

USO DE AGITADOR EÓLICO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN BIODIGESTORES DE CÚPULA FIJA

MSc. José Venancio Sánchez Rodríguez¹, MSc. Zoe Alés López¹, MSc. Marlén Chil Martínez¹

1. *Universidad de Matanzas, Matanzas, Cuba.* venancio.sanchez@umcc.cu

Resumen

El presente trabajo consiste en una propuesta para mejorar la eficiencia del proceso de digestión anaeróbica en los biodigestores de cúpula fija con el empleo de un aerogenerador eólico de eje vertical, modelo Savonius. Mediante el empleo de este aditamento se mejora la cinética del proceso al acelerar las reacciones bioquímicas que permiten la transformación de la biomasa residual en biogás y bioabonos para mejorar los suelos y aumentar la producción de biogas para su uso alternativo como fuente de energía, disminuyendo el uso de combustibles fósiles y la contaminación ambiental de las aguas subterráneas y superficiales y de la atmósfera.

Palabras claves: Aerogenerador, digestión anaeróbica, cinética.

Introducción

La humanidad actualmente, debido a su acelerado crecimiento, se enfrenta a desafíos como la escasez de alimentos, la sequía, la desertificación, la pérdida de la fertilidad de los suelos, el incremento del efecto invernadero, el aumento del diámetro del agujero de la capa de ozono y el agotamiento de las reservas naturales económicamente explotables.

Estos problemas demandan imperiosamente la conservación de los ecosistemas naturales por lo que se hace preciso mantener un uso sostenible de los mismos. Para ello es necesario que este uso se corresponda con las verdaderas necesidades humanas de las presentes generaciones, como condición indispensable para salvaguardar la satisfacción de las futuras (López C. et. al, 2002).

Las fuentes renovables de energía como la energía eólica y la biomasa, entre otras; así como sus tecnologías y aplicaciones, ofrecen un mayor desarrollo técnico-comercial que disminuyen los consumos de electricidad, gas y otros portadores energéticos con la menor afectación posible al medio ambiente y menores consumos de energía. Con este amplio diapasón, no hay dudas de que la meta del 100% del suministro de energía con energías renovables es un sueño alcanzable.

Cuba no está exenta a estas problemáticas por lo que, desde hace varios años, ha puesto en práctica una serie de medidas en aras de disminuir los efectos nocivos sobre la atmosfera de la actividad y el desarrollo tecnológico del ser humano, lo cual se ve reflejado en la política económica y social del país. Entre estas medidas se encuentra el uso de la biomasa como fuente de energía renovable, con la finalidad de disminuir el empleo de otras fuentes de energía no renovables y el impacto negativo al medio ambiente.

El presente trabajo consiste en la propuesta del uso de un aerogenerador modelo Savonius para la construcción de un agitador mecánico que mejore la cinética de la digestión anaeróbica en un biodigestor de cúpula fija, mejorando la eficiencia de este, con lo que se logra una mayor transformación de la biomasa y un aumento en la producción de biogás y la transformación de la biomasa contaminante.

Objetivo del Trabajo

Utilizar un aerogenerador eficiente como agitador para mejorar el funcionamiento de un biodigestor de cúpula fija.

Materiales y métodos empleados

Como materiales fundamentales en la realización de este trabajo se utilizaron los referentes a la construcción del biodigestor, consistentes en materiales de construcción de uso común y para el caso del aerogenerador se empleó chapa de acero de 3 mm de espesor, tubería de acero galvanizado de diferentes diámetros y elementos de sujeción de diferentes medidas en

dependencia de las necesidades específicas de cada elemento constructivo. Como métodos fundamentales se emplearon los procedimientos para el diseño de un biodigestor y los cálculos relacionados con la eficiencia del aerogenerador, así como los relacionados con el diseño del biodigestor propuesto.

Desarrollo

Biogás su obtención y aplicación

Según Hernández C. (2005), una planta de biogás consiste en un biodigestor y una campana almacenadora de gas. El digestor es el depósito donde se introduce el material orgánico a fermentar, y la campana de gas o domo es la encargada de recoger el gas en la medida en la que es producido. Esta campana generalmente se coloca encima del digestor y en otros casos la campana puede estar separada del digestor llamándose entonces gasómetro.

Un biodigestor es un reactor, dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar en determinada dilución con agua, para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos.

Los biodigestores se clasifican según:

- ❖ La capacidad de la planta (Lugones B. 2003):
 1. Planta industrial de biogás (biodigestores de segunda o tercera generación).
 2. Planta de pequeña capacidad (biodigestores de primera generación).

- ❖ Atendiendo al flujo de operación (Borja R. 2011):
 1. Biodigestores de flujo discontinuo: son aquellos en que la carga del material a fermentar se hace al inicio del proceso y la descarga del efluente se hace al finalizar el proceso.
 2. Biodigestores de flujo continuo: estos se cargan y descargan de forma periódica, el material de fermentación debe ser fluido y uniforme.

- ❖ Desde el punto de vista evolutivo (Pérez J. L. et al., 2000):
 1. Biodigestores de primera generación.
 2. Biodigestores de segunda y tercera generación.
 3. Biodigestores de primera generación:
 - Biodigestor de campana flotante.
 - Biodigestor de cúpula fija.
 - Biodigestor tubular de polietileno.
 - Biodigestor de cubierta flexible.

