

# Monitoreo y registro en tiempo real de parámetros de un proceso a baja escala de producción de biogás mediante un sistema mecatrónico simple

Dena-Aguilar José Alonso, Zacarías-Moreno Edgar, Salas-Aguilar Claudia Lizeth, Nájera-Solís Oscar Martín, Puga-Vargas Alejandro

Tecnológico Nacional de México/I. T. de Pabellón de Arteaga.

## Resumen

Se ha optimizado y desarrollado un sistema mecatrónico simple a base de electrónica modular para lograr construir una base de datos experimental de gran tamaño de un proceso a baja escala de producción de biogás. El sistema embebido construido permite monitorear y registrar los parámetros de temperatura, porcentaje de humedad, presión diferencial y concentración de gas metano durante la operación 24/7 de un biodigestor de baja escala. El reactor automatizado fue puesto en marcha en una granja de crianza de ganado por lotes y empleando estiércol de vaca. Poco más de 40 mil datos por variable por lote se obtuvieron en promedio cada 40 s permitiendo sugerir que el sistema mecatrónico desarrollado funciona adecuadamente en el monitoreo y registro de parámetros. Se detecta que los valores obtenidos son dependientes de la naturaleza de origen de la biomasa y de la temperatura del medio ambiente. Para el lote 1, los datos registrados de concentración de gas metano, temperatura, humedad y de presión presentaron una baja, moderada, alta y muy alta variabilidad respectivamente.

## Abstract

A smart mechatronic system with modular electronic was designed and optimized to build an extensive experimental data base from small biogas process. The embedded system and the small-scale digester tank were operated for 24/7 both to obtained the measure and data recording the temperature, humidity, differential pressure and the methane gas concentration. The automated equipment was installed in a small cow farm and was operated like a batch reactor using cow manure as substrate. More than 40 thousand data experimental was obtained per variable per sample each 40 seconds that allows to suggest that the equipment worked fine to the measure and biogas data recording. The values for each sample suggest that the process is dependent from biomass sources and from environment temperature. The concentration, temperature, humidity and differential pressure were low, moderate, high and very high variability data respectively for sample 1.

**Palabras claves:** Biogás, sistema mecatrónico, biodigestor, coeficiente de variación.

**Keywords:** Biogas, mechatronic system, biodigester, coefficient of variation.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las energías renovables son una opción para producir energía alternativa y coadyuvar a reducir la dependencia de los combustibles fósiles para generarla. Dentro de este contexto la energía de biomasa (sustratos orgánicos) es una fuente de energía alterna de bajo costo y accesible para producir biogás como combustible alternativo para generar electricidad o calor [1, 2]. Como sustratos es común emplear desechos de comida, residuos de celulosa o estiércol de animales.

El biogás es un producto en estado gaseoso resultante de la biodegradación de la materia orgánica por acción de microorganismos bajo un ambiente anaeróbico y comúnmente llevado a cabo en recipientes herméticos y habilitados para poder recolectar el volumen de gas metano generado y ser conducido hacia sus aplicaciones finales [3]. Los procesos de biodigestión anaeróbica se caracterizan por el uso de diferentes sustratos donde

microrganismos realizan una serie de reacciones químicas para degradar la materia en productos como el gas metano y otros [4]. Dentro de las condiciones de operación que comúnmente se reportan en la literatura son operar los reactores en periodos de 10 a 20 días bajo temperaturas de condiciones mesofílicas (30-40 °C) o termofílicas (50-55 °C) [5, 6].

Para sustentar la capacidad de producción de biogás de un proceso de digestión anaeróbica se emplean métodos experimentales simples de medición de volumen de gas por desplazamiento intermitente o continuo de líquidos, por medición potencial de biometano o en su caso se utilizan equipos gasómetros sofisticados [7-10]. Estas técnicas permiten cuantificar la concentración de gas metano en el biogás.

Poder tener disponibilidad de un equipo automatizado para registrar datos cuantitativos de producción de biogás podría facilitar la recolección de los datos experimentales para su posible uso en estudios cinéticos del proceso o en trabajos de modelación mediante inteligencia artificial o modelos matemáticos [11-14].

El presente trabajo expone un método automatizado para el monitoreo y registro en tiempo real de las variables de operación en la producción de biogás mediante un sistema mecatrónico inteligente. En particular, el presente estudio se sustenta en un trabajo previo reportado por Dena-Aguilar *et al.* [15] y en donde ahora se propone el registro 24/7 de los datos de concentración de gas metano, presión diferencial, temperatura y porcentaje de humedad empleando también excremento de vaca como sustrato.

## 2. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizó un equipo biodigestor automatizado desarrollado por Dena-Aguilar *et al.* [15] en un trabajo previo, al cual se le aplicó reingeniería para poder habilitar un nuevo sistema embebido, una trampa de agua y un receptor del biogás generado. En este trabajo se empleó como recipiente de biodigestión un contenedor de polietileno de alta densidad de 120 L previsto con una entrada de alimentación y salida de gas. El equipo opera bajo un funcionamiento tipo batch (por lotes) debido a que no cuenta con demás salidas de lodos o lixiviados (líquido *biol*). El equipo se operó de manera hermética. Se empleó el equipo sobre la superficie para facilidad de toma de lecturas. Ningún equipo de agitación o de control de la temperatura fue implementado. Como trampa de agua se empleó un recipiente de polietileno de 20 L de capacidad adaptado para la entrada/salida de mangueras de conexión. Como receptor del gas generado se empleó una cámara de llanta de tractor agrícola, a la cual se le adaptó una manguera de entrada de gases. En la Figura 1 se presenta una imagen del equipo empleado.

