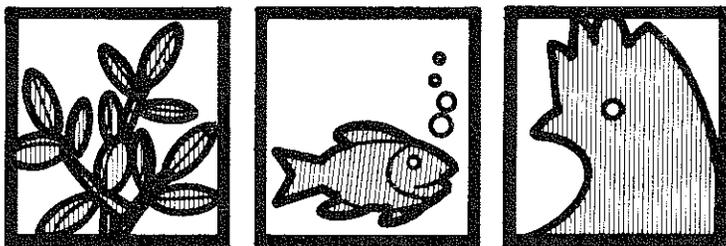
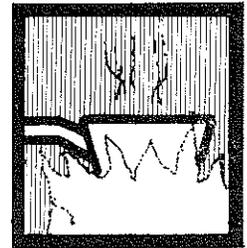




BIOGAS Y BIOABONO

APLICACIONES



**INSTITUTO CENTROAMERICANO DE INVESTIGACION
Y TECNOLOGIA INDUSTRIAL
- I C A I T I -**

BIOGAS Y BIABONO - APLICACIONES

D 106

Proyecto de Leña y Fuentes Alternas de Energía

ICAITI-ROCAP No. 596-0089

1985.

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO I. BIOGAS

1.	Biogás. Características físicas y químicas	1
2.	Precauciones que deben adoptarse al usar el biogás	3
3.	El uso del biogás en la cocina	5
3.1	Estufas especiales para biogás	5
3.2	Consumos de biogás en la cocina	7
3.3	Modificación de estufas comerciales	7
4.	Uso de biogás en motores estacionarios de combustión interna	11
4.1	Motores de gasolina	11
4.2	Motores diesel	13
5.	Uso del biogás en iluminación	17
5.1	Lámparas especiales para biogás	17
5.2	Lámparas comerciales modificadas	17
5.3	Operación de las lámparas	18
6.	Uso del biogás en unidades de refrigeración	19
7.	Otras aplicaciones del biogás	21

CAPITULO II. BIOABONO

8.	La materia orgánica como abono	23
9.	El efluente de los digestores	23
10.	Composición del bioabono	24
11.	Efectos del bioabono sobre los suelos	25
12.	Experiencias obtenidas con diversos cultivos	26
13.	Cómo aplicar el bioabono a los suelos	26
13.1	Substitución total de fertilizantes químicos	26
13.2	Complementación de fertilizantes químicos	27
13.3	Procedimiento para la aplicación	27
14.	Uso del efluente en piscicultura	28
15.	Tratamiento del efluente	29
	BIBLIOGRAFIA	31
	APENDICE A1 — Cálculo del aire primario en quemadores fabricados para funcionar con biogás	33
	APENDICE A2 — Cálculo de las características de un quemador especial para biogás	35
	APENDICE A3 — Cálculo de la ampliación del inyector para quemadores de estufas comerciales	39
	APENDICE A4 — Válvula de presión	43
	APENDICE A5 — Cálculos para lámparas de biogás	45
	APENDICE A6 — Mantenimiento	49
	TABLAS	53

INTRODUCCION

Este es un manual con instrucciones para el aprovechamiento del biogás y del bioabono, los dos productos que se obtienen de la digestión anaeróbica de desechos orgánicos en un digestor. El lector puede consultar las diferentes publicaciones que ha producido el ICAITI, si desea más información sobre las características del biogás y del bioabono, la construcción y el manejo de los digestores, y el material orgánico con que se cargan.

Las pruebas que se han hecho han permitido comprobar que el biogás puede usarse como combustible para estufas, motores, lámparas y refrigeradores, sin ninguna dificultad ni complicación.

También se ha comprobado que el bioabono es un magnífico fertilizante para cultivos como la cebolla, el tomate, los pastos, etc. y que puede aprovecharse para otros varios usos.

Este manual está dirigido a los propietarios de digestores que quieren obtener el máximo rendimiento de los productos de su instalación y que desean saber cómo lograrlo.

capítulo I: biogás

1. BIOGAS. CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS

El biogás o gas biológico, es un gas combustible que se produce a partir de la fermentación anaeróbica de desechos orgánicos; en forma natural y espontánea se forma en los lugares en que hay acumulación de esos desechos; pero también se produce en tanques construidos especialmente para este fin, llamados “digestores” o “biodigestores”.

El biogás arde con llama azul pálido; los análisis muestran que está compuesto principalmente de metano (55 a 70%) y de dióxido de carbono (45 a 30%, en volumen); estos porcentajes dependen del tipo de desecho orgánico usado para producirlo, así como de las condiciones en que se efectúa la fermentación en los digestores.

Este gas posee una capacidad calórica promedio de 5 342 kcal/m³ (600 Btu/pie³). Por lo general se utiliza tal como se produce en los digestores, sin someterlo previamente a operaciones extras de purificado, secado, etc.

En la Tabla 1, que se incluye al final de este manual, se presentan las propiedades físicas del biogás, de los principales gases que lo componen, y del aire; también se incluyen las del propano, para facilitar una comparación con un combustible que emplean muchas personas. De esta Tabla puede concluirse que el propano posee un poder calorífico mayor que el del biogás; esto significa que, para obtener iguales rendimientos en aquellas aplicaciones en que se sustituya propano por biogás, es necesario usar mayores cantidades de este último.

No es posible licuar el biogás a la temperatura ambiente, lo que sí se logra con el propano; esto representa una limitación para el almacenamiento de biogás. El propano, a la temperatura ambiente, se licúa al comprimirlo a una presión de 7.73 kg/cm^2 (110 lb por pulgada cuadrada) y, en forma líquida puede almacenarse en cantidades relativamente grandes en recipientes pequeños de acero; por el contrario, si se usaran los mismos recipientes y la misma presión, sólo se podría almacenar cantidades pequeñas de biogás.

Puesto que no es posible almacenar el biogás en cantidades grandes dentro de recipientes pequeños, hay que consumirlo según se va produciendo; por eso se aconseja construir el digester lo más cerca posible de los aparatos en que se usará.

La Figura 1 es la representación de una llama ideal de biogás, con las temperaturas de sus diferentes partes; esta Figura indica que para un mejor aprovechamiento del biogás, se deberá usar la parte más alta de la llama o sea la región en que se produce la mayor temperatura.

Para que la llama resulte lo más eficiente posible, no basta con quemar biogás puro, sino que es necesario quemar una mezcla de biogás y aire; este aire (llamado "primario") se añade al gas mediante un agujero en el mismo tubo en que se produce la mezcla. La llama consume, además, aire que toma directamente de la atmósfera (aire "secundario"). Más detalles se dan en el Apéndice A1.

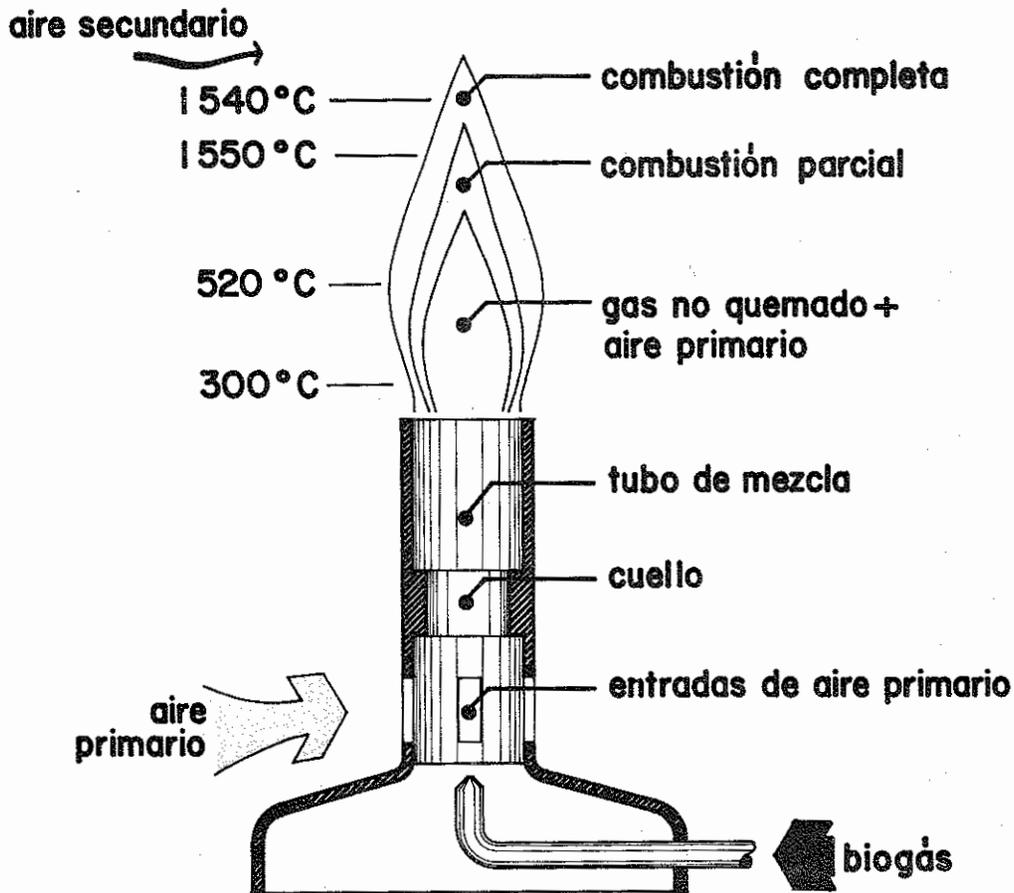


FIGURA 1. Llama ideal de biogás

¡cuidado!

2. PRECAUCIONES QUE DEBEN ADOPTARSE AL USAR EL BIOGAS

Este gas, cuando se usa correctamente, es mucho más seguro que cualquier otro que se emplee en actividades domésticas. Las pocas normas de seguridad que deberán seguirse cuando se use biogás son:

- A. Antes de encender una llama en cualquier aparato, compruebe primero que no existan fugas de gas. Una mezcla de aire y biogás es explosiva si tiene una composición de 6 a 25 volúmenes de aire por volumen de biogás y si se pone en contacto con una chispa o una llama (Ver Tabla 1). El indicio de que hay fugas es el olor característico a biogás (huevos podridos); en un caso así, evite producir chispas, no encienda fuego ni fume, hasta que se haya ventilado el lugar y que todo el olor haya desaparecido.
- B. Antes de conectar nuevas tuberías, bolsas de almacenamiento y otros recipientes de biogás, tenga cuidado de drenar el aire que pueda haber quedado en ellos, para evitar que se produzcan mezclas de aire y gas que resulten explosivas.
- C. Antes de usar el gas, compruebe si hay suficiente para el uso que desea darle; para eso, verifique el contenido de gas de la bolsa de almacenamiento, o mida con un manómetro la presión que hay dentro del digestor.
- D. En los lugares donde se utilice el biogás a presiones altas (más de 1.05 kg/cm cuadrado- 15 lb/pulg cuadrado), es aconsejable tener extinguidores para fuego, los cuales deberán ser del tipo universal ABC.
- E. Siempre que esté usando el biogás, tenga cuidado al cargar el digestor porque pueden ocurrir alzas súbitas de presión en el gas (con aumento en el tamaño de la llama); y si lo que hace es descargar el digestor, tenga presente que pueden ocurrir descensos de la presión y hasta presiones negativas, lo que puede causar que los aparatos se apaguen o, aún peor, que se produzca succión de aire hacia el interior del digestor.

