

BALANCE ENERGÉTICO DE UN SISTEMA COMBINADO BIOGÁS - EÓLICO DE PEQUEÑA POTENCIA. ETAPA DE DISEÑO.

M. B. Menna¹, J. B. Branda², G. J. Murcia³, E. Garin⁴.

Grupo de Estudio de Energías Alternativas y Ambiente (GEEAA)

Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMDP) – Facultad de Ingeniería

Av Juan B. Justo N° 4302 (B7608FDQ) Mar del Plata – Argentina - Tel. 54-223-4816600 – Fax 54-223-4810046

RESUMEN: El presente trabajo analiza la creación de una unidad de generación de energía a partir de la combinación de dos fuentes de energía alternativas: el biogás y la energía eólica, con el objetivo de abastecer la demanda de una vivienda unifamiliar en relación a su consumo de gas a partir de un residuo en particular. Dado que es conocido la dependencia que tiene la generación de biogás con la temperatura, y dada las condiciones climáticas de la zona de Mar del Plata, es que se determina en qué medida el aporte de la generación eólica crea las condiciones térmicas necesarias para aumentar la producción de metano. De los resultados obtenidos en laboratorio se puede concluir que esta combinación produce una acción sinérgica, que puede hacer factible la construcción y operación de este tipo de unidades energéticas, imponiéndose la necesidad de la construcción de un prototipo para validar los resultados obtenidos.

Palabras clave: biogás, digestión anaeróbica, energía renovable, energía eólica, residuo.

INTRODUCCIÓN

La conjunción de factores económicos y ambientales plantea la necesidad de analizar alternativas tecnológicas para satisfacer los requerimientos energéticos de la vida moderna. Las alternativas disponibles hasta hoy, o las que puedan aparecer en un futuro, deben ser capaces de asegurar un suministro oportuno y de calidad a un costo razonable, además de un ahorro y uso eficiente de los recursos naturales disponibles.

En este sentido, el Grupo de Estudio de Energías Alternativas y Ambiente (GEEAA) de la Universidad Nacional de Mar del Plata, trabaja en un proyecto de investigación con la intención de lograr el desarrollo de sistemas eficientes de generación de energía utilizando recursos renovables disponibles en la región. En esta etapa, sus investigaciones se centran en dos de las energías alternativas factibles de ser aprovechadas en la zona de Mar del Plata: la energía eólica, mediante la caracterización del recurso viento (Menna et al. 2005), y el biogás, mediante la estimación del potencial de generación de metano en el predio de disposición final de residuos sólidos domiciliarios de la ciudad (Menna et al. 2007).

Los trabajos mencionados fueron realizados pensando en la instalación de equipos de algunos cientos de kilovatios de potencia, sin embargo, también se ha trabajado para escalas mucho más pequeñas (Menna et al. 2007). En este sentido, el Grupo ha detectado interesados en la aplicación práctica de ambas energías renovables. A pequeña escala por ejemplo, el uso de generadores eólicos para abastecer de energía eléctrica a pequeñas viviendas aisladas de la red de distribución es bien conocido y ampliamente difundido, existiendo en la zona de Mar del Plata múltiples emplazamientos exitosos de este tipo. Por otro lado, también se dispone de antecedentes en biodigestión para tratamiento de residuos orgánicos, como así también con fines exclusivamente energéticos, sin embargo, estos últimos no resultaron ser tan exitosos como los emprendimientos eólicos y fueron abandonados al poco tiempo del inicio de operación.

Se considera que uno de los motivos que llevaron al fracaso de los biodigestores construidos es la baja generación de biogás por acción de la baja temperatura ambiente de la zona, mientras que el uso de energía externa para calefacción de biodigestores es una técnica ampliamente aplicada.

