

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BIODIGESTOR  
CALEFACCIONADO PARA PARIDERAS PORCINAS\*\*

J.R. Sequi, A. Iriarte\*, E. Nogues y C. Rodriguez

INENCO, Unidad de Investigación Catamarca#

Facultad de Ciencias Agrarias - UNCa.

C.C. 189 - 4700 - Catamarca

RESUMEN

El trabajo muestra el diseño y la técnica constructiva de un bio-digestor experimental de 4m<sup>3</sup> de capacidad destinado a generar biogás a partir de desechos orgánicos provenientes de un establecimiento de producción avícola y porcina. Presenta la característica de ser calefaccionado con energía solar directa mediante un sistema pasivo que incluye un muro de piedra colector tipo trombe-Michel sin ventilación. A los fines de conseguir una temperatura media de trabajo de 32 - 35°C se hace un análisis teórico del comportamiento térmico para los meses más críticos.

Paralelamente se muestran los ensayos realizados en cámara estufa, simulando la temperatura media de trabajo del digestor principal a fin de estudiar el problema de la formación de costra, determinar la calidad metanogénica de los estiércoles y utilizar y lograr las proporciones de carga mas adecuadas para optimizar los rendimientos.

1.- Introducción

Desde el punto de vista energético resulta cada vez más importante encontrar una solución efectiva no solo a las carencias que tienen a menudo los sistemas productivos rurales sino también para reducir los costos de producción, al sustituir total o parcialmente el consumo de electricidad y de otros combustibles tradicionales por la energía que se puede generar a partir de los residuos orgánicos existentes en la misma explotación.

Una alternativa de solución la constituye la utilización de biodigestores anaeróbicos que permitan procesar esos restos para obtener biogás.

En un trabajo anterior (1) se hizo una experiencia con digestores a pequeña escala; calefaccionados con energía solar, a fin de conseguir una temperatura de digestión cercana a los 35°C, considerada esta como la óptima para maximizar la producción de gas. Los resultados satisfactorios que se obtuvieron alentaron a proyectar uno de mayor envergadura, utilizando el sistema de calentamiento mediante muro-trombe sin ventilación con el objeto de ajustar la tecnología a una escala real de trabajo.

A los fines de conjugar más eficientemente el desarrollo tecnológico con la transferencia de dicha tecnología al sector productivo se decidió hacer las experiencias directamente en un establecimiento rural, donde el productor además de colaborar con insumos y mano de obra, sea protagonista directo y pueda medir personalmente las bondades del sistema.

\* Miembro de la carrera de Investigador del CONICET

\*\* Financiado: Secretaría de Energía de la Nación y Gobierno de Catamarca

# Convenio UNCa. - UNSa. - CONICET

Sobre esta base se logra interesar a los directivos de un establecimiento dedicado a la producción de pollos parrilleros, huevos y cerdos, donde la posibilidad de utilizar biogás como combustible para el calentamiento de los locales de maternidad en la cria porcina puede representar un ahorro importante de energía eléctrica, puesto que actualmente el acondicionamiento térmico se consigue mediante lámparas de infrarrojo. Si el resultado de la experiencia es satisfactorio, el establecimiento puede construir digestores de mayor volumen o baterías de digestores, diversificando el uso del gas, en razón de la cantidad de estiércol que se dispone diariamente.

## 2.- Ubicación y características del Establecimiento

La experiencia se está llevando a cabo en la Granja avícola y porcina "El Pomancillo" ubicada en la localidad de "El Desmonte", en el Departamento Fray Mamerto Esquiú a 25 km de la ciudad Capital sobre la Ruta Provincial N° 1.

La actividad principal del Establecimiento se centra en la explotación avícola, tanto para la producción de huevos como de pollos parrilleros. Para tal fin se han distribuido en un predio de 13 Has., 10 galpones de 12 x 60 m que alojan en jaulas 60.000 ponedoras que producen mensualmente 3.150 cajones de huevos de 30 docenas cada uno. Otra cantidad igual de galpones y de las mismas dimensiones sirven para lograr 21.000 pollos parrilleros mensuales con un peso promedio de 2,200 kg cada uno.