El equipo se instaló y se puso en operación en el Rancho Valle de Guadalupe ubicado en el Km. 2.0, carretera a Ejido California del Municipio de Rincón de Romos, Aguascalientes. Para asegurar contar con suministro de energía eléctrica 24/7, se habilitó una toma de corriente cercana al biodigestor. Como materia orgánica se empleó estiércol “fresco” de vaca sin ningún tratamiento previo de humidificación o neutralización. Se estableció un volumen aproximado de trabajo para cada carga equivalente a 3/4 de capacidad del equipo (aprox. 90 L). En la Figura 2 se visualiza el aspecto de la materia orgánica empleada, previa a su colocación en el biodigestor.

Ningún diseño experimental robusto fue empleado, simplemente se determinó operar el equipo con cargas de 20 días de permanencia cada una en el biodigestor y registrar las 24 horas las variables de operación definidas.



**Figura 1.** Sistema de biodigestión empleado: se observa el contenedor biodigestor, la trampa de agua, el receptor de gas y la caja de control del sistema embebido.



**Figura 2.** Residuos de ganado vacuno empleados para la producción de biogás.

Se determinó realizar el monitoreo y registro de (1) la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), (2) la presión diferencial (kPa), (3) la humedad (%) y (4) la concentración de gas metano (ppm) – biogás ( $\text{CH}_4$ ) – alcanzados dentro del biodigestor durante la producción de biogás lograda. Al sistema embebido de soporte se le aplicó una nueva reconfiguración de interfaz y conectividad de sensores y módulo de registro de datos de tal manera que se puede realizar el registro de datos *in situ* y en tiempo real, retirar el dispositivo de registro, descargar el archivo de datos generado y exportarlo a un software procesador de textos gráfico. El sistema embebido optimizado se basa en electrónica modular para Arduino y todos los elementos se fijan en la caja de control. La caja de

control se instaló a un costado del biodigestor por facilidad de conectividad e interfaz, ver Figura 1. El sistema embebido consta de los siguientes elementos: (a) 1 microcontrolador Arduino UNO ATmega328 con conexión a ordenador mediante cable USB y adaptador de corriente AC a DC, (b) 1 sensor de temperatura Tipo K termopar 100mm con módulo MAX6675, (c) 1 sensor de presión diferencial MPX5700DS, (d) 1 sensor de humedad de suelo HL-69, (e) 1 sensor de gas (metano/gas natural) MQ-4, detección de gases en ppm, (f) 1 LCD Display 20x4 en fondo azul con módulo serial I2C 2004A integrado, (g) 1 modulo Micro SD, (h) cables jumper dupont varios tipos m-m, h-h, m-h varias medidas, (i) 1 amplificador de instrumentación AD620, (j) 1 protoboard 830p y (k) 1 fuente de voltaje conmutada 12v 10A J-120-12. En la Figura 3 se presenta una vista interna de la caja de control del sistema embebido. Los sensores de trabajo se instalaron en el cuerpo del biodigestor con contacto de lectura hacia el interior del reactor. El amplificador fue empleado para calibrar y estandarizar los datos para proporcionar una lectura correcta y asegurar adquirir datos precisos.

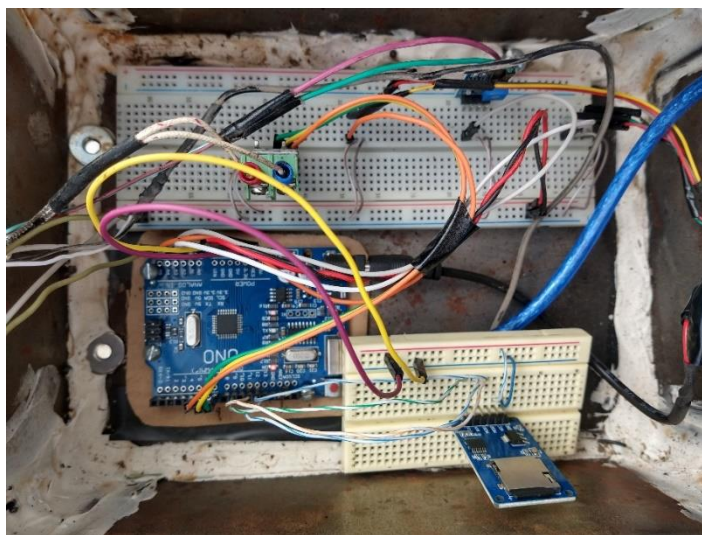


Figura 3. Se muestra el sistema embebido.