El objetivo de este trabajo es evaluar, desde un punto de vista energético, la conveniencia de vincular dos fuentes de energías alternativas (eólica y biogás) para aumentar la temperatura del interior de un biodigestor, a fin de alcanzar para un residuo en particular, y para la zona de Mar del Plata, un nivel de generación de metano determinado. Este trabajo pretende establecer en que medida la acción combinada de dos fuentes energéticas produce una acción sinérgica que haga factible la utilización de digestores para generar biogás en la zona, a fin de evitar nuevos fracasos en la operación de los mismos.

¹ Grupo Investigación GEEAA-UNMDP. E-mail: mamenna@fi.mdp.edu.ar.

² Grupo Investigación GEEAA-UNMDP. E-mail: jbranda@fi.mdp.edu.ar.

³ Grupo Investigación GEEAA-UNMDP. E-mail: gjmurcia@fi.mdp.edu.ar.

⁴ Grupo Investigación GEEAA-UNMDP. E-mail: garin@copetel.com.ar.

Para evaluar la conveniencia de tal combinación, se analiza la creación de una unidad capaz de abastecer en parte, las necesidades energéticas de una vivienda unifamiliar en relación a su consumo de gas. En una primera etapa se estudia la utilización de estiércol de equino, ya que se ha recibido interés del medio local que posee este tipo de animales y utilizan gas envasado. Al disponer de cantidad abundante de estos residuos orgánicos, potencialmente aprovechables para este fin, se pretende determinar en qué medida es factible utilizarlos para reemplazar un consumo de combustible de origen fósil, cuáles serían los volúmenes a utilizar y cuál sería el balance energético de tal iniciativa.

MATERIALES Y METODOS

Para evaluar el potencial de generación de metano, a partir de estiércol equino provenientes de un establecimiento de la ciudad de Mar del Plata y evaluar la factibilidad de su aprovechamiento energético, se analizó en escala laboratorio, el rendimiento de una muestra compuesta por una mezcla de 1/3 de estiércol y 2/3 de agua (en peso), a dos temperaturas de trabajo: temperatura ambiente y 35°C. A partir de esta relación de sustrato sólido-líquido se obtiene una mezcla fluida que podría ser bombeada o trasvasada y que potencialmente brinda una alta producción de biogas.

Se evaluaron biodigestores y equipos de acumulación de biogás que permitieran generar y almacenar volúmenes mayores a 200 cm³ por día, ya que el porcentaje de metano en el biogás generado se midió con el dispositivo Orsat, el cual necesita al menos 100 cm³ para llenar su bureta medidora y otros al menos 100 cm³ para desalojar aire o gases de mediciones anteriores, que pudieran quedar en el mismo equipo o en sus conductos y accesorios. Al no contar con información que permitiera dimensionar los biodigestores para cumplir con tal requisito de generación autoimpuesto, se decidió sobredimensionarlos empleando recipientes de 3000 cm³ construidos para tal fin.

Se diseñaron biodigestores que minimizaran las pérdidas de biogás, ya que lo que se quiere determinar es el rendimiento de la mezcla usada como sustrato. Se construyeron biodigestores con frascos de vidrio, que se cargaron, taparon y se colocaron "boca abajo". De esta forma, el gas generado dispone de una única salida a través de un pequeño caño de acero inoxidable, conectado al equipo de medición de volumen, asegurando la estanqueidad del conjunto. Además, se colocó un llavín para la extracción de muestras. El modelo de digestor empleado se muestra en la Figura 1 a).

Se cargaron dos digestores tipo batch con el mismo sustrato en la proporción mencionada. Un digestor fue expuesto a 35 ± 0,5 °C y el otro a temperatura ambiente. Para esto, se construyó una cuba impermeable de capacidad acorde, con un control automático de temperatura, una resistencia calefactora y un agitador para su distribución uniforme. La cuba empleada y su tablero de control se muestran en la Figura 1 b).



a) Modelo de digestor empleado



b) Modelo de cuba con agitador, tablero de control de temperatura, y equipo de acumulación de

Figura 1: Modelo de digestor y cuba empleada

A la salida de cada digestor se colocó un recipiente de almacenamiento de biogás, compuesto por dos frascos de 3000 cm³ de capacidad, colocados a diferentes alturas (Ver Figura 2). El recipiente acumulador de biogás propiamente dicho es un frasco de vidrio colocado en forma invertida para evitar cualquier fuga. Este recipiente fue llenado con agua acidulada con ácido clorhídrico al 3%, para evitar la disolución del CO₂ presente en el biogás acumulado.

