ASADES

Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente
Vol. 13, 2009. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184

ACONDICIONAMIENTO TERMICO DE DIGESTORES ANAEROBICOS CON SUSTANCIAS DE CAMBIO DE FASE

M. Morales[1], A. Boucíguez[2] y G. Plaza[3]
[1]*Becario CIUNSA – CONICET Av. Bolivia 5150, 4400 Salta, morales.martin.alberto@gmail.com.*
[2]Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de Salta. Av. Bolivia 5150, 4400 Salta, acbouciguez@gmail.com.
[3]Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Salta. Av. Bolivia 5150, 4400 Salta, gloria@unsa.edu.ar.

RESUMEN: Se presenta un estudio experimental del comportamiento térmico de un digestor anaeróbico acondicionado térmicamente con una sustancia de cambio de fase. El digestor se encuentra en el interior de un invernadero con el propósito de mantener las condiciones de temperatura necesarias para fundir la sustancia acumuladora que rodea al recipiente que contendrá la biomasa, así como para favorecer el proceso de biodigestión. Los resultados muestran que la presencia de tales sustancias contribuye a atenuar satisfactoriamente las oscilaciones diarias de temperatura.

Palabras claves: biodigestor anaeróbico, sustancia de cambio de fase, control de temperatura

INTRODUCCION

Las bacterias productoras de biogás en un proceso de digestión anaeróbica, son sumamente sensibles a los cambios de temperatura, por lo que mantener las condiciones térmicas óptimas dentro de un biodigestor resulta crucial para la obtención de biogás. Es sabido que las condiciones térmicas en las que operan los reactores permiten un amplio rango de temperaturas. Sin embargo, una vez iniciado el proceso de digestión, ésta debe mantenerse tan constante como sea posible para su correcta operación. (Verma, 2002)

Existen dos rangos de temperatura óptimos, uno es el mesófilo cuyo intervalo se encuentra entre 30ºC y 40ºC, mientras que el comprendido entre los 45ºC y 60ºC se denomina termófilo. Cabe aclarar que la producción de biogás es posible a temperaturas menores a 30ºC, sin embargo la tasa de producción de gas es menor. (Pfeffer, 1974; Ten Brummeler, 1993; Verma, 2002)

Las sustancias de cambio de fase como material acumulador logran adaptarse perfectamente a los sistemas solares de acondicionamiento térmico a la vez que permiten acumular energía tanto en forma sensible como latente. (Abhat, 1983; Hasan y Sayigh, 1994; Lock, 1996; Boucíguez et al, 2003; Farid et al, 2004). Los volúmenes necesarios de sustancia de cambio de fase, para el acondicionamiento son comparativamente pequeños respecto de otros utilizados tradicionalmente, en razón de sus parámetros térmicos. (Swern, 1964)

Con el propósito de estudiar la posibilidad de calefaccionar un digestor durante el día con energía solar se implementa un sistema que complementa la acumulación de calor en forma sensible y latente con sustancias de cambio de fase. El dispositivo se encuentra dentro de un pequeño invernadero cuyo objetivo es elevar la temperatura a valores mayores a la de fusión de la sustancia acumuladora y proteger el tanque de la acción del viento. Para lograr una mayor captación de la radiación se añade una cobertura negra al contenedor. Asimismo, la sustancia de cambio de fase, contribuye a reducir las amplitudes térmicas día – noche.

La sustancia de cambio de fase utilizada para este propósito es grasa vegetal, cuyos parámetros térmicos han sido medidos experimentalmente (Vilte y Boucíguez, 2007) observándose también que soportan reiterados ciclos de fusión - solidificación, sin modificaciones apreciables en tales parámetros, ellos son:

- Densidad: $\rho = 880$ kg/m^3.
- Conductividad térmica: $k = 0.58$ W/m ºC
- Capacidad calorífica: $c = 5800$ W/m ºC
- Calor latente de fusión: $L = 100$ kJ/kg
- Temperatura de fusión: $T_f = 35$ ºC

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

La experiencia fue montada en la terraza del edificio de Física, de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de Salta, donde se cuenta con la infraestructura necesaria para la instalación de equipos de toma y adquisición de datos, así

como para la realización de experiencias; asimismo su extensión permite que puedan realizarse diversas prácticas sin interferencia entre ellas. El dispositivo experimental consta de un invernadero pequeño de forma cilíndrica de 60 cm de radio y 80 cm de altura, con cubierta de plástico de polietileno LDT de 150 micrones; un recipiente que actúa como digestor con una capacidad de 20.4 litros, rodeado de la sustancia de cambio de fase de 2.7 cm espesor, el que se muestra en la Figura 1.