❖ Biodigestor de campana flotante.



Figura 1. Biodigestor de campana flotante. (Sánchez J. V. y González A. , 2011)

En la Figura 1 se ilustra un biodigestor campana flotante, que consiste en un tanque de almacenamiento cilíndrico, cuyas paredes pueden ser construidas de piedra, ladrillos u hormigón, provisto de una campana móvil que sube al incrementar la presión del gas, a cual puede ser metálica, de hormigón, hierro, cemento o plástico. Estos reactores poseen además tuberías para la alimentación del substrato, descarga de los efluentes residuales y para la extracción del biogás, las cuales pueden ser de plástico, fibrocemento, cerámica, entre otros materiales (ACPA, 2012).

❖ Biodigestor de cúpula fija.



Figura 2. Biodigestor de cúpula fija. (Sánchez J. V. y González A. , 2011)

En la Figura 2 muestra un biodigestor de cúpula fija, que se emplea para el almacenamiento de biogás una cúpula fija localizada sobre el tanque de almacenamiento de la biomasa y que funciona como el biorreactor, que puede ser de materiales pre-fabricados de hormigón o ladrillo (ACPA, 2012). Estos biodigestores tienen un elevado tiempo de vida útil, en comparación con el biodigestor de campana flotante, mientras tienen la desventaja de presentar un elevado costo de construcción (Cepero L. et al., 2012).

En los biodigestores de campana flotante y de cúpula fija, la biomasa se encuentra sedimentada y existe un mínimo contacto con el substrato, de lo que se deriva una relación unitaria entre el tiempo de retención celular y el tiempo de retención hidráulica

(TRC/TRH=1). Estas condiciones de operación propician que la producción de biogás por m^3 de biodigestor, no sobrepase el $1,5 \text{ m}^3$, lo que demuestra la baja eficiencia en la remoción de la materia orgánica. Estos tipos de biodigestores se emplean para el tratamiento de residuos sólidos y la estabilización de lodos (Sánchez J. V. y González A. , 2011).

En la actualidad a los modelos de biodigestores de cúpula fija les realizaron modificaciones. En la Figura 3 se muestra una de ellas, y es la construcción del tanque de compensación sobre el área que ocupa la cúpula. Esta reestructuración propició ventajas como: la disminución de los costos iniciales, pues se economiza materiales de construcción, puesto que ocupa menor área y, por tanto menor volumen de excavación por lo que minimiza, además, el tiempo de ejecución y la localización del tanque de compensación encima de la cúpula favorece su impermeabilización (Sánchez J. V. et al., 2011; citado por ACPA, 2012).



Figura 3. Biodigestor de cúpula fija con laguna de compensación sobre o biodigestor.
(Sánchez J. V. et al., 2011)

Otra modificación realizada en los biodigestores de cúpula fija es la que consiste en la utilización de un agitador mecánico, esto incrementa el contacto de las bacterias con la materia orgánica y, por tanto el aumento de la velocidad de las reacciones y la producción de biogás. El agitador tiene además la función de romper la costra que se forma en el interior del biodigestor y que dificulta en muchas ocasiones la salida del biogás a la cúpula. (Sánchez J. V. y González A., 2011). Esta modificación cambia la cinética del proceso de digestión anaeróbica.

Cinética química. Sistema de agitación en biodigestores

Una reacción química cuyo ritmo de transformación sea lento, se haría impracticable desde el punto de vista de su interés industrial, por lo que sería ventajoso poder cambiar las condiciones de operación de modo que fuera posible acelerarla.

Cuanto mayor sea el número de moléculas de los reactivos presentes en un mismo volumen se incrementa la probabilidad de choques entre sus partículas. Sin embargo, no todos los choques entre partículas dan lugar a formación de productos, ya que de ser así, todas las reacciones serían instantáneas pues comúnmente el número de choques probable entre partículas es muy elevado.

Por ello solo aquellos choques suficientemente enérgicos para que se produzca el rompimiento de los enlaces, y el reordenamiento y formación de una nueva partícula se distinguen como choques efectivos, que contempla sólo aquellos choques entre partículas con suficiente energía que dan lugar a la formación de los productos de reacción. No obstante, cuanto mayor sea el número de colisiones que se producen en la unidad de tiempo, se hace más probable la ocurrencia de choques que den lugar a la transformación de las moléculas.

De esta forma se explica el hecho de la necesidad de agitación en reactores, pues al aumentar la interacción entre los reactivos aumenta la velocidad de la reacción química. Esta interacción puede ser acelerada con el uso de agitadores, los cuales provocan un mayor número de choques entre las partículas reaccionantes.

Beneficios de los agitadores, según Sánchez J. V. et al. (2012):

- ❖ Se ponen en contacto con el sustrato fresco o afluyente con la población bacteriana.
- ❖ Se mezcla la biomasa fresca con la biomasa digerida existente al interior del biodigestor.
- ❖ Se previene la formación de capa superficial de costras y de espumas, así como la sedimentación en el biodigestor.
- ❖ Se evita la formación de espacios muertos que reducirían el volumen efectivo del biodigestor.
- ❖ Se “sueltan” las burbujas de biogás.

