

SISTEMAS PASIVOS PARA CALENTAMIENTOS DE DIGESTORES DISEÑO Y ENSAYOS PRELIMINARES**

J. Sequi, A. Iriarte, R. Ferioli, I. Golomb y S. B. de Biagi

INENCO*, Unidad de Investigación Catamarca'
Facultad de Ciencias Agrarias - UNCa.
C.C. 189 - 4700 Catamarca

L. E. Ahumada
Vialidad Provincial Catamarca

RESUMEN

La producción de biogas a partir de residuos orgánicos está estrechamente relacionada con la temperatura de digestión.

Las experiencias llevadas a cabo en los centros de experimentación coinciden en que con temperaturas de digestión de aproximadamente 35° C se logran los máximos rendimientos de producción, mientras que por debajo de los 16° C, se inhibe la misma o sus valores no son significativos. Numerosas experiencias a nivel internacional se han desarrollado para calefaccionar los biodigestores ya sea que cuando una fracción importante del biogas que los mismos producen o bien mediante la incorporación de sistemas solares activos poco adaptados a las zonas rurales de nuestra provincia.

En el presente trabajo se describen tres prototipos experimentales calefaccionados con sistemas activos de energía solar.

Se analiza la variación de las temperaturas de punto significativo de cada uno de ellos en función del tiempo y en contraste con la radiación incidente y la temperatura ambiente. Asimismo se muestra el balance térmico y la eficiencia global en términos de colección y acumulación.

CONSIDERACIONES GENERALES

La producción de biogas a partir de residuos orgánicos se realiza mediante un proceso biológico que incluye diferentes grupos bacterianos, los cuales, en condición de anaerobiosis degradan la materia orgánica para dar como producto final un gas combustible compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono y un residuo de alto valor fertilizante.

Uno de los parámetros que más influye en la eficiencia

de la actividad microbiana, es la temperatura a la cual se desarrolla la digestión. Se ha comprobado que por debajo de los 16° C, prácticamente cesa la producción de biogas, mientras que el óptimo de producción se consigue dentro de dos rangos de temperatura bien definidos: 30° C a 40° C y 50° C a 60° C.

Aún cuando la producción de gas es mayor trabajando dentro del rango de temperaturas más elevadas, las dificultades para alcanzar y mantener la misma por medios sencillos; la mayor sensibilidad que muestran los grupos bacterianos a las variaciones de temperatura; la mayor atención y mantenimiento que requiere el sistema y el menor valor fertilizante del efluente, hace que resulte mucho más conveniente trabajar dentro del rango de menor temperatura, cuyo óptimo se centraría alrededor de los 35° C, fundamentalmente cuando éstos sistemas están destinados a las zonas rurales marginales.

Los biodigestores no calefaccionados, solamente podrán acercarse a ésta temperatura óptima de producción durante los meses más cálidos y siempre que se trate de regiones con temperaturas medias anuales elevadas, mientras que en los meses más fríos, su producción disminuye sensiblemente. Por otra parte, existen regiones que, aún cuando disponen de cantidades considerables de residuos orgánicos no pueden hacer uso de la tecnología del biogas por las limitaciones que le imponen las bajas temperaturas. Si bien la provincia de Catamarca se caracteriza por tener temperaturas elevadas durante los meses de verano y los inviernos pueden considerarse moderados, hay una disminución considerable de producción de gas en estos últimos, que obliga generalmente a construir digestores de volumen mayor al necesario para cubrir el déficit de esos meses, aún cuando la producción en el verano excede las necesidades de uso. Este volumen "adicional" puede evitarse calefaccionando el digestor, lo que incluso permitiría reducir aún más el tamaño del mismo al disminuir el tiempo de retención del sustrato en digestión, lo que resulta muy importante desde el punto de vista de la reducción de los costos de construcción.

* Miembro de la carrera de investigador del CONICET

** Instituto UNSa-CONICET

Unidad de Investigación del INENCO en Catamarca UNCa-UNSa-CONICET

** Convenio UNCa-Vialidad Provincial Catamarca

En virtud de lo expuesto resulta entonces interesante estudiar el desarrollo de biodigestores calefaccionados, adaptados a las condiciones climáticas y socio-económicas de cada región.

