



Manual para la instalación del digestor familiar tubular de 8.04 m³ en zonas alto andinas (4000 msnm)

Taller Inti



Espinar / CUSCO



TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCION.....	3
2. CONCEPTOS PREVIOS.....	4
3. PARÁMETROS QUE AFECTAN LA ACTIVIDAD MICROBIANA.....	6
4. CARACTERISTICAS DEL DIGESTOR INSTALADO.....	10
5. MATERIALES REQUERIDOS PARA LA INSTALACION.....	11
6. PASOS PARA LA INSTALACIÓN DE DIGESTOR.....	15
7. PRUEBAS DE COMBUSTIÓN DEL BIOGÁS.....	41
8. USO DEL DIGESTOR.....	42
9. MANTENIMIENTO DEL DIGESTOR.....	42

1.- Introducción

Desde hace 9 años taller inti viene promoviendo / difundiendo el uso de las energías renovables en la provincia de Espinar / departamento de Cusco / Perú, como solución a la falta de acceso a fuentes de energía convencional, y así mejorar la calidad de vida de la población en general y de manera particular del poblador del campo. Durante todo este tiempo se ha desarrollado / validado tecnologías que hacen uso de la energía solar (recurso renovable que abunda en esta provincia) y del agua; siguiendo este compromiso y siendo conscientes de que hay otro recurso renovable que abunda en la provincia pero que no ha sido explotado en toda su dimensión, se decide trabajar en desarrollar / validar la tecnología del biodigestor para la producción del biogás, y así el poblador de la zona o alrededores pueda tener diversas fuentes de energía renovable a las que pueda acceder de acuerdo a sus capacidades y necesidades.

El presente manual describe las características, materiales, pasos para la instalación, operación y mantenimiento de un biodigestor tubular familiar de 8.04 m³, el cual se pone a disposición de todas las personas que buscan conocer e implementar esta tecnología con el fin mejorar su calidad de vida y la de su comunidad.

Debemos mencionar, que si bien este manual hace referencia a la instalación de un digestor en zonas alto andinas (4000 msnm), sirve también – con algunas modificaciones – para realizar la instalación de un digestor de la misma capacidad en otros pisos ecológicos que se encuentran a menor altitud sobre el nivel del mar.

2.- Conceptos previos

Que es el biodigestor?

- Es un recipiente cerrado herméticamente efecto por el cual, una gran variedad de desechos orgánicos se degradan produciendo un gas combustible, rico en metano.
- El proceso se produce siempre y cuando el material se encuentre en un ambiente cerrado libre de oxígeno (fermentación anaeróbica). El gas o producto principal se llama biogás; los subproductos o residuos son el biol (efluente) y el bioabono (residuo sólido)
- Tanto el biogás como el biol y el bioabono son de gran utilidad. El biogás puede ser empleado de igual modo que el gas propano convencional, incluso con los mismos artefactos (cocinas, lámparas, motores a gas, etc.). El biol y el bioabono son los mejores abonos naturales, pues concentra nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio.

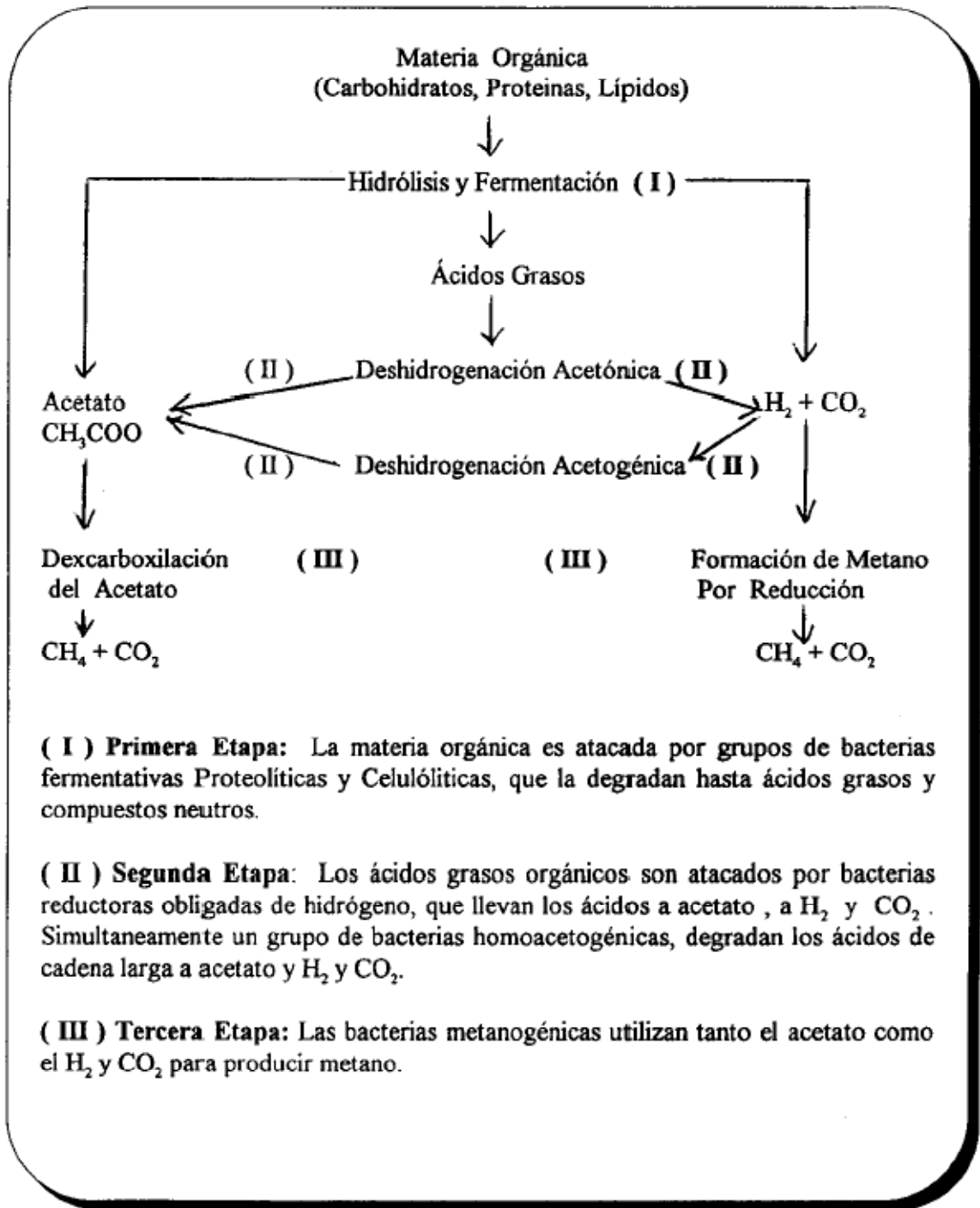
Que es el biogás?

- Es la mezcla de gases que resultan de la descomposición de la materia orgánica realizada por acción bacteriana en condiciones anaerobias (sin presencia de oxígeno). La composición del biogás es la siguiente:

Metano	CH ₄	55- 65% en volumen
Anhídrido carbónico	CO ₂	34- 45%
Nitrógeno	N ₂	0.3%
Hidrogeno	H ₂	0.1%
Sulfuro de hidrogeno	H ₂ S	0.1%

Como se genera el biogás?

- El biogás se produce por la acción bacteriana sobre la materia orgánica sin presencia de oxígeno (digestión anaerobia). El estiércol fresco contiene las bacterias que contribuyen al proceso de fermentación de la materia orgánica.
- Existen 3 etapas de intervención microbiana para la generación del metano: inicialmente actúan las bacterias que producen una hidrólisis al estiércol, generando ácidos orgánicos. Otro tipo de bacterias digieren estos ácidos orgánicos a través de una des-hidrogenación y acetogénesis dando como resultado ácido acético e hidrógeno y finalmente otras bacterias, llamadas metanogénicas, digieren el hidrógeno y el ácido acético para transformarlo en metano, que es el gas más importante del biogás y el que permite la combustión.



Proceso biológico que sucede en el interior del biodigestor

- Todos estos procesos se llevan a cabo simultáneamente dentro del digestor, al cual sólo se alimenta con estiércol fresco y agua.
- Tomando en cuenta que las bacterias son el ingrediente esencial del proceso, es necesario mantenerlas en condiciones que permitan asegurar y optimizar su ciclo biológico.

