



*Acta de la XXXIX Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 4, pp. 03.59-03.65, 2016. Impreso en la Argentina. ISBN 978-987-29873-0-5*

## **PROPUESTA DE UN MATERIAL DESCARTABLE COMO AISLANTE TÉRMICO: APLICACIÓN A UN DIGESTOR ANAERÓBICO ENTERRADO**

**M. Morales<sup>1</sup>, M. Sosa<sup>2</sup>, A. Boucíguez<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup>Instituto de Energías no Convencionales INENCO, Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería. Departamento de Mecánica – Universidad Nacional de la Plata, 48 y 116, La Plata

<sup>1</sup>e-mail: [morales.martin.alberto@gmail.com](mailto:morales.martin.alberto@gmail.com)

*Recibido 11/08/16, aceptado 09/10/16*

**RESUMEN:** Se presenta en este trabajo un material alternativo para utilizar como aislación térmica. Esta fue construida con materiales descartables tales como viruta de madera y botellas descartables PET. Esta aislación fue sometida a un estudio para evaluar la difusión de calor en su interior y así determinar la difusividad térmica a partir de la aplicación de la ecuación de calor. Luego esta aislación fue utilizada para aislar un digestor anaeróbico enterrado. El bajo costo de la aislación incide positivamente en el costo final del digestor. La difusividad térmica calculada permite predecir que la aislación propuesta contribuirá a mantener una adecuada temperatura dentro del digestor.

**Palabras clave:** aislación térmica, digestor anaeróbico, materiales descartables.

### **INTRODUCCION**

La digestión anaeróbica de estiércol animal para la producción de metano es una de las promesas para la utilización de la biomasa residual, ya que resuelve simultáneamente el problema energético y ecológico (Varani and Buford, 1977). Este es un proceso natural en el cual, en ausencia de oxígeno, un conjunto de bacterias entre ellas las metanogénicas convierten la materia orgánica en metano y otros gases. Diversos son el tipo de materia a digerir. A nivel doméstico muchos digestores en el mundo son alimentados con eses de ganado vacuno y porcino (Bon L. and Templenton M. R., 2011; Chen et al 2012)

A medida que los combustibles convencionales, como el gas envasado, se encarecen, el acceso a éstos en zonas rurales, se hace cada vez más difícil. El uso de la leña como una alternativa para reemplazarlos, genera problemas de ambientales y de salubridad, como la deforestación (H.W Dalzell, 1991) y la afección de las vías respiratorias causada por el humo de la combustión (A. Junemann, 2007).

El tratamiento y aprovechamiento de los residuos que se generan en una vivienda rural posee dos grandes ventajas: por un lado, el biogás producido permite reemplazar los combustibles utilizados habitualmente para uso primario, como la cocción de alimentos y el calentamiento de agua; mientras que, desde un punto de vista ambiental, el residuo tratado tiene grandes cualidades como enmendador de suelos, lo que posibilita contar con un abono natural para la siembra, evitando el uso de fertilizantes.

Diferentes tipos de digestores se construyeron de acuerdo al tipo de alimentación, al uso y los recursos disponibles. En particular, los digestores tubulares fueron operados en distintos modelos en latinoamerica y muchos de estos son de bajo costo (Marti-Herrero et al, 2014). Una de las

características de los digestores tubulares es que no poseen sistema de mezclado y calentamiento, por esta razón tienen un rendimiento menor.

La utilización de membranas flexibles de PVC y de polietileno son utilizadas en los digestores de bajo costo como en el caso de los tubulares. En este trabajo se propone la construcción de un digestor con cemento y una membrana flexible de PVC, que tiene la función de impermeabilizar al digestor haciéndolo apto para el contenido de materia orgánica y agua, mientras que el cemento ayuda a la sujeción de dicha membrana. La ventaja que presenta este sistema es que es de fácil armado y se le pueden añadir un sistema de mezclado y calentamiento.

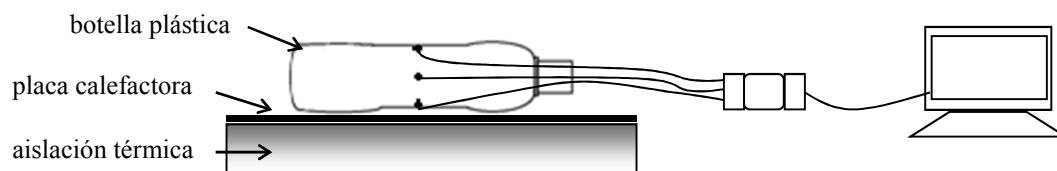
Un adecuado acondicionamiento térmico del digestor brindará las condiciones necesarias para que se lleve a cabo el proceso de manera eficiente. Hay muchos factores que afectan el proceso de digestión anaeróbica de los cuales la temperatura es uno de los más importantes (Zhou Fuchun, 2006) sobre todo si el objetivo es obtener biogás para satisfacer las necesidades energéticas.

Un digestor enterrado tiene la ventaja de minimizar las pérdidas de calor hacia el ambiente ya que se reducen las pérdidas de energía radiativas, que se acrecientan en época invernal por la llegada de las heladas, y las convectivas por acción del viento. La tierra que está en contacto con el digestor tiene una conductividad térmica muy baja, si se encuentra seca, favoreciendo la disminución de las pérdidas conductivas y en invierno, en la ciudad de Salta, cuando bajan las temperaturas, las lluvias son muy escasas, por lo tanto la tierra permanece seca, mejorando aun más la situación.

En este trabajo se estudia el empleo de botellas de PET descartables rellenas con viruta de madera seca para ser usadas como aislante térmico en un reactor anaeróbico enterrado, destinados al tratamiento de residuos orgánicos a nivel familiar en zonas rurales. Se utilizan, materiales con cierta porosidad capaz de inmovilizar el aire y restringirlo en diminutas celdas o compartimientos. La viruta de madera cumple esta función, mientras que la botella la protege de la humedad. Finalmente se calcula la difusividad térmica del conjunto viruta y botella con la ecuación de difusión del calor.

## MATERIALES Y METODOS

A los efectos de estudiar cómo se comporta una botella de plástico rellena con viruta y poder calcular la difusión térmica de la aislación propuesta se ideó una experiencia tal como se presenta en la figura 1. Se midieron las temperaturas entre la placa y las botellas, en el interior de las mismas, en la parte superior de éstas y la ambiente. Los ensayos se realizaron con una cubierta aislante sobre las botellas y expuestas al ambiente. En esta se observa a la botella colocada sobre una placa calefactora y con sensores termopares de cobre y constantan conectados a módulos ADAM para la adquisición de datos, luego las temperaturas fueron registradas mediante una conexión a PC. Con los datos de temperatura se calculó luego la difusión de calor del material.



*Figura 1: Esquema de la experiencia con la botella plástica rellena con viruta.*

A fin de comparar el valor de la difusividad térmica calculada con otros materiales, se lista en la tabla 1 el valor de ciertos materiales usados comúnmente como aislantes en la construcción. La principal diferencia con el aislante propuesto es que la botella se comporta como un buen protector de la humedad, mientras que los demás que se consiguen en el mercado deberían protegerse ya que están expuestos a las lluvias e inclemencias del tiempo. Esto genera un costo mayor que deberá considerarse para la inversión inicial en la implementación de un digestor.

El digester fue construido con bloques de cemento y lona de PVC. Para la construcción de los bloques de cemento se construyó un molde. Estos bloques tienen una ranura central en donde se sujeta la lona con una chapa plana y tornillos. Para el cuerpo del digester se cava un pozo de 0,80 m de ancho por 1,80 m de largo por 1,20 m de profundidad, los bloques de cemento se colocan en la parte superior a una distancia de por lo menos 20cm del pozo. Sobre las paredes del digester se colocan las botellas. El recubrimiento se realiza al final con la membrana de PVC, con esta se logra impermeabilizar las paredes formando una pileta donde se alojara todo el material orgánico. En la Figura 1 se muestra el esquema de construcción del digester anaeróbico.

Material	Difusividad térmica $\cdot 10^{-5}(\text{m}^2/\text{s})$
Espuma rígida	0,04
Fibra de vidrio, vaciado o soplado	0,06
Poliestireno estirado (R-12)	0,04
corcho	0,02

Tabla 1: Difusividad térmica de algunos materiales aislantes (Incropera, 1999).

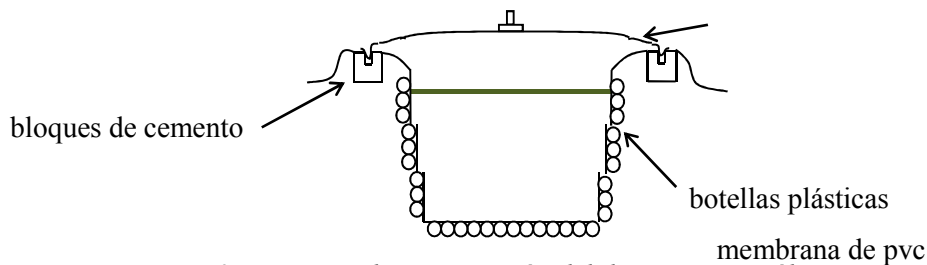


Figura 2: Esquema de construcción del digester anaeróbico.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 3 se presenta la evolución de la temperatura dentro de la botella cargada con viruta. En color magenta, amarillo, celeste y negro se graficaron las temperaturas inferior, medio, superior y ambiente. Dentro de esta se insertan los termopares que miden en el tiempo la variación de la temperatura cuando la placa calefactora es encendida. Luego que la temperatura de la placa se estabiliza en 36°C aproximadamente esta es apagada y la temperatura comienza a descender llegando todas cercanas a la temperatura ambiente. Todos los sensores fueron conectados dentro de la botella. Se observa que se mantiene un salto de aproximadamente 6 °C entre la temperatura inferior, la que está en contacto con la placa y la superior. La experiencia tuvo una duración de 7 horas. La temperatura ambiente se mantuvo cercana a los 22°C, es decir que no tuvo ninguna influencia sobre el resto de las temperaturas.

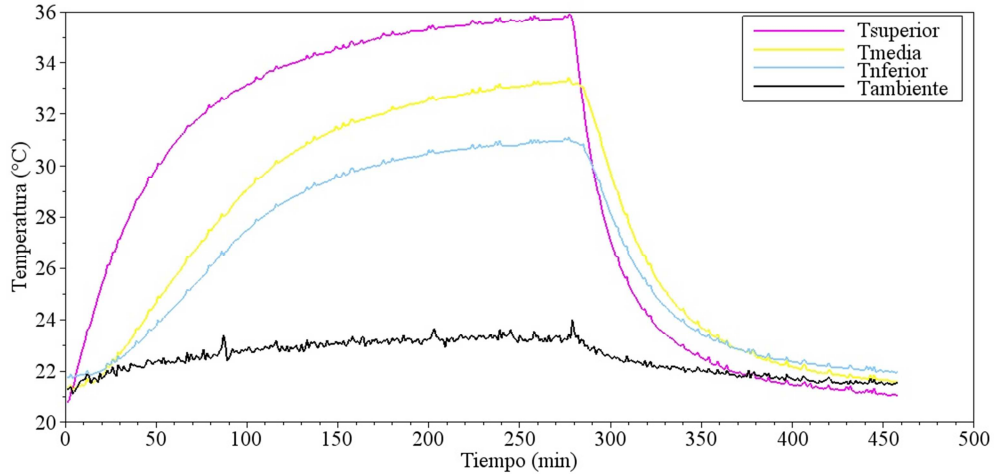


Figura 3. Evolución de la temperatura dentro de la botella rellena con viruta.

### Cálculo de la difusividad térmica

En el modelo difusivo la ecuación de difusión discretizada aparece explícitamente la expresión de la temperatura a calcular. La distribución de temperatura se encuentra a partir de la aproximación en diferencias finitas realizada sobre la ecuación de difusión, [1]. En la forma explícita se calcula la temperatura en el punto  $T_{x,t}$  a partir de las temperaturas correspondientes a la posición señalada, la anterior y la posterior en un paso temporal anterior a  $t$ . Conociendo estas temperaturas es posible calcular la difusión térmica  $\alpha$  del material que se estudia, ecuación 2.

$$\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2} \quad (1)$$

Discretizando

$$\frac{T_{x,t} - T_{x,t-1}}{\Delta t} = \alpha \frac{T_{x+1,t-1} - 2 \cdot T_{x,t-1} + T_{x-1,t-1}}{\Delta x^2}$$

Reordenando

$$\alpha = \frac{\Delta x^2}{\Delta t} \cdot \frac{T_{x,t} - T_{x,t-1}}{T_{x+1,t-1} - 2 \cdot T_{x,t-1} + T_{x-1,t-1}} \quad (2)$$

En la botella se toma a  $T_{x,t}$ ,  $T_{x+1,t-1}$  y  $T_{x-1,t-1}$  como las temperaturas del punto medio, la inferior que está en contacto con la placa y la superior respectivamente.  $\Delta x$  toma el valor igual a la mitad del diámetro de la botella, 0,05 m y  $\Delta t$  es 120 segundos, es el tiempo entre una medida y la siguiente. En la figura 4 se presenta el cálculo de la difusividad térmica, luego de filtrar los datos que no corresponden en el periodo de calentamiento. El valor promedio de la difusividad es de  $5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , la que se grafica en color rojo.

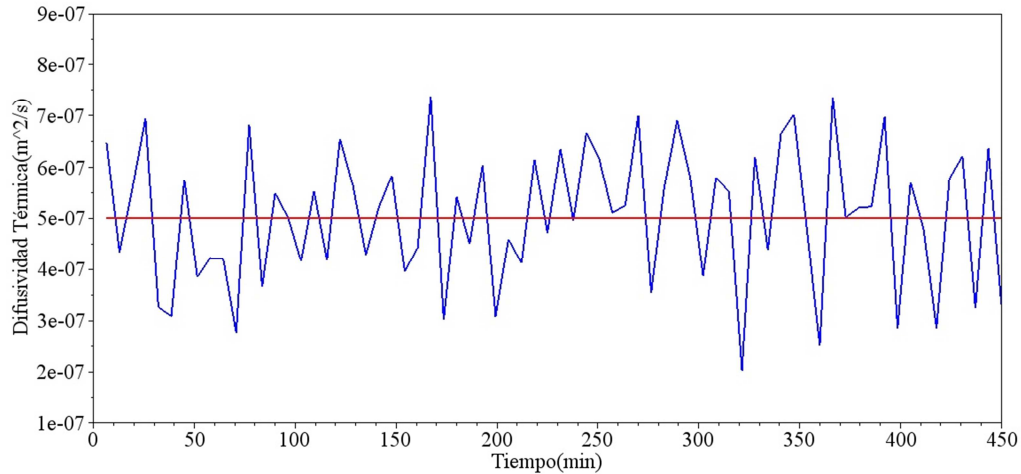


Figura 4: grafica de la difusividad térmica con los datos medidos de la temperatura dentro de la botella con viruta

Con el valor de la difusividad térmica se calcula nuevamente el valor de la temperatura a la mitad de la botella utilizando la ecuación de difusión y la temperatura inferior y superior como dato. Los valores calculados se comparan con la medida tal como se muestra en la figura 5.

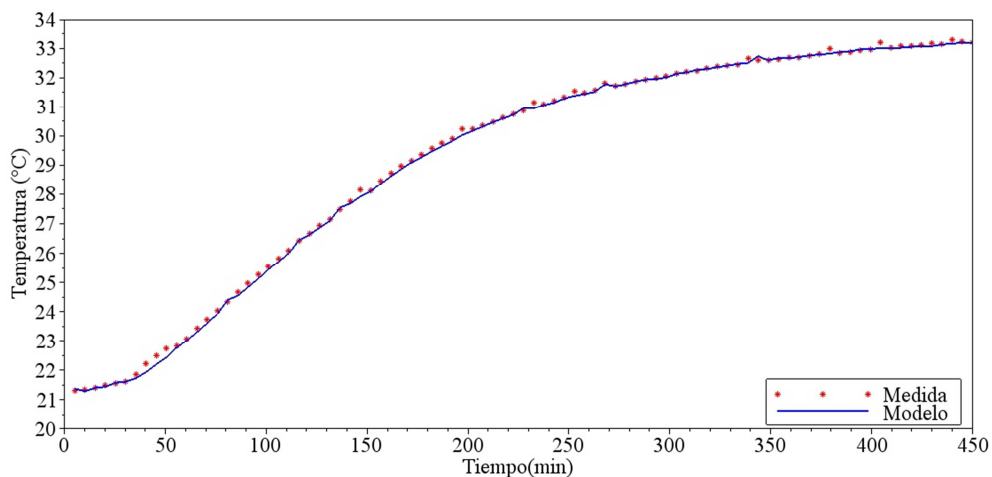


Figura 5: Comparación de la temperatura en el medio de la botella rellena con viruta según la medida y el modelo con la difusividad térmica calculada.

Como se aprecia en la figura 5 el modelo se ajusta muy bien a las medidas de temperatura dadas en la parte media de la botella, por lo tanto el valor promedio de la difusión se considera correcto para utilizarse en futuros modelos predictivos de temperatura.

En la figura 6a y 6b se observa dos imágenes que corresponden a la construcción del digestor en dos etapas diferentes, en la primer imagen se observa la fosa recubierta por las botellas plásticas rellenas con viruta, estas se adosaron a todas las paredes internas. Las botellas han sido aseguradas con hierro torsionado, este a la vez está asegurado por arriba y por debajo. En la segunda imagen se observa la fosa recubierta con la membrana de pvc, esta fue soldada con aire caliente para asegurar que en la unión la membrana al soldarse se funde y selle. En ambas imágenes se observa lo que será la boca de entrada y salida de la carga hecha con caño de pvc blanco de 90 mm de diámetro, dos caños de media pulgada también en pvc para la entrada y salida de agua caliente que circulará en un circuito cerrado dentro del digestor, esto ayudará a mantener las condiciones térmicas deseadas para el proceso de digestión, un caño más de media pulgada servirá para la entrada de sensores de temperatura.



(a)



(b)

*Figura 6. Imagen del digestor en dos etapas de construcción (a) con las paredes internas recubiertas de botellas y (b) recubierta con la membrana de pvc*

## CONCLUSIONES

El material propuesto, botella plástica rellena con viruta, posee excelentes propiedades como aislante térmico. El valor calculado de la difusividad térmica se encuentra entre los aislantes más utilizados en la construcción. Posee dos ventajas respecto de los materiales convencionales: es más económico, encontrándose sin dificultad como material de descarte, tanto la botella como la viruta, que es un residuo en los aserraderos y la segunda es que se encuentra protegido herméticamente de la humedad, considerando que va estar expuesto a la lluvia e inclemencias del tiempo esto es altamente beneficioso.

La aislación térmica permite minimizar las pérdidas de calor, que se traducirá sin duda en una reducción del tiempo de funcionamiento del sistema eléctrico de calefacción que se instalará en el futuro.

Con los valores de la difusividad térmica calculados se construirá un modelo térmico que prediga las temperaturas dentro del digestor a partir de las condiciones ambientales y una fuente de calor auxiliar.

La construcción del biodigestor no presentó ninguna dificultad mayor, su implementación en lugares donde se lo requiera como hogares que tuviesen animales de crianza es factible. Este digestor puede considerarse de bajo costo dadas las características de la aislación y el precio de la membrana.

## REFERENCIAS

- Bon T. and Templenton M. R., (2011). History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Energy Sustainable Dev.* 15, 347-354.
- Chen L., Zhao L., Ren C., Wang F., (2012). The progress and prospects of rural biogas production in China. *Energy policy* 51, 58-63.
- H.W Dalzell. (1991). Manejo del suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. *Boletín de suelos de la FAO* 56.
- Incropera F. P. y Dewit D., (1991). *Fundamentos de Transferencia de calor*, 4ª edición, pp. 826-854.
- Junemann A., et al, (2007) Inhalación de humo de leña: una causa relevante pero poco reconocida de enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica. *Revista argentina de medicina respiratoria* N° 2
- Marti-Herrero J., Chipana M., Cuevas C., Paco G., Serrano V., Zymala B., Heising K., Sologuren J., Gamarra A., 2014. Low cost tubular digesters as appropriate technology for widespread application: results and lessons learned from Bolivia. *Renew. Energ.* 71, 156-165.
- Millan M. y Martín E. (1995). Available solar exergy in an absorption cooling process. *Solar Energy* 56, 6, 505-512.
- Varani F. T. and Buford J. J. (1977). The conversion of feedlot concentration on the kinetic In *Fuels From Waste*, Anderson L. and Bioengineering 24, 2039-2052. L. and Tillman D. A. (Eds), Academic Press, NY
- Zhou Fuchun, et al. (2006). Research achievements and application in anaerobic treatment of organic solid wastes – A review. *Chinese Journal of Geochemistry*. Vol. 25 No. 2, pp 178-181.

## ABSTRACT

An alternative for use as thermal insulation is presented in this paper. This was built with disposable materials such as wood chips and disposable PET bottles. This isolation was subjected to a study to assess the heat diffusion inside and determine the thermal diffusivity after the application of the heat equation. Then this insulation was used to isolate an anaerobic digester buried. Given the low cost of insulation positively affects the final cost of the digester. The thermal diffusivity calculated predicts that the proposed insulation help maintain a suitable temperature inside the digester.

**Keywords:** thermal insulation, anaerobic digester, disposable material.