANOS.-