El presente trabajo trata sobre el uso de los agitadores para mejorar la eficiencia de la digestión anaeróbica en biodigestores de cúpula fija mediante la utilización de la energía eólica. Se realizó el análisis de diferentes tipos de motores eólicos que pudieran mover un agitador mecánico para aumentar la velocidad de la digestión anaeróbica y con ello mejorar la eficiencia del proceso de producción de biogás. Para ello se propone el uso de un aerogenerador de eje vertical modelo Savonius.

Aerogenerador de eje horizontal y vertical. Molinos multipalas y aerogenerador Savonius

Las máquinas eólicas de molinos multi-palas son de arrastre, y aprovechan la componente de la fuerza del viento perpendicular a la superficie de sus aspas, palas o aletas. El molino americano es un aerogenerador lento, que hizo su aparición hacia 1800; está formado por un rotor compuesto por un número de palas que puede oscilar entre 12 y 24 y que cubren casi toda la superficie del cubo. Su diámetro suele ser del orden de 5 a 8 m; diámetros mayores originarían un excesivo peso del rotor que dificultaría el arranque; suelen ponerse en funcionamiento con vientos de 2 a 3 m/seg, aunque no alcanzan su potencia máxima hasta velocidades mayores. El rotor está conformado por delgadas placas metálicas, de perfil no aerodinámico, prácticamente planas, con una cierta orientación; el viento ejerce sobre ellas una fuerza de arrastre que provoca el par de giro. Las máquinas de arrastre diferencial presentan la ventaja de evitar todo tipo de dispositivos de orientación a causa de su configuración simétrica y de su construcción, que es muy simple. Rodríguez et al. (2011).

El aerogenerador Savonius fue inventado por el finlandés de igual nombre en el año 1924 y patentado en 1929. Se compone de dos semicilindros de igual diámetro, de ejes paralelos acoplados al eje de giro y separados una cierta distancia, Figura 1., Anexo1: Las fuerzas que ejerce el viento en la parte cóncava y convexa son diferentes, como sabemos, y ello hace que el conjunto gire alrededor de un eje. Para el rotor Savonius de dos palas o canaletas, el coeficiente de arrastre es aproximadamente la unidad para el curvado cóncavo (intradós), y oscila entre 0,12 y 0,25 para la parte opuesta (extradós) a donde sopla el viento. Estos valores no coinciden con los indicados anteriormente debido a la interferencia de las palas, como se observa en la Figura 5, ya que el rotor siempre está sometido a un par aerodinámico suplementario debido a las dos desviaciones sucesivas que experimenta el viento por efecto de las palas, llegando a formar esta desviación un ángulo de 180°. Con estos datos se puede calcular fácilmente la fuerza de arrastre, resultante de la diferencia de las fuerzas de arrastre correspondientes a los dos flancos, así como el par motor neto del aparato (Schwartz, 2011).

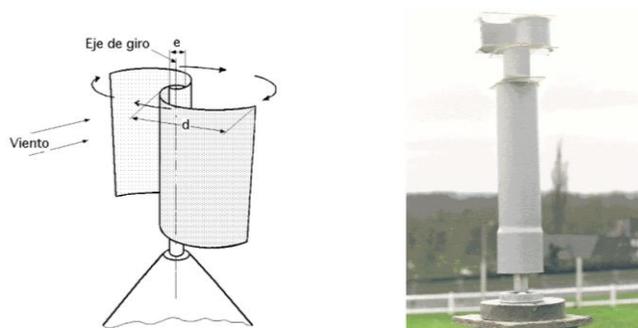


Figura 4. Rotor Savonius

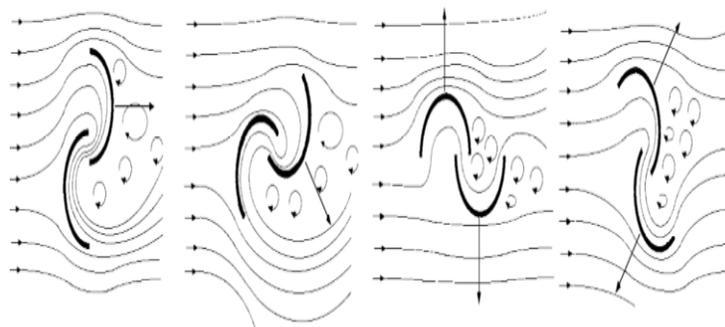


Figura 5. Líneas de corriente en un rotor Savonius.