Figura 1: Dispositivo experimental utilizado ubicado en el predio de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNSa.

En la Figura 2 (izquierda), se esquematiza el mismo dispositivo experimental, donde para el aislamiento superior, representado en color celeste grisado, se utilizó polietileno expandido de 5 cm de espesor; estando apoyado sobre una base de arena, señalada en color gris. En ella se muestra también la colocación de los sensores para el registro de temperatura, señalándose la denominación que los identifica.

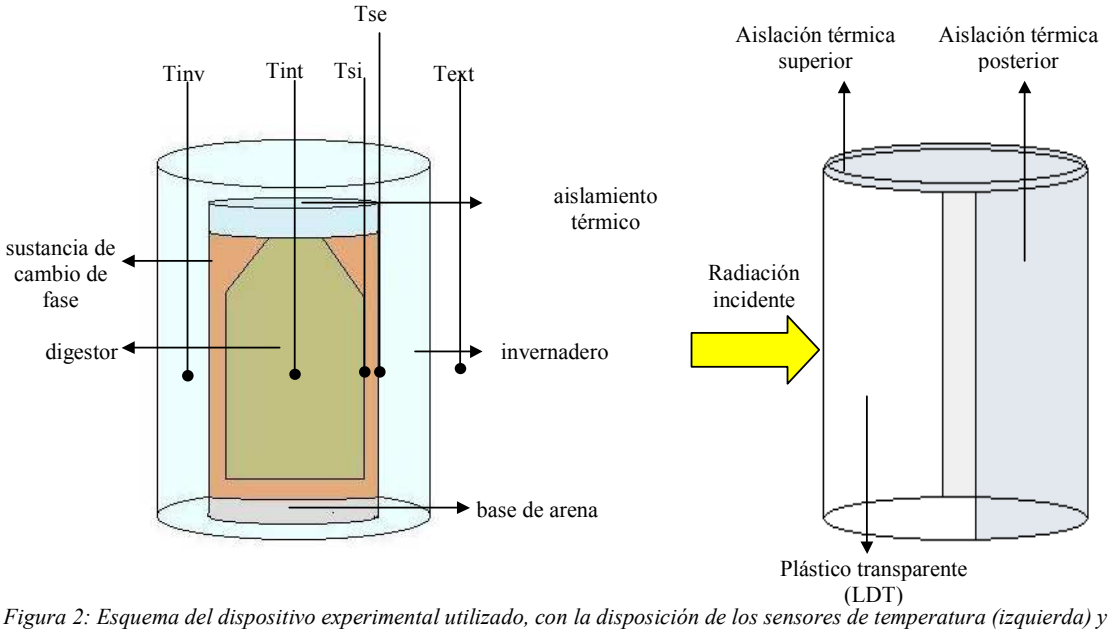

Figura 2: Esquema del dispositivo experimental utilizado, con la disposición de los sensores de temperatura (izquierda) y con cobertura adicional (derecha).

Cabe aclarar que además el invernadero cuenta con una cobertura adicional externa permanente de polietileno expandido de 1cm de espesor en su parte superior y en la zona posterior, donde no se recibe la radiación solar directa, lo que contribuye a evitar las pérdidas de calor, Figura 2 (derecha).

El lecho inferior de arena, cumple la función de mantener el dispositivo aislado del suelo, nivelarlo evitando las imperfecciones del mismo y actuar como un acumulador de calor sensible. El biodigestor fue construido, como puede apreciarse por sus dimensiones, a escala de laboratorio y está pensado para operar en forma discontinúa.