3.- PARAMETROS QUE AFECTAN LA ACTIVIDAD BACTERIANA

- Temperatura

- La fermentación anaerobia en principio es posible entre 3°C y 70°C.
- Existen generalmente 3 gamas de temperaturas aproximadas:
 - a.- El rango de temperatura psicrófila que está por debajo de 20°C
 - b.- El rango de temperaturas mesofílicas que está entre 20 y 40°C
 - c.- El rango de temperaturas termofílicas que es mayor a 40°C
- Los biodigestores tienen un rendimiento satisfactorio cuando la temperatura promedio diaria es mayor a 18 C.
- Cuando la temperatura promedio está entre 20 y 28 C, la producción de gas aumenta notoriamente. Si la temperatura de la biomasa está por debajo de 15°C, la producción del gas disminuye considerablemente.
- Tener en cuenta que la fermentación bacteriológica es muy sensible a los cambios de temperatura, y que el grado de sensibilidad, es muy dependiente en la gama de temperaturas.
- Las fluctuaciones de temperatura no deben exceder los siguientes rangos para que puedan ser considerados como no inhibitorias para el proceso de fermentación:
 - a.- Rango psicrófilico: $\pm 2^{\circ}\text{C}/\text{h}$
 - b.- Rango mesofílico: $\pm 1^{\circ}\text{C}/\text{h}$
 - c.- Rango termofílico: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}/\text{h}$

- Disponibilidad de los nutrientes

- Para crecer, las bacterias necesitan apenas una fuente de sustancias orgánicas como fuente de carbón y de energía.
- También requieren ciertos nutrientes minerales, además del carbón, oxígeno y del hidrógeno; la generación de biomasa requiere una fuente adecuada de nitrógeno, sulfuros, fósforo, potasio, calcio, magnesio y un número de oligoelementos tales como hierro, manganeso, molibdeno, cinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel etc.
- Normalmente los substratos tales como residuos agrícolas o aguas residuales municipales contienen generalmente cantidades adecuadas de los elementos mencionados.
- Una concentración más alta de cualquier sustancia individual tiene generalmente un efecto inhibitorio, por ello se recomienda los análisis para cada caso a fin de determinar qué cantidades hay de cada nutriente, y si eventualmente, se requiere agregar alguno.

- Tiempo de retención

- El tiempo de retención es el tiempo que requieren las bacterias para digerir la mezcla y producir biogás.
- Este tiempo, por tanto, dependerá de la temperatura de la región donde se vaya a instalar el biodigestor.
- Recordar que a menores temperaturas se requiere un mayor tiempo de retención que será necesario para que las bacterias que tendrán menor actividad, tengan tiempo de digerir el lodo y de producir biogás.

REGION	ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR (m.)	TEMPERATURA AMBIENTE	TIEMPO DE RETENCION (días)
Trópico	0 – 1800	13 °C – 38 °C	20
Valle	1800 – 2900	5 °C – 30 °C	30
Altiplano	2900 – 4500	-12 °C – 20 °C	60

Fuente: Jaime Martí Herrero

- Valores del PH

- Las bacterias responsables de la producción de biogás son sensibles a los cambios de pH.
- El pH dentro del biodigestor debe mantenerse en el intervalo de 6.7 a 7.5 o sea un medio prácticamente neutro; el pH se mantiene en ese rango sólo si el digestor está operando correctamente.
- Algunas de las causas por las cuales el pH puede variar son:
 - a.- Aumento repentino de la carga
 - b.- Presencia de elementos tóxicos en la carga
 - c.- Cambio súbito de temperatura
- En algunos casos, si el medio se vuelve ácido se puede agregar agua de cal al 2%.

- Relación Carbono / nitrógeno:

- El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de nutrientes para las bacterias formadoras de metano (metanogénicas).
- El carbono es la fuente de energía y el nitrógeno contribuye a la formación de nuevas células en el proceso.
- La relación ideal de éstos es de 30:1 hasta 20:1.
- Si el nitrógeno presente es menor al necesario, se ve limitada la velocidad de producción de biogás; por otra parte, si está en exceso, se produce más amoníaco del requerido, el cual es tóxico e inhibidor del proceso.
- Los desechos animales presentan una relación C:N menor a la óptima, debido a su alto contenido de nitrógeno; los residuos agrícolas, en cambio, contienen poco nitrógeno por lo que suele mezclarse con las excretas para obtener de este modo una óptima relación
- Los valores C/N ideales del material inicial a fermentar deben ser entre 20 y 30.

RELACION CARBONO: NITROGENO DE DIVERSOS DESECHOS DISPONIBLES EN EL MEDIO RURAL

TIPO DE MATERIAL	CARBONO % (seco)	NITROGENO % (seco)	C / N
Vacuno	32	1.5	21
Porcino	73	2.6	28
Equino	47	2.4	20
Ovino	60	3.7	16
Cuyes	37.2	2.02	17
Auquénidos	42	2.22	11
Chala de maíz	39	0.7	56
Paja de arroz	41.2	0.88	56
Paja de cebada	42	0.53	48
Paja de trigo	46	0.23	87
Hierbas / hojas secas	41	0.1	41
totorales	41	1.1	178

- Porcentaje de sólidos

- El porcentaje de los sólidos totales contenidos en la mezcla con la que se carga el digestor es un factor importante a considerar para asegurar que el proceso se lleve a cabo en forma satisfactoria.
- Experimentalmente se ha demostrado que una carga que contenga entre 7 y 9 % de sólidos totales es óptima para la digestión; por ello en el digestor tubular se recomienda cargar el biodigestor en la proporción de 1:3
- De esta manera, una parte es de estiércol y tres de agua. A esto se le llama mezcla de carga diaria (estiércol más agua).

- Agitación

- La agitación del contenido del digestor es importante para su buen funcionamiento.
- La agitación se recomienda para:
 - a.- evitar y destruir capas de flotación y hundimiento.
 - b.- mejorar la actividad de las bacterias por la liberación de biogás y proveer nutrientes frescos.
 - c.- mezclar el substrato fresco y fermentando a fin de inocular el primero

d.- llegar a una distribución uniforme de la temperatura y así proporcionar condiciones uniformes dentro del digestor.

- Toxicidad

- La presencia de metales pesados, antibióticos (Bacitracina, flavomicina, Lasalocid, Monensin, espiramicina, etc.) y los detergentes usados en cría del ganado pueden tener un efecto inhibitorio sobre el proceso fermentación.

Substance	[mg/l]
Copper:	10-250
Calcium:	8000
Sodium:	8000
Magnesium:	3000
Nickel:	100-1000
Zinc:	350-1000
Chromium:	200-2000
Sulfide (as Sulfur):	200
Cyanide:	2

Concentraciones límite para varios inhibidores de la fermentación

4.- Características del digester instalado

- Digestor tubular o tipo manga de geomembrana PVC, producido en fábrica (CIDELSA / LIMA); sus dimensiones son: 6.7 m (largo) X 1.27 m (diámetro) X 0.6 mm (espesor)
- El digester tiene: una tubería entrada de mezcla (4" diámetro), una tubería salida de la mezcla (4" diámetro), una tubería para retirar los sedimentos que se quedan en la parte baja del digester (4" diámetro) y una tubería por donde sale el gas generado (1" diámetro).
- Su volumen es de 8.04 m³; el volumen que ocupa la mezcla a digerir en el digester es de 6.4 m³ y el volumen que ocupará el gas generado a diario es de 1.64 m³.
- El digester viene con su gasómetro, el cual también ha sido producido en fabrica; las dimensiones del gasómetro son: 2.2 m (largo) X 1 m (diámetro) X 0.6 mm (espesor)
- El gasómetro tiene una única tubería de 1" de diámetro, que es por donde entra y sale el biogás y su volumen es de 1.7 m³.
- El digester es alimentado a diario con estiércol fresco de vaca y agua en la siguiente proporción: 26 litros de estiércol fresco y 80 litros de agua (proporción 1:3)
- La cantidad de gas generado a diario va entre 0.85 – 1 m³, lo cual nos da una disponibilidad de 3 – 4 horas de biogás para la preparación de alimentos.
- La cantidad de biol (abono foliar rico en nutrientes como el potasio, fósforo y nitrógeno) disponible a diario es de de 106 litros



5.- Materiales que se requieren para la instalación del digestor

Relación de materiales que se requieren para la construcción del digestor de 8.04 m ³						
	descripción	dimensión	unidad	costo unitario (S./)	cantidad	costo total (S./)
cuerpo digestor y gasómetro	digestor de geomembrana PVC 0.6 mm.	1.27 m. ø x 6.7 m. largo	unidad	928	1	928
	gasómetro de geomembrana PVC 0.6 mm	1 m. ø x 2.2 m. largo	unidad	298	1	298
Tuberías entrada, salida y limpia mezcla	tubo PVC	4" x 3m	unidad	22	2	44
	uniones PVC	4"	unidad	4	3	12
	tapa PVC	4"	unidad	3	3	9
	Codo PVC 45 °	4"	unidad	4	1	4
	Reducción 6" – 4"	4"	unidad	24	1	24
Cobertura del gasómetro	plástico polietileno tipo manga	1.5 m (ancho) x 0.2 mm	m	4	5	20
zanja del digestor	plástico polietileno (pe agrofil) tipo manga	2 m (ancho) x 0.2 mm	m	24	8	192
	poliestireno expandido (tecnopor)	2.9 m ² (1.2 m x 2.4 m) X 2"	unidad	25	16	416
Paredes del digestor (*)	adobe	40 cm x 30 cm x 10 cm	unidad	1	850	

	piedra	5" - 10" diámetro	m ³		4	
techo del fitotoldo	plástico polietileno (pe agrofíl) tipo manga	2 m (ancho) x 0.2 mm	m	24	10	240
	malla arpillera	4 m (ancho)	m	7	10	70
	rollizos	3" x 3.5 m	unidad	15	8	120
	listones	2" x 1 1/2" x 3 m	unidad	6	6	36
	jebe	2" x 1/8"	m	1	42	42
	clavos	5"	kg	5	2	10
	clavos	4"	kg	5	1	5
	clavos	1 1/2"	kg	7	1	7
	alambre	# 16	kg	6	3	18
Conducción del gas al quemador y gasómetro (incluye trampa de agua)	Reducción roscada PVC	1" - 1/2"	unidad	4	2	8
	tubería PVC (clase 10 roscada)	1/2" x 5 m	unidad	12	4	48
	codo PVC	1/2"	unidad	1	11	11
	tee PVC	1/2"	unidad	1.5	6	9
	llave de paso	1/2"	unidad	7	2	14
	UPR PVC	1/2"	unidad	1	4	4
	unión simple (sin rosca) PVC	1/2"	unidad	1	4	4
	Unión simple mixta PVC	1 / 2"	unidad	1	3	3
	manguera de polietileno	1/2"	m	3	1	3
	reducción PVC	1/2" - 1/4"	unidad	1	1	1

