

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL
DEL CAUCA - CVC

SUBDIRECCION DE RECURSOS NATURALES

DIVISION DE AGUAS

28
Insumado al Expediente

ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE
RESIDUOS AGROPECUARIOS

LUCIA VARGAS LOPEZ Ing. Sanitaria
ANA CRISTINA PERILLA ISAZA Bióloga
PATRICIA OSORIO AGUILERA Ing. Sanitaria

Informe CVC No. 92-44

Cali, Septiembre 28 de 1992

CONTENIDO

1.	INTRODUCCION	2
2.	DIGESTION DE LA MATERIA ORGANICA	3
2.1.	AMBIENTE AEROBICO Y ANAEROBICO	3
2.2.	COMPARACION ENTRE PROCESO AEROBICO Y ANAEROBICO	4
2.3.	ETAPAS DEL PROCESO ANAEROBICO	6
2.3.1.	Hidrólisis	6
2.3.2.	Acidogénesis	7
2.3.3.	Acetanogénesis	7
2.3.4.	Metanogénesis	7
2.4.	PARAMETROS DEL PROCESO ANAEROBICO	7
2.4.1.	pH	8
2.4.2.	Temperatura	8
2.4.3.	Tiempo de retención	8
2.4.4.	Relación C/N	10
2.4.5.	Amoniaco	10
3.	BIODIGESTORES CONVENCIONALES Y DE ALTA TASA	11
4.	TIPOS DE MATERIALES ORGANICOS Y CARACTERISTICAS	12
4.1.	MATERIALES UTILIZADOS EN BIODIGESTORES CONVENCIONALES	12
4.2.	MATERIALES UTILIZADOS EN BIODIGESTORES DE ALTA TASA	16
5.	BIODIGESTORES CONVENCIONALES	17
5.1.	TIPOS DE BIODIGESTORES	17
5.1.1.	Planta con campana flotante	17
5.1.1.1.	Ventajas	18
5.1.1.2.	Desventajas	18

5.1.2.	Planta con cúpula fija	18
5.1.2.1.	Ventajas	19
5.1.2.2.	DESVENTAJAS	19
5.1.3.	Planta balón	19
5.1.3.1.	Ventajas	20
5.1.3.2	Desventajas	20
4.2.	DISEÑO	22
5.2.1.	Dimensionamiento	24
5.2.2.	ESTANDARIZACION	26
5.2.3.	Materiales y costos	27
4.3.	CONSTRUCCION, ARRANQUE, OPERACION Y MANTENIMIENTO	27
6.	REACTORES DE ALTA TASA	32
6.1.	TIPOS DE REACTORES	34
6.1.1.	Con material de soporte	34
6.1.1.1.	Reactor de lecho fijo (filtro anaeróbico)	34
6.1.1.2.	Reactor de lecho móvil (discos rotatorios)	34
6.1.1.3.	Reactor de lecho expandido	34
6.1.1.4.	Reactor de lecho fluidizado	34
6.1.2.	Con biomasa no adherida	34
6.1.2.1.	Reactor con recirculación de lodos (contacto anaeróbico)	34
6.1.2.2.	Reactor de manto de lodos	34
6.1.2.3.	Reactor horizontal de baffles	34
6.1.2.4.	Reactor con separación de las fases de digestión anaeróbica	35

6.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS TRATAMIENTOS ANAEROBICOS	37
6.2.1. Temperatura	37
6.2.2. Nutrientes	37
6.2.3. pH	38
6.2.4. Alcalinidad al bicarbonato	38
6.2.5. AGV	39
6.3. TRATAMIENTO ANAEROBICO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL BENEFICIO DEL CAFE	40
6.3.1. Composición del agua residual del beneficio del café	42
6.3.2. Programa experimental y resultados	44
6.3.3. Criterios de diseño de plantas construidas	46
6.3.4. Arranque de los sistemas anaeróbicos	48
6.3.5. Operación y mantenimiento	52
7. EL BIOGAS	55
8. BIOABONO	60
8.1. COMPOSICION Y CARACTERISTICAS	60
8.2. ALMACENAMIENTO Y APLICACION	63
8.2.1. Almacenamiento líquido	63
8.2.2. Secado	64
8.2.3. Compostaje	65
8.2.4. Efectos sobre el suelo	66
8.2.5. Efectos higiénicos	69
BIBLIOGRAFIA.	73
ANEXOS.	75

LISTA DE TABLAS

TABLA Nº 1.	Características de los estiércoles de vacunos y porcinos	13
TABLA Nº 2.	Características de otros estiércoles animales	14
TABLA Nº 3.	Características de algunos residuos vegetales y posible producción de biogás . .	15
TABLA Nº 4.	Formulas básicas para el dimensionamiento de biodigestores tipo cúpula fija	24
TABLA Nº 5.	Volúmenes estandarizados de biodigestores tipo cúpula fija	26
TABLA No. 6.	Cantidad de materiales y presupuesto del biodigestor cúpula fija $V = 14 \text{ m}^3$	28
TABLA No. 7.	Cantidad de materiales y presupuesto del biodigestor cúpula fija $V = 22.5 \text{ m}^3$	29
TABLA No. 8.	Cantidad de materiales y presupuesto del biodigestor cúpula fija $V = 34.5 \text{ m}^3$	30
TABLA No. 9.	Cantidad de materiales y presupuesto del biodigestor cúpula fija $V = 47.5 \text{ m}^3$	31
TABLA No. 10.	Procesos anaeróbicos y características del desecho a tratar	36

TABLA No. 11.	Composición del agua residual del beneficio del café	42
TABLA No. 12.	Porcentaje de AGV según el pH	44
TABLA No. 13.	Resultados UASB	44
TABLA No. 14.	Resumen de estudio de factibilidad	46
TABLA No. 15.	Criterios de diseño con costos	47
TABLA No. 16.	Criterios de diseño	48
TABLA No. 17.	Valores característicos de diferentes lodos	50
TABLA No. 18.	Consumo de soda	51
TABLA No. 19.	Composición química del biogás	55
TABLA No. 20.	Características de los gases combustibles	56
TABLA No. 21.	Biogás en comparación con otros combustibles	57
TABLA No. 22.	Utilización y consumo de biogás.	59
TABLA No. 23.	Rata de mortalidad de patógenos y huevos durante el proceso de digestión anaeróbica	71
TABLA No. 24.	Tiempo de sobrevivencia de bacterias adicionadas a estriércol para ser digerido anaeróbicamente a 32°C, con un tiempo de retención de 20 días y alimentación diaria	72

LISTA DE FIGURAS

FIGURA No. 1.	Influencia de la temperatura sobre el tiempo de retención	9
FIGURA No. 2.	Tipos de biodigestores	21
FIGURA No. 3.	Plano esquemático de biodigestor tipo cúpula fija estandarizado	25
FIGURA No. 4.	Tipos de reactores anaeróbicos de alta tasa	35

1. INTRODUCCION

En el campo es muy fácil encontrar que las aguas y residuos sólidos generados en las actividades agropecuarias se disponen inadecuadamente, cerca o en las mismas corrientes superficiales, ocasionando problemas de contaminación y de salud pública a los habitantes que utilizan aguas abajo dicha fuente para su abastecimiento, desconociendo que con un manejo adecuado de estos desechos se pueden obtener beneficios socioeconómicos y ambientales.

La tecnología de la digestión anaeróbica como la de los biodigestores y la digestión aeróbica como la del compostaje son aplicables en nuestro medio debido a que las condiciones del clima tropical son apropiadas para el tratamiento de residuos líquidos y sólidos que se generan en las actividades agropecuarias. Mediante el proceso anaeróbico, la materia orgánica se transforma en dos subproductos que son el biogás y el bioabono. El primero es una fuente alterna de energía y el segundo se utiliza como fertilizante en reemplazo de los abonos químicos.

2. DIGESTION DE LA MATERIA ORGANICA

En el ambiente bioquímico la materia orgánica se puede descomponer mediante dos opciones básicas: el ambiente aeróbico en el cual el oxígeno actúa como receptor final de los electrones liberados en la descomposición, y el ambiente anaeróbico en donde el receptor final es otro agente diferente del oxígeno.

2.1. AMBIENTE AEROBICO Y ANAEROBICO

En el proceso aeróbico la energía contenida en los enlaces químicos de la materia orgánica es liberada al permitirse el flujo de los electrones desde estos compuestos hasta el oxígeno, esta energía es utilizada por los microorganismos aerobios para sus procesos metabólicos de crecimiento y reproducción y se libera calor.

En el proceso anaeróbico la energía contenida en los enlaces de los compuestos orgánicos queda en su mayor parte contenida en los enlaces del metano (CH_4), que dada su característica gaseosa a condiciones normales de temperatura y presión, escapa hacia la atmósfera. El resto de la energía queda a disposición de los microorganismos para su uso en los procesos metabólicos.

La digestión anaeróbica se puede definir como el proceso de degradación de la materia orgánica por la acción coordinada de diversos grupos de microorganismos, en aquellos ambientes en ausencia de oxígeno u otros agentes oxidantes fuertes (SO_4^{2-} , NO_3^- , etc.); como subproducto de ellas se obtiene un gas denominado biogás cuya composición básica es Metano y Dioxido de carbono, (95%), y con la presencia adicional de Nitrógeno, Hidrógeno, Amoníaco y Sulfuro de hidrógeno (usualmente en proporciones menores del 1%).

2.2. COMPARACION ENTRE PROCESO AEROBICO Y ANAEROBICO

Históricamente el proceso aeróbico ha tenido una mayor aplicación en el tratamiento de las aguas residuales y solamente hasta la década de los 80 se desarrollaron reactores anaeróbicos que hacen factible competir en eficiencia, operatividad y costos con los aeróbicos.

A continuación se presenta una comparación entre los dos procesos (Rodriguez, 1984).

- Arranque lento y delicado del proceso.
- Gran sensibilidad a las economías de escala.
- El efluente requiere de post-tratamiento.
- Procesos metabólicos menos eficientes.

De lo anterior se puede concluir que si los procesos anaeróbicos superan las deficiencias de difícil operación y menor eficiencia, competirán favorablemente en costos en relación con los procesos aeróbicos, abriendo una opción más barata en el saneamiento ambiental en países como Colombia.

2.3. ETAPAS DEL PROCESO ANAEROBICO

El proceso anaeróbico ocurre en cuatro etapas así:

2.3.1. Hidrólisis

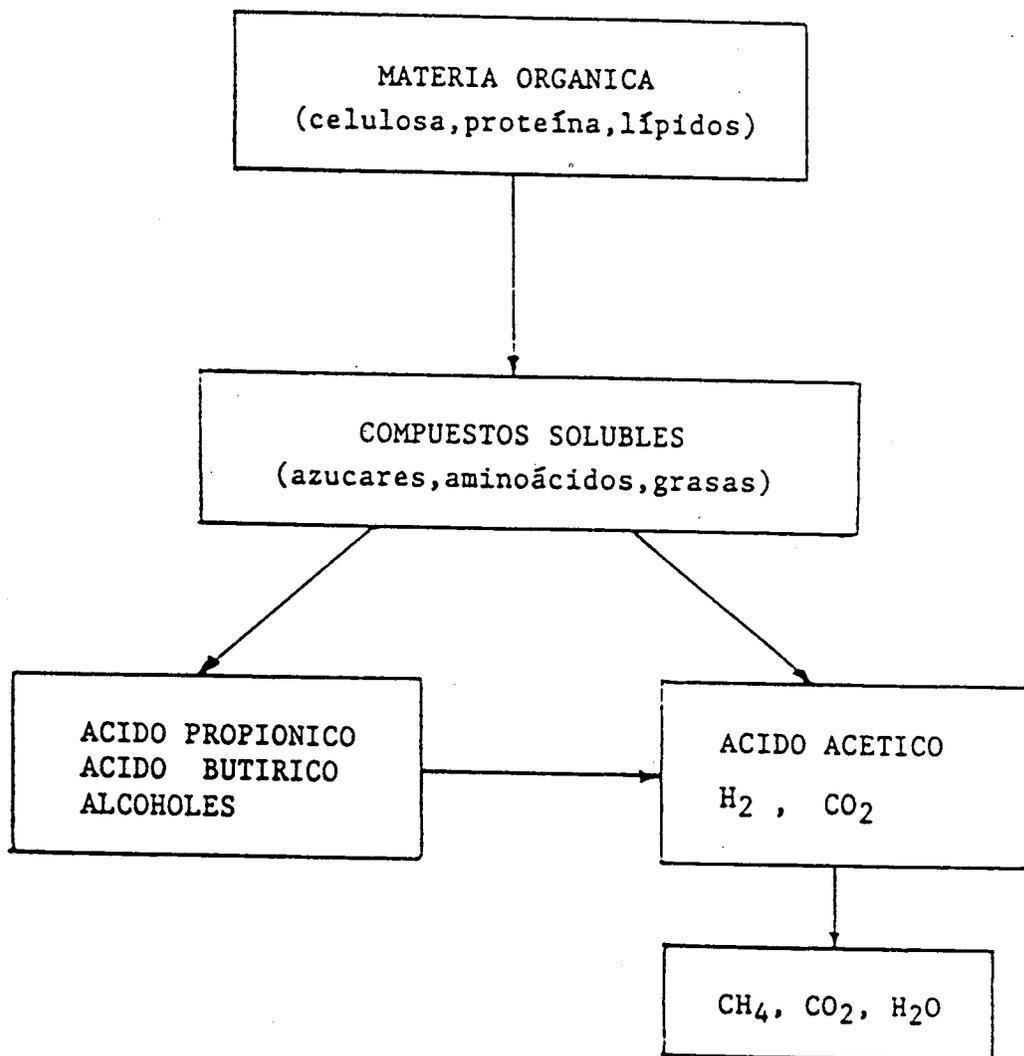
Los sustratos complejos como celulosa, proteínas, lípidos, etc. son hidrolizados en compuestos solubles como azúcares, aminoácidos y grasas por la acción de enzimas extracelulares de las bacterias.

ANAEROBICO

AEROBICO

- Menor producción de lodos para disponer.
 - Menores costos de operación no requiere oxígeno.
 - Producción de subproductos utilizables (Metano).
 - Posibilidad de degradar compuestos policlorados tóxicos.
 - Acepta altas cargas orgánicas e hidráulicas.
 - Bajos requerimientos de nutrientes.
 - Sensible a cambios súbitos en la aplicación de cargas dificultando su operación.
- Mayor producción de materia celular por unidad de sustrato consumido.
 - Altos costos de operación por la necesidad de aireación.
 - Mejor eficiencia de remoción de carga contaminante.
 - Existe gran experiencia con el proceso.
 - Limitación física en las cargas orgánicas que pueda manejar.
 - Altos consumos de nutrientes.
 - Operatividad comprobada.

DIAGRAMA DEL PROCESO ANAEROBICO



2.3.2. Acidogénesis

Los compuestos solubles son fermentados ácidos grasos volátiles (ácido acético, propionico y butírico principalmente), alcoholes, hidrógeno y CO₂. Esta etapa se conoce también como fermentativa.

2.3.3. Acetanogénesis

Ocurre cuando las bacterias acetogénicas oxidan el ácido propiónico y butírico hasta ácido acético e hidrógeno que son los verdaderos substratos nitrogenados.

2.3.4. Metanogénesis

Es cuando el ácido acético y el hidrógeno son tomados dentro de las células bacteriales metanogénicas convirtiéndolos en metano y excretándolo fuera de la célula.

2.4. PARAMETROS DEL PROCESO ANAEROBICO

El proceso de tratamiento anaeróbico de la materia orgánica requiere de las siguientes condiciones:

2.4.1. pH

Es un factor muy importante porque determina la inhibición o toxicidad de las bacterias metanogénicas cuando el pH es inferior a 6.0 unidades. Se recomienda mantener el pH en el biodigestor entre 6.5 y 7.5 unidades.

2.4.2. Temperatura

De acuerdo con la temperatura, los ambientes anaeróbicos pueden dividirse en tres categorías:

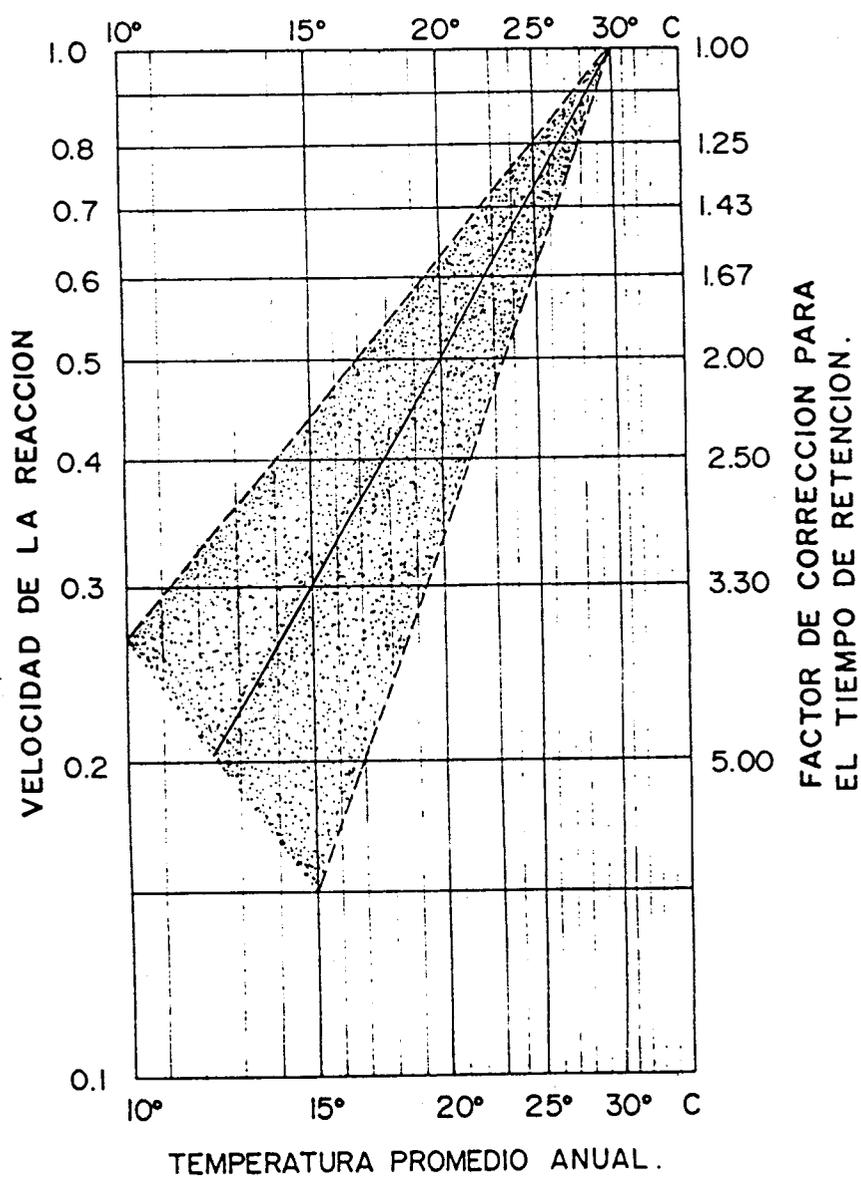
- Psicofílicos: 0 - 20°C
- Mesofílicos : 20 - 45°C
- Termofílicos : 45 - 97°C

2.4.3. Tiempo de retención

Es el período de tiempo que permanece la materia orgánica dentro del sistema para alcanzar la degradación, y está directamente relacionado con la temperatura ambiental.

En condiciones óptimas de temperatura (30°C), el tiempo de retención (TR) es de 20 días; para otras temperaturas el TR varía de acuerdo al factor que se determine en la figura N° 1.

FIGURA No. 1. Influencia de la temperatura sobre el tiempo de retención



RANGO DE TEMPERATURA	TIEMPO DE RETENCION
Psicrofílico	> 40 días
Mesofílico	10 - 40 días
Termofílico	< 10 días

2.4.4. Relación C/N

Las materias orgánicas que se utilizan como sustrato están compuestas en su mayor parte por Carbono (C) y contienen Nitrógeno (N). La relación ideal es entre 20:1 hasta 30:1.

2.4.5 Amoniaco

Este parámetro cobra importancia cuando se utilizan materiales que contienen un alto porcentaje de Nitrógeno, como es el caso de las aves. Para un correcto funcionamiento los niveles dentro del sistema deben mantenerse por debajo de los 2.000 mg/l.

3. BIODIGESTORES CONVENCIONALES Y DE ALTA TASA

Los biodigestores convencionales son utilizados generalmente para tratar sustratos concentrados con alto contenido de sólidos como el estiércol de bovinos, porcinos y otros materiales orgánicos de animales, que se degradan con tiempos de retención superiores a 20 días.

Los biodigestores de alta tasa son utilizados para tratar aguas residuales diluidas con contaminantes solubles como aguas mieles de café, vinazas, domésticas, etc.. Estos sistemas trabajan con tiempos de retención relativamente cortos (6-72 horas), debido a que posee un lecho de biomasa activa que soporta altas cargas orgánicas.

Entre los sistemas de alta tasa se encuentran los reactores anaeróbicos de flujo ascendente con manto de lodos (UASB), filtros anaerobicos, reactores híbridos, lechos fluidizados, etc.

4. TIPOS DE MATERIALES ORGANICOS Y CARACTERISTICAS

4.1. MATERIALES UTILIZADOS EN BIODIGESTORES CONVENCIONALES

Los materiales de fermentación utilizados como material de carga en biodigestores convencionales se componen de:

- Sustancias sólidas orgánicas
- Sustancias sólidas inorgánicas
- Agua

El biogás es producido por la fermentación del material orgánico y los materiales inorgánicos (minerales y metales) no sufren ningún cambio durante el proceso.

El agua aumenta la fluidéz del material de fermentación, haciendo más fácil el proceso de digestión y el funcionamiento del biodigestor. Un material orgánico con cinco a 10 % de partes sólidas es apropiado para la operación de plantas de biogás continuas.

En el área de jurisdicción de la CVC se ha trabajado con

materiales orgánicos generados en las actividades pecuarias (bovinos y porcinos) cuyas características se presentan en la tabla Nº 1.

TABLA Nº 1. Características de los estiércoles de vacunos y porcinos.

DATOS BASICOS	TIPO DE ANIMAL	
	CERDO	VACA
Cantidad de estiércol fresco/24 horas en porcentaje de peso vivo (P.V.)	3 %	6 %
Porcentaje de solidos volatiles (SV) en estiércol fresco	20 %	16 %
Cantidad de estiércol por 500 Kg de P.V.	15 Kg	30 Kg
Cantidad de solidos volatiles por 500 Kg de P.V. Cantidad de solidos volatiles por 1 Kg. de P.V.	3 Kg 6 g.	4,8 Kg 7,6 g.
Produccion de biogas por 100 Kg de P.V.	0.25 m3	0.21 m3
Produccion de biogas por Kg de SV	0.42 m3	0.22 m3

Existen otros materiales orgánicos animales que también pueden emplearse como sustrato para la producción de biogás y bioabono cuyas características se presentan en la tabla Nº 2.

TABLA Nº 2. Características de otros estiércoles animales

CLASE ANIMAL	CANTIDAD DIARIA		% MATERIAL DE FERMENTACION		PRODUCCION DE BIOGAS (L/kg SV)
	Estiercol en % del peso vivo	Orina en % del peso vivo	% solidos totales	% solidos organicos	
Caprinos y Ovinos	3	1.5	30	20	200
Caballos	5	4.0	25	15	250
Aves (gallinas)	4.5	4.5	25	17	400

Los desechos vegetales tales como la paja, tallos de maíz, pasto, hojas, etc. pueden fermentarse anaerómicamente en plantas tipo batch, las cuales no son muy populares debido a que la carga y el vaciado son intermitentes y tienen tendencia a formar capa flotante. Por lo anterior es más aconsejable tratar este tipo de residuos mediante compostaje (ver tabla Nº 3).

La madera y partes maderables de plantas con alto contenido de celulosa resisten la fermentación anaeróbica, por lo tanto no deben ser utilizados para la carga de un biodigestor.

TABLA Nº 3. Características de algunos residuos vegetales y posible producción de biogás.

MATERIAL FRESCO	% SOLIDOS TOTALES	% SOLIDOS ORGANICOS	PRODUCCION DE BIOGAS (L. Biogas/Kg. SV)
Paja de Arroz	89	93	220
Paja de Trigo	82	94	250
Paja de Maiz	80	91	410
Hierba Fresca	24	89	200
Jacinto de Agua	7	75	325
Bagazo	65	78	100
Desecho de Verduras	12	86	350

4.2. MATERIALES UTILIZADOS EN BIODIGESTORES DE ALTA TASA

Tambien se han realizado estudios en el área jurisdiccional de la CVC, para el tratamiento de las aguas residuales generadas en el beneficio del café, mediante filtros anaeróbicos y reactores UASB.

5. BIODIGESTORES CONVENCIONALES

Los biodigestores son tanques cerrados dentro de los cuales la materia orgánica es degradada por acción de microorganismos, transformándola en subproductos útiles como son el biogás y el bioabono.

5.1. TIPOS DE BIODIGESTORES

Los biodigestores o plantas de biogás sencillas se distinguen en tres tipos principales:

- Planta con campana flotante
- Planta con cúpula fija
- Planta balón.

5.1.1. Planta con campana flotante

La planta con campana flotante se compone de un digestor sostenido en mampostería y un depósito de gas móvil en forma de campana, que puede flotar directamente en la masa de fermentación o en un anillo de agua.

La campana debe tener una guía central y otras laterales para que el movimiento sea vertical y evite que se ladee; su altura depende del gas acumulado.

5.1.1.1. Ventajas

- La mampostería tiene una larga vida útil.
- La presión del gas es constante.
- Es de fácil manejo.

5.1.1.2. Desventajas

- Alto costo en la construcción de la campana.
- Generalmente la campana es metálica y se corroe fácilmente.
- Requiere mantenimiento periódico de la campana.

5.1.2. Planta con cúpula fija

La planta con cúpula fija se compone de un digestor construido en mampostería y un domo fijo e inmóvil completamente cerrado donde se almacena el biogás. Durante la producción de biogás, la masa de fermentación es desplazada hacia el tanque de compensación y cuando se extrae el gas, la masa líquida vuelve hacia el biodigestor. A través de constantes oscilaciones de la masa de fermentación

en la parte superior de la cúpula se evita la formación de la capa flotante.

5.1.2.1. Ventajas

- El sistema tiene una larga vida útil; entre 15 y 20 años.
- No posee partes móviles y/o metálicas que se puedan oxidar.
- La construcción es subterránea, por eso está protegida contra bajas temperaturas.

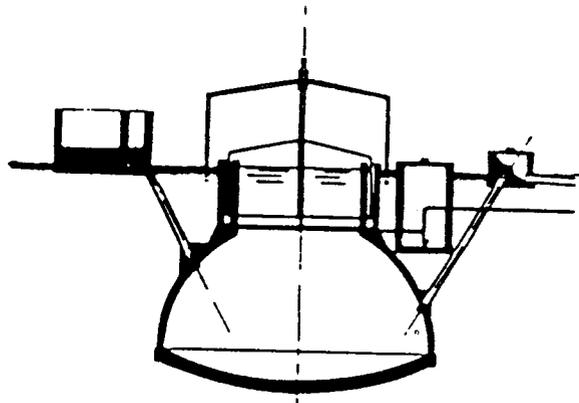
5.1.2.2. DESVENTAJAS

- Debe efectuarse un buen sellado de la cúpula para evitar porosidades y grietas cuando se alcance la presión máxima.
- La presión del gas no es constante.

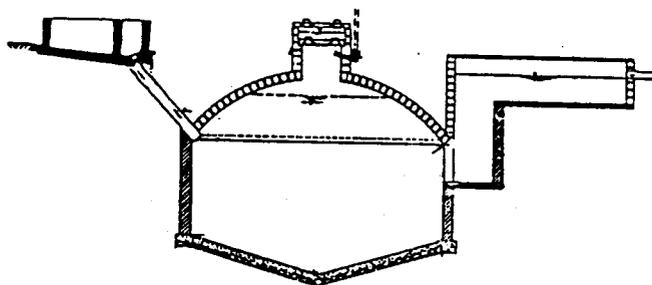
5.1.3. Planta balón

La planta balón se compone de un material plástico o de caucho (polietileno, PVC, plastilona gruesa) completamente sellado. La entrada y la salida están sujetas directamente en los extremos de la bolsa. La parte inferior de la planta (75% del volumen) constituye la masa de fermentación y en la

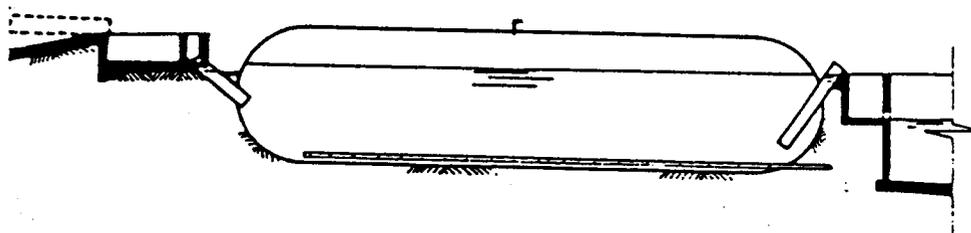
FIGURA No. 2. Tipos de biodigestores



PLANTA DE CAMPANA FLOTANTE



PLANTA DE CUPULA FIJA



PLANTA DE BALON PLASTICO

4.2. DISEÑO

Los datos más importantes para el diseño de una planta de biogás deben ser recopilados en visita de inspección al sitio, teniendo en cuenta los aspectos que se presentan en el formato de recolección de información preliminar (ver anexo N° 1).