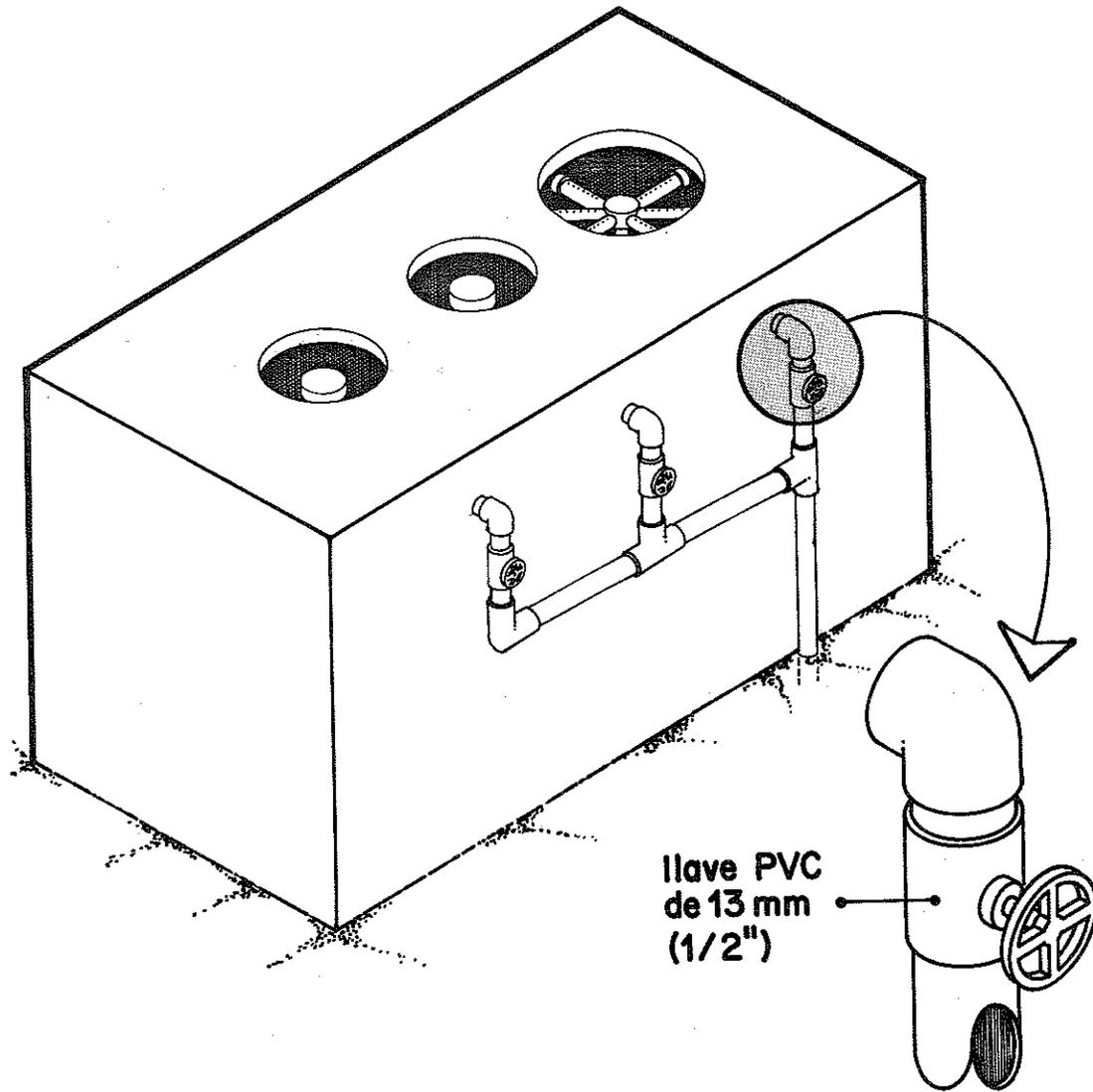


FIGURA 2a

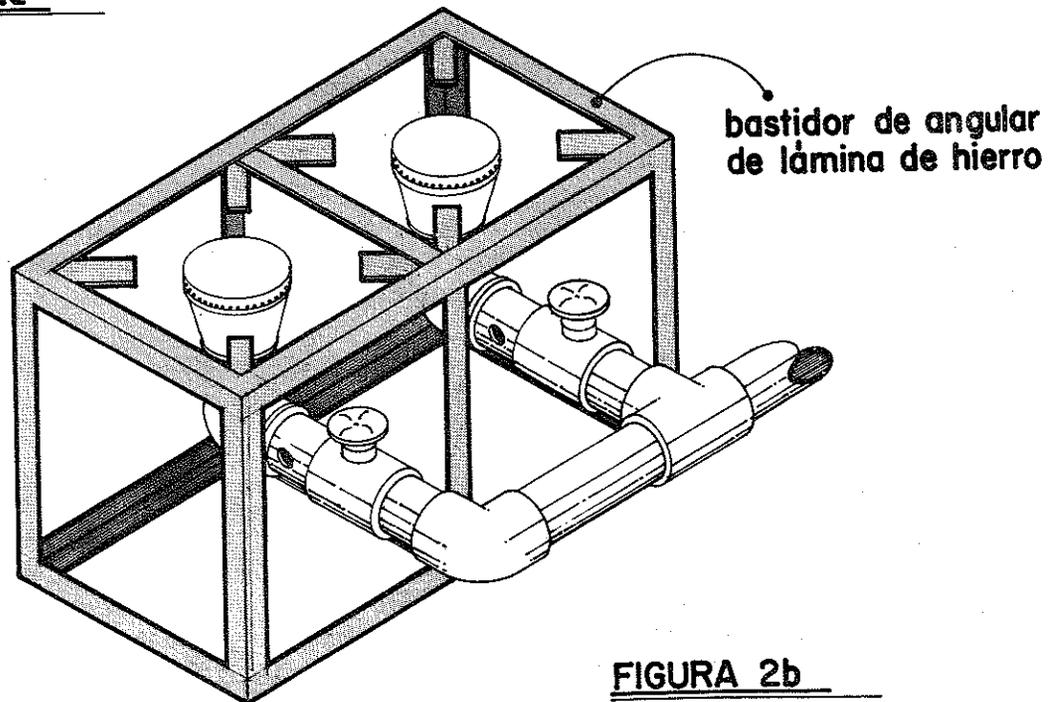


FIGURA 2b

FIGURA 2. estufas especiales para biogás

estufas

3. EL USO DEL BIOGAS EN LA COCINA

El biogás puede usarse para cocinar, en sustitución de la leña, el gas propano o el keroseno. Para hacer estas situaciones se puede proceder de dos diferentes maneras:

- a) construir una estufa especial, o
- b) si se cuenta con una estufa comercial de propano o de keroseno, modificarla para usar en ella el biogás.

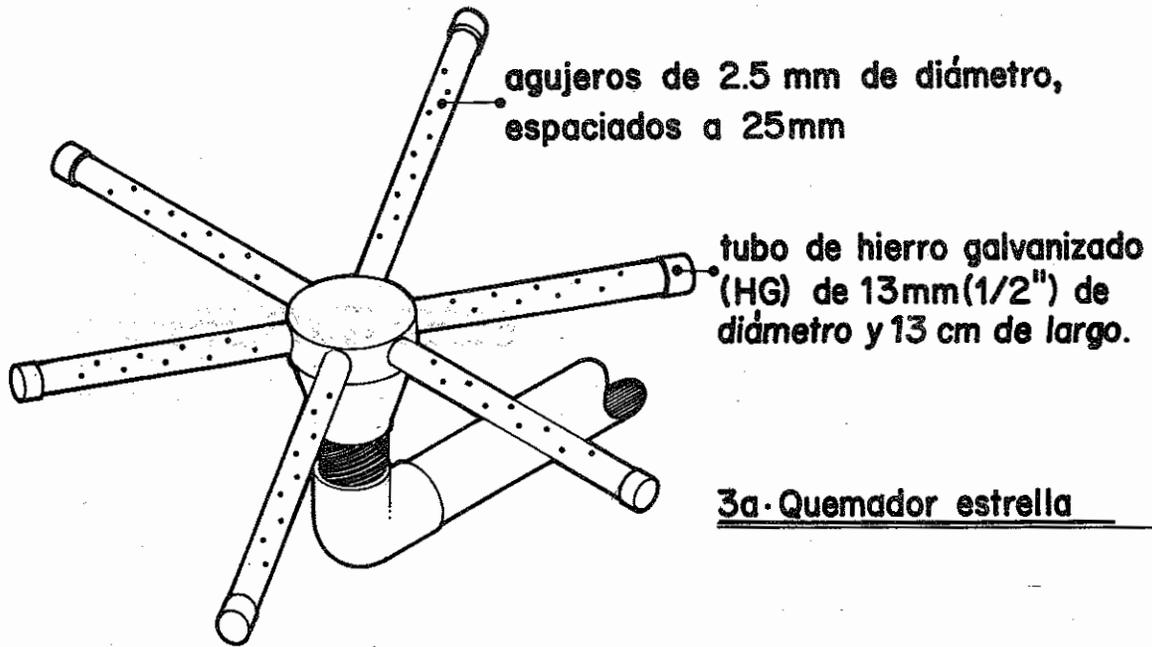
3.1 ESTUFAS ESPECIALES PARA BIOGAS

La estufa de barro es la que más se usa, por su bajo costo y su facilidad de construcción; a ésta se le instalan quemadores especiales de bajo costo que han sido diseñados tomando en cuenta el poder calorífico y la forma especial de combustión del biogás (longitud de la llama, presión de trabajo, etc); el tamaño de las hornillas y de los quemadores se escogen de acuerdo al tipo y tamaño de los trastos que se usen y a la clase de alimentos que se consuman en la región. También puede fabricarse estufas pequeñas de metal que funcionen con biogás (Figura 2).

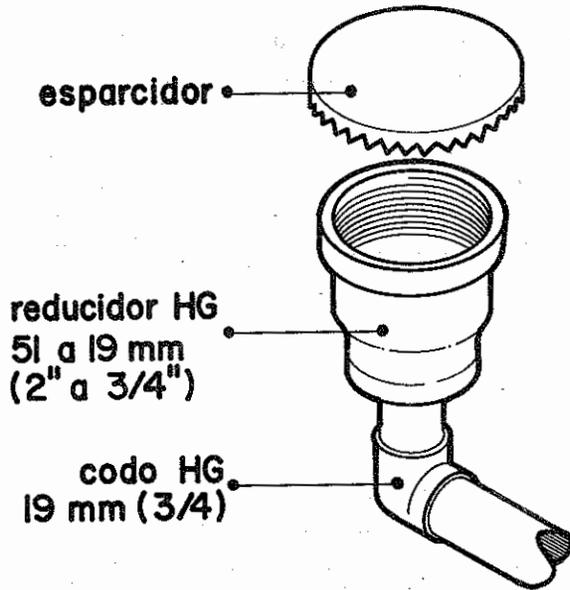
Hay muchos tipos de quemadores que pueden usarse, pero se recomiendan dos que, entre los que han sido probados en el ICATTI, son los que mejor resultado han dado.

El quemador más grande es el llamado "tipo estrella"; es apropiado para una hornilla en que se coloque el comal de las tortillas, y también para la hornilla en que se usen recipientes grandes. Este quemador se fabrica de pedazos de tubería de hierro galvanizado unidos con soldadura (Figura 3a).

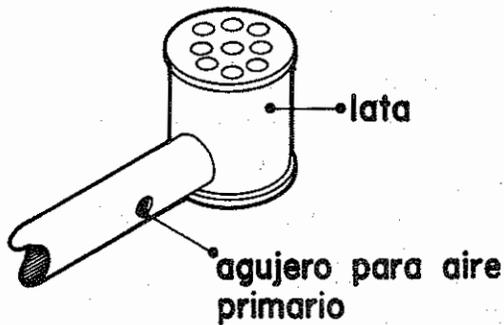
El otro tipo es el de quemador para recipientes pequeños (quemador "campana") que se fabrica de accesorios de hierro galvanizado (Figura 3b). Aunque puede



3a. Quemador estrella



3b. Quemador campana



3c. Quemador de lata

FIGURA 3. quemadores

hacerse quemadores con latas vacías, tienen poca duración, y por eso no se recomiendan (Figura 3c).

Los quemadores “campana” además de ser muy resistentes y fáciles de hacer, son muy económicos. Consisten en reductores tipo campana, de un tamaño conveniente para los trastos de cocina que se usan (por lo general, de 19 x 51 mm — de 3/4” x 2”). Cada reductor es coronado por un esparcidor de gas, de los mismos que se usan en las estufas de propano, y que pueden adquirirse en los talleres de reparación de estufas.

En estos quemadores se puede usar biogás puro o una mezcla de aire y biogás. En el primer caso, la eficiencia calorífica de la llama es baja; en el segundo es alta, y por lo tanto, preferible. El aire necesario para producir la mezcla apropiada se obtiene mediante un orificio hecho en la tubería que alimenta al quemador. Para detalles de fabricación ver Figura 4 y Apéndices A1 y A2.

Cuando se instalen los quemadores en las estufas deberá tenerse el cuidado de dejar una separación de aproximadamente 4 cm entre el quemador y los trastos de cocina, para así lograr la máxima eficiencia de la combustión del gas, y para que haya espacio por el que escapen los gases producidos.

3.2 CONSUMOS DE BIOGAS EN LA COCINA

En el folleto “Biogás: Información general” se pueden consultar datos de consumo por hora para los diferentes tipos de quemadores, y consumos de biogás por tipo de alimentos preparados; también se puede consultar qué cantidad de biogás se necesita para preparar las diferentes comidas del día para una familia rural de 5 ó 6 miembros.