	codo fierro galvanizado	1/2"	unidad	2	1	2
	Niple fierro galvanizado	1/2" Ø x 4" longitud	unidad	5	1	5
	Niple fierro galvanizado	1/2" Ø x 2" longitud	unidad	3	1	3
	manguera de jebe	1/4"	m	2.5	2	5
	hornilla		unidad	4	1	4
	Cocina (1 hornilla)		unidad	25	1	25
	abrazaderas	1/2"	unidad	1	4	4
	esponja metálica (de hierro)		unidad	3	1	3
	teflón		unidad	1	5	5
	pegamento oatey para PVC	118 ml	unidad	8	2	16
estructura madera para aumentar presión gasómetro	listones	2" x 2" x 3 m	unidad	7	3	21
	Varilla fierro corrugado	1 /2" x 9 m	m	29	5	29
	tablas	7.9" x 3/4" x 3m	unidad	14	4	56
	clavos	2 ½"	kg	5	1/2	2.5
Poza de biol	bolsas de cemento		unidad	24	1	24
	Piedra (*)	5" - 10" diámetro	m ³		1	
	hormigón (*)		bugui		1	
	arena fina(*)		bugui		1	
	ladrillos		unidades	1.5	15	23

Llave poza biol	UPR PVC	1"	unidad	3	1	3
	Llave de paso PVC	1"	unidad	10	1	10
	Niple PVC	1" x 4"	unidad	4	1	4
	Codo PVC	1"	unidad	3	1	3
	tubería	1" x 5m	m	12	0.1	2
Varilla mezcladora	Tubería PVC	1 / 2 " x 6m	unidad	12	1	12
	Niples PVC	1 / 2" Ø x 2"	unidad	1	7	7
	Unión simple roscada PVC	1 / 2"	unidad	1	15	15
	tapón	1 / 2"	unidad	1	1	1
	jebe	4" ancho	rollo	10	1	10
Costo total de la instalación					2899	
Costo total instalación sin incluir digestor y gasómetro					1670	

(*) Estos materiales son proveídos por el beneficiario donde se instalará el digestor

6.- Pasos para la instalación de biodigestor

Para la instalación se siguen los siguientes pasos:

Ubicación

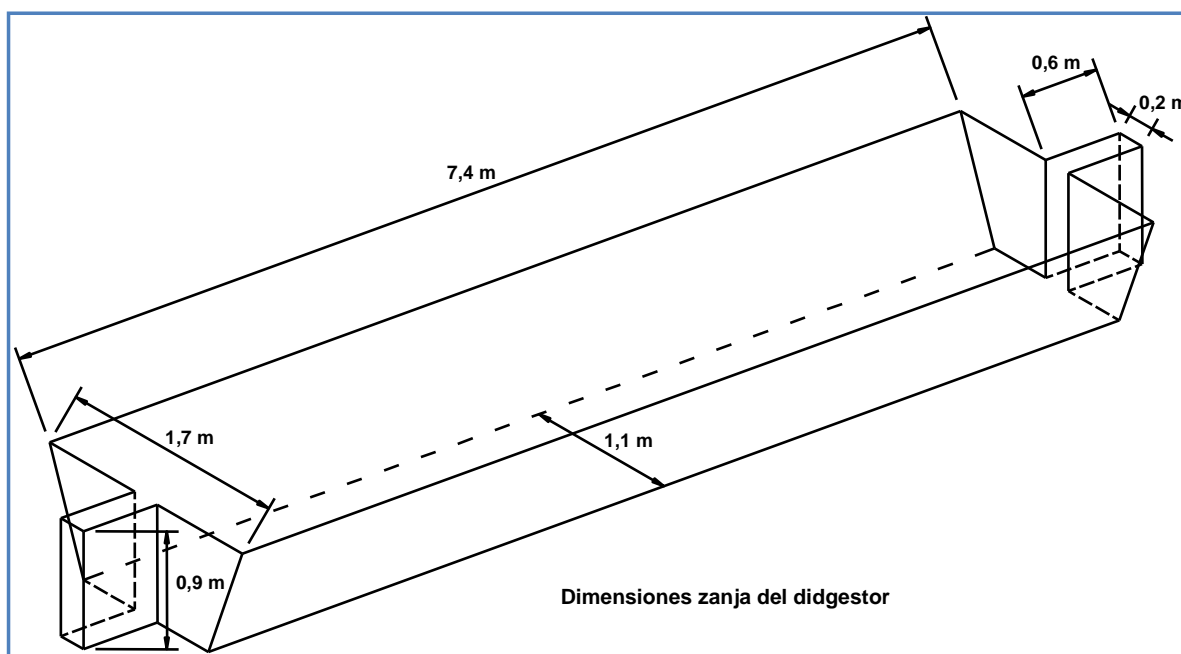
- El digestor debe estar ubicado en un lugar soleado, que esté cerca del establo y de la cocina.
- Su ubicación debe permitir el fácil transporte del estiércol desde el establo o punto de almacenamiento al digestor.
- Es recomendable instalarlo cerca de donde se puede emplear el biol.
- No ubicarlo en lugares donde se acumule agua en los días de lluvia.
- No ubicarlo en lugares donde el terreno presente desniveles; si esto no fuera posible se debe proceder a su nivelación.
- Evitar que el digestor este ubicado en zonas por donde transiten animales, en su defecto proceder a colocar algún tipo de cerco.



Definiendo ubicación del digestor

Excavación de la zanja

- Definida la ubicación, se procede a cavar la zanja.
- Tener en cuenta que la caída del techo del fitotoldo debe mirar siempre al norte (posición del sol al mediodía).
- La zanja protegerá al digestor, sus dimensiones dependerán de las dimensiones de la manga.
- Es conveniente que las paredes de la zanja tengan forma de 'chaflán' (las paredes inclinadas en forma de "v"), evitando de esta manera que se desmoronen las paredes; además, se aproxima más a la forma tubular del digestor.
- El piso y las paredes deben ser lisos, sin piedras o raíces que sobresalgan y puedan dañar el plástico.
- La zanja no debe presentar desnivel
- Para la ubicación de las tuberías de entrada y salida, se recomienda cavar un canal que luego será rellenado con tierra de acuerdo al grado de inclinación que tenga cada una de las tuberías.



Excavación de la zanja



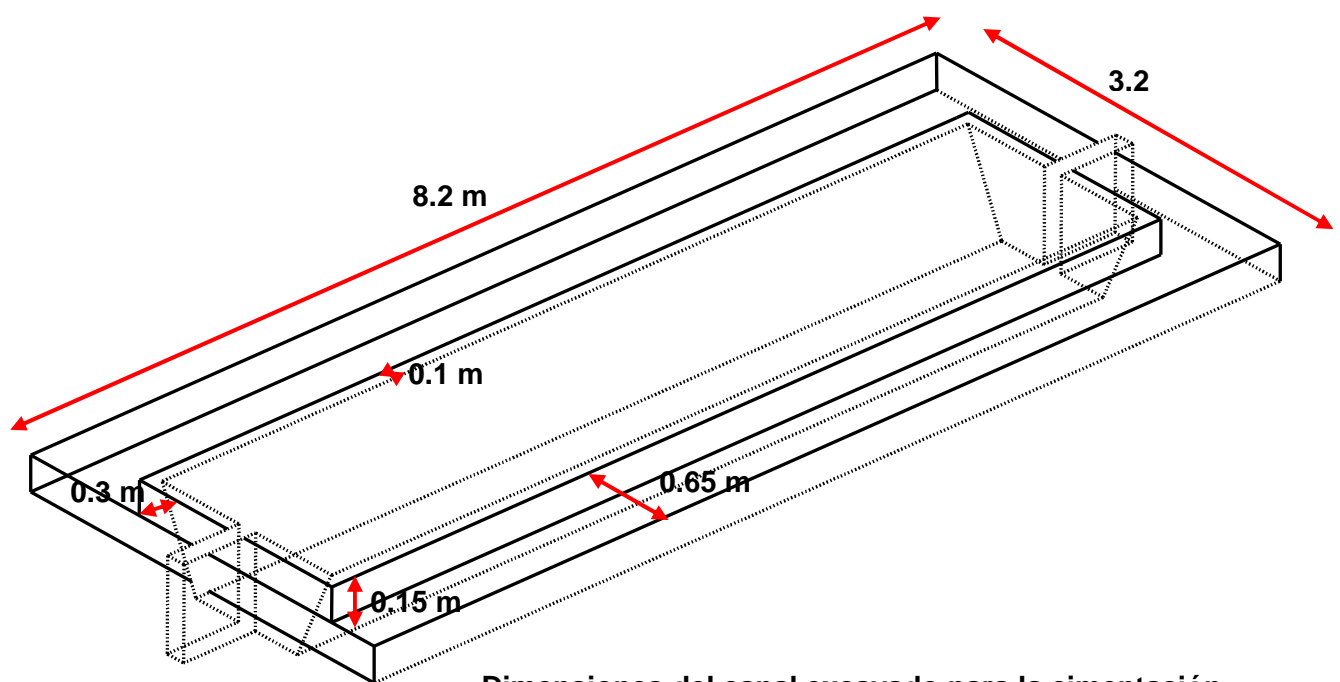
Zanja terminada

Paredes del fitotoldo

- Las paredes tienen la función de acumular el calor ganado por el fitotoldo, lo cual ayudará a mantener una temperatura constante y favorecerá al proceso de fermentación de la materia orgánica. Otra función del muro es proteger al biodigestor.
- Para levantar las paredes primero se cava un canal de 15 cm de profundidad alrededor de todo el perímetro de la zanja que contiene al digestor. El canal se cava a 10 cm del borde de la zanja del biodigestor
- El ancho del canal tiene las siguientes dimensiones: lado norte y sur 65 cm, lado este y oeste 30 cm.
- En el canal que se cava se colocan piedras que luego son recubiertas con barro, sirve como cimentación de las paredes a levantar.
- En el canal donde se ubican las tuberías de entrada / salida de la mezcla y limpia, no se coloca cimentación.