Después de determinar la factibilidad de llevar a cabo el proyecto, se procederá a calcular el volumen del biodigestor con base en los datos de material orgánico disponible.

Ejemplo: Determinar el volumen de un biodigestor con la siguiente información:

-	Temperatura ambiental: 25 C		
-	Tipo de animales	Nº	Peso Vivo Prom. estabulación
	Vacunos	10	400 kg 6 horas
	Porcinos	100	45 kg 24 horas

* Cálculos

La producción de estiércol (kg/día) se calcula de la siguiente manera:

N° vacas * Peso vivo prom. * 6% * estabulación/24

N° cerdos * Peso vivo prom. * 3%

La cantidad total de estiércol será:

vacunos: 60 kg/d

porcinos: 135 kg/d

total: 195 kg/d

Mezcla de agua requerida:

Se recomienda una relación estiércol:agua no mayor de 1:3, por lo tanto la cantidad total de agua necesaria es:

$$195 \text{ kg agua/día} * 3 = 585 \text{ kg/día}$$

Cantidad de biomasa total:

$$\begin{aligned} 195 \text{ kg estiércol/día} + 585 \text{ kg agua/día} &= 780 \text{ kg biomasa/día} \\ &= 0.78 \text{ m}^3/\text{día} \end{aligned}$$

Tiempo de retención (TR):

Para una temperatura de 30 °C, el tiempo de retención es de 20 días, para T= 25 °C el tiempo de retención debe corregirse de acuerdo con el factor que se determine en la figura No 1.

$$TR = 20 \text{ días} * 1.3 = 26 \text{ días}$$

Volumen del biodigestor (Vd):

$$Vd = 0.78 \text{ m}^3/\text{día} * 26 \text{ días} = 20.28 \text{ m}^3$$

La producción de biogás (Pg) depende del tipo de estiércol y se calcula así:

$$Pg(\text{vacuno}) = 0.21 \text{ m}^3 \text{ biogás} / 100 \text{ kg peso vivo} * \text{estabulación}$$

$$Pg(\text{porcino}) = 0.25 \text{ m}^3 \text{ biogás} / 100 \text{ kg peso vivo}$$

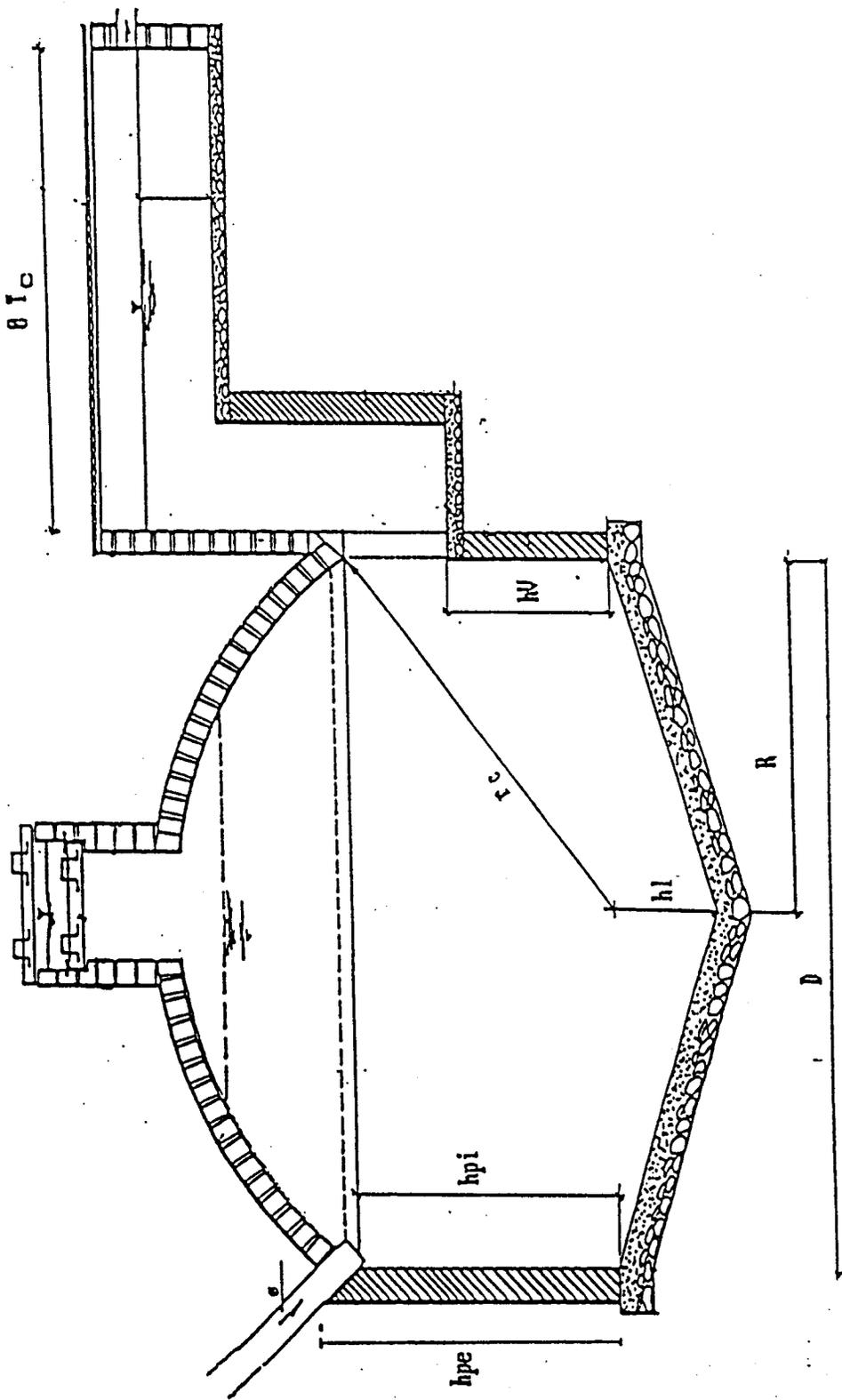


FIGURA Nº 3. Plano esquemático de biodigestor tipo cúpula fija estandarizado.

De acuerdo a lo anterior se tiene que:

$Pg(\text{vacunos}) = 2.1 \text{ m}^3$

$Pg(\text{porcinos}) = 11.25 \text{ m}^3$

$Pg \text{ total} = 13.35 \text{ m}^3 \text{ biogás/día}$

5.2.1. Dimensionamiento

Para el dimensionamiento del biodigestor con cúpula fija se consideran las fórmulas básicas que se presentan en la tabla Nº 5.

TABLA Nº 4. Formulas básicas para el dimensionamiento de biodigestores tipo cúpula fija.

<u>VOLUMENES PARCIALES</u>	<u>DENOMINACION</u>	<u>PROPORCIONES</u>
$V1 = R^2 \times hp$	U = Unidad en metros	$ho = 2 \times U$
$V2 = h^2_o \times \pi \times (ro - \frac{ho}{3})$	hc = Altura Cupula	$hp = 3 \times U$
$V3 = R^2 \times \pi \times \frac{hl}{3}$	hp = altura pared	$R = 4 \times U$
	R = Radio basico	$ro = 5 \times U$
	ro = Radio cupula	$D = 8 \times U$
	D = Diametro (2xR)	$hl = 15 \% D$
	hl = Altura cono	

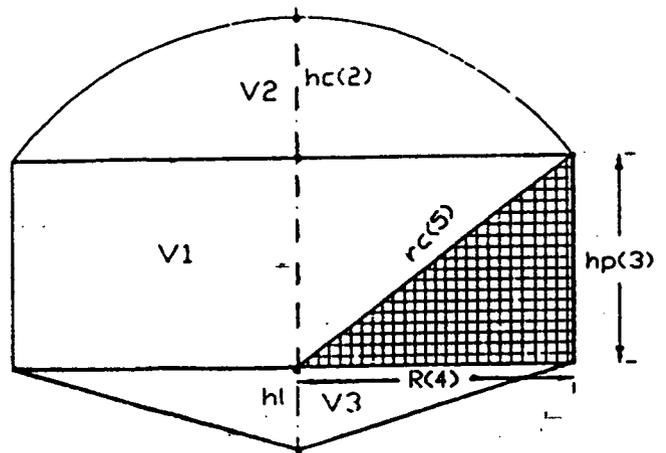
VOLUMENES TOTALES

$V_{tot} = V1 + V2 + V3$

$V_{tot} = R^3 \times \pi \times 1.121$

RADIO DEL VOLUMEN DEFINIDO

$$R = \sqrt[3]{\frac{V_{tot} \times 0.893}{\pi}}$$



5.2.2. ESTANDARIZACION

Para facilitar las labores de diseño de las plantas se ha elaborado una estandarización de diferentes volúmenes de biodigestores de 14.4, 22.5, 34.5 y 47.5 m³ (ver tabla N^o 5): Los planos correspondientes a los volúmenes anteriores se presentan en el anexo 2.

TABLA N^o 5. Volúmenes estandarizados de biodigestores tipo cúpula fija.

VD	VG	D = 2 x R	r _c = 5 x U	R = 4 x U	h _{pi} = 3xU	h _{pe}	h _l = 15xD	h _v	8 Tc	U = $\frac{R}{4}$
(m) ³	(m) ³	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
14.0	2.82	3.20	2.00	1.60	1.20	1.31	0.48	0.60	2.66	0.40
22.5	4.82	3.76	2.35	1.88	1.41	1.52	0.56	0.81	3.46	0.47
34.5	7.33	4.32	2.70	2.16	1.62	1.73	0.65	1.00	4.06	0.54
47.5	10.0	4.80	3.00	2.40	1.80	1.91	0.72	1.20	4.56	0.60

VD = Volumen Biodigestor

VG = Volumen Almacenamiento de Gas

h_{pi} = Altura muro cilindro interna

h_{pe} = Altura muro cilindro externo

h_v = Altura del tanque de compensacion

Tc = Tanque de compensacion

h_l = Altura cono

R = Radio cupula

5.2.3. Materiales y costos

En las tablas N° 6, 7, 8 y 9 se encuentran los listados de cantidad de materiales, mano de obra y costo para cada uno de los volúmenes estandarizados.

4.3. CONSTRUCCION, ARRANQUE, OPERACION Y MANTENIMIENTO

El presente capítulo se encuentra ampliamente detallado en el manual titulado BIODIGESTORES CUPULA FIJA, Guía de construcción.

TABLA No. 6. Cantidad de materiales y presupuesto del biodigestor cúpula fija V = 14 m³

cod.	cod.	1. MATERIALES	OND	CANT	V/O	TOTAL	Descripcion de los materiales
1.1	1.1	Cemento	BOLT.	50	2250.00	\$111,818.72	Cemento tipo portland
1.2	1.2	Arena	M3	6.0	4300.00	\$25,948.57	Arena lavada sin materia organica
1.3	1.3	Grava	M3	5.5	5000.00	\$27,315.14	Agregado grueso para el concreto tamaño 3/4"
1.4	1.4	Imperm. gas cupula	Lt.	4	1500.00	\$5,454.20	
1.5	1.5	Ladrillo	OND	1265	33.00	\$41,758.87	Ladrillo bien cocido 23cmX12cmX7.5cm
1.6	1.6	Bloque	OND	179	260.00	\$46,437.95	Bloque estructural 39cmX19cmX14cm fc min 120 kg
1.7	1.7	Hierro 3/8 A-37	Kg.	18	350.00	\$6,336.85	
1.8	1.8	Hierro 1/4 A-37	Kg	20	375.00	\$7,500.00	
1.9	1.9	Funtilla	KG	3	600.00	\$1,800.00	
1.10	1.10	Alambre de anarre	Kg.	4	520.00	\$2,080.00	
1.11	1.11	Esterilla	OND	11	500.00	\$5,293.43	
					Sub-tot	\$281,743.73	
		2. NOV. DE TIERRAS(1)					
2.1	2.1	Excavacion a mano	M3	25.7	2000.00	\$51,380.87	
2.2	2.2	Relleno apisonado	M3	11	1500.00	\$16,785.65	Debe hacerse por capas de 15cm y apisonado a san
					Sub-tot	\$68,166.52	
		3. TUBERIAS Y ACCESORIOS					
3.1	3.1	Tuberia San. D=4"(PVC)	ML	5	3037.44	\$15,187.20	
3.2	3.2	Codo San D=4" 45°	OND	1	1200	\$1,200.00	
3.3	3.3	Tuberia pres. D=3/4"(PVC)	ML	1	330.00	\$330.00	
3.4	3.4	Tuberia D=3/4"(PVC)	OND	0	0.00	\$0.00	
3.5	3.5	Codo D=3/4"(PVC)	OND	0	0.00	\$0.00	
3.6	3.6	Empalme(PVC)	Kg.	0.13	3403.00	\$425.38	
3.7	3.7	Soldadura(PVC)	Gal.	0.13	5543.00	\$705.38	
3.8	3.8	Tuberia san. D=4"	ML	0	0.00	\$0.00	
3.9	3.9	Tapon 4" PVC	OND	0	0.00	\$0.00	
					Sub-tot	\$17,847.95	
		4. MANO DE OBRERA					
				Señapas	Sal/Señ		
4.1	4.1	Maestro	Sal.	3	30000.00	\$90,000.00	
4.2	4.2	Oficial	Sal.	3	20000.00	\$60,000.00	
4.3	4.3	Apudante	Sal.	3	15000.00	\$45,000.00	
					Sub-tot	\$195,000.00	
		Imprevistos 5%				\$24,729.58	
		Indirectos				\$0.00	
					Total	\$587,487.78	

(1) (1) El movimiento de tierras es realizado por el usuario.
Los accesorios para el uso del BIODIGESTOR no están incluidos.
Los precios son de la ciudad de Cali (Valle).

Observaciones
Los costos de los materiales 1.2, 1.3 incluyen porte hasta una distancia entre 0-30 Est. desde el sitio de venta. Los otros materiales no incluyen el transporte, por lo tanto el usuario debe tener en cuenta esta observación dependiendo de la ubicación del predio. En esta planta no se cotiza el drenaje.

TABLA No. 7. Cantidad de materiales y presupuesto del biodigestor cúpula fija V = 22.5 m³

cod.	1. MATERIALES(*)	UND	CANT	V/U	TOTAL
1.1	Cemento	BULT.	63	2250.00	\$141,129.88 Tipo portland.
1.2	Arena	M3	8.1	4300.00	\$35,041.41
1.3	Grava	M3	7.3	5500.00	\$40,065.38
1.4	Impermeabilizante cup.	Lt.	6	1792.00	\$10,752.00
1.5	Ladrillo cupula	UND	1966	35.00	\$68,800.35 Ladrillo de buena calidad
1.6	Bloque de concreto	UND	229	260.00	\$59,512.27 Bloque concreto sin fisuras
1.7	Hierro 3/8	Eg.	18	350.00	\$6,211.67 A-37
1.8	Hierro 1/4	Eg	21	375.00	\$7,687.50 A-37
1.9	Hierro 1/2	EG	13	400.00	\$5,338.44
1.10	Alambre de azarre	Eg.	3	520.00	\$1,560.00
1.11	Esterilla	UND	6	500.00	\$3,086.52
1.12	Puntilla	Eg.	2	700.00	\$1,400.00
				Sub-tot	\$350,585.42
	2. MOV. DE TIERRAS(1)				
2.1	Excavacion a mano	M3	45.6	2000.00	\$91,225.96
2.2	Relleno apisonado	M3	23	1800.00	\$41,051.68 Relleno uniforme por capas de 10cms.
				Sub-tot	\$132,277.64
	3. TUBERIAS Y ACCESORIOS (2)				
3.1	Tuberia San. D=4" (PVC)	ML	5	3037.44	\$15,187.20
3.2	Codo San D=4" 45°	UND	1	1200	\$1,200.00
3.3	Tuberia pres. D=3/4" (PVC)	ML	1	330.00	\$330.00
3.4	Union soldada D=3/4" (PVC)	UND	0	0.00	\$0.00
3.5	Codo D=3/4" (PVC)	UND	0	118.00	\$0.00
3.6	Limpiador (PVC)	Eg.	0.13	3403.00	\$425.38
3.7	Soldadura (PVC)	Gal.	0.13	5643.00	\$705.38
3.8	Tuberia can. D=4"	ML	0	0.00	\$0.00
3.9	Tapon roscado 4"	UND	0	0.00	\$0.00
				Sub-tot	\$17,847.95
	4. MANO DE OBRA				
		Señales	Sal/Señ		
4.1	Maestro	Sal.	4	35000.00	\$140,000.00
4.2	Oficial	Sal.	4	20000.00	\$80,000.00
4.3	Ayudante	Sal.	4	15000.00	\$60,000.00
				Sub-tot	\$280,000.00
4.4	Imprevistos 5%				\$33,521.67
4.5	Indirectos				\$0.00
				TOTAL	\$844,632.67

Observacion

Los materiales 1.1 a 1.3 incluyen transporte entre 0-25 km. los demas materia les no lo incluyen el usuario debe tener esto en cuenta para reajustarlos en su vereda.

- (1) El movimiento de tierras es realizado por el usuario.
- (2) No se contempla tubería y accesorios para BIOMAS
- (3) Los costos son en la ciudad de Cali

TABLA No. 8. Cantidad de materiales y presupuesto del biodigestor cúpula fija $V = 34.5 \text{ m}^3$

cod.	1. MATERIALES	UND	CANT	V/U	TOTAL	
1.1	Cemento	BULT.	93	2250.00	\$209,448.83	Tipo portland.
1.2	Arena	M3	11.2	4300.00	\$48,006.62	
1.3	Grava.	M3	6.6	5500.00	\$36,247.57	
1.4	Imperm. Cupula	Lt.	11	1600.00	\$18,087.69	
1.5	Ladrillo	UND	2587	35.00	\$90,543.29	De buena calidad.
1.6	Bloque	UND	296	260.00	\$76,836.90	f'c=120Kg/cm ² Bloque 30cmx19cmx14cm
1.7	Hierro 3/8	Kg.	23	350.00	\$7,881.29	A-37
1.8	Hierro 1/4	Kg	45	375.00	\$16,695.48	A-37
1.9	Hierro 1/2	KG	15	400.00	\$6,042.13	
1.10	Alambre de anarre	Kg.	4	520.00	\$2,080.00	
1.11	Esterilla	UND	14	500.00	\$7,052.67	
1.12	Puntilla	KG.	3	600.00	\$1,800.00	
				Sub-tot	\$520,722.47	
	2. MOV. DE TIERRAS(1)					
2.1	Excavacion a mano	M3	73.6	2000.00	\$147,236.94	
2.2	Relleno apisonado	M3	37	1500.00	\$55,213.85	Debe hacerse por capas de 10 cm
				Sub-tot	\$202,450.79	
	3. TUBERIAS Y ACCESORIOS					
3.1	Tuberia San. D=4" (PVC)	NL	5	2688.00	\$13,440.00	
3.2	Codo San D=4" 45°	UND	1	3000	\$3,000.00	
3.3	Tuberia pres. D=3/4(PVC)	NL	1	330.00	\$330.00	
3.4	Union soldada D=3/4(PVC)	UND	0	0.00	\$0.00	
3.5	Codo D=3/4(PVC)	UND	0	118.00	\$0.00	
3.6	Limpiador(PVC)	Kg.	0.13	3403.00	\$425.38	
3.7	Soldadura(PVC)	Gal.	0.13	5643.00	\$705.38	
3.8	Tuberia san.D=6"	NL	5	5394.00	\$26,754.24	
3.9	Copuerta de 6"	UND	0	0.00	\$0.00	
				Sub-tot	\$44,654.99	
	4. MANO DE OBRA					
			Seanas	Sal/Sean		
4.1	Mzestro	Sal.	4	30000.00	\$120,000.00	
4.2	Oficial	Sal.	4	20000.00	\$80,000.00	
4.3	Ayudante	Sal.	4	15000.00	\$60,000.00	
				Sub-tot	\$260,000.00	
24	Imprevistos 5%				\$41,268.87	
25	Indirectos				\$0.00	
				Total	\$1,069,097.13	

Observacion:El costo de los materiales es en la ciudad de Cali, solo se incluye el transporte de los agregados para morteros y concretos hasta una distancia de 25 Int.

- (1) El movimiento de tierras es realizado por el ucuario.
 Los accesorios para el uso del biogas no estan incluidos.
 Los costos son de Cali(Valle)

TABLA No. 9. Cantidad de materiales y presupuesto del biodigestor cúpula fija V = 47.5 m³

cod.	1. MATERIALES	UND	CANT	V/O	TOTAL	
1.1	Cemento	BOLY.	108	2250.00	\$242,680.56	Tipo portland
1.2	Arena	M3	12	4300.00	\$52,764.08	Arena lavada
1.3	Grava	M3	10	5500.00	\$55,317.26	
1.4	Impera. Cupula	Lt.	9	1600.00	\$14,250.26	
1.5	Ladrillo cupula	UND	2563	35.00	\$89,707.56	Bien cocido y de buena calidad
1.6	Bloque .39x.19x.14	UND	362	260.00	\$94,065.92	Min 120 kg/cm², sin fisuras
1.7	Hierro 3/8	Kg.	15	350.00	\$5,216.20	A-37
1.8	Hierro 1/4	Kg	35	375.00	\$13,173.68	A37
1.9	Hierro 1/2	KG	31	400.00	\$12,490.60	
1.10	Alambre de asarre	Kg.	6	520.00	\$3,120.00	
1.11	Esterilla	UND	8	500.00	\$3,903.31	
1.12	Puntilla	Kg	2	600.00	\$1,200.00	
				Sub-tot	\$567,889.45	
	2. MOV. DE TIERRAS(1)					
2.1	Excavacion a mano	M3	84.9	2000.00	\$169,738.38	
2.2	Relleno apisonado	M3	36	1800.00	\$65,104.54	
				Sub-tot	\$234,842.92	
	3. TUBERIAS Y ACCESORIOS (2)					
3.1	Tuberia San. D=4" (PVC)	ML	5	2668.00	\$13,440.00	
3.2	Codo San D=4" 45°	UND	1	3000	\$3,600.00	
3.3	Tuberia pres. D=3/4(PVC)	ML	1	330.00	\$330.00	
3.4	Union soldada D=3/4(PVC)	UND	0	0.00	\$0.00	
3.5	Codo D=3/4(PVC)	UND	0	116.00	\$0.00	
3.6	Limpiador(PVC)	Kg.	0.13	3403.00	\$425.38	
3.7	Soldadura(PVC)	Gal.	0.13	5643.00	\$705.38	
3.8	Tuberia san. D=6"	ML	5	5394.00	\$26,970.00	
3.9	Tapon resaca 6"	UND	1	1000.00	\$1,000.00	
				Sub-tot	\$45,870.75	
	4. MANO DE OBRA					
			Semanas	Sal/Sem		
4.1	Maestro	Sal.	5	30000.00	\$150,000.00	
4.2	Oficial	Sal.	5	20000.00	\$100,000.00	
4.3	Ayudante	Sal.	5	15000.00	\$75,000.00	
				Sub-tot	\$325,000.00	
14	Imprevistos 5%				\$47,538.01	
25	Indirectos				\$6.00	Observacion
				Total	\$1,241,541.13	Solo los materiales 1.2,1.3 se incluye el transporte hasta una distancia de 25 ll, el usuario debe tener en cuenta esta observacion para los costos en su vereda

- (1) El movimiento de tierras es realizado por el usuario.
 (2) No se incluye costos de tubería y accesorios de BIOGAS Cortes en Cali

6. REACTORES DE ALTA TASA

Los procesos anaeróbicos habían sido abandonados en los principios del siglo por su lentitud y su efluente maloliente, pero en la década del 60 ocurrió una evolución acelerada de los conocimientos sobre estos procesos, especialmente en los Estados Unidos, iniciándose el uso de los reactores anaeróbicos no convencionales para el tratamiento de desechos solubles de media y alta concentración de materia orgánica (DQO > 1000 mg/lit).

Alrededor de 1970, los técnicos Holandeses iniciaron una serie de investigaciones con sistemas anaeróbicos desarrollando el UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), el nuevo interés en estos sistemas fué estimulado por el incremento en los precios de la energía después de 1972 y por la dificultad en disponer las grandes cantidades de lodos en exceso producidos por los sistemas aeróbicos.

Estos reactores de alta tasa (high rate), se caracterizan por que el tiempo de retención de sólidos es superior al de retención hidráulico, la aglomeración de la biomasa produce una alta concentración de microorganismos para actuar sobre

el sustrato y asegurar un mejor contacto de este con los microorganismos, logrando trabajar con altas tasas orgánicas hasta de 50 kg DQO/m³/día a 30⁰C., además de reducir costos, pues requiere menores volúmenes.

Estos reactores se recomiendan para aguas residuales solubles y concentración de media a alta, aunque se han venido usando para aguas residuales complejas (parcialmente solubles) y con poca concentración.

Es muy importante conocer la biodegradabilidad, tasa de degradación y sedimentabilidad del material soluble (concentración de SS) para establecer la factibilidad de usar estos reactores de altas tasas.

Cuando la concentración de SST es del orden de 6 a 8 gr/lt y la DQO superior a 10 gr/lt es mejor utilizar digestores convencionales.

Se pueden aplicar medios fijos para retener o atrapar los microorganismos o reemplazar el material de soporte por un lecho de lodos formado de microorganismos, el cual es activado por el flujo ascendente o descendente de los desechos. En los reactores de alta tasa la relación TRS/TRH > 1.0.

6.1. TIPOS DE REACTORES

La clasificación del tipo de reactor depende de la forma como la biomasa se agrupe o retiene en el biodigestor. Los microorganismos pueden estar adheridos o no a un medio clasificándose los reactores así:

6.1.1. Con material de soporte

6.1.1.1. Reactor de lecho fijo (filtro anaeróbico)

6.1.1.2. Reactor de lecho móvil (discos rotatorios)

6.1.1.3. Reactor de lecho expandido

6.1.1.4. Reactor de lecho fluidizado

6.1.2. Con biomasa no adherida

6.1.2.1. Reactor con recirculación de lodos (contacto anaeróbico)

6.1.2.2. Reactor de manto de lodos

6.1.2.3. Reactor horizontal de baffles

6.1.2.4. Reactor con separación de las fases de digestión anaeróbica

También se puede usar una mezcla entre el UASB y el filtro anaeróbico denominado reactor híbrido.

En la tabla 10, aparecen las cargas orgánicas que pueden alcanzar los diferentes reactores anaeróbicos de alta tasa y los desechos que pueden tratar y en la figura 4, están esquematizados.