La recría para reponer las ponedoras se realiza en el mismo Establecimiento. Los pollos parrilleros son criados desde la etapa de BB peso sin ser incubados en la granja.

En cuanto a la producción porcina se cuenta con 200 cerdas de vientre para la obtención de lechones para consumo. Se producen alrededor de 1.600 lechones por año. Los partos de las cerdas se atienden en un local de maternidad de 12m x 30m especialmente equipado para ello y calefaccionado con lámparas de infrarrojo.

Actualmente gran parte del estiércol producido se vende como fertilizante para fincas frutihortícolas de Mendoza y San Juan. La cama de pollo se vende a los tambos de las adyacencias para ser incorporadas hasta en un 30% a ración de las vacas lecheras.

## 3.- Diseño y técnicas constructivas del Digestor

El digestor, de forma prismática rectangular (Fig. N° 1), tiene una capacidad total de 4,74 m<sup>3</sup>. De este total 0,74 m<sup>3</sup> corresponden a la cámara de gas y el resto, (4,00m<sup>3</sup>) es la capacidad de carga útil. Se construyó totalmente de piedra con paredes de 30 cm de espesor y orientado de manera que una de sus caras mayores mira hacia el norte constituyéndose ésta en el muro-trombe colector. Para la misma se utilizaron piedras convenientemente seleccionadas, tratando de que su cara frontal sea lo más plana posible y su espesor igual al del muro. Para el resto de las paredes se utilizó piedra bola común.

En la parte interna de la cámara, cuyas dimensiones son 3,7m x / 1,60m x 0,80m, se construyeron dos muros de 0,20m de espesor por 0,50m de alto, ubicados en los tercios del ancho, lográndose con esto dar mayor rigidez a las paredes frontal y posterior. El interior fue totalmente revocado y estucado con cemento y cubierto con pintura impermeabilizante para impedir las filtraciones.

Toda la mampostería apoya sobre una platea de hormigón ciclopeo de 0,30m de espesor, la que a su vez descansa sobre una base de suelo cemento compactado de 0,15m. A los fines de la aislación, entre / ambas se intercaló una lámina de 0,05m de espesor de lana de vidrio. La aislación perimetral (con excepción del muro frontal) se consigue recubriendo los muros de piedra con placas de polistileno expandido de 0,05m de espesor, a continuación una cámara de aire del mismo espesor y finalmente una pared de 0,30m de suelo-cemento sobre la que apoya un terraplen.

El cerramiento superior está constituido por una losa de hormigón armado de 0,12m de espesor que se extiende hasta la pared aislante de suelo cemento. Sobre la misma se practicaron cuatro aberturas, tres de ellas de 0,20 x 0,20m para fijar los mezcladores y una de 0,60 x 0,50m que servirá para acceder al interior del digestor.

El gas será evacuado mediante dos caños galvanizados de 3/4 pulgadas uno en cada extremo y un caño de hierro de 3" de diámetro soldado a la tapa de acceso e introducido 0,30m en la masa líquida servirá para extraer muestras y efectuar las mediciones correspondientes.

La cámara de carga de 0,70 x 0,70 x 0,60m se construyó con paredes de suelo cemento de 0,15m revestidas y estucadas interiormente con concreto. Suavemente el digestor, se abría y permitía el ascenso del gas.

Este problema se resolvió adosando en la parte inferior de la malla un pequeño removedor de paletas que "barría" los primeros 3 cm por debajo de ella. Incluso el agregado posterior de un removedor de mayores dimensiones que mezclaba toda la masa en digestión evitó totalmente el problema de la formación de costra.

En un ensayo posterior se agregó 20ml de alcohol amílico para observar si eliminaba la espuma o si afectaba el proceso de digestión.

El alcohol amílico fue previamente ensayado entre distintos tipos de alcoholes y fué uno de los que menos se evaporó en las condiciones de temperatura de los digestores calefaccionados (20ml sometidos durante 30 días a 65°C solamente evaporó 2ml).