Canal excavado, para colocar la cimentación de las paredes

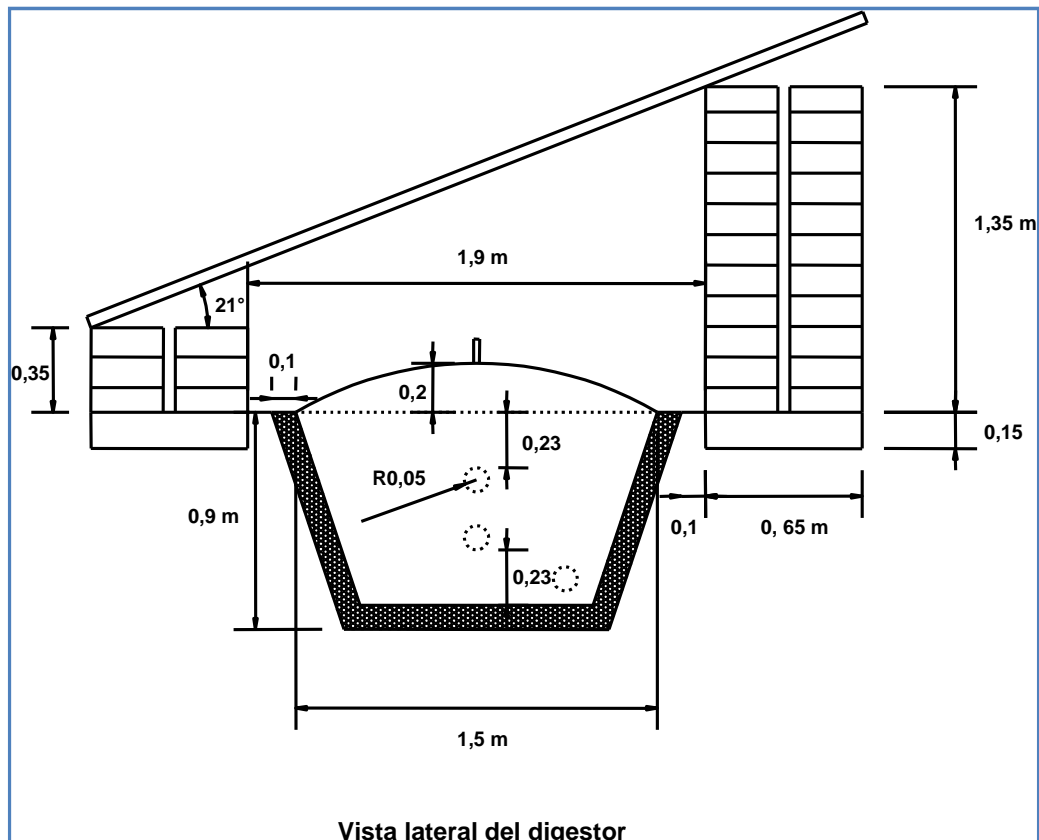


Dimensiones del canal excavado para la cimentación



Colocando cimentación de las paredes Paredes del digester siendo levantadas Canal para las tuberías

- Luego de colocada la cimentación (se emplean piedras que tienen un diámetro que varía entre 5" y 10"), se procede a levantar las paredes.
- Las paredes que se orientan al lado norte y sur siempre tendrán 2 filas de adobe con un espacio de 5 cm entre fila y fila.
- La pared norte tiene un alto de 35 cm y la pared sur un alto de de 1.35 m; esta diferencia de altura entre la pared sur y norte nos da un ángulo inclinación del techo del fitotoldo de aproximadamente 21°; esta inclinación del techo nos permite tener una mayor ganancia de la radiación solar, evacuar el agua de lluvia y el granizo.

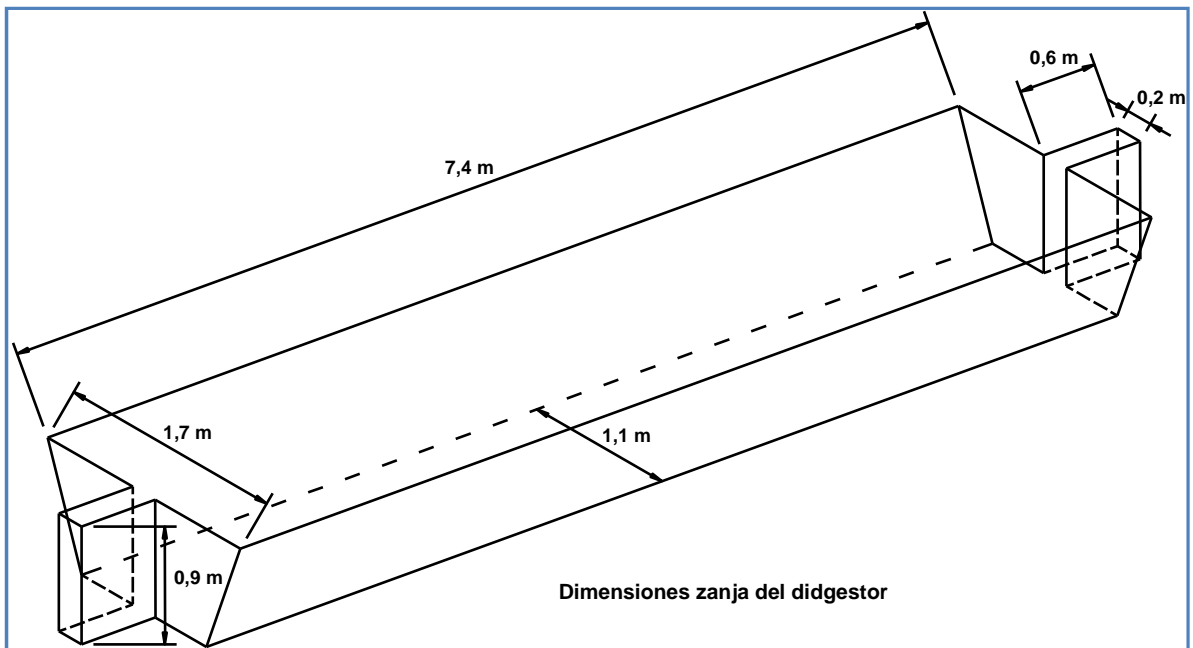




Paredes del digestor terminadas de ser levantadas

Colocando la geomembrana / plástico agrofil en la zanja

- Terminado el levantamiento de las paredes, se procede a colocar en toda la zanja mantas de geomembrana; también se puede emplear, plástico polietileno (PE, Agrofil)
- Las mantas de plástico sirven para evitar que la humedad de la tierra puedan afectar el aislamiento que se coloca.
- La cantidad de plástico empleada es de 29 m² (está en función del área de la base y de las paredes de la zanja).





Zanja con la geomembrana / agrofil colocado

Colocando el aislamiento de la zanja

- Para aislar la zanja que contiene al digestor se emplea planchas de poliestireno expandido (Tecnopor) de 4" de espesor.
- El poliestireno expandido tiene la función de reducir las pérdidas (se dan a través de las paredes de la zanja) del calor ganado por el efecto invernadero que produce el fitotodo, y así poder ayudar a elevar la temperatura interna de la mezcla (favorece la producción de biogás).
- Se debe tener en cuenta que a mayor espesor del aislamiento a emplear menor serán las pérdidas de calor que se tengan.



Zanja con el aislamiento colocado

Llenando de aire al digestor

- Antes de colocar el digestor en la zanja, se procede a llenarlo de aire, esto con el fin de detectar si presenta algún tipo de fugas y evitar que el digestor presente arrugas o dobleces (reducen su capacidad disponible) durante la realización de la primera carga.
- Para llenarlo de aire empleamos una secadora de cabello, compresora y procedemos a tapan las tuberías del digestor.
- El ingreso del aire se realiza por la tubería de salida del gas que se ubica en la parte superior del digestor



Inyectando aire al digestor

- En caso no se encuentre con equipos para inyectar aire al digestor, se puede realizar de la siguiente manera: se ata con jebe una manga de plástico, suficientemente larga, a una de las tuberías de 4".
- Luego cerramos la otra tubería de 4" y la salida del biogás con algún pedazo de plástico y jebe.
- Se procede a llenar de aire la manga, mediante unos movimientos tipo olas del extremo de la manga, y con la ayuda del viento cuando haya. Luego se empuja este aire dentro el digestor. Se repite la operación varias veces hasta que la bolsa esté bien inflada, evitando que al mismo tiempo el aire salga del digestor.