Los sensores de temperatura, consisten de pares termoeléctricos tipo T de cobre-constantan, colocados en el interior del invernadero, en la sustancia de cambio de fase y en el tanque, los que se incorporan a módulos ADAM, que conectados a una PC permiten el registro y posterior procesamiento de los datos.

DESCRIPICION DE LA EXPERIENCIA

A los efectos de observar el comportamiento del conjunto invernadero – material de cambio de fase, en el mantenimiento de temperaturas alrededor de un valor constante, reduciendo las oscilaciones térmicas día – noche, se efectuó una primera experiencia llenando el recipiente interior (que luego contendría el sustrato) con agua, para observar si el dispositivo propuesto era capaz de mantener la temperatura en su interior con poca oscilación térmica. Se han tomado registros de distintos días con diferentes temperaturas ambientes, en periodos de buena radiación y alta temperatura diaria. De ellos se han seleccionado dos días seguidos, representativos de las temperaturas típicas de la época en Salta y otro con una maxima mas alta.

En las Figuras 3 y 4 se presenta los registros correspondientes a las medidas realizadas en periodos día – noche. Las temperaturas fueron tomadas a la intemperie (Text, graficada en color marrón), dentro del invernadero (Tinv, en color azul), en la superficie externa con el sensor en contacto con la sustancia de cambio de fase (Tse, en color verde), en la superficie interna de la misma sustancia, la que se encuentra en contacto directo con recipiente que contiene el agua (Tsi, en color negro) y en el centro del dicho recipiente (Tint, en color rojo). En ambas figuras se ha respetado el mismo código de colores.

En la Figura 3, se presentan el registro correspondiente a los dos días seguidos en los que las temperaturas máximas y mínimas fueron de 25ºC y 5ºC y de 22ºC y 5.5ºC para el primer y segundo día respectivamente. En ella se observa que la temperatura alcanzada por el agua oscila entre 18 y 28 ºC

Se observa también, que los valores de temperatura alcanzados dentro del invernadero en las horas de máxima radiación son suficientes para fundir la sustancia de cambio de fase desde la superficie externa, sin embargo las temperaturas medidas en la superficie interna de la capa de dicha sustancia no superan la de fusión, esto pone de manifiesto que ella no llega a fundirse completamente por lo que actúa como moderadora de la temperatura del agua; pudiéndose por tanto disminuir el espesor de dicho material, para condiciones externas similares.

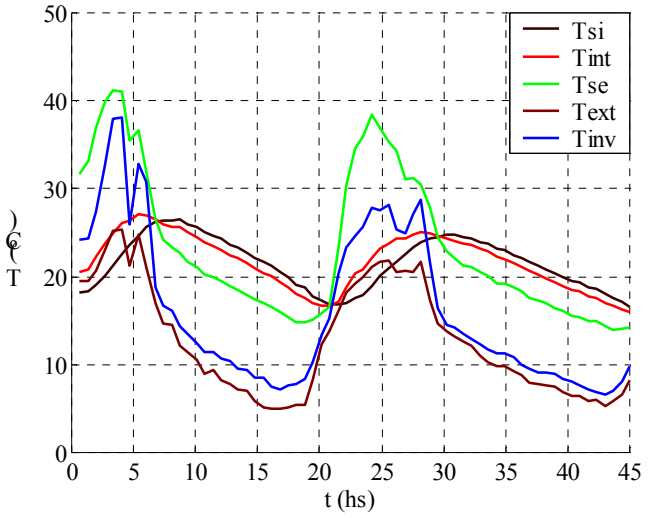

Figura 3: Temperaturas registradas para el tanque de agua en dos días seguido, de máximas 25 y 22 ºC.

En la Figura 4 se muestra el registro correspondiente a otro día en el que la máxima alcanzó los 28ºC siendo la mínima de 9ºC. En este caso la temperatura del agua estaba entre los 20 y los 30 ºC. En ella se observa como la temperatura en el interior es atenuada dando una amplitud térmica menor a lo largo del día. Se ha respetado la misma simbología y el mismo código de colores que en la Figura 3.

De la comparación de ambas se infiere que a pesar de tener diferentes temperaturas máximas y mínimas en el interior del invernadero la temperatura del agua se mantiene dentro de los mismos rangos, con prácticamente la misma amplitud térmica.