El principio de funcionamiento es por desplazamiento de agua, cuando el biogás ingresa por el tubo de vidrio (estando el llavín de entrada de la Figura 2 abierto y el de salida cerrado) desplaza una cantidad de agua hacia el depósito superior, quedando allí atrapado. Con este sistema se logra mantener a presión atmosférica cada biodigestor en operación y medir el volumen de biogás generado al desplazar el agua acidulada, todo esto sin contacto con el oxígeno del aire. Para retirar el biogás del acumulador, se cierra el llavín de entrada y se abre el llavín de salida, la presión producida por el desnivel generado impulsa el biogás a salir hacia el dispositivo Orsat donde se mide el contenido de CO₂, y en forma indirecta CH₄ presente en el biogás.

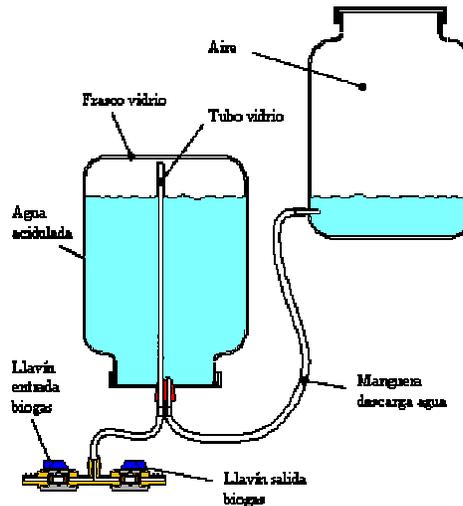


Figura 2: Esquema del sistema acumulador de biogás con nivelación de líquidos

Se operó el sistema durante 22 días, de forma de obtener la tasa de generación para la mezcla de sustrato analizada, bajo las dos temperaturas. Una vez determinada esta tasa de generación para este residuo en particular, bajo una temperatura en particular, se realiza un balance energético estimando mediante información bibliográfica y mediciones en campo las pérdidas de energía posibles en un digestor sometido a las condiciones ambientales locales.

RESULTADOS OBTENIDOS

Producción de biogás de una mezcla estiércol equino – agua:

El digestor sometido a temperatura ambiente tuvo una producción de biogás prácticamente nula durante los 22 días. Si bien se registró una disminución de pH durante los primeros días, llegándose a registrar valores de 6,4, se decidió no realizar correcciones y monitorear su evolución, ya que se considera que difícilmente se realicen en una aplicación real.

El digestor cargado con la misma mezcla que en el caso anterior pero sometido a 35°C ± 0,5 °C tuvo un desempeño muy superior, lo que muestra el beneficioso efecto de la temperatura. En la Figura 3 a) se muestra la generación acumulada de biogás y en la Figura 3 b) su generación diaria. No fue necesaria ninguna corrección de pH para alcanzar la generación mostrada.