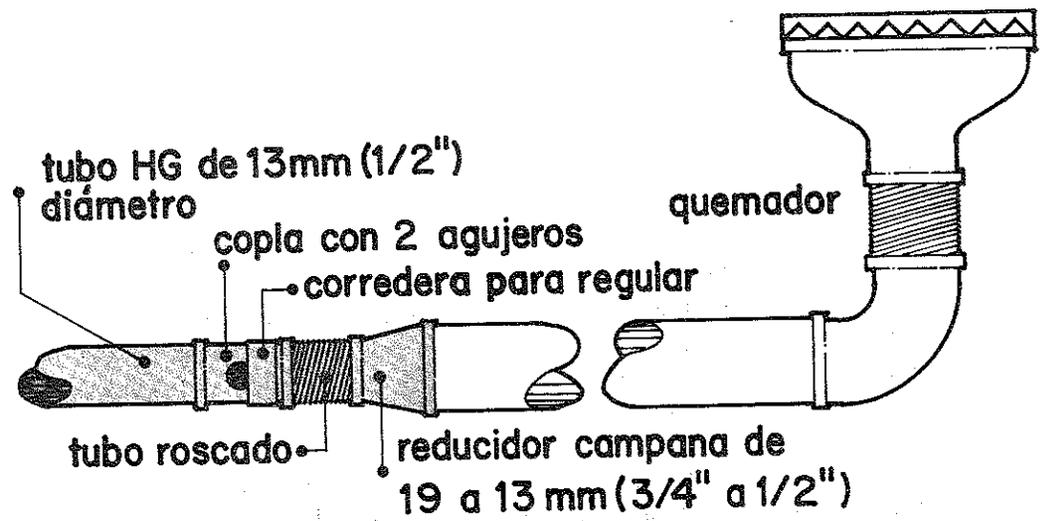
Consumo quemador estrella:	570 - 600 L biogás/h
Consumo quemador hierro galvanizado:	200 - 250 L biogás/h
Consumo quemador de latas:	285 - 300 L biogás/h

3.3 MODIFICACION DE ESTUFAS COMERCIALES

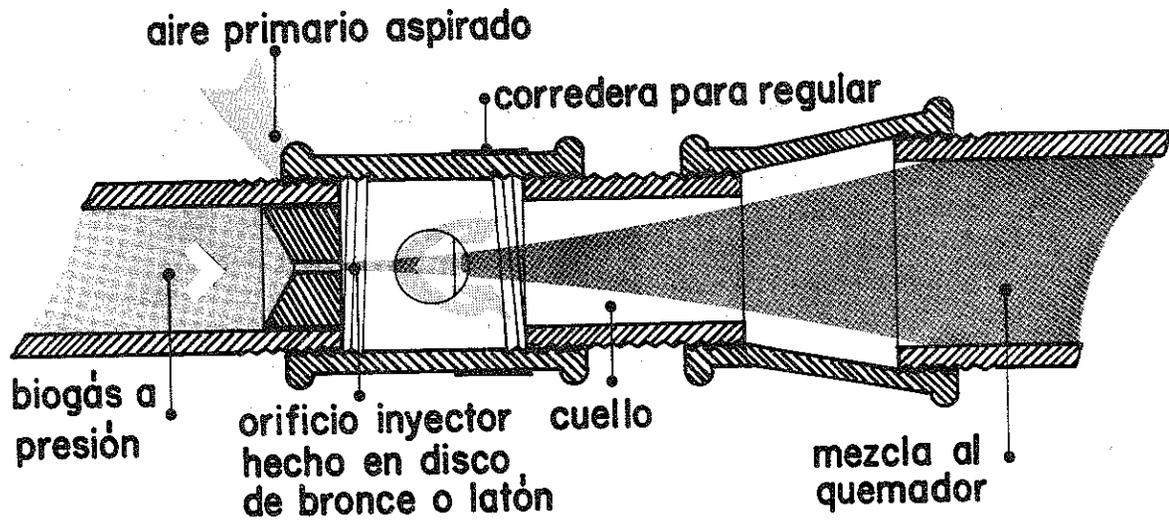
3.3.1 Estufas de gas propano

Una modificación posible para que este tipo de estufa funcione con biogás consiste en ampliar unas dos o tres veces el agujero del inyector de propano de los quemadores. (Ver Apéndice A3).

Otra modificación que puede hacerse consiste en eliminar el inyector que trae la estufa y cerrar el orificio de admisión del aire primario; pero con esto no se produce mezcla aire-biogás, y es una modificación menos eficiente que la anterior.



Conjunto



Vista interna del mezclador

FIGURA 4. vistas del mezclador y el quemador

Regular el paso del combustible en estos quemadores requiere sólo graduar la válvula de control que ya tienen las estufas.

3.3.2 Estufas de Keroseno

Para adaptar una estufa de keroseno, se conservan los quemadores originales, pero se cambian los inyectores y las válvulas por otras unidades nuevas cuya forma y dimensiones hay que calcular de la misma manera que se indica en el Apéndice A1 y el Apéndice A2.

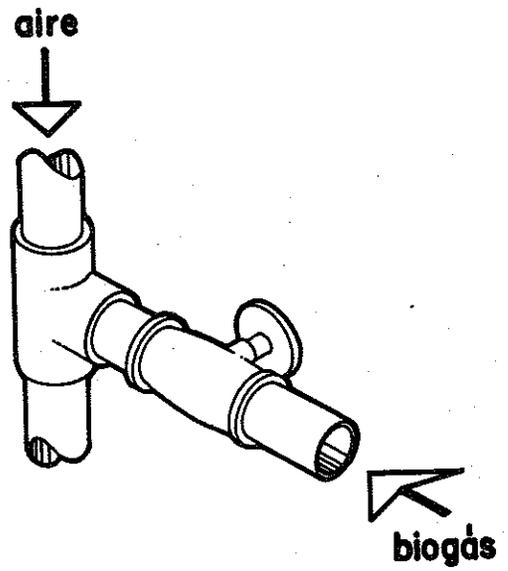
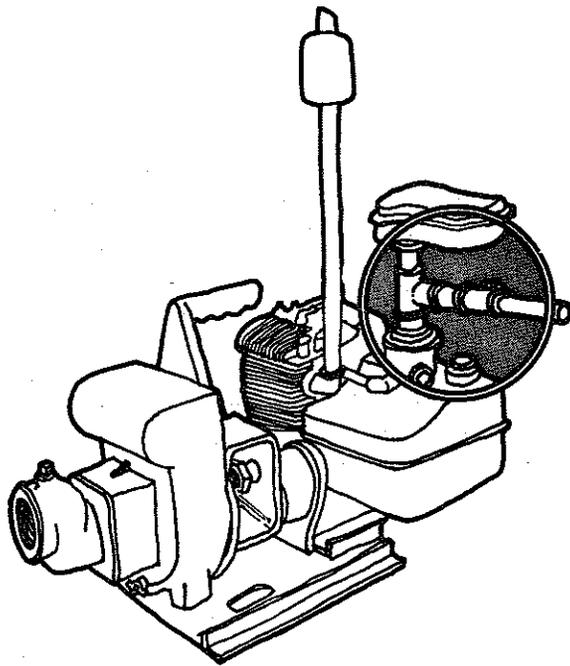


Figura 5a

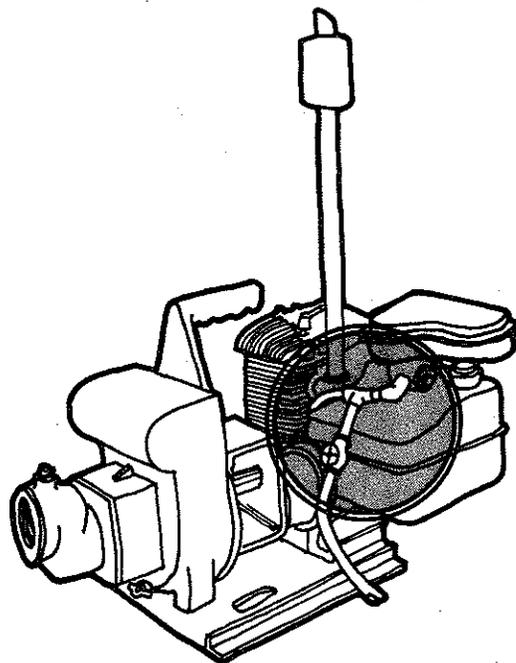


Figura 5b

FIGURA 5. motor de gasolina a biogás

motores

4. USO DE BIOGAS EN MOTORES ESTACIONARIOS DE COMBUSTION INTERNA.

El alto costo de los combustibles derivados del petróleo hace de esta aplicación una de las más atractivas que pueden dársele al biogás. En fincas ganaderas es común el uso de bombas de agua, picadoras de pasto o plantas generadoras de energía eléctrica, todas ellas accionadas por motores de gasolina o diesel; es posible hacer adaptaciones a esos motores para que usen biogás en lugar de combustible tradicional.

4.1 MOTORES DE GASOLINA

Mediante una sencilla adaptación hecha a estos motores, se puede sustituir totalmente la gasolina por biogás.

Una adaptación consiste en intercalar entre el filtro de aire y el carburador una "Te" y unos pequeños tubos de hierro o de plástico, por los que entre el biogás. La presión de suministro puede variar desde 2.5 hasta 12 cm de columna de agua, según sea el trabajo que realice el motor, pero es necesario que la presión se conserve constante durante todo el tiempo que dure cada trabajo (ver Figura 5a).

Para ciertos modelos de motor puede hacerse otras adaptaciones más sencillas. Por ejemplo, en algunos se puede alimentar el biogás por la manguera de entrada de gases del cárter hacia el carburador, mediante una "Te" intercalada en ella. (Ver Figura 5b).

Como el poder calorífico del biogás es bajo, no es posible arrancar un motor frío sólo con este combustible. Es necesario colocar 2 ó 3 centímetros cúbicos de gasolina en el carburador, y luego arrancar; cuando ya se haya consumido esta gasolina (aproximadamente después de 15 segundos) se abre lentamente la vál-

vula de biogás, con lo cual el motor continuará funcionando sólo con este combustible.

Para que un motor de gasolina adaptado a biogás funcione satisfactoriamente, son necesarias algunas condiciones:

- a) Que no haya paso de gasolina hacia el carburador cuando se abra la válvula de biogás. Esto puede lograrse mediante un regulador especial que impida el paso, o bien, mediante el vaciado total del tanque de gasolina.
- b) Que haya una válvula para controlar la admisión del biogás al motor. Esta válvula, de preferencia, debe ser de bola.
- c) Que el suministro de gas se conserve a una presión constante y dentro de los valores ya recomendados.
- d) Que el filtro de aire del motor se conserve limpio, de modo que se logre mantener una adecuada y constante relación biogás-aire. De esta relación dependerá la aceleración del motor.

Los consumos son proporcionales a la potencia del motor, a su eficiencia, y a la carga de trabajo, y varían de 250 a 500 litros por hp por hora. Si se desea hacer funcionar de nuevo el motor con gasolina, basta con cerrar el paso de biogás y operarlo normalmente.

La adaptación de un motor de gasolina, tal como la que se ha descrito, tiene el inconveniente de que la potencia útil del motor se reduce hasta en un 25% respecto a la que se obtiene cuando funciona con gasolina. Si se desea obtener mayor potencia de un motor modificado, es necesario hacerle cambios más complejos.

Dos de esos cambios son: ajuste adelantado de la ignición y aumento de la razón de compresión del motor; este último es un cambio permanente porque consiste en rebajar la altura de la culata, modificación prácticamente irreversible.

Ejemplo práctico: Un motor de 3.0 hp que hace funcionar una bomba de agua durante 1 hora, consume un litro de gasolina, con un costo de \$CA 0.53. Al sustituir la gasolina por biogás, el motor consume aproximadamente unos 1 350 litros por hora. Luego, para este uso, el biogás, por metro cúbico, tiene un valor equivalente a \$CA 0.39.

Advertencia. Para apagar un motor de gasolina, primero hay que cerrar el paso de gas por medio de la válvula y, luego, cortar la corriente eléctrica de las bujías. Esta secuencia de operaciones garantiza que los cilindros queden libres de biogás, con lo que se evita que sufran corrosión.

4.2 MOTORES DIESEL

Si se desea conservar el motor en sus condiciones originales, sólo es posible sustituir parcialmente el diesel por biogás (hasta un 50-60%).

No es necesario hacer cambios a las partes mecánicas del motor o al sistema de inyección. Basta, simplemente con hacer modificaciones para que llegue el biogás al sistema de entrada de aire del motor, y colocar una válvula para regular la admisión (Figura 6).

La sencillez de las modificaciones necesarias se debe a que la transición de 100% de diesel a la mezcla diesel-biogás se produce automáticamente en el motor: cuando recibe biogás, se acelera; entonces el gobernador de la bomba de inyección reduce la cantidad de diesel suministrado a la cámara de combustión y la aceleración se normaliza.

El primer día, el motor debe ser arrancado con diesel y se deja calentar durante unos 3 ó 5 minutos; entonces se abre gradualmente la válvula de biogás hasta que el motor tosa en forma irregular; en ese momento, se cierra poco a poco la válvula hasta que el motor funcione en forma pareja y suave; al hacer esto último, se nota un aumento en las revoluciones. La posición en que queda la válvula debe marcarse para que el arranque sea más fácil en los días siguientes.

Si se aplicara más carga al motor, es necesario suministrarle más biogás. Cuando el motor ya no recibe biogás, pasa a funcionar normalmente con diesel.

No es recomendable intentar la sustitución de más del 60% del diesel por biogás, porque hay el riesgo de que los inyectores sufran daños a causa de las altas temperaturas que se producirían dentro del motor.

Para lograr una sustitución total, es necesario hacer modificaciones radicales al motor, pero tales modificaciones serían costosas e impedirían que funcionara posteriormente sólo con diesel (limitación que no tienen las modificaciones hechas a motores de gasolina).

4.2.1 Ventajas del uso de una mezcla diesel-biogás:

- a) Reducción de un 50% en el consumo de diesel, aproximadamente.
- b) Aumento de potencia en el funcionamiento del motor (aproximadamente 10%).
- c) Menos formación de carbón; menos problemas con anillos, etc, lo que contribuye a que la vida del motor sea más larga.