Se observa que si bien la temperatura externa varia en algunos grados, la temperatura máxima a la que llega la superficie externa del contenedor es de 40°C aproximadamente en ambas figuras, esto explica el comportamiento térmico similar dentro del digestor en ambos casos.

Habiéndose constatado que el dispositivo mixto (invernadero – material de cambio de fase – acumulador de arena) es capaz de atenuar las oscilaciones térmicas días – noche, se ha realizado la experiencia utilizando estiércol vacuno, en un porcentaje de 50% en agua, como es habitual en medios rurales. El mismo, fue colocado en el recipiente que anteriormente contenía el agua.

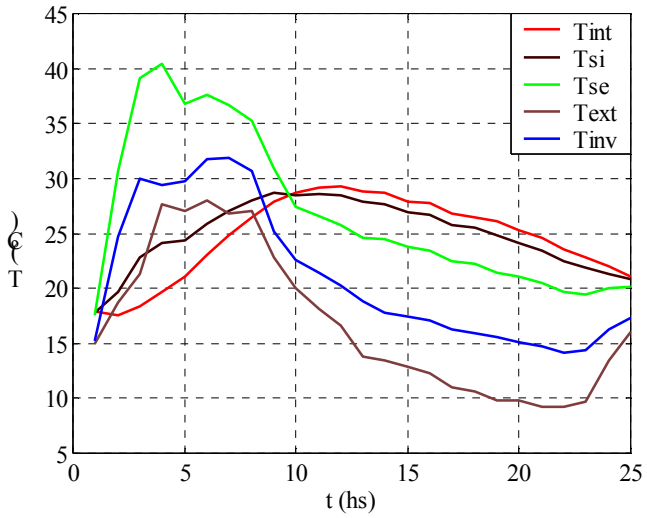

Figura 4: Temperaturas registradas para el tanque de agua en un día con máxima de 28 ºC

En la Figura 5, se presentan los registros de temperatura correspondientes para el estiércol vacuno, a lo largo cuatro días continuos, siguiendo la misma simbología y el mismo código de colores que en las figuras anteriores. Obsérvese que en este caso, Tint representa la temperatura de la biomasa, en color rojo.

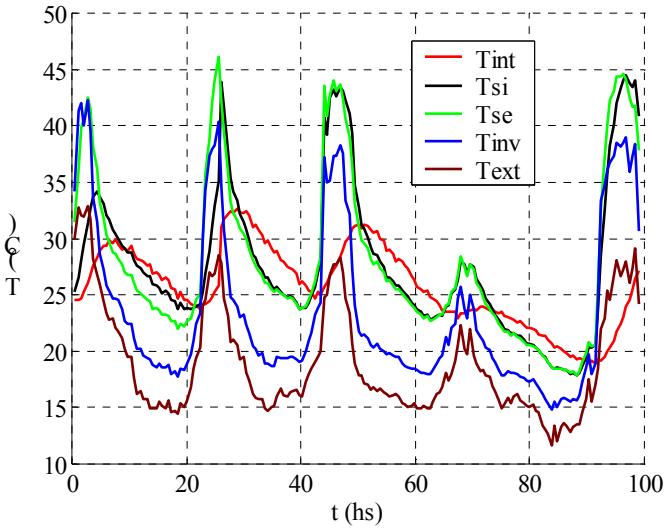

Figura 5: Temperaturas registradas para el tanque de biomasa, durante cuatro días.

Las máximas temperaturas externas son 33, 28, 29 y 22ºC mientras que las mínimas son 14.3 ,14.4, 15 y 12ºC para el primer, segundo, tercer y cuarto día respectivamente.

Se observa que en los primeros tres días la temperatura del interior del digestor oscila entre los 25 y 30 ºC aproximadamente, mientras que en el cuarto día la temperatura externa decae considerablemente con el consiguiente efecto de reducir también la del interior del digestor.

A diferencia de las medidas hechas con agua solamente, en este caso se observa que la amplitud térmica total dentro del digestor se redujo en 5°C, lo que por supuesto favorece la producción de biogás. Sin embargo cuando la temperatura externa decrece también lo hace la del interior del digestor.