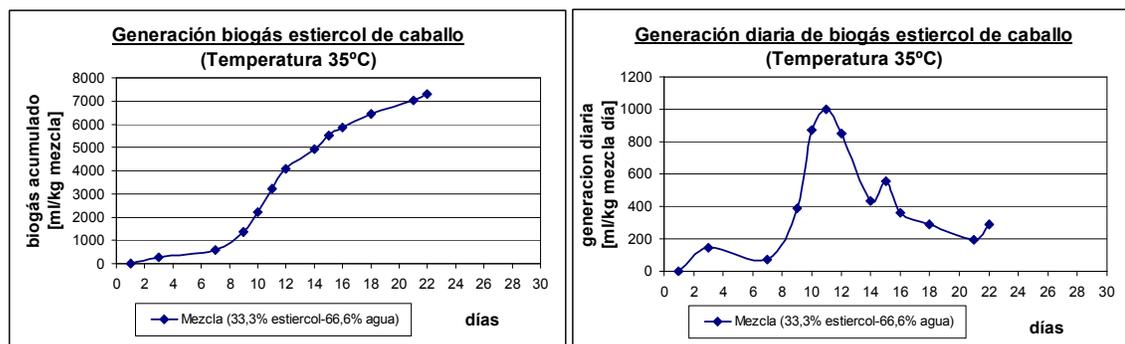


Figura 3: Generación acumulada de biogás del estiércol de equino y producción diaria a 35°C.

El digestor sometido a 35°C (cuya capacidad es 3000 ml como se mencionó) se cargó con 2 kg de mezcla estiércol-agua (esto es aproximadamente el 66% de su volumen). En esta condición, su generación fue de 14610 ml acumulados en 22 días (es decir 7305 ml.kg⁻¹ de mezcla) como se muestra en la Figura 3 a). La generación diaria de biogás alcanzó un pico de 1995 ml (es decir 997 ml.kg⁻¹ mezcla) como se muestra en la Figura 3 b).

El volumen medido de dióxido de carbono en el biogás generado se muestra en la Figura 4. A partir del día 9 inclusive, el biogás generado pudo ser utilizado para encender un pequeño mechero, lo que manifiesta su característica combustible. Desde ese día hasta finalizada la experiencia, el contenido de CO₂ es en promedio de 33 %.

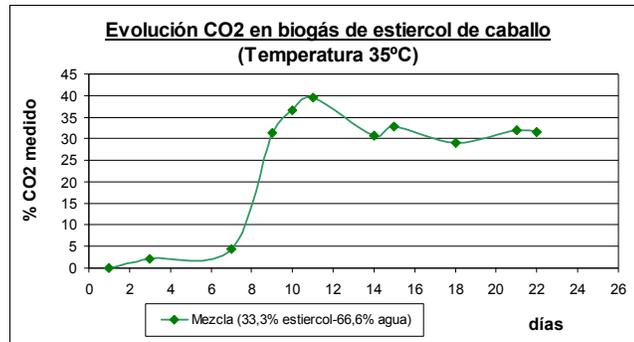


Figura 4: Niveles de dióxido de carbono medidos en el biogás producido

En base a los datos obtenidos, al descontar de la generación acumulada la producción de los primeros 8 días por ser no combustibles, nos queda una generación de 6728 ml de biogás combustible/kg de mezcla, que corresponde a un promedio de 305 ml de biogás combustible/kg de mezcla día.

En base a esta experiencia de laboratorio, si consideramos el volumen de digestor y el volumen de mezcla utilizada, podemos inferir que un digestor lleno inicialmente al 66% de su volumen, con una mezcla de 1/3 de estiércol equino y 2/3 de agua, sometido a 35°C, que genera biogás combustible por aproximadamente 300 ml / kg mezcla, produciría un volumen de biogás utilizable equivalente al 20% del volumen de su digestor / día, con 67 % de metano.

Condiciones ambientales en la zona de la ciudad de Mar del Plata.

El Servicio Meteorológico Nacional publica los valores de temperatura media mensual, máxima media mensual y mínima media mensual para la ciudad de Mar del Plata en el período 1960-1991. (Ver Figura 5 a). Puede observarse que la temperatura media está muy por debajo de los 35°C usada en la experiencia de laboratorio.