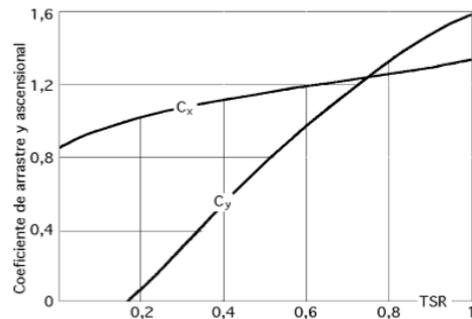
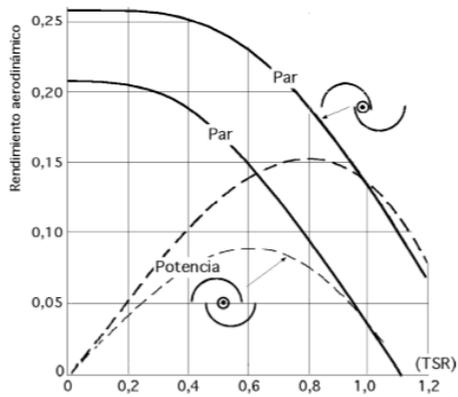
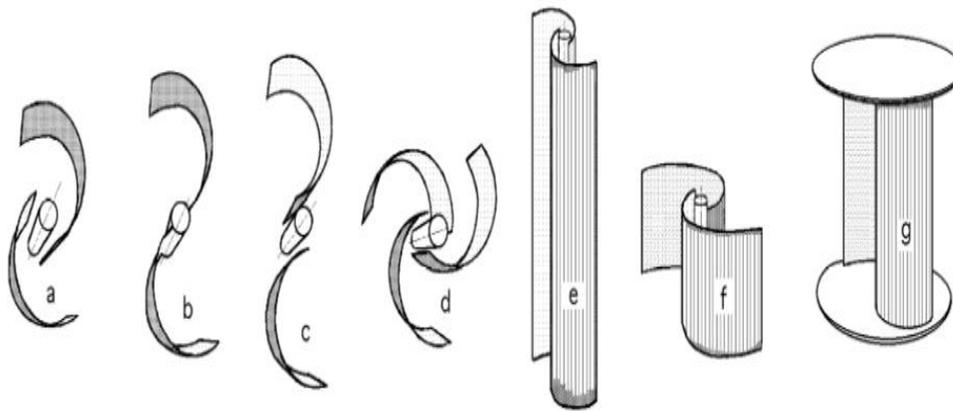


Figura 6. Rendimiento del rotor Savonius



Cálculos para el rendimiento y diseño de un rotor Savonius

El rendimiento del rotor viene dado por la gráfica de la figura 6, para un valor dado del TSR; si el TSR es igual a 0,8 (que se corresponde con la potencia máxima), el valor del rendimiento es del orden de 0,15. Si se supone que las dimensiones del rotor son: altura, $h= 1,5$ m; diámetro, $d= 0,5$ m, y se desprecia la separación entre semicilindros, el área frontal A y la potencia útil generada son:

$$A = h * 2 * d = 1,5 \text{ m}^2$$

$$N_{\text{útil}} (kW) = \frac{10^{-3}}{2} * 1,25 \frac{kg}{m^3} * V^3 * \left(\frac{m}{seg}\right)^3 * 1,5 \text{ m}^2 * 0,15$$

$$N_{\text{útil}} (kW) = 0,141 v^3$$

Para un $TSR = 0,8$ se obtiene $C_y = 1,4$ y $C_x = 1,2$ por lo que suponiendo una velocidad del viento de 10 m/seg se tiene:

$$F_{asc} = 1,08 * 1,4 * 1,25 * 3.102 = 567 \text{ kg}$$

$$F_{arr} = 1,08 * 1,2 * 1,25 * 3.102 = 486 \text{ kg}$$

$$F_{total} = \sqrt{F_{asc}^2 + F_{arr}^2} = \sqrt{567^2 + 486^2} = 746,8 \text{ kg}$$

Que es la carga total que tiene que absorber el soporte de la estructura.

Para diseñar un rotor Savonius hay que conocer de antemano las opciones que pueden existir, que incluyen espaciados entre palas, número de palas, esbeltez y posicionamiento de las mismas y discos laterales que conforman las bases de apoyo, como se indica en la Figura 7, presentando diversas opciones; donde se selecciona la *figura g* porque es un rotor eólico de eje vertical y se necesita mover un agitador vertical, además mejora el rendimiento del rotor a bajas rpm, así como la energía liberada para un determinado campo de velocidades del viento. Se hace una instalación de un rotor con una unión de Cardan para evitar cualquier distorsión en la posición del rotor no implique una fractura en la entrada del digestor. Se instala un freno de mano para evitar que vientos de alta velocidad generen turbulencias en el digestor y deformación en paletas y que parte de la biomasa no digerida pueda salir. No es preciso que funcione las 24 horas del día, durante el proceso de carga no debe funcionar para evitar que parte de la biomasa no digerida escape por el sistema de compensación.

Por lo que respecta a la regulación sabemos que para un rotor de palas se utilizan formas de orientación y gobierno que actúan en el sentido de preservar a la máquina de la acción del viento para no encontrarse bajo estas fuerzas acelerativas. Cuando el rotor Savonius se embala es muy difícil de gobernar; si para disminuir la velocidad de rotación se le aplica un freno, el par ejercido sobre el rotor aumenta y puede llegar a averiarle, por lo que este sistema de frenado no es el adecuado.

Si las palas (canaletas) se mueven de forma que el rotor Savonius se convierta en un cilindro, la superficie resultante, cilíndrica, no estaría en condiciones de realizar un trabajo y, por lo tanto, ésta es la forma más usual de regulación en este tipo de rotores; en esta situación, por lo tanto, dejaría de comportarse como tal máquina eólica.