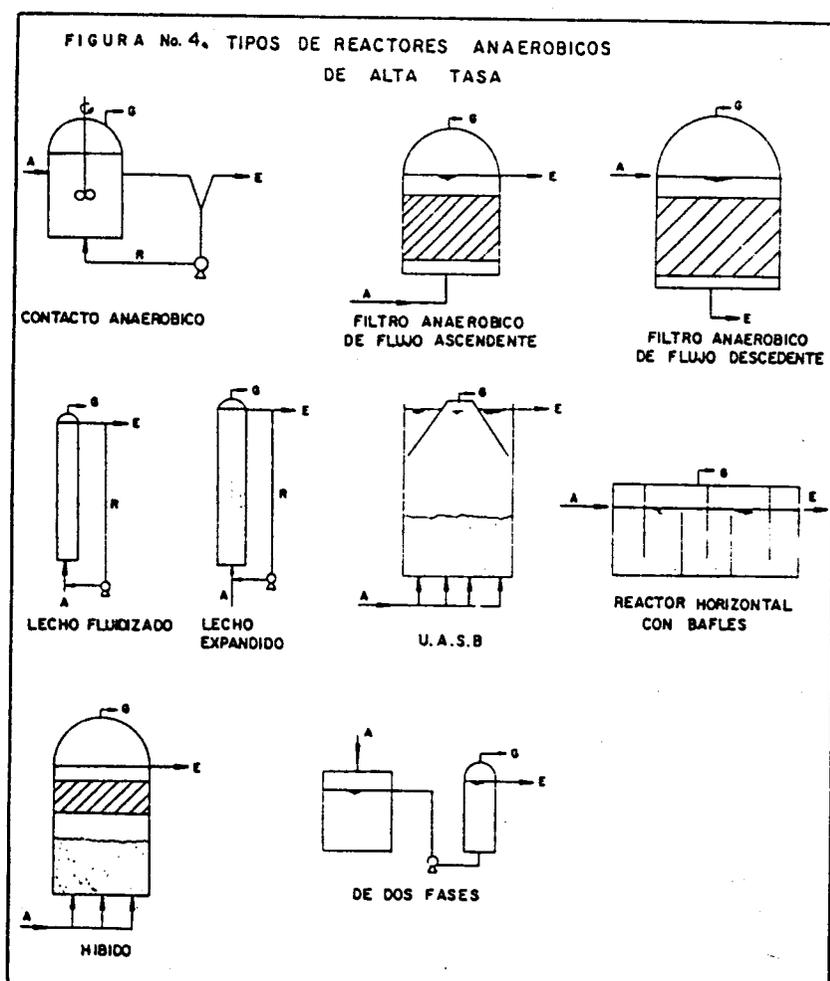


TABLA No. 10. Procesos anaeróbicos y características del desecho a tratar

	CARGA ORGANICA (KgDQO/m³-dia)	DQO SOLUBLE DESECHO (Kg/m³)	SOLIDOS SUSP. DESECHO (Kg/m³)
Filtro anaeróbico	2.0-20	0.5-50	0.0-10
Lecho fluidizado	5.0-50	0.5-50	0.0-5
Lecho expandido	1.0-40	0.5-50	0.0-5
UASB	0.5-40	0.5-20	0.0-5
Contacto anaeróbico	2.0-10	2.0-100	0.5-20
Con baffles	2.0-10	0.5-50	0.0-10
Híbrido	1.0-20	0.5-20	0.0-5

6.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS TRATAMIENTOS ANAEROBICOS

La masa de microorganismos responsables de la digestión anaeróbica, necesita de condiciones favorables tanto ambientales como nutricionales, además de las características hidráulicas apropiadas del reactor. Entre los parámetros más importantes están:

6.2.1. Temperatura

En el intervalo mesofílico (20-45°C), la actividad y el crecimiento de las bacterias disminuye en un 50% por cada 10°C de descenso por debajo de 35°C, por ello cuando la temperatura desciende la carga debe ser disminuida de acuerdo con el decremento en la actividad esperada. No se debe aumentar la temperatura por encima de 45°C, pues ocurre un deterioro de las bacterias. La temperatura óptima para este intervalo se encuentra en el rango de 35 a 37°C.

6.2.2. Nutrientes

La digestión anaeróbica por ser un proceso biológico, requiere ciertos nutrientes esenciales para el crecimiento. Se recomienda una relación para los macronutrientes de DQO:N:P:S de 350:5:1:1 para sustratos no acidificados y de 1000:5:1:1 para sustratos acidificados. También se requieren

micronutrientes como Ni, Co, Fe y Mo. Si la relación de DQO/S < 30, hay riesgo de toxicidad.

6.2.3. pH

Se recomienda mantenerlo en un intervalo de 6.5 a 7.5 unidades. Cuando el pH es inferior a 6.0, ocurre una inhibición de las bacterias metanogénicas (pH 6.7-7.4), las bacterias fermentativas se encuentran activas hasta pH 4.5, acumulándose los AGV y si no hay suficiente alcalinidad, se produce el colapso del sistema. Un pH alto es menos peligroso que un pH bajo, se ha encontrado que a un pH = 10.6 ocurre una recuperación rápida en la producción de metano.

6.2.4. Alcalinidad al Bicarbonato

Es el sistema amortiguador más importante en el proceso anaeróbico. Se recomienda que se halle entre 1500-4000 mg/Lt de CaCO_3 , para lograr amortiguar apropiadamente los incrementos en la concentración de los ácidos grasos volátiles con una mínima reducción en el pH.

$$AB = AT - (0.85) (0.833) TAV$$

AB = Alcalinidad al bicarbonato (mg/Lt CaCO_3)

AT = Alcalinidad total (mg/Lt CaCO_3)

TAV = Concentración total de ácidos volátiles (mg/lit CH_3COOH)

0.85 = 85% de los ácidos grasos volátiles son detectados a pH = 4.0

0.833 = Factor de transformación de ácidos grasos volátiles de CH_3COOH a CaCO_3

El nitrógeno amoniacal en concentraciones de 600-900 mg/lt, contribuye a la alcalinidad y por tanto a la estabilidad del proceso, por encima de 1500 mg/lt, lo inhibe a altos valores de pH.

6.2.5. AGV

En condiciones normales la concentración debe ser muy baja, su incremento brusco en el efluente debe ser tenido en cuenta como una señal de alarma, pues indica desequilibrio en el sistema.

Debe mantenerse la concentración de ácido acético por debajo de 200 gr HAC/m₃ (3 meq/lt), por encima de 800 gr/m₃, significa falla inminente del proceso.

En forma ionizada los ácidos orgánicos no son tóxicos para la metanogénesis, pero al disminuir el pH están menos ionizados causando inhibición de la actividad metanogénica, pues atraviesan la membrana celular. La relación AGV/alcalinidad debe mantenerse menor a 0.4, además si la relación A. propiónico/A. acético > 1.4, significa fallo inminente.

6.3. TRATAMIENTO ANAEROBICO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL BENEFICIO DEL CAFE

Se han realizado esfuerzos en la C.V.C., para desarrollar sistemas que permitan tratar las aguas residuales del proceso del café dada su alta carga contaminante, por via húmeda como los experimentos con floculación, lodos activados y filtros percoladores no fueron satisfactorios, se empezó a trabajar en 1984, con sistemas anaeróbicos de alta tasa, considerando los resultados obtenidos en Holanda con el sistema anaeróbico de manto de lodos de flujo ascendente (UASB), que permitia tratar desechos mediana y altamente concentrados, además de las ventajas que ofrecia en cuanto a la reducción de costos por trabajar con cargas orgánicas altas, tiempos de retencion bajos, producción de lodos baja, además de generar energía en forma de metano.

En el año de 1984, se investigó inicialmente a nivel de laboratorio con el sistema UASB para tratar ese tipo de desecho, se utilizó una columna de 12 lt, posteriormente se utilizó una columna de 270 lt, que se instaló en la finca cafetera Ambichinte, construyendo allí una planta a escala real con 24 m³, teniendo en cuenta los resultados óptimos obtenidos.

Dentro del convenio realizado con el comité departamental de cafeteros del Valle del Cauca, se efectuaron los diseños de tres reactores anaeróbicos de flujo ascendente, los cuales se construyeron en el periodo de 1991-1992, en predios localizados en los municipios de Sevilla, Ansermanuevo y Trujillo, cuyo arranque se está iniciando.

Posteriormente, durante casi un año se realizó un estudio de tratabilidad en el laboratorio de aguas de la CVC, para determinar la posibilidad de usar un filtro anaeróbico de flujo ascendente utilizando medio de soporte guádua, en el tratamiento de las aguas mieles que se generan en el beneficio del café por vía húmeda.

Como los resultados obtenidos en el estudio fueron promisorios, se construyó una planta piloto en la finca El Ciprés, municipio de El Dovio, con el apoyo económico del DRI, confirmandose la posibilidad de implantarse en beneficiaderos pequeños, dado su bajo costo, fácil manejo, uso de materiales como la guádua, que son de fácil consecución en la zona cafetera, además de generar biogás.

En este informe se incluye un resumen de los resultados obtenidos en los diferentes estudios realizados y los diseños de los sistemas de tratamiento.

6.3.1. Composición del agua residual del beneficio del café

En la tabla 11, se presenta los valores promedios de la composición del agua residual del beneficio del café.

TABLA No. 11. Composición del agua residual del beneficio del café

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD
Temperatura	23	°C
Color	137.5	Unidades
Turbiedad	1000	FTU
pH	4.7	Unidades
Conductividad	578.4	mmhos/cm
Residuo total	741	mg/lt
Residuo no filtrable total	410	mg/lt
Residuo no filtrable volátil	345	mg/lt
DQO	15450	mg/lt
DBO	6083	mg/lt
AGV	118.7	mg/lt
Carbono orgánico total	310	mg/lt

Durante el proceso de beneficio húmedo del café (ver figura 5), se efectúan tres operaciones básicas que generan aguas residuales:

- Despulpe
- Fermentación
- Lavado y clasificación

Aproximadamente un 60% de la carga expresada como kg DQO/día proviene del agua de despulpado y drenaje de la pulpa y un 40% de la fermentación, lavado y clasificación del café.

En cuanto al consumo de agua, se usan en promedio 20 lt/kg cps en las operaciones de lavado y clasificación y un volumen casi igual en el despulpado, transporte de la pulpa y del café en baba.

La composición química del agua residual y su alto contenido de sólidos solubles la hacen apropiada como sustrato de los sistemas anaeróbicos de alta tasa. Es un agua residual biodegradable en casi su totalidad durante la digestión anaeróbica, más del 80% de la DQO se convierte rápidamente en metano, contiene básicamente ácidos orgánicos simples de pectina y azúcares, provenientes del mucílago.

Al producirse la acidificación del agua miel, la proporción entre los AGV producidos depende del pH de operación. A pH bajo, la mayor parte de los AGV son C_2 y C_4 , mientras que en condiciones de pH neutros predomina el C_2 , facilitándose la fase metanogénica, como se observa en la tabla 13.

TABLA No. 12. Porcentaje de AGV según el pH

pH	C ₂	C ₃	C ₄
4.0	9	35	56
7.4	81	17	2

En el agua de la pulpa del café se encuentran algunos compuestos potencialmente tóxicos, como la cafeína, el ácido clorofénico y los taninos, pero que no afectan los sistemas anaeróbicos pues el lodo se adapta o las concentraciones no son inhibitorias.

6.3.2. Programa experimental y resultados

En la tabla 14, aparecen resumidos los resultados obtenidos durante las investigaciones realizadas con un reactor anaeróbico de flujo ascendente, a nivel de laboratorio (columna 23 lt) y a nivel de beneficiaderos (columna 270 lt).

TABLA No. 13. Resultados UASB

RESULTADOS	CARGA ORGANICA Kg/m ³ día	PRODUCCION METANO m ³ /Kg DQO	REMOCION DQO (%)	TRH (horas)
Laboratorio	0.2-17	0.3	93.1-81	96-4
Beneficiadero	3.35-8.6	0.3	90.3-71.6	17-8

Estos resultados sirvieron de base para un reactor de 24 m³ en la hacienda Ambichinte, siendo los parámetros de diseño usados los que aparecen a continuación:

Localización:	Municipio de Dagua
Producción anual:	50000 kg cps
Producción diaria:	1000 kg cps
Consumo de agua:	20 lt/kg cps
DQO promedio:	12000 mg/lt
Caudal:	20 m ³ /día
Carga orgánica diseño:	240 kg DQO/dia
TRH	1.2 días
Volúmen tanque homogenización:	10 m ³
Volúmen reactor anaeróbico de flujo ascendente:	24 m ³
Costo:	\$ 1200000 (1985)

Este reactor ha trabajado con cargas orgánicas del orden de 0.15 a 2.12 kg DQO/m³-día, concentraciones de DQO de 6806-754 mg/lt y TRH de 1.2-3.0 días, siendo las eficiencias del 59-88% y debido a que en la finca la producción de café no ha sido la proyectada, no permitiendo obtener los resultados esperados. Considerando la necesidad de reducir costos, las nuevas plantas de tratamiento diseñadas dentro del convenio CVC-CAPETEROS se modificaron, suprimiendo elementos innecesarios, abaratando los materiales usados, reduciendo válvulas, tubería para lodos, etc.

Durante 1990-1991, se realizó a nivel de laboratorio un estudio de factibilidad para emplear un filtro anaeróbico de flujo ascendente cuyo medio de soporte en guádua, los resultados conseguidos aparecen en la tabla 14.

TABLA No. 14. Resumen de estudio de factibilidad

ITEM	CARGA ORGANICA (Kg DQO/m ³ /día)	TRH (días)	REMOCION DQO (%)
Filtro anaeróbico laboratorio	0.07-12.5	6.7-1.4	68.3-97.9
Escala real	1.00- 3.5	2.8-1.8	38.0-86.9

6.3.3. Criterios de diseño de plantas construidas

Los criterios de diseño usados se presentan en las tablas 15 y 16, para el dimensionamiento del tanque de homogenización-neutralización-acidificación, se usa un tiempo de retención de un día, allí se agrega el alcalinizante que puede ser soda, cal, urea, etc., siendo empleado un flotador de cabeza constante que permite que llegue un caudal homogéneo durante las 24 horas del día al reactor anaeróbico.

TABLA No. 15. Criterios de diseño con costos

PREDIO	UBICACION	PRODUC. CPS/año (e)	TANQUE HOMOG/ m ³	REACTOR ANAEROB m ²	FILTRO ANAER/ m ³	COSTO MILLO \$	AÑO
Ambi- chinte	Dagua	4000	10	24	-	1.2	1985
Los seis	Tim- bio	2400	22	17	-	2.0	1989
La Came- lia	Sevi- lla	7500	37.5	19	19	2.7	1991
Alta- gracia	Anser -ma Nuevo	4000	20	10	8	1.8	1991
Cider	Truji -llo	700	3.5	4	2	0.7	1991
El ciprés	El Dovio	300	2	-	3.5	0.3	1991

TABLA No. 16. Criterios de diseño

PREDIO	PRODUCCION DIARIA (Kg CPS)	DQO PROMED. (mg/lt)	CONSUMO (L/Kg CPS)	CARGA VOLUMETRICA (KgDQO/m ³ dia)	TRH (horas)
Los Seis	600	8000	30	5.6	22
La Camelia	1875	5000	20	10.0	12
Altagracia	1000	5000	20	10.0	12
CIDER	175	5000	20	5.0	27
El Ciprés	70	10000	25	5.0	33.6

En el reactor anaeróbico de flujo ascendente se utiliza una carga orgánica de cinco a diez kilogramos DQO/m³-día y tiempos de retención de 12-27 horas. Los detalles constructivos aparecen en los esquemas anexos.

6.3.4. Arranque de los sistemas anaeróbicos

El proceso anaeróbico necesita de un periodo de arranque antes de llegar a su capacidad de diseño. Las bacterias metanogénicas tienen que adaptarse al nuevo ambiente, y su concentración debe aumentar considerablemente.

En los diagramas adjuntos aparece en una forma lógica y sencilla, el procedimiento a seguir en el arranque de un reactor UASB, teniendo en cuenta la experiencia Holandesa. El seguir cuidadosamente cada uno de los pasos garantiza un exitoso arranque y posterior comportamiento del reactor.

ARRANQUE REACTOR UASB CON LODO DE BAJA CALIDAD

LLENAR REACTOR CON LODO MAXIMO 60 %, CONCENTRACION MINIMA DE 10 Kg SSU/M³, COMPLETAR CON AGUA

MEDIR ACTIVIDAD METANOGENICA DEL LODO
USADO COMO INOCULO gr. DQO/gr. SSU-DIA

CONCENT.
AGUA RESID.
<= 5000
mg/l

NO

DILUIR HASTA DQO = 5000 mg/l
O RECIRCULAR

SI

ALIMENTE EL REACTOR CON AGUA RESIDUAL, APLICANDOLA MITAD DE LA CARGA VOLUMETRICA CON UN MAXIMO DE 0.2 Kg DQO/M³DIA
O UN TIEMPO HIDRAULICO DE RETENCION MINIMO DE 24 HORAS

ESPERAR CINCO (5) DIAS

PRODUCCION
BIOGAS
>= 0.1 m³/D

NO

SUSPENDER LA ENTRADA
DE AGUA POR TRES (3) DIAS

SI

AGU <= 3
meq/l

NO

SUSPENDER LA ALIMENTACION
POR UNA (1) SEMANA

SI

AGU <= 8
meq/l

NO

NO

MANTENER
TRH, GAS, AGU
<= 3 meq/l

NO

SI

MANTENER CH = 0.2 Kg DQO/M³DIA

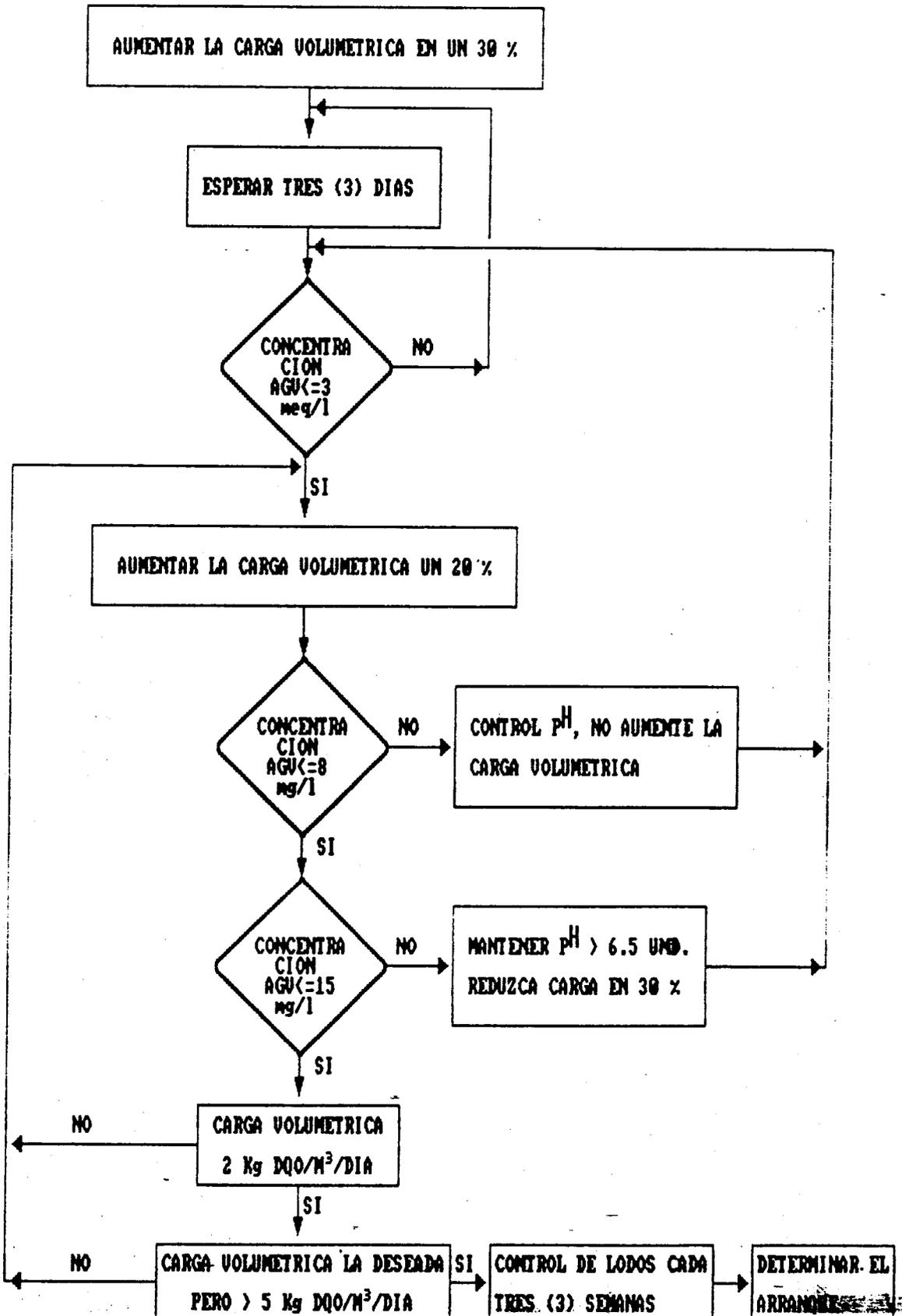
SI

FIN FASE I

FASE I: PUESTA EN MARCHA

ARRANQUE REACTOR CON LODO DE BAJA CALIDAD

FASE II: AUMENTO DE CARGA VOLUMETRICA



Deben tenerse en cuenta además las siguientes observaciones:

- La cantidad de lodo sembrado (inóculos) en el reactor deberá tener mínimo entre 10-15 kg SSV por m³ de reactor. Este volumen incluye todo el reactor inclusive la zona de sedimentación, lo que garantiza una concentración mayor en la zona de reacción biológica.
- La capacidad orgánica inicial, debe ser baja dada la baja capacidad metanogénica de los inóculos normalmente disponibles. Se recomienda usar no más de 0.1 kg DQO/kg SSV-día (0.2 kg DQO/m²-día) o un tiempo mínimo de retención de 24 horas.
- La calidad del inóculo es muy importante, este debe tener buenas características de sedimentación para evitar el arrastre y una actividad metanogénica lo más alta posible. En nuestro medio los inóculos tienen las siguientes características: ver tabla No. 17.

TABLA No. 17. Valores característicos de diferentes lodos

CARACTERISTICAS	ESTIERCOL DIGERIDO	LODO TANQUE SEPTICO	LAGUNA ANAEROBICA	ESTIERCOL VACUNO
Actividad metanogénica (KgDQO/KgSSV-d)	0.02-0.08	0.01-0.07	0.04-0.07	0.12
Sedimentabilidad	+/-	Buena	+/-	+/-
Flotación	Problema	Problema	+/-	Problema
Arrastre	Si	No	+/-	Si
Disponibilidad	+/-	+/-	+/-	Bueno
SSV (gr/Lt)	20-80	10-50	20-50	30-100

- La carga orgánica no debe aumentar hasta tanto los ácidos grasos volátiles, estén degradados en más del 80%. El valor máximo recomendado de AGV en el efluente es de 200 mg/lt como ácido acético (3 meq/lt).
- La alcalinidad al bicarbonato en el reactor debe estar entre 1500-4000 mg/lt de CaCO_3 , por ello es necesario agregarla ya que el agua residual del beneficio del café posee valores muy bajos, pues el agua está parcialmente acidificada en forma natural, debido a las bacterias fermentativas presentes en la pulpa, por lo tanto el pH de la solución es bajo, debiendo neutralizarse el agua antes de entrar al reactor. Se puede usar para ello soda comercial, supercal, úrea, etc., adicionando la solución básica en el tanque de homogenización hasta alcanzar un pH superior a 6.5 unidades.

En la tabla No. 18, se presenta la cantidad de soda (NaOH), que se adiciona en el agua residual en Ambichinte según su concentración de DQO.

TABLA No. 18. Consumo de soda

CANTIDAD SODA (KG)	DQO (gr/lt)	mgNaOH/grDQO
0.3	0.571	52.5
0.5	0.789	63.3
0.7	0.960	72.9
1.2	1.580	75.9
1.4	1.813	77.2
1.7	2.030	83.7
2.3	2.604	88.3
3.1	3.375	91.8
3.7	3.960	93.4

Se prepara una solución de soda al 10%

- La relación carbono, nitrógeno, fósforo debe ser mínima de 350:5:1.
- Se debe aumentar la carga orgánica de una manera escalonada, tratando de mantener una remoción DQO entre 80-90%. No se deben usar remociones inferiores al 50% para incrementar carga.

- El aumento de la carga orgánica debe hacerse tan rápido como sea posible, siguiendo los pasos indicados en el diagrama de flujo con el objeto de lograr una buena selectividad del lodo. Al aumentar la carga orgánica durante el arranque los SSV dentro del reactor van disminuyendo.

Este arranque si se lleva con cuidado, utilizando un inóculo de buena actividad y dependiendo de la carga orgánica que se quiera alcanzar lleva de uno a tres meses.

6.3.5. Operación y mantenimiento

Una vez se ha estabilizado el sistema, se requiere una adecuada operación y mantenimiento de este.

El trabajo diario consiste en la limpieza de las estructuras que determinan el funcionamiento hidráulico del reactor y del tanque de homogenización, así como en la toma de las muestras necesarias para evaluar el funcionamiento.

Los parámetros operativos a medir diariamente tanto en el arranque como en su operación normal son: pH, caudal, temperatura, en afluente y el efluente, así como la producción de biogás.

En cuanto a los parámetros de funcionamiento, se debe considerar quincenalmente la DQO total y soluble, SST, SSV, alcalinidad, AGV, N y P, mensualmente la DBO₅, para el afluente y el efluente del reactor. También se debe medir para los lodos los SST, SSV, actividad metanogénica, sedimentabilidad y perfil cada dos meses.

Es necesario que los tubos de alimentación al reactor permanezcan sin obstrucciones para garantizar una distribución uniforme, debiendo limpiarse mediante una manguera con agua a presión.

La recolección uniforme del efluente es de igual importancia que la distribución del afluente en el lecho de lodos, así se previenen los cortos circuitos y las zonas muertas, debiendo tener un flujo libre todos los vertederos, limpiandolos mínimo una vez al día.

También se debe chequear las tuberías de purga de lodos, pues tienden a taparse después de un tiempo de no usarse, por la densidad del lodo que se acumula en el fondo; estas también deben limpiarse con agua a presión.

La observación visual de la calidad del efluente, da una idea del funcionamiento de la planta, el efluente debe ser claro y contener muy pocos sólidos, en condiciones estables.

Cuando hay problemas por sobrecargas hidráulicas u orgánicas, el efluente se torna turbio y se observan lodos, además de percibirse olores desagradables.

También se pueden observar lodos en el efluente, cuando el lecho del lodo alcanza la zona de sedimentación, siendo necesario extraerlos, bajando el nivel del agua no más de un metro, además de chequearse su consistencia, si se vé muy líquido debe suspenderse.

La capa flotante que se forma en el baffle colocado junto a la canaleta de recolección debe removerse periódicamente.

7. EL BIOGAS

Biogás es el termino usado para denominar la mezcla de gases, compuesta principalmente por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y trazas de Nitrógeno (N_2), Hidrógeno (H_2), Oxígeno (O_2), monóxido de carbono (CO) y sulfuro de hidrógeno (H_2S). En la tabla Nº 19. se encuentra la composición química del biogás.

TABLA Nº 19. Composición química del biogás

COMPONENTE		% APROXIMADO
Metano	CH_4	60 - 70
Dioxido de carbono	CO_2	30 - 40
Hidrógeno	H_2	1.0
Nitrógeno	N_2	0.5
Oxígeno	O_2	0.1
Monoxido de Carbono	CO	0.1
Sulfuro de Hidrógeno	H_2S	0.1

El componente combustible del biogás es el metano, un gas no tóxico que posee un suave, mas no agradable olor pero si las condiciones de digestión producen una cantidad importante de gas sulfídrico, el gas tendrá un olor característico desagradable.

El poder calorífico del biogás es de 6 kWh/m³, lo cual equivale a más o menos medio litro de diesel, pero el poder calorífico aprovechable depende del rendimiento de los quemadores o de los aparatos, por tal razón los quemadores deben ser graduados desde el principio y a continuación deben ser fijados, manteniendo así un alto rendimiento.

En la tabla Nº 20, se encuentran las características de los gases combustibles y en la tabla Nº 21, algunas características del biogás en comparación con otros combustibles.

TABLA Nº 20. Características de los gases combustibles

CLASE DE GAS	COMPOSICION (%)	PODER CALORICO Kwh/m ³	DENSIDAD RELATIVA AIRE=1 $\rho=1.2\text{kg/m}^3$	VEL. LLAMA cm/s	DEMANDA DE AIRE m ³ /m ³
Metano	100	9.94	0.554	43	9.5
Propano	100	25.96	1.560	57	23.8
Butano	100	34.02	2.077	45	30.9
Gas natural	65 CH ₄ 35 H ₂	7.52	0.384	60	7.0
Biogás	60 CH ₄ , 40 CO ₂	5.96	0.940	40	5.7

TABLA No. 21. Biogás en comparación con otros combustibles

Combustible	Unidad [U]	Poder Calorífico en Kwh/u	Rendimiento η en %			
			Cocinar	Fuerza Motriz	Luz	Calefacción
Corriente Eléctrica	K w h	1	60%	90%	5%	—
Propano	Kg	13.9	60%	20%	3%	—
Gasolina	Lt.	13.0	—	25%	—	—
Petróleo	Lt.	12.0	—	—	—	60%
A.C.P.M. (Diesel)	Lt.	12.0	—	30%	—	—
Carbón Mineral	Kg	9	30%	—	—	—
Madera	Kg	5	12%	—	—	—
Biogás	m ³	6	60%	20%	3%	—

El biogás puede ser utilizado como cualquier otro gas combustible, convirtiéndose el metano en CO_2 y H_2O , y el sulfuro de hidrógeno transformado en SO_2 y H_2O .

El CO_2 componente del biogás es inerte, por lo tanto no juega ningún papel en la combustión y es expelido con el gas quemado, mientras que el H_2S con el agua condensada en la tubería forma ácidos corrosivos que deterioran los equipos.