La espuma fue eliminada inmediatamente y no volvió a producirse durante los 50 días de ensayo, y el proceso de digestión siguió su curso normal sin sufrir alteraciones. El alcohol amílico, al no mezclarse con el agua, quedó formando una película superficial y por debajo de ella se formó una especie de lodo que se depositó sobre la malla sin constituir en ningún momento un impedimento al pasaje de gas.

Con la intención de profundizar en este estudio se construyó un nuevo digestor experimental de 106 lts. de capacidad efectiva, con paredes de acrílico transparente de 3mm de espesor (Fig. N° 3). En / razón de la experiencia ha iniciado en el Establecimiento "El Pomancillo", se comienzan los ensayos con estiércol porcino, ya que hasta el momento todos los demás se realizaron con estiércol bovino.

Además de estudiar el problema de la costra, se aprovecha al mismo tiempo para ensayar las relaciones de carga más adecuadas a fin de determinar la relación que mejor rinde en cuanto a producción de gas.

El digestor de 60 lts. se mantiene con la malla mosquitera. En / el de 106 lts. se elimina la malla, actuando solamente los mezcladores. En ambos digestores se agrega Amisol a razón de 20 ml para el primero y 40 ml para el segundo.

En la actualidad ambos digestores se encuentran en ensayo después de 17 días desde su puesta en marcha. Hasta el momento ninguno de los dos tubo problemas de costra ni de formación de espuma, lo que hace suponer que para este tipo de materia orgánica, la malla no sería necesaria.

Ambos digestores trabajan a una temperatura de 34°C ± 1°C. El de 60 litros se carga con una relación de 4 gs. de sólidos volátiles por litro (sv/L), lo que significa que diariamente se introducen 240 gs. de sv. Este valor corresponde, salvo ligeras variaciones a 1,00 kg de estiércol fresco.

La cámara de descarga, de 0,30 x 0,30 x 0,30m presenta las mismas características constructivas de la anterior. Ambas cámaras se comunican con el interior del digestor a través de sendos caños de fibrocemento de 0,10m de diámetro.

El muro de piedra frontal que constituye el trombe colector, pintado de negro mate, con una superficie vidriada con 0,05 cm de luz entre ambos. La misma está constituida por una estructura de hierro

T dividida en paños de 0,80m que se fija a un marco de madera perimetral amurado a las paredes laterales de suelo-cemento, a la base de hormigón ciclopeo y al voladizo de la losa del techo. El vidrio utilizado es del tipo doble común de 3 mm de espesor.

#### 4.- Ensayos previos de Laboratorio

Uno de los principales inconvenientes que se presentó en las experiencias con biodigestores calefaccionados fué la formación de una costra seca y compacta, que se generaba con gran velocidad, y que impedía el pasaje del gas. Para poder utilizar esta tecnología se hizo necesario resolver el problema antes de su implementación a mayor escala. Para ello se utilizó un digestor experimental de laboratorio, de 60 lts. de capacidad (Fig. N° 2) con dos de sus caras laterales / de vidrio común de 3 mm de espesor y las restantes de fibra de vidrio de 2 mm. Esto permitía observar lo que pasaba en su interior respecto de la formación de la costra. El ensayo se realizó en una cámara estufa a una temperatura de 34°C, simulando las condiciones de trabajo del digestor con muro-trombe.

Durante el ensayo se pudo observar que en una primera etapa, se producía la espuma característica en este tipo de digestión pero luego, a medida que se elevaba la temperatura de la cámara de gas, se producía una rápida evaporación en la superficie de la mezcla. Esta situación provocaba un resecamiento de la materia orgánica a este nivel con un entramado entre las partículas finas y gruesas que impedía el pasaje de gas aproximadamente en un 78%.

Se decidió entonces un nuevo ensayo introduciendo una malla de plástico fina tipo mosquitero, ubicada 5 cm por debajo del nivel máximo superior. De esta forma la mayor parte de los residuos sólidos quedarían retenidos en la misma, sin posibilidad de secarse.