OBJETIVOS GENERALES

Diseño y construcción de sistemas pasivos de calentamiento para su incorporación en biodigestores con el fin de aumentar la eficiencia de producción de gas. Se tratará en lo posible de desarrollar una tecnología de construcción simple y de costo razonable, tendiendo a la utilización de materiales de fácil acceso en la provincia.

2.- SISTEMAS PASIVOS SELECCIONADOS

Haciendo una evaluación previa de los distintos sistemas pasivos que podrían ser utilizados con éxito en el calentamiento de biodigestores y que además se adecuaran al criterio tecnológico explicitado en el ítem objetivos generales, se decidió experimentar tres sistemas pasivos que utilizan la energía solar como fuente de calor, aprovechando el elevado índice de radiación anual que presenta la provincia y que además es una característica común para la región Noroeste Argentina.

Los tres sistemas seleccionados que difieren básicamente entre sí en la forma de coleccionar, acumular y/o transferir el calor al digestor, son:

- Colección solar directa sobre el digestor y lecho de piedra circundante.
- Calentamiento directo mediante muro-trombe sin ventilación.
- Calentamiento y acumulación de calor en lecho de piedra mediante convección natural de aire.

3.- CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS Y DE DISEÑO

a) Digestor calefaccionado mediante radiación solar directa

El sistema de calefacción fue diseñado con el criterio de coleccionar la radiación solar directamente sobre una porción expuesta del digestor y sobre un lecho de piedra circundante al mismo con el objeto de aumentar la masa térmica y evitar las variaciones bruscas de temperatura.

Para tal fin se construyó un digestor experimental de carga continua, de 200 litros de volumen total, (160 litros de volumen efectivo) utilizando un tambor de los empleados comúnmente en la comercialización de aceites lubricantes, al que se le soldó un tubo de 100 mm de diámetro en cada extremo para la carga y descarga del sustrato orgánico y un caño galvanizado de 1/2" para extraer el gas producido (fig. 1).

En la función del volumen total de piedra y su ubicación alrededor del digestor, se cavó una fosa de forma adecuada (formando escalones) recubierta interiormente con una lámi-

na de polietileno para evitar el ascenso de la humedad del suelo, una pared de adobes estabilizados simplemente apoyados (sin mortero) y una capa de planchas de poliuretano de 50mm como aislante térmico. A continuación se ubicó el digestor y el lecho con piedras de aproximadamente 40 a 50mm de diámetro promedio alternado con capas de gransa de 10 a 20mm de diámetro para mejorar la conducción térmica hacia los niveles inferiores (fig. 2). El volumen total de piedras es de aproximadamente 1m³ y dispuesto en forma tal que el espesor de la capa de piedras alrededor del digestor es de aproximadamente 15cm.

Para poder evaluar el comportamiento del sistema, se distribuyeron a distintos niveles del lecho de piedras y del sustrato en digestión termocuplas de cobre-constantán.

El digestor se cubrió con el lecho aproximadamente sus 4/5 partes dejando la parte superior expuesta a la radiación directa para favorecer el calentamiento rápido de la masa líquida.

Todo el sistema se cerró en su parte superior con una superficie vidriada de 1,55 x 1,65m, utilizando un vidrio tipo "dobie" de 3mm de espesor, sellado herméticamente con goma siliconada, dejando una superficie neta de colección de 1,89m². (fig. 3)

b) Digestor calefaccionado con muro-trombe sin ventilación

En este caso se construyó un digestor con el criterio de coleccionar la radiación solar sobre una de las paredes principales del mismo mediante un sistema de muro-trombe sin ventilación que transfiera, por conducción, el calor a la masa interna en digestión.

Se evaluaron tres formas geométricas que presentan una cara con aptitud para constituir un muro-trombe colector; ellas son: un prisma triangular, un semicilindro y un prisma rectangular. La razón principal a evaluar fue cual de las tres formas presentaba, para el mismo volumen una relación más favorable entre la superficie de colección constituida por el muro-trombe y la menor superficie de pérdida constituida por el resto de las caras que cierran el cuerpo geométrico, de manera tal que el balance energético sea positivo para el mes más desfavorable.