El biogás puede purificarse con la ayuda de un filtro a base de hierro eliminando el azufre del H_2S de acuerdo a la siguiente reacción:



Una vez el material ha sido saturado con el sulfuro, este debe ser reemplazado.

Mezclas de biogás con aire en una relación de 1:20 forman un gas detonante altamente explosivo. Se debe tener cuidado con tuberías de gas en recintos cerrados que tengan fugas.

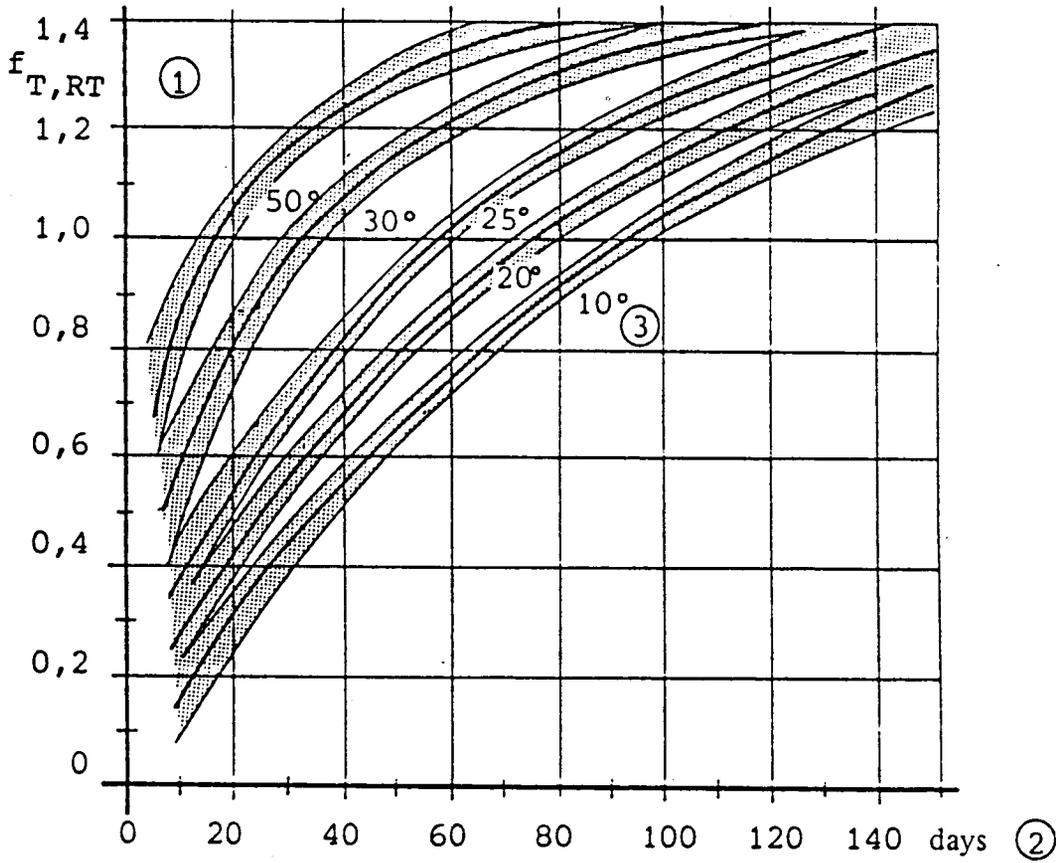
El biogás puede ser utilizado para fines domésticos e industriales a través de artefactos como estufas, lámparas, calentadores radiantes y como combustible para motores diesel o a gasolina.

En el Manual de operación y mantenimiento de equipos para uso del biogás se mencionan detalladamente los cambios que requieren los equipos convencionales para ser utilizados con biogás.

En la siguiente tabla, se encuentran las principales aplicaciones en equipos a biogás y su consumo.

TABLA Nº 22. Utilización y consumo de biogás.

EQUIPO	CONSUMO DE BIOGAS (l/h)
Estufa domestica	150 - 200
Estufa industrial	
Lamparas	120
Calentadores de cerdos	200
Calentadores de pollos	
Motores de combustion	500 l/h * HP



Producción de biogás como una función de la temperatura y el tiempo de retención .

8. BIOABONO

La ventaja de la tecnología de los biodigestores convencionales no es solo obtener gas para cocinar y para alumbrado, sino también la producción de un abono orgánico de alto valor.

8.1. COMPOSICION Y CARACTERISTICAS

Durante el proceso de digestión anaeróbica solamente se remueven los gases generados (CH_4 - CO_2 - H_2 - etc.), los cuales representan entre el 35-50% de la biomasa original. En general, la masa del sustrato de alimentación (afluente) es reducida en un 2% a través del proceso.

La viscosidad de la mezcla de estiércol disminuye significativamente, porque la cantidad de sólidos volátiles es reducida en un 50% durante la estabilización en el proceso de fermentación, y por la hidrólisis de muchos constituyentes orgánicos.

Dando un tiempo de retención suficiente, casi todas las sustancias olorosas son completamente digeridas, por lo tanto el efluente es mucho menos oloroso que el estiércol fresco, no atrae moscos, roedores u otros animales indeseables.

Todos los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas tales como el nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio, como los elementos traza esenciales para el crecimiento de las mismas son preservados en el efluente.

La relación C/N se reduce por la pérdida simultánea de carbón, mejorando el efecto fertilizante del biabono, ya que una relación C/N más baja (1:15) tiene un efecto fitofisiológico favorable.

El contenido de fosfato (P_2O_5 ; es la forma de fósforo que puede ser asimilado por las plantas) no es afectado por la fermentación. El 50% del contenido de fósforo total está disponible para las plantas en forma de fosfatos.

La porción de potasio fácilmente asimilable (entre 75 y 100%) tampoco es alterada durante la fermentación.

En contraste con los anteriores nutrientes, algunos compuestos nitrogenados están sometidos a modificaciones. Cerca del 75 % del nitrógeno contenido en el estiércol fresco es convertido en macromoléculas orgánicas y el 25% esta disponible en forma mineral como amonio (NH_4^+). El bioabono contiene aproximadamente 50% nitrógeno orgánico y 50% nitrógeno mineral. Estos valores deben tomarse como una aproximación, ya que ellos están sujetos a amplias varianzas, dependiendo del

tipo de animal, la composición del alimento, el tiempo de retención, la cantidad de agua utilizada durante el lavado de la cochera o establo, los cuales varían ampliamente en cada sitio.

El nitrógeno mineral puede ser directamente asimilado por las plantas, mientras que los compuestos de nitrógeno orgánico deben ser primero mineralizados por los microorganismos presentes en el suelo. Esta distribución del nitrógeno es muy beneficiosa porque disminuye las pérdidas y al mismo tiempo asegura un buen abastecimiento para las plantas por un tiempo más largo que los fertilizantes químicos.

La importancia de la utilización del bioabono está relacionada con la cantidad de otros abonos convencionales que se puede ahorrar sin detrimento de la producción, de los mejores rendimientos frente a los alcanzados con otros abonos; o el caso que no se acostumbre a usarlos, con el incremento de la producción al compararla con los suelos no abonados.

Para poder aplicar el bioabono a los suelos en el momento fitofisiológicamente más ventajoso, se deberá almacenar durante cierto periodo de tiempo para evitar grandes pérdidas en el contenido de nitrógeno. El tipo de almacenamiento está muy relacionado con la calidad última del bioabono.

También se pueden causar ciertos daños ecológicos por la aplicación de excesivas cantidades de bioabono o durante tiempo inoportuno cuando la capacidad asimilativa de las plantas está disminuída. El arrastre de nitrógeno puede causar sobrefertilización en las aguas superficiales y/o subterráneas.

8.2. ALMACENAMIENTO Y APLICACION

El almacenamiento y la aplicación del biabono puede hacerse en forma líquida, seca o compostada.

8.2.1. Almacenamiento líquido

El efluente pasa del biodigestor a un tanque de compensación, después del cual se puede construir un tanque de almacenamiento en el cual se debe evitar la pérdida de líquido por evaporación. Justo antes de que se vaya a utilizar el efluente, el contenido del tanque debe mezclarse completamente y aplicarse ya sea por canales en curvas de nivel o, si es suficientemente líquido, por medio de riego por aspersión.

La aplicación del efluente líquido ofrece ventajas tales como mínimas pérdidas de nutrientes, alta disponibilidad de nutrientes y buena absorción de nutrientes por parte de las plantas, para lo cual se debe construir un tanque de

almacenamiento con una profundidad no mayor de un metro y tapado. Todo esto con el fin de evitar pérdidas de nitrógeno, facilitar la extracción del bioabono y evitar accidentes.

El uso del bioabono en forma líquida es muy apropiado para predios de pequeños agricultores con bajos recursos técnicos y económicos, ya que puede llevarse hasta los cultivos en canecas mediante carretilla y aplicarse con la ayuda de baldes o si hay pendiente adecuada en el terreno se pueden usar canales.

8.2.2. Secado

Solamente es posible secar el bioabono si la rata de evaporación es sustancialmente mas alta que la de precipitación. Para ello se necesita construir dos tanques de sedimentación poco profundos para separar la fracción líquida de la sólida. Para evitar que el agua lluvia entre a los tanques, se hace un borde de suelo de aproximadamente 20 cm de altura. Después del llenado de los dos tanques se saca la capa sobrenadante del primero y se seca al sol esparciendolo sobre el suelo. A temperaturas de 25°C el secado demora de tres a cuatro días.

El bioabono seco se empaca en costales para su almacenamiento o se transporta al sitio donde se va a utilizar. Su aplicación se debe realizar antes de la siembra incorporandolo bién con el suelo.

La fracción líquida del bioabono se puede aplicar con baldes a los cultivos más cercanos del sitio de almacenamiento.

La principal ventaja del secado es la reducción del volumen y peso, haciendo más fácil y adecuada su aplicación, pero causa pérdidas de nitrógeno inorgánico hasta el 90%, lo cual corresponde aproximadamente al 50% del contenido de nitrógeno total. Para mejorar un poco la calidad del efluente seco es conveniente no dejar secar completamente la fracción sólida del bioabono o adicionar un poco de bioabono líquido sobre el seco antes de su almacenamiento y/o aplicación.

8.2.3. Compostaje

Otra forma de manipular el bioabono es mezclándolo con material orgánico vegetal y compostándolo. De esta forma el bioabono provee una buena fuente de nitrógeno, acelera el proceso y al mismo tiempo enriquece el compost en fósforo y otros nutrientes. Este método produce pérdidas de nitrógeno entre 30-70%, pero tiene la finalidad de que el producto final sea compacto, en forma de tierra negra, y facilita su transporte y/o aplicación.

Otra ventaja del proceso del compost es que efectivamente destruye algunos patógenos o parásitos que pueden haber escapado del tratamiento de digestión anaeróbica. Así, si el

agricultor está haciendo compostaje y tiene un biodigestor convencional, el efluente o bioabono es un excelente medio acelerador del proceso, enriqueciendo el compost y humedeciéndolo al mismo tiempo.

El bioabono compostado puede ser almacenado en tanques o fosas, y ser cubierto con material vegetal tal como hojas de plátano o palma, o algún tipo de material plástico para protegerlo de la lluvia y la excesiva evaporación. Cuando el material alcance un contenido de humedad del 45 al 60% puede ser empacado para su almacenamiento ó transportarlo fácilmente al sitio donde se vá a aplicar.

8.2.4. Efectos sobre el suelo

Debido a la descomposición y partición de las partes del contenido orgánico, el bioabono proporciona una acción rápida para que los nutrientes entren en la solución del suelo, llegando así inmediatamente disponibles para las plantas, mientras simultáneamente sirven como nutrientes primarios para el desarrollo de los organismos del suelo como por ejemplo abastecimiento de microorganismos perdidos por la exposición al aire en el curso de la aplicación del bioabono sobre el suelo, así como los actinomicetos que actúan como digestores orgánicos especializados en la digestión del lodo bajo condiciones de adecuada aireación y humedad.

La materia húmica y los ácidos húmicos presentes en el lodo contribuyen en una humificación mas rápida la cual ayuda a reducir la tasa de erosión (debido a la lluvia y esparcimiento seco), mientras incrementan el suministro de nutrientes, higroscopía, etc. La relativamente alta proporción de bloques orgánicos de establo tales como lignina y ciertos compuestos celulósicos contribuyen a una alta rata de formación de humus de establo, particularmente en presencia de material arcilloso.

La cantidad de humus de establo formado con cantidades de lodo digerido es dos veces la cantidad que puede ser logrado con estiércol descompuesto anaeróbicamente. También ha sido demostrado que la actividad de la lombriz de tierra es más estimulada por la fertilización con bioabono que con estiércol de corral.

El bioabono retarda la unión irreversible de los nutrientes del suelo con la ayuda de sus iones intercambiadores en combinación con la formación de compuestos agrominerales. Al mismo tiempo, la capacidad buffer del suelo se incrementa, y las fluctuaciones de temperatura son mejor compensadas.

El elevado contenido de amonio del bioabono ayuda a reducir la rata de nitrógeno expulsado en comparación con los fertilizantes que contienen mayores cantidades de nitritos y nitratos solubles en agua (estiércol, compost). El nitrógeno

del suelo en forma de nitritos o nitratos también está sujeto a una más alta pérdida de denitrificación que es el amonio, el cual primero requiere de una nitrificación para asumir una forma denitrificable. Esto toma más tiempo para el amonio filtrarse en el estrato del suelo, en parte porque es más fácilmente absorbido por la materia Arcillosa, partículas húmicas orgánicas, entrando así en uniones intercambiables. Sin embargo, algo del amonio llega a ser fijado en una forma no intercambiable en las capas intermedias de arcilla mineral. Todas estas consideraciones pueden ser estimadas como un hecho probado, que el amonio constituye la forma más valuable de nitrógeno para la nutrición de la planta.

Comparativas investigaciones nutritivas-cualitativas entre amonio y nitrato han producido resultados similares.

Ciertamente, la eficiencia del nitrógeno del bioabono puede ser comparable como los fertilizantes químicos, porque además de suministrar nutrientes, el bioabono mejora también la calidad del suelo y provee masa orgánica. La porosidad, distribución del tamaño del poro y estabilidad de suelos agregados son atractivos que han incrementado importantes estándares de evaluación en análisis de calidad de suelos.

Pruebas realizadas en la República Popular de China, Alemania e Italia, han demostrado que la fertilización con bioabono

conduce a un mejoramiento en volúmen del poro del suelo y en la distribución del tamaño del poro.

8.2.5. Efectos higiénicos

La correcta disposición de desechos orgánicos con el objeto de obtener una fuente alterna de energía como es el bioabono, también tiene el efecto de eliminación de focos de propagación de enfermedades por moscas, jején, mosquitos, etc.

En la China se ha demostrado experimentalmente que el 85% de todos los patógenos que han entrado al biodigestor no sobreviven al proceso de metanización. En la misma serie de pruebas también se demostró que la destrucción de patógenos y huevos puede ser incrementada por el aumento del contenido de amonio.

Otros factores que también influyen son la temperatura del proceso y el tiempo de retención. Como este último no puede ser fijo para sistemas completamente mezclados, debe esperarse que el efluente de tales sistemas tenga un contenido de bacterias más alto, y el efecto higiénico no puede estimarse como completo.

En la tabla 23, se encuentra la rata de mortalidad de patógenos y huevos durante el proceso de digestión anaeróbica en

3. MANTENIMIENTO

- 8.1 Tanque de homogenización :
Durante la época de beneficio del café es necesario diariamente neutralizar el agua miel que llega, para ello se cierra la válvula y se adiciona el alcalinizante hasta alcanzar el pH superior a 5.5 unidades , cuando ya se haya estabilizado el filtro anaeróbico , luego se abre la válvula para que salga el efluente hacia el precitado filtro , con un caudal y un pH regulados .
Es necesario extraer la capa flotante que se forma en el tanque, esta es de lenta degradación al igual que el lodo que se sedimenta en el fondo, estos se pueden llevar al biodigestor .
- 8.2 Cajas de Inspección :
Al menos 2 veces por semana se deben inspeccionar y limpiar de ser necesario . Mirar si la piedra caliza se ha cubierto de una capa que impide el contacto con el agua , lo cual indica que debe cambiarse .
- 8.3 Filtro Anaeróbico :
Por lo menos 3 veces a la semana debe hacerse inspección y limpieza de la caja de distribución y del tubo de recolección .
Debe chequearse que la guadua no flote, pues esto indica que se ha roto la malla que los retiene , esto puede reducir la eficiencia del sistema pues interfiere en la zona de sedimentación y favorece que la guadua se dañe por los insectos que crecen en ella . Se debe esperar que pase la cosecha para repararla.
Cuando se vea que el efluente , después de 1 año aproximadamente de funcionamiento, sale con lodos, es necesario al terminar la cosecha , extraer el lodo y verificar el estado de la guadua , de ser necesario, sustituirla . El lodo se puede usar como abono .

COSTO TOTAL SISTEMA DE TRATAMIENTO

	Unid.	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Total
Cemento	bulto	18	2200	39600
Hierro 3/8	Kg	23	257	5911
Ladrillos	Und.	1300	28	36400
Manguera 1/2"	m	3	780	2340
Llave paso 2"	Unid.	1	9070	9070
Llave paso 3"	Unid.	1	23465	23465
Alambre No 18	Kg	1	475	475
Tee gres 4x3"	Unid.	1	745	745
Abrazadera 2"	Unid.	7	260	1820
Malla	m2	3	530	1590
Tubo PVC 1"	Unid.	1	4643	4643
Tubo PVC 2"	Unid.	2	7918	15836
Tubo PVC 4"	Unid.	1	12000	12000
Tee Gres 4"	Unid.	1	1116	1116
Codo 2 1/2"	Unid.	3	315	945
Soldadura	1/128 Gal	2	378	756
Limpiador PVC	1/128 Gal	2	125	250
Dosificador	Unid.	1	13800	13800
Adaptador 3"	Unid.	1	1491	1491
Adaptador 1"	Unid.	3	64	192
Grava	m3	1	3000	3000
Piedra	m3	1	3000	3000
Arena	m3	2	2000	4000

\$ 182445

44000

Mano de obra

\$ 226445

Nota: La mano de obra y la guadua es colocada por el usuario .

El costo presupuestado para los materiales era de \$ 283420

Ademas del sistema proyectado se construyo una trampa de grasas, se conectaron las aguas de la cochera al sistema y se hizo una pequeña cámara para depositar la pulpa . Su costo \$43000 fueron colocados por el usuario . Posteriormente se colocó una cúpula en plastilona 500 para aprovechar el biogas que se producía , su costo fue de \$48000 siendo donado por la CVC.

biodigestores tipo chino y en la tabla 24, está el tiempo de sobrevivencia de varias especies de bacterias.

La viabilidad de las semillas de plantas también es altamente reducida a través del proceso de digestión anaeróbica.

En conclusión se puede decir que la digestión anaeróbica puede tener un efecto esencialmente favorable sobre condiciones de higiene.

TABLA No. 23. Rate de mortalidad de patógenos y huevos durante el proceso de digestión anaeróbica

ORGANISMO O ENFERMEDAD	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO DE RETENCION (DIAS)	RATA DE MORTALIDAD (%)
Salmonelle spp	22-27	6-20	82-96
Salmonella typhosa	22-27	6-20	99
Mycobacterium tuberculosis	30	n.d.	100
Ascaris lumbricoides	29	15	90
Poliovirus-1	31	2	98.5
E. coli index			99.73
Total bacteria count			86.84
Schistosomiasis ova	25-30	14	> 99
Hookworm ova	25-30	30	> 99
Tapeworm ova	25-30	70	> 99

TABLA No. 24. Tiempo de sobrevivencia de bacterias adicionadas a estiércol para ser digerido anaeróbicamente a 32°C, con un tiempo de retención de 20 días y alimentación diaria

ESTIERCOL DE:	ESPECIE	pH	DESPUES DE n DIAS			
			7	14	21	28
VACAS	Staphylococcus aureus SG 511	7.8	+	-	-	-
	Salmonella typhimurium	-7.6	+	+	-	-
	Proteus vulgaris		+	+	-	-
	Pseudomona aeruginosa		+	+	+	-
CERDOS	Staph. aureus SG 511	6.7	+	(+)	-	-
	S. typhimurium	-6.8	-	-	+	-
	P. vulgaris		+	+	-	-
	P. aeruginosa		+	+	+	+
POLLOS	Staph. aureus SG 511	7.3	+	-	-	-
	S. typhimurium	-7.0	+	+	-	-
	P. vulgaris		+	+	-	-
	P. aeruginosa		+	+	+	+

9. BIBLIOGRAFIA

- A Tecnologia de digestao anaeróbica. Revista DAE, Vol 52, Nº 163, Brasil, 1992.
- ARRANQUE Y OPERACION DE SISTEMAS UASB. Manual del curso. Convenio CVC-Universidad del Valle-Universidad Agrícola de Wageningen. Cali, Colombia. 1987.
- Convenio CVC-GTZ-OEKOTOP. Difusión de la tecnologia del biogás en Colombia. Documentación del proyecto. Cali: GTZ, 1987.
- DEMANT, Dirk; SCKEYDE, A. y ULRICH, A. Possible applications of bioslurry for the purposes of fertilisation. En: Biogas Forum. Vol. 1. Special. Bremen, Alemania: BORDA, 1990.
- DOMINGUEZ, Claudia. Contaminación de las aguas superficiales de la cuenca por residuos líquidos del beneficio del café. Seminario Taller de Aguas Residuales Agroindustriales. Cali. 1991.
- Fatores que influenciam a digestao anaerobia. Revista DAE. Vol 44, Nº 137. Brasil, 1984.
- HOHLFELD, Jens y SASSE, Ludwig. Production and utilization of biogas in rural areas of industrialized and developing countries. Eschborn, Alemania: GTZ, 1985.
- SASSE, Ludwig. La planta de biogás. Eschborn, Alemania: GTZ, 1984.
- SCHEELLINKHOUT, Aris. Operación y mantenimiento de sistemas anaeróbicos para el tratamiento de aguas residuales. ACODAL. Cali. 1990.
- SEMINARIO DE DEPURACION ANAEROBIA DE AGUAS RESIDUALES (4º : 1988 Valladolid). Actas del 4º Seminario de depuración de aguas residuales. Valladolid : Universidad de Valladolid 1988.

VARGAS, Lucia. Equipos necesarios para el control de operación en los reactores anaeróbicos de flujo ascendente UASB. Convenio CVC-Universidad del Valle-Universidad Agrícola de Wageningen. Cali. 1989.

WASSER, Rick; et al. Experiencias sobre el tratamiento anaeróbico de las aguas residuales del café en Matagalpa, Nicaragua. Seminario Taller de Aguas Residuales Agroindustriales. Cali. 1991.

WERNER, Uli; STÖHR, Ulrich y HEES, Nicolai. Biogas plants in animal husbandry. Eschborn, Alemania: GTZ, 1989.

ZAMBRANO, Diego; et al. El mucilago y el lavado del café fermentado. CENICAFE. 1991.

ZULUAGA, Jaime; et al. Biodigestión anaeróbica de las aguas residuales del proceso de beneficio húmedo del café. CENICAFE. 1991.

ANEXOS

ANEXO 1.



SECCION CONTROL DE LA CONTAMINACION

PROYECTO BIOGAS

VISITA DE INVESTIGACION PRELIMINAR

FECHA: _____

NOMBRE DEL PREDIO: _____

NOMBRE DEL PROPIETARIO: _____

DIRECCION: _____

1. DATOS GENERALES:

a. Conocimientos sobre biogas: _____

b. Tipo de energia utilizada: _____

Consumo: (KWh, kg, gal, etc.) _____

c. Facilidad de obtencion: _____

d. Acceso a la propiedad: _____

2. DATOS NATURALES

a. Temperatura promedio anual: _____

b. Altura S.N.M.: _____

c. Precipitacion: _____

d. Abastecimiento de agua: _____

e. Nivel freatico: _____

3. DATOS DEL PREDIO

a. Cultivos: _____

b. Area sembrada: _____

c. Terreno (plano, inclinado, ondulado): _____

d. Tipo de suelo (arenoso, arcilloso, rocoso, etc): _____

4. DATOS SOBRE GANADERIA

a. VACUNOS:

TIPO	NUMERO ANIMALES	PESO VIVO PROMEDIO (kg)	TIEMPO DE ESTABULACION (horas)
Terneros			
Novillos			
Vacas			
Toros			

b. PORCINOS:

TIPO	NUMERO ANIMALES	PESO VIVO PROMEDIO (kg)
Lechones		
Levante		
Ceba		
Pie cria		

c. Cantidad promedio de estiércol diaria: _____

d. Uso del estiércol: _____

e. Sistema de limpieza o lavado: _____

f. Otros desechos orgánicos: _____

g. Contaminación producida: _____

5. ESTIMACION DE POSIBLE CONSTRUCCION DEL BIODIGESTOR

a. Lugar adecuado: _____

b. Financiación: _____

c. Acceso a materiales de construcción (lugar y distancia): _____

d. Medio de transporte: (propio, alquilado, etc) _____

6. OBSERVACIONES: _____

VISITA REALIZADA POR: _____

PROPIETARIO O ENCARGADO: _____

ESPECIFICACIONES

MATERIALES

Se utilizan tres tipos de materiales:

- 1) Concreto de 3000 psi
- 2) Mampostería en Ladrillo
- 3) Mampostería en Bloque estructural

Características

- 1) Concreto de 3000 psi
 - Dosificación 1:2:3
 - 1.1) Cemento gris tipo portland
 - 1.2) Agregado fino arena lavada
 - 1.3) Agregado grueso max 2"
 - 1.4) Agua limpia
- 2) Mampostería en Bloque estructural

- Bloque de concreto: 39X14X19 fc=120kg/cm²
- Mortero de relleno 1:3, agregado max. 3/8"
- Mortero de pega 1:3 a 1cm
- 3) Mampostería en ladrillo (Cúpula)
- Ladrillo taquete bien cocido fc=65kg/cm²
- Mortero de pega 1:3 juntas hor. y vert. 1cm

HERRAMIENTA

- 1) Herramienta de Mampostero
- 2) Herramienta de excavación y acarreo
- 3) Guía para excavación y fund. de la losa
- 4) Guía para domo esférico y muro cilíndrico
- 5) Ganchos para mampostería del domo.

Observación: Si el nivel freático actúa sobre el muro exterior se recomienda colocar repello antes de rellenar.

NIVELES
<p>El nivel superior de la losa del tanque de carga debe estar como mínimo 5cm por encima del reboso. La tubería de salida de BIÖGAS debe estar por encima del nivel del reboso mínimo 25 cm. El nivel inferior de la tubería de carga está por debajo de la viga de amarre.</p> <p style="text-align: center;">RELLENO</p> <p>Muros cilíndricos.</p> <p>El relleno debe hacerse uniformemente apisonado o mono en capas de 10 cm de espesor.</p> <p>Cúpula.</p> <p>El relleno debe hacerse siguiendo a continuación del muro cilíndrico en capas sucesivas desde los muros hasta el cuello y apisonando sin golpear con el pison directamente sobre la cúpula.</p>

OBJETIVOS:
<p>Acabados y enlucidos</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Impermeabilidad de la mampostería al BIÖGAS y a los líquidos <ol style="list-style-type: none"> a) Repellos se ejecutan sobre la superficie interior y la superficie externa del domo y el cuello. 2) Repello recomendado se debe revisar cuidadosamente las pegas, resanar y reparar las defectuosas. <ol style="list-style-type: none"> a) Aplicar lechada agua cemento b) Repello espesor 2 cm homogéneo y uniforme untado sobre la superficie c) Lechada agua-cemento 3) Impermeabilizante Cupula <ol style="list-style-type: none"> a) Base Vinílica (hidralit) b) Pegalit o pegacar c) Cemento blanco <p style="text-align: center;">Proporción en volumen 1:1:2</p> <p>Se aplica con brocha mínimo cuatro manos.</p>

PROYECTO BIÖGAS
 CVC-617-BioSystem
 BIODIGESTOR
 CUPULA FIJA
 Cali Colombia 1991

ANEXO 2.

