

# DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA OBTENER GAS METANO Y FERTILIZANTES A PARTIR DE LA FERMENTACIÓN DE EXCREMENTOS DE VACAS LECHERAS EN LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA.

C.Filippín\* J. Follari<sup>∞</sup> y J. Vigil  
C.C.302, (6300) Santa Rosa, La Pampa  
Tel-Fax: 02954-434222 E-mail: [cvigli@ssdnet.com.ar](mailto:cvigli@ssdnet.com.ar)

## RESUMEN

Fueron condicionantes del diseño, la inversión a realizar, la energía que se desea obtener, la biomasa disponible, el tamaño del digestor, profundidad de la napa, el uso del efluente, la temperatura media del lugar donde se instalará. En esta primera experiencia se optó por usar sólo el estiércol de uno de los ordeños diarios para un sistema de carga continuo en un digestor tipo hindú. Un volumen de 42m<sup>3</sup> queda definido por una envolvente vertical constituida por una pared doble. Una carpeta de cemento alisado de 0,05 m de espesor protegerá la serpentina de cobre interior, en forma de espiral, que se usará para calentar el digestor. Un sistema de acero inoxidable, accionado por un motor, y en forma de estrella con cadenas cada 50 cm en cada aspa, permitiría el mezclado del estiércol. Una cámara de descarga, dividida en dos sectores permitirá recoger el lodo residual ubicado en la parte inferior y el líquido. La campana, de 3 metros de altura, reforzada con costillas interiores permitira contener el gas. El costo total del digestor, en la región en estudio, asciende a \$31699,5.

## INTRODUCCION

Proyecciones del uso de la energía global se basan en escenarios que son contruidos alrededor de suposiciones acerca de cuán lejos la economía se expandirá, cuán rápido crecerá la población mundial, el grado de avance tecnológico, medidas de conservación, la adopción de tecnologías energéticamente eficientes, la disponibilidad relativa y precio de los combustibles fósiles. Estos escenarios sugieren que en el año 2010, los combustibles fósiles probablemente absorberán las ¾ de la energía comercial del mundo y el uso de energías renovables jugará un pequeño rol, pero en ascenso, en los próximos 30 años. Las energías renovables tales como la eólica, la solar en sus diferentes formas, contribuyen con una cifra inferior al 2% en la provisión global de la energía. Un estudio de la WEC (World Energy Council) proyecta, si las actuales políticas continúan, que las energías renovables contribuirán con un 4% a la provisión global de la energía para el año 2020 ( The World Resources Institute , 1996). Dentro de ellas la *BIOMASA* es un recurso renovable cuya utilización presenta características singulares y beneficios notables. Se trata de una fuente prácticamente inagotable, producida cíclica y continuamente por el reino vegetal y animal y el sistema urbano e industrial, y existe por lo menos en alguna de sus formas en todos los espacios geográficos. El uso de la biomasa aporta beneficios que no son sólo energéticos, su transformación se convierte en beneficiosa y necesaria para el entorno. Es un sistema idóneo de eliminación de residuos, con la subsiguiente mejora del ambiente rural, urbano e industrial. Puede ser además, un modo de equilibrar determinados excedentes agrícolas. En el sector rural, la principal forma de contaminación es el estiércol, que genera malos olores y polución con nitratos al agua de consumo. La opción del uso del estiércol permite responder a una demanda de la sociedad, las actividades agrícola-ganaderas deben ser más respetuosas del medio ambiente, y en particular deben promover la reducción de posibles fuentes de contaminación. En este contexto el presente trabajo presenta el diseño de un biodigestor para producir gas metano y fertilizantes a partir de los excrementos de vacas lecheras del tambo de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa.