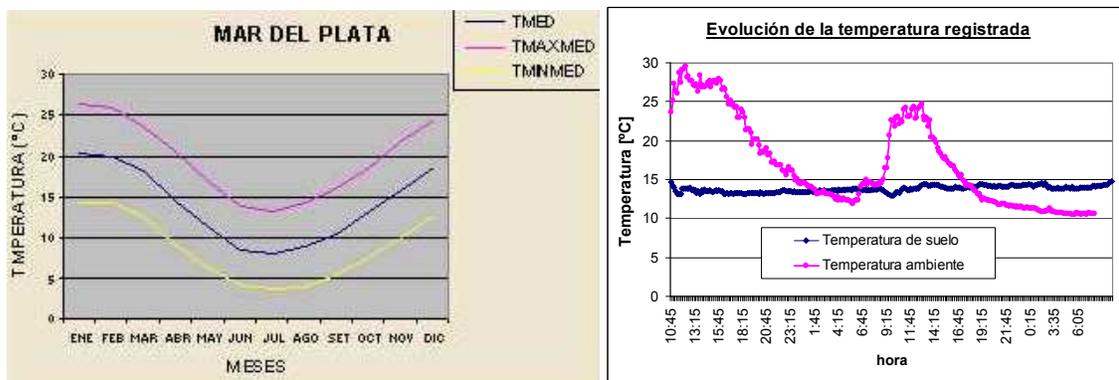


Figura 5: a) Temperaturas medias en Mar del Plata (Fuente: www.smn.gov.ar), y b) Temperaturas medidas en suelo y ambiente.

Es común tener en Mar del Plata amplitudes térmicas significativas. Entre otros factores, la presencia del océano, le confiere esta particularidad, ya que al sudeste de la ciudad, a una distancia variable a lo largo del año, se encuentra la corriente fría de Malvinas. Es por eso que el viento del sur y del sudeste en cualquier época del año, incluso en verano, puede hacer de Mar del Plata la ciudad con más baja temperatura del país en una tarde que incluso puede presentarse soleada.

Estas importantes variaciones térmicas, con noches frías pueden producir un efecto perjudicial sobre la actividad biológica que genera el metano, situación que quedó demostrada con el digestor sometido a temperatura ambiente cuya generación

resultado nula a los fines prácticos. Por este motivo, se evaluó como conveniente plantear la instalación de un digestor calefaccionado por debajo del nivel del suelo, a fin de obtener una menor variación térmica.

A los fines de determinar un orden de magnitud de la temperatura de suelo en la ciudad de Mar del Plata, se la midió a una profundidad de 50 cm, en período invernal, utilizando un tester datalogger con salida a PC configurado para registrar valores cada 5 minutos. Si bien la experiencia se realizó por corto tiempo. (Ver Figura 5 b), la tendencia muestra la poca variación que se presenta en comparación con la temperatura ambiente medida simultáneamente, registrándose temperaturas de suelo aproximadas a los 14°C.

Volumen de biodigestor para abastecer el consumo de gas de una vivienda unifamiliar

El consumo de gas de una vivienda unifamiliar es variable dependiendo del nivel de confort buscado. Por esta razón, y solo a los fines de este estudio, se adoptó una generación de 2 m³ de gas/día, que considera cocinar y disponer de agua caliente para higiene personal.

Como se necesitará utilizar parte del biogás generado para autocalentamiento del biodigestor, se incrementó la cantidad a generar a 3,5 m³ de gas/día. En base a esto, y teniendo en cuenta los resultados de la experiencia en laboratorio para residuo equino a 35°C (20 litros de biogás diario cada 100 lts digestor), el volumen de la cámara de biodigestión deberá ser:

$$3,5 \frac{\text{m}^3 \text{ gas}}{\text{día}} \cdot \frac{100}{20} \cong 17 \text{ m}^3 \tag{1}$$

En la Tabla 1 se resume los resultados de laboratorio escalados a un emprendimiento real:

Volumen interno del biodigestor	17,00	m ³
Volumen de mezcla de estiércol en agua (66%)	11,22	m ³
Tiempo de retención	22	días
Temperatura de funcionamiento	35	°C
Tasa de recambio de estiércol (para reemplazar en 22 días 11,22 m ³)	178	kg.día ⁻¹
Cantidad de agua a incorporar (para reemplazar en 22 días 11,22 m ³)	356	litros.día ⁻¹
Producción estimada de biogás diaria	3,50	m ³ .día ⁻¹
Poder calorífico estimado del biogás (67% CH ₄)	7,00	kWh.m ⁻³

Tabla 1: Resultados de laboratorio escalados a un emprendimiento real

Perdidas de energía en un biodigestor enterrado.