Las tres formas geométricas fueron estudiadas individualmente y luego cotejadas entre sí mediante un programa de computación que permitió concluir que la forma prismática triangular es la que más se adecúa por que se puede lograr una óptima superficie de colección con áreas de pérdidas aceptables, manteniendo la factibilidad física de construcción.

Por esta razón se construyó un digestor experimental de aproximadamente 1m³ de volumen total, de forma prismática triangular, totalmente

pedra, por ser este un material común en la provincia, utilizando mortero común de albañilería con un ligante (fig. 4 y 5). Las paredes de 0,30 m de espesor fueron rebocadas en la parte interna, al igual que el piso, con cemento, para evitar las filtraciones. El digestor se cierra en su parte superior con una tapa de hormigón armado, dividida en dos mitades que apoyan en un rebaje especialmente construido en la parte superior de los muros permitiendo el sellado hermético con bitumen asfáltico. En una de estas medias tapas se colocaron tres caños de 3/4" de diámetro, dos de los cuales se sumergen aproximadamente 0,12 m por debajo del nivel de líquido del digestor y que se utilizan para la extracción de muestras del material en digestión. El tercer caño, sirve para evacuar el gas producido. Los tubos de carga y descarga son de fibrocemento de 100 mm de diámetro.

La cara principal del digestor, que constituye el muro-trombe, orientada hacia el norte, se pintó de color negro mate del lado expuesto al sol y se le adosó una superficie vidriada de 3,8 m² utilizando un solo vidrio tipo "doble" de 3 mm de espesor. Las dos paredes restantes fueron cubiertas con un talud de tierra.

Digestor calefaccionado mediante convección natural

La idea básica de funcionamiento de este sistema consiste en coleccionar la radiación solar sobre un muro vertical revestido con una delgada lámina de papel de aluminio pintada de negro, de baja inercia térmica, de modo que caliente rápidamente el aire en contacto con la misma, originando una corriente convectiva que se aprovecha para calentar el digestor y un lecho de piedras, acumulador, que lo rodea.

Para ello se construyó un recinto de bloques de cemento-azulejo asentados sobre mortero del mismo material y cuyas dimensiones generales se muestran en la fig. N° 4. El muro colector, orientado hacia el norte, presenta dos "ventanas" superiores a nivel de techo y dos "ventanas" inferiores a nivel de piso, para lograr la convección del aire.

La superficie vidriada de 2,14 m², separada a 80 mm del muro, constituida por dos vidrios tipo "doble" de 3 mm de espesor.

En el interior del recinto y a 0,20 m del nivel del piso, se colocó una parrilla de hierro con barras de 12 mm de diámetro, para sostener el digestor y el lecho de piedras y se forró las paredes internas del recinto con planchas de poliuretano de 40 mm de espesor para evitar las pérdidas de calor.

Sobre la parrilla de hierro se colocó una capa de 0,15 m de piedras de 0,10 a 0,14 m de diámetro promedio, sobre la que se asentó el digestor. Luego se rodeó éste totalmente de piedras hasta una altura de 0,15 m por encima del mismo.

El digestor utilizado es exactamente igual al usa-

do en el caso a), (fig. 1) con la diferencia que se prolongaron los tubos de entrada y salida del sustrato, manteniendo el mismo nivel del líquido dentro del digestor.

La parte superior del recinto se cerró con un techo liviano, constituido por una cubierta de cañas (cañizo), una capa de planchas de poliuretano de 40 mm de espesor y una lámina de polietileno de 200 micrones, para evitar las filtraciones de agua hacia el interior del recinto. Sobre la lámina de polietileno se aplicó una capa de suelo mezclado con cal (tortado) muy usado en nuestra provincia para la construcción de los techos de las viviendas rurales. (fig. 6 y 7)

4.- Resultados experimentales y conclusiones

Los tres sistemas fueron desarrollados y ensayados dentro de la Unidad de Investigación Cata-marca del INENCO. En una primera etapa los mismos fueron evaluados durante 20 días consecutivos del mes de Setiembre de 1985. Durante dicho período de ensayo, la radiación incidente mostró variaciones poco comunes para esta época del año en nuestra provincia, lo que significó que en general el nivel de radiación estuviera por debajo de la media histórica para el mes de Setiembre. Esto permitió hasta cierto punto observar el comportamiento de los sistemas en situaciones climáticas adversas y su capacidad de recuperación.

a) Digestor calefaccionado mediante radiación solar directa

El digestor se cargó de una sola vez con estiércol vacuno en una proporción del 6% de sólidos totales y luego de 7 días comenzaron las cargas diarias aumentando paulatinamente la proporción de sólidos hasta alcanzar el 9%.