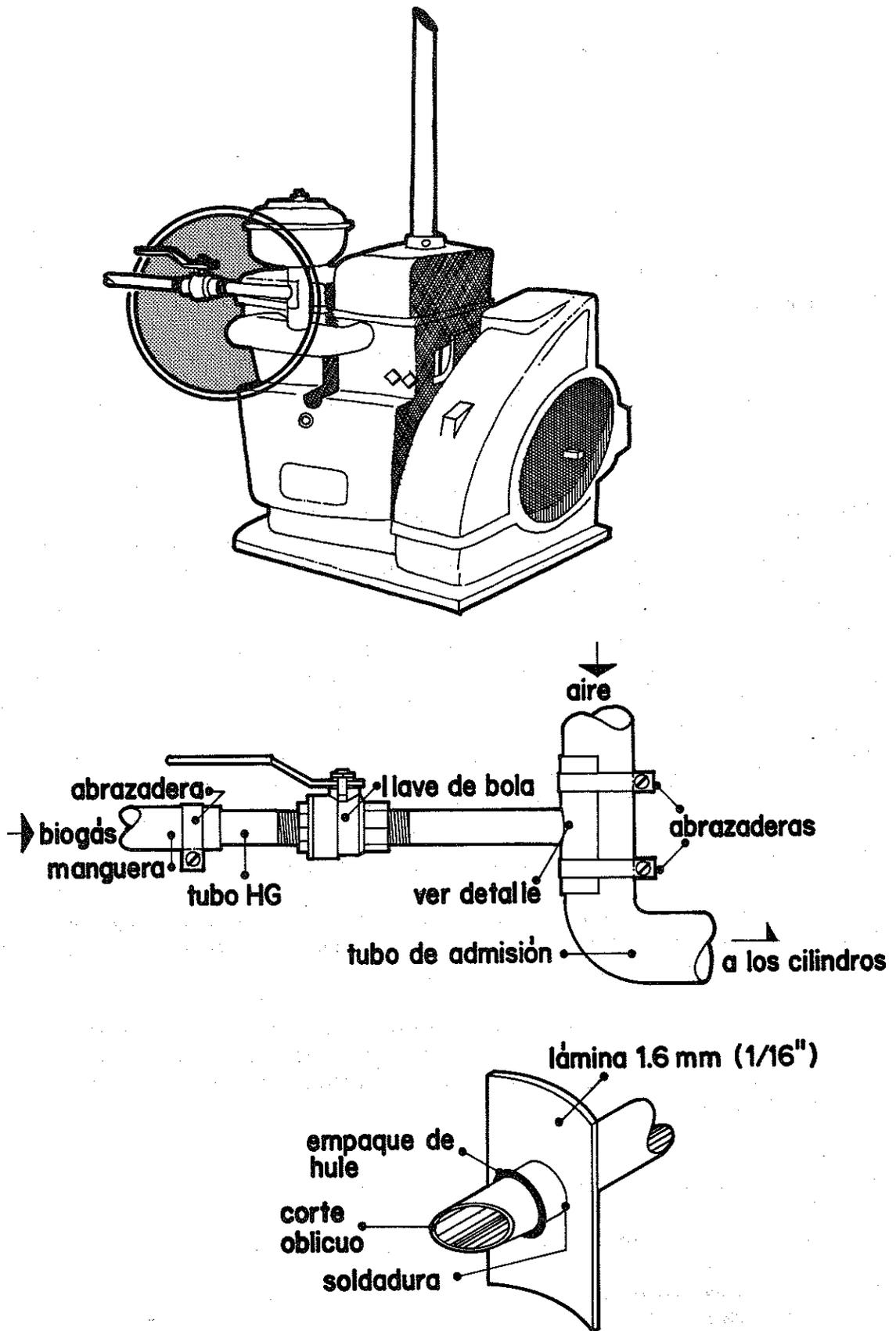


FIGURA 6. motor de diesel y biogás

Ejemplo práctico: Un motor de 7 hp, cuando se hace funcionar con una mezcla de biogás-diesel consume 0.46 L de diesel y 1300 L de biogás por hora, lo que significaría un ahorro de 0.54 L/hora de diesel con un costo de \$CA 0.178. El valor equivalente del biogás en este tipo de aplicación es de \$CA 0.14/metro cúbico.

Advertencia: Para apagar un motor adaptado, se corta primero la alimentación de biogás y luego la de diesel; esto es suficiente para que los cilindros queden libres de biogás, lo que evita que el motor sufra corrosión.

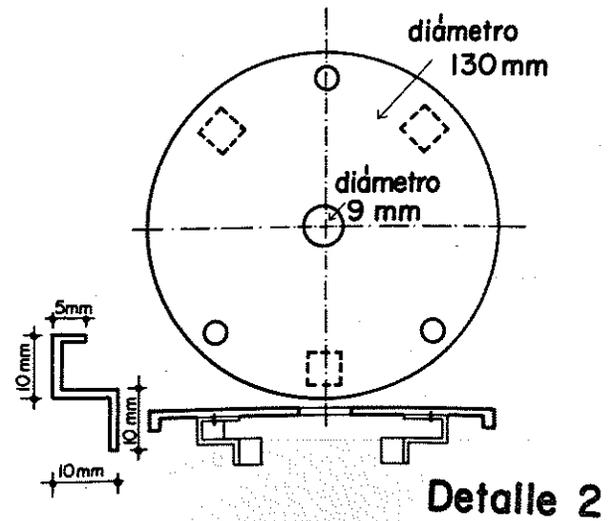
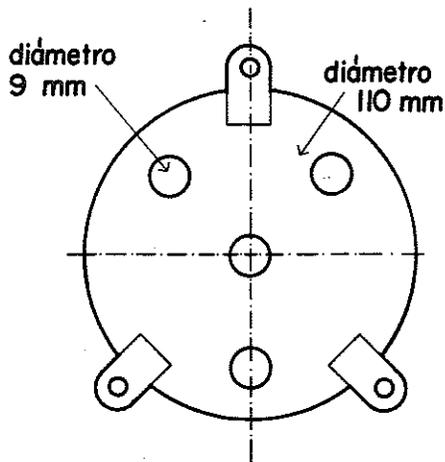
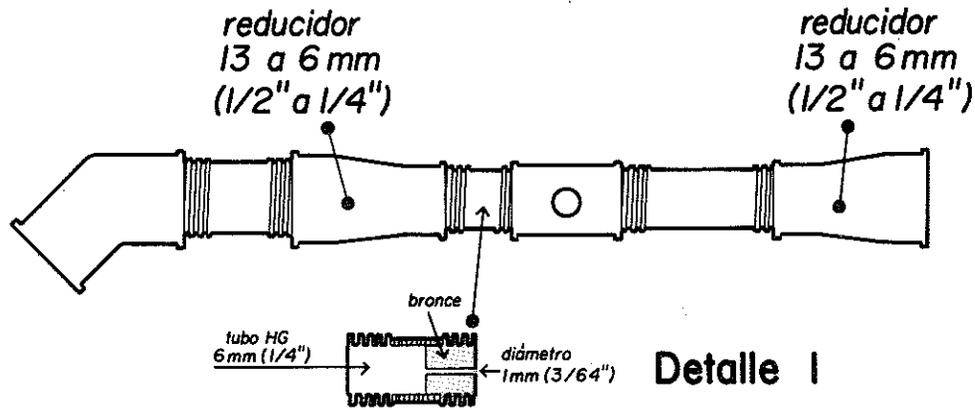
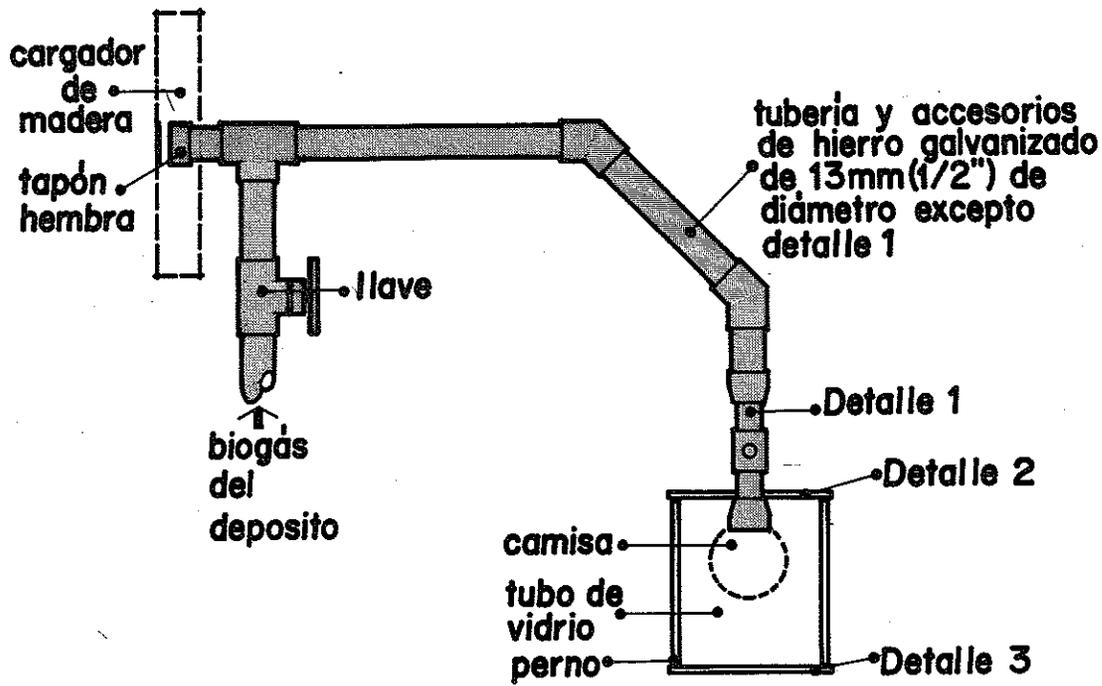


FIGURA 7. lámpara especial para biogás

lámparas

5. USO DEL BIOGÁS EN ILUMINACION

El uso del biogás en iluminación, por medio de lámparas, tiene gran aceptación en las regiones urbanas no electrificadas. Se puede usar lámparas hechas especialmente o, bien, lámparas comerciales modificadas a propósito.

5.1 LAMPARAS ESPECIALES PARA BIOGAS

Es posible fabricar lámparas de bajo costo y totalmente funcionales con tuberías y accesorios para agua potable, de fácil adquisición en el comercio. Un tubo de vidrio es la única pieza importada que se necesita, ya que es indispensable que sea de vidrio tipo Pyrex, que resiste las altas temperaturas; en el comercio se vende como repuesto para las lámparas Coleman de 400 bujías y su costo es de \$CA 6.75 aproximadamente. Una lámpara de este tipo produce una iluminación equivalente a la de una bombilla incandescente de 40-50 vatios, que resulta igual o mejor a la obtenida con las lámparas modificadas, y su costo total no excede los \$CA 35.00. (Ver Figura 7 y Apéndice A5).

Es requisito indispensable que el gas tenga una presión mínima entre 7.5 y 10 cm de columna de agua, la cual fácilmente se puede obtener en los digestores que almacenan gas internamente. En los casos en que el biogás se almacena en bolsas, la presión necesaria puede conseguirse con un peso colocado sobre ellas, o mediante una válvula de presión instalada en la tubería que conecta el digestor con la lámpara. (Apéndice A4). En general, con mayor presión del gas se produce mayor iluminación. El consumo de biogás en una lámpara es de aproximadamente 100 litros por hora.

5.2 LAMPARAS COMERCIALES MODIFICADAS

Las lámparas con "camisa", tipo Coleman (que funcionan con keroseno o con

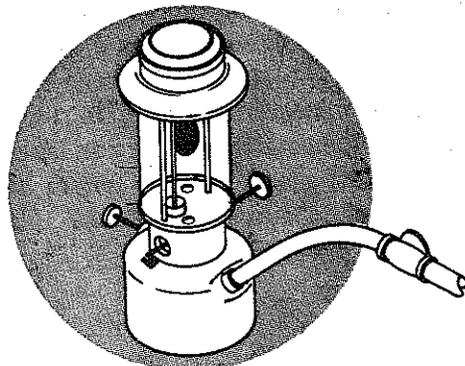
gas propano), requieren sólo una pequeña modificación para que puedan quemar biogás. Esta modificación consiste en agrandar el agujero del inyector del gas a un diámetro de 1 mm, y reducir la garganta del tubo de mezcla a 8 mm. (Figura 8). Existe el inconveniente de que la adquisición de este tipo de lámparas es cara. (Ver Apéndice A5).

5.3 OPERACION DE LAS LAMPARAS

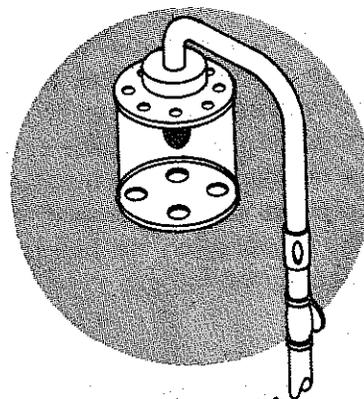
Antes de usar la lámpara, es necesario prepararla, según las instrucciones siguientes:

- 1) Quite el tubo de vidrio
- 2) Amarre al esparcidor una "camisa" de 300-400 bujías
- 3) Empareje la boca de la "camisa" para que no tenga arrugas
- 4) Coloque el tubo de vidrio en su lugar
- 5) Abra un poco el paso del biogás
- 6) Con una llama encienda la "camisa"
- 7) Abra la admisión de gas hasta que la "camisa" se ponga incandescente
- 8) Apague la lámpara y deje que se enfríe durante 10 minutos para que la "camisa" se endurezca y tenga así mayor duración.

Luego de esta preparación se puede usar la lámpara normalmente: aplique una llama a la "camisa", sin tocarla directamente (porque se destruiría), y abra el paso de gas. Para apagar, solamente suspenda el suministro de gas.



lámpara tipo Coleman



lámpara tipo bastón

FIGURA 8. lámparas de camisa

refrigeradores

6. USO DEL BIOGAS EN UNIDADES DE REFRIGERACION

Los refrigeradores que funcionan con base en el principio de absorción y que usan gas propano, gas natural o keroseno pueden ser fácilmente adaptados para que funcionen con biogás; la adaptación consiste en sustituir la fuente de calor original por un quemador de biogás que produzca una cantidad equivalente de flujo calorífico (Apéndice A2).

Es difícil encontrar en el comercio quemadores que puedan usarse; lo más fácil es fabricarlos, con base en el principio de los quemadores Bunsen, aunque el tamaño de los quemadores y la cantidad de gas necesaria dependen de varios factores (tamaño de la unidad de refrigeración, temperatura ambiental, temperatura de refrigeración deseada y las condiciones estructurales de la unidad). El consumo promedio de biogás para una unidad de refrigeración de 350 litros (12 pies³) de capacidad, es de 120 litros de biogás por hora; en un caso así, se puede usar el quemador mostrado en la Figura 9.