El sistema de monitoreo genera un archivo de datos, el cual puede ser exportado a un software procesador de textos gráfico para construir graficas estadísticas de numero de dato vs variable de operación. La primera carga genero una base de datos de más de 42,000 registros por variable durante los 20 días de operación, es decir se registraron alrededor de 160,000 mil datos. La segunda carga fue de más de 43,000 registros por variable durante el total de días de operación.

Al momento de alimentar una carga al biodigestor, el equipo permanecía cerrado y únicamente se apertura la válvula de salida de gases para evidenciar la presencia de gas metano en el receptor. Al término del periodo de cada prueba el contenido se desechaba sin someterse a ningún otro estudio adicional. El desarrollo e interpretación del proceso de biodigestión anaeróbica, el tipo de microorganismo presente, así como la caracterización de la materia orgánica empleada, está fuera de alcance del proyecto.

Se realizó un análisis de la dispersión relativa de la base de datos experimental lograda para cada variable por medio del cálculo del coeficiente de variación (CV) expresado en términos de porcentaje, ver Formula 1. En la Tabla 1 se presenta la clasificación de variación empleada.

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (1)$$

donde  $s$  es la desviación estándar de una muestra y  $\bar{x}$  es la media de los datos.

**Tabla 1.** Clasificador de coeficiente de variación.

$0\% \leq CV \leq 10\%$	Variabilidad muy baja
$10\% \leq CV \leq 25\%$	Baja variabilidad
$25\% \leq CV \leq 40\%$	Variabilidad moderada
$40\% \leq CV \leq 50\%$	Alta Variabilidad
$CV > 50\%$	Variabilidad muy alta

### 3. RESULTADOS

Para la programación, el control de las entradas y las salidas de las señales de los sensores y el registro de las variables de operación, se empleó la plataforma y librerías de desarrollo Arduino de código abierto utilizando un microcontrolador Arduino UNO con interfaz hacia los sensores. Los sensores se habilitaron en puntos estratégicos en el contenedor. El sensor MQ-4 y el sensor MPX4250AP se habilitó en la tapa del contenedor, los sensores HL-69 y termopar tipo K se habilitaron en el cuerpo del contenedor a una altura media del mismo.

En la Figura 4 y 5 se muestra el diagrama esquemático del sistema embebido en vista protoboard y esquemático elaborado en software de acceso libre *Fritzing*, respectivamente. Se observa la forma en que los sensores se empotran en el protoboard y su común. En la Tabla 2 se presenta los componentes y sus respectivos pines (conexiones) de los periféricos de acople de señales empleados.

Mediante el uso de librerías de dominio público de código Arduino se estructuró el código de control para registrar las señales de cada sensor instalados en el biodigestor. Con el display LCD se consulta visualmente los valores de operación. Con el módulo Micro SD se recoge los datos que registra el sensor al estar en funcionamiento y se almacenan en archivos electrónicos. El algoritmo no es presentado en este trabajo, pero se encuentra disponible gratuitamente por los autores previa solicitud.