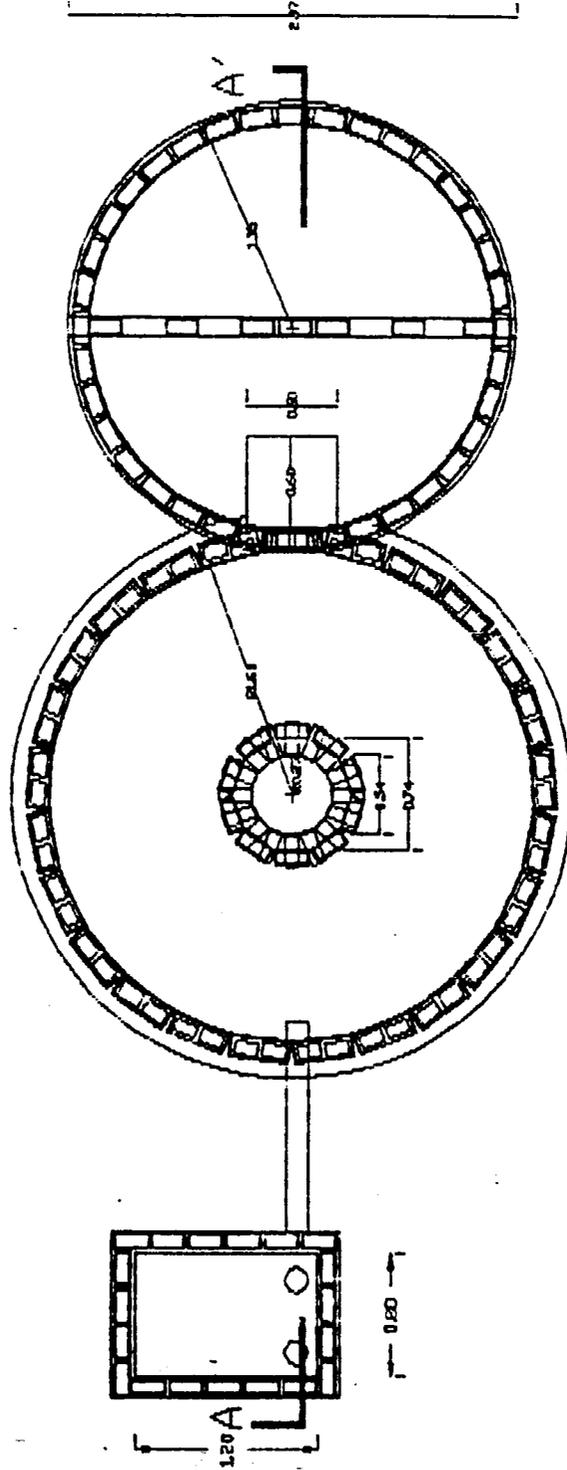
VOLUMEN 14 ID>

VOLUMEN 14.0 M3

TANQUE
CARGA

TANQUE
FERMENTACION

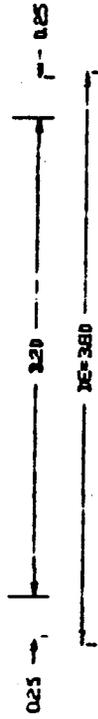
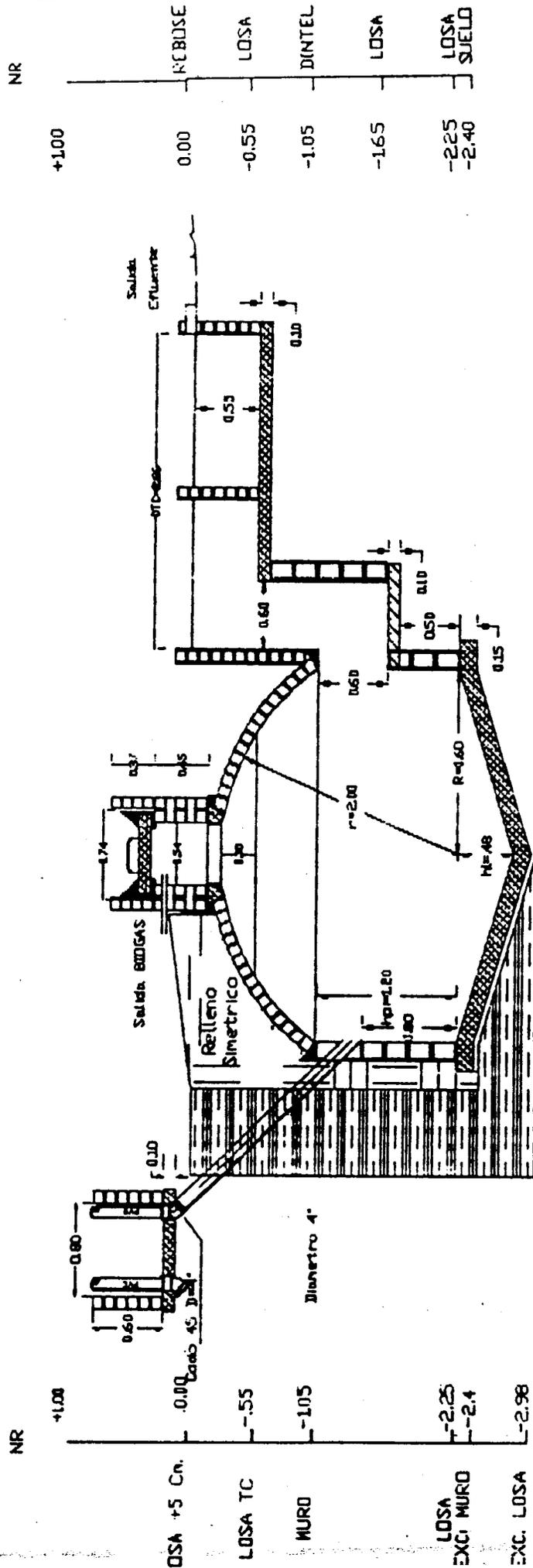
TANQUE
COMPENSACION



PROYECTO BIOGAS
CVC-GTZ-BioSystem
BIODIGESTOR
CUPULA FIJA
Cali Colombia 1991

PLANTA GENERAL

VOLUMEN 14.0 M3



PROYECTO BIOGAS
 CVC-GTZ - BioSystem
 BIODIGESTOR
 CUPULA FIJA
 Cali Colombia 1991

CORTE AA'

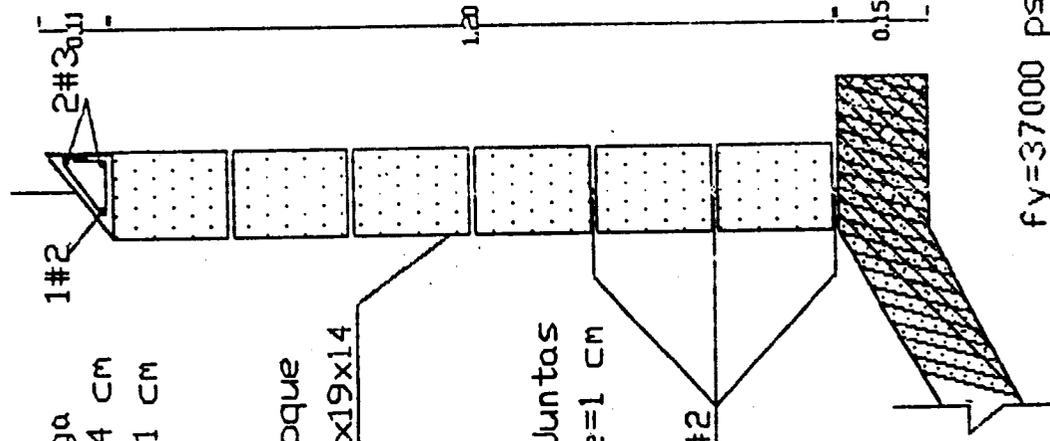
E#2 c/15

Viga
b=14 cm
h=11 cm

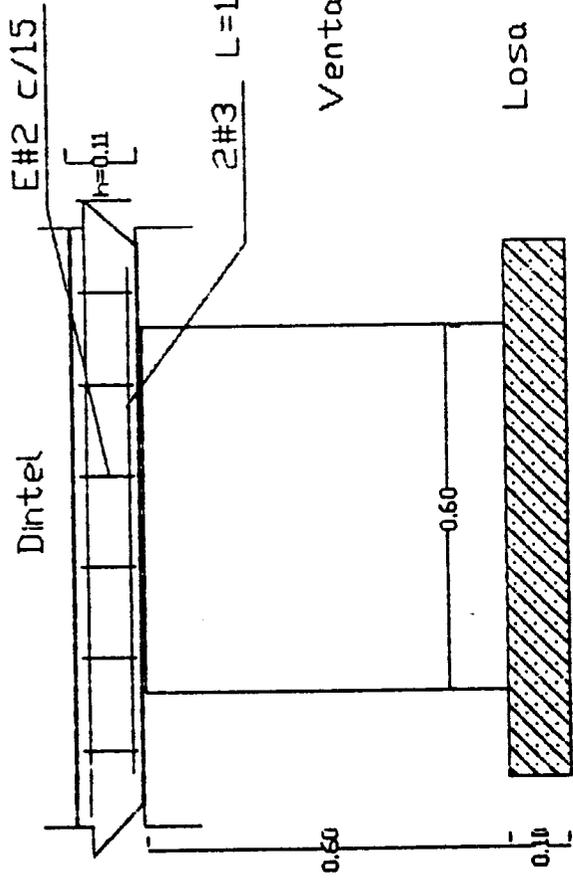
Bloque
39x19x14

Juntas
e=1 cm

3#2



$f_y = 37000 \text{ psi}$
 $f'_c = 3000 \text{ psi}$



Ventana

Losas

DISTRIBUCION
DE HIERROS

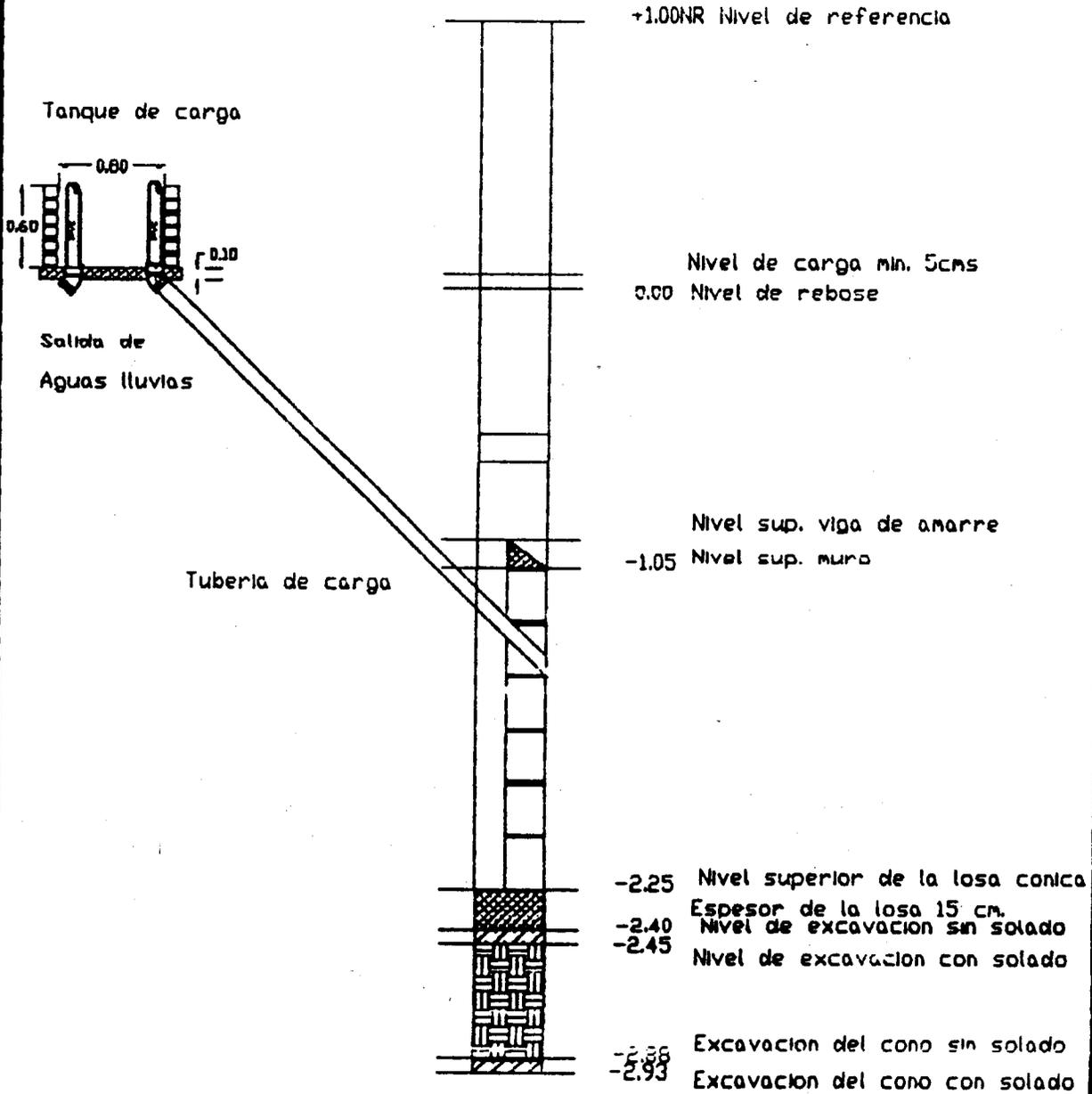
VOLUMEN 14 M3

PROYECTO BIDGAS
 CVC-GTZ-BioSystem
 BIODIGESTOR
 CUPULA FIJA
 Cali Colombia 1991

CARGA

NIVELES DEL BIODIGESTOR

VOLUMEN 14 M³



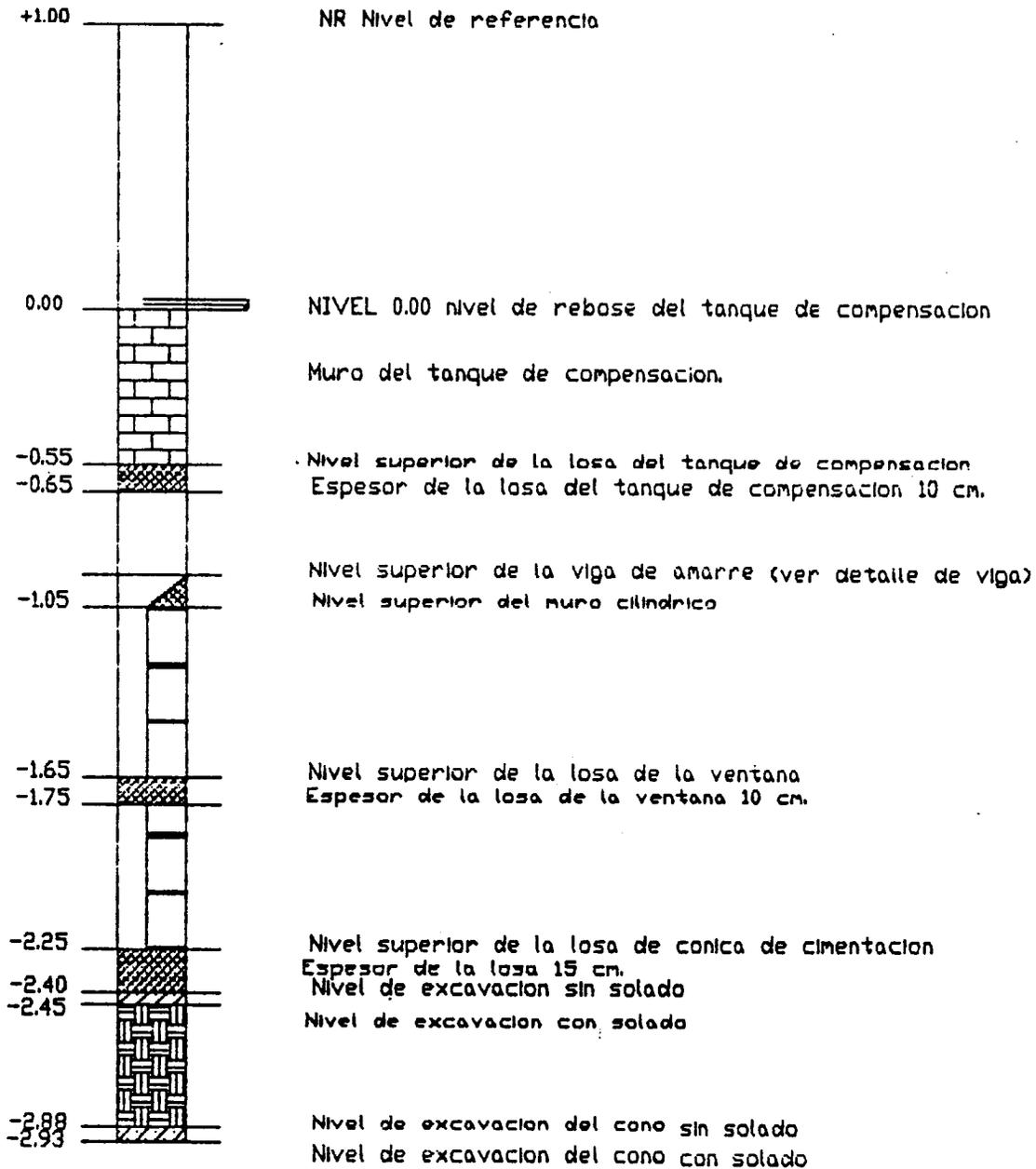
Nota: Los niveles son los mismos cuando se usa canaleta estercolera con desarenador de limpieza diaria.

PROYECTO BIOGAS
 CVC-GTZ-BioSystem
 BIODIGESTOR
 CUPULA FIJA
 Cali Colombia 1991

DESCARGA

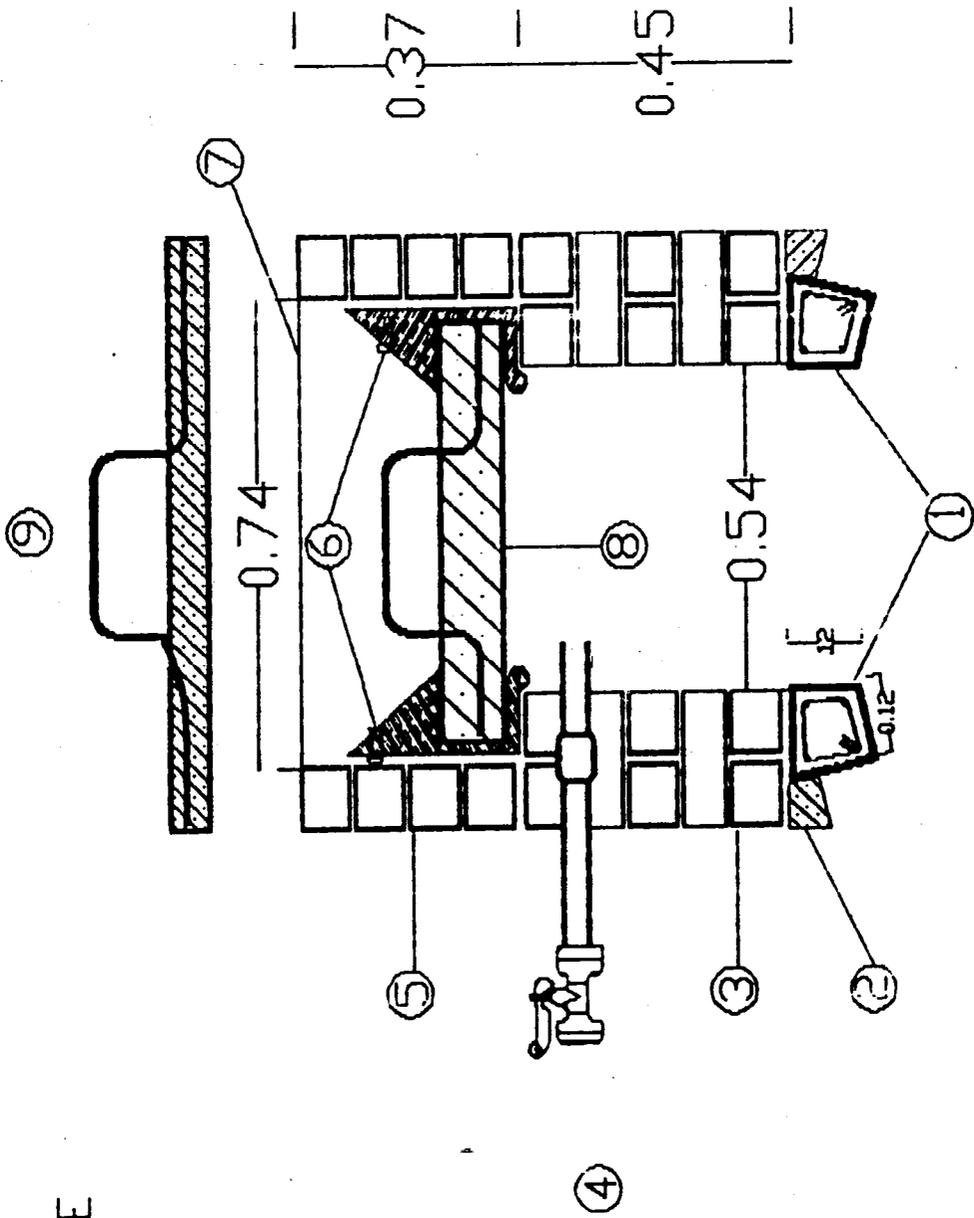
NIVELES DEL BIODIGESTOR

VOLUMEN 14 M3



PROYECTO BIOGAS
 CVC-GTZ-BioSystem
 BIODIGESTOR
 CUPULA FIJA
 Cali Colombia 1991

DETALLE



- ① Viga clave
- ② Relleno concreto
- ③ Ladrillo tizon
- ④ Tubería PVC
- ⑤ Ladrillo soga
- ⑥ Sello arcilla
- ⑦ Nivel del agua
- ⑧ Tapa concreto
- ⑨ Tapa concreto (opcional)