Elementos constructivos de un biodigestor

❖ Cámara de digestión:

Está compuesto por la Cámara de fermentación y la cúpula. En la Cámara de fermentación anaeróbica ocurre la degradación de la materia orgánica y la liberación del biogás, su geometría es generalmente cilíndrica y su capacidad está dada por el volumen de material a degradar. La función de la cúpula es almacenar el gas en los momentos que no existe consumo, pues la producción de gas es ininterrumpida a lo largo de todo el día. La capacidad de almacenaje de la cúpula depende del volumen de la Cámara de fermentación (MINENERGIA, 2011)

❖ Laguna de compensación:

En ella se acumula el material ya fermentado, y tiene como objetivo compensar las presiones interiores del biodigestor para que no ocurra una explosión. La capacidad de esta laguna está en dependencia del volumen del biodigestor y puede tener diferentes formas (cuadrada, circular, rectangular), puede construirse encima de la cúpula o al lado del tanque de fermentación (Sánchez J. V. et al., 2011).

❖ Registro de carga:

Puede ser construido de varias formas y su tamaño depende del diseño del biodigestor, en él se introduce el material a fermentar, mezclándolo con agua en las proporciones adecuadas para que ocurra la correcta homogenización.

❖ Conducto de carga:

Son los tubos que comunican al registro de carga con la cámara de digestión.

❖ Registro de evacuación de lodos sedimentables:

Generalmente tiene forma de paralelogramo de distintas dimensiones. Su función es evacuar los lodos sedimentables provenientes de la Cámara de digestión. Su funcionamiento garantiza la limpieza del biodigestor (Sánchez J. V. et al., 2011).

Parámetros de diseño de un biodigestor

El parámetro principal en el diseño de un biodigestor es el volumen, lo cual depende:

- ❖ Cantidad de residual por día a tratar.
- ❖ Tiempo de retención.
- ❖ Volumen de biogás a obtener.

La cantidad de estiércol diario que se va a fermentar depende de la especie animal que esté presente en la exploración, del número de ejemplares y el tiempo de estabulación (MINENERGIA, 2011). Se debe tener en consideración que para obtener metano en cantidades suficientes se requiere de una abundante provisión de estiércol animal, puede usar también restos vegetales, mientras la mayor parte de la materia utilizada debe ser estiércol, de otra manera una alta proporción del gas será monóxido de carbono (CO), que no es combustible (Zeeman y Gerbens, 2012).

Yaldiz et al. (2012), expone que el tiempo de retención técnico es el tiempo en cual el material de fermentación permanece en el biodigestor, quiere decir es el período que debe permanecer el residuo en el interior del biodigestor para disminuir su carga contaminante a no menos del 80% y extraer todo su potencial en producción de biogás.

Blanco C. et al. (2012), expone que depende de las características de cada zona y de la temperatura, teniendo en consideración que con valores bajos de temperatura el tiempo de retención es mayor pues disminuye la actividad metabólica de las bacterias. Rojas *et al.* (2008), expone que el tiempo de retención es el período donde ocurre el desarrollo de las

poblaciones microbianas, considera además que depende de las características del reactor empleado y del tipo de sustrato (Ver Tabla 1.3 Anexo 10).

La producción específica de biogás por día depende del tiempo de retención y del tipo de materia orgánica a fermentar. Para su determinación se pueden emplear fórmulas teóricas apoyadas en la composición del sustrato en cuanto a proteínas, carbohidratos y grasas; o utilizar la diferencia de la demanda química de oxígeno entre el afluente y el efluente. (Blanco et al., 2012)

Una vez analizados estos elementos se procede a determinar los parámetros constructivos del biodigestor:

- ❖ Volumen del biodigestor.
- ❖ Volumen de la cámara de digestión.
- ❖ Altura de la cámara de digestión.
- ❖ Diámetro de la cámara de digestión.
- ❖ Radio de la cámara de digestión.
- ❖ Radio de la cúpula.
- ❖ Altura de la cúpula.
- ❖ Volumen de la cúpula.

Según Sánchez et al. (2011), el primer aspecto a tener en cuenta para el diseño del biodigestor es su volumen total, lo cual se determina en función de dos aspectos fundamentales:

- ❖ La cantidad de biomasa disponible y que debe tratarse a través del biodigestor.
- ❖ La necesidad de biogás en función de los requerimientos energéticos del consumidor.

Para el desarrollo de este estudio se tiene en cuenta la cantidad de biomasa que se dispone, ya que se fundamenta en la necesidad de disminuir el impacto ambiental negativo de las excretas producidas por la cría de animales estabulados en zonas suburbanas, específicamente ganado porcino.

Pasos a seguir para el diseño del biodigestor:

Primero: Determinar el volumen total de la biomasa de excreta generada. La cantidad total de excreta generada por día se determina por la ecuación:

$$mc = N * \left[\frac{PVP}{PVE} \right] * mt * \left[\frac{TE}{24h} \right]$$

Donde:

N: número de animales

PVP: peso vivo promedio, kg

PVE: peso vivo equivalente, kg

TE: tiempo de estabulación, h (horas)

m_C : masa total de excreta calculada, kg
 m_T : masa de excreta equivalente, kg

El PVP y N se determinaron a partir de visitas realizadas a la finca y la observación del rebaño.