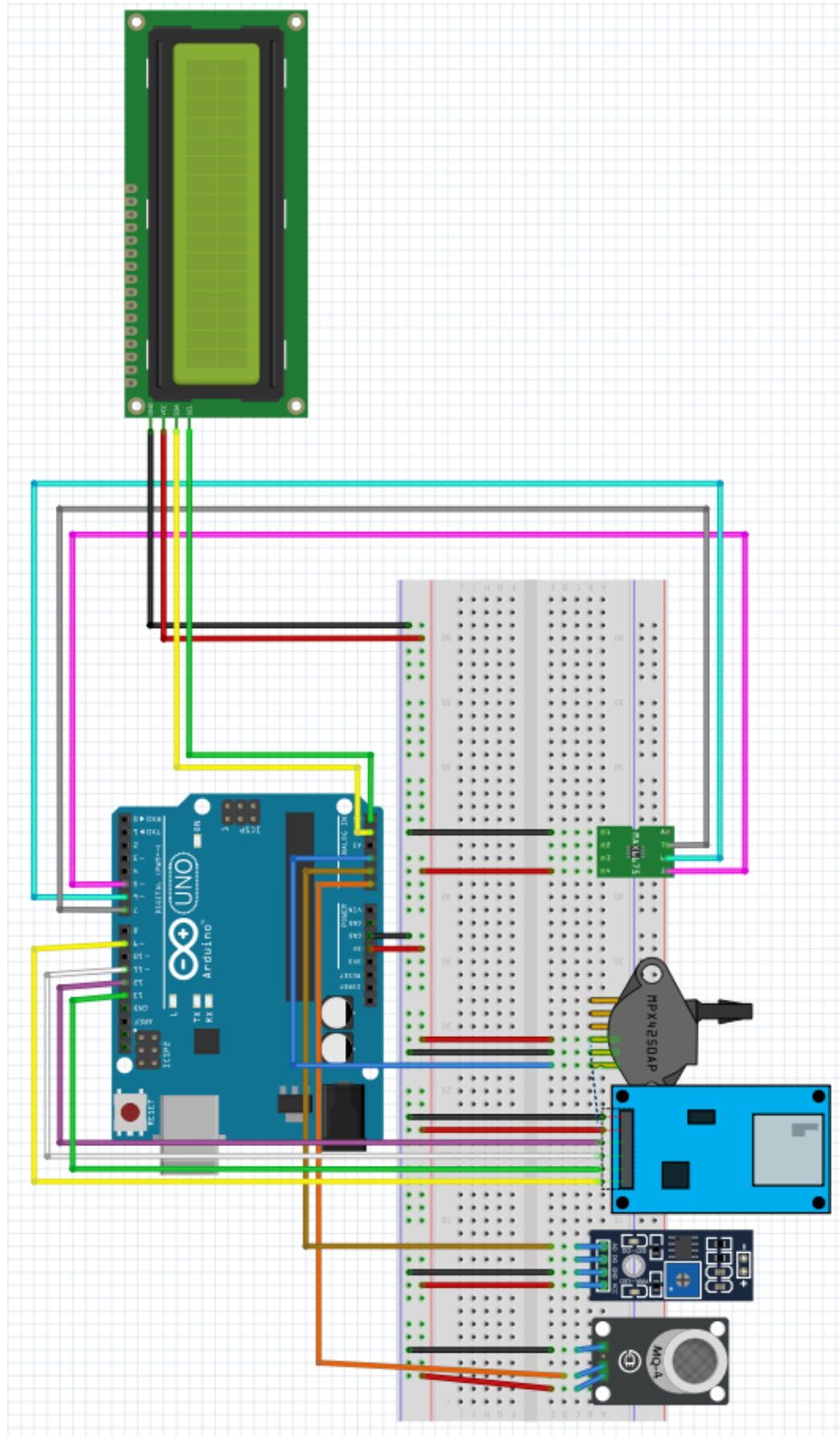


Figura 4. Diagrama electrónico del sistema embebido en vista protoboard.

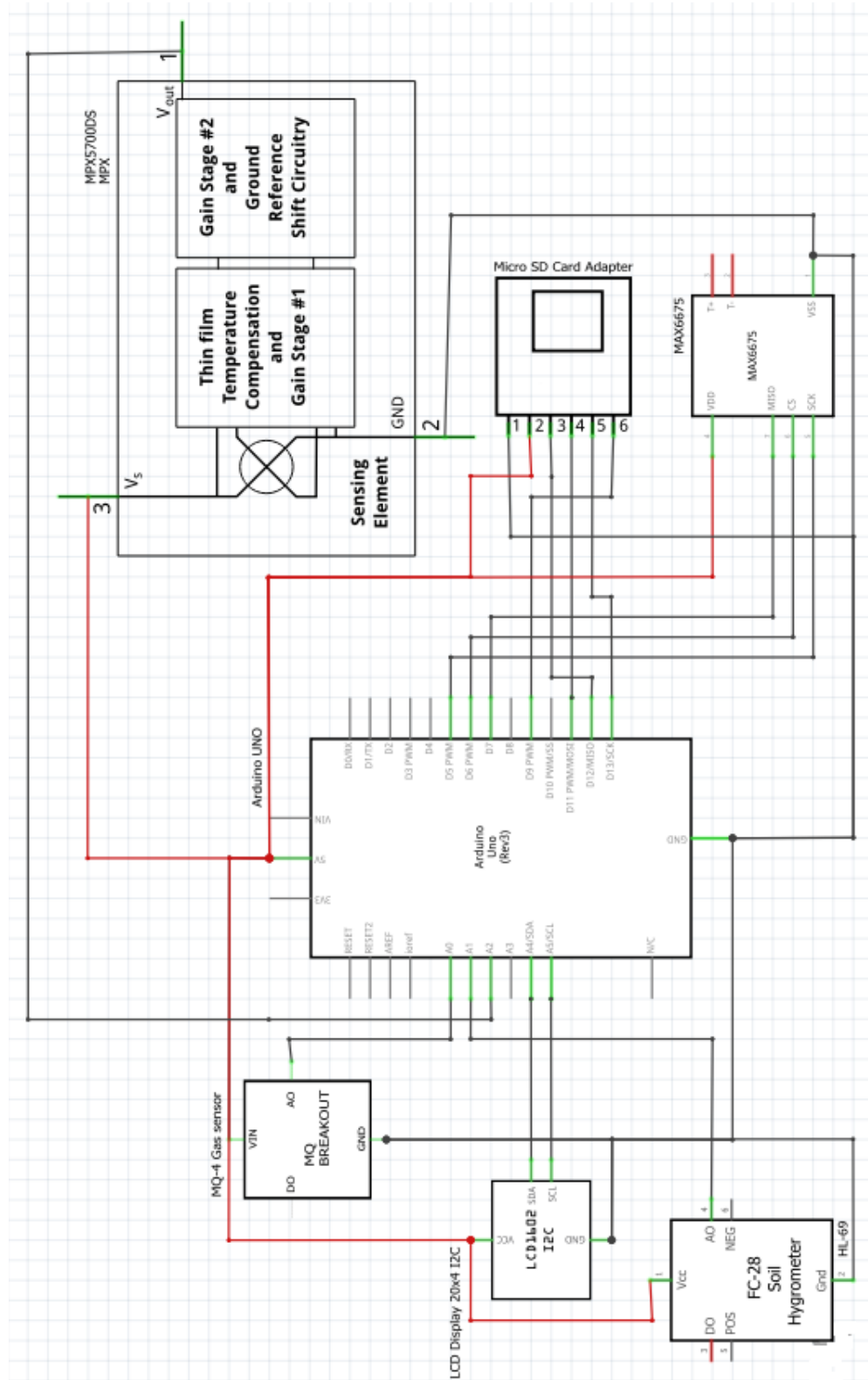


Figura 5. Diagrama electrónico del sistema embebido en vista esquemática.