El ensayo duró 52 días y durante el mismo se comprobó que a nivel más superficial solo se formaba espuma con restos orgánicos muy finos que no causaban inconvenientes al pasaje de gas. En cambio en la parte inferior de la malla, se acumuló la parte más gruesa de la materia orgánica la cual, al no tener un mezclador, fue formando una trama que retenía incluso las partículas finas, estableciéndose a medida que avanzaba el ensayo, una capa que impedía el libre pasaje de gas. Esta capa en ningún momento se endureció, e incluso, moviendo.

Como el tiempo de retención se ha fijado en 20 días, los 1,00 kg se diluyen con agua hasta alcanzar los 3 litros diarios de carga.

El de 106 litros en cambio se carga con una relación de 6 gs. de sv/L por lo que 636 gs. de sv son introducidos diariamente en el digestor. Esta cantidad de sv los tenemos aproximadamente en 2,5 kg de estiércol fresco. Para el mismo tiempo de retención anterior, esta / cantidad se diluye en agua hasta alcanzar los 5,3 litros diarios de carga.

Los análisis de laboratorio sobre 10 muestras de estiércol porcin fresco, tomadas en un periodo de 20 días, se muestran en la tabla N° 1.

Los valores de pH registrados para ambos digestores en distintos periodos de tiempo se detallan a continuación:

Días	Digestor 60 lts.	Digestor 106 lts.
	pH	pH
10	7.4	7.8
20	7.6	8.2
30	7.7	8
40	7.7	7.8

La fig. N° 4 muestra los volúmenes de gas producido por gr. de / SV/día en diferentes periodos del ensayo. Los volúmenes de gas fueron corregidos a C.N.P.T.

#### B. Balance térmico del Digestor

A los fines de comprobar si el diseño tiene un comportamiento térmico óptimo que le permita alcanzar una temperatura entre 32°C - 38°C durante los meses críticos, se efectuó un balance teórico para el mes de junio, donde los valores de radiación y temperatura ambiente son los más bajos del año.

El nivel estable de temperatura se obtendrá cuando:

Cantidad de calor perdido total = Cantidad de calor ganado total

$$Q_{pt} = Q_{gt}$$

$$(Q_1 + Q_p + Q_t) 86.400.10^6 + Q_r = R_{td} \cdot A_c \cdot n \quad (1)$$

Donde:

Q<sub>1</sub>= pérdida lateral

Q<sub>p</sub>= pérdida por piso

Q<sub>t</sub>= pérdida por techo

Q<sub>r</sub>= pérdida por carga de material al digestor

R<sub>td</sub>= Radiación total diaria sobre la superficie vertical

A<sub>c</sub>= Área de Colección

n= rendimiento del trombe

Si suponemos que las diferencias de temperaturas son todas iguales sustituyendo en (1) se tiene:

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_t} \cdot 86.000.10^6 + Gr \cdot C_{pr} \cdot T = R_{td} \cdot A_c \cdot n$$

$$n = \frac{(1/R_1 + 1/R_p + 1/R_t)86.400.10^6 + Gr \cdot C_{pr} \cdot T}{R_{td} \cdot A_c} \quad (2)$$

Calculando las resistencias en función del espesor y del área se obtiene:

R<sub>1</sub> = 0.492 °C/W

R<sub>p</sub> = 0.90 °C/W

R<sub>t</sub> = 0,80 °C/W

La radiación total media diaria para superficie vertical en el mes de junio es de: R<sub>td</sub> = 19 M joule/día.

Considerando un área de colección A<sub>c</sub> = 5,96 m<sup>2</sup> y un T = 22°C y reemplazando en (2) se obtiene un rendimiento del trombe de n = 20, 33%.

De acuerdo con las experiencias realizadas con este tipo de trombe en la calefacción de un digestor, se obtuvo un rendimiento del 33% lo que significa que para nuestro caso particular se cerraría el balance térmico.