Segundo: Determinar la masa de agua a suministrar al biodigestor a través de la expresión:

$$m_A = REA * m_C$$

Donde:

m_A : masa de agua, kg
 m_C : masa de excreta calculada, kg
 REA : relación excreta/agua para cada especie animal.

Tercero: Calcular el volumen de la cámara de digestión (depende de la cantidad de biomasa de excreta animal calculada), por la ecuación:

$$V_{CD} = m_A + m_C * TR * 10^{-3} * m^3 * kg^{-1} * dias^{-1}$$

Donde:

V_{CD} : volumen de la cámara de digestión, m^3
 TR : tiempo de retención (días) (Ver Anexo 10: Tabla 2.1)
 m_A : masa de agua, kg
 m_C : masa de excreta calculada, kg
 $10^{-3} m^3 * kg^{-1} * dias^{-1}$: Factor de conversión

Aplicando la ecuación siguiente se determina el volumen de esta parte del biodigestor;

$$V_{CD} = h * \pi * r^2$$

Cuarto: Determinar los volúmenes específicos y la altura de cada sección del biodigestor de cúpula fija.

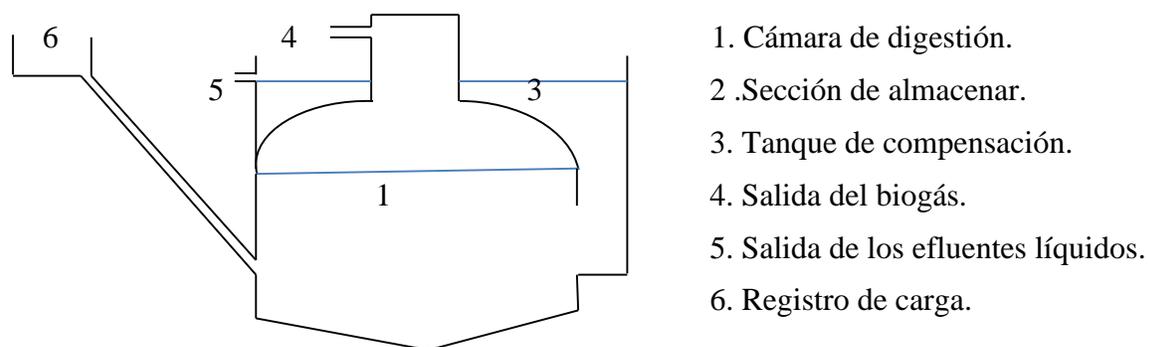


Figura 8. Secciones del biodigestor de cúpula fija modificado

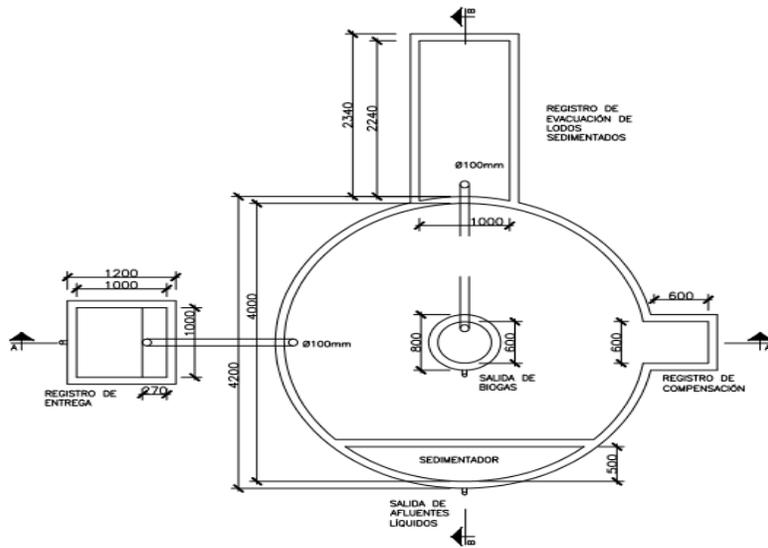
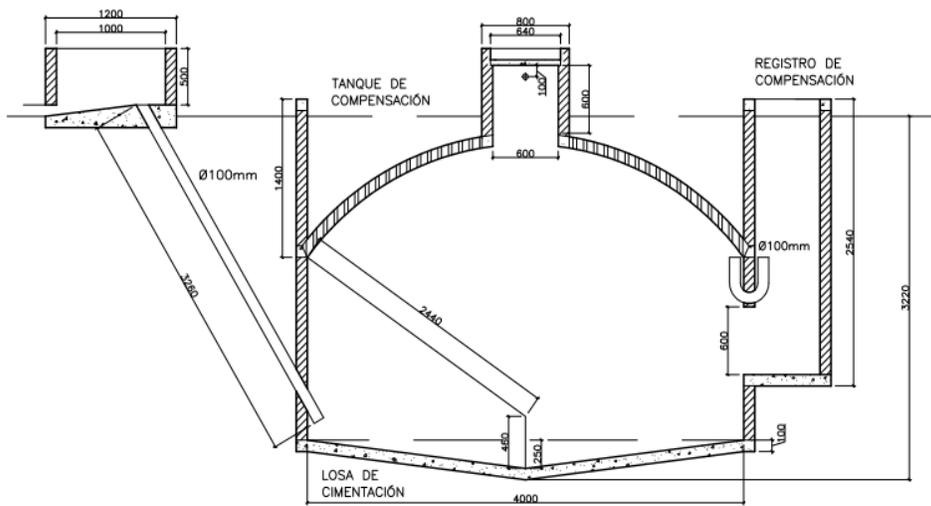
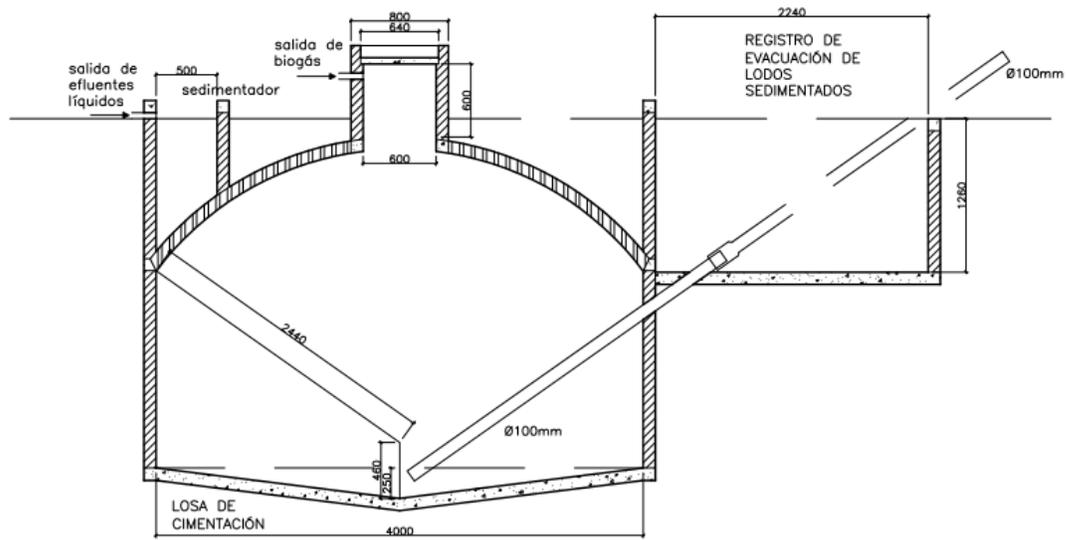