La temperatura inicial del sustrato en digestión al realizar la primera carga fue de 18° C.

El sistema mostró en líneas generales un comportamiento aceptable. Si observamos la fig. N° 8 (a) y (d), vemos que cuando la radiación vertical se mantuvo aproximadamente estabilizada, (17 al 21/09), la temperatura media diaria fue aumentando paulatinamente a razón de 2° C por día y la temperatura del sustrato lo hizo aproximadamente en la misma proporción pero alrededor de 9° a 10° C por encima de aquella, llegando a un máximo de 33° C.

Posteriormente cuando entramos en un período de inestabilidad climática alternándose los días nublados y lluviosos con días despejados, la temperatura del sustrato fue descendiendo lentamente a razón de 0,6° C aproximadamente por día, aún cuando la temperatura media diaria muestra descensos bruscos de hasta 5° C por día (temperaturas mínimas de 1° C).

La temperatura del lecho de piedra en su nivel superior varía en forma similar a la variación de la radiación incidente pero en su nivel inferior

muestra claramente los efectos de la inercia térmica del sistema observándose que durante todo el período de inestabilidad climática prácticamente se mantuvo estabilizada alrededor de los 30,5° C (+ 0,7° C).

El balance térmico realizado en un período de 24 hs. (día 20/09/85), tabla N° 1, muestra una eficiencia de acumulación del 41,4% lo que puede considerarse aceptable, en cambio la eficiencia de colección (26,5%) y la eficiencia global del sistema (10,9%) son bajas.

CONCLUSIONES

Desde el punto de vista de lograr una temperatura de digestión elevada, el sistema respondió satisfactoriamente puesto que con solo 5 días de radiación normal (17/09 al 21/09) la temperatura del sustrato alcanzó los 33° C con una clara tendencia a continuar aumentando. Los posteriores 6 días de tiempo desfavorables solo hicieron descender la temperatura del sustrato a 30° C lo que todavía es una muy buena temperatura de digestión. Una muy buena tendencia ya se evidenciaba en los primeros 6 días de funcionamiento en donde con muy bajas temperaturas mínimas (1° y 2° C bajo cero) y muy bajas radiaciones, la temperatura del sustrato nunca bajó de los 25° C cuando el sistema no había conseguido aún entrar en régimen.

En cuanto a la eficiencia del sistema, es claro que se deben hacer ajustes para mejorarlo; en primer lugar la separación entre la superficie superior del lecho de piedra y la superficie vidriada debe reducirse a menos de 50 mm para reducir la convección interna del aire que es causa de pérdida del calor hacia el exterior.

Una tapa aislante que cubre la superficie vidriada cuando no hay radiación también contribuirá a evitar la pérdida del calor y a su vez, si a la misma se le adosa en su parte interior una lámina por ejemplo de papel de aluminio, se puede usar como pantalla reflectante para aumentar la radiación incidente cuando ésta tenga niveles bajos sobre superficie horizontal especialmente en los meses de invierno.

b) Digestor calefaccionado mediante muro-trombe sin ventilación

El digestor se cargó con 980 litros aproximadamente en el término de 3 días utilizando estiércol vacuno en una proporción del 6% de sólidos totales y luego de 7 días comenzaron las cargas diarias aumentando paulatinamente la proporción de salida hasta alcanzar el 9%. Al final del tercer día de carga la temperatura del sustrato es de 15° C.

La figura 8 (b) muestra la marcha de la temperatura frontal del muro, la temperatura posterior del mismo y la temperatura del sustrato en digestión.

En los primeros 5 días se ve claramente que el

calor ganado por sistema durante su construcción y antes del llenado y tapado, más la ganancia a través de muro-trombe, es utilizado para calentar el sustrato. A partir de ese momento comienza a elevarse el nivel de radiación vertical incidente, hecho que se refleja en una inmediata elevación de la temperatura frontal y posterior del muro, aunque ésta última lo hace como un desplazamiento de alrededor de 20 horas como consecuencia del retardo de la onda térmica que atraviesa el espesor del muro.