Un tambo está constituido básicamente por tres áreas con características particulares cada una de ellas: la sala de ordeño y la de leche, y el corral de espera. Dentro de la instalación, el esquema de circulación del agua cumple un rol muy importante dependiendo su diseño del tipo de equipo de ordeño y de la forma de lavado. Se requieren alrededor de 2 a 3 lts de agua/litro de leche ordeñada, destinando 800 a 1000 lts al lavado del corral. La provisión de agua caliente para el lavado de las ubres insume alrededor de 150 lts. Las heces y el agua de lavado de las instalaciones constituyen un subproducto normal en las explotaciones lecheras, difícil de manejar dado su gran volumen y elevado peso. La cantidad de deyecciones en una instalación de ordeño depende básicamente de la tranquilidad de la hacienda y su densidad en el corral de espera. Para la evacuación de los residuos puede usarse agua como vehículo, o puede ser recogida con pala ancha. Los residuos son normalmente evacuados por gravedad a una zona baja (Lesser, 1979). La instalación del tambo que sirve de base al presente proyecto, no se aleja de las especificaciones generales planteadas. En cuanto a la disponibilidad de la biomasa, el tambo de ordeño, concentra 100 vacas aproximadamente, y está emplazado en el campo de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa, a 10km al norte de la ciudad de Santa Rosa. El conjunto de edificios que alberga las actividades de docencia e investigación, y la infraestructura de apoyo a las actividades de experimentación y extensión, no posee red de distribución de gas natural. Se emplea para la calefacción y producción de agua caliente gas envasado y/o gasoil.

---

\* Investigadora de CONICET

<sup>∞</sup> Laboratorio de Energía Solar, Universidad Nacional de San Luis

## DISEÑO DEL DIGESTOR

### Especificaciones técnicas generales

La localización del biodigestor está próxima al lugar donde se junta el desperdicio, y cerca de los puntos de consumo del gas. Se ubica protegido de los vientos dominantes, con una separación de 10 a 15mts de los pozos de agua, y cerca a los puntos de consumo del efluente y de las aguas sobrenadantes. Fueron condicionantes del diseño, la inversión a realizar, la energía que se desea obtener, la biomasa disponible, el tamaño del digestor, profundidad de la napa, la simplicidad en el manejo, el uso del efluente, y la temperatura media del lugar. Según las condicionantes mencionadas, la inversión inicial primó sobre la disponibilidad de biomasa y producción de gas en el dimensionamiento del digestor. En esta primera experiencia se optó por usar sólo el estiércol de uno de los ordeñes diarios para un sistema de carga continuo en un digestor tipo hindú. Asumiendo que el valor depende del tipo de alimentación, se estima una producción promedio de 48 kg de estiércol por vaca/día de los cuales el 20% se deposita en los corrales de espera. Para el presente dimensionamiento se toma el 50% del estiércol que correspondería a un solo ordeño. La disponibilidad de materia orgánica se estima en 96 kg por ordeño y por día, valor que corresponde a un 20% del peso del estiércol concentrado en el corral. La proporción estiércol-agua adoptada para el proceso es de 1:1,5, que corresponde a una concentración entre 6 y 10% de sólidos volátiles, valor que se lograría empleando el agua residual proveniente del lavado de las ubres y del lavado de los corrales. Según los informes obtenidos se emplearían, después de cada ordeño 800 lts de agua y 150 lts de agua caliente para el lavado de ubres. El volumen del digestor se calcula en función de:

$$V = ((CR (1+D)) / Yd) t_F$$

Donde C es la capacidad deseada de la planta de gas, R es la relación estiércol húmedo/estiércol seco, D es el peso de agua añadida a cada unidad de peso de estiércol,  $t_F$  es el tiempo de fermentación en días, Y es el gas producido por unidad de peso de estiércol seco, d es la densidad de la mezcla estiércol-agua (Prasad et al., 1974). Se adopta un volumen de 42m<sup>3</sup> (30m<sup>3</sup> más un 40%), para una capacidad de 48m<sup>3</sup>, 20 días de permanencia y 1145 kg/m<sup>3</sup> de densidad. La dilución 1:1.5 adoptada correspondería a una concentración de TSV (total de sólidos volátiles) entre 6.50 y 8%. La velocidad de carga es de alrededor 3 kg TSV/m<sup>3</sup>. La relación producción de gas, volumen del digestor indicaría una temperatura de trabajo de alrededor de 35 °C para 20 días de retención.