**Tabla 2.** Interfaz de conexiones del sistema embebido.

Display LCD		MQ-4	
Conexión de Pantalla	Arduino UNO	Conexión de Módulo	Arduino UNO
GND	Conexión a tierra	GND	Conexión a tierra
VCC	Corriente	VCC	Corriente
SDA	A4 (Conexión analógica)	AO	Ao (Conexión analógica)
SCL	A5 (Conexión analógica)	DO	N/A
HL-69		MPX4250AP	
Conexión de Sensor	Arduino UNO	Conexión de Sensor	Arduino UNO
GND	Conexión a tierra	PIN 1 (Muesca)	A3 (Conexión analógica)
VCC	Corriente	PIN 2	Conexión a tierra
AO	A1 (Conexión analógica)	PIN 3	Corriente
DO	N/A		
MAX6675		Micro SD	
Conexión de Sensor	Arduino UNO	Conexión de Módulo	
GND	Conexión a tierra	VCC	Corriente
VCC	Corriente	GND	Tierra
DO	5 (Conexión digital)	MISO	12 (Conexión digital)
CS	6 (Conexión digital)	MOSI	11 (Conexión digital)
SCK	7 (Conexión digital)	SCK	13 (Conexión digital)
		CS	9 (Conexión digital)

Una vez integrado todo el equipo, se colocó en puesta de operación del periodo del 20 de octubre al 5 de diciembre de 2020. Lo anterior es referencia importante por los resultados obtenidos y dependientes del clima ambiental (obtenidas de [www.accuweather.com/es/mx/aguascalientes](http://www.accuweather.com/es/mx/aguascalientes)), ver Tabla 3.

Las diferencias de lecturas logradas entre la 1a y 2a carga (lote) son evidentes por las temperaturas imperantes en la zona. Del 23 de noviembre en adelante, las temperaturas frías se situaban con  $-2^{\circ}\text{C}$  de sensación térmica, es decir, por ejemplo, el día 24 de noviembre la temperatura mínima ambiental fue de  $7^{\circ}\text{C}$ , pero con una sensación térmica de  $5^{\circ}\text{C}$ . Conforme lo anterior, las lecturas registradas en el 2do lote ocurrieron en fechas con temperaturas frías y se puede sugerir que propició una inhibición la acción microbiana y por ende menor producción de biogás, además de afectar la toma de lecturas de los sensores.

**Tabla 3.** Temperatura ambiente durante el desarrollo de las pruebas.

1er LOTE (Temperaturas $^{\circ}\text{C}$ )			2do LOTE (Temperaturas $^{\circ}\text{C}$ )		
Fecha	Max	Min	Fecha	Max	Min
20-oct	30	10	13-nov	30	8
21-oct	30	11	14-nov	28	10
22-oct	30	11	15-nov	30	10
23-oct	28	11	16-nov	25	12
24-oct	29	10	17-nov	26	10
25-oct	28	10	18-nov	24	10
26-oct	29	10	19-nov	26	9
27-oct	30	11	20-nov	27	9
28-oct	28	12	21-nov	25	10
29-oct	29	10	22-nov	26	8
30-oct	27	10	23-nov	26	7
31-oct	28	9	24-nov	28	7



01-nov	28	10	25-nov	29	8
02-nov	24	8	26-nov	29	8
03-nov	24	4	27-nov	29	8
04-nov	27	6	28-nov	28	8
05-nov	28	7	29-nov	28	7
06-nov	26	5	30-nov	26	9
07-nov	26	5	01-dic	25	5
08-nov	26	9	02-dic	25	7
09-nov	30	7	03-dic	25	5
10-nov	31	8	04-dic	22	11
11-nov	30	8	05-dic	22	11
12-nov	30	7			

En la Figura 6, se muestra el comportamiento de cada lote con respecto al registro obtenido de la concentración, en ppm, del gas metano ( $\text{CH}_4$ ) del biogás. La carga 1 presento valores promedio entre 600-800 ppm, lo que podría sugerir que la acción microbiana fue normal y acorde a las demás variables de operación. Caso contrario en la carga 2 se tuvieron lecturas promedio entre 100-400 ppm debido al ruido que recibió el sistema por acción del clima y por una falla operativa del equipo y donde se decidió continuar con el proceso debido a que el objeto fin del proyecto es el estudio de la viabilidad de monitoreo y registro 24/7 de los valores recabados por los sensores.