La temperatura del sustrato desciende lentamente a partir del sexto día como consecuencia de que parte de su calor lo cede al resto de las paredes del digestor, luego se estabiliza y recién comienza a ganar calor también en forma muy lenta.

El día 19/09 se decide adosar una pantalla reflectora para aumentar la radiación incidente sobre la superficie vertical del muro en un 65% aproximadamente, con lo cual la temperatura del sustrato subió de 21,5° C a 28° C en 4 días, para luego seguir ascendiendo en forma más suave hasta casi 32° C al día 30/09.

La tabla N° 2 muestra el resultado del balance térmico realizado en dos días consecutivos, un día sin pantalla reflectora y el siguiente con el agregado de la pantalla. Se consideró para cada día un período de 24 horas comenzando a las 8 horas y finalizando a las 8 horas del día siguiente. Se observa claramente como el agregado de la pantalla reflectora aumentó en un 66,7% la energía de radiación incidente y a las 8 horas del día 21/09 la mayor parte de la energía ganada por el trombe se había acumulado en éste principalmente en el sustrato, mientras que el resto de las paredes del digestor, incluido el piso y el techo, registran valores inferiores de acumulación debido al retardo de la onda térmica.

En los días siguientes ya se establece un flujo de calor continuo en donde la energía ganada por el sustrato es transferida a las paredes para su rápido calentamiento y a partir del día 23/09 podemos decir que el sistema se encuentra en régimen.

CONCLUSIONES

En líneas generales el digestor muestra un excelente comportamiento. La inercia del sistema constituido por las paredes de piedra y el sustrato en sí, que en la primera mitad del período de evaluación mostró dificultades para elevar la temperatura, en la segunda mitad y ya con el sistema prácticamente en régimen, las notables variaciones en la radiación incidente y las temperaturas medias diarias no incidieron en la temperatura del sustrato. Esto es muy importante por cuanto los grupos bacterianos productores de biogas son muy sensibles a las variaciones bruscas de temperatura.

La pantalla reflectora resultó ser de gran utilidad puesto que permite mejorar el sistema en

sentidos: primero para aumentar la radiación incidente cuando ésta registra bajos niveles y segundo porque adosándole una superficie aislante se puede usar para tapar el muro-trombe durante la noche o en los días nublados con bajas temperaturas para evitar la pérdida de calor hacia el exterior.

Uno de los inconvenientes observados fue que en la parte superior del sustrato en digestión se forma una capa de estiércol que impide el pasaje de gas. Esta capa no es la clásica costra que se forma comúnmente, sino que probablemente se debe a una rápida evaporación del líquido a ese nivel por la elevada temperatura de la cámara de sustrato. El problema se solucionó incorporando un ventilador pero no obstante ello se está estudiando la forma de contrarrestar dicho efecto.

Digestor calefaccionado mediante convección natural

El digestor se cargó de una sola vez con estiércol vacuno en una proporción del 6% de sólidos totales y luego de 7 días comenzaron las cargas sucesivas aumentando paulatinamente la proporción de sólidos hasta alcanzar el 9%.

La temperatura inicial del sustrato en digestión para realizar la primera carga fue de 18° C.

La figura N° 1 (c) muestra las curvas de temperatura promedio de lecho de piedras y la temperatura del sustrato. Los 6 primeros días desde su puesta en funcionamiento aún con condiciones climáticas adversas, el sistema muestra un aumento de temperaturas suaves pero a partir de ese momento, cuando mejora el nivel de radiación, la temperatura del sustrato aumenta rápidamente para estabilizarse alrededor de los 30° C, llegando incluso a alcanzar los 33° C cuando se registran niveles de radiación bajos pero elevada temperatura media diaria.

Hacia el final del período de evaluación hay una leve caída de aproximadamente 2° C en la temperatura del sustrato para luego retornar a sus valores normales.

El balance térmico del sistema (tabla N° 1) muestra una muy buena eficiencia de colección (56,0%) pero la eficiencia de acumulación (19,5%) y la eficiencia global del sistema (10,9%) son muy bajas.