Inyectando aire al digestor con la manga
fuente: Davide Poggio

Colocando el digestor en la zanja

- Estando el digestor lleno de aire, se procede a colocarlo en la zanja.
- Se traslada entre varias personas y teniendo cuidado de que ningún objeto roce con el plástico.
- El digestor se posiciona en la zanja, para ello una persona se ubica dentro de la misma para recibirlo; la tubería de salida del gas queda en la parte superior, las tuberías de entrada / salida de la mezcla y de limpia se posicionan en sus aberturas correspondientes.



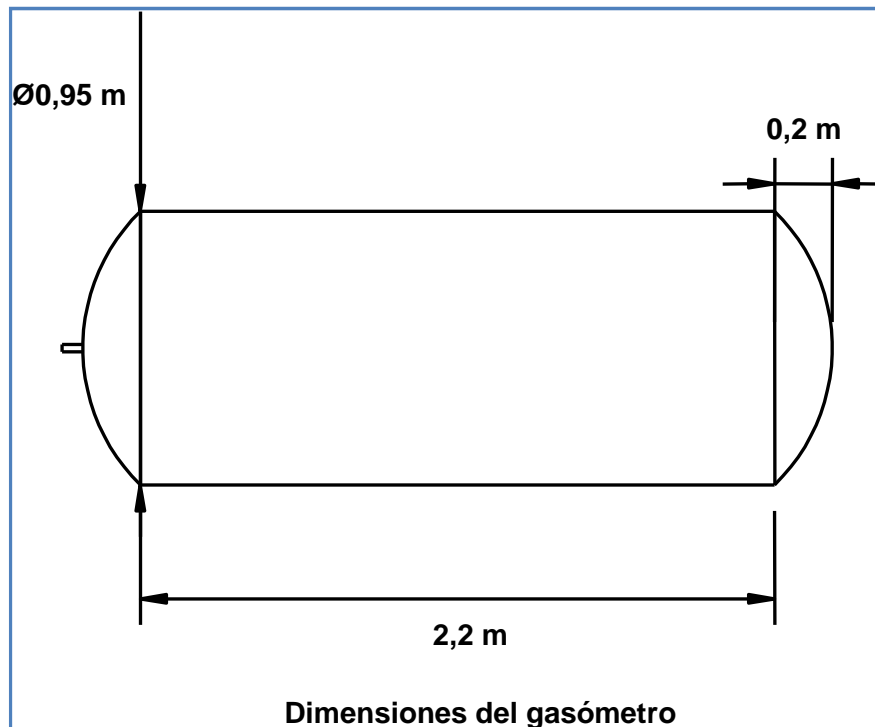
Traslado del digestor a la zanja



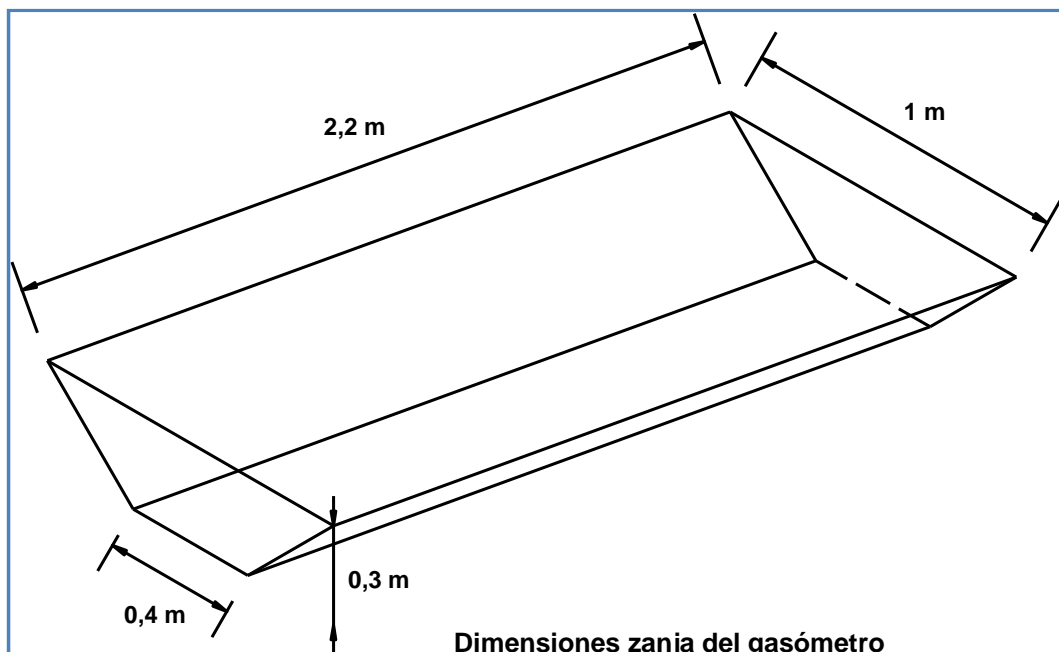
Digestor colocado en la zanja

Instalación del gasómetro

- Permite almacenar el gas producido y además es una reserva adicional a la cantidad de gas contenida en el digestor.
- Sirve para aumentar la presión del gas en los quemadores en caso que esta descienda.
- Su instalación, se realiza en lugar abierto, cerca de la cocina, protegido del sol, protegido de los vientos y donde no haya contacto con animales que lo pueden dañar.
- Sus dimensiones, es tal que acumula la cantidad de biogás producido en un día; en nuestro caso el gasómetro tiene un volumen de 1.7 m³, que es similar a la cantidad de gas que produce el digestor en 2 días.
- Otra forma de dimensionar su volumen, es que sea igual a la tercera parte del volumen del digestor.



- Previo a su instalación, se cava una zanja en donde se le coloca a fin de que tenga más estabilidad.
- Las paredes de la zanja tienen forma de 'chaflán' (paredes inclinadas en forma de "v"), se aproxima a su forma tubular.
- La fosa o zanja donde se le coloca debe estar a nivel, libre de piedras, raíces o cualquier otro objeto que le pueda causar daños.



- Terminado de cavar la zanja, se procede a llenarlo de aire a fin de verificar si presenta algún tipo de fugas.
- Para llenarlo de aire, también se emplea una secadora de cabello o compresora; el ingreso de aire se realiza por la única tubería que tiene el gasómetro.



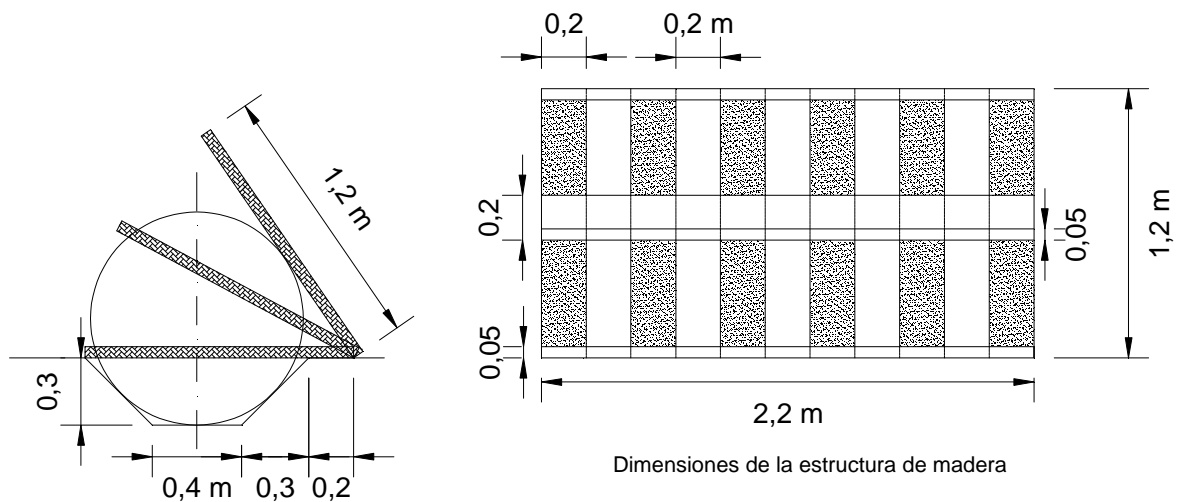
Gasómetro lleno de aire

- Después de llenar de aire el gasómetro, se le coloca doble capa de plástico polietileno en maga de 1 m de diámetro para protegerlo.
- Colocado el plástico de protección, se le procede a colocar el gasómetro en la fosa que se cavó para su ubicación.



Gasómetro ubicado en la zanja

- Para incrementar la presión del biogás a la salida de los quemadores, se coloca al gasómetro una estructura de madera, que está apoyada al piso por medio de 3 varillas de fierro. En la estructura de madera se ubican hasta 3 sacos de arena de 20 kg cada uno.



Estructura de madera con sacos de arena.

Instalación de la tubería que conduce el biogás al gasómetro y quemadores

- Después de ubicar el digestor y el gasómetro en sus lugares correspondientes y antes de techar el fitotoldo, se instala la tubería que conduce el biogás desde el digestor hacia el gasómetro y los quemadores.
- La tubería a instalar es de PVC pesada de ½".diámetro. Se recomienda emplear este tipo de tubería para conducción del biogás.
- Las uniones de las tuberías se realizan con pegamento tipo cemento PVC, ya que debemos evitar las fugas de biogás.
- La tubería que sale del digestor (conduce el biogás) está instalada en forma ascendente (tiene una pendiente de 1%), ello hace que el agua que se condense regrese al digestor.
- Las demás tuberías tienen una pendiente mínima de 1% y en el punto más bajo de la instalación se coloca una trampa de agua.

