

Diseño de un biodigestor de ferrocemento semisoterrado de cúpula fija

Marianela de la Caridad Ortiz Álvarez

correo electrónico: marianela@tesla.cujae.edu.cu

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Artículo Original

Hugo Rafael Wainshtok Rivas

correo electrónico: hugow@tesla.cujae.edu.cu

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Henry Hernández Sotomayor

correo electrónico: hhernandez@iip.co.cu

Instituto de Investigaciones Porcinas (IIP), La Habana, Cuba

Resumen

Este trabajo presenta el análisis, diseño estructural y secuencia constructiva de un biodigestor de cúpula fija semisoterrado utilizando el ferrocemento como material de construcción y en condiciones normales de trabajo. El biodigestor tiene 24 m³ de volumen, está conformado por una cúpula semiesférica (cubierta), paredes cilíndricas (cuerpo) y una losa circular (base). El biodigestor utilizando el ferrocemento como material de construcción, cumple con los requerimientos que garantizan el servicio para las solicitudes previstas. Al biodigestor se le determina la cantidad de materiales para su construcción para compararlo con uno de mampostería de igual capacidad en cuanto a gasto de materiales y se establece su secuencia constructiva. El resultado obtenido ofrece una variante para la construcción de biodigestores que es cuatro veces más económica que la tradicional en cuanto a gasto de materiales.

Palabras claves: biodigestor, ferrocemento, cúpula fija

Recibido: 19 de enero del 2015 Aprobado: 3 de octubre del 2015

INTRODUCCIÓN

En el marco económico e industrial actual, la dependencia energética está mayoritariamente basada en el consumo de los combustibles fósiles, los cuales son fuentes no renovables de energía, son escasos, se encuentran concentrados en determinadas regiones del planeta y su precio es cada vez más elevado debido a su escasez y al mercado especulativo relacionado con este recurso.

Una alternativa para reducir el consumo de combustibles fósiles, es el uso del biogás (fuente renovable de energía), el cual se obtiene de forma anaerobia [1, 2] mediante la concentración de materia orgánica o vegetal y de agua en un biodigestor [3]. El biogás es un combustible usado

en la cocción de alimentos [4], en la calefacción [5], en la iluminación y se puede utilizar en la industria para motores que generan electricidad [6].

Un biodigestor es un tipo de biorreactor en condiciones anaerobias, diseñado para propiciar un ambiente adecuado a las bacterias que degradan la materia orgánica [5], de donde se obtienen productos de estructuras químicas que pueden ser nutrientes o estimulantes de crecimiento de plantas y elementos gaseosos que son contaminantes (inclusive los líquidos pueden ser contaminantes según la disposición que se haga de estos, en especial el metano). Su importancia no solo radica en su capacidad para la producción de biogás, sino también en que evita la liberación a la atmósfera de dichos elementos. El metano

genera 23 veces más efecto invernadero que el dióxido de carbono [7] y se encuentra entre un 40-70 % de la composición del biogás [8].

Debido al incremento en el costo de los fertilizantes químicos y a la contaminación que algunos propician en el ambiente cuando se utilizan irracionalmente, es que el uso de bioabonos es una alternativa de fertilización económica y más eficiente, además de ser viable por utilizar las fuentes orgánicas locales y regionales que tradicionalmente se han subutilizado, entre las que se destacan las excretas líquidas de cerdo [9]. Los nutrientes contenidos en las excretas se pueden utilizar en los cultivos [9], su uso es principalmente como promotor y fortalecedor del crecimiento de las plantas, raíces y frutos [10].

Para la construcción de plantas de biogás, se buscan alternativas que permitan disminuir los costos. Esta incluye un biodigestor, un tanque de carga, uno de descarga, un pozo para los bioabonos, una o varias trampas de agua y una cámara de almacenamiento de gas. Los biodigestores son generalmente de cúpula fija (tipo chino) o de tipo tubular plástico. Actualmente, la mayoría de los de tipo chino son de mampostería [7], por lo que resulta costosa la inversión inicial de la materia prima debido a la gran cantidad de materiales necesarios para su construcción.

El objetivo fundamental de este trabajo es diseñar un biodigestor con un volumen que responda a las dimensiones estándares acordados con lo que reporta la literatura, en correspondencia con la tecnología más utilizada en el mundo con un material de construcción que permita disminuir dichos costos, los cuales también dependen del tiempo de vida útil del biodigestor. Esto se demuestra comparando el biodigestor tubular plástico con el de cúpula fija, teniendo el primero un costo mucho menor y una vida útil inferior que el segundo (menos de un 25 % de la vida del biodigestor de cúpula fija) [11]. Además, se verifica que el biodigestor diseñado cumple con los requerimientos que garantizan el servicio para las solicitaciones previstas, se compara con uno de mampostería en cuanto a gasto de materiales y se establece su secuencia constructiva.