#### B. Conclusiones

Desde el punto de vista constructivo, la simplicidad de la tecnología y el conocimiento de la mano de obra local respecto del uso de la piedra y de la preparación del suelo arcilloso para elaborar ladrillos de suelo-cemento hizo que el digestor se construyera rápidamente y sin complicación alguna. La selección de las piedras para el muro colector fué lo que llevó más tiempo, aun cuando en la zona hay abundancia de piedras bola que sirvieron para las paredes laterales. La necesidad de que las mismas tuvieran una cara plana y ser de un tamaño tal que ocupe el mayor volumen posible dentro del muro, hizo que muchas de ellas debieran ser cortadas a mano para su ubicación.

En el futuro se deberá estudiar el reemplazante de la estructura vidriada por otra transparente de menor fragilidad y menor peso. Se está haciendo un ensayo actualmente con fibra de vidrio de 2 mm de / espesor pero disminuye entre 4 y 5°C la temperatura del digestor con respecto al vidrio por lo que se debe buscar otras alternativas.

Respecto del problema de formación de costra, los ensayos de laboratorio fueron muy satisfactorios usando un alcohol especial, aun cuando se eliminó la malla de retención, razón por la cual se decidió poner solo mezcladores y evaluar el proceso.

La curva de producción de gas en función de la relación de carga muestra claramente que una relación de 4 gr. de SV/1 es la más adecuada en cuanto a rendimiento. Una mayor relación eleva considerablemente el pH (por el alto % de nitrógeno del estiércol porcino) que inhibe el normal desarrollo de la flora metanogénica.

#### Agradecimientos

Se agradece la valiosa colaboración del Prof. Jorge Alberto Sosa Hernández y de la Lic. Graciela Beatriz Díaz, responsables del laboratorio de Química y Bromatología de la Facultad de Ciencias de la Salud de la UNCa, quienes realizaron los análisis químicos de las muestras que se especifican en la tabla N° 1.

#### Referencias

(1) J. Sequi, A. Iriarte, et al. "Sistemas Pasivos para Calentamiento de Digestores - Diseño y Ensayos Preliminares". Presentado para su publicación en Actas X Reunión de ASADES - Neuquen 1985.-

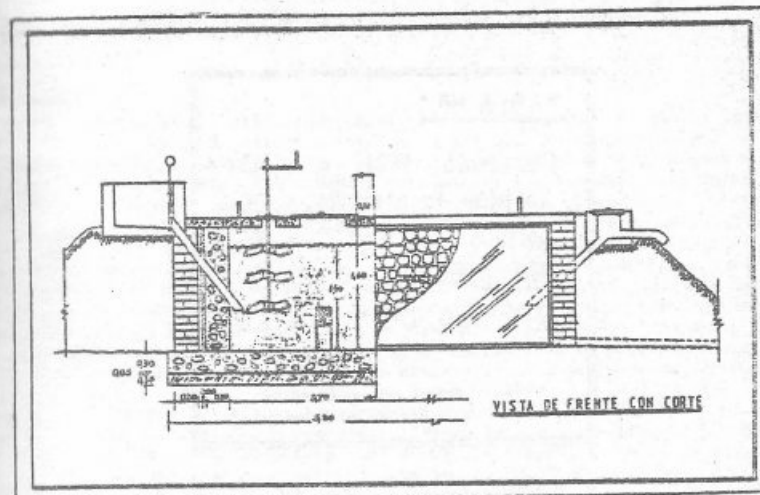


FIG. 1

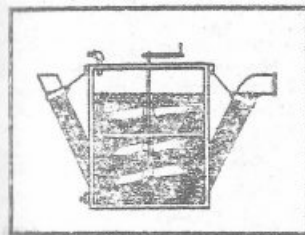


FIG. 2

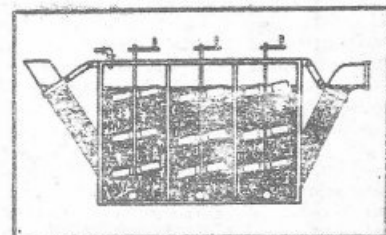


FIG. 3



**TABLA N° 1**

Humedad (%) = 70  
Sólidos totales (%) = 30  
Sólidos volátiles (%) = 65  
Nitrógeno total (%) = 4  
Relación C:N = 6.8

NOTA: Valores promedios sobre  
10 muestras analizadas