En esta aplicación no se requiere almacenamiento del biogás ya que es usado continuamente y durante todo el día, según se va produciendo en el digestor.

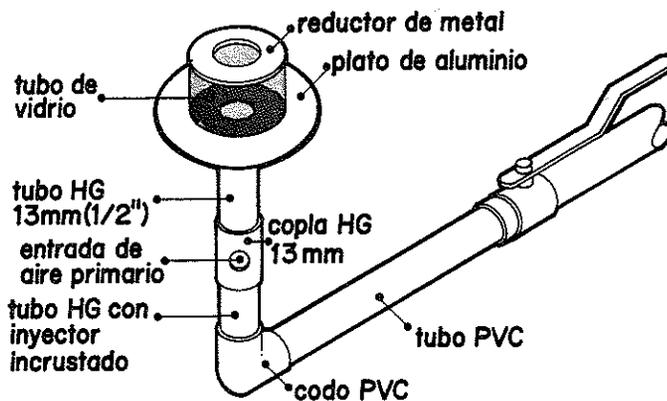
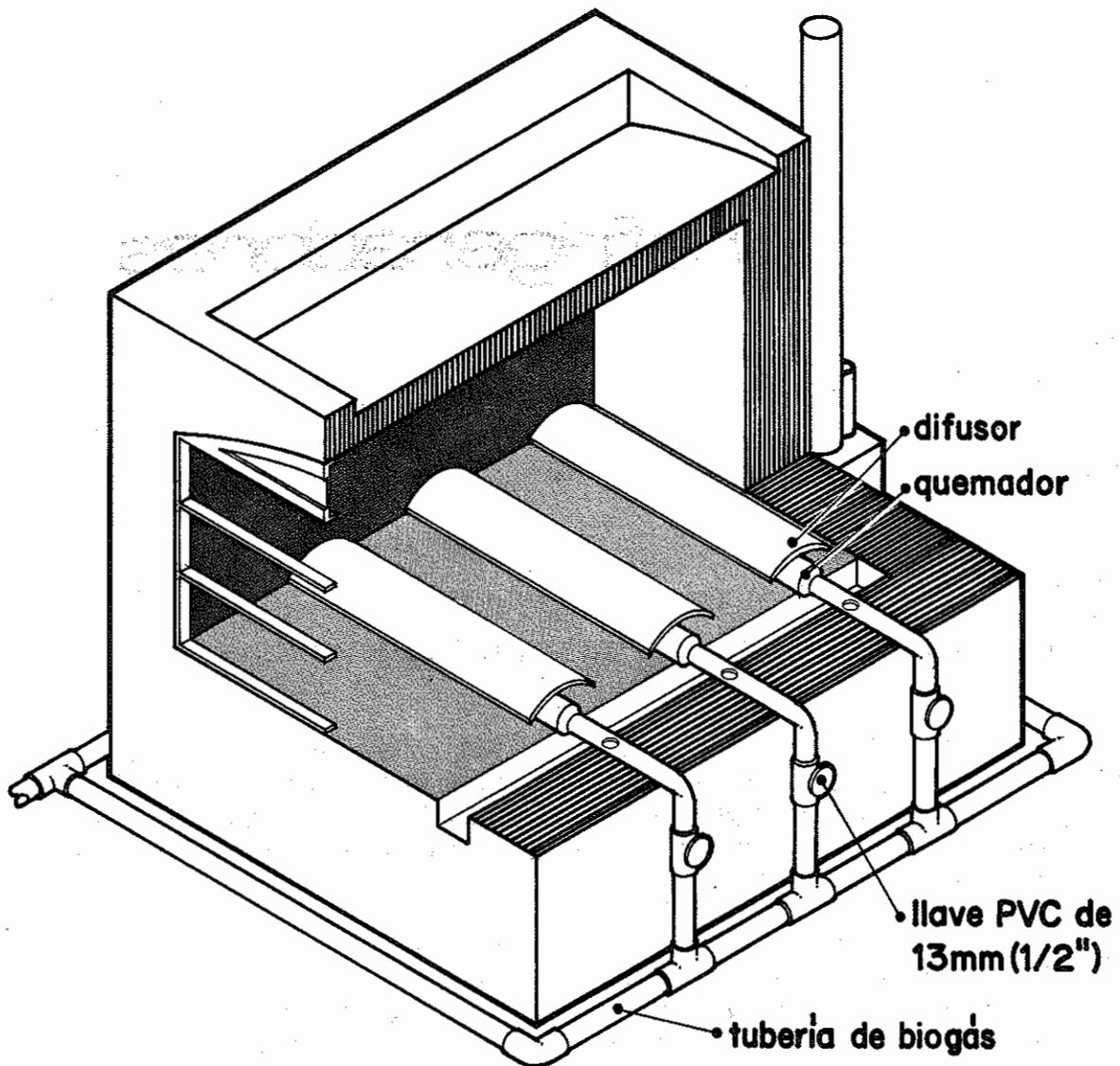


FIGURA 9. quemador para refrigeradora



El horno se muestra con una parte del techo y de la pared cortadas, para que se aprecien los detalles del interior.

FIGURA 10. horno para pan

USOS VARIOS

7. OTRAS APLICACIONES DEL BIOGAS

Se han estudiado numerosas aplicaciones adicionales que todavía están en una fase de experimentación y sobre las cuales no se dispone de datos completos y concluyentes relativos a eficiencia, consumo y rendimiento. Algunas de esas aplicaciones son las siguientes:

- * **Hornos para pan.** Se ha usado el biogás para calentar hornos de pan; la experiencia en este campo sugiere que se necesita de digestores relativamente grandes, dado el volumen de gas que es necesario; además sólo puede usarse un horno que haya sido diseñado especialmente para funcionar con biogás (u otro gas) y que esté equipado con quemadores apropiados (Ver Figura 10).

En las pruebas de horneado de pan que se han hecho, el consumo de biogás resultó ser de aproximadamente tres metros cúbicos por hora, para hornear 50 kilogramos de harina en cinco horas. Están en marcha otras pruebas para mejorar el diseño a fin de lograr más eficiencia.

- * **Calentadores.** Otra aplicación del biogás son los calentadores de ambiente para criaderos de pollitos o cerditos; en estos casos, los quemadores comerciales han sido modificados para su uso con biogás.
- * **Secado de granos.** Se ha ensayado el uso del biogás en quemadores con intercambiadores de calor para secadores de granos.
- * **Soldadura.** Las pruebas con soldaduras de tipo oxígeno-acetileno, mostraron que al usar biogás se obtiene una llama de suficiente temperatura como para soldar bronce o cobre, y también para soldadura blanda con estaño.

capítulo II: bioabono

8. LA MATERIA ORGANICA COMO ABONO

La materia orgánica, que consiste en organismos vivos (animales o vegetales) o sus desechos, puede ser incorporada al suelo como abono, luego de que haya sufrido una degradación microbiológica.

La calidad de la materia orgánica que se desee usar como abono puede mejorarse por medio de diferentes procesos; el más común es el de la degradación aeróbica; este proceso, sin embargo, hace que se pierda por volatización una gran cantidad de nitrógeno (NH_4), y que se produzcan malos olores. Además, cuando no se efectúa apropiadamente, da lugar a proliferación de moscas y otros insectos, y el material obtenido no resulta degradado uniformemente.

Otra forma de mejorar la calidad de la materia orgánica es la fermentación anaeróbica por medio de biodigestores; con esta técnica no se presentan los inconvenientes antes mencionados.

9. EL EFLUENTE DE LOS DIGESTORES

El efluente de los digestores es uno de los productos finales de la fermentación anaeróbica y, aunque proviene de los desechos orgánicos con que se alimenta al digestor, tiene características completamente distintas a las de esos desechos; por ejemplo: no tiene olor desagradable, su relación carbono-nitrógeno es

menor, las semillas de malas hierbas han sido destruidas, y no tiene condiciones que permitan la proliferación de organismos patógenos, ni de moscas u otros insectos indeseables.

Su composición química también ha mejorado, ya que conserva la misma cantidad de macronutrientes y micronutrientes que el material cargado al digestor, pero con cambios químicos que los hacen más estables ante las inclemencias del ambiente y más fáciles de asimilar por las plantas.

Aunque el propósito usual de un digestor es la producción de biogás, en muchos casos es más importante el aprovechamiento del efluente como abono ("bioabono"), y hasta puede resultar que los beneficios económicos obtenidos con éste, sean más importantes que los que se logran con el uso del biogás.

10. COMPOSICION DEL BIOABONO

El efluente de los digestores entra en la categoría de abono orgánico de buena calidad; su apariencia negra y viscosa puede dar la idea de que no es un producto bueno para las plantas, pero la realidad es todo lo contrario; es totalmente inofensivo para ellas y les da vigor y potencia suficiente para soportar condiciones adversas (sequías, enfermedades, ataques de plagas, etc.).

En lo que respecta a la forma de aplicarlo y la manera en que acondiciona el suelo y mejora los cultivos, no hay diferencia entre el bioabono y cualquier otro abono orgánico conocido. La composición media del bioabono obtenido de un digestor de desplazamiento horizontal tipo ICAITI, cargado con estiércol vacuno es (base húmeda):

Sólidos totales	=	8-9 g/100 g
Sólidos volátiles	=	5.5-6 g/100 g
Nitrógeno total (como N)	=	0.20 %
Fósforo (Como $P_2 O_5$)	=	0.15 %
Potasio (como $K_2 O$)	=	0.10 %

La relación carbono-nitrógeno que posee el bioabono es la óptima (10:1) para la aplicación directa en el terreno, sin que exista el riesgo de que los microorganismos que llevan a cabo la degradación final en el suelo compitan por el nitrógeno con las plantas que crecen en él.

Los microorganismos del suelo necesitan nitrógeno para sus procesos metabólicos y si no existiera una relación adecuada carbono-nitrógeno (11:1) en los

materiales que se añaden al suelo, lo tomarían de éste, con el resultado de que el nitrógeno disponible para las plantas quedaría temporalmente reducido.

11. EFECTOS DEL BIOABONO SOBRE LOS SUELOS

La materia orgánica añadida al suelo, como abono, tiende a producir cambios físicos y químicos en él; estos cambios generalmente son beneficiosos, aunque su tipo e importancia dependerán de la cantidad y calidad de materia orgánica agregada.

Los cambios químicos que provoca en un suelo la materia orgánica en general, y el bioabono en particular, son:

1. Aumenta la capacidad de intercambio catiónico
2. Causa un efecto tampón (buffer) en el pH del suelo
3. Aporta macronutrientes y micronutrientes para el consumo de las plantas

Los cambios físicos que la materia orgánica — y por lo consiguiente, el bioabono— provoca en el suelo al ser añadida en él, son:

1. En suelos arenosos, favorece la adherencia de partículas, lo que origina una estructura granular que facilita la labranza, la aireación y el movimiento de agua.
2. En suelos muy pesados se mezcla con las arcillas para producir suelos porosos y bien drenados
3. Disminuye las pérdidas del suelo por erosión (causada principalmente por la acción del agua y el viento)
4. Evita la pérdida por lixiviación de nutrientes minerales (aportados por fertilizantes químicos, por ejemplo)
5. Cambia el color original de la tierra a colores más oscuros que absorben mayor cantidad de energía radiante proveniente del sol.

El bioabono aplicado a suelos que han perdido sus características originales (fertilidad, porosidad, etc), hace que las recuperen, y contribuye a que esos suelos no sufran un progresivo deterioro aunque sean explotados intensivamente.

12. EXPERIENCIAS OBTENIDAS CON DIVERSOS CULTIVOS

El ICAITI y otras instituciones han realizado estudios sobre la aplicación de bioabono a suelos cultivados con: grama Napier, grama común, kikuyú, alfalfa, acelga, lechuga, arroz, tomate, cebolla, rábano, zanahoria y especies forestales.

Estos estudios han permitido elegir los métodos que dan los mejores resultados en el cultivo de diversas especies.

Se experimentó con arroz y zanahoria usando dosis excesivas, y se obtuvo un desarrollo foliar exagerado, pero sin el desarrollo deseado del grano y la raíz, respectivamente; con gramíneas y otras especies forrajeras y de consumo humano de las que se deseaba obtener un desarrollo enérgico del follaje, se obtuvieron resultados muy buenos con el bioabono.

Con tomate y cebolla se han obtenido también muy buenos resultados, debido al mejoramiento de las condiciones del suelo que permite un buen desarrollo del bulbo (en cebollas) y un sistema radicular bastante superficial. Las dosis recomendadas en estos casos son de 10-12 toneladas/manzana, combinadas siempre con las dosis apropiadas de fertilizantes químicos.

Las dosis de bioabono pueden distribuirse en varias aplicaciones; la primera, durante la pre-siembra, y las siguientes, durante las labores de limpia y aporque (o calzado de las plantas).

13. COMO APLICAR EL BIOABONO A LOS SUELOS

El bioabono puede usarse en los suelos de una de dos formas: a) como sustituto total de los fertilizantes químicos; y b) como complemento de los fertilizantes químicos.

13.1 SUSTITUCION TOTAL DE FERTILIZANTES QUIMICOS

Quando se usa el bioabono como sustituto, es necesario calcular el total de nutrientes contenidos en el abono químico que se utiliza normalmente y, con este valor calcular la cantidad de bioabono que tenga contenidos equivalentes, que será la cantidad teórica que hay que aplicar a los cultivos.