Como puede apreciarse de la curva que representa a la temperatura Tsi, en color negro, que registra la temperatura en la superficie interna del material de cambio de fase, (que se encuentra en contacto con el tanque) se encuentra muy próxima a la Tse que corresponde a la superficie externa del material. Al remover el dispositivo experimental se observa que la primera (Tsi) se ha corrido, introduciéndose en el material de cambio de fase, encontrándose muy próxima a la superficie externa, y por tanto a Tse, lo que explica tal comportamiento.

A los efectos de completar el estudio se realizó una simulación numérica del comportamiento térmico del biodigestor, con el objetivo de compararlo con la experiencia y contar con una herramienta que permita obtener rápidamente las temperaturas que podrían alcanzarse en el mismo a los fines de realizar un pre diseño de cualquier otro dispositivo a ensayar. El mismo se realizo sobre la base un trabajo anterior (Morales et al, 2009). El mismo fue realizado en lenguaje Matlab, que gracias a su versatilidad permite visualizar rápidamente los resultados.

Los resultados se presentan en la Figura 6, donde se observa la condición de borde impuesta a la superficie externa graficada en color verde, que corresponde a los datos medidos en la experiencia llevada a cabo con estiércol vacuno, la temperatura obtenidas de la simulación, en color rojo y finalmente, en color azul, la temperatura medida en la biomasa. Asimismo, este cálculo permitió corroborar que la temperatura en el límite entre la biomasa y el material de cambio de fase, debería encontrarse próxima a la del estiércol, tal como se aprecia en el caso del agua.

Se observa que en el primer día la temperatura calculada sigue con mayor fidelidad las medidas tomadas en la biomasa, mientras que para el resto de los días ésta se aleja unos grados. Se advierte que tanto las medidas como los cálculos arrojan la misma diferencia tanto donde se dan los registros más altos como los más bajos, la diferencia entre los valores registrados y los obtenidos por simulación es del orden de 2ºC.

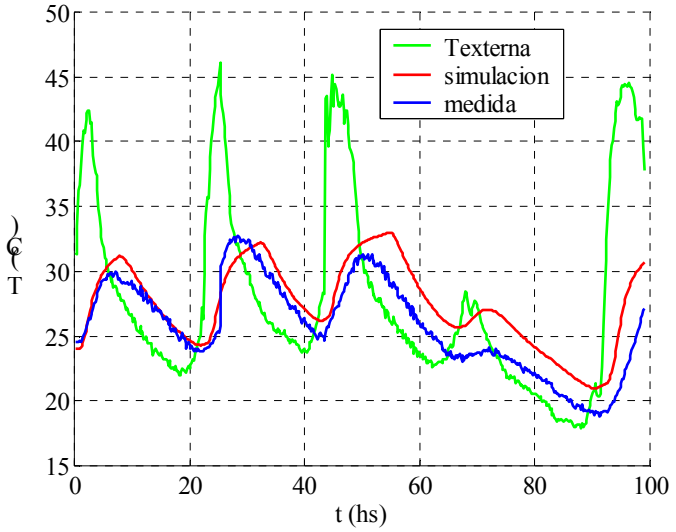

Figura 6: Comparación de los datos de temperatura medida y la simulada en la biomasa

ANALISIS DE RESULTADOS

El ensayo realizado con agua, permitió observar el comportamiento experimental, del conjunto invernadero, material de cambio de fase y tanque, a los efectos de luego sustituirla por la materia prima a utilizar en la digestión; así como observar si efectivamente se produce el efecto deseado de moderar las diferencia térmicas diarias.

Los resultados obtenidos muestran que el dispositivo mixto propuesto, consistente en el invernadero, con el agregado del lecho de arena y la cobertura del tanque que contiene el sustrato y el material de cambio de fase, ayuda a mantener las temperaturas en el rango requerido para la biodigestión, contribuyendo el material de cambio de fase a moderar los saltos térmicos día – noche. La cobertura aislante en la zona no expuesta a la radiación solar y la base de arena han permitido disminuir las perdidas de calor durante la noche.

También se advierte que las oscilaciones de temperaturas son atenuadas dentro del digestor, sin embargo cuando la temperatura externa desciende, también lo hace la del tanque que contiene el sustrato, lo que lleva a pensar en mantenerla por alguna otra vía.

CONCLUSIONES

El dispositivo mixto propuesto contribuye a mantener las temperaturas en el rango requerido para que se produzca la digestión, favoreciendo el material de cambio de fase a moderar la amplitud termica.

Las oscilaciones térmicas son atenuadas dentro del digestor, sin embargo debido a que el descenso en la temperatura externa es acompañado por el decaimiento en las del tanque donde se debe producir la digestión, y siendo necesario mantenerla tan constante como sea posible para evitar la interrupción en la producción de gas, seria preciso complementar el dispositivo con una energía auxiliar, la que podría provenir de una fuente externa que utilice energía convencional (eléctrica o de gas) o mejor aún, proceder de otro dispositivo solar, como por ejemplo un acumulador de piedra o un colector de aire.

Asimismo, también resultará útil, a los efectos de uniformizar la temperatura en el interior del tanque donde se acumulará el sustrato realizar un mezclado del mismo.

El modelo numérico utilizado, si bien no es el objetivo de este trabajo, permite realizar una rápida evaluación del dispositivo propuesto estimando por tanto su factibilidad de operación antes de ser construido y con ello decidir directamente su implementación o realizar las adecuaciones necesarias para su mejor funcionamiento.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el marco del Proyecto de Investigación Nº 1554, del Consejo de Investigaciones de la Universidad nacional de Salta, a quien se agradece su financiamiento.

REFERENCIAS

Abhat, A. (1983) Low Temperature Latent Heat Thermal Energy Storage: Heat Storage Materials. Solar Energy, vol 30 N° 4 pp 313 – 332.

Boucíguez, A Villa, L y Lara, M. (2003) Thermal Conditioning Using Phase Change Materials. Revista Engenharia Térmica (RETERM). ABCM. Nº 3, pág. 71 - 74.

Farid, M; Khudhair, A; Razack, S; Al-Hallaj, S. (2004) A Review on Phase Change Energy Storage: Materials and Applications. Energy Conversion and Management Nº 45, pp. 1597 – 1615.

Hasan, A y Sayigh, A, (1994) Some Fatty Acids as Phase Change Thermal Energy Storage Materials. Renewable Energy, Vol. 4, N° 1, pp. 69 – 76.

Lock, G. (1996) Latent Heat Transfer. An Introduction to Fundamentals. Oxford Engineering Science Series.

Morales, A, Boucíguez, A y Plaza, G. (2009) Estudio de Factibilidad de Acondicionamiento Térmico de un Biodigestor con Sustancias de Cambio de Fase, presentado y aceptado en XIII Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones, (ENIEF 2009) a realizarse en Tandil (pcia. Bs. As.) 3-6/11/09.

Pfeffer, J. (1974) Temperature Effects on Anaerobic Fermentation of Domestic Refuse. Biotechnology and Bioenginery. Nº 16, 771-787.

Swern, D. (1964) Physical Properties of Fats and Fatty Acids Cap. 3 Bailey's Industrial Oil and Fat Products, 2da. Edición.

Ten Brummeler E. (1993) Dry anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste, Doctoral Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.

Verma S. (2002) Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid waste. Thesis for Master Sciences. Columbia University. USA.

Vilte, M y Boucíguez, A. (2007) Estudio Experimental del Comportamiento Térmico Grasas Orgánicas. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol.11, pág. 3.25 – 3.31. ISSN 0329-5184

THERMAL CONDITIONING OF ANAEROBIC BIODIGESTOR USING PHASE CHANGE MATERIALS.

Abstract: An anaerobic biodigestor experimental study using phase change materials is presented here. The biogestor is placed into a green house, with the purpose of improving the adequate temperature conditioning to melt substance and contribute to the biodigestor process. The obtained results show that such substances attenuate successfully the diary oscillations temperature.

Keywords: anaerobic biodigestor, phase change materials, temperature control.