Un volumen de cámara de digestión de 17 m³ podría conseguirse mediante un recipiente cilíndrico de 2,7 m de diámetro interior y 3 m de altura interior por debajo del nivel de suelo. La Figura 7 muestra un esquema que permite estimar la cantidad de energía que debería utilizarse para mantener a 35°C su interior, estando el exterior (el terreno) a 14°C. Se considera su construcción en hormigón armado de 10 cm de espesor, con una capa exterior de espuma de poliestireno de 10 cm de espesor también, recubierta de pintura asfáltica para lograr un mayor aislamiento térmico.

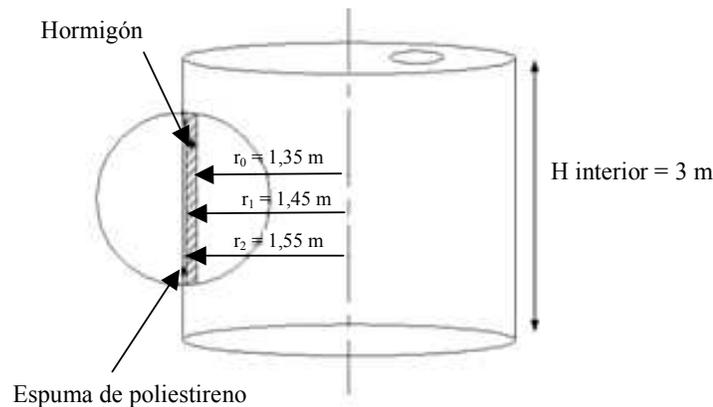


Figura 7: Esquema con dimensiones del biodigestor utilizado para los cálculos de transferencia de calor

La Figura 7 representa un caso práctico en donde la transferencia de calor se realiza a través de un medio compuesto por varias capas paralelas de diferente conductividad térmica (Necati Ozisik, 1977). Así podemos estimar la tasa total de transferencia de calor Q a través de la estructura compuesta, desde la temperatura Ta a la temperatura Tb como:

$$Q [W] = Q_{PISO} + Q_{LATERAL} + Q_{TECHO} \quad (2)$$

Donde:

$$Q_{PISO} = Q_{TECHO} = \frac{A_{techo} (T_a - T_b)}{\frac{espesor_{hormigon}}{k_{hormigon}} + \frac{espesor_{poliestirao}}{k_{poliestirao}}} \quad (3)$$

$$Q_{LATERAL} = \frac{A_{lateral} (T_a - T_b)}{\frac{r_2}{k_{hormigon}} \ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right) + \frac{r_2}{k_{poliestirao}} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad (4)$$

Siendo:

T_a = Temperatura interior [°C] (35°C para nuestro caso)

T_b = Temperatura exterior [°C] (14°C para nuestro caso)

$k_{hormigon}$ = Conductividad térmica del hormigón armado [W/ m°C] (0,817 W//m°C para nuestro caso)

$k_{poliestireno}$ = Conductividad térmica del poliestireno [W/ m°C] (0,0373 W//m°C para nuestro caso, correspondiente a una densidad de 25 kg/m³).

r_0, r_1, r_2 = Radios del digestor (ver Figura 7)

Área techo = Superficie superior del digestor [m²] (5,72 m² para nuestro caso).

Área lateral = Superficie lateral del digestor [m²] (28,26 m² para nuestro caso).