Es necesario tomar en cuenta que el bioabono agregado al suelo aún continúa sufriendo un proceso de degradación durante el cual va liberando paulatinamente su potencial nutritivo. Esto significa que el bioabono no aporta desde un principio todos los nutrientes, tal como ocurre con los fertilizantes químicos; como consecuencia, cuando se aplican las cantidades teóricas, los cultivos de ciclo

corto (hortalizas comunes) no reciben del bioabono la totalidad de los nutrientes que requieren.

Algunos autores indican que el bioabono libera solamente un tercio de su potencial nutritivo en un período de 100 días; de esto resulta que para suplir la demanda de nutrientes de un cultivo es necesario aplicar el triple de las cantidades teóricamente necesarias.

13.2 COMPLEMENTACION DE FERTILIZANTES QUIMICOS

Durante el primer ciclo de cultivo el bioabono se añade al suelo junto con la dosis normal de fertilizantes químicos; debido a que en el segundo ciclo las condiciones del suelo han sido mejoradas por el bioabono, es ya posible disminuir la cantidad de fertilizantes químicos que se aplica. En los sucesivos ciclos se usan cada vez menos, hasta llegar a prescindir de ellos y a usar únicamente el bioabono.

En los casos en que esta última situación no puede lograrse, se aplican fertilizantes químicos en pequeñas cantidades, sólo para suplir las diferencias entre el contenido de nutrientes del suelo y las demandas del cultivo.

Uno de los efectos favorables del bioabono cuando se usa en combinación con fertilizantes químicos, es que, al mejorar las estructuras del suelo, impide que los fertilizantes se pierdan y ayuda a que sean aprovechados en mejor forma.

13.3 PROCEDIMIENTOS PARA LA APLICACION

Las aplicaciones combinadas de bioabono y agua en proporción de 1:1 son las que han dado mejores resultados, debido a que el agua sirve de vehículo a los nutrientes y los lleva cerca del sistema radicular; además, la mezcla con agua provoca la aireación que el abono necesita antes de ser usado.

La forma de aplicación del bioabono varía con los recursos que tiene disponible el usuario, así como con la extensión del terreno que se desea abonar.

Si el digestor está ubicado en la parte alta de la finca, el abono, mezclado con agua, se conduce por gravedad hacia canales de riego y, se distribuye en los potreros y parcelas. La desventaja de este método es que se tiene muy poco control sobre las cantidades que se aplican, por lo que es recomendable sólo cuando el cultivo es alguna especie forrajera.

Cuando el área es relativamente grande y se cuenta con recursos, es posible distribuir la mezcla abono-agua (en proporción 1:1) por medio de un tanque-cisterna que permita regarla en forma de cortina sobre las plantas.

Para el agricultor en pequeño, la forma más sencilla de aplicación es echar la mezcla (bioabono-agua) con regadera u otro recipiente manual, directamente en el pie de la planta, en cualesquiera de las etapas de desarrollo de ésta.

Si las circunstancias lo requieren, puede usarse varios métodos combinados; por ejemplo: transportar el bioabono del digestor al terreno por medio de canales, cisternas o toneles, y hacer luego el riego manual sobre los cultivos.

Otra forma de distribuir la mezcla fertilizante es por medio de un sistema de riego por aspersión, pero en este caso, es necesario homogenizar bien el tamaño de partículas y la dilución en agua.

14. USO DEL EFLUENTE EN PISCICULTURA

El efluente puede usarse directamente como alimento para ciertos peces; además, cuando ya se ha echado en un estanque y está mezclado con el agua, la luz solar lo transforma en un medio propicio para la proliferación del plancton (microflora y microfauna) muy apetecido por los peces. También fertiliza el fondo de los estanques y facilita así el desarrollo de una flora diversificada que es necesaria para la cría.

El uso del bioabono en las instalaciones piscícolas es bien sencillo; consiste en recoger el efluente de la pileta de descarga del digestor, luego esparcirlo en un lugar expuesto al sol y al aire, y dejarlo ahí durante uno o dos días (cuanto mayor sea el tiempo de exposición se corre menos riesgo de que consuma el oxígeno disuelto en el agua). Luego, transcurrido ese tiempo, se transporta al estanque y ahí se distribuye lo más uniformemente posible sobre el espejo de agua.

No se recomienda echarlo en el estanque por medio de canales o tubos, porque así la distribución no resulta uniforme, y como consecuencia, podría ocurrir un crecimiento inmoderado de plantas acuáticas que mermarían el oxígeno disponible para los peces y otras especies útiles.

Lo más adecuado es hacer la distribución manualmente, mediante una cubeta y otro recipiente más pequeño que permita regarlo en forma de media luna sobre el espejo de agua, a razón de 0.1 litro por metro cuadrado, cada 5 ó 7 días.

15. TRATAMIENTO DEL EFLUENTE

Según las experiencias más recientes, es necesario dar un tratamiento al efluente antes de usarlo; este tratamiento consiste en airearlo.

En el caso de la aplicación en suelos, la aireación es necesaria para evitar problemas de toxicidad para los cultivos, que puede ser causada por falta de oxígeno

o por la presencia de ácido sulfhídrico (H_2S).

El tratamiento previo del efluente es también indispensable cuando se desee aplicarlo en estanques, tal como se dejó indicado, y cuando se use para alimentación de animales (pollos o cerdos).

La aireación, cuando se usan digestores que tienen almacenamiento interno de biogás, puede hacerse acumulando el abono en la parte superior del tanque; en otros casos, puede hacerse en toneles o pequeños estanques hechos para este fin.

Otra opción es la eliminación del contenido de agua en patios de desecación al sol, o mediante el uso de equipo de deshidratación. Luego de desecado, el bioabono se colecta en costales y otros recipientes y se transporta al punto donde se utilizará, o donde se almacenará. Este método tiene la desventaja de que el bioabono pierde gran parte de su contenido de nitrógeno en forma de NH_4 (se evapora junto con el agua).

Una señal de que los efectos tóxicos que pudiera tener el abono han desaparecido es que se acercan a él hormigas, aves u otros animales; esta señal también indica que posee valor como alimento directo.

BIBLIOGRAFIA

1. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI) Biogás: Información general. Proyecto de Leña y Fuentes Alternas de Energía. 1983.
2. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industria (ICAITI). Manual de construcción y operación planta de biogás. Proyecto de Leña y Fuentes Alternas de Energía. 1983.
3. Meynell, P. J. Methane: Planning a Digester. Unwin Brothers Limited. Great Britain (1976).
4. Perry & Chilton. Chemical Engineers' Handbook. Fifth Edition McGraw Hill.
5. Intermediate Technology Publications Ltd. London. A Chinese Biogas Manual. Popularising Technology in the Countryside. Edited by Ariane Van Buren. 1983.
6. Almada, A. Félix. Utilización del biogás. Instituto de Investigaciones Eléctricas. México, D. F.
7. Wilfrid, Francis. Los combustibles y su tecnología. Ediciones URMO. Bilbao, 1969.

APENDICE A1

CALCULO DEL AIRE PRIMARIO EN QUEMADORES FABRICADOS PARA FUNCIONAR CON BIOGAS

Principios generales.

El análisis que aquí se expone está basado en el principio de funcionamiento de los quemadores tipo Bunsen que se ilustra en la Figura A1. El quemador Bunsen permite obtener llamas con poca luz pero muy calientes, a partir de gases combustibles.

La presión a que se suministra el gas permite que se mezcle con aire en una etapa previa a la combustión (aire primario).

Esta mezcla se produce por el "efecto del inyector", que consiste, en líneas generales, en lo siguiente: Por un tubo relativamente ancho y abierto por ambos extremos, y que en su interior tenga una placa con un agujero, se hace pasar gas a presión; el chorro de gas se estrecha al pasar por el agujero, y luego se ensancha, lo que causa un vacío parcial; como consecuencia, si el tubo tiene un agujero cerca de la placa, del exterior es aspirado aire que se mezcla con el gas. Abriendo o cerrando este agujero puede regularse la cantidad de aire aspirada y, con esto, la composición de la mezcla aire-gas.

Según sea la proporción de la mezcla obtenida, así será la temperatura de la llama que se produce al encenderla.

El aire adicional que se necesita para una combustión completa del gas (aire secundario), lo toma la llama del medio circundante.

La mezcla aire-gas sale a una velocidad mayor que la máxima velocidad con que progresa la llama, por lo que ésta no puede retroceder.

Si entra poco aire debido a un mal ajuste de la corredera que regula la admisión, la llama se alarga y su temperatura es baja; si ocurre lo contrario, la llama resulta corta, y su temperatura es alta. Además, si la velocidad del aire primario es mucho mayor que la velocidad de la llama, ésta puede producirse lejos de la boquilla del mechero y apagarse.

Recomendaciones.

Para que un quemador produzca una llama eficiente, deben cumplirse las siguientes condiciones:

- A.1 El área máxima de la entrada graduable del aire primario debe ser el doble de la superficie total de los orificios donde se produce la llama.

- A.2 El área de la sección transversal del tubo de mezclado debe ser el doble de la superficie total de los orificios donde se produce la llama.
- A.3 El área de la sección del cuello del quemador (dentro del cual el orificio inyecta el gas), debe ser dos tercios de la superficie de los orificios donde se produce la llama.

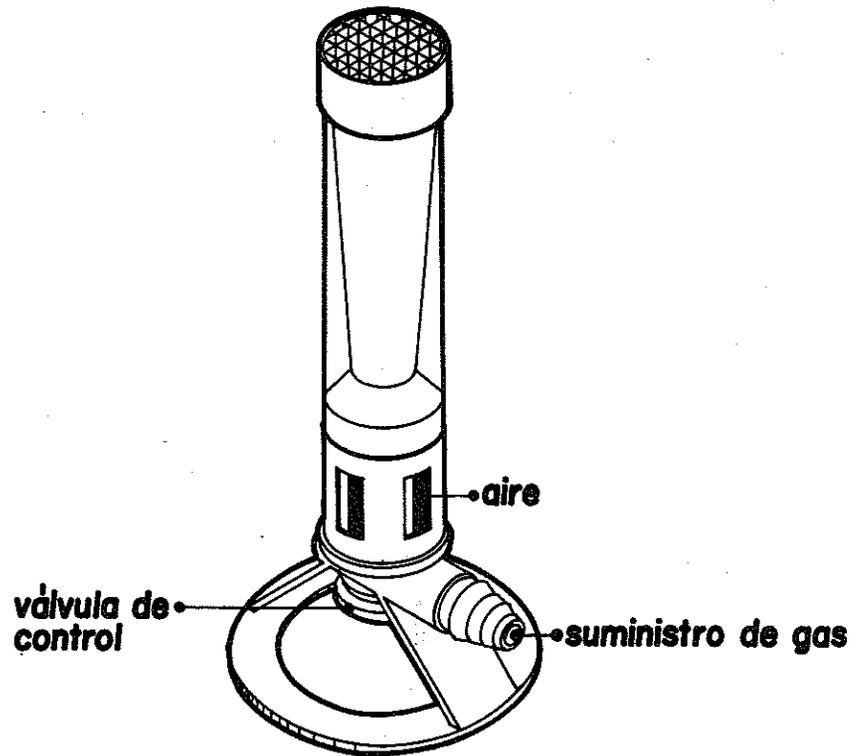


FIGURA A1. quemador tipo Bunsen

APENDICE A2

CALCULO DE LAS CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE UN QUEMADOR ESPECIAL PARA BIOGAS, CON BASE EN VALORES CONOCIDOS O ESTIMADOS DEL CONSUMO Y DE LA PRESION DE TRABAJO.

— Ver Figura 4 y Figura A2 —

Fórmula del suministro de gas por quemador:

$$Q = C S \sqrt{P/w}$$

- Q = Flujo de gas - equivalente al consumo de combustible (metros cúbicos por hora)
- C = Constante cuyo valor es función de: sistema de unidades usado, forma del orificio y temperatura (U, k, T)
- S = Area del orificio inyector (centímetros cuadrados).
- P = Presión (milímetros de columna de agua)
- w = Densidad relativa del gas (aire = 1)
- k = Coeficiente de 0.6 a 0.89. (0.61 para orificios de bordes afilados y 0.89 para orificio tubular).
- U = 1.445 para unidades SI (1 655 para unidades inglesas)
- T = 1 (Debido a que en nuestro medio el clima no tiene variaciones grandes de temperatura, este coeficiente no tiene efectos significativos sobre el valor de C).

Ejemplo: Calcular las dimensiones de: orificio inyector, orificio de aire primario, sección del cuello y sección del mezclador, para un quemador estrella, en unidades SI, con base en los datos siguientes:

- Consumo estrella: $Q = 600 \text{ L/h} = 0.6 \text{ m}^3/\text{h}$
- Presión de trabajo: $P = 100 \text{ mm de columna de agua.}$
- Orificio de bordes afilados $k = 0.61$

- d) 6 ramales
- e) 9 orificios de llama, diámetro de 3.175 mm (1/8"), por ramal
- f) $C = kUT = (0.61) (1.445)(1) = 0.881$
- g) $w = \text{Densidad relativa del biogás} = 0.861$
- I) Cálculo de las dimensiones del inyector de gas

$$Q = CS \sqrt{P/w}$$

$$0.6 = (0.881) (S) \sqrt{100/0.861}$$

Luego:

$$S = 0.0632 \text{ centímetros cuadrados}$$

$$S = \pi r^2 = 0.0632$$

$$r = 0.142 \text{ cm}$$

$$d = 2r = 0.284 \text{ cm}$$

II) Cálculo de las dimensiones del orificio de aire primario

El orificio de aire primario graduable debe tener un área máxima equivalente al doble de la superficie de los agujeros de llama (Apéndice A1). De los datos sabemos que el quemador estrella tiene 6 ramales y cada uno tiene 9 agujeros de 3.175 mm (1/8") de diámetro.