En la Figura 7, se presentan los registros obtenidos de la temperatura de trabajo del sistema. Se observa a primera vista la existencia de ruido en las mediciones que se pueden atribuir a que son las lecturas logradas por la noche y donde el descenso de temperatura del medio ambiente logra incidir en el comportamiento integral del equipo. Aun así, los registros fueron satisfactorios pues en la carga 1 se obtuvieron mayores valores promedio entre 50-60 °C (temperaturas termofílicas) y para la carga 2 entre 20-50 °C (condiciones mesofílicas). Lo anterior podría atribuirse a las condiciones físicas de la biomasa con respecto a su acidez (dato no cuantificado). La carga 1 es coincidente con los datos de concentración logrados.

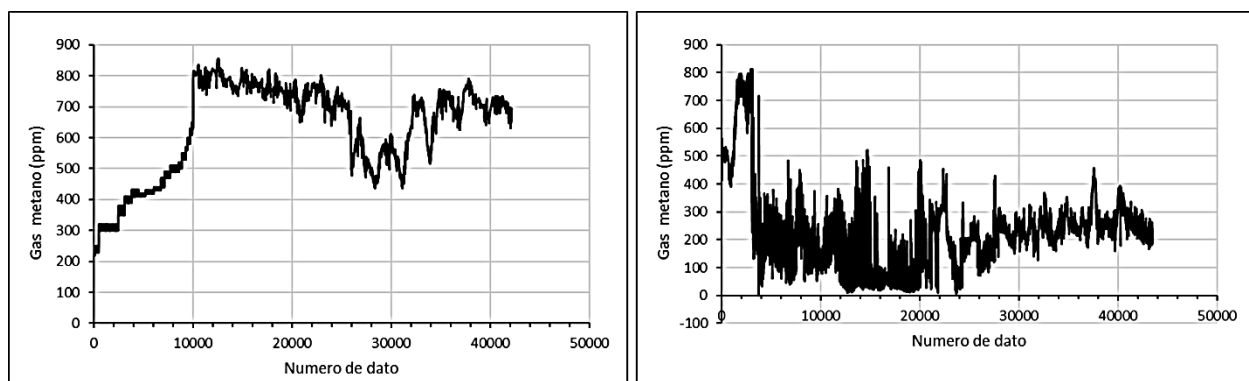


Figura 6. Mediciones de concentración de  $\text{CH}_4$  (ppm): primer lote (izq.) y segundo lote (der.).

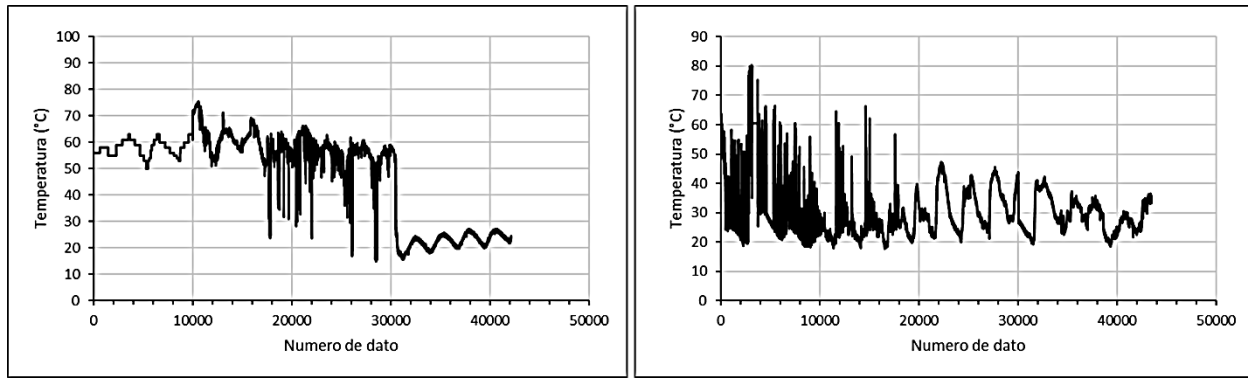


Figura 7. Mediciones de temperatura (°C): primer lote (izq.) y segundo lote (der.).

En la Figura 8, se muestran los registros de porcentajes de humedad de cada carga. En el lote 1 los valores mayoritarios se centraron en promedio entre 50-80% principalmente. En la carga 2 entre 20-50%. Para la carga 1 puede sugerirse que la degradación de la materia orgánica y la formación simultanea de subproducto liquido (biol) conlleva a que se obtengan estas lecturas, siendo este comportamiento coherente con las mediciones de las demás variables. Para la carga 2 se observa una reducción de la humedad de manera drástica y que puede ser atribuida al ruido tenido por la falla operativa y las condiciones climatológicas.

Para el caso de la presión diferencial y en la carga 1 se registraron valores que se consideran adecuados y cuyos valores oscilaron entre el rango de 10-60 kPa mayoritariamente, ver Figura 9. En la misma Figura 9, se muestra que la carga 2 presento una pérdida considerable de funcionalidad del sensor debido a la falla operativa del sistema. Estos resultados permiten validar la coherencia de los resultados de la 2da carga y en donde una falla operativa se presentó y afecto considerablemente el registro de esta variable y otras.