Figura 9. Plano de la planta del biodigestor de cúpula fija de 26,8 m³



Act
Ve a

Figura 10. Plano de la sección a – a' del biodigestor de cúpula fija de 26,8 m³



Activa
Ve a Co

Figura 11. Plano de la sección b – b' del biodigestor de cúpula fija de 26,8 m³.

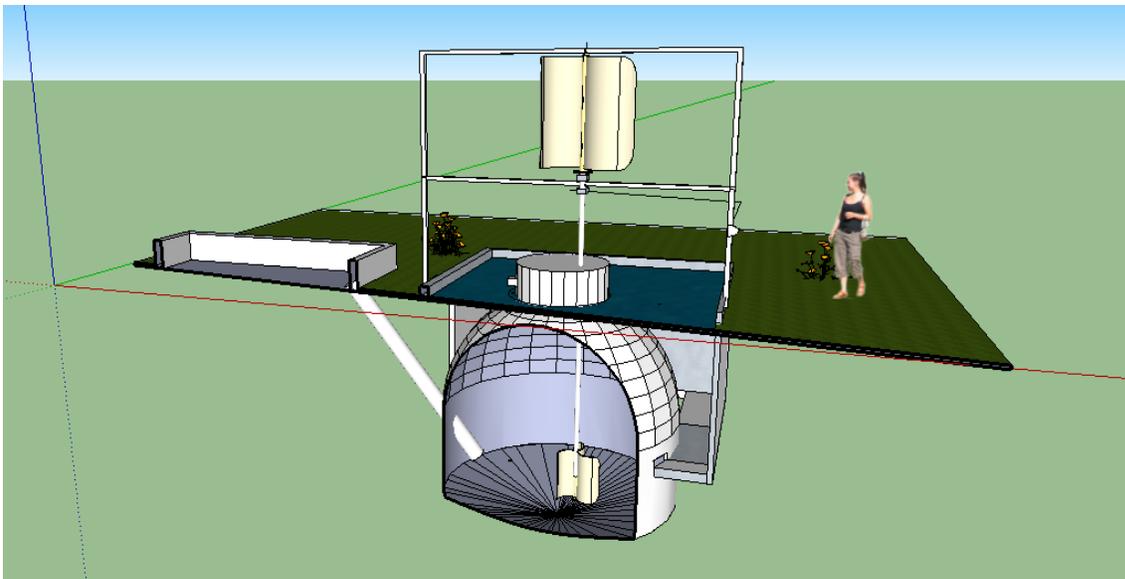


Figura 12. Biodigestor de cúpula fija con el sistema de agitación eólica

Conclusiones

El uso de la energía renovable va tornándose a nivel mundial una opción materialmente factible para la sustitución de los combustibles tradicionales que constituyen fuentes no renovables de energía y contribuyen al incremento de la contaminación ambiental.