Por ello, se diseña un biodigestor de 24 m³ de capacidad de ferrocemento semisoterrado de cúpula fija, ya que el ferrocemento por ser un material ligero, duradero, de fácil fabricación y aplicación, y tener muy buenos resultados en la construcción de depósitos, es una variante económica y segura [12]. Además, se reporta un caso utilizando el tipo hindú, en donde se consideraron dos variantes de material de construcción: ferrocemento y mampostería, concluyéndose que la primera es un 25 % más barata que la segunda [13].

El problema de este trabajo investigativo es el elevado costo de inversión para la construcción de biodigestores usando las tecnologías tradicionales, teniendo como hipótesis de investigación que el biodigestor de ferrocemento es más económico en cuanto a gasto de materiales que el de mampostería y como alcance, el diseño y la propuesta de la secuencia constructiva de un biodigestor de ferrocemento semisoterrado de cúpula fija de 24 m³ de capacidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El biodigestor se previó con una cúpula fija semiesférica (donde se almacenará el gas), continua con las paredes en forma de cilindro y estas a su vez a la losa de fondo circular, ya que las superficies curvas logran una mejor distribución de las tensiones, disminuyendo así la concentración de las mismas. Además, el cilindro es consistente, requiere menos materiales de construcción para el mismo volumen, reduce las posibilidades de que existan fugas de gas por agrietamiento al no presentar aristas o esquinas y favorece que no hayan zonas muertas al estar buena parte de este cuerpo cilíndrico, cubierto por las aguas residuales.

El estiércol necesario para garantizar las condiciones adecuadas de trabajo del biodigestor de 24 m³ se logra con un estimado de 99 cerdos de 50 kg cada uno. El objetivo del biodigestor será proveer de gas a una vivienda de 4 personas, ya que este proporcionará 7 m³ de gas diariamente.

En el predimensionamiento del biodigestor, se tomó un radio de 1,53 m según el volumen de la cúpula y conociendo el volumen del cilindro, la altura se determinó en 2,3 m. La relación diámetro-altura estuvo en el intervalo recomendado de 0,5 a 1,5 para dichas dimensiones [14].

Para el diseño del biodigestor se utilizó el método de las tensiones admisibles. En el análisis de las solicitaciones para diseñar la cúpula, se consideró un estado de carga: cuando solo actúa la presión del gas al ponerse el tanque en funcionamiento (figura 1). La influencia del viento no se tuvo en cuenta debido a que el elemento tiene una altura despreciable para dicho parámetro (1,53 m), ya que el biodigestor será semisoterrado hasta la altura del cilindro.

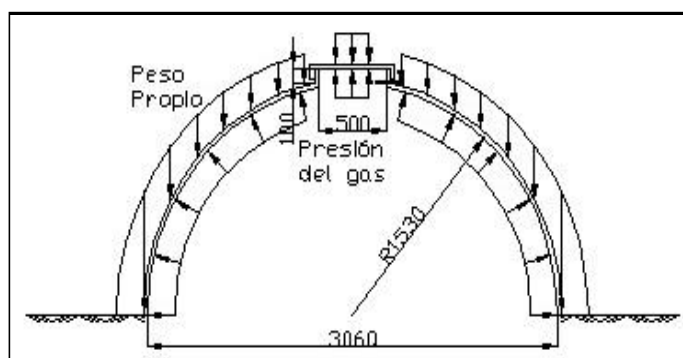


Fig. 1. Estado de carga de la cúpula.

Con la presión del gas de 14,7 kN/m² [15] proyectada a un plano equivalente y el peso propio de la cúpula, se determinó que las tensiones que se producen en la base de la cúpula son menores que las permisibles en elementos de ferrocemento sometidos a tracción para que no exista fisuración. Este valor de tensión permisible depende en el ferrocemento del tipo de tela de mallas, teniendo un valor de 3,5 MPa al utilizarse la tela de malla hexagonal debido a su facilidad de ajustarse a superficies curvas. El diseño del refuerzo de la sección transversal de 1 m x 0,025 m se

realizó por tracción, dando un valor de 69,57 mm² de área de acero requerida.

Se analizaron varias telas de mallas con el fin de escoger la más adecuada (tabla 1). Se utilizó un alambón de esqueleto tanto en el sentido longitudinal como en el transversal de diámetro 6 mm para conformar la estructura y sostener las telas de mallas y el peso del mortero sin fraguar, pues no se utilizará encofrado para el emplastecido del mortero. Se colocaron tres transversales (inferior, medio, superior) y los longitudinales de forma alterna. Se determinó el área de alambones en 1 m de altura, cuyo valor resultó mayor que el área de acero necesaria, por lo que se colocaron dos telas de mallas por ser el valor mínimo recomendado [16].