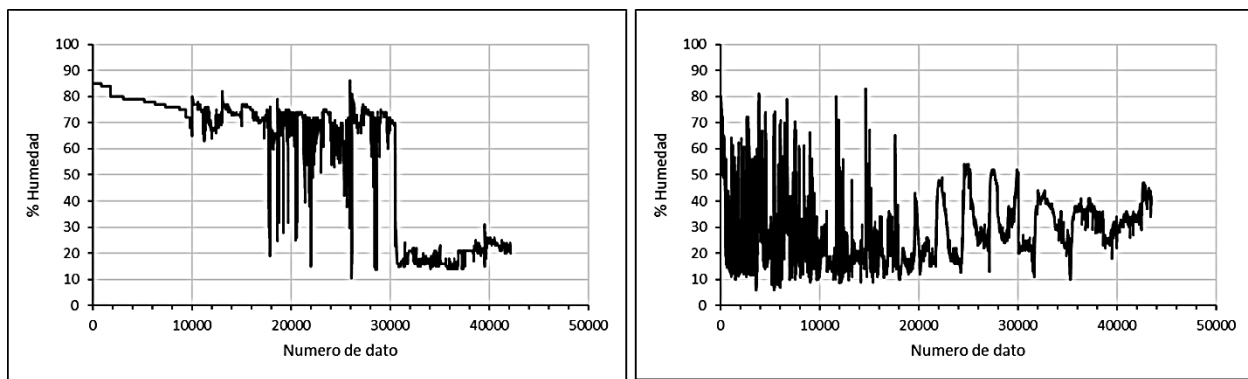


Figura 8. Mediciones de humedad (%): primer lote (izq.) y segundo lote (der.).

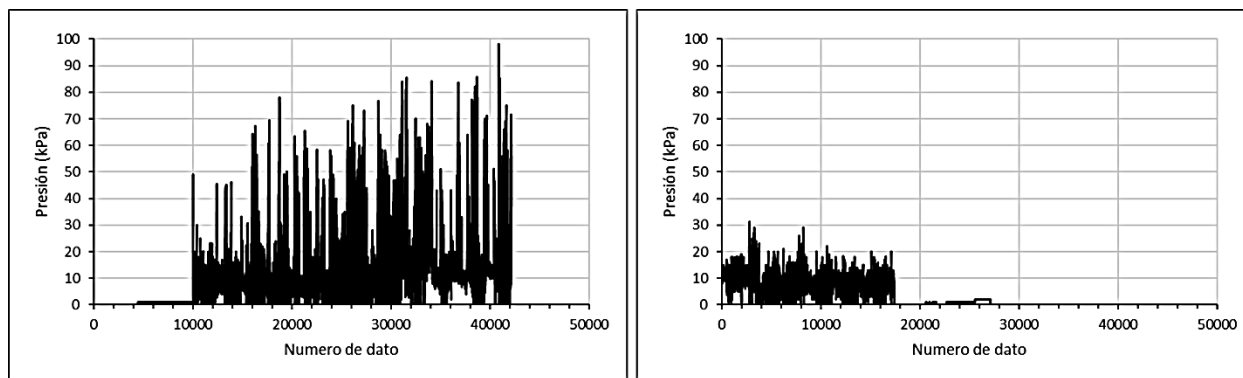


Figura 9. Mediciones de presión diferencial (kPa): primer lote (izq.) y segundo lote (der.).

Mediante un análisis estadístico de dispersión y en relación al coeficiente de variación, se observó que en el lote 1 los datos registrados de concentración de gas metano, temperatura, humedad y de presión fueron de baja (23.84%), moderada (34.64%), alta (43.35%) y muy alta variabilidad (109.94%) respectivamente. Para el lote 2 los valores de concentración, temperatura, humedad y de presión fueron de muy alta variabilidad (62.84%), moderada (29.42%), alta (42.47%) y muy alta variabilidad (126.59%) respectivamente. Se considera que la carga 1 resulto operativamente adecuado y coherente entre los resultados entre sí, pero la carga 2 deberá someterse a repetición en trabajos futuros.

#### 4. CONCLUSIONES

Desde el aspecto de la mecatrónica, se logró el apropiado monitoreo y correcto registro de las variables de operación de un proceso a baja escala de producción de biogás y empleando un sistema mecatrónico simple automatizado y optimizado para este proyecto, y donde de manera global más de 300 mil datos experimentales fueron recabados.

En términos bioquímicos, el biodigestor automatizado y puesto en operación, permitió producir biogás crudo con la biomasa seleccionada. Sin embargo, los procesos resultaron con diferencias marcadas que sugieren establecer, en trabajos futuros, diseños experimentales más robustos para validar los resultados del presente estudio. Los valores de lecturas más relevantes y coherentes se lograron en la carga 1, la cual no presento ningún problema operativo ni tampoco estuvo sujeta a condiciones climatológicas frías. Por otro lado, es de resaltar que la masa de datos experimentales incluye datos obtenidos de manera diurna y nocturna y donde los datos de noche fueron aritméticamente menores a los de día, esto es, la actividad microbiana se reduce durante la noche. De la carga 1 los resultados promedio mayoritarios se centraron en intervalos de 600-800 ppm de gas metano (CH<sub>4</sub>) del biogás, de 50-60 °C de temperatura, entre 50-80% de humedad y de 10-60 kPa. Para la carga 1 los resultados obtenidos son coherentes entre sí y donde se sugiere que se tuvo actividad microbiana termofílica que permitieron degradar la materia orgánica adecuadamente para generar biogás crudo.