- Después de instalada la tubería se verifica si presentan algún tipo de fuga; para ello se revisa las uniones empleando agua de jabón.
- Tener en cuenta que las tuberías expuestas a la luz solar están cubiertas a fin de evitar su deterioro
- Las tuberías que van enterradas, están entre 25 – 30 cm bajo tierra, colocadas encima de una cama de arena y cubiertas por arena o tierra fina.
- Es recomendable que el digestor esté entre 5 – 20 m de la cocina.
- Se instala una válvula de seguridad a la salida del digestor y antes de la primera llave de paso.



Tubería de conducción del biogás instalada

Instalación de la válvula de seguridad

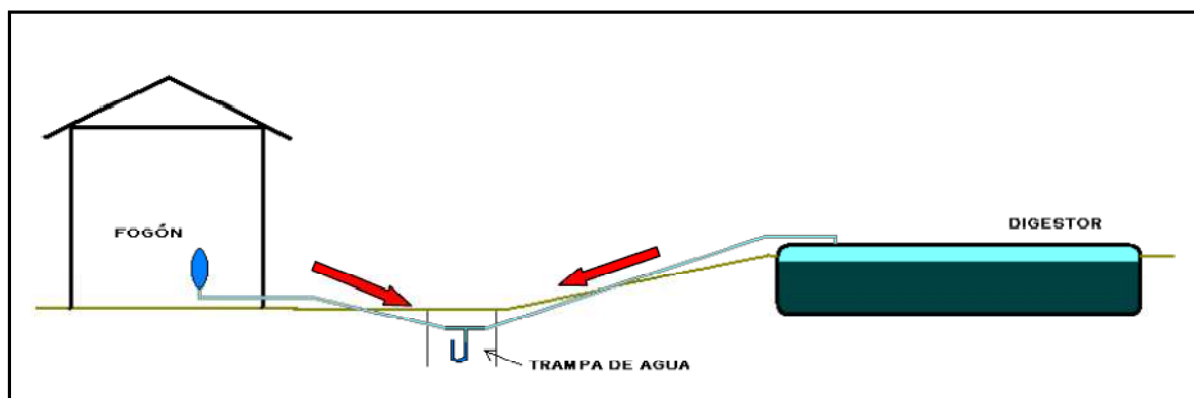
- Es el primer accesorio o elemento que se debe encontrar en las tuberías que conducen el biogás a la salida del digestor.
- Tiene por función controlar los excesos de presión en el interior del digestor que podrían dañarlo.
- El gas escapa al ambiente cuando la presión del mismo (del gas en el interior del digestor) excede al valor establecido, normalmente entre 2cm y 10cm de columna de agua.
- Los excesos de presión en el digestor se dan cuando no se usa el gas producido durante el día: el gas se acumula en el digestor y el gasómetro se llena por completo
- Se ubica antes de la primera llave de paso y al exterior de las paredes del digestor. Ello permite tener mayor control del mismo y poder visualizar el nivel de agua.
- Se fabrica a partir de una botella de plástico, en la que se introduce un pedazo de tubo (proviene de la conducción principal del gas), la cual queda cubierto de agua hasta el nivel que se crea conveniente (depende de la presión a la que trabajará el digestor). Para poder controlar el nivel de agua, se ha hecho una abertura en la parte media de la botella.
- La presión de trabajo del digestor en nuestro caso es de 5 cm de agua; la cual se va regulando de acuerdo a las pruebas de combustión de biogás que se realicen.
- Tener en cuenta que la presión de gas adecuada para cocinar varía entre 5 – 10 cm de agua y para el funcionamiento de las lámparas se requiere una presión 10 cm de agua.

- Cuando la instalación se encuentra a mayor altura sobre el nivel del mar, menor será la presión de trabajo que se requiera.
- La presión de trabajo del digestor también está en función de la distancia de la instalación a la cocina y tipo de quemador a emplear
- Instalada la válvula de seguridad, se coloca una llave de paso, la cual ayuda a aislar el digestor cuando se requiera hacer reparaciones o modificaciones en el resto de las instalaciones.



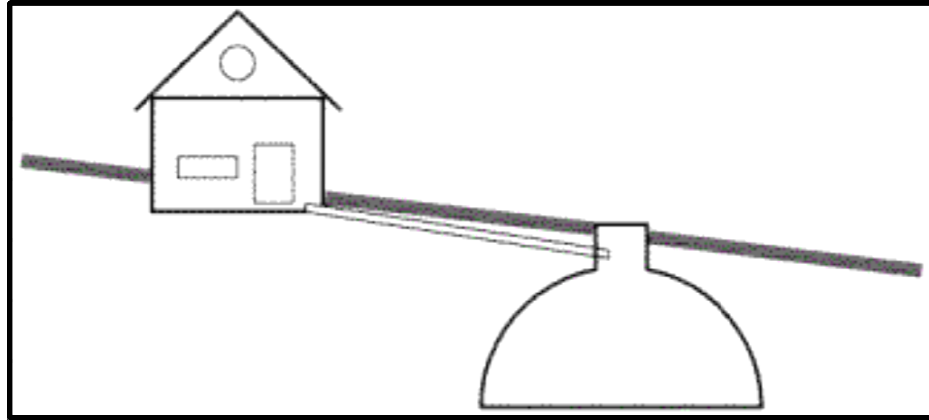
Instalación de la trampa de agua

- El gas que sale del digestor contiene vapor de agua, este se condensa en las tuberías por las variaciones de temperatura.
- El agua condensada puede llegar a obstruir el paso del biogás hacia los quemadores.
- Para evitar que el agua condensada en las tuberías obstruya el paso del biogás, las tuberías están instaladas con un grado de inclinación / pendiente de 1% y en el punto más bajo colocamos una trampa de agua



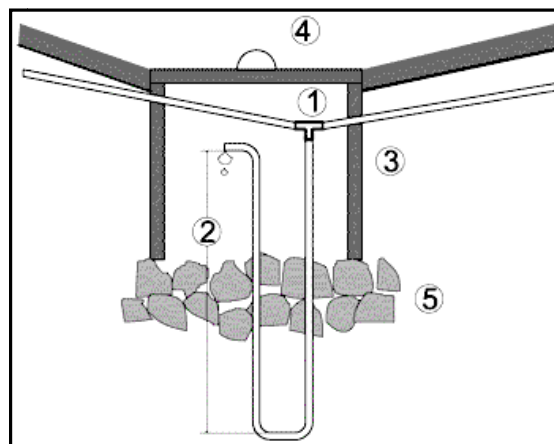
Esquema de una trampa de agua
Fuente: Davide Poggio

- La trampa de agua sirve para que el agua condensada pueda ser retirada sin que haya pérdidas de gas.
- Hay casos donde no es necesario el uso de las trampas de agua ya que se puede instalar las tuberías de forma ascendente de manera que el agua condensada regresa al digestor.



Sistema de tuberías con la inclinación ascendente de la cocina al digestor, no se requiere trampa de agua

- La trampa de agua instalada es del tipo automática y tiene la ventaja de que el vaciado del agua condensada no es necesario; si la trampa se queda sin agua, pueden causar grandes pérdidas de gas.
- La altura de la columna de agua en la trampa automática instalada, es igual a la máxima presión de gas + un 30% por seguridad (en nuestro caso es de 7 cm)



Trampa de agua automática

- La trampa se instala en una cámara sólida, cubierta por una tapa.



Instalación de la trampa de agua

Realizando la primera carga del digestor

- Instalado el digestor, se procede a llenarlo de agua hasta llegar a la tercera parte de la altura de la zanja (se ingresa un volumen de agua igual a 2240 lt).
- El llenado de agua se realiza con el fin de que algunas partes del digestor no queden con arrugas o pliegues, y así podamos aprovechar todo su volumen.
- Llenado el agua, se procede a retirar el aire del digestor.



Llenando de agua al digestor

- Terminado de llenar de agua, se procede a cargar el digestor con la mezcla de arranque correspondiente
- El llenado del digestor con mezcla lo realizamos de tal modo que ocupemos todo el volumen que se tiene disponible para los lodos.
- La realización de la primera carga del digestor se realizó teniendo en cuenta los siguientes proporciones:

RELACION DE INSUMOS PARA LA PRIMERA CARGA DEL BIODIGESTOR 8.04 m ³		
INSUMO	CANTIDAD (lt.)	RELACION DE INSUMOS CON RESPECTO AL ESTIERCOL DE VACUNO
estiércol de vacuno fresco	1548	1
agua	4642	3
Rumen fresco	210	0.14

- Tener en cuenta que el volumen total de agua ingresado al digestor en la primera carga es la que figura en la tabla.
- La proporción de los insumos se obtuvieron teniendo en cuenta:
 - a.- experiencia de la primera carga realizada en otros biodigestores
 - b.- Revisión de bibliografía.