Tipo	Forma	Conformación	Gauge	D (mm)	d _a (mm)
Malla de alambre	Hexagonal	Torcida	No, 18	12,5	1,20
			No, 20	12,5	0,88
			No, 22	12,5	0,72

D: Espaciamento del alambre
d_a: Diámetro del alambre

Para la determinación del espesor mínimo por cada tipo de tela se fijó el recubrimiento de 4 mm, dando como resultado un espesor de 25 mm para cada una por ser el valor mínimo recomendado [16]. Se chequearon los principios que deben cumplir los elementos estructurales de ferrocemento, los cuales son: el factor de volumen de refuerzo (V_r) (entre 1 y 8 % [16]) y la superficie específica de refuerzo (S_r) (entre 0,5 y 2,0 cm⁻¹ [16]), donde el refuerzo de telas de mallas cumplió con el primer principio y la de diámetro del alambre de 1,2 mm espaciados a 12,5 mm, tuvo un valor mayor de S_r de 0,48 cm⁻¹, el cual es aceptable, ya que además de estar muy próximo al intervalo, las tensiones a tracción en la cúpula son muy pequeñas, por lo que se utilizó esta tela de malla.

En el análisis de las solicitaciones para diseñar las paredes del biodigestor se consideraron tres estados de carga: el primero cuando solo actúa la presión hidrostática debido a la prueba de estanqueidad que se debe realizar una vez construido el tanque para chequear que no existan fugas (figura 2), el segundo cuando solo actúa el empuje de terreno justo antes de la construcción de la cúpula (figura 3), y el tercero, cuando actúan el empuje de terreno y la presión generada por el cieno de fermentación al ponerse el biodigestor en funcionamiento (figura 4).

En todos los estados de carga, las tensiones que se producen en las paredes resultaron menores que las permisibles, siendo el primero el más desfavorable, pues es donde la estructura trabaja a tracción. Para dicho estado no se chequeó la fisuración por estar sometido el elemento a tensiones menores que las permisibles para las cuales el ferrocemento no se fisura.

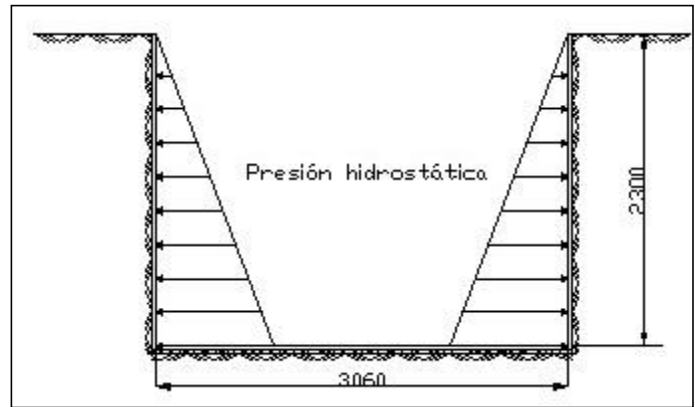


Fig. 2. Primer estado de carga de las paredes.

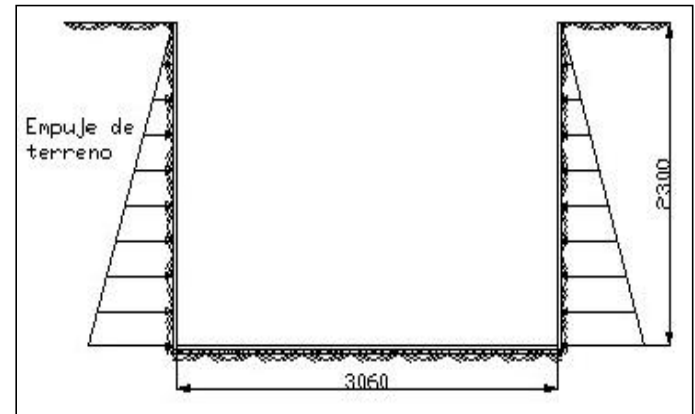


Fig. 3. Segundo estado de carga de las paredes.

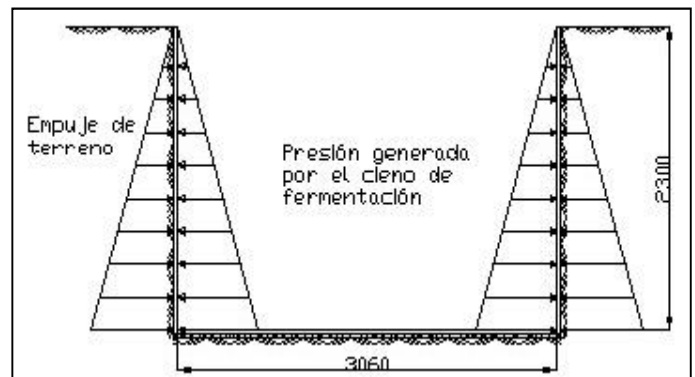


Fig. 4. Tercer estado de carga de las paredes.