Área de un agujero de llama (S_o):

$$r_o = 3.175/2 = 1.5875 \text{ mm}$$

Luego:

$$\begin{aligned} S_o &= \pi r^2 = \pi (1.5875)^2 \\ &= 7.917 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$S_o \text{ total} = (6)(9)(7.917) = 427.53 \text{ mm}^2$$

Área de agujero para aire primario (S_{ap}):

$$S_{ap} = (2)(S \text{ total}) = (2)(427.53) = 855.07 \text{ mm}^2$$

En un agujero, $r_{ap} = \sqrt{\frac{855.07}{\pi}} = 16.5 \text{ mm}$; $d_{ap} = 33 \text{ mm}$

Para 2 agujeros, $r_{ap} = \sqrt{\frac{855.07}{2\pi}} = 11.67 \text{ mm}$; $d_{ap} = 23.33 \text{ mm}$

III) Cálculo de las dimensiones del cuello

El área del cuello debe ser 2/3 del área total de los agujeros de llama (Apéndice A1), o sea,

$$S_c = 427.53 \times 2/3 = 285.02 \text{ mm}^2$$

$$d_c = 2 \sqrt{\frac{285.02}{\pi}} = 19.05 \text{ mm}$$

IV) Cálculo de las dimensiones del tubo de mezclado

Este cálculo de la superficie del área transversal del tubo del mezclado es el mismo que el que se ha hecho para el agujero del aire primario.

$$D_{tm} = 33 \text{ mm}$$

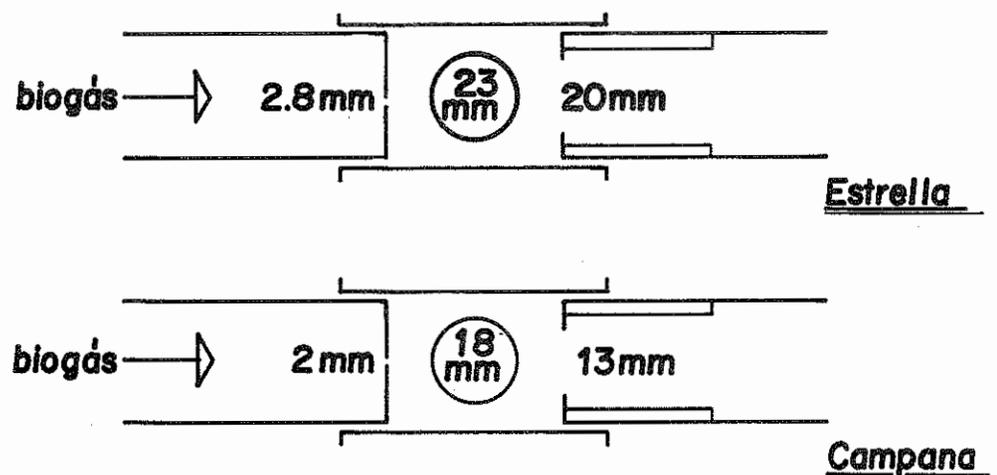


FIGURA A2. dimensiones de quemadores para estufa

APENDICE A3

CALCULO DE LA AMPLIACION DEL INYECTOR PARA QUEMADORES DE ESTUFAS COMERCIALES

La adaptación que hay que hacerle a los quemadores diseñados para funcionar con gas L.P. (gas licuado de petróleo: propano, butano) para que funcionen con biogás es muy sencilla; consiste en cambiar el tamaño del agujero del inyector para que proporcione la cantidad de biogás que suministre el mismo flujo calorífico que el L.P., con la presión de trabajo que se tendrá; las otras partes del quemador no se modifican. Este cálculo se explica detalladamente a continuación (Ver Figura A3).

Intercambiabilidad de gases

Una combustión perfecta es aquella que provoca oxidaciones completas sin la producción de monóxido de carbono, partículas sólidas de carbono, etc.

Se dice que dos gases son "intercambiables" en un quemador, cuando éste no requiere de ninguna modificación para que se produzca una perfecta combustión con cualquiera de ellos, y ambos producen el mismo flujo calorífico, Q (kcal/h), sin cambios en la llama (aparición de zonas amarillas, despegues, retrocesos, etc.).

Como el poder calorífico del biogás es más bajo que el de los gases L.P., cuando se sustituyen éstos por aquél, no existe intercambiabilidad.

Indice de Wobbe (W)

La cantidad de calor entregado por un quemado de gas en un tiempo dado es determinado por cuatro factores, que son:

1. El tamaño del orificio de salida del gas (inyector)
2. La diferencia de presión que se produce al paso del gas por el orificio.
3. El poder calorífico del gas
4. La densidad relativa del gas

Si para un quemador dado, las primeras dos características son fijas, entonces la capacidad térmica será proporcional al poder calorífico máximo del gas, e inversamente proporcional a la densidad relativa del gas.

$$C \text{ Térmica} = K \left[\frac{P_c \text{ máx.}}{\sqrt{w}} \right]$$

La expresión entre corchetes se denomina Índice de Wobbe (W) y su valor numérico depende de las unidades elegidas para el poder calorífico y la densidad relativa.

Entonces el flujo calorífico kcal/h entregado por un quemador está dado por la siguiente expresión:

$$Q_c = KS \left[\frac{P_c \text{ máx.}}{\sqrt{w}} \right] \cdot \sqrt{P}$$

- Q_c = Flujo calorífico (Kcal h)
- K = Constante que es función de las unidades, de la forma del orificio y de la temperatura.
- S = Area de inyector (cm^2)
- $P_c \text{ máx.}$ = Poder calorífico máximo del gas
- w = Densidad relativa (aire, $w = 1$)
- P = Presión relativa del gas antes del inyector en mm de Cal. de agua.

o sea:

$$Q_c = K S W \sqrt{P} \quad (1)$$

Este Índice de Wobbe, W, ha sido propuesto por la Unión Internacional de la Industria del gas, y existe una clasificación de los diferentes gases combustibles en cuatro grupos, según su Índice de Wobbe:

Índice de Wobbe (kcal/m ³)	Grupo
2 500 a 4 500	1
4 500 a 9 000	2
9 000 a 14 000	3
18 000 a 22 000	4

Aplicación del índice de Wobbe en la intercambiabilidad de gases.

Los gases combustibles más comunes se clasifican de la forma siguiente:

Combustible	Índice de Wobbe	Grupo
Biogás	5 300 Kcal/m ³	2do.
Gas natural	12 000 Kcal/m ³	3ro.
Gas L. P.	19 000 Kcal/m ³	4to.

Cuando se desea sustituir gas L. P. por biogás, se tiene el caso de un gas del segundo grupo que se usará en aparatos diseñados para el cuarto, y no existe intercambiabilidad. En aquellos casos en los que se desea lograr un cambio permanente será necesario hacerle modificaciones definitivas al quemador, según el gas de que se trate y su presión de trabajo.

Como lo que se desea es conservar el mismo flujo calorífico, entonces debe cumplirse la siguiente condición

$$Q_{c1} = Q_{c2}$$

Q_{c1} : Flujo calorífico de propano

Q_{c2} : Flujo calorífico de biogás

Además, con base en ecuación (1):

$$K_1 S_1 W_1 \sqrt{P_1} = K_2 S_2 W_2 \sqrt{P_2}$$

Como las condiciones de temperatura y las formas de los orificios de los inyectores son similares, la constante K es semejante en ambos casos; luego la igualdad anterior puede escribirse así:

$$S_1 W_1 \sqrt{P_1} = S_2 W_2 \sqrt{P_2}$$

Ejemplo. Calcular el nuevo diámetro del inyector para modificar una estufa de propano que se usará con biogás. Se tienen las condiciones siguientes:

- 1) presión del propano: $P_1 = 254$ mm columna de agua
- 2) diámetro del inyector: $\phi_1 = 0.5$ mm
- 3) presión de trabajo del biogás: $P_2 = 100$ mm col. de agua

Datos.

$$\phi_1 = 0.5 \text{ mm.}$$

$$P_1 = 254 \text{ mm columna de agua}$$

$$W_1 = 19\,000 \text{ Kcal/m}^3$$

$$P_2 = 100 \text{ mm columna de agua}$$

$$W_2 = 5\,300 \text{ Kcal/m}^3$$

El área del agujero es: $S_1 = \pi r_1^2 = \pi (0.25)^2 = 0.196 \text{ mm}^2$

Luego:

$$(0.196) (19\,000) \sqrt{254} = (S_2) (5\,300) \sqrt{100}$$

$$S_2 = 1.12 \text{ mm}^2$$

$$d_2 = 2 \sqrt{\frac{1.12}{\pi}} = 1.19 \text{ mm}$$

$$d_2/\phi_1 = \frac{1.19}{0.5} = 2.38 \text{ mm}$$

El nuevo diámetro es 2.38 veces el diámetro original.

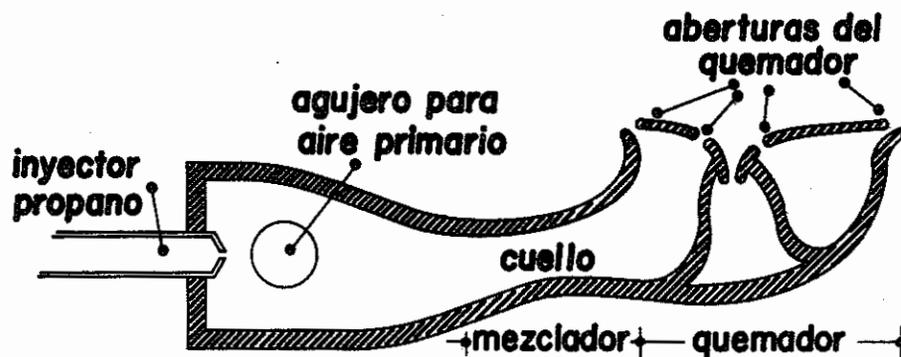


FIGURA A3. quemador para estufa de propano

APENDICE A4

VALVULA DE PRESION

Esta válvula fue originalmente diseñada para sistemas en los que el biogás se almacena en una bolsa ahulada que se instala separada del digestor; en estas condiciones, la presión del gas no puede elevarse a más de 3 cm de columna de agua, con lo que la iluminación que producen las lámparas es débil.

Esta válvula sirve para aumentar la presión del biogás en la tubería que alimenta las lámparas. Se puede alcanzar presiones suficientes para que las lámparas funcionen de manera eficiente y satisfactoria (de 7.5 a 10 cm. de columna del agua).

Una limitación que tiene este tipo de válvula es que, aunque se logre obtener la presión adecuada, el consumo de los equipos o lámparas no puede ser mayor que la producción del digestor.

Piezas de que consta la válvula

La válvula se fabrica con accesorios de PVC, de fácil adquisición en el mercado nacional, según la lista siguiente:

- 1) 2 tapones de 102 mm (4")
- 2) 1 Tubo de 102 mm x 305 mm (4" x 12")
- 3) 1 "Te" de 13 mm (1/2")
- 4) y 4) 2 tubos de 13 mm x 105 mm (1/2" x 4")
- 5) 3 adaptadores machos de 13 mm (1/2")
- 6) 2 Codos de 90° de 13 mm (1/2")
- 7) 1 adaptador hembra de 13 mm (1/2")
- 8) 3 tubos de 13 mm x 50 mm (1/2" x 2")

Cómo funciona la válvula (Figura A4)

El tubo de gas conectado al digestor se acopla a la "Te" (3) de la válvula; ésta se une con el tubo que alimenta a las lámparas. Como normalmente el consumo es mucho menor que lo que el digestor produce, el gas se acumula y aumenta así la presión en la tubería hasta que el gas comienza a burbujear y pasa a la parte superior de la válvula; de aquí fluye hacia la bolsa ahulada que alimenta a otros equipos que no necesitan mucha presión tales como motores.

La presión requerida puede ser controlada por el nivel de agua en el tubo (4).

Esta válvula puede funcionar también como trampa de agua si se coloca en la sombra y en el punto más bajo de la tubería que une el digestor con la lámpara. Y también puede funcionar como válvula de seguridad en digestores con almacenamiento interno, ya que evita que la presión suba a valores peligrosos que causen daños en la losa del digestor.