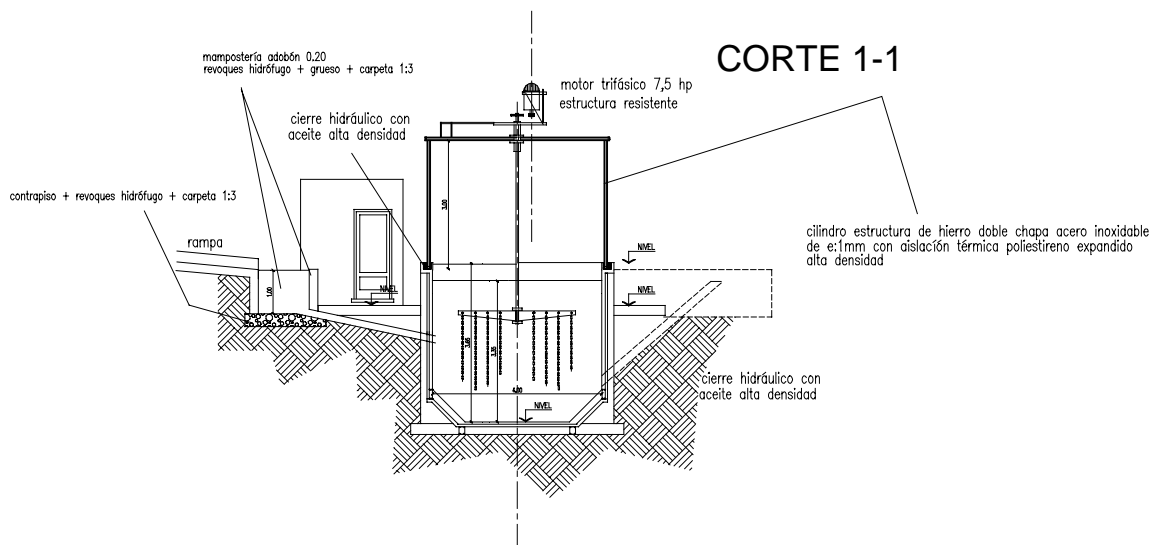
### Especificaciones técnicas particulares