El diseño se realizó por especificaciones (mínimo dos telas de mallas) y se colocó el acero de esqueleto con la misma función que en la cúpula. Se utilizaron los mismos alambones y la tela de malla de la cúpula, siendo el espesor de 25 mm. Se colocaron tres alambones transversales (inferior, medio, superior) y los longitudinales con espaciamento de 260 mm. Se chequearon los principios que deben cumplir los elementos estructurales de ferrocemento, donde el V_r se cumplió y la S_r tuvo el mismo valor de la cúpula al utilizarse igual tipo, cantidad de refuerzo y espesor.

La losa de fondo se diseñó por especificaciones, ya que la presión generada por el cieno de fermentación y el peso propio del tanque en el fondo del mismo es menor

que la resistencia del suelo, no generándose tensiones, por lo que se utilizaron dos telas de mallas de $d_a = 1,2$ mm con $D = 12,5$ mm y barras de diámetro 6 mm como separadores de las telas de malla, para cumplir con los principios del ferrocemento y evitar la retracción, teniendo el espesor mínimo de 25 mm (recubrimiento de 4 mm). Se colocaron tres barras transversales con $D = 500$ mm (externa, central, interna) y las longitudinales de forma alterna. Estas últimas estarán espaciadas a 260 mm en la externa, 175 mm en la central y 180 mm en la interna.

Se chequearon los principios que deben cumplir los elementos estructurales de ferrocemento, donde el V_r se cumplió y la S_r tuvo igual valor de la cúpula al utilizarse el mismo tipo, cantidad de refuerzo y espesor, el cual es aceptable, pues además de estar muy próximo al intervalo recomendado, dicho parámetro no es importante en elementos sometidos a compresión.

Las dimensiones de los elementos que componen el tanque de biogás de 24 m^3 son las siguientes: cúpula semiesférica de diámetro de 3,06 m, altura de 1,53 m y espesor de 0,025 m; el cuerpo consta de un cilindro de diámetro de 3,06 m, altura de 2,3 m y espesor de 0,025 m y la base está compuesta por una losa circular de diámetro de 3,06 m y espesor de 0,025 m. Dichos elementos se muestran en la figura 5, donde se detalla el cuello de la cúpula en la figura 6.

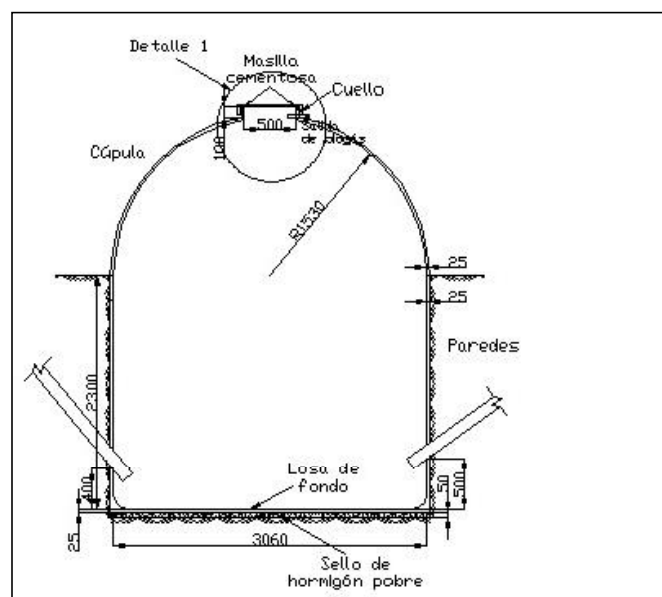


Fig. 5. Biodigestor.

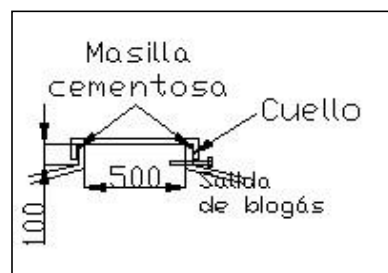


Fig. 6. Detalle 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es muy importante conocer los materiales empleados en la construcción del biodigestor para poder calcular su costo, además de evitar paros en la obra debido a la falta de insumos. El cálculo de materiales comprende la cantidad de mortero estructural (agua, cemento, arena, trióxido de cromo) y la cantidad de acero (telas de mallas, alambres).