El sistema propuesto constituye una modificación del biodigestor de cúpula fija tradicional, con un volumen constante de 26,8 m³, donde el tanque de compensación se sitúa sobre la cúpula y se le adiciona el sistema de agitación con el uso de un rotor eólico modelo Savonius.

El sistema de agitación presentado, reduce el tiempo de retención de la biomasa en el biodigestor, ya que al aumentar la velocidad de reacción produce la transformación de esta más rápidamente.

Al disminuir el tiempo de retención en el biodigestor permite que este con un volumen total menor pueda tratar mayor volumen de residuales, lo que hace más económica su construcción.

Referencias bibliográficas

ACPA. ASOCIACIÓN CUBANA DE PRODUCCIÓN ANIMAL. Biogás y Bioabonos. Un sistema tecnológico “limpio”. 63 p. 2012.

ARRASTÍA, M. (2009). Hacia un nuevo paradigma energético. [consultado 25 de noviembre del 2011][on line]. Disponible en: <http://www.juventudrebelde.cu/cuba/2009-01-13/hacia-un>

BORJA, R. Biogas production. *Comprehensive Biotechnology (Second Edition)*. vol. 2, p. 785-798. 2011.

CEPERO, L.; SAVRAN, V.; BLANCO, D.; PIÑÓN, M.; SUÁREZ, J.; PALACIOS, A. Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. *Pastos y forrages*, vol. 35, no. 2, p. 219-221. 2012.

CONTRERAS VELÁSQUEZ “Producción de biogás con fines energéticos de lo histórico a lo Estratégico” Publicado en Revista Futuros No. 16, Vol. IV Consultado abril 2009 en <http://www.revistafuturos.info>. 2006.

FERNÁNDEZ, J. Producción de Biogás en Cuba (en línea). [citado: 22-01- 14]. Disponible en: <http://www.ecured.cu/index.php/Biog%C3%A1 searchInput#searchInput>. 2012.

HERNÁNDEZ, C. Segundo FORUM Nacional de Energía: Biogás. La Habana. 2005.

LÓPEZ, C. et al. Introducción al conocimiento del Medio Ambiente. Universidad para todos. p. 3 – 31. 2002.

- LUGONES, B. Análisis de biodigestores. *Energía y Tú*, No. 22. p. 12 -15. Mc Carty.. 2003.
- MCCABE, W; SMITH, J. Operaciones Unitarias de Ingeniería Química, tomo 1. Ed Revolucionaria. 459 p. 1990.
- MINENERGIA. Manual de biogás. *Ed. Proyecto CHI/00/G32* “Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables”. 112 p. 2011. ISBN 978-95-306892-0
- PÉREZ, J. L., LEZCANO, P. & BERMÚDEZ, R. C. Potencialidad Nutricional de Lodos provenientes de Digestores de Biogás. *Revista Cubana Química*, 12:3. 2000.
- PÉREZ, J. L., BERMÚDEZ, R. C., LEZCANO, P. Y RABELO, D. Tecnologías de digestión anaerobia para el tratamiento de residuales. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*. Tomo 34, No. 2. p. 93 – 102. 2000.
- SÁNCHEZ, J.; PAVON, A El biogás. Resultados y potencialidades como fuente de energía y bioabono en el sector cooperativo de provincia de Matanzas CD de Monografías Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". 2009.
- SÁNCHEZ, J; SAVRAN, V; FRUNZE, S; LANTIGUA, A; GARCÍA, J. Introducción a la producción de biogás (3era edición). Folleto teórico publicado por la Universidad Politécnica de Madrid y el Centro Cristiano de Reflexión y Diálogo. 47p. ISSN1608-1854. 2011.
- SÁNCHEZ, J.; GONZÁLEZ, A. Recuperación de los suelos y disminución de la contaminación ambiental a través de los biodigestores en sector campesino e cooperativo da provincia de Matanzas. *Exposición publicada en formato digital en memorias de 1er taller internacional del movimiento agroecológico y agricultura sostenible sep 2011*.
- SÁNCHEZ JESÚS Optimización de la agitación de un digestor anaerobio mediante mecánica de fluidos computacional p 19-23. 2012.
- SORIA, M. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión anaerobia de excretas. Instituto Tecnológico Agropecuario, México. 2000.
- SCHWARTZ. Parámetros prácticos utilizados en el diseño de los aerogeneradores eólicos. 2011.
- VEEKEN, A., HAMELERS, B. Effect of substrate – seed mixing and leach ate recirculation on solid state digestion of biowast. *Review Technology*, vol 5. p 23-47. 2000.
- YALDIZ, O; SOZER, S; CAGLAYAN, N; ERTEKIN, C; KAY, D. Methane production from Plant wastes and chicken manure at different working conditions of a OneStage

anaerobic digesters. *Energy Sources, Part: A, Recovery, utilization and environmental effects*. Vol. 33. p 1802-1813. 2012.

ZEEMAN, G; GERBENS, S. CH₄ *Emissions from animal manure*. Good. 2012.



Monografías 2020
Universidad de Matanzas© 2020
ISBN: