



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

EVALUACIÓN DE UN AISLAMIENTO TÉRMICO CONSTRUIDO A PARTIR DE MATERIALES DESCARTABLES PARA SU UTILIZACIÓN EN DIGESTORES ANAERÓBICOS

Morales M. ^{*1}, Vilte M. ¹, Sosa M. ² y Boucíguez A. ¹

^{*1} Facultad de Ciencias Exactas. Departamento de Física – Universidad Nacional de Salta
Av. Bolivia 5150, Salta Argentina
correo-e: morales.martin.alberto@gmail.com

² Facultad de Ingeniería. Departamento de Mecánica – Universidad Nacional de la Plata,
48 y 116, La Plata Argentina

RESUMEN

En las últimas décadas la demanda energética ha generado problemas en periodos de mayor consumo. Además el costo de los combustibles crece conforme las reservas se agotan. La búsqueda de una fuente renovable que permita satisfacer parte de la demanda energética domiciliaria constituye un desafío para el desarrollo sostenido de una sociedad.

La biomasa, materia orgánica de procedente de animales y vegetales, es una energía alternativa en creciente desarrollo. Una de las posibilidades para su tratamiento, es la digestión anaeróbica; proceso natural que en ausencia de oxígeno degrada la materia orgánica, generando una mezcla de gases denominada biogás, que contiene principalmente metano.

La producción de biogás a partir de la digestión anaeróbica de desechos orgánicos es una de las energías renovables en continuo crecimiento en la Argentina. Tal tecnología es utilizada ampliamente en países desarrollados.

Los digestores anaeróbicos son contenedores donde tiene lugar el proceso de digestión; deben mantenerse a una temperatura mayor a la ambiente, entre los 25° y 45° C, denominado intervalo mesófilo.

Mantener una temperatura apropiada implica un costo que debe evaluarse a fin de mantener un balance de energía conveniente. Cuanto mayor sea el volumen del digestor mayor será el costo para acondicionarlo térmicamente. La utilización de un aislamiento en los de tamaño familiar es siempre conveniente a fin de disminuir las pérdidas de calor.

Con el objetivo de disminuir los costos iniciales de instalación del digestor anaeróbico se estudia la aplicación de un aislamiento térmico de materiales descartables tales como botellas de plástico y/o viruta de madera.

Se realizan ensayos para analizar el comportamiento del aislamiento propuesto. Posteriormente se lo aplica a un digestor de membrana flexible a fin de evaluar las pérdidas calóricas. Las experiencias demuestran que esta opción es conveniente. Se discuten los resultados desde el punto de vista técnico y económico.

Palabras Claves: *aislamiento térmico, biomasa, digestor anaeróbico, material descartable.*



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

1. INTRODUCCIÓN

La actividad humana genera indudablemente grandes cantidades de residuos. Si bien, parte de ellos son tratados en los vertederos municipales de la Provincia de Salta, el crecimiento constante de sus volúmenes no lo permite en su totalidad lo que conduce a problemas ambientales y de salubridad.

Aunque es tarea de los órganos gubernamentales implementar estrategias o medidas que conduzcan a un tratamiento efectivo de los residuos, mantener una conducta apropiada en su manejo y disposición es también responsabilidad de los ciudadanos.

La reutilización de materiales descartables favorece considerablemente la reducción de los volúmenes de los residuos generados diariamente. Son diversos los métodos empleados y los objetos útiles que surgen de una correcta reutilización o de creativos procesos de reciclajes. Las botellas de PET (politereftalato de etileno) por ejemplo, son ampliamente utilizadas para diversos fines, uno de ellos es el de la construcción de viviendas.

En particular en este trabajo se propone, el empleo de botellas de PET descartables rellenas con viruta de madera seca, para ser usadas como aislante térmico de reactores anaeróbicos, destinados al tratamiento de residuos orgánicos a nivel familiar en zonas rurales de la Provincia de Salta.

Una botella PET vacía constituye un buen aislante térmico ya que el aire lo es, aunque la transmisión de calor por convección se ve favorecida cuando hay un espacio suficiente. Por esta razón 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 PET la protege de la humedad.

La digestión anaeróbica es un proceso natural mediante el cual, en ausencia completa de oxígeno, se degrada la materia orgánica produciendo una mezcla de gases conocido como biogás, que contiene principalmente metano. Utilizando el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir gran cantidad de residuos en subproductos útiles [1].

Al someter los residuos orgánicos a una digestión anaerobia es necesario considerar la temperatura a la que se encuentren. Tal proceso se produce en la naturaleza en un amplio rango de temperaturas, que van desde 0° a 97°C [2]. Sin embargo un valor elevado, dentro del rango



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

mesófilo (25°C a 45°C), favorecerá el proceso de biodigestión, ya que disminuirá los tiempos de retención y será necesario un menor volumen del digestor.

Teniendo en cuenta que la carga de un digestor tiene un elevado contenido de agua y además se cuenta con grandes volúmenes para su procesamiento, mantener una temperatura por encima de la ambiente implica la instalación de un sistema de calentamiento, el cual consume cierta cantidad de energía, cuyo costo es necesario considerar al momento de analizar los costos operativos del sistema.

Cuando se cuenta con grandes volúmenes de procesamiento, no es necesario considerar una aislación térmica; sin embargo, en reactores de tamaño familiar como es el caso aquí analizado, destinado a abastecer de biogás para tareas de lavado y cocción de alimentos, una aislación térmica ayudará a minimizar las pérdidas de calor.

Tanto el digestor como el sistema de calefacción son de fácil construcción y tienen un bajo costo de inversión, lo que hace accesible su aplicación en comunidades rurales del interior de la provincia.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En ensayos de laboratorio se estudiaron las botellas como aislante térmico. Para estudiar su comportamiento térmico se registraron medidas de temperaturas con termopares tipo T, construidos en cobre y constantan, los que se anexaron a módulos ADAM de adquisición de datos que conectados a una PC permitieron el procesamiento posterior de las medidas realizadas.

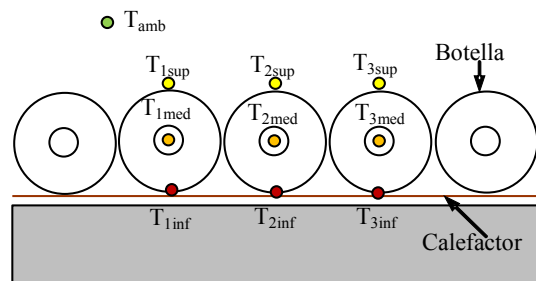


Figura 1. Ensayos de laboratorio con las botellas descartables.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

Para el ensayo de laboratorio se dispusieron las botellas descartables sobre una placa calefactora de temperatura controlable, tal como se muestra en la foto de 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, como se indica en el esquema de la figura ya citada. Los ensayos se realizaron con una cubierta aislante sobre las botellas y expuestas al ambiente. Asimismo, con el fin de comparar el comportamiento del sistema, se usaron botellas con y sin viruta. Hecho esto, se dispuso las botellas como pared aislante para el digestor anaeróbico.

Para la instalación del digestor se cavó una fosa de 50 cm de ancho, 200 cm de largo por 40 cm de profundidad con el objetivo de protegerlo de las variaciones térmicas diarias. El digestor se coloca en esta fosa que posee en su parte inferior un sistema de calefacción constituido por un serpentín de material plástico PVC, una resistencia eléctrica y una bomba que hace recircular agua caliente. En la Figura 2 se observa el sistema completo. Las botellas fueron colocadas en las paredes laterales y por debajo del serpentín.



Figura 2. Vista del sistema calefactor y digestor anaeróbico.

Sobre el serpentín calefactor se dispuso el digestor anaeróbico construido en membrana de PVC de 1100 micrómetros con filtro U.V. y de 280 Litros de capacidad.

Con el digestor se realizaron dos experiencias, la primera sólo con el serpentín calefactor y la segunda se le añade las botellas rellenas con viruta utilizadas como aislación térmica. Para estos



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica

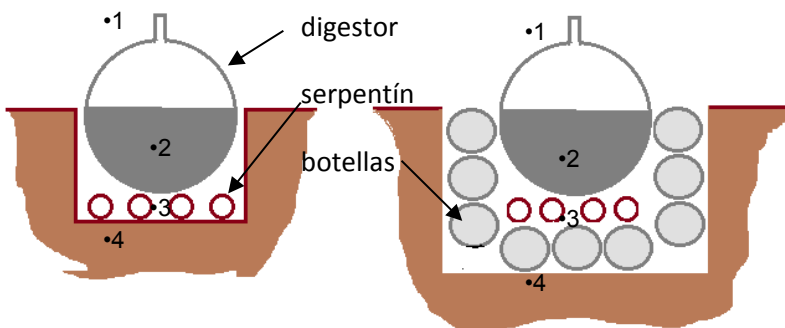


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

ensayos se cargó al digestor con 75 litros de agua. Se censaron las temperaturas como se muestra en la Figura 3.



1) ambiente 2) digestor 3) serpentín 4) tierra

Figura 3. Esquema de la disposición de los sensores de temperaturas.

A modo de comparación entre la viruta, el aire y otros materiales, se presenta en la Tabla 1 las conductividades térmicas de algunos materiales.

Tabla 1. Conductividad térmica [3][4][5] y costo de algunos materiales.

Material	Conductividad térmica (W/m°C)	Costo (\$/ m ²)
Lana de vidrio (50 mm de espesor)	0,032 – 0,044	28,0
Poliestireno expandido (2 cm de espesor)	alta densidad	24,0
	baja densidad	16,0
Viruta de madera	0,045	---
Aire (20° C, 1 atm)	0,026	---

La conductividad térmica de la lana de vidrio, del poliestireno y de la viruta de madera es superior a la del aire, superándola en algunos casos en un 100%. Pero el costo de los dos primeros indica la ventaja de emplear material descartable.

3. RESULTADOS

3.1. Ensayos de laboratorio



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

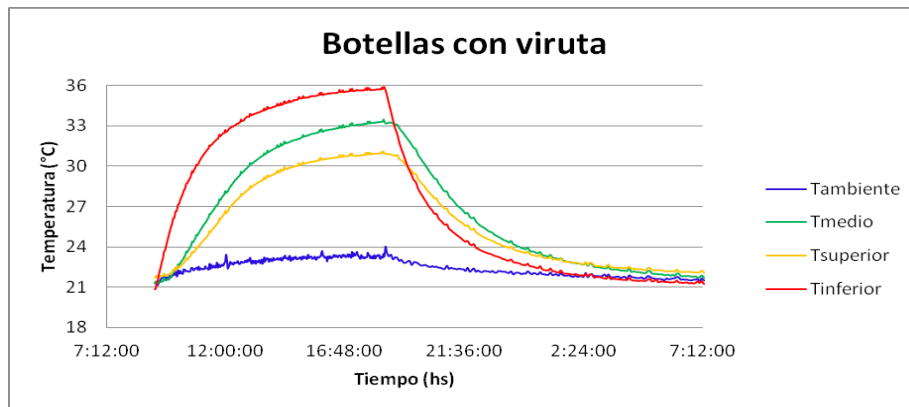
FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

En el laboratorio se ha estudiado el comportamiento térmico de las botellas PET con y sin viruta en su interior. Se ha realizado una comparación entre ambas situaciones para determinar cual se puede considerar mejor aislante térmico. En un primer ensayo se realizó la experiencia con los sensores de temperatura tal como se muestra en la Figura 3. Las botellas fueron aisladas térmicamente de la temperatura ambiente, es decir fueron cubiertas con una aislación de poliuretano expandido.

Se presenta en la Figura 4 los resultados para ambos casos, botellas con viruta Figura 4a y sin viruta Figura 4b. Las temperaturas en color rojo, verde, amarillo y azul, son la temperatura inferior, la media (dentro de la botella), la superior y la ambiente respectivamente. En ambas gráficas las temperaturas iniciales son iguales a la ambiente, luego de unas horas la placa comienza a calentarse y los demás sensores registran este aumento progresivo de la temperatura. Cuando la temperatura alcanza los 36°C aproximadamente se corta el calentamiento y la placa comienza su a enfriarse.

En ambas graficas se observa un salto de temperatura entre la inferior (en color rojo) y la superior (en color amarillo), siendo más grande en el caso de la de las botellas con viruta, lo que indica una menor conducción de calor en este material y por lo tanto una mayor capacidad de aislación.



(a)



IV CAIM 2014

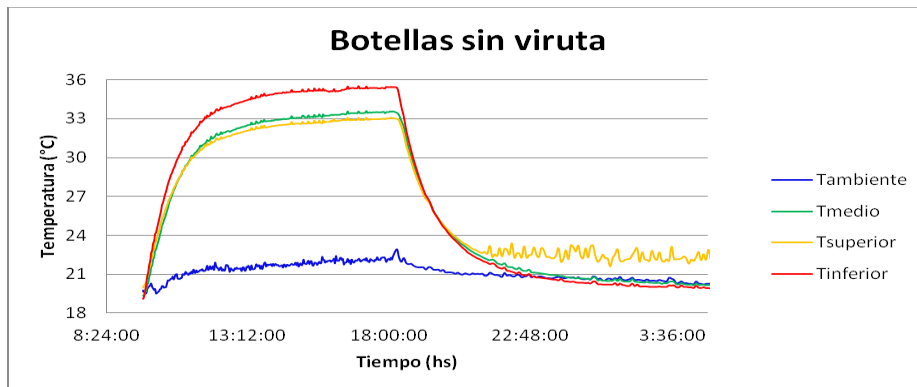
Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI



(b)

Figura 4. Medidas de temperaturas de los ensayos de laboratorio.

Como se observa en la Figura 4a y 4b, la temperatura inferior es la que está en contacto directo con la placa caliente y la botella, ya que el sensor está colocado entre estas. En ambos ensayos, botella con viruta y sin ella, se consiguió estabilizar la temperatura de la placa cerca de los 36°C.

A fin de comparar ambas situaciones, se presenta en la Tabla 2, las temperaturas, en algunos instantes de la experiencia donde la temperatura de la placa está entre 30 y 35 °C.

Tabla 2. Temperaturas registradas en ambos ensayos de laboratorio.

Botella con viruta			Botella sin viruta		
Inferior	Media	Superior	Inferior	Media	Superior
30,1	25,2	24,7	30,1	28,3	28,3
33,0	28,6	27,4	33,0	31,2	30,8
35,4	32,5	30,9	35,4	33,5	32,9

Se observa en la Tabla 2 que hay un salto de temperatura entre la parte inferior y superior que supera los 4°C para el caso de la botella con viruta, mientras que para las botellas sin viruta la variación no supera los 2,6°C.

3.2. Ensayos con el digestor anaeróbico

En la Figura 5 se presenta el registro de temperaturas en la experiencia con el digestor anaeróbico sin aislación térmica. En esta se observa la ambiente en color azul, la del interior del digestor en color verde, la del serpentín en color rojo y la de la tierra en color naranja.

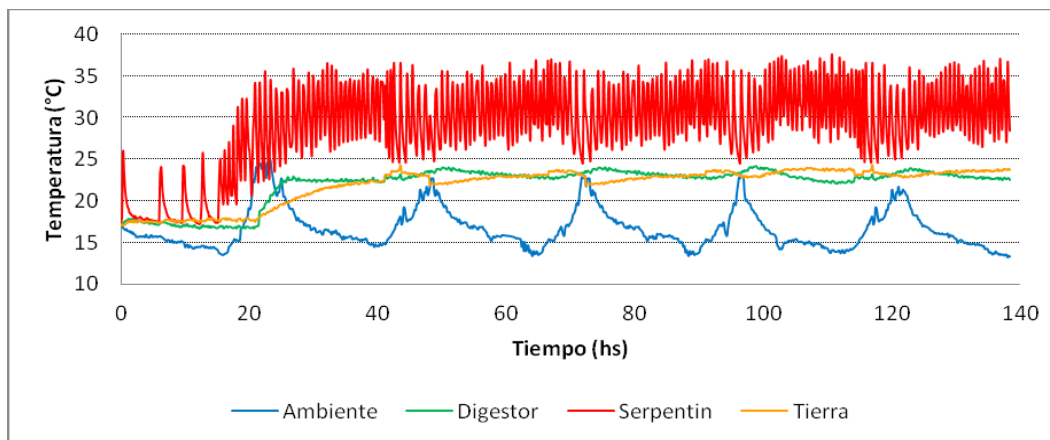


Figura 5. Registro de temperaturas en la experiencia con el digestor anaeróbico sin aislación térmica.

Se observa que a partir de las 20 horas de iniciada la experiencia, la temperatura del serpentín oscila entre 25° y 35°C. Un sistema de control de temperatura permitía desactivar el calentamiento eléctrico y bomba una vez alcanzado los 24 °C en el interior del digestor, mientras que si éste se encontraba por debajo de los 23°C la resistencia eléctrica se activaba para volver a calentarlo, por ello la temperatura del serpentín presenta una forma oscilante.

A lo largo de 5 días de medición la temperatura del digestor se mantuvo estable cercana a los 24 °C. La temperatura de la tierra por debajo del digestor y serpentín, sigue la misma tendencia y en algunos casos supera a la del digestor. Esto se debe a que una gran cantidad de agua en el digestor tarda un cierto tiempo en llegar a su temperatura máxima, además la humedad de la tierra favorece la conducción del calor, o sea que en los días de lluvia se tendrá un aumento en las pérdidas de calor del digestor.

En un segundo ensayo con el digestor anaeróbico se utilizaron las botellas llenas de viruta cubriendo la fosa donde se colocó luego el digestor anaeróbico de membrana flexible, una vez acomodadas las botellas se instaló el serpentín de PVC para el calentamiento del digestor anaeróbico, por encima de las botellas. Figura 6.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI



Figura 6. Disposición de las botellas rellenas con viruta formando el aislamiento térmico y serpentín calefactor.

En la Figura 7 se presenta el registro de temperaturas donde se visualiza con el mismo código de colores del ensayo anterior, las temperaturas ambiente, la del interior del digestor, la del serpentín y la de la tierra.

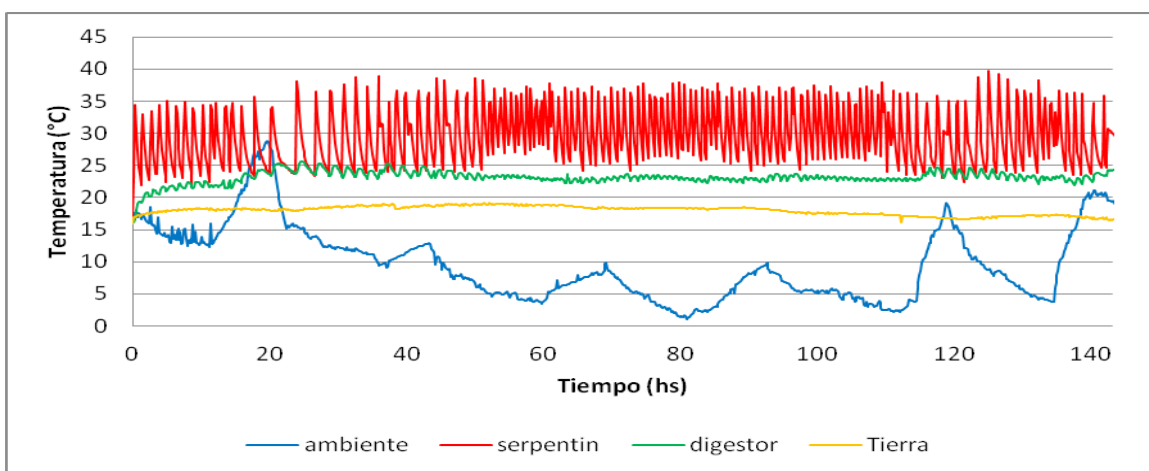


Figura 7. Registro de temperaturas en la experiencia con el digestor anaeróbico con aislación térmica.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

Se observa que la temperatura del serpentín se encuentra entre los 25°C y los 35°C, como en el ensayo sin botellas. La temperatura ambiente durante la mayor parte de los días fue considerablemente más baja, sin embargo la temperatura del digestor se mantiene cercana a los 24°C. Es importante destacar que la temperatura de la tierra, por debajo de la aislación de botellas, se mantiene unos 5°C menor a la del digestor, esto nos muestra el buen comportamiento de la aislación para minimizar las pérdidas de calor del digestor anaeróbico.

En ambos ensayos con el digestor, el sistema de calentamiento funciona igual, este se activa si la temperatura desciende por debajo de 22°C y se desactiva si asciende por encima de los 25°C. El gasto de energía que se invierte para mantener el digestor a esta temperatura puede determinarse a partir del tiempo total que se mantiene encendido el dispositivo de calentamiento, es decir la resistencia eléctrica y la bomba de agua, teniendo en cuenta que las potencias disipadas son 1300W y 55W respectivamente. En la Tabla 3 se muestra la cantidad de horas de funcionamiento del sistema de calentamiento y el gasto de energía invertido durante los 5 días de ensayo.

Cabe señalar que las dos experiencias no se han realizado simultáneamente, sino en días diferentes, siendo los más fríos para la experiencia con botellas. No obstante, el tiempo total de encendido sin botellas supera en 11 horas a la experiencia con botellas.

Tabla 3. Comparación de horas de funcionamiento y energía consumida para ambos ensayos.

Día	Tiempo de encendido (hs)	
	Sin botellas	Con botellas
1	5,2	3,0
2	5,8	2,7
3	5,5	4,3
4	5,7	3,4
5	5,3	2,9
Tiempo total	27,5	16,3
	Energía consumida total (kWh)	
	37,3	22,0

Se observa en la Tabla 3 que se consumen 15,3 kWh más cuando no se cuenta con la aislación. Es necesario invertir más energía y por lo tanto más dinero para mantener funcionando el digestor cuando no se encuentra aislado.

4. CONCLUSIONES

El material propuesto posee buenas propiedades como aislante térmico, como se observó en las mediciones realizadas.

El costo de la materia prima para la fabricación de la aislación térmica es muy bajo considerando que ambos materiales, botella y viruta, son descartables y teniendo en cuenta que solo se gastará en su recolección. Esto resulta altamente benéfico teniendo en cuenta que el digestor anaeróbico es de bajo costo, pensado para ser implementado en zonas rurales para familias de bajos ingresos.

La aislación térmica permite minimizar las pérdidas de calor, que se traduce en una reducción del tiempo de funcionamiento del sistema eléctrico de calefacción.

La implementación del sistema de aislamiento térmico para su utilización en digestores anaeróbicos, construido a partir de materiales descartables resulta satisfactorio desde el punto de vista tanto técnico como económico.

5. REFERENCIAS

- [1] C. Pozuelo. Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria, Tesis Doctoral, Universidad de Lleida, Madrid, 2001.
- [2] Muñoz Valero, J.A., Ortiz Cañavate, J., Vázquez Minguela, J. Técnica y aplicaciones agrícolas de la biometanización. Serie Técnica- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid 1987.
- [3] Ens. Applus CTC.LGAI Technological Center, Expediente nº06 / 32300346.Victermofitex
- [4] F. Incropera; D. Dewitt, Fundamentos de la transferencia de calor, (4ª ed). ISBN 9789701701706, 1969.
- [5] J. A. Duffie, W. A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, 4th Ed., John Wiley & Sons, 1980.