En la determinación de la cantidad de materiales en el biodigestor de ferrocemento se utilizó la dosificación de 1:2,5:0,45, asumiendo un peso específico de cemento de $3,1 \text{ kg/dm}^3$ y un peso específico de arena de $2,52 \text{ kg/dm}^3$. La tabla 2 muestra dicha cantidad y la del biodigestor de mampostería de igual volumen.

La tela de mallas hexagonal tiene sus alambres galvanizados. Esto implica que para evitar el efecto galvánico entre la cubierta de zinc del alambre galvanizado y el álcali libre de la pasta de cemento, es aconsejable añadir trióxido de cromo (Cr_2O_3) en una proporción de 300 partes por millón (ppm) al agua de la mezcla.

De la tabla 2 se puede deducir que el biodigestor de ferrocemento no necesita de materiales como: grava, bloques de 15 cm y ladrillos macizos, mientras que el de mampostería solo prescinde de trióxido de cromo (que no es imprescindible su uso en el de ferrocemento), y que el biodigestor de ferrocemento requiere de 85 sacos de cemento, $6,37 \text{ m}^3$ de arena y $12,2 \text{ kg}$ de acero menos que el biodigestor de mampostería.

Material	Unidad de medida	Ferrocemento	Mampostería [14]
Cemento	saco	15	100
Arena	m^3	0,63	7
Grava	m^3	-	8
Bloque de 15 cm	U	-	530
Ladrillo macizo	U	-	780
Acero	kg	188,4	200,6
Cr_2O_3	kg	0,09	-

Según los costos de los materiales, se puede afirmar que el biodigestor de ferrocemento es cuatro veces más económico que uno de mampostería, además de mejorar las propiedades físicas, mecánicas, de impermeabilidad y de durabilidad de la estructura producto de las características del ferrocemento.

Para la construcción del biodigestor será necesario realizar un predimensionamiento de su tamaño y forma, elegir el sitio de instalación y definir una secuencia constructiva, la cual se indica a continuación.

Transporte y ubicación de los materiales

La ubicación de los materiales es importante, ya que al no definirse correctamente, entorpece la fase de ejecución, provocando el atraso de la obra. Es por ello que el transporte y acopio de los materiales deben realizarse

previos a dicha fase. La figura 7 muestra una correcta ubicación.

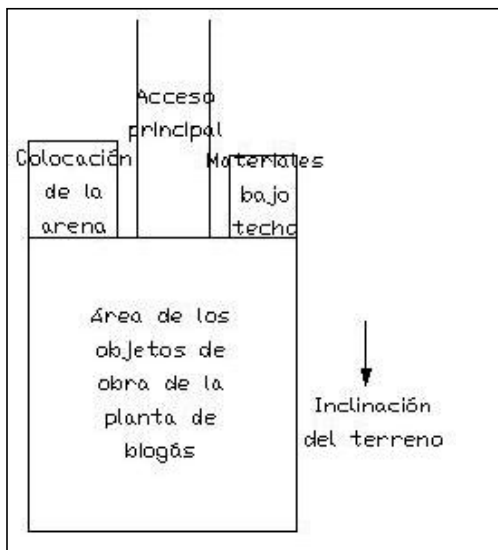


Fig. 7. Ubicación de los materiales.

Trazado y referencia de la excavación

En el área destinada para la construcción de la planta de biogás, se deben eliminar las raíces, los escombros y todo aquello que dificulte su instalación. Una vez limpio el terreno, se procede al replanteo, el cual toma en cuenta las dimensiones del tanque de biogás, así como las tuberías de carga y descarga. Según el diseño, se delimita a partir del centro del tanque un diámetro de 4,31 m, aportando una holgura de 60 cm entre el terreno y las paredes para el trabajo posterior de los obreros. El centro del círculo y el perímetro se definirán con pequeños tramos de varilla. Después del replanteo, se situará el cordel de referencia para tomar todas las alturas de la estructura.

Excavación

Después del replanteo, se procede a excavar (de forma mecanizada) el área de diámetro de 4,31 m hasta una profundidad de 2,3 m, dejando la superficie plana y horizontal. El material excavado deberá colocarse a 1 m mínimo [14] de la valla de replanteo de la planta de biogás para que no obstaculice las restantes actividades de la ejecución de la obra y el acceso a esta. Durante esta etapa se rectifican constantemente las medidas principales. Se recomienda, junto con la excavación, abrir la zanja para la colocación de los tubos de carga y descarga [14].

Construcción

Se comenzará por la losa de fondo, que previo a su construcción, se nivelará bien el terreno y conformará un sello de hormigón pobre. La losa se hormigonará de forma que tenga continuidad con las paredes. Se necesitará hacer un chaflán de 15 cm de ancho de cada lado en la orilla inferior del biodigestor, entre la base y las paredes, debido a que la base es plana. Se procederá a la aplicación del mortero estructural, que se realizará en paños alternos para evitar las retracciones en el material. Se nivelará la

superficie de terminación. Se comenzará el curado de la losa antes de que el mortero empiece a fraguar.

En la conformación de las paredes se deberá tener en cuenta la continuidad con la cúpula, por lo que se colocarán los alambrones y las dos telas de malla, los cuales se cortarán según las dimensiones del cilindro, sobresaliendo 10 cm a partir de la altura de este. A las telas de mallas se les dejará los orificios para la salida del efluente y las tuberías de carga y descarga para su colocación ulterior. Se procederá a solapar el acero en espera con las dos telas de malla y los alambrones. Se aplicará el mortero estructural de abajo hacia arriba, en franjas horizontales de aproximadamente 0,8 m cada una. Se comenzará el curado de las paredes antes de que el mortero empiece a fraguar (a los 45 min. de su aplicación). Se realizará la prueba de estanqueidad, esperando al menos tres días después de endurecido el mortero, y una vez finalizada, se extraerá el agua. Se aplicará un estucado en las superficies interiores y dos manos de pintura impermeabilizante en las exteriores cuando la superficie esté bien seca. Se rehinchará la holgura dejada en la excavación. Se esperará terminar el curado para la colocación de la cúpula, ya que en este tiempo las paredes adquieren la resistencia suficiente.

El procedimiento en la conformación del acero de la cúpula será igual que el de las paredes, dejando el espacio para el cuello y para la conducción del biogás. Dicha conformación se colocará encima del cilindro, se empalmará el acero de la cúpula con el de las paredes y se aplicará el mortero por capas de aproximadamente 0,8 m cada una, siguiéndose la secuencia establecida para las paredes. Se colocará la masilla cementosa y el cuello prefabricado. La figura 8 muestra la distribución del acero en el biodigestor, detallando la unión de la losa de fondo con las paredes, de las paredes con la cúpula y de la cúpula con el cuello en las figuras 9, 10 y 11 respectivamente.

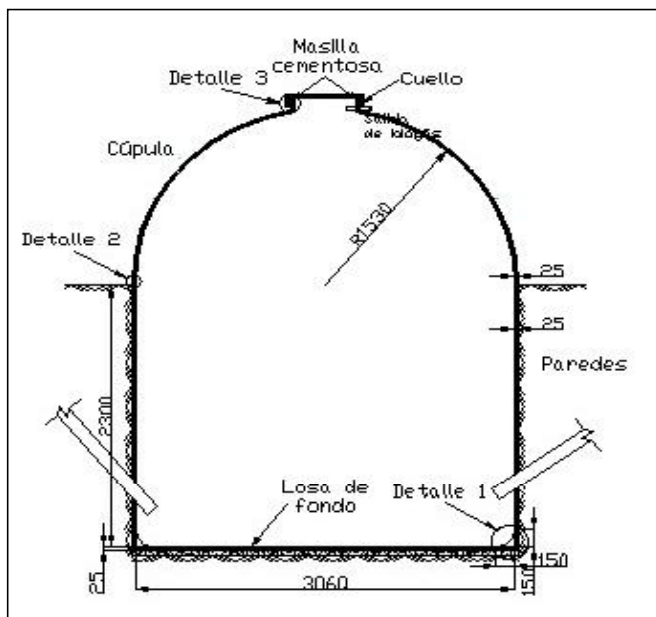


Fig. 8. Distribución del acero en el biodigestor.

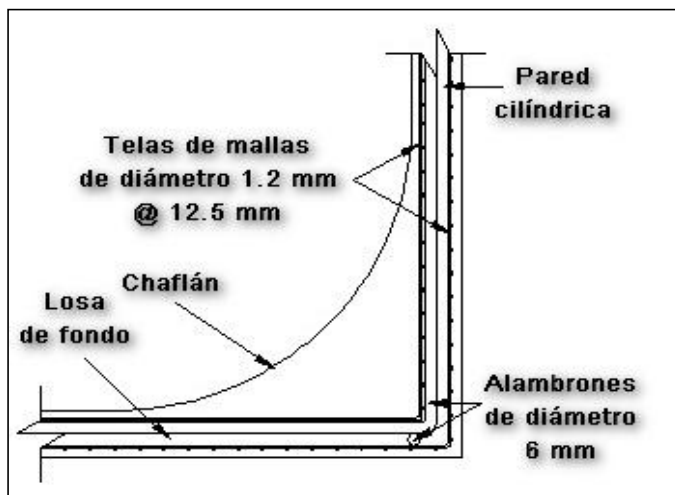


Fig. 9. Detalle 1.