- c.- En la primera carga del digestor, se debe ocupar por completo todo el volumen disponible para la mezcla a fermentar.
- d.- El volumen de la mezcla en el digestor es de 6.4 m³; ya que el biodigestor tiene un volumen total de 8.04m³
- e.- En la primera carga se requiere que el material a fermentar entre lo más diluido posible al digestor, así los microorganismos que intervienen en el proceso de generación de biogás puedan degradar el sustrato con mayor facilidad.
- f.- Como se desea acortar el tiempo de generación de biogás, se le agrega una porción de rumen fresco de vaca, ya que ésta contiene los microorganismos generadores de metano (CH₄).
- g.- El biogás que se genera en los primeros días se debe dejar escapar ya que no reúne las características necesarias para ser empleado (no es inflamable)
- h.- La alimentación periódica del biodigestor se realiza cuando el gas que se genera ya es inflamable; para ello se debe probar el biogás cada día una vez que el biodigestor se ha inflado (como mínimo en un 30 %)
- Para realizar la carga del digestor, se puede emplear una tina a la cual se le hace un agujero en la base de manera que quede superpuesta a la tubería de ingreso de la materia orgánica y sirva como embudo.
- Otra forma de cargar, es colocando una reducción de 6" – 4" (siempre y cuando la tubería de ingreso sea de 4" Ø)



Formas para realizar la primera carga

- Para diluir correctamente la mezcla que ingresa al digestor se emplea un cilindro de 210 lt. en el cual se agregan los insumos en la proporción adecuada (81 litros de estiércol de vaca, 118 litros agua, 11 litros rumen) y se agitan con la ayuda de de una varilla.



Dilución de la mezcla

- Diluida la mezcla se procede a cargar el digestor, para ello se retira la mezcla del cilindro con la ayuda de un balde de 20 lt



Llenado del digestor con mezcla.

- Al término de la primera carga del digestor las tuberías de entrada y salida, quedan tapadas por el lodo evitando que ingrese aire al sistema y perjudique la generación del biogás.
- Terminado la primera carga del digestor, se debe esperar que se genere gas de buena calidad antes de realizar las cargas diarias de lodo establecidas.
- La proporción de carga diaria de estiércol y agua es de 1:3 respectivamente, teniendo un volumen total de 106 lt. Cada carga consiste en 26 litros de estiércol fresco de vaca y 80 litros de agua (1 pala de estiércol mezclado con agua hasta ocupar todo el volumen de un balde de 20 litros; repetir esta operación 5 veces)



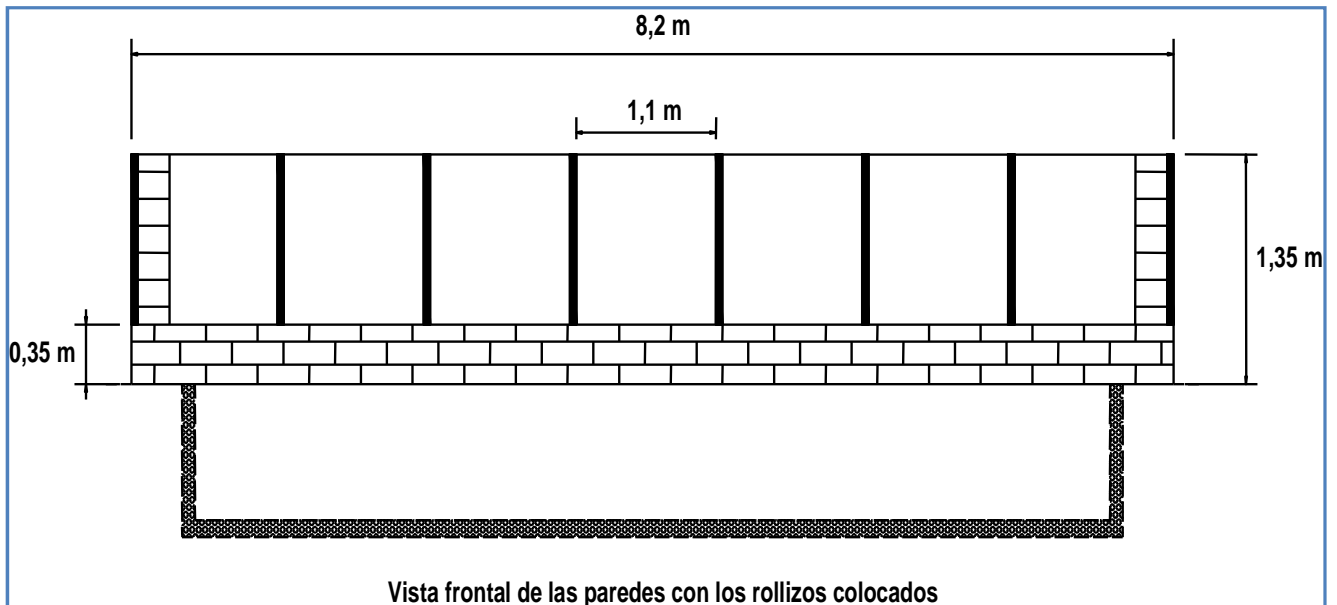
Posición final del digestor luego de terminar la carga inicial

Techado del fitotoldo

- Cargado el digestor, procedemos a techar el fitotoldo.
- Para el techado del fitotoldo se emplea plástico para invernaderos (Polietileno PE Agrofil de 0.2 mm espesor), 8 palos rollizos delgados de 3.5 m largo y 42 mt. de jebe
- La cantidad de Agrofil empleado es de 40 m².
- Los palos rollizos son apoyados en las paredes laterales de adobe y asegurados con alambre y clavos.



Rollizos colocados en las paredes laterales de adobe



Vista frontal de las paredes con los rollizos colocados

- Colocados los rollizos, procedemos a colocar barro en la parte superior de las paredes; esto con el fin de que el fitotoldo quede bien cerrado, no haya corrientes de aire en su interior y así podamos tener temperaturas – interior fitotoldo – que favorezcan a la generación de biogás.



Colocando barro en la parte superior de las paredes

- Terminado de colocar el barro, se procede a colocar el plástico agrofil el cual es asegurado a los rollizos con ayuda de jebe y clavos.
- Tener en cuenta que antes de comenzar a asegurar el plástico, se debe colocar cintas de plástico agrofil - del ancho del jebe como mínimo – entre el plástico (que servirá de techo) y el jebe; esto con el fin de evitar que el jebe al calentarse – por la exposición al sol – deteriore el plástico.



Colocando el techo del fitotoldo

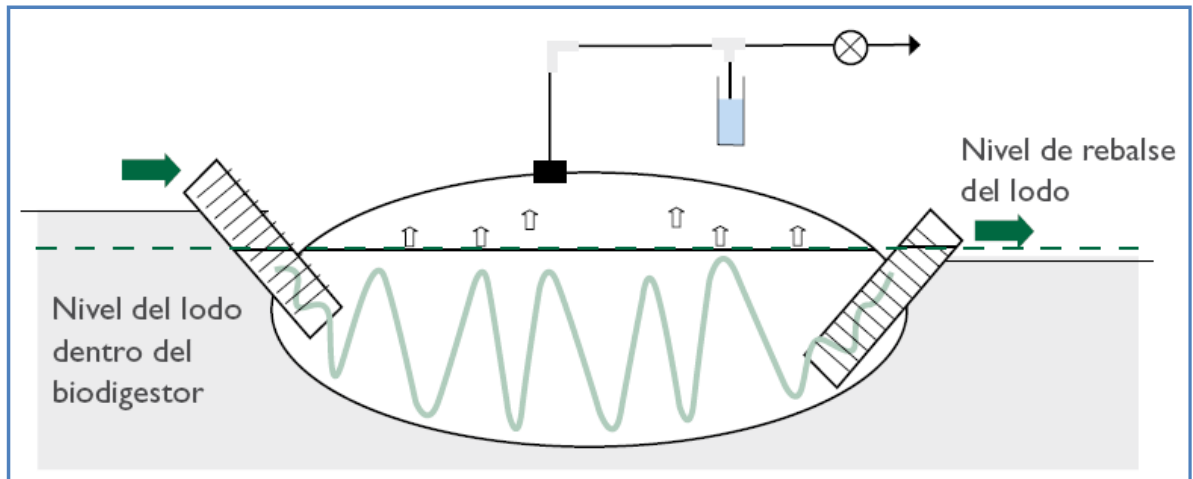
- Para evitar que la temperatura en el interior del fitotoldo disminuya en las noches, el techo se cubre con una malla rachel todos los días.
- El tapado del techo, se realiza una hora antes de que se oculte el sol y se le retira una hora después de la salida del sol.
- El uso de la malla rachel ayudará a mantener una temperatura constante en el interior del digestor y siendo de mayor utilidad en la épocas de helada
- Se ha empleado 40 m² de malla rachel.



Techo del fitotoldo cubierto con malla rachel

Ubicación de las tuberías de entrada / salida de mezcla

- Para el buen funcionamiento del digestor, es importante fijar correctamente las tuberías de entrada y salida de la mezcla.
- Para la ubicación de las tuberías de entrada y salida, se debe tener en cuenta que la descarga del digestor se da por el efecto de los vasos comunicantes: al cargar el digestor, la presión que ejerce el material que entra, expulsa por el tubo de descarga una cantidad de material ya procesado o fermentado.



Fuente: Jaime Martí Herrero

- La tubería de salida se posiciona de forma tal que la parte inferior de la misma quede a nivel de la altura de la zanja (este es el máximo nivel que alcanzará los lodos en el digestor)
- Posicionada la tubería, se procede a rellenar de tierra los alrededores con el fin de fijarla.