Una rampa con una pendiente del 3% permitirá la descarga del efluente desde el corral a la cámara de mezcla, donde el material debe ser perfectamente mezclado y homogeneizado antes de entrar al digestor. La cámara tendrá una capacidad de 1,2 m<sup>3</sup> (1/30 a 1/40 del volumen del digestor, según especificaciones generales), cuyas paredes serán construidas en mampostería de ladrillón mendocino revocada de ambos lados con material hidrófugo. Un contrapiso de hormigón pobre con una carpeta de cemento alisado y una tapa plástica de lana de vidrio móvil para permitir el control diario de la mezcla, completa el cierre de la cámara. Un caño de asbesto cemento de 160mm de diámetro permitirá el ingreso de la mezcla al digestor. La base del digestor se preve a 2,80m de profundidad. Un volumen de 42m<sup>3</sup> queda definido por una envolvente vertical constituida por una pared doble, integrada por: un muro de ladrillo común de 0,15m de espesor con dos manos cruzadas de emulsión asfáltica, poliestireno expandido de 0,05m de espesor y una pared de hormigón armado, según detalle. La dimensión de la base, también de hormigón armado, se ajustará en función de los sondeos y de la tensión de suelo resultante. Una carpeta de cemento alisado de 0,05 m de espesor protegerá la serpentina de cobre interior, en forma de espiral, que se usará para climatizar el digestor. Un sistema de acero inoxidable, accionado por un motor, y en forma de estrella con cadenas cada 50 cm en cada aspa, permitirá el mezclado del estiércol. Una cámara de descarga, dividida en dos sectores, permitirá recoger, por un lado el residuo, y por otro el líquido sobrenadante. La cámara de descarga será construida con ladrillón mendocino perfectamente impermeabilizada con revoque hidrófugo. Cada sector tendrá sus salidas independientes, con destino final al invernadero. La campana, de 3 metros de altura, reforzada con costillas interiores, está integrada por dos chapas de acero inoxidable de 1mm de espesor, y aislación de poliestireno expandido de 0,05m de espesor, de alta densidad, y envuelve un volumen de casi 40m<sup>3</sup>. Para la red de distribución de gas, que parte desde la campana, se deben tomar ciertas medidas. El biogas dentro de sus componentes tiene vapor de agua que se condensa en las cañerías y debe ser eliminado para evitar taponamientos y pérdidas de presión. La pendiente, por tal motivo, será de 1:100, hacia un punto de mínimo nivel donde se instalará una trampa de agua o sistema de drenaje. Las cañerías serán galvanizadas, protegidas con pintura. Se deberá tener la precaución de no enterrar las cañerías que conducen el biogas hacia el sitio de su utilización para evitar la condensación. En la salida del digestor se usará un tramo de cañería reforzada flexible, para permitir las operaciones de la campana. Los accesorios corresponden a los usados normalmente en una instalación de gas, y el sistema estará provisto con grifos de cierre y de prueba. El costo total del digestor, en la región en estudio, asciende a \$31699,5.

### Cálculo de la energía de calefacción del digestor

Para calefaccionar el digestor, y en función de diversas experiencias de climatización de espacios, se analizaron varias alternativas. Se analiza la posibilidad de usar las paredes del digestor como muros captadores, tipo 'Muro Trombe', pintadas de negro, protegidas por una lámina de policarbonato alveolar de 6-8 mm con una cámara de aire de 3-4 cm, cerrado en la parte superior. Intercambiadores de calor rodeados de policarbonato, experimentados en el medio, permitieron medir en invierno, con temperaturas medias de salida de 22,2°C y temperatura media del tanque de 16,85 °C, eficiencias del 26%. Si se requiere una temperatura interna de 35°C, con una temperatura externa media del aire de 8°C, se cuadruplica la diferencia de temperatura con el exterior, por lo tanto las pérdidas superan las ganancias, en consecuencia la alternativa quedaría descartada. Se evalúa como segunda alternativa, el uso de la campana como superficie colectora. Realizados los cálculos térmicos, y su evaluación económica, la alternativa se descarta ya que el costo del sistema asciende a \$3000. Se

analiza entonces, el uso de colectores solares. Para alcanzar los 35°C, el requerimiento energético implicaría el uso de 11 colectores solares de 2,50m<sup>2</sup>. Adoptando un costo por unidad de \$550, la alternativa se considera económicamente no viable. Por último, se analiza el uso del propio gas metano con algún intercambiador de agua dentro de la envolvente del digestor, del tipo de una losa radiante, con circulación forzada a través de una pequeña bomba. Las primeras estimaciones económicas del sistema, lo convierten en una alternativa viable para calentar el digestor. Para estimar el consumo de energía, se supone una temperatura de la tierra de 17, 18 y 19 °C, en invierno, otoño-primavera y verano, respectivamente. Para la temperatura del aire se consideran, 8°C en invierno, 16°C en otoño-primavera, y 24°C en verano. Se adoptan para el cálculo, 0.67 y 0.80 W/°Cm<sup>2</sup> de conductancia térmica en muros dobles y campana. Entonces Q1 (energía diaria perdida) será, en función del área de cada elemento y para el período invernal, de 133.6 MJ. Se estima en 11,5 MJ/día la energía necesaria para calentar diariamente el agua del intercambiador (Q2). En función de Q1 y Q2, y según las estimaciones realizadas, para alcanzar los 35°C se requieren 145,15 MJ/día. Considerando que el poder calorífico de 1m<sup>3</sup> de metano es 23 MJ, y suponiendo una eficiencia entre el quemador y el intercambiador de 0,40, la demanda de gas para la estación invernal es de 15,6 m<sup>3</sup>. Para otoño-primavera y verano se estima un consumo de 4,5 y 3,2m<sup>3</sup>, respectivamente. Se adopta para el caso en estudio, una serpentina de cobre ubicada en el fondo del digestor. Su predimensionamiento indica, para una temperatura de trabajo de 60°C, un caño de ¾" de 16m de desarrollo.