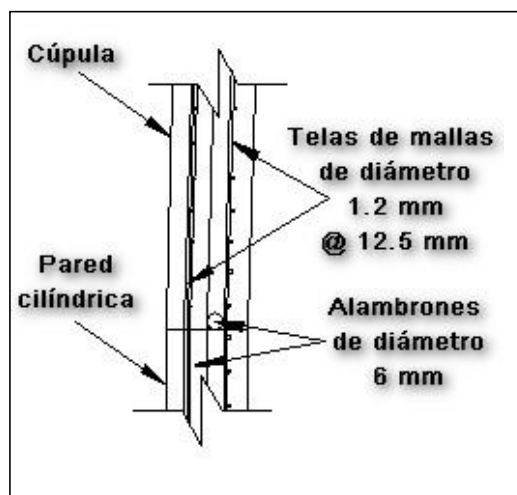


Fig. 10. Detalle 2.

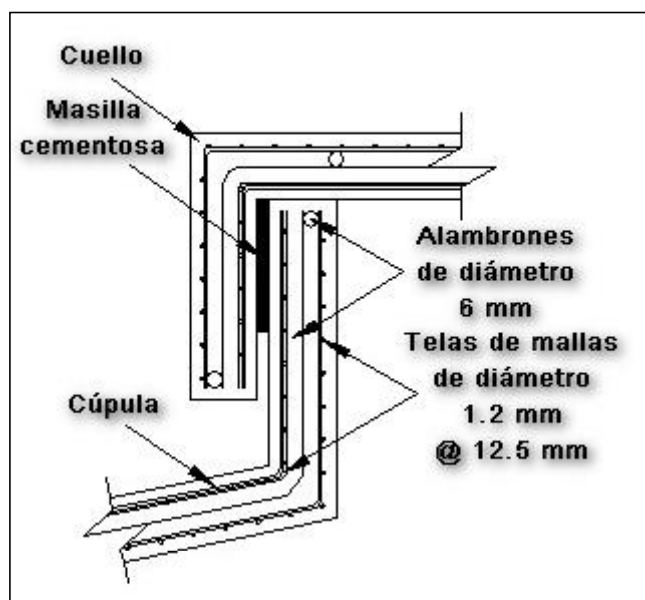


Fig. 11. Detalle 3.

Por último, se deberán realizar los trabajos de terminación y acabado para garantizar la protección y estanqueidad de los elementos componentes de la planta de biogás. Entre los trabajos fundamentales se encuentran: repellos de los distintos elementos y partes que no lo hayan recibido, restauración de los niveles normales del terreno y conformación del sistema de drenaje exterior, así como de los accesos a la planta, pintura de las superficies visibles y expuestas y protección del área que ocupa la planta de biogás [14].

CONCLUSIONES

Se diseñó un biodigestor de cúpula fija semisoterrado de ferrocemento de 24 m³ de capacidad que cumple con los requerimientos establecidos para este tipo de estructura y se precisó su secuencia constructiva. El biodigestor diseñado resultó ser cuatro veces más económico en cuanto a gasto de materiales que uno tradicional. Se demostró que el biodigestor de ferrocemento es una alternativa viable para garantizar la energía producida por el biogás.

REFERENCIAS

1. PEREDA REYES, Ileana; IRUSTA MATA, R.; OLIVA TERCENIO, Deni. "Uso de los residuos sólidos mineros de la extracción del níquel como estimulantes para la producción de biogás". *Ingeniería Mecánica*. 2007, vol. 1, pp. 57-61. ISSN: 1815-5944. Disponible en web: <http://www.redalyc.org/pdf/2251/225117649008.pdf> [consultado septiembre del 2014].
2. DÍAZ DOMÍNGUEZ, Yosvany; FERNÁNDEZ SANTANA, Elina et al. "Hidrólisis química y digestión anaerobia termofílica de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos". *Revista Cubana de Ingeniería*. Enero-abril, 2014, vol. 5, núm.1, pp. 59-66. ISSN: 2223-1781. Disponible en web: <http://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/173/pdf> [consultado septiembre 2014].
3. DÍAZ MARRERO, Francisco; MONTALVO MARTÍNEZ, Silvio J. "Aumento de la producción de biogás mediante el uso de zeolita natural". *Energética*. 2003, vol. 24, núm.1, pp. 16-24. ISSN: 0253-5645. Disponible en web: <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/download/206/204> [consultado septiembre 2014].
4. ACEVEDO, P. "Biodigestor de doble propósito-producción e investigación para residuos de granja porcícola". *Ion*. Diciembre 2006, vol. 19, núm.1, pp. 1-6. ISSN: 2145-8480. Disponible en web: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=342030277001> [consultado septiembre 2014].
5. SALAZAR CUAILA, Jean Lui. et al. "Producción de biogás y biol a partir de excretas de ganado: experiencias en la ciudad de Tacna". En *XIX Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XIX-SPES)*, 2012.