CONCLUSIONES

Desde el punto de vista de conseguir una temperatura de digestión adecuada y prácticamente estabilizada, el sistema respondió favorablemente, incluso comparando las curvas de temperaturas del sustrato con los otros dos sistemas; éste parece ser el de mejor comportamiento.

Desde el punto de vista del comportamiento integral del sistema se deben hacer algunos ajustes. En primer lugar si bien el sistema tiene una

buena ganancia de energía en el balance diario, pierde al final el 80% de la misma. También observamos que el lecho de piedras prácticamente gana el 88% de la energía colectada y al final del balance el mismo pierde el 85,8% de la energía ganada.

Si bien parte de ésta energía la pierde hacia el sustrato, es evidente que la mayor parte a salida del sistema, debido fundamentalmente a un efecto de termocirculación inversa. Este problema se soluciona fácilmente con una simple pantalla de polietileno que evite el retorno del aire caliente hacia la parte frontal del muro colector.

Además se advierte que el sistema está sobredimensionado para el volumen del digestor utilizado, por ello a pesar de la baja eficiencia de acumulación, la temperatura del sustrato fue elevada.

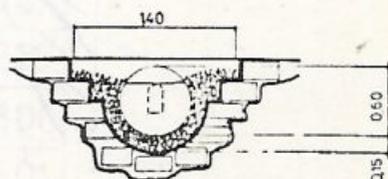
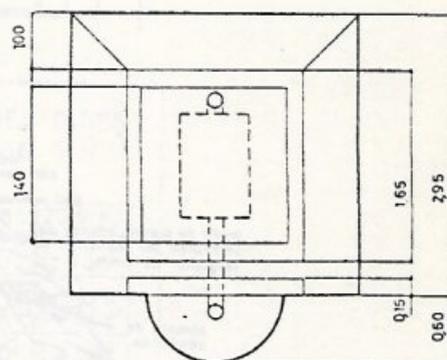
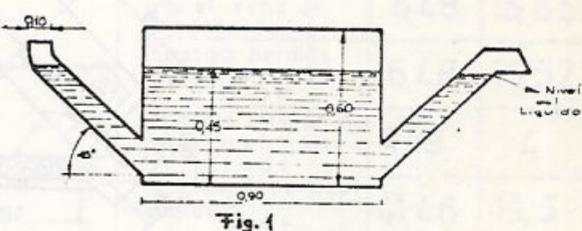