Estadísticamente, la variabilidad de los datos de la carga 1 fueron coherentes entre sí, pero la carga 2 deberá repetirse por la variabilidad obtenida.

Como trabajo a futuro se ha detectado establecer un diseño experimental robusto, mantener la temperatura del sistema constante y habilitar más sensorado para comparación de resultados.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el soporte financiero y académico del Tecnológico Nacional de México/I. T. Pabellón de Arteaga para su realización. Agradecemos a los estudiantes del I. T. Pabellón de Arteaga, José Saúl Guerrero Rosales–estudiante de la carrera de Ingeniería Mecatrónica–y, Luis Enrique García Marmolejo–residente de la carrera de Ingeniería Industrial–del I. T. Pabellón de Arteaga, por su excelente asistencia técnica para la puesta en operación del equipo. Nuestro sincero agradecimiento a los propietarios del Rancho Valle de Guadalupe por las facilidades prestadas para la ejecución del proyecto.

## REFERENCIAS

- [1] El-Mashad, H. M. and Zhang, R. (2010). Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste. *Bioresource technology*, 101, 4021-4028.
- [2] Hagos, K., Zong, J., Li, D., Liu, Chang and Lu, X. (2017). Anaerobic codigestion process for biogas production: progress, challenges and perspectives. *Renewable and sustainable energy reviews*, 76, 1485-1496.
- [3] Budiyo, I. S. and Sumardiono, S. (2014). Kinetic model of biogas yield production from vinasse at various initial pH: comparison between modified Gompertz model and first order kinetic model. *Res. J. App. Sci. Eng. Technol.*, 7(13), 2798-2805.
- [4] Fantozzi, F. and Buratti, C. (2009). Biogas production from different substrates in a experimental continuously stirred tank reactor anaerobic digester. *Bioresource Technology*, 100, 5783-5789.
- [5] Rincón-Ramírez, M., Rincón-Lizardo, N., Mata-Álvarez, J. y Chirinos, I. (2014). Biodegradability of prepared food waste under mesophilic and thermophilic conditions using a complete mix anaerobic reactor. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 24(1), 29-48.
- [6] Athanasoulia, E., Melidis, P. and Aivasidis, A. (2012). Optimization of biogas production from waste activated sludge through serial digestion. *Renewable Energy*, 47, 147-151.
- [7] Traversi, D., Villa, S., Lorenzi, E., Degan, R. and Gilli, G. (2012). Application of a real-time qPCR method to measure the methanogen concentration during anaerobic digestion as an indicator of biogas production capacity. *Journal of Environmental Management*, 111, 173-177.
- [8] Pham, C. H., Triolo, J. M., Cu, T. T. T., Pedersen, L. and Sommer, S. G. (2013). Validation and recommendation of methods to measure biogas production potential of animal manure. *Asian Australas. J. Anim. Sci.*, 26(6), 864-873.
- [9] Walker, M., Zhang, Y., Heaven, S. and Banks, C. J. (2009). Potential errors in the quantitative evaluation of biogas production in anaerobic digestion processes. *Bioresource Technology*, 100(24), 6339-6346.
- [10] Esposito, G., Frunzo, L., Liotta, F., Panico, A. and Pirozzi, F. (2012). Bio-methane potential tests to measure the biogas production from the digestion and co-digestion of complex organic substrates. *The open environmental engineering Journal*, 5, 1-8.
- [11] Ghatak, M. D. and Ghatak, A. (2018). Artificial neural network model to predict behavior of biogas production curve from mixed lignocellulosic co-substrates. *Fuel*, 232, 178-189.
- [12] von Cossel, M., Möhring, J., Kiesel, A. and Lewandowski, I. (2018). Optimization of specific methane yield prediction models for biogas crops based on lignocellulosic components using non-linear and crop-specific configurations. *Industrial crops & products*, 120, 330-342.
- [13] Najafi, B. and Faizollahzadeh-Ardabili, S. (2018). Application of ANFIS, ANN, and logistic methods in estimating biogas production from spent mushroom compost (SMC). *Resources, Conservation & Recycling*, 133, 169-178.
- [14] Hafner, S. D., Koch, K., Carrere, H., Astals, S. and Weinrich, S. (2018). Software for biogas research: tools for measurement and prediction of methane production. *SoftwareX*, 7, 205-210.
- [15] Dena-Aguilar, J. A., Acevedo-Martínez, J., Velasco-Gallardo, V. M. y Herrera-Ambriz, V. M. (2020). Diseño y desarrollo de un sistema mecatrónico simple para el monitoreo de variables en la producción de biogás generado en un biodigestor hecho a la medida. *Innovación y Desarrollo Tecnológico Revista Digital*, 12(2), 50-59.

Correo electrónico autor: josealonso\_dena@hotmail.com