6. **BERMÚDEZ LOPERA, Vanessa; VALDERRAMA AGUDELO, John Alexander.** "Evaluación, automatización y puesta en marcha del sistema de digestión anaerobia de la Universidad EAFIT". *Revista Procesos*. 2011, núm.1, pp. 6-7. Disponible en web: [http://www.eafit.edu.co/revistas/revista-procesos/Documents/Revista Procesos 2011-1.pdf](http://www.eafit.edu.co/revistas/revista-procesos/Documents/Revista%20Procesos%202011-1.pdf) [consultado septiembre 2014].
7. **BLANCO, D.; CEPERO, L.; SUÁREZ, J.; MARTÍN, G. J.** *Manual de diseño, montaje y operación de digestores plásticos de bajo costo. Una alternativa para Cuba*. Matanzas, Cuba: Editorial Estación Experimental de Pastos y Forrajes, 2012. ISBN: 978-959-7138-13-6.
8. **SUÁREZ, J.; MARTÍN, G. J.** *La biomasa como fuente renovable de energía en el medio rural*. Matanzas, Cuba: Editorial Estación Experimental de Pastos y Forrajes, 2012, 208 pp. ISBN: 978-959-7138-14-3.
9. **SORIA, M. J.; FERRERA, R. et al.** "Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo". *TERRA Latinoamericana*. 2001, vol. 19, núm. 4, pp. 353-362. ISSN: 2395-8030. Disponible en web: <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/19/4/art353-362> [consultado julio 2015].
10. **CAMPERO RIVERO, Oliver.** "Sistema integral para tratamiento de residuos de granja lechera mediante la biodigestión anaerobia en el Perú". *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*. Junio 2012, vol. 5, núm.14, pp. 1-9. ISSN: 1988-5245. Disponible en web: <http://www.eumed.net/rev/delos/14/ocr.pdf> [consultado septiembre 2014].
11. **CEPERO, L.; SAVRAN V. et al.** "Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores". *Pastos y Forrajes*. Abril-junio 2012, vol. 35, núm.2, pp. 219-226. ISSN: 0864-0394. Disponible en web: <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v35n2/pyf09212.pdf> [consultado julio 2015].
12. **WAINSHOTOK RIVAS, Hugo; LIZAZO HERNÁNDEZ, Yenliu.** "El uso del ferrocemento en la construcción civil. Experiencia cubana". *Arquitectura y Urbanismo*, 2014, vol. 35, núm.1, pp. 97-102. ISSN: 1815-5898. Disponible en web: <http://rau.cujae.edu.cu/index.php/revistaau/article/view/293/268> [consultado septiembre, 2014].
13. **GALLO, Lucas.** "Biodigestores familiares construidos con ferrocemento". 2013. Disponible en web: http://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/20-familiares_ferro-cemento.pdf [consultado en julio 2015].
14. **GUARDADO CHACÓN, José Antonio.** *Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas*. La Habana, Cuba: Editorial Cubasolar. 2007, 67 pp. ISBN: 959-7113-33-3.
15. **FUNDACIÓN HÁBITAT.** *Biodigestores. Una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes* (Monografía). Quimbaya, Colombia, abril, 2005, 38pp.
16. **WAINSHOTOK RIVAS, Hugo.** *Ferrocemento. Diseño y Construcción*. Riobamba, Ecuador: Editorial La Fabrika, 4ta. edición, 2010, 350 pp. ISBN: 978-9942-03-302-4.

AUTORES

Marianela de la Caridad Ortiz Álvarez

Ingeniera Civil, Dirección de Inversiones, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Hugo Rafael Wainshtok Rivas

Ingeniero Civil, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular y Profesor de Mérito, Centro de Estudios de la Construcción y la Arquitectura Tropical (CECAT), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba. Presidente de la Sociedad Internacional de Ferrocemento, Miembro de la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción en Cuba

Henry Hernández Sotomayor

Ingeniero Civil, Especialista, Instituto de Investigaciones Porcinas (IIP), La Habana, Cuba

Design Of a Fixed-Dome Ferrocement Biodigester Built Partially Underground

Abstract

The analysis, structural design and constructive sequence of a fixed-dome biodigester built partially underground and using ferrocement as construction material under normal work conditions is in this paper developed. The biodigester capacity is 24 m³ and it is composed by a semispherical dome (cover), cylindrical walls (body) and a circular slab (bottom). The biodigester using ferrocement as construction material is in agreement with the service guaranty requirements settled for the established loads. The materials amount were also estimated and compared with a same capacity masonry biodigester. The ferrocement's biodigester construction sequence and its finishing construction steps, assuring the biogas facility's elements were also included. The obtained result of this paper brings a choice for the biodigester's builders that concerning the material's costs is four times cheaper compared to the traditional one.

Key words: biodigester, ferrocement, fixed-dome