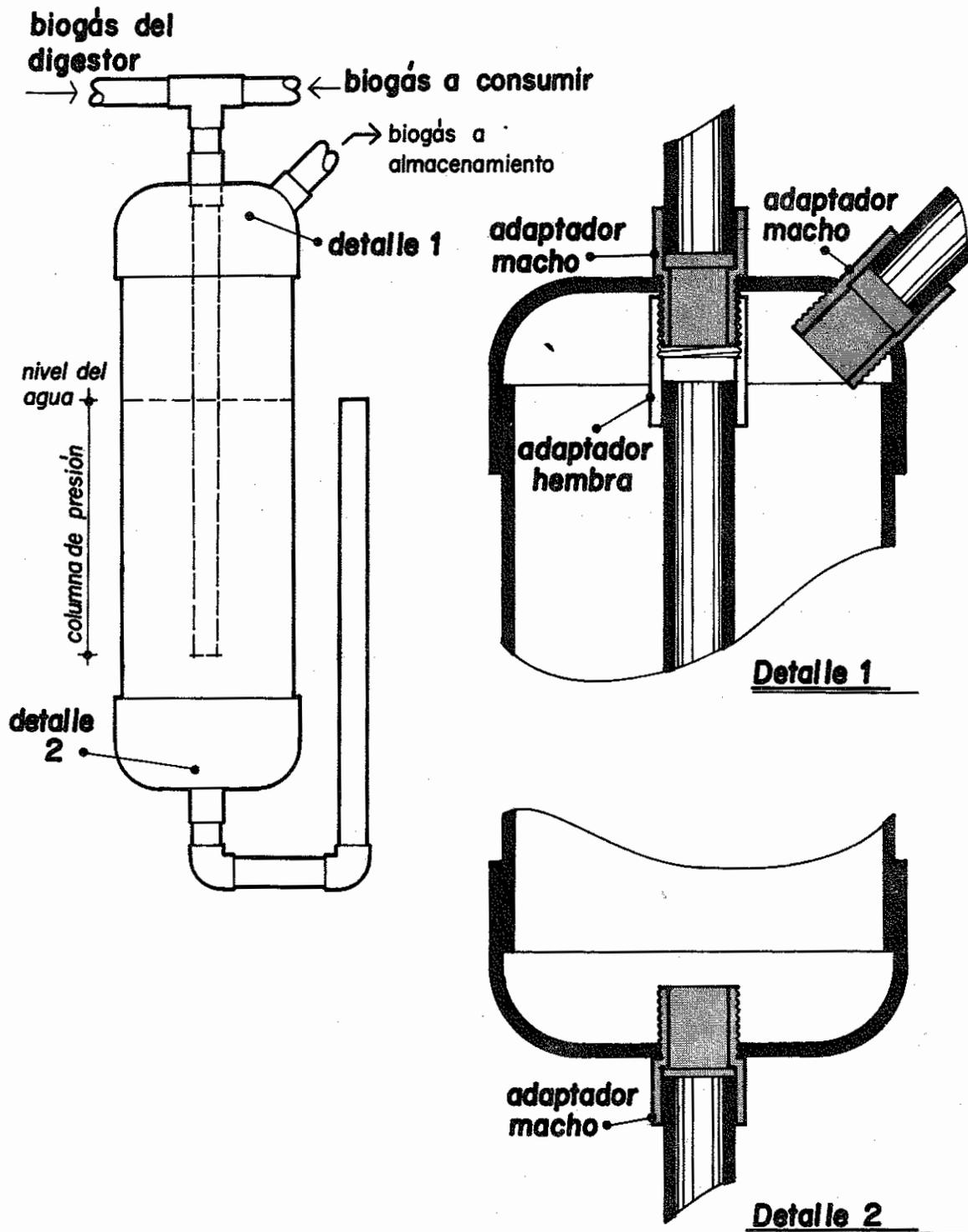


FIGURA A4. válvula de presión

APENDICE A5

CALCULOS PARA LAMPARAS DE BIOGAS

I) Lámparas especiales hechas con accesorios de hierro galvanizado.

Una de las características que deben calcularse es el tamaño del inyector, y para eso, también se puede usar la fórmula

$$Q = CS \sqrt{P/w}$$

que se emplea para flujo en orificios. El tamaño adecuado del inyector es el que permite mantener un flujo constante de la mezcla correcta de aire y biogás.

Las dimensiones del inyector dependen del número de camisas que la lámpara tenga.

Consumo de una lámpara, según el número de camisas.

1 camisa: 0.08	a	0.1	L/h de biogás
2 camisas: 0.125	a	0.15	L/h de biogás
3 camisas: 0.175	a	0.2	L/h de biogás

Además del cálculo de las dimensiones del inyector apropiado, se necesita calcular el tamaño del agujero de admisión de aire primario; las recomendaciones de expertos chinos indican que el área del agujero para aire primario debe ser 300 veces el área del inyector; si S es el área del inyector, se tiene:

$$A_{ap} = 300 S$$

La sección de la garganta del tubo mezclador debe tener un diámetro entre 4.8 mm y 9.5 mm (3/16" y 3/8"), y una longitud que como mínimo sea igual al doble de su diámetro.

El diámetro del tubo mezclador debe medir entre 9.5 mm y 13 mm (3/8" y 1/2"); su longitud debe ser entre 101 mm y 152 mm (4" y 6").

Ejemplo. Calcular las características del mezclador de una lámpara de camisa con un consumo de 100 L/h, un inyector tubular y una presión de trabajo de 100 mm de columna de agua.

$$Q = CS \sqrt{P/w}$$

Datos:

$$Q = 100 \text{ L/h} = 0.1 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$C = (1.445 \times 0.89 \times 1); \text{ esta constante en funci3n del sistema de unidades usadas, el factor de contracci3n de descarga y de la temperatura.}$$

$$P = 100 \text{ mm de columna de agua}$$

$$w = 0.861$$

1) Inyector.

Sea S el 1rea del inyector en cent3metros cuadrados; entonces:

$$0.1 = (1.445 \times 0.89) \times S \sqrt{(100/0.861)}$$

$$S = 7.22 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$$

$$d = 2 \sqrt{S/\pi}$$

$$= 0.096 \text{ cm} = 1 \text{ mm}$$

2) Agujero para aire primario.

$$A_{ap} = 300S = 300(7.22)(10^{-3}) \text{ cm}^2$$

$$= 2.166 \text{ cm}^2$$

Si se usan 4 agujeros, el 1rea de cada uno ser1:

$$A_{ap/4} = 2.166/4 = 0.5415 \text{ cm}^2$$

Luego, el di1metro de cada uno resulta:

$$d_{ap} = 2 \sqrt{0.5415/\pi} = 0.83 \text{ cm} = 8 \text{ mm}$$

3) Garganta del tubo mezclador.

Si se usa una copla de 6.3 mm (1/4") de di1metro, para el aire primario, un tubo de 6.3 mm (1/4") es apropiado para la garganta, ya que su di1metro resulta as3 de 9.5 mm (3/8").

4) Tubo mezclador

El mismo tubo usado para la garganta da el diámetro necesario para el mezclador; resta solamente cortar el tubo con una longitud entre 101 mm y 152 mm (4" y 6").

5) Esparcidor al que se amarra la camisa.

Puede usarse un reductor campana de 12.7 mm a 6.3 mm (1/2" a 1/4").

II) Lámparas hechas para propano y adaptadas para biogás.

Se busca que el suministro de biogás al mezclador sea suficiente para producir el mismo flujo calorífico que el propano; como no hay intercambiabilidad de gases, es necesario hacer un ajuste en el diámetro del inyector.

$$Q_{c1} (\text{propano}) = Q_{c2} (\text{biogás})$$

$$C_1 S_1 W_1 \sqrt{P_1} = C_2 S_2 W_2 \sqrt{P_2}$$

$$\text{Como } C_1 = C_2$$

$$S_1 W_1 \sqrt{P_1} = S_2 W_2 \sqrt{P_2}$$

El único valor desconocido es S_2 ; al despejar se tiene:

$$S_2 = \frac{S_1 W_1 \sqrt{P_1}}{W_2 \sqrt{P_2}}$$

Cuando se produzca llama en la camisa, es necesario hacer un arreglo en la garganta del tubo mezclador reduciendo su diámetro a un tamaño entre 6.3 mm y 7.9 mm (1/4" y 5/16"), y calcular de nuevo las dimensiones del agujero para aire primario de la misma manera que se indica en el problema anterior de este Apéndice.

$$A_{ap} = 300 S$$

APENDICE A6

MANTENIMIENTO

Problemas que pueden presentarse en la operación de Digestores,
y sus soluciones

Problema	Posible causa	Solución
1) NO HAY PRODUCCION DE GAS O ES MUY REDUCIDA.	a) Aún no se han desarrollado las bacterias	— Cargar el digestor con efluente de otro que esté funcionando. — Esperar. No cargar. El comienzo de la producción puede requerir hasta 30 días.
	b) La carga o el ambiente están demasiado fríos	— Preparar cargas con agua caliente. — Tapar el digestor con un pequeño invernadero.
	c) Acidez, por exceso de carga	— Suspender carga por varios días. — Agregar agua de cal en pequeñas cantidades. — Cargar cantidad correcta diariamente.
	d) Fugas en el digestor o en las tuberías de conducción del gas	— Examinar si hay grietas en el digestor, o fugas en tuberías o conexiones. Puede usarse agua jabonosa para el examen. — Reparar averías.

- | | |
|--|---|
| e) Se ha formado costra sobre el contenido del digestor, y se ha endurecido. Falta de agitación. | — Agitar vigorosamente; si esto no resulta, vaciar y cargar de nuevo el digestor. |
| f) Se cargó con estiércol de animales que han sido tratados con antibióticos | — No cargar más y esperar a que las bacterias se adapten o que disminuya el poder del antibiótico.
O bien, vaciar y recargar con material nuevo. |
| g) El digestor no está totalmente lleno | — Llenar el digestor por medio de cargas sucesivas, hasta el nivel de operación. |
| h) Las cargas del digestor se están preparando con mucha agua | — Preparar la carga con la proporción correcta de agua estiércol; no permitir que el agua de lluvia entre al digestor. |

**2)
HAY PRODUCCION
DE GAS, PERO NO
LLEGA A LOS EQUI-
POS.**

- | | |
|---|--|
| a) Obstrucción de las tuberías por condensación de agua | — Abrir las tuberías y drenar el agua. |
| b) Presión insuficiente | — Poner pesos sobre bolsa de almacenamiento para subir presión.

— En digestores de almacenamiento interno de gas, esperar a que haya mayor acumulación de biogás. |

	c) La salida del gas del digestor está bloqueada por espumas	— Retirar la cañería y quitar obstrucción con una varilla.
3) EL GAS NO ARDE	a) Aire en las tuberías de conducción	— Permitir que el aire escape hasta que salga biogás.
	b) Incorrecta mezcla de aire y gas en los quemadores	— Examinar los quemadores y ajustar para que haya mezcla apropiada de gas y aire.
	c) El material cargado al digestor no tiene la adecuada relación C/N	— Determinar qué elemento falta, y corregir añadiendo desechos que sean ricos en el elemento faltante.
4) LA LLAMA SE APAGA MUY FACILMENTE O SE PRODUCE DE MANERA PULSANTE	a) Insuficiente presión del biogás	— Aumentarla colocando pesos sobre la bolsa de gas.
	b) Hay agua condensada en las tuberías	— Drenarla, colocar trampas de agua en los sitios adecuados.
5) LA LLAMA SE FORMA MUY SEPARADA DEL QUEMADOR	a) Presión muy alta	— Disminuir el peso sobre la bolsa de gas. Regular la presión en válvula de control.
	b) La mezcla con aire no es correcta	— Verificar si el tamaño de los orificios del quemador es apropiado.

**6)
HAY MAL OLOR Y
MOSCAS EN LOS
EFLUENTES.**

**a) Poca degradación
del material**

— Reducir el volumen de carga para aumentar tiempo de retención.

— Elevar la temperatura en el digestor, mediante un invernadero o con cargas precalentadas.

TABLA 1

PROPIEDADES FISICAS

	Metano	Dióxido de Carbono	Aire	Acido Sulfhídrico	Propano	Biogás
Fórmula	CH ₄	CO ₂	79% N ₂ y 21% O ₂	H ₂ S	C ₃ H ₈	60% CH ₄ y 40% CO ₂
Peso Molecular	16.03	44.0	28.97	34.08	44.06	32.8
Punto de fusión (°C)	-182.44	-56.6	—	-83.8	-189.9	—
Punto ebullición (°C)	-161.49	-78.5	—	-60.2	-44.5	—
Densidad (g/L)	0.717	1.977	1.293	1.539	2.020	1.22
Gravedad específica	0.558	1.53	1.0	1.19	1.558	0.86
Temperatura crítica (°C)	-82.5	31.1	-140.7	100.4	95.6	—
Presión crítica (atm)	45.8	73.0	37.2	88.9	43.0	—
Densidad crítica (g/cm ³)	0.162	0.46	0.35	2.86	0.22	—
Poder calorífico (kcal/m ³)	9120	—	—	5 759	23 052	5342
Aire requerido para combustión (m ³ /m ³)	9.53	—	—	7.15	23.82	8-10
Límite de flamabilidad (m ³ /m ³)	5-15	—	—	—	2.4-9.5	6-25
Valoración en octano	120	—	—	—	100	100
Temp. ignición espontánea (°C)	650	—	—	—	500	814
Calor esp. (cal/gmol/°C)	0.75— 0.85	0.465— 0.539	0.27— 0.29	0.33— 0.35	0.475	—

TABLA 2

VALORES CALORIFICOS DE DIFERENTES COMBUSTIBLES

Combustible	Valor calorífico (Kcal)	Tipo de Estufa	Eficiencia estufa (%)	Calor efectivo (Kcal)	Equivalente efectivo
Biogás (m ³)	5 432	Estufa de biogás	60	2 820	1.00 m ³
Electricidad (kWh)	860	Platos calientes	70	600	4.70 kWh
Keroseno (litros)	9 100	Estufas a presión	50	4 550	0.62 L
Carbón (kg)	6 900	Fuego abierto	28	1 940	1.46 kg
Leña * (kg)	4 700	Fuego abierto	17	800	3.47 kg
Butano (kg)	10 900	Estufa	60	6 540	0.43 kg
Estiércol vacuno (kg)	2 100	Fuego abierto	11	210	12.30 kg

* Los datos de leña son valores medios. Dependen del tipo de madera y del grado de humedad que tenga.