Fig-2

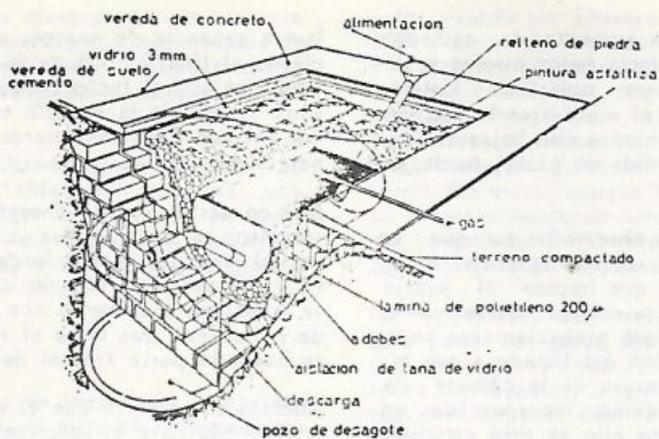


Fig. 3

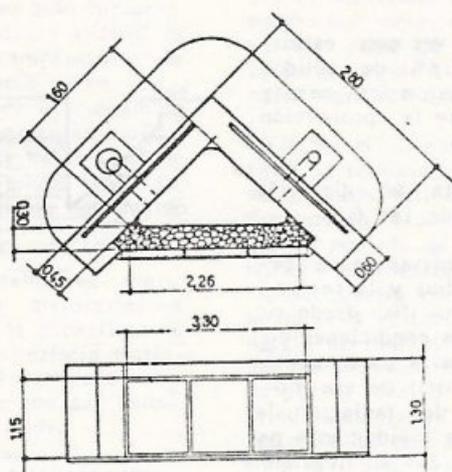


Fig. 4

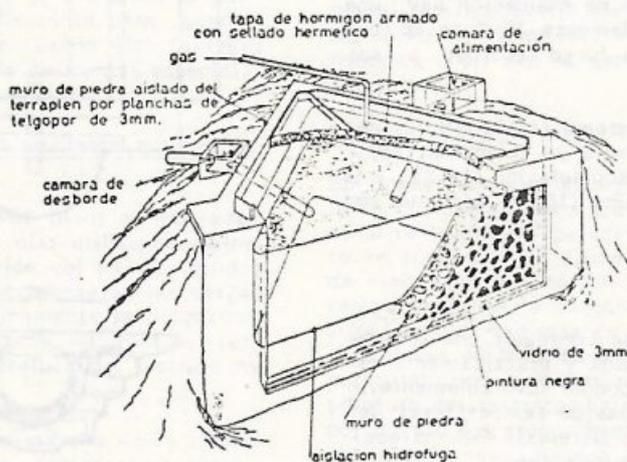


Fig. 5

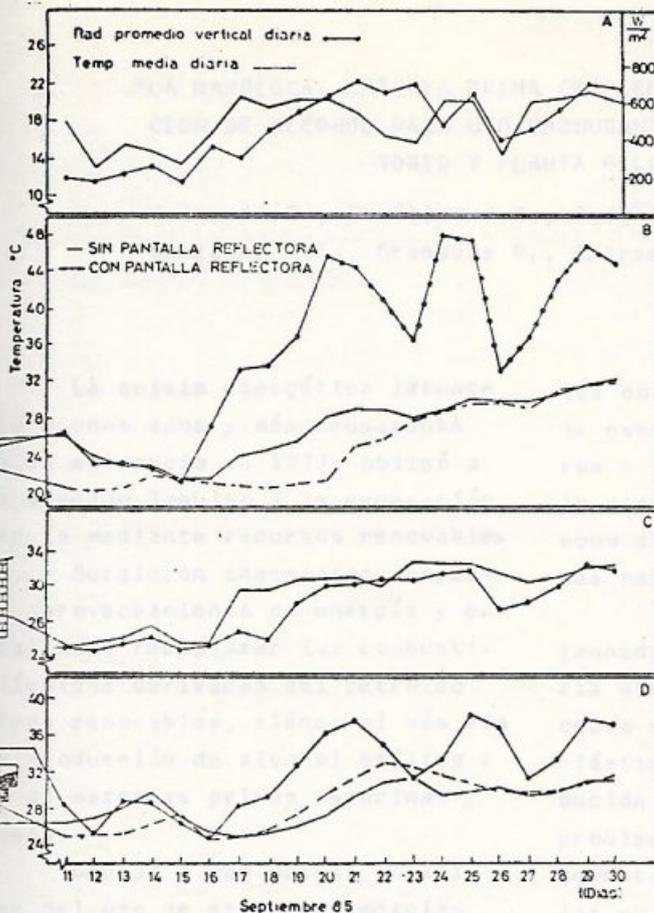


Fig. 6

BALANCE TERMICO DE LOS DIGESTORES

Día 20-9-85	Calef. por radiación directa	Calef. por convec. con natural
Radiación incidente (MJ)	41,74	36,63
Energía ganada por la masa líquida (MJ)	1,30	2,41
Energía ganada por el lecho de piedra (MJ)	9,77	18,11
Energía ganada total (MJ)	11,07	20,52
Eficiencia de colección (%)	26,5	56,01
Energía perdida por la masa líquida (MJ)	—	0,97
Energía perdida por el lecho de piedra (MJ)	6,48	15,55
Energía perdida total (MJ)	6,48	16,52
Energía total acumulada en el sistema (MJ)	4,59	4
Eficiencia de acumulación (%)	41,46	19,5
Eficiencia global del sistema (%)	10,9	10,9

Tabla N° 1

BALANCE TERMICO DEL DIGESTOR CON MURO TROMBE SIN VENTILACIÓN

	19-9-85 sin pantalla	20-9-85 con pantalla
Energía de radiación (MJ)	65,05	106,5
Energía acumulada en la masa líquida (MJ)	4,98	16,87
Energía acumulada en paredes piso y lecho (MJ)	13,8	16,87
Energ. acumulada en el trombe (MJ)	4,72	12,39
Energ. acumulada total (MJ)	23,5	38,00
Eficiencia global (%)	36,12	35,01

Tabla N° 2