En las ecuaciones (3) y (4) se consideró despreciable la resistencia térmica del líquido en el interior del digestor, de allí que las ecuaciones solo consideran las resistencias térmicas de los materiales estructurales y/o aislantes por ser las dominantes en este caso.

En la Tabla 2 se muestra el resultado de la aplicación de las ecuaciones (2), (3) y (4):

Volumen digestor	17 m ³
Producción estimada diaria	3,4 m ³ .día ⁻¹
Energía producida estimada diaria	23,80 kWh.día ⁻¹
Transferencia de calor a piso (Q_{PISO})	42,86 W
Transferencia de calor a techo (Q_{TECHO})	42,86 W
Transferencia de calor lateral ($Q_{LATERAL}$)	204,15 W
Transferencia de calor al medio (Q)	289,89 W
Energía transferida al medio (Q x tiempo)	6,94 kWh.día ⁻¹

Tabla 2: Pérdidas de energía obtenidas de los cálculos mediante las ecuaciones (2), (3) y (4)

Gasto energético para calentar la tasa diaria de estiércol a incorporar.

De acuerdo con los valores de la Tabla 1, la tasa de carga diaria de estiércol es de 178 kg y la cantidad diaria de agua a incorporar es de 356 litros. Como la cantidad de materia que ingresa al digestor es igual a la que sale, se podría realizar una recirculación del efluente para diluir los 178 kg de estiércol fresco, lo que permitiría por un lado disminuir el consumo de agua y además aprovechar su nivel térmico.

La energía necesaria para calentar los 178 Kg de estiércol fresco que se incorporan diariamente, es:

$$178 \frac{kg}{día} \cdot 20^\circ C \cdot \frac{1 cal}{gr \cdot ^\circ C} \cdot \frac{1000 gr}{kg} \cong 3560 \frac{kcal}{día} = 4,12 kWh.día^{-1} \quad (5)$$

Si consideramos que el poder calorífico del biogás es de 7,00 kWh.m⁻³, entonces se necesitarían 0,59 m³/día del biogás producido para este fin de autocalentamiento. Sin embargo, considerando a los fines de un cálculo rápido que la eficiencia del equipo para calentar ese estiércol es del 50%, entonces esta tarea demanda unos 1,17 m³/día del biogás producido (el 35% de lo producido).

Incorporación de la energía eólica:

Para mantener el digestor en funcionamiento continuo a 35°C deberá aportarse diariamente 6,94 kWh.día⁻¹, que compensan las pérdidas de calor más los 4,12 kWh.día⁻¹ para calentar el residuo ingresante, que pueden aportarse con parte del biogás generado (aprox. 1,17 m³.día⁻¹) como se mencionó en el punto anterior. Sin embargo, para compensar las pérdidas de calor hacia el suelo puede utilizarse un equipo de generación eólica con una resistencia calefactora ubicada en el interior del biodigestor.

Registros propios indican que la velocidad media de viento en Mar del Plata es 4,5 m/s en zona urbana (Menna et al. 2005). Por lo tanto, si bien la selección de un generador eólico para obtener la cantidad de energía solicitada merece una consideración especial, a los fines de este trabajo se evalúa la utilización de un equipo Skystream 3.7, de 1,9 Kw. En la Figura 8 se muestra su curva de generación de potencia útil extraída del catálogo del fabricante, en la cual, ya están consideradas los rendimientos de todo el sistema de generación (rectificador, inversor, rendimientos mecánicos, etc).

De acuerdo a las características mostradas en la Figura 8, para una velocidad media de viento de 4,61 m/s, la energía generada es de unos 225 Kwh/mes.