Tubería salida de mezcla fijada

- Con la ayuda de una manguera de nivel, se procede a ubicar el nivel de la mezcla en la tubería de entrada.
- Tener en cuenta que el nivel de mezcla debe quedar a una distancia de 50 -60 cm con respecto a la parte inicial de la tubería de entrada.
- Ubicada la tubería, se procede a rellenar de tierra los alrededores con el fin de fijarla.



Tubería entrada de mezcla fijada

- Para fijar las tuberías de entrada / salida de la mezcla, también se puede emplear mezcla de arena, cemento y algunos ladrillos; previamente se debe nivelar el terreno.



Tubería entrada de mezcla fijada

Poza para retirar el biol

- La poza tiene dimensiones de 0.6 m x 0.6 m x 0.3 m; dando un volumen de 108 litros.
- Para la realización de la base de la poza, primero se nivela el terreno con tierra, luego se coloca una base de piedras, por último se hace un encofrado con tablas a la cual se le agrega una mezcla de cemento con arena. Se deja que fragüe bien antes de proceder a levantar las paredes de la poza



Base de la poza de biol

- Las paredes de la poza se realiza con ladrillos, luego se le da el acabado con una mezcla de arena y cemento (tarrajeo).



Paredes de la poza terminadas

- En la parte baja de la poza, se coloca una llave de paso de 1" de diámetro, la cual permite retirar el biol que se almacena cuando se requiera.



Llave de paso de la poza

Agitación de la mezcla

- Se debe dar movimiento diario o agitar la mezcla que está en proceso de fermentación dentro del digestor.
- La agitación diaria de la mezcla en fermentación ayuda a liberar el gas producido, reducir el tiempo de retención, rompe la capa de espuma que se forma en su parte superior y a homogenizar la temperatura de la mezcla.
- La capa de espuma forma una barrera para el gas que se produce y evita que este avance al gasómetro y a los quemadores.
- La agitación sirve también para mezclar el substrato fresco y fermentando a fin de inocular el primero.
- Para la agitación de la mezcla, se emplea el método de varilla, por ser sencilla y de bajo costo; pero en vez de usar varillas de madera, empleamos 6 m de tubería de PVC de 1/ 2" de diámetro que tiene 7 volandas de jebe o plástico de 3" de diámetro (depende el diámetro de la tubería de entrada mezcla).



Varilla para la agitación de la mezcla

- Tener cuidado en que la varilla a emplear no tenga puntas o filos vivos que pudieran dañar al digestor.
- La agitación se recomienda realizarla por un tiempo de 2 a 3 minutos, después de realizar la carga diaria correspondiente y haber retirado del digestor el gas generado.



Agitación de la mezcla.



Alcance que tiene la varilla de agitación al interior del digestor

Instalación del quemador

- Para emplear el gas generado, realizamos la instalación de 1 quemador.
- Antes de instalar el quemador, se coloca una llave de paso en la tubería de gas que llega a la cocina, esta llave sirve para regular el uso del mismo.
- Ubicada la llave de paso, se procede a colocar una esponja de hierro en la tubería, esto permite retener el ácido sulfhídrico y también va a impedir que una combustión externa pueda propagarse por la tubería. La esponja debe ser cambiada como máximo cada 6 meses.



Esponja de hierro colocada en la tubería

- Ubicada la esponja, se procede a poner una reducción de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{1}{4}$ ", esto con el fin de poder colocar una manguera de caucho de $\frac{1}{4}$ ".



Llave de paso y manguera de caucho instalada

- El quemador que se instala, se fabrica de: una hornilla, 1 niple de $\frac{1}{2}$ " x 4", 1 niple de $\frac{1}{2}$ " x 2" y 1 codo de $\frac{1}{2}$ " Ø; los niples y codos son de fierro galvanizado.



Piezas con la que se fabrica el quemador

- Las piezas están conectados por medio de un codo y selladas con cinta teflón.



Unión de las piezas de fierro galvanizado

- En la parte superior del niple de menor longitud, se coloca la hornilla (es colocado a presión).
- A la hornilla, se le ha realizado 18 huecos de 5 mm de diámetro, con el fin de que haya una segunda mezcla adecuada entre el biogás y el oxígeno.



Hornilla instalada



Hornilla con los agujeros realizados

- Luego de terminar de armar el quemador, se procede a fijarlo en una cocina de GLP de una hornilla; el quemador se ha fijado teniendo en cuenta que la distancia entre la parte superior de la hornilla y la base donde se sientan las ollas debe ser de 5 cm.



Quemador instalado en la cocina

- Instalado el quemador, en uno de los extremos del niple de mayor longitud, se conecta la manguera de caucho que trae el gas.
- Tener en cuenta que la relación entre la manguera de caucho y el niple de fierro galvanizado es de 1/2, esto con el fin de que haya una primera mezcla de biogás / oxígeno adecuada.



Tubería de caucho conectada a la tubería de fierro

7.- Pruebas de combustión del biogás.

- Después de 12 días de haber realizado la primera carga de mezcla al digestor, se procede a hacer pruebas de combustión, para ver la calidad del biogás generado.
- Las pruebas se realizaron por un tiempo 10 minutos, el biogás generado ya es combustible y con algunas impurezas; esto lo determinamos por el color de la llama (color azul con trazas de color amarillo)
- Tener en cuenta, que la calidad y cantidad de biogás generada todavía no es la que se espera tener a diario (856 lt.), por ello que todavía no se comienza con el uso del gas generado y con la alimentación diaria con mezcla del digestor.
- Se volvió a realizar otra prueba de combustión, esta se llevo a cabo después de 33 días de haber realizado la primera carga.
- El biogás generado a la fecha ya es combustible y con un mínimo de impurezas (color azul de la llama).



Pruebas de combustión realizadas después de 33 días

- Obtenidos estos resultados en la prueba de combustión, se procedió a hervir 4.2 lt de agua con el fin de determinar el calor generado por la llama.
- El agua hirvió en 18 min.; la temperatura de ingreso del agua fue de 8 °C y la temperatura de salida agua fue de 87.3 °C.
- El calor absorbido por el agua fue de 0.39 KWh
- El rendimiento del biogás está alrededor del 60%, por lo cual se calcula que la llama generada con este combustible produzca un calor de 0.65 KWh
- Luego de realizar la prueba, el gas que se genera es usado a diario en la cocción de alimentos y se procede con la alimentación diaria del digestor (con mezcla).



Imágenes del quemador en funcionamiento

8.- Uso del digestor

- Teniendo gas de buena calidad que se produce en el digestor, se debe realizar un buen uso del mismo a fin de poder mantener su correcto funcionamiento y mantener constante la producción del biogás.
- La carga diaria del digestor (con mezcla) se realiza antes de retirar el gas que hay en el digestor, esto con el fin de evitar que se obstruya la tubería que conduce el gas.
- Alimentar a diario el digestor con la cantidad establecida de estiércol fresco de vaca y agua (26 lt. estiércol y 80 lt. de agua).
- El estiércol de vaca a emplear no debe contener ningún tipo de material sólido (paja y piedras), esto afecta a la producción del biogás.
- Después de ejecutar la carga del digestor, se debe realizar la agitación de la mezcla por un tiempo de 2 – 3 minutos
- Retirar a diario el biol que se almacena en la poza y usarla como abono foliar en el huerto o cultivos que se tengan, ya que es rico en nutrientes como el nitrógeno fósforo y potasio.
- La habitación donde se ubique la cocina debe estar bien ventilada; recuerda que el biogás purificado no tiene olor.
- Para emplear el quemador, primero hay que encender el fósforo y luego abrir la válvula de salida del gas.
- Después de finalizar el uso del gas, verificar que las llaves estén bien cerradas.
- Recordar que no debe haber ningún tipo de llama o brasas cerca de la línea de conducción del biogás.

9.- Mantenimiento del digestor

- Revisar a diario el nivel de agua en la válvula de seguridad, el agua debe estar hasta su máximo nivel.
- Cuando el agua de la válvula de seguridad se encuentre sucia hay que proceder a cambiarla por completo.
- Revisar a diario el nivel de agua de la trampa de agua, siempre debe estar llena.
- Verificar que la tubería de salida de la mezcla no esté tapado.

- Verificar que las tuberías y accesorios que conducen el gas no presenten fugas.
- Renovar la esponja de hierro (sirve para la purificación del biogás) cuando se requiera.
- Verificar el estado del techo de fitotoldo y cambiarlo cuando se encuentre deteriorado (alrededor de 1.5 - 2 años).
- Verificar cada cierto tiempo el aseguramiento de la malla rachel, se encuentre en buen estado.
- Cuando se requiera retirar los sedimentos que hay en la parte baja del digestor, se abre la tapa de la tubería de limpieza, se deja salir todo el lodo y se comienza a inyectar agua para limpiar el interior del digestor. Acabada esta operación, se vuelve a colocar la tapa a la tubería de limpieza y se cierra bien. Para poner a funcionar otra vez el digestor, se debe proceder como si fuese la primera vez que se va a cargar.

***Este manual fue elaborado por
Vladimir Morales Romero
y
el equipo de
Taller inti /Espinar /Cusco / Perú***

Para cualquier comentario escribir:

Vladimir morales: vlaxmo1@hotmail.com

Luciano Ré: intisolar@bluemail.ch

Carlos Vera: cver_info@yahoo.com

Visite nuestra web:

www.taller-inti.org