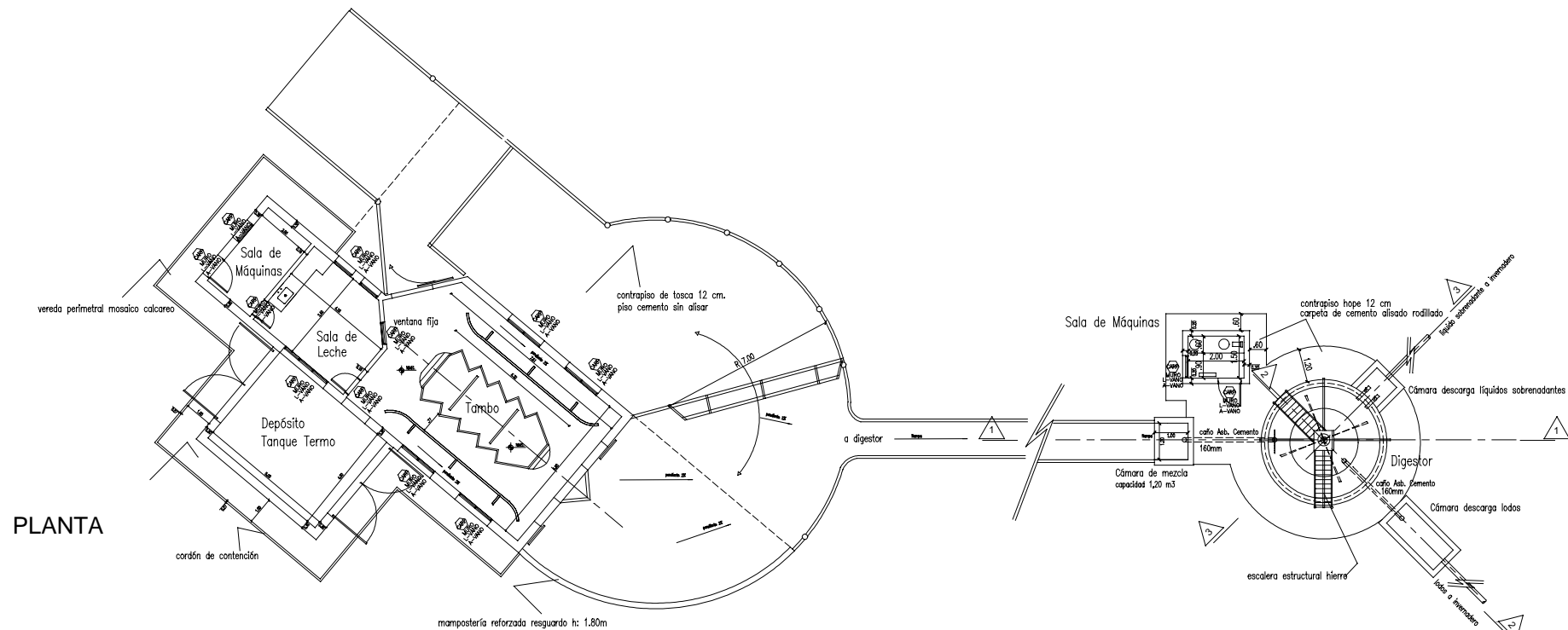


### Producción de gas

La producción de gas es el mejor indicador para impedir el mal funcionamiento del proceso. En la digestión de excrementos animales la producción de gas, debe ser como promedio, de unos 0.53 m<sup>3</sup>/kg de TSV, añadidos al digestor cuando está en funcionamiento a 35°C. Asumiendo que hay una variabilidad estacional en la producción de gas, en función del tipo de alimentación, y en función de los valores mencionados, se estima una producción de gas de 50m<sup>3</sup>, para las condiciones de predimensionamiento establecidas. El gas metano producido, aproximadamente 35m<sup>3</sup>, serán empleados para satisfacer los requerimientos del cuidador del campo, (3m<sup>3</sup>), y del propietario del campo donde actualmente van los residuos (3m<sup>3</sup>). Se contemplan, para invierno, primavera-otoño y verano, 15,6, 4,5 y 3,2 m<sup>3</sup>, para calentar el digestor. 5,5 m<sup>3</sup> de gas metano serán empleados para el calentamiento de agua para higienizar las ubres. La diferencia de producción de gas será empleada para disminuir el consumo de gas envasado en el secadero de girasol.

### Control y automatización del proceso de digestión

El problema más acentuado para la aceptación de los sistemas que utilizan energías renovables, es la resistencia al cambio que produce en la rutina habitual, o la nueva responsabilidad que genera. Esto sucede cuando el sistema requiere de la atención de los usuarios. Serios problemas se generaron con muchos biodigestores a causa del mantenimiento que ellos requieren, además del rechazo que provoca la manipulación de los residuos. El problema de mantenimiento de los biodigestores se centra principalmente en que se está interactuando con seres vivos, y para que continúen en esta condición hay que proveerle de condiciones ambientales que permitan el desempeño de su función, la generación de biogas. Se