PROYECTO BIOGAS

CVC-GTZ-BioSystem

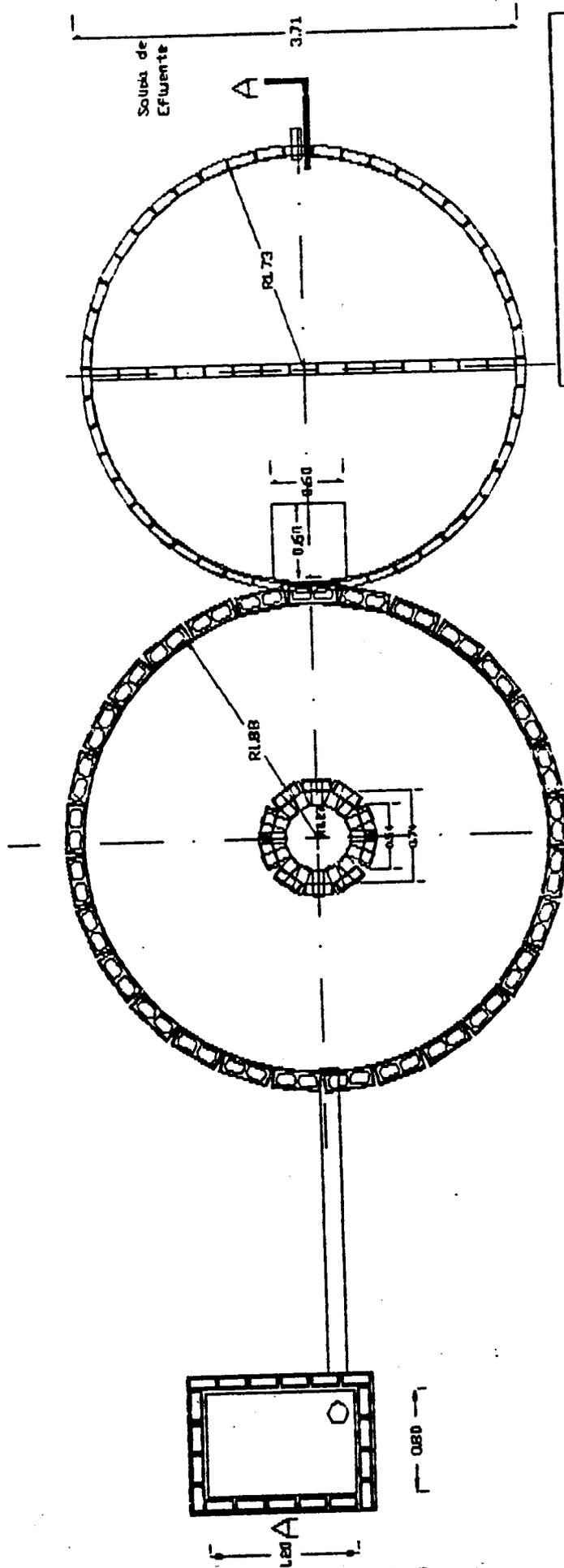
BIDDIGESTOR
CUPULA FIJA

Cali Colombia 1991

CUELLO

VOLUMEN 22.5 m³

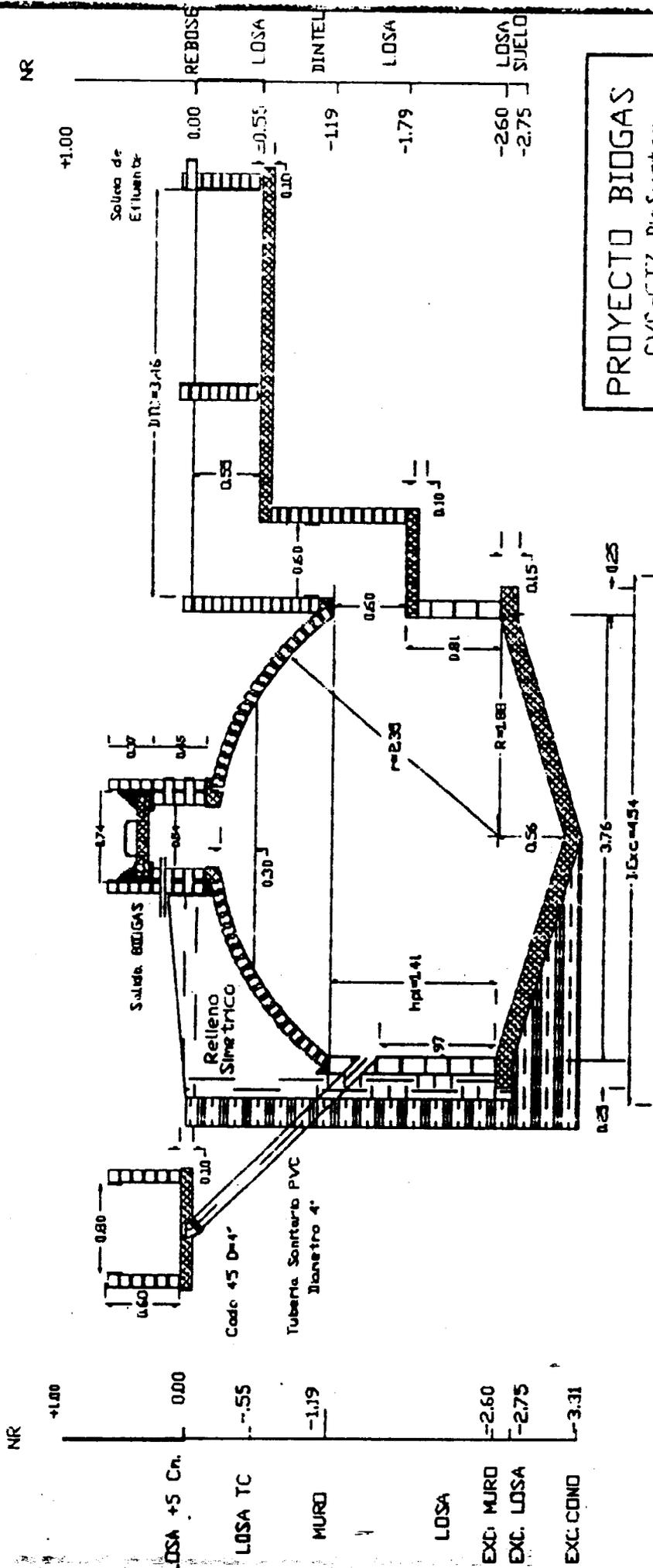
VOLUMEN 22.5 M3



PROYECTO BIDGAS
CVC-GTZ-BioSystem
BIODIGESTOR
CUPULA FTJA
Cali Colombia 1991

PLANTA GENERAL

VOLUMEN 22.5 M3



PROYECTO BIOGAS
 CVC-GTZ-BioSystem
 BIODIGESTOR
 CUPULA FIJA
 Cali Colombia 1991

CORTE AA

NR	+1.00	0.00	-0.55	-1.19	-2.60	-2.75	-3.31
	LOSA +5 Cn.	LOSA TC	MURO	LOSA	EXC. MURO	EXC. LOSA	EXC. CONO

E#2 c/15

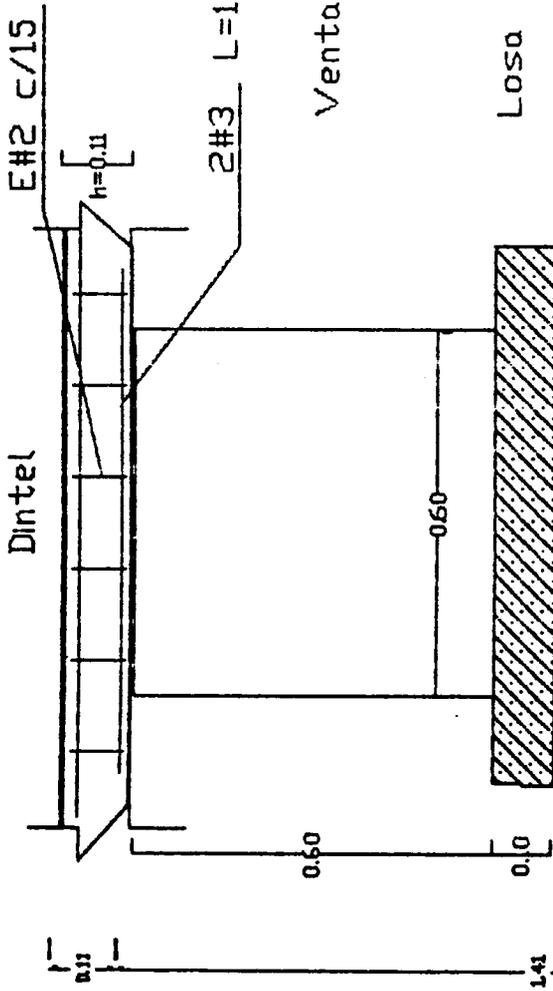
Viga
b=14 cm
h=11 cm

2#3
1#2

Bloque
39x19x14

Juntas
e=1 cm

4#2



E#2 c/15

Dintel

h=0.11

2#3 L=1

Ventana

0.60

Losas

0.0

1.41

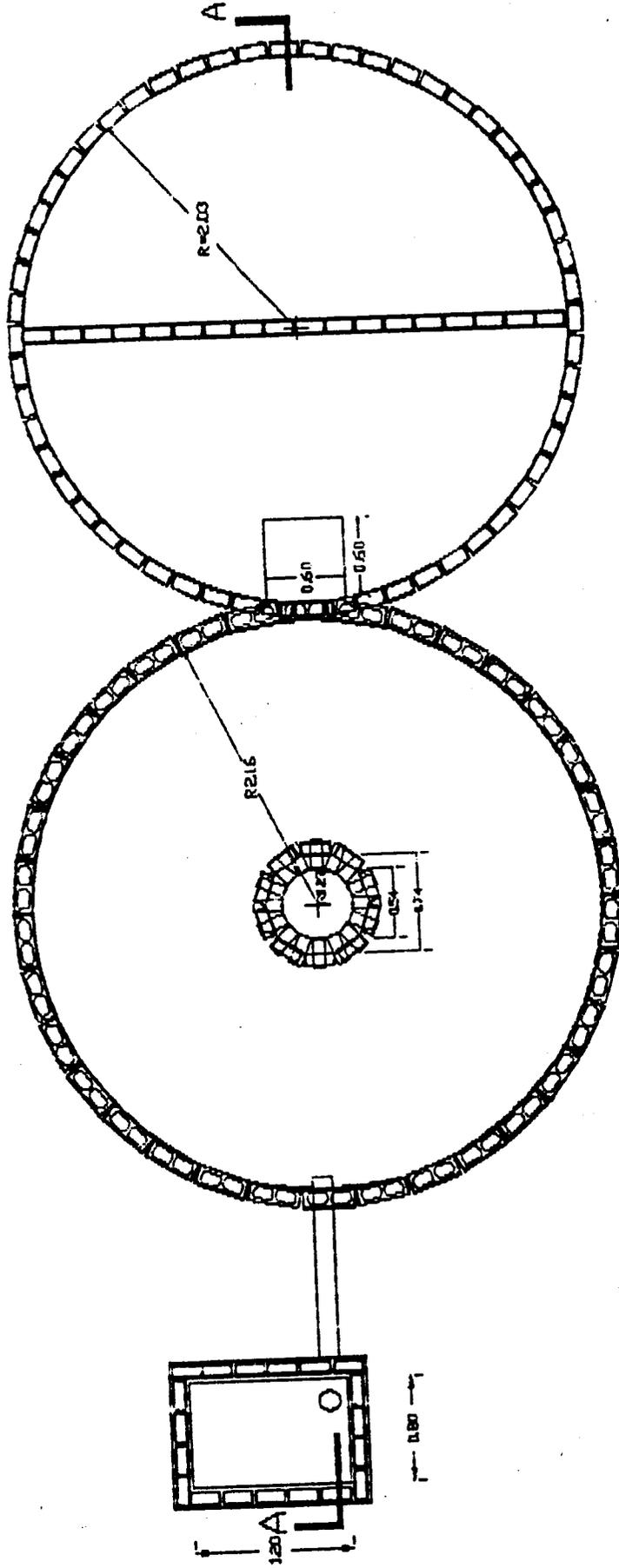
VOLUMEN 22.5 M3

PROYECTO BIDGAS
 CVC-GTZ-BioSystem
 BIDDIGESTOR
 CUPULA FIJA
 Cali Colombia 1991

$f_y=37000$ psi
 $f'_c=3000$ psi

VOLUMEN 34.5 m³

VOLUMEN 34.50 M3

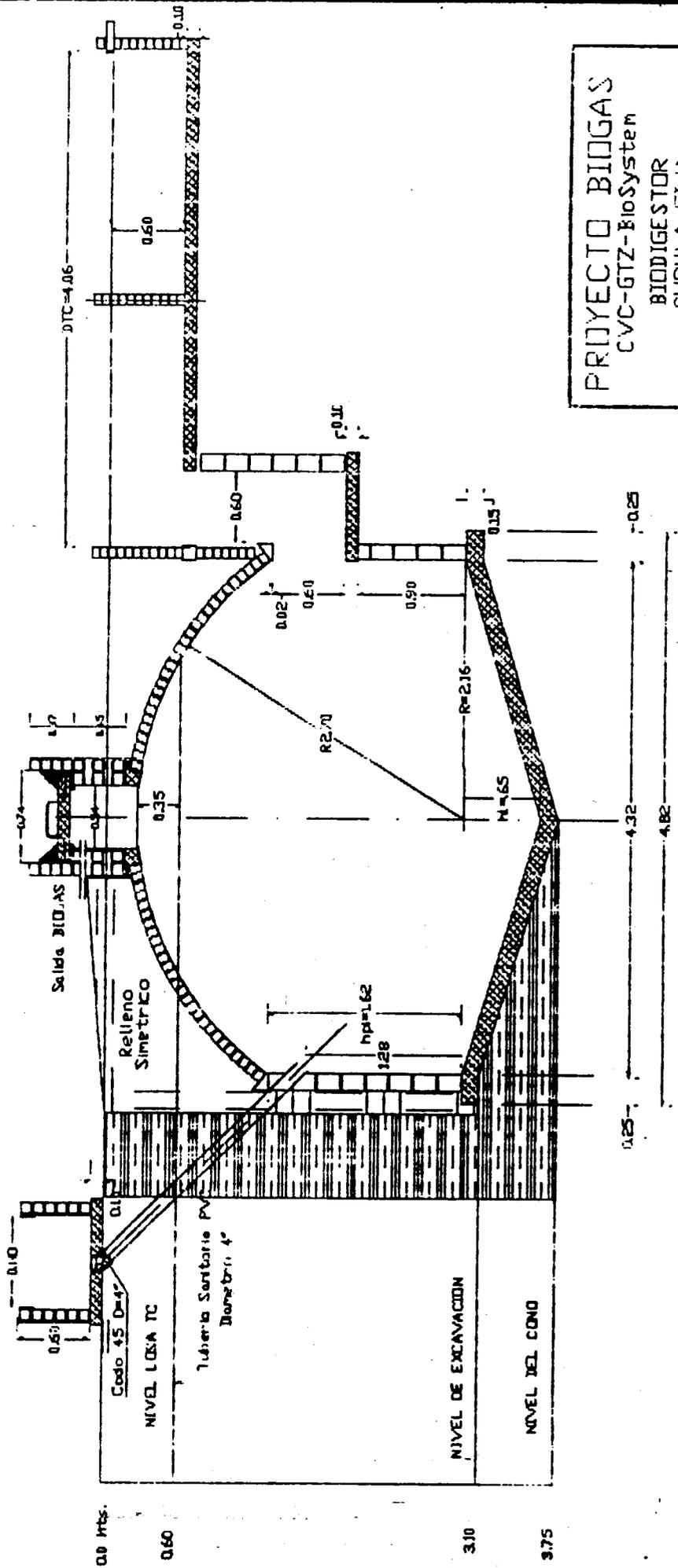


PROYECTO BIOGAS
CVC-GTZ-BioSystem
BIODIGESTOR
CUPULA FIJA
Cali Colombia 1991

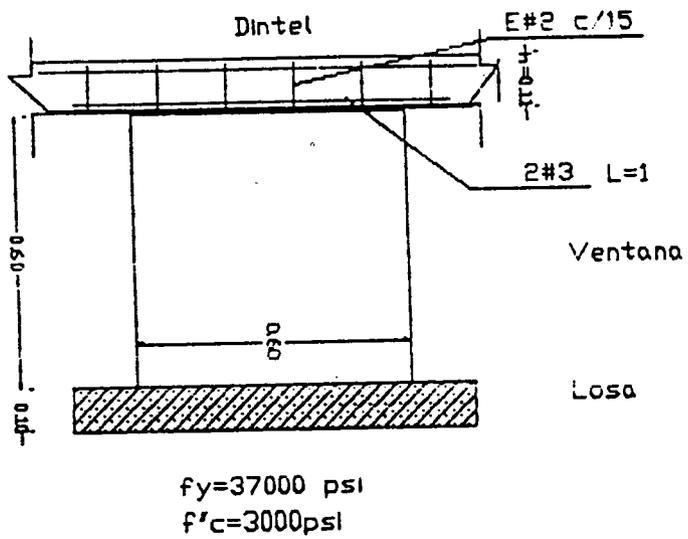
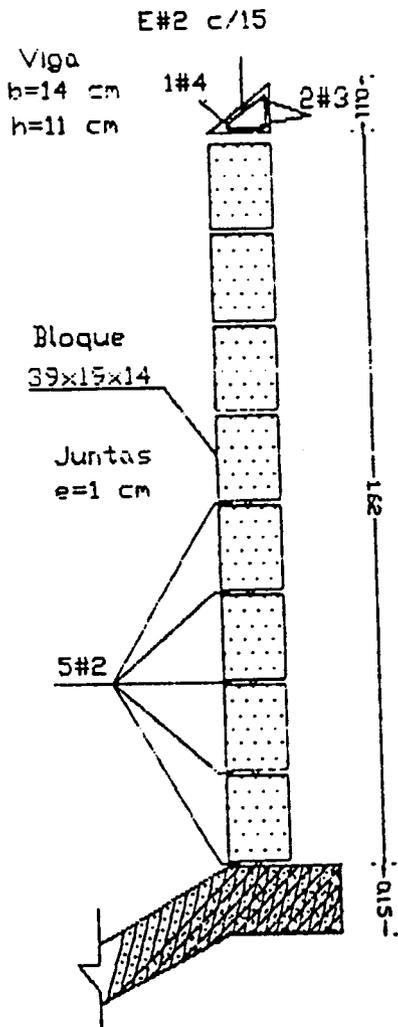
PLANTA

VOLUMEN 34.5 M3

PROYECTO BIGGAS
 CVC-GTZ-BioSystem
 BIODIGESTOR
 CUPULA FIJA
 Cali Colombia 1991



CORTE AA'



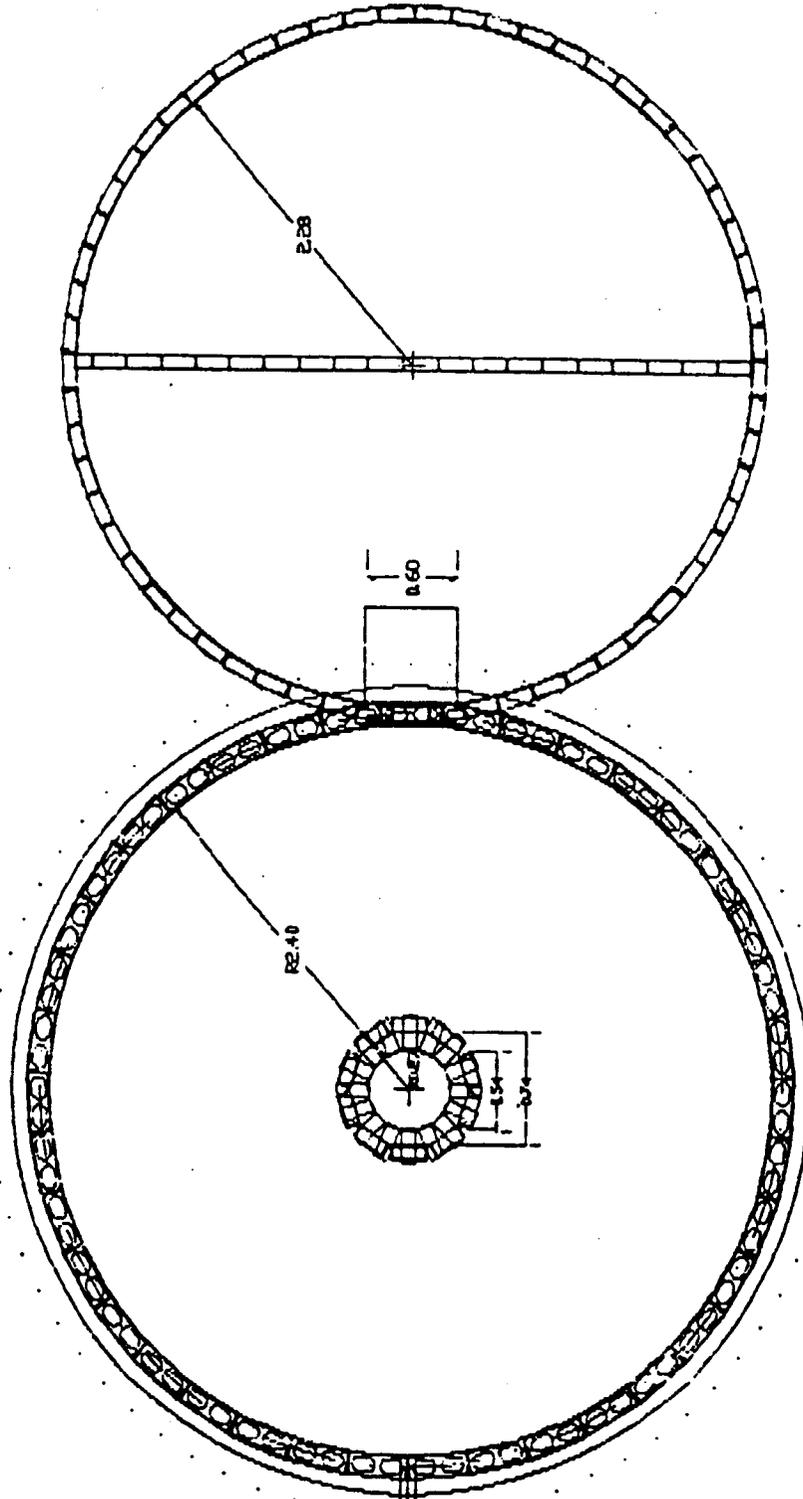
VOLUMEN 34.50 M3

PROYECTO BIOMAS
 CVC-GTZ-BioSystem
 BIODIGESTOR
 CUPULA FIJA
 Cali Colombia 1991

VOLUMEN 47.5 m³

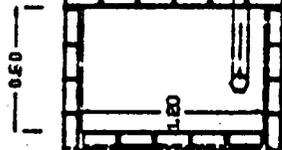
VOLUMEN 47.5

D=4.80

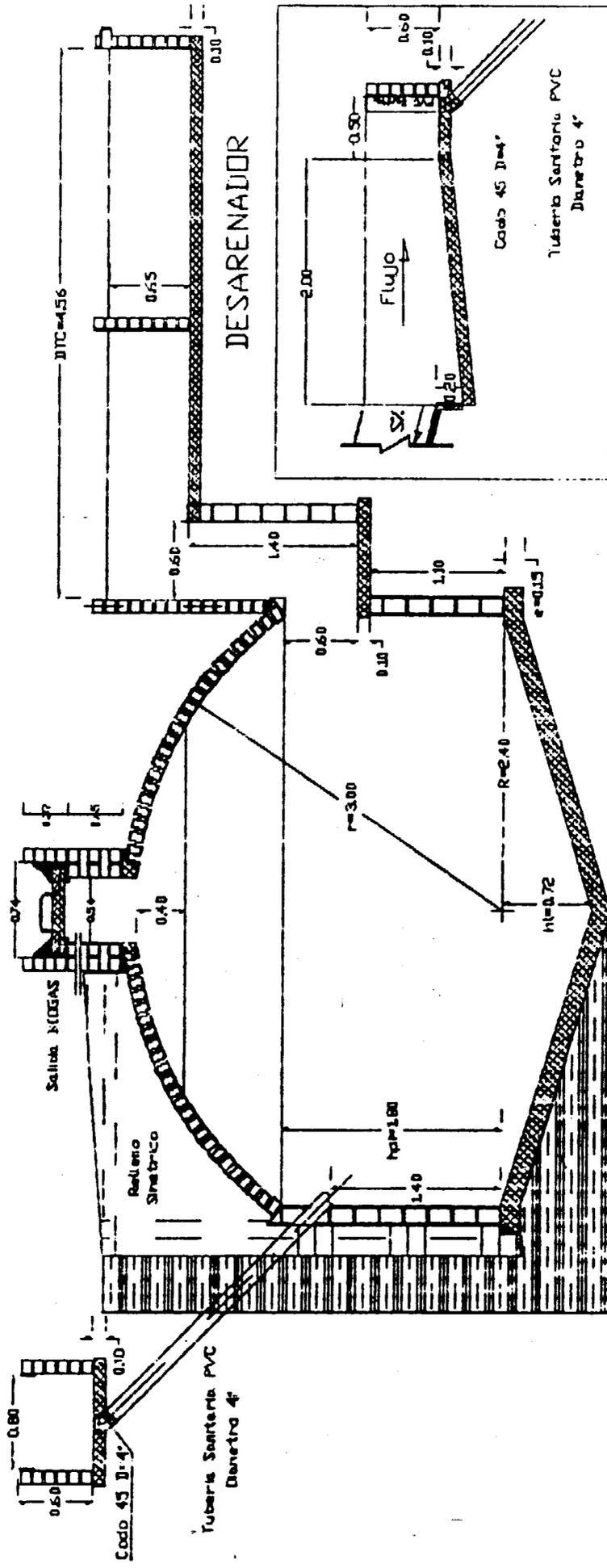


PLANTA GENERAL

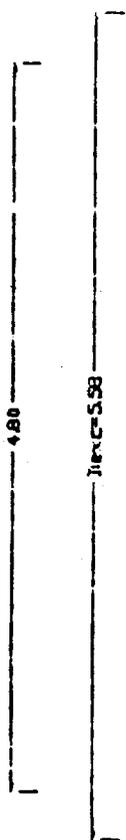
CONVENIO BIDGAS
BIODIGESTOR
CUPULA F.I.JA
CVC-GTZ-BioSystem
Cali Colombia, 1991



VOLUMEN 47.5 M3

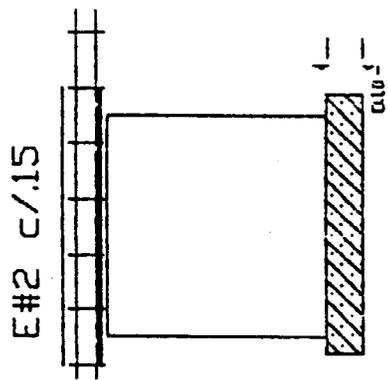
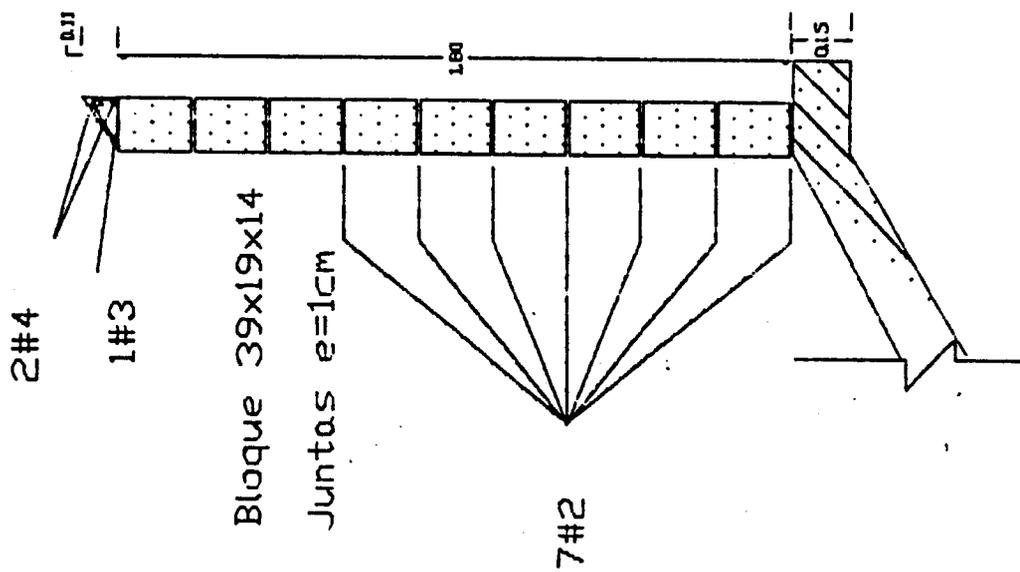


CONVENIO BIOGAS
 BIODIGESTOR
 CUPULA FIJA
 CVC-GTZ-BioSystem
 Cali Colombia 1991



CORTE AA'

DETALLE



$f_y = 37000$
 $f_y = 60000$
 $f'_c = 3000$

VOLUMEN 47.5 M³

CONVENIO BIOGAS
 BIODIGESTOR
 CUPULA FIJA
 CVC-GTZ-BioSystem
 Cali Colombia 1991

DISTRIBUCION DE ACERO

DIMENSIONAMIENTO FILTRO ANAEROBICO DE
FLUJO ASCENDENTE CON MEDIO DE GUADUA

PRODUCCION café pergamino seco . Cargas/año	AGUAS RESIDUALES l/dia	TANQUE HOMO GENIZACION				FILTRO ANAEROBIC FLUJO ASCENDENTE		
		V m3	L m	a m	h m	V m3	D m	
1	50	0.1	0.7	0.35	0.4	0.19	0.5	1.0
10	500	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	1.1	1.0
20	1000	1.0	1.4	0.7	1.0	2.0	1.5	1.0
30	1500	1.5	1.8	0.9	1.0	3.0	1.7	1.0
50	2500	2.5	2.2	1.1	1.0	5.0	2.0	1.0
70	3500	3.5	2.6	1.3	1.0	* 7.0	1.7	1.0
100	5000	5.0	3.0	1.5	1.0	* 10	2.0	1.0
120	6000	6.0	3.2	1.6	1.2	* 12	2.2	1.0
150	7500	7.5	3.6	1.8	1.2	* 15	2.3	1.7

* Se deben usar 2 filtros anaeróbicos con medio de soporte guadua, con las dimensiones allí indicadas.

Para el dimensionamiento se asumen los siguientes criterios :

Producción de diseño : 2% de la producción total

Generación de aguas residuales : 20 l/Kg cps

Concentración aguas residuales : 10 Kg DQO/m3

Carga orgánica filtro anaeróbico: 5 Kg DQO/m3-dia

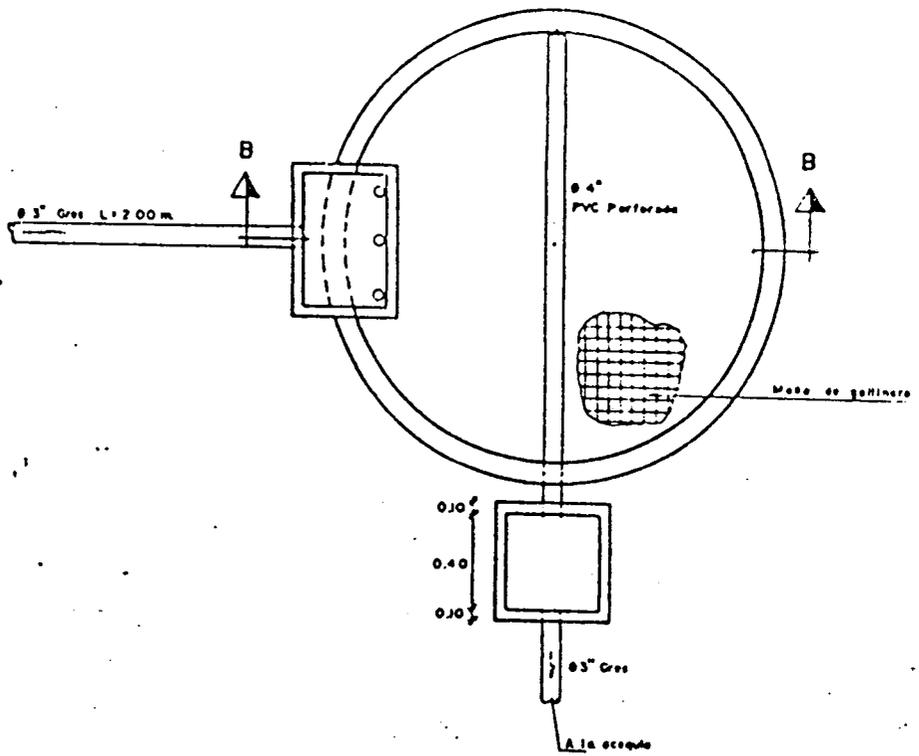
Tiempo de retención filtro : 1 dia

Volúmen filtro = $\pi D^2/4 \times h = \text{carga (Kg DQO/dia)} / 5 \text{ Kg DQO/m3-dia}$

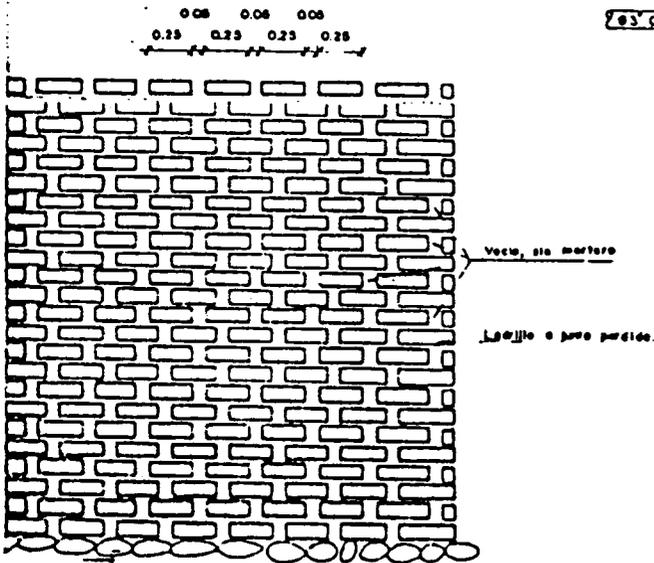
ANEXO 3.

FILTRO ANAEROBICO DE FLUJO ASCENDENTE

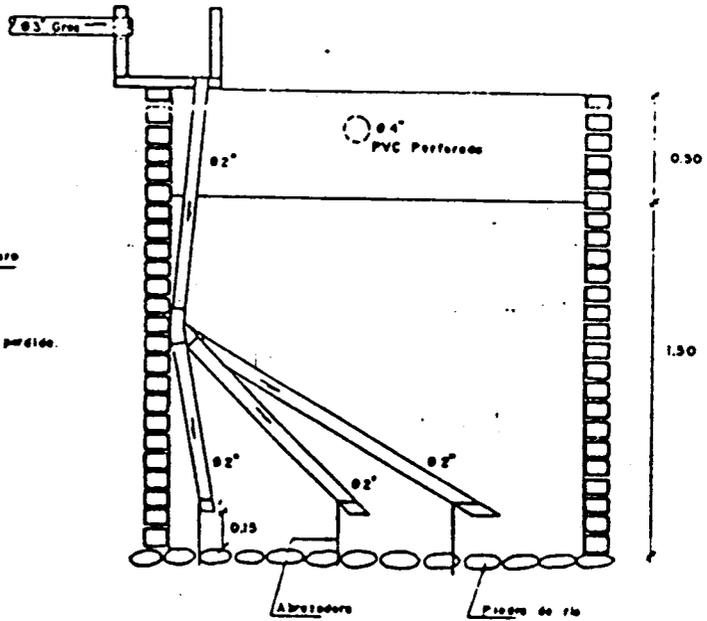
ESC. 1:20



PLANTA
ESC. 1:20



DETALLE PARED DEL FILTRO
SIN ESCALA.