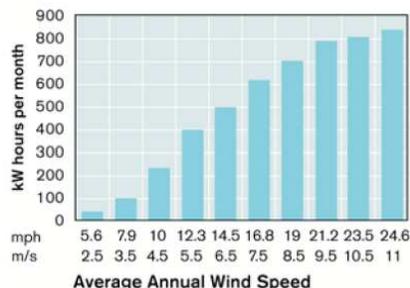


Figura 8: Curva de potencia aerogenerador de 1,9 Kw. Modelo: Skystream 3.7: Fabricante: Southwest Windpower

Realizando la conversión de unidades se tiene:

$$225 \frac{kWh}{mes} = 7,5 \frac{kWh}{día} > 6,94 \frac{kWh}{día} \quad (6)$$

Por lo tanto, un aerogenerador de este tipo sería capaz de cumplir la función encomendada.

En la Tabla 3 se presenta el balance energético que resulta favorable a los fines de este estudio.

Producción diaria de biogás	3,40 m ³ .día ⁻¹
Consumo diario de biogás para precalentar el residuo a ingresar	1,17 m ³ .día ⁻¹
Saldo de biogás utilizable para uso domiciliario	2,23 m ³ .día ⁻¹ (3,40 – 1,17) m ³ .día ⁻¹
Energía química utilizable del biogás para uso domiciliario	15,55 kWh.día ⁻¹ (por combustión de 2,23 m ³ .día ⁻¹)
Energía eólica invertida	6,94 kWh.día ⁻¹

Tabla 3: Balance energético del sistema biogás eólico analizado.

CONCLUSIONES

En la Tabla 3, se observa que se invierten 6,94 kWh.día⁻¹ de origen eólico para compensar las pérdidas hacia el suelo y crear las condiciones térmicas necesarias para generar 3,40 m³.día⁻¹ de biogás, de los cuales 1,17 m³.día⁻¹ se consumen en precalentar el residuo ingresante, un 35% de biogás producido, quedando disponible para el consumo hogareño 2,23 m³.día⁻¹ (15,55 kWh.día⁻¹), esto da un balance a favorable de 8,61 kWh.día⁻¹, un 124 % más que lo invertido de origen eólico. Se concluye que la combinación de ambas energías alternativas produce una acción sinérgica. Se impone la necesidad de construir un prototipo para contrastar estas conclusiones.

REFERENCIAS

- Menna M., Murcia G., Branda J., Garín E., Belliski G. (2005) Caracterización del Recurso Eólico en Mar del Plata – Argentina. VI Congreso Latinoamericano de Generación y Transporte de la Energía Eléctrica (CLAGTEE 2005). Mar del Plata. Argentina. ISBN: 85-903471-2-5.
- Menna M., Murcia G., Branda J., Garín E., Belliski G., E. Moschione.(2007) Aplicación de un Modelo Cinético de Primer Orden para la Estimación de las Emisiones de Metano en la Disposición Final de Residuos Sólidos de Mar del Plata – Argentina – con Fines Energéticos. VII Congreso Latinoamericano de Generación y Transporte de la Energía Eléctrica (CLAGTEE 2007).Viña de Mar, Chile. ISBN 978-85-61065-00-3.
- M. Menna, G. Murcia, J. Branda, G. Belliski, E. Garin, E. Moschione. (2007) .Metodología de Bajo Costo para la Cuantificación de Biogás en Biodigestores de Laboratorio. Avances en energías renovables y medio ambiente, ISSN 0329-5184.
- Necati Ozisik. (1977). Transferencia de Calor. Universidad del Estado de Carolina del Norte. U.S.A. McGraw-Hill. pp 50-55. ISBN. 0-07-047980-1.

ABSTRACT

This paper analyzes the creation of a power generation unit from a combination of two alternative energy sources: biogas and wind energy, with the aim of supplying the demand of a single family home in relation to its gas consumption from one waste in particular. As is known the dependence of biogas generation with temperature, and given the weather conditions in the area of Mar del Plata, it is determined to what extent the contribution of wind generation creates the needed thermal conditions to increase methane production. From the results obtained in the laboratory we can conclude that this combination produces a synergistic action, which may make feasible the construction and operation of this type of energy units, imposing the need to build a prototype to validate the obtained results.

Keywords: biogas, anaerobic digestion, renewable energy, wind power, solid waste