propone el diseño de un sistema de control electrónico de las condiciones ambientales, que permitirá reducir la atención de los usuarios. Las principales variables que influyen en el funcionamiento son: temperatura, concentración de sólidos volátiles, velocidad de carga, velocidad de salida, pH, formación de espuma, sustancias tóxicas, grado de mezcla, cantidad y calidad del gas producido, control de los sistemas auxiliares. Todas las variables serán medidas electrónicamente, la temperatura, el grado de mezcla a través de un sensor de efecto Hall, que acusa la falta de movimiento, y la cantidad de gas producido a través de 7 sensores de efecto Hall. Se incluye una fotoresistencia, que chequea la permanencia de fuego en el termotanque, y un sensor de temperatura en el termotanque para mantener una temperatura promedio de 65°C. El sistema de control adoptado es del tipo PLC, como control inteligente permanente.



PLANTA

## REFERENCIAS

- Filipín, C., Rapallini, A. y Casagrande, G., 1988. Análisis de las Restricciones Ambientales y Socio-económicas para el Desarrollo de Proyectos Solares en la Provincia de La Pampa, In Actas de la XIII Reunión de Trabajo de ASADES, Asociación Argentina de Energía Solar, VolII, 123-132.
- INTA, Provincia de La Pampa, Universidad Nacional de La Pampa, 1980. Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa.
- Lesser, A., Otaño, M. Y Cabona, O., 1979. Instalaciones y equipos de ordeño. Editorial Hemisferio Sur. p. 318.
- Prasad CR, Krishna Prasad K, Reddy AKN. Biogás plants: prospects, problems and tasks. Economic and Political Weekly Special number august 1974, 1347-1364.
- Taiganides, E.P., 1980. BIOGÁS, recuperación de energía de los excrementos animales, Zootecnia, N°35, pp.2-12.
- The World Resources Institute, The United Nations Environment Programme, The United Nations Development Programme, The World Bank, 1996. World Resources, 1996/1997. Oxford University Press.