CORTE B-B

CVC	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA CALI - COLOMBIA DIVISION DE AGUA DEPARTAMENTO DE LA SUPERVISACION	
	FINCA EL CIPRES TIBERIO GIRALDO MUNICIPIO DE EL DOVIO	
PRESENTADO	-----	DISEÑADO: P. GONZALEZ
APROBACION	-----	REVISADO: A. GONZALEZ
RECOMENDADA	-----	REV. POR: L. PEREZ
APROBADO	-----	ABRIL / 1991
HUJA	1 de 1	DIBUJO Nº

**DIMENSIONAMIENTO REACTOR ANAEROBICO DE
FLUJO ASCENDENTE**

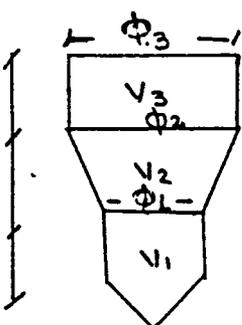
PRODUCCION CPS cargas Kg		VOLUMEN A. R. l/dia	TANQUE HOMO GENIZACION M3	REACTOR ANAEROBICO DE FLUJOASCENDENTE							
				V	Ø1	Ø2	Ø3	h1	h2	h3	ht
150	17045	6818	6.8	8.5	1.5	2	2	2	1	1	4
170	19318	7727	7.7	9.6	1.8	2.2	2.2	2	1	1	4
200	22727	9091	9.0	9.6	1.8	2.2	2.2	2	1	1	4
250	28408	11363	11.0	17.0	2.2	2.7	2.7	2	1	1	4
300	34090	13636	13.6	17.0	2.2	2.7	2.7	2	1	1	4
350	39772	15909	16.0	25.6	2.6	3.2	3.2	2	1	1	4
400	45453	18181	18.0	25.6	2.6	3.2	3.2	2	1	1	4
450	51135	20454	20.5	25.6	2.6	3.2	3.2	2	1	1	4
500	56817	22769	23.0	33.8	3	3.7	3.7	2	1	1	4
550	62498	24996	25.0	33.8	3	3.7	3.7	2	1	1	4
600	68180	27272	27.0	33.8	3	3.7	3.7	2	1	1	4
700	79543	31817	32.0	45	3.5	4.2	4.2	2	1	1	4
800	90907	36363	36.0	45	3.5	4.2	4.2	2	1	1	4
900	102270	40908	41.0	57.5	4.0	4.8	4.8	2	1	1	4
1000	113633	45453	46.0	57.5	4.0	4.8	4.8	2	1	1	4

Para el dimensionamiento se asumieron los siguientes criterios :

Temperatura : 18 C

Tiempo de Retención hidráulico UASB : 15 horas .

Carga orgánica UASB : 8 KgDQO/M3-día



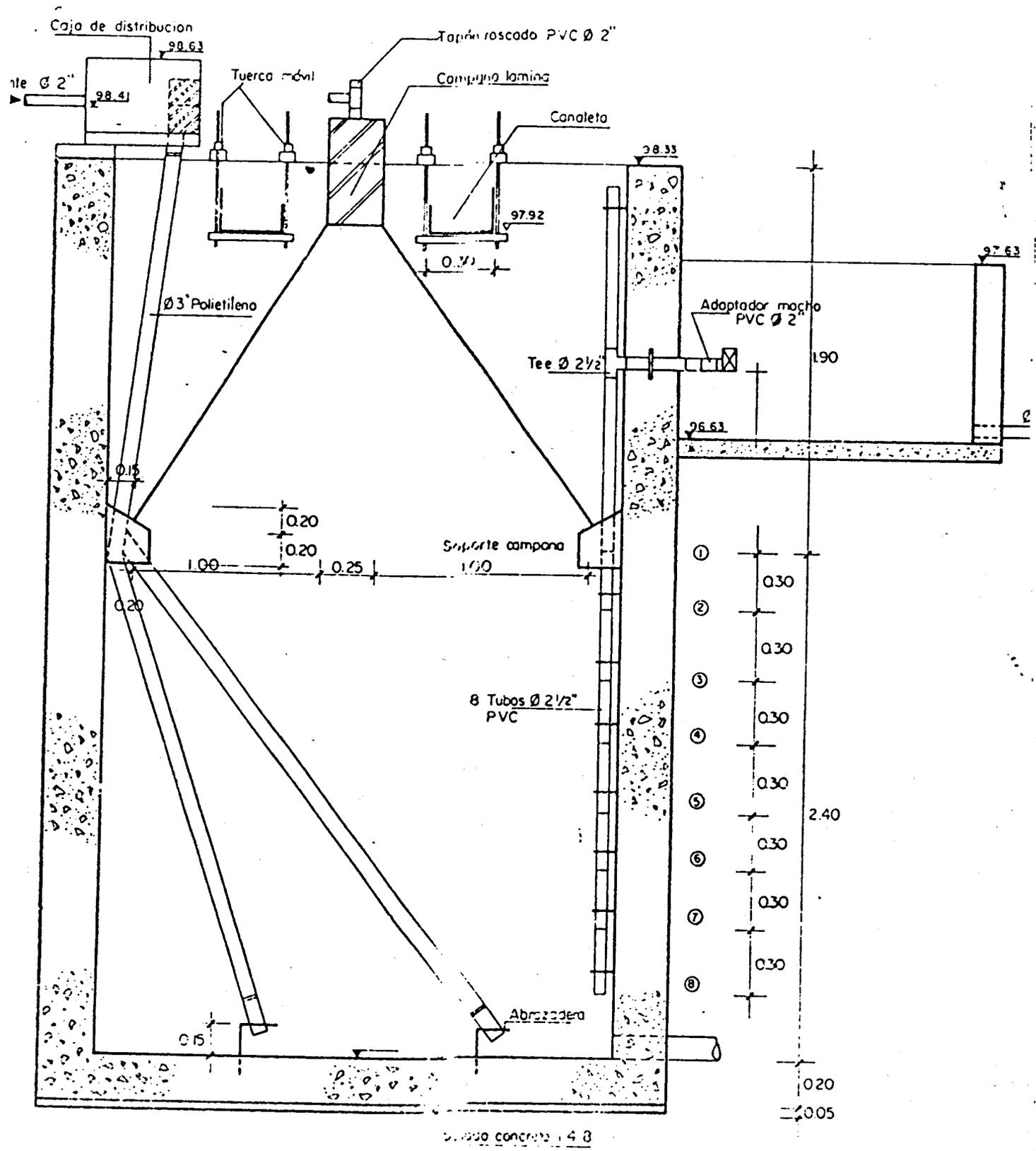
$$V_3 = \frac{\pi \phi_3^2}{4} h_3$$

$$\phi_2 = \phi_3$$

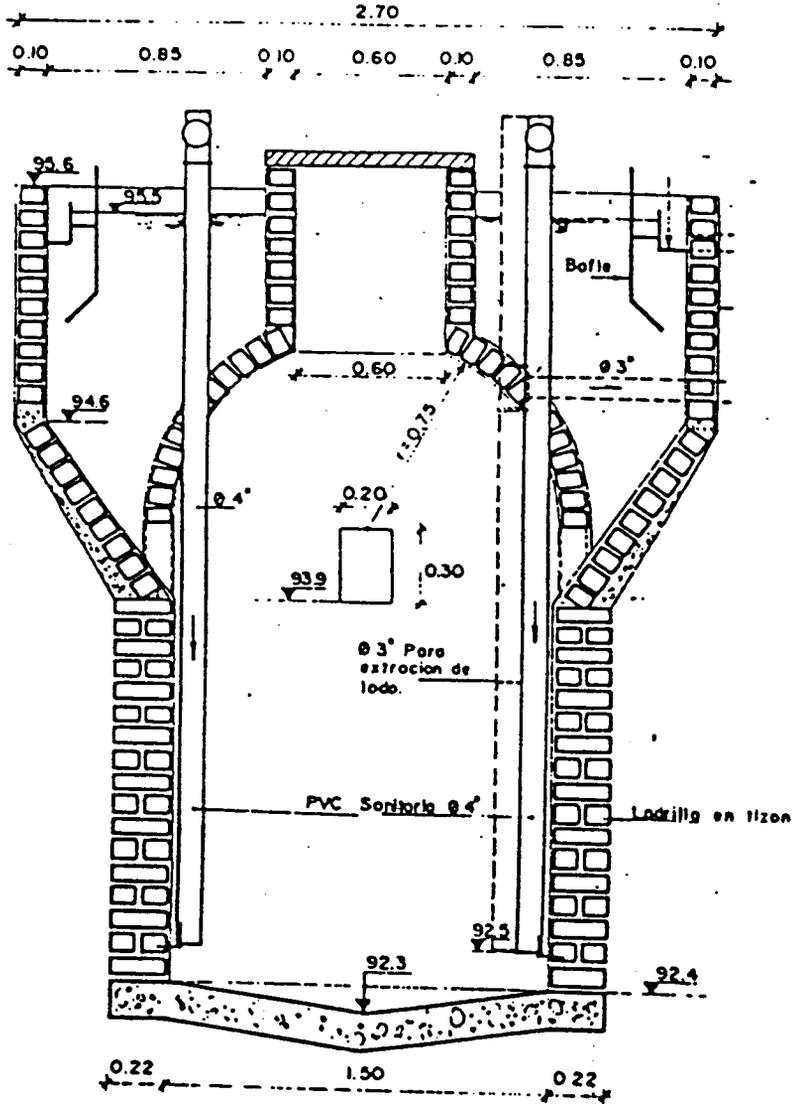
$$V_2 = \frac{\pi h_2}{3} [\phi_3^2 + \phi_1^2 + \phi_1 \phi_3]$$

$$V_1 = \frac{\pi \phi_1^2}{3} h_1$$

$V_1 = 40\% \cdot V_T$ $V_2 = V_3 = 30\% \cdot c/u.$



TANQUE UASB - CORTE C-C

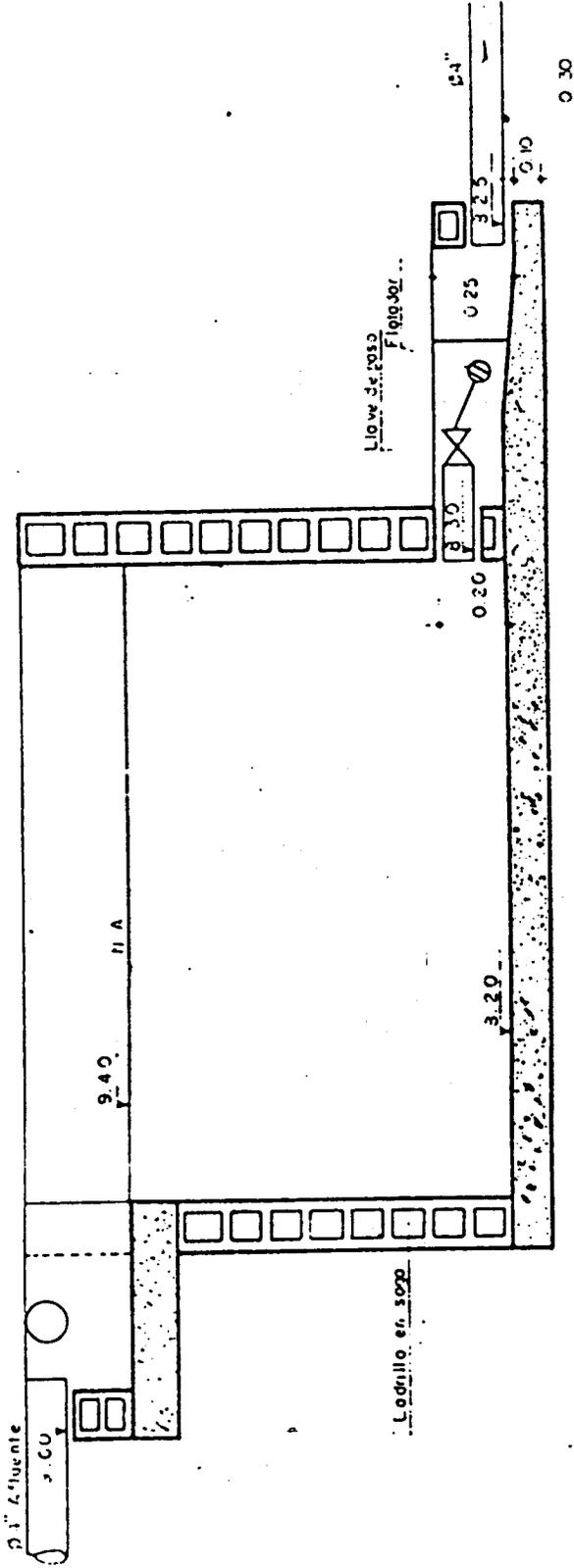


CORTE A-A

ESC. 1:25

PREDIO: Sociedad Cafetera
Los Seis

Ø 4" drenaje de fujos.



TANQUE DE HOMOGENIZACION Corte Longitudinal

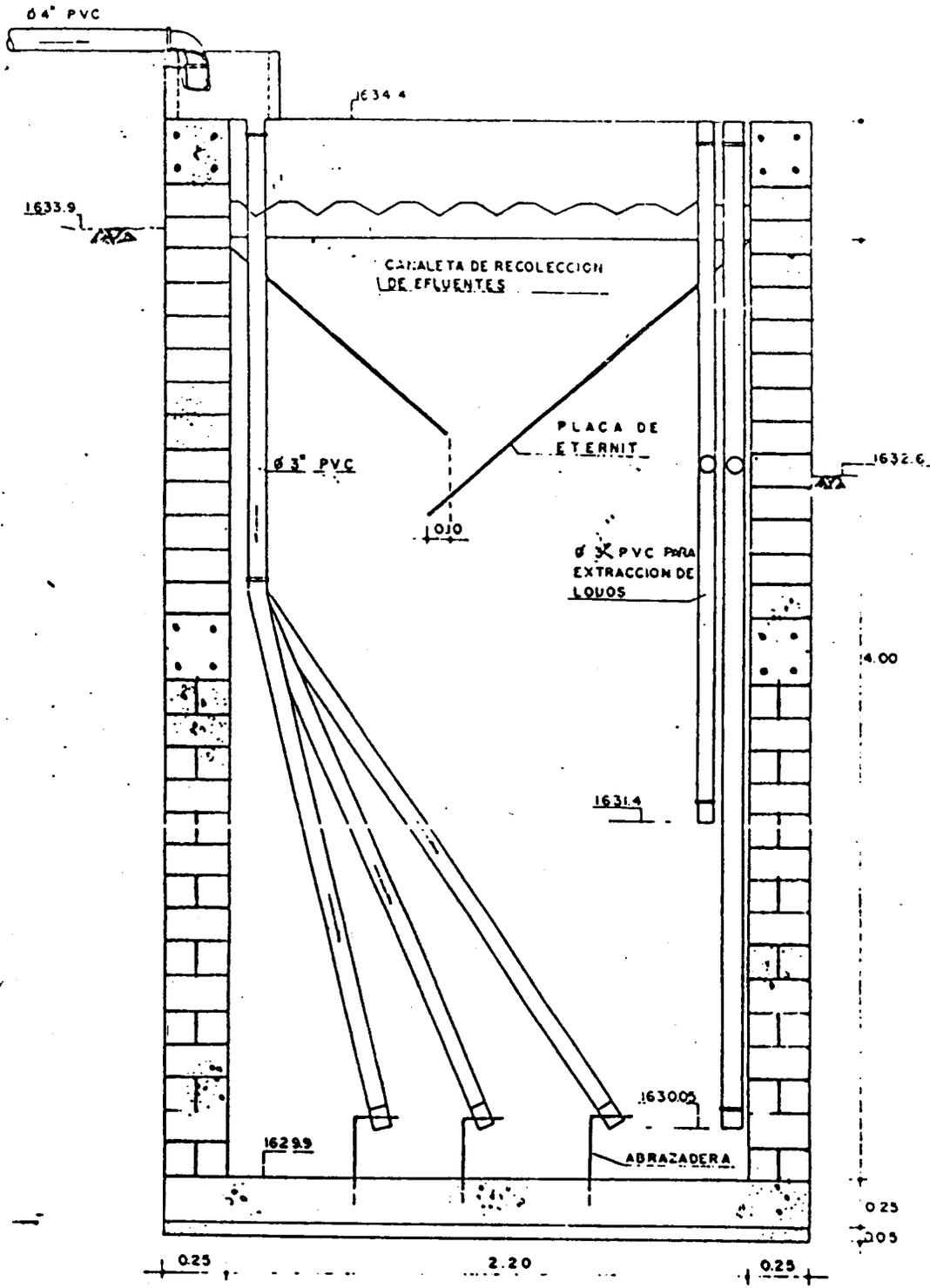


COMPAÑIA AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
C.A.R.C.
BARRANQUILLA

HACIENDA LA CAJALIA
SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DEL
SEMIPICO DEL CAUCA

PRESENTADO
APROBACION

ESTIMADO
DIBUJADO



SOLADO CONCRETO 1:4:8

CORTE C-C
 ESC. 1:20

	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA CALI, COLOMBIA 2011-12-15	
	HACIENDA LA CAMELIA SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DEL BENEFICIO DE CAFÉ	
PRESENTADO APROBACION RECOMENDADA APROBADO HOJA	DISEÑADO DIBUJADO REV. PCN APP. DE DIBUJADO EN	

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA -CVC-
DIVISION DE AGUAS

CONVENIO CVC - COMITE DE CAFETEROS

GUIA DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DE LAS PLANTAS CONSTRUIDAS PARA
EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES QUE SE GENERAN EN EL BENE-
FICIO DEL CAFE.

En general el trabajo diario consiste en la limpieza de las estructuras que determinan el funcionamiento hidráulico del tanque y en las observaciones y muestreos al afluente y efluente necesarios para la evaluación del sistema.

Diariamente se debe observar el funcionamiento de los tubos de alimentación, cuando la cabeza estática en un tubo aumenta, se debe limpiar el tubo. Esto se puede realizar con un chorro de agua, introduciendo una manguera por la tubería, hasta que el tubo funcione normalmente.

La recolección uniforme del efluente es de igual importancia que la distribución del afluente sobre el fondo. Para lograr una recolección uniforme es importante que todos los vertederos de las canaletas tengan un flujo libre.

Se deben limpiar estos vertederos mínimo una vez al día y cada semana ó más frecuente según la situación se deben barrer las canaletas.

La tubería de purga del lodo tiene tendencia a taparse después de un tiempo de no utilizarla, debido a la densidad del lodo que hace que se forme un tapón de lodo espeso en el final de la tubería. En

este caso se debe limpiar la tubería desde arriba con una manguera, en la misma forma que la tubería de alimentación.

En la operación del proceso biológico es muy importante la medición del caudal de alimentación al reactor.

Para garantizar un funcionamiento apropiado, la planta debe funcionar de acuerdo con los criterios de diseño. Como medida de control el aforo del caudal se realiza por lo menos una vez al día.

El muestreo del afluente y del efluente es la forma para establecer las eficiencias de remoción y el funcionamiento biológico del reactor.

Inicialmente los muestreos se realizan con mayor frecuencia (una vez por semana) pero pueden ir disminuyendo en la medida que se logre una buena adaptación de las bacterias al sustrato.

Se recomienda la toma de muestras compuestas para tener así una relación entre la muestra del afluente y la muestra del efluente al mismo tiempo; esto se complementa con observaciones visuales.

Los parámetros que son de importancia para la evaluación del comportamiento del reactor son los siguientes:

DQO, SST, SSV, pH, Temperatura y AGV.

La observación visual de la calidad del efluente da una indicación del funcionamiento de la planta, normalmente el efluente debe tener un aspecto claro y debe contener muy poco lodo.

Una sobrecarga se manifiesta en una alta turbiedad del efluente y con presencia de sólidos sin digerir (Color gris); esta situación se presenta en el arranque y debe ser considerada normal para esta

fase. Los muestreos y el aforo del caudal deben aclarar la razón para la sobrecarga.

El muestreo del lodo se realiza para estimar la cantidad de lodo en el reactor y para evaluar su calidad.

La calidad del lodo puede evaluarse con una prueba de sedimentación del lodo y con el ensayo de actividad metanogénica que son pruebas de laboratorio.

Normalmente se realiza una purga de lodo cuando se visualiza que este ha alcanzado la zona de sedimentación en el tanque.

Es importante aclarar que como las canaletas del efluente están provistas de un baffle, es muy probable que se forme una capa flotante en la superficie, en este caso se debe remover la capa y disponer el material como desecho sólido.

El mantenimiento corresponde a la limpieza y al sostenimiento de las estructuras de la planta.

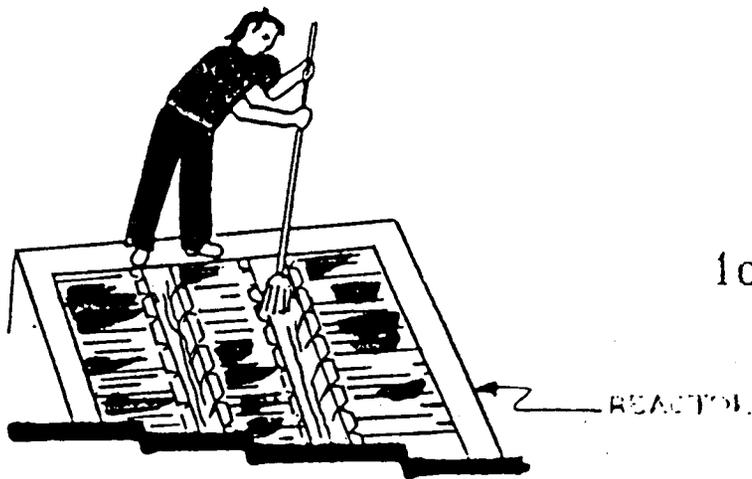
El mantenimiento asociado con el proceso de tratamiento se reduce a remover el material sólido ya sea en la superficie del tanque (hojas, capa flotante) y/o cuando se obstruyeron las tuberías de alimentación.

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA - CVC
DIVISION DE AGUAS
CONVENIO CVC - COMITE DE CAFETEROS

PLAN DE TRABAJO

0. Mantener limpias las canaletas y los vertederos.
1. Verificar que el agua residual se deposite en el tanque de homogenización.
2. Cerrar válvula de paso al reactor
3. Neutralizar (adicionar cal) y verificar pH según las indicaciones.
4. Abrir válvula e iniciar alimentación al reactor.
5. Controlar caudal (volumetricamente) tomar tiempo y medir volúmen.
6. Verificar paso correcto del flujo por las tuberías alimentación es decir en la caja de distribución de flujo se debe observar que no haya obstrucciones que impidan la entrada del agua en forma equitativa.
7. Toma de muestras.
Colectar muestras de efluente y afluente las cuales deben ser refrigeradas.

GUIA DE MANEJO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

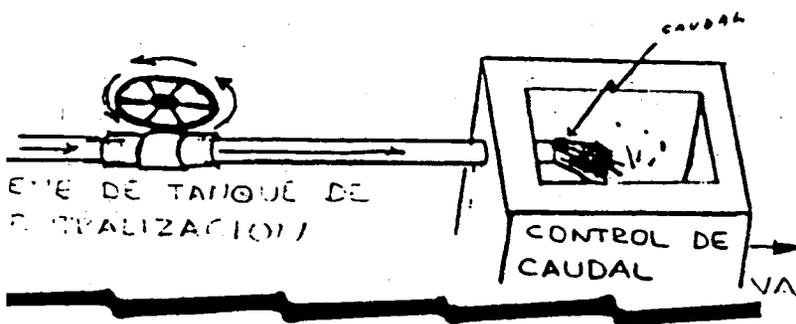


10. Limpieza periódica de canaletas y vertedero

20. Cerrar válvula de paso de agua miel, añadir cal y verificar que el pH este entre 6 y 7.5



TIPO DE NEUTRALIZACIÓN



30. Abrir válvula de paso de agua miel y controlar el caudal para alimentación correcta de la planta.

40. Tomar muestras de agua de entrada y salida de la planta y refrigerar mientras se entregan para análisis de laboratorio.



ANEXO 4.

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA -CVC-

DIVISION DE AGUAS

**DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS
RESIDUALES QUE SE GENERAN EN EL BENEFICIO DEL CAFE**

PREDIO CUPRECIA

MEMORIA TECNICA

Cali, Noviembre 1991

No.020

CONTENIDO

1. INTRODUCCION
2. CONDICIONES BASICAS
 - 2.1 Generalidades
 - 2.2 Consumo de agua
 - 2.3 Características del agua residual
3. SISTEMA DE TRATAMIENTO PROPUESTO
 - 3.1 Tanque de homogenización
 - 3.2 Reactor anaeróbico de flujo ascendente
4. DISEÑO DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO
5. OPERACION Y MANTENIMIENTO

ANEXOS

- Referencias bibliográficas
- Alternativa de tratamiento
- Presupuesto aproximado de construcción de obra

SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES QUE SE GENERAN EN EL BENEFICIO DE CAFÉ DEL PREDIO CUPRECIA.

1. INTRODUCCION

La Corporación Autónoma Regional del Cauca CVC inició en el año de 1968 los estudios de las diferentes alternativas para mejorar la calidad de las aguas del Río Cauca.

Los programas de control de las aguas residuales domésticas e industriales buscan reducir la carga orgánica contaminante que generan los municipios, las industrias y las agroindustrias.

Los resultados alcanzados a nivel industrial son satisfactorios y el nivel de calidad del río Cauca, que era anaeróbico en la zona entre Cali y Mediacanoa, ha pasado a 1.0 mg/L, valor mínimo que cumple los objetivos inicialmente propuestos.

Las municipalidades tienen en estudios alternativas para el manejo de sus aguas residuales y tienen el compromiso de ejecutar las obras que les compete.

Con la agroindustria la Corporación Autónoma Regional del Cauca CVC visualizó que era difícil construir un sistema convencional de tratamiento altamente costoso para su capacidad económica e investigó los sistemas de tratamiento anaeróbicos que además de controlar la contaminación permite al usuario acentuar el costo de inversión de las obras al poder utilizar los subproductos que genera el sistema de tratamiento, es decir el gas puede ser empleado como combustible y la materia orgánica transformada como fertilizante del suelo.

El Valle del Cauca es una de las zonas con excelente producción de café. El proceso del beneficio se realiza por vía húmeda generando

de 20 a 30 lts de agua miel por cada kilogramo de café pergamino seco.

De las investigaciones realizadas por la CVC se considera que la mejor alternativa evaluada es la del proceso anaeróbico de flujo ascendente.

2. CONDICIONES BASICAS

2.1 Generalidades

El predio Cuprecia se encuentra localizado en la Vereda La Buitrera Municipio de Yumbo.

La temperatura promedio oscila entre 18° - 20° C y la a.s.n.m. es 1470

2.2 Consumo de agua.

El proceso del beneficio del café es por vía húmeda y se generán alrededor de 20 lts de agua miel por cada kilogramo de café beneficiado.

Producción diaria = 70 arrobas CPS

Cantidad de agua residual = 17.5 m³/día

2.3 Características del agua residual

Los desechos generados en el proceso del beneficio del café son de dos clases líquidos formados por las llamadas aguas mieles y sólidos formados por la pulpa (mesocarpio y cáscara).

La pulpa produce un líquido percolado con una alta concentración de maeria orgánica.

La **Tabla No.1** muestra las características de las aguas residuales.

TABLA No.1

CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE CAFE. VALORES PROMEDIO

SUSTANCIA

Temperatura	23	°C
Color	137.5	Unidades
Turbiedad	1000	FTU
PH	4.7	Unidades
Conductividad	578.4	mmhos/cm.
Residuo total	741	mg/l
Residuo no filtrable total	410	mg/l
Residuo no filtrable volátil	345	mg/l
Demanda Química de Oxígeno	15450	mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno	6083	mg/l
Acidos grasos volátiles	118.7	mg/l
Carbono Orgánico Total	310	mg/l C

La Tabla No.2 muestra la cantidad de agua residual que se genera durante el proceso del beneficio. Aproximadamente un 60% de la carga expresada en kg DQO/día proviene del agua de despulpado y del agua de drenaje de la pulpa y un 40% del agua de los tanques de fermentación, lavado y clasificación.

TABLA No.2

FUENTE	CANTIDAD DE AGUA	CARGA Kg DQO/día	
		Carga	%
Agua de despulpe	46	3.0	50
Agua de drenaje	1.0	0.6	10
Agua de lavado de tanques de fermentación	53	3.1	40
Total	<u>100</u>	<u>6.7</u>	<u>100</u>

3. SISTEMA DE TRATAMIENTO PROPUESTO

Se propone se construyan las siguientes unidades:

3.1 Tanque de homogenización.

Generalmente el agua residual que se genera en el proceso esta parcialmente acidificada en forma natural debido a las bacterias fermentativas presentes en la pulpa, por lo tanto el pH de la solución es bajo y se requiere neutralizar el agua antes de que entre al reactor adicionando una solución de NaOH ó de Ca (OH)₂.

Esta unidad se utiliza también como tanque de almacenamiento para poder así garantizar la alimentación al reactor con flujo constante.

3.2 Reactor anaeróbico de flujo ascendente

Este proceso de depuración de aguas residuales fue desarrollado hace aproximadamente 15 años en Holanda por el Doctor Gatzke Lettinga.

La Sigla UASB se refiere a su nombre en inglés (Uplow Anaerobic Sludge Blanket) cuya traducción al español significa proceso anaeróbico de flujo ascendente a través de un manto de lodos.

El sistema esta compuesto basicamente de lo siguiente:

-Un manto de lodos microbianos anaeróbicos que ocuparán el fondo del tanque y que podrán tener hasta una altura de 2.50 metros.

Este manto hay que ayudarlo al comienzo con un inóculo apropiado que puede ser lodo digerido de tanque séptico, estiércol de porcinos ó de bovinos con una maduración de por lo menos 40 días.

El proceso de depuración ocurre principalmente en esta sección del tanque.

-Un sistema de separación de los sólidos y del gas del líquido tratado. Esto se lleva a cabo con los baffles inclinados que van instalados en la parte superior, los cuales permiten que la biomasa fluidizada por los gases, sedimente en condiciones de flujo no turbulento en las paredes de los baffles y retorne a la cámara de digestión.

-Un sistema de alimentación del agua a tratar.

Este aspecto es fundamental para asegurar una buena distribución del agua que se va a tratar en el tanque.

En este diseño el sistema de alimentación se lleva a cabo por medio de 4 tuberías de PVC Ø3" que irán hasta 15 cms del fondo del tanque, partiendo de una caja única de alimentación construída en la parte superior.

Una vez en el fondo del tanque el desecho comenzará un lento ascenso a través del manto de lodos, el cual actua como un tamiz, reteniendo los sólidos suspendidos y coloidales que son los que generarán en gran parte la carga orgánica contaminante.

Esta materia orgánica (expresada como DBO_5 y/o DQO) es convertida de manera constante en biogás, que es una mezcla de gas metano, dióxido de carbono y otros gases.

De manera cualitativa, el proceso descrito anteriormente se puede expresar como:

Materia Orgánica + Microorganismos → Biogás + Nueva Biomasa + Materia Orgánica no Degradada.

4. DISEÑO DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO

4.1 Tanque de homogenización

Para un caudal de $17.5 \text{ m}^3/\text{día}$ y un tiempo de retención de un día, se requiere un volúmen de almacenamiento de 17.5 m^3 .

La altura útil del tanque es de $h = 1.20 \text{ m}$

El área superficial necesaria es: $AS=14.60 \text{ m}^2$

Se propone construir un tanque circular de 4.30 metros de diámetro.

Dimensiones:
Altura útil = 1.2 m
Altura Libre= 0.20 m
Diámetro = 4.30 m

4.2 Reactor anaeróbico

Los resultados experimentales indican que las aguas mieles de café son desechos que puede ser tratados en un sistema UASB, obteniendo eficiencias de remoción de carga orgánica hasta de un 55%.

El sistema soporta carga hasta de 15 kg DQO/m³-día sin desestabilizarse (3)

4.2.1. Parámetros de diseño

Caudal: 17.5 m³/día

Concentración del agua residual según aforo y caracterización por CVC el 30 de abril de 1991. = 13972.8 mg/l DQO

Carga orgánica: 244.5 kg DQO/día

Carga orgánica volumétrica: 5.6 kg DQO/m³-día

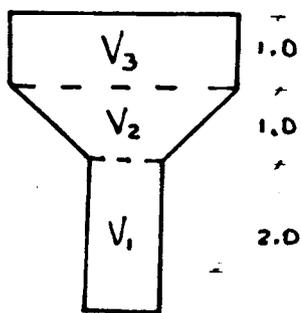
4.2.2 Calculo del volúmen de reactor

$$V = \frac{244.5 \text{ kg DQO/día}}{5.6 \text{ kg DQO/m}^3\text{-día}} = 43.7 \text{ m}^3$$

4.2.3 Dimensiones del tanque

Se propone que la forma del tanque sea redonda con una profundidad util de 4.0 metros.

Para el cálculo de las dimensiones del tanque se tiene en cuenta el esquema siguiente:



Donde V₁ y V₃ se consideran como figuras cilíndricas y V₂ es una figura geométrica denominada tronco de cono.

$$V1 = \frac{\pi (3.5)^2}{4} \times 2.0 = 19.24 \text{ m}^3$$

$$V2 = \frac{\pi (1.0)}{3} \left[(1.75)^2 + (2.1)^2 + (1.75 \times 2.1) \right] = 11.67 \text{ m}^3$$

$$V3 = \frac{\pi (4.2)^2}{4} \times 1.0 = 13.85 \text{ m}^3$$

Dimensiones: Diámetro mayor = 4.20 m
 Diámetro menor = 3.50 m
 h₁ = 2.0 m
 h₂ = 1.0 m
 h₃ = 1.0 m

4.2.4 Entrada del desecho al reactor

Una manera de lograr la óptima eficiencia del proceso es a través de una buena mezcla y por lo tanto un íntimo contacto entre el desecho a tratar y los microorganismos activos que están en el denominado manto de lodos. Esto se obtiene con una distribución lo más uniforme posible del desecho en el fondo del tanque.

Un buen criterio es una (1) entrada por cada dos (2) metros cuadrados de reactor.

El área superficial de la parte baja del tanque es: $A_1 = 9.62 \text{ m}^2$; por lo tanto se utiliza cuatro (4) entradas.

La alimentación se hace por medio de tuberías PVC presión $\emptyset 3''$ que salen de la caja situada en la parte superior del tanque y conduce el flujo hasta el fondo del reactor. La salida del flujo debe estar a 15 cms del fondo del tanque.

4.2.5 Sistema de recolección del efluente.

Se construirá una canaleta perimetral de 13.19 m de longitud ($L = 2\pi R$),

0.10 de ancho y 0.10 m de altura.

Con el objeto de alcanzar una recolección uniforme del flujo y garantizar un buen comportamiento hidráulico del reactor, se acondiciona la canaleta con cuatro vertederos por cada metro lineal, es decir con 52 vertederos.

Alrededor de la canaleta debe instalarse un baffle, de esta manera los vertederos "V" se protegen de rápida obstrucción, ya que el material flotante queda retenido allí.

4.2.6 Chequeo hidráulico

La máxima velocidad de flujo permitida en la zona de sedimentación es de 4 metros/hora para el caudal promedio.

Se tiene 4 aberturas de 0.4 x 0.4 metros para permitir el paso del líquido hacia la superficie, por lo tanto la velocidad sería 1.10 m/hora.

4.2.7 Arranque del reactor

En el arranque del reactor, la intención es hacer crecer las bacterias metanogénicas, pues están en una muy pequeña concentración en el inóculo.

Lo ideal sería disponer de un lodo de muy buena calidad (Actividad metanogénica alta), por que el período de arranque sería más corto, sin embargo no siempre es posible obtener este tipo de lodo y es por esto que al menos se debe intentar conseguir un inóculo con una concentración de como mínimo 10 kg SSV/m³ reactor y el porcentaje de volumen de lodo no debe ser mayor del 60% con relación al volumen del tanque.

Para un tanque de 45 m³ se requiere como mínimo 450 kg SSV y el volumen de inóculo debe ser aproximadamente 14 m³.

Es importante medir en el laboratorio la actividad metanogénica del lodo que se va a utilizar como inóculo para evaluar el crecimiento de biomasa dentro del reactor.

Según la concentración de la DQO del agua residual, se recomienda arrancar el reactor con una carga mínima de 0.2 kg DQO/m³-día que no es nociva para el reactor.

Lo anterior implica que el tiempo hidráulico de retención debe ser como mínimo 24 horas y prevenir de bacterias antes de que el reactor este funcionando en buenas condiciones.

Una vez puesta en marcha el reactor se comienza un ciclo de tiempos de espera entre incrementos consecutivos de la velocidad volumétrica de carga, dependiendo de la concentración máxima a la que se espera llegar.

5. OPERACION Y MANTENIMIENTO

En general el trabajo diario consiste en la limpieza de las estructuras que determinan el funcionamiento hidráulico del tanque y en las observaciones y muestreos al afluente y efluente necesarios para la evaluación del sistema diariamente se debe observar el funcionamiento de los tubos de alimentación, cuando la cabeza estática en un tubo aumenta, se debe limpiar el tubo. Esto se puede realizar con un chorro de agua, introduciendo una manguera por la tubería, hasta que el tubo funcione normalmente.

La recolección uniforme del efluente es de igual importancia que la distribución del afluente sobre el fondo. Para lograr una recolección uniforme es importante que todos los vertederos de la canaleta tengan un flujo libre.

Se deben limpiar estos vertederos mínimo una vez al día y cada semana ó más frecuente según la situación se debe barrer la canaleta.

La tubería de purga del lodo tiene tendencia a taparse después de un tiempo de no utilizarla, debido a la densidad del lodo que hace que se forme un tapón de lodo espeso en el final de la tubería. En este caso se debe limpiar la tubería desde arriba con una manguera, en la misma forma que la tubería de alimentación.

En la operación del proceso biológico es muy importante la medición del caudal de alimentación al reactor.

Para garantizar un funcionamiento apropiado, la planta debe funcionar de acuerdo con los criterios de diseño. Como medida de control el aforo del caudal se realiza por lo menos una vez al día.

El muestreo del afluente y del efluente es la forma para establecer las eficiencias de remoción y el funcionamiento biológico del reactor.

Inicialmente los muestreos se realizan con mayor frecuencia (una vez por semana) pero pueden ir disminuyendo en la medida que se logre una buena adaptación de las bacterias al sustrato.

Se recomienda la toma de muestras compuestas para tener así una relación entre la muestra del afluente y la muestra del efluente al mismo tiempo; esto se complementa con observaciones visuales.

Los parámetros que son de importancia para evaluación del comportamiento del reactor son los siguientes: DQO, SST, SSV, pH, Temperatura y AGV.

La observación visual de la calidad del efluente da una indicación del funcionamiento de la planta, normalmente el efluente debe tener un aspecto claro y debe contener muy poco lodo.

Una sobrecarga se manifiesta en una alta turbiedad del efluente y con presencia de sólidos sin digerir (color gris); esta situación se presenta en el arranque y debe ser considerada normal para esta fase. Los muestreos y el aforo del caudal deben aclarar la razón para la sobrecarga.

El muestreo del lodo se realiza para estimar la cantidad de lodo en el reactor y para evaluar su calidad.

La calidad del lodo puede evaluarse con una prueba de sedimentabilidad del lodo y con el ensayo de actividad metanogénica que son pruebas de laboratorio.

Normalmente se realiza una purga de lodo cuando se visualiza que este ha alcanzado la zona de sedimentación en el tanque.

Es importante aclarar que como la canaleta del efluente esta provista de un baffle, es muy probable que se forme una capa flotante en la superficie, en este caso se debe remover la capa y disponer el material como desecho sólido.

El mantenimiento corresponde a la limpieza y al sostenimiento de las estructuras de la planta.

El mantenimiento asociado con el proceso de tratamiento se reduce a remover el material sólido ya sea en la superficie del tanque (Hojas, capa flotante) y/o cuando se obstruyen las tuberías de alimentación.

A N E X O S

PRESUPUESTO APROXIMADO DE
CONSTRUCCION DE OBRA

Noviembre de 1991

<u>DESCRIPCION</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>CANTIDAD</u>	<u>VALOR UNITARIO</u>	<u>VALOR TOTAL</u>
1. <u>Tanque de homogenizacion</u>				
Excavación	m ³	28.2	2.750.00	77.550.00
Concreto losa	m ³	2.65	30.000.00	79.500.00
Ladrillo (paredes sogá)	m ²	21.28	2.200.00	46.816.00
Concreto columna (0.20 x 0.20 x 4.60)	m ³	0.260	30.000.00	7.800.00
Hierro Ø 3/8" losa	kg	96	375.00	36.000.00
Alambre negro	kg	3.40	475.00	1.615.00
Hierro Ø 3/8" columna	kg	15	375.00	6.000.00
Flotador	UN	1	13.800.00	13.800.00
Manguera 1/2"	ml	2.0	780.00	1.560.00
Repello (e=0.01m)	m ²	21.30	1.562.00	33.271.00
Llave de paso Ø 2"	Un	1.0	9.070.00	9.070.00
Adaptadores Ø 1/2"	Un	3.0	64.00	192.00
Soldador PVC 2/128	Gal.	1.0	756.00	756.00
Adaptador PVC 2/128	Gal.	1.0	250.00	250.00
Sub-total.....				\$314.180.00
2. <u>Reactor Anaeróbico</u>				
Excavación	m ³	64.5	2.750.00	177.375.00
Concreto losa	m ³	2.40	30.000.00	72.000.00
Ladrillo (tizón)	m ²	22.0	4.000.00	88.000.00
Ladrillo (soga)	m ²	29.30	2.200.00	64.460.00
Concreto vigas	m ³	1.75	30.000.00	52.500.00
Hierro vigas Ø3/8"	kg	84	375.00	31.500.00
Alambre negro	kg	2.6	475.00	1.235.00
Medio de soporte (Manguera flexible Ø3") partida en trozos de 30cms.	mt	147.00	300.00	44.100.00
cúpula Ladrillo (Soga)	m ²	7.60	2.200.00	16.720.00
Tubería PVC Ø3" sanitario	ml	20	2.050.00	41.000.00
Tubería PVC Ø4"	ml	10	3.011.00	30.110.00
Llave de paso Ø4"	Und	2.0	35.000.00	70.000.00
Codos 22 1/2 Ø3"	Un	4.0	600.00	2.400.00
Abrazadera Ø3"	Un	4.0	300.00	1.200.00
Soldadura PVC	Gal	2/128	378.00	756.00
Limpiador PVC	Gal	1/28	250	250.00
Sub-total.....				\$689.986.00
total.....				\$1.004.166.00
AI (25%).....				251.041.00
Grantotal.....				\$1.255.207.00

ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO

Nuevas condiciones *

- Despulpe en seco.
- Fermentación con recirculación del segundo y tercer lavado.
- Considerando se produce 1 litro de agua miel por kg de cereza.

Producción de agua residual

$$1 \frac{\text{lt}}{\text{kg cc}} \times 3600 \text{ kg cc}^{**} = 3.6 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Carga orgánica: } 30 \frac{\text{gr}}{\text{kg cc}} \times 3600 \frac{\text{kg cc}}{\text{día}} = 108 \text{ kg/día}$$

Carga orgánica volumétrica

$$\text{C.O.V.} = 5.6 \text{ kg/m}^3\text{-día}$$

$$\text{Volúmen de reactor} = \frac{108 \text{ kg / día}}{5.6 \text{ kg/m}^3\text{-día}} = 19 \text{ m}^3$$

Dimensiones:

$$h_1 = 2.0 \text{ m}$$

$$\emptyset_1 = 2.6 \text{ m}$$

$$h_2 = 1.0 \text{ m}$$

$$\emptyset_2 = \emptyset_3$$

$$h_3 = 1.0 \text{ m}$$

$$\emptyset_3 = 3.20 \text{ m}$$

-Tanque de homogenización

Se asume un almacenamiento utilizando de 2 días el

$$\text{Volúmen del tanque} = 7.2 \text{ m}^3$$

$$\text{Altura útil} - h = 1.0 \text{ m}$$

Se propone se construya cuadrado de 2.7 mts.

** C.C.: Café cereza

Documento técnico CENICAFE N. 164 de junio 1991.

PRESUPUESTO APROXIMADO DE
CONSTRUCCION DE OBRA

Noviembre de 1991

<u>DESCRIPCION</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>CANTIDAD</u>	<u>VALOR UNITARIO</u>	<u>VALOR TOTAL</u>
1. <u>Tanque de homogenizacion</u>				
Excavación		13.50	2.750.00	37.125.00
Concreto losa		1.45	30.000.00	43.500.00
Ladrillo (paredes)		12.96	2.200.00	28.512.00
Concreto columna (0.15 x 0.05 x 1.40)		0.126	30.000.00	3.780.00
Hierro 3/8" losa		50.4	375.00	18.900.00
Alambre negro		2.0	475.00	950.00
Hierro columna		12.6	375.00	4.725.00
Flotador		1	13.800.00	13.800.00
Manguera Ø1/2"		2.0	780.00	1.560.00
Repello (e = 0.01)		13.0	1.562.00	20.306.00
Llave de paso Ø2"			9.070.00	9.070.00
Adaptadores Ø 1/2"		3	64.00	192.00
Soldadura				756.00
Limpiador				250.00
Sub-total.....				<u>\$183.426.00</u>
2. <u>Reactor Anaeróbico</u>				
Excavación	m ³	35.0	2.750.00	96.250.00
Concreto losa	m ³	1.41	30.000.00	42.300.00
Ladrillo (tizón)	m ²	16.3	4.000.00	65.200.00
Ladrillo (soga)	m ²	19.15	2.200.00	42.130.00
Concreto vigas	m ³	1.31	30.000.00	39.300.00
Hierro vigas Ø 3/8"	kg	63.4	375.00	23.775.00
Alambre negro	kg	2.0	475.00	950.00
Medio soporte (manguera flexible Ø3") partida en trozos de 30 cms.	ml	64	300.00	19.200.00
Ladrillo cúpula (soga)	m ²	5.30	2.200.00	11.660.00
Tubería PVC Ø3" sanitario	ml	15	2.050.00	30.750.00
Tubería PVC Ø4"	ml	10	3.011.00	30.110.00
Llave paso Ø4"	Un	2.0	35.000.00	70.000.00
Codos 22 1/2° Ø3"	Un	3.0	600.00	1.800.00
Abrazadera Ø3"	Un	3.0	300.00	900.00
Soldadura PVC	Gal.	2/128	378.00	756.00
Limpiador PVC	Gal.	1/28 g	250.00	250.00
Sub-total.....				<u>\$468.611.00</u>
total.....				652.037.00
AI (25%).....				163.009.00
Grantotal				<u><u>\$815.046.00</u></u>

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Difusión de programas de biogás en la cuenca del alto río Cauca.
Raúl Arias.
Cali, Octubre 1986.
2. Trueba Coronel S. (1980) Hidráulica. Editorial Continental
S.A. México.
3. Arranque y operación de sistemas de flujo ascendente con manto
de lodo. UASB. Seminario Cali.
Noviembre 1987.
4. Criterios de diseño para sistemas de tratamiento anaeróbico UASB.
Seminario Cali -
Abril 1989.
5. Depuración anaerobia de aguas residuales.
Seminario Valladolid
Noviembre 1988

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA

DIVISION DE AGUAS

SECCION CONTROL CONTAMINACION

DISENO SISTEMA DE TRATAMIENTO

AGUAS MIELES FINCA EL CIPRES

MUNICIPIO DE EL DOVIO

Realizado por :

Ing. Patricia Osorio A.

Cali ,Junio de 1991

1. INTRODUCCION

Teniendo en cuenta la alta contaminación causada por las aguas mieles producidas en los beneficiaderos de café situados en el area de jurisdicción de la CVC ,se inició en el mes de abril de 1990 en el Laboratorio de Aguas de la Corporación una investigación para determinar la posibilidad de utilizar un filtro anaeróbico de flujo ascendente usando como medio de soporte guadua , para tratar esas aguas mieles .

El estudio de tratabilidad efectuado através de casi un año de duración , ha establecido la factibilidad de utilizarlo a nivel de pequeños beneficiaderos, dado su bajo costo, poca producción de lodos, tiempo de retención aceptablemente reducido y carga orgánica alta .

Al iniciar la operación del sistema de tratamiento, el agua residual debe ser neutralizada dado su bajo pH, esto para permitir que se lleve a cabo la digestión anaeróbica en forma completa , ya que las bacterias metanógenicas se inhiben a pH inferior a 6.5 unidades ,cuando ya se ha estabilizado el sistema se crea una capacidad de amortiguación que le permite soportar un agua residual con un pH inferior al antes mencionado ,reduciendose la cantidad de alcalinizante usado.

El sistema de tratamiento consiste en un tanque de homogenización -sedimentación-flotación, usado para regular el caudal y el pH afluentes y un filtro anaeróbico de flujo ascendente con medio de sostén guadua.

Considerando la necesidad de transferir esta tecnología en la zona cafetera ,se escogió la finca El Ciprés de propiedad del señor Tiberio Giraldo, situada en la vereda Bellavista, municipio de El Dovio, para construir esta planta piloto, dado el tamaño del beneficiadero, las características de la granja ,el entusiasmo del propietario y el apoyo económico dado por el fondo DRI Valle-CVC, quien dara los recursos para su implantación .

2. GENERALIDADES

En la finca El Ciprés se tienen sembrados 2000 árboles de café, siendo la producción máxima de 30 cargas y la promedio de 15 cargas.

La finca está situada a 1750 m.s.n.m. y su temperatura promedio es de 18 C.

Las aguas residuales contaminan una acequia afluente del rio Dovio.

3. ESTIMATIVO DEL CAUDAL Y CARGA DE DISEÑO

Durante la cosecha grande se producen 30 cargas que equivalen a 3409 Kg, siendo su duración aproximada de 50 días, lo que corresponde a 70 Kg de café pergamino por día, se considera una generación de aguas mieles de 25 litros/Kg, el volumen diario de aguas residuales es de 1750 l/día.

Considerando una concentración DQO promedio de 10000 mg/l, la carga de diseño es de 17.5 Kg DQO /día.

4. ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO

El sistema de tratamiento estará conformado por un tanque de homogenización y un filtro anaeróbico de flujo ascendente usando como medio de soporte guadua.

5. DIMENSIONAMIENTO

5.1. Tanque de Homogenización

Debe tener capacidad para almacenar el agua residual producida durante 1 día, siendo su volumen de:

$$V = 1750 \text{ l/día} * 1 \text{ día} = 1750 \text{ l}$$

Se usa un volumen adicional del 10% para almacenamiento de lodos, por lo tanto el volumen total es de 2000 l (2M3).

Si la altura h es de 1.0 m y el largo es dos veces el ancho las dimensiones son: $L = 2.0 \text{ m}$ y $a = 1.0 \text{ m}$.

Las características constructivas del tanque de homogenización aparecen en el plano.

5.2. Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente

Teniendo en cuenta la carga orgánica producida diariamente en el beneficio del café por vía húmeda, 17.5 Kg DQO/día, y los resultados obtenidos en el estudio de tratabilidad, la carga máxima a usarse es de 5Kg DQO/M3-día y el tiempo de retención mínimo de 1 día, el volumen total del filtro es de:

$$17.5 \text{ Kg DQO/día} / 5 \text{ KgDQO/M3-día} = 3.5 \text{ M3}$$

El tiempo de retención es de: $2.45 \text{ M3} / 1.75 \text{ M3/día} = 1.4 \text{ días}$
Se considera que la guadua ocupa un 30% del volumen total.

Las dimensiones son : Altura útil : 1.5 m.
 Altura Total : 2.0 m
 Diámetro : 1.8 m
 Volumen útil : 3.8 M³

Zona de entrada : Se recomienda de 1 a 2 entradas por M² a 18C, el área del fondo del filtro es de 2.5 M² ,se usarán 3 tuberías de PVC diametro 2", irán a 0.15 m del fondo .

Medio de Soporte: Se usará guadua partida en trozos de 30 a 50 cm de longitud ,siendo el volúmen aproximado de 0.0011309M³/trozo , se requieren 290 trozos , que equivalen a 13 guaduas de 9 m.Pará evitar que flote la guadua ,se colocará a 0.3 m de la tubería de recolección una malla .

Zona de Salida : Se usará una tubería de recolección de PVC de diametro 4" , perforada con agujeros de 1" .

6. PRESUPUESTO

	UNID.	CANT.	Vr. Unit.	V. Tot
6.1 Tanque de Homogenización (2M3)				
Concreto 3000 psi (losa fondo)	M3	0.36	28825	10377
Concreto 3000 psi (soporte)	M3	0.04	28825	1153
Ladrillos en soga (muros)	M2	8.4	2200	19360
Hierro 3/8"	Kg	19	392	7448
Flotador	Unid.	1	13800	13800
Manguera 1/2"	Ml	2.5	600	1500
Llave de paso 2"	Unid.	1	6030	6030
Llave de paso 3"	Unid.	1	7020	7020
Repello (e=0.01m, 1:4)	M2	16.8	1562	26242
Alambre negro No 18	Kg	0.76	450	342
Tubería PVC 1"	Ml	2.5	2413	6032
Tee gres 4x3"	Unid.	1	1319	1319
				<hr/>
			Sub-Total	\$ 100623
6.2 Caja de Inspección (0.5x0.5x0.5)				
Ladrillo en soga (muros)	M2	1	2200	2200
Concreto 2500 psi (losa)	M3	0.064	23500	1504
Piedra caliza	Kg	5	464	2320
Hierro 3/8"	Kg	1.14	392	447
Repello	M2	2	1562	3124
Alambre negro No 18	Kg	0.05	450	22
				<hr/>
			Sub-Total	\$ 9617
6.3 Caja de Distribución(0.3x0.3x0.3)				
Ladrillo en soga	M2	0.36	2200	792
Concreto 2500 psi (losa)	M3	0.03	23500	705
Hierro 3/8"	Kg	0.70	392	275
Alambre negro No 18	Kg	0.03	450	14
Repello	M2	0.80	1562	1250
				<hr/>
			Sub-Total	\$ 3036

6.4 Filtro Anaeróbico

Ladrillo en soga (junta pérdida)	M2	11.3	2200	24860
Tubería PVC 2" (distribución)	M1	7	5556	38892
Piedra de río (fondo)	M3	0.25	6700	1675
Abrazadera	Unid.	7	400	2800
Tubería PVC 4"	M1	2	11800	23600
Guadua	Unid.	13	1200	15600
Malla de gallinero	M2	2.6	400	1040

Sub-Total \$ 108467

6.5 Caja de Inspección (0.4x0.4x0.4)

Ladrillo en soga (muros)	M2	0.64	2200	1408
Concreto 2500 psi (losa)	M3	0.05	23500	1175
Hierro 3/8"	Kg	0.92	392	361
Repello (e=0.01m, 1:4)	M2	1.3	1562	2031
Alambre negro No 18	Kg	0.04	450	18

Sub-Total \$ 4993

SUB-TOTAL \$226736
A.I.U. (25%) 56684

TOTAL \$ 283420

Nota : No incluye costos de excavación ,ni de mano de obra .

7. ARRANQUE DEL FILTRO ANAEROBICO

EL arranque de un reactor anaeróbico se define como el periodo transcurrido desde el momento en que se introduce el inóculo hasta la consecución de condiciones estables de degradación de materia orgánica y de crecimiento bacteriano .

El objetivo del periodo de arranque es lograr una biomasa activa adaptada al sustrato y que tenga una buena sedimentabilidad.

En este periodo de arranque biológico la operación del filtro es inestable.

Se recomienda utilizar inóculo durante el arranque para que sirva de semilla para el desarrollo final de la biomasa activa .

Este inóculo puede provenir del efluente del biodigestor existente en la granja .

Se debe usar un volumen de semilla entre el 30-50% del volumen total del filtro , es decir de 0.8 a 1.3 M3 .

El caudal de alimentación del filtro debe entrar durante las 24 horas del dia , inicialmente recibirá sólo el caudal requerido segun el inóculo usado, yendo el resto a la acequia, usando para ello la válvula existente en el tanque de homogenización .

Conociendo la actividad metanogénica inicial del inóculo , se puede determinar la cantidad de desecho a tratar en el filtro anaeróbico.

1. Cantidad requerida : $10 \text{ Kg SSV/M}^3 \times 2.67 \text{ M}^3 = 26.7 \text{ Kg SSV}$
2. Suponiendo una actividad metanogénica de $0.1 \text{ Kg DQO/KgSSV-dia}$ se puede tratar : $0.1 \times 26.7 = 2.67 \text{ Kg DQO /dia}$.
3. Siendo la concentración de DQO de 10 Kg /M^3 , se puede tratar inicialmente, $2.67 \text{ Kg DQO/dia} / 10 \text{ Kg/M}^3 = 0.267 \text{ M}^3$, que corresponde a un caudal de $3 \times 10^{-3} \text{ l/seg}$.
4. La relación alimento/microorganismos debe ser baja de $0.1 \text{ KgDQO/KgSSV-dia}$.
5. Se requiere mantener altos valores de alcalinidad, como el pH del agua residual que llega al tanque de homogenización es bajo de 4 a 4.5 unidades , es necesario neutralizar el agua, usando para ello soda comercial o hidróxido de calcio , este último es aconsejable ya que los iones calcio juegan un papel importante de adherencia de las bacterias a la superficie de la guadua .

Se puede preparar la solución en un tanque de Eternit de 250 l. Al hacer la neutralización del agua miel , se debe medir el pH y segun su valor se adiciona el alcalinizante hasta obtener un pH de 7 a 7.5 unidades, inicialmente, esto durante el arranque, posteriormente se puede reducir a 6.5 unidades.