

Uso de la biomasa de residuos orgánicos para el diseño de una estación eléctrica

Use of organic waste biomass for the design of an electric station

Alejandro David Martínez-Amariz¹, Gianina Garrido-Silva²

¹Grupo de investigación Nuevas Tecnologías, Ingeniería Industrial, Universidad de Santander, Colombia.

Email: alejandrom@udes.edu.co

²Grupo de investigación VESTIGIUM, Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA, Colombia.

Email: gianina12.04@misena.edu.co

Recibido: 3 marzo, 2018. Aceptado: 05 julio, 2018. Versión final: 27 agosto, 2018

Resumen

Colombia cuenta con un alto potencial de biomasa, en zonas rurales su uso se centra en el empleo de leña para el calentamiento de agua y la cocción de alimentos, por tanto, es indispensable apropiar soluciones mediante los nuevos avances y estudios tecnológicos en la generación de energía a partir de este recurso que contribuya a cambios sociales, culturales y económicos que conlleven a la mejora de la calidad de vida en estas zonas aisladas. En los procesos de tecnificación agrícola el sector transporte juega un papel importante, ya que en la siembra y cosecha su uso optimiza tiempos en la recolección de frutos mediante el transporte a sus respectivos centros de acopio, así como permite minimizar tiempos en labores de poda, riego y preparación del suelo; además, genera buenas prácticas agrícolas y aporta a consolidar un campo más productivo y sustentable; sin embargo, los vehículos empleados son accionados por motores a combustión interna y además, debido a sus características técnicas de fábrica no se adecuan a las exigencias de la geografía colombiana, por ello es importante desarrollar tecnologías que conlleven a un uso racional de la energía aprovechando el gran potencial de biomasa con el que cuenta muchas regiones del país. En este sentido, se propone como una parte inicial de un macroproyecto que se está desarrollando en el SENA el cual busca la incorporación de vehículos eléctricos utilitarios para ser usados en la siembra y recolección de cacao, desarrollar una estación de carga eléctrica. En el presente trabajo se realiza una caracterización físico-química de dos tipos de sustratos orgánicos (estiércol de cerdos y gallinas) con el objetivo de conocer el potencial energético de metano para el diseño de una estación eléctrica que sirva como alimentador de baterías recargables. Como resultado relevante se destaca la muestra obtenida de la relación 1:3 de estiércol de cerdo ya que se alcanza una mejor producción de metano en un tiempo de retención de 30 días aproximadamente, logrando realizar una carga diaria de las baterías en un tiempo estimado de 6 horas lo cual contribuye a una gestión de ciclos de carga lenta de acuerdo a su algoritmo de control y a una equalización completa de las 1.980 celdas que conforman los 6 módulos de las baterías.

Palabras clave: biodigestor; biogás; estación de carga rápida.

Abstract

Colombia has a high potential for biomass, in rural areas its use is focused on the use of firewood for water heating and food cooking, therefore, it is essential to appropriate solutions through new advances and technological studies in the generation of energy from this resource that contributes to social, cultural and economic changes that lead to the improvement of the quality of life in these isolated areas. In the processes of agricultural modernization the transport sector plays an important role, since in planting and harvesting its use it optimizes times in the harvesting of fruits by means of the transport to their respective collection centers, as well as it allows to minimize times in pruning work, irrigation and soil preparation; In addition, it generates good agricultural practices and contributes to consolidate a

more productive and sustainable field; However, the vehicles used are powered by internal combustion engines and, due to their technical characteristics, they do not adapt to the requirements of Colombian geography, therefore, it is important to develop technologies that lead to a rational use of energy, taking advantage of the great biomass potential that many regions of the country have. In this way, it is proposed as an initial part of a macroproject that is being developed in the SENA which seeks the incorporation of electric utility vehicles to be used in the planting and harvesting of cocoa, develop an electric charging station. In this paper, a physical-chemical characterization of two types of organic substrates (manure of pigs and chickens) is carried out in order to know the methane energy potential for the design of an electric station that serves as a feeder for rechargeable batteries. As a relevant result, the sample obtained from the 1: 3 ratio of pig manure is highlighted since a better methane production is achieved in a retention time of approximately 30 days, achieving a daily charge of the batteries in an estimated time of 6 hours which contributes to a management of slow charge cycles according to its control algorithm and to a complete equalization of the 1.980 cells that make up the 6 modules of the batteries.

Keywords: fast loading station; biogas; biodigestor

1. Introducción

El interés por el medio ambiente, la escasez de recursos, el ahorro de energía y la protección del medio ambiente es cada vez más una preocupación a nivel mundial. Se considera que el transporte automotriz es responsable del 40% de las emisiones de dióxido de carbono y 70 % de otros gases de efecto invernadero [1]. Los vehículos eléctricos hacen parte del desarrollo sustentable ya que su uso beneficia la economía, el ambiente y la sociedad. Surgen de un nuevo tipo de vehículos de combustible alternativo, aportando ventajas como la eficiencia en el consumo de energía y en su bajo impacto al medio ambiente, lo cual contribuye significativamente en la reducción de la contaminación por las emisiones de gases de efecto invernadero [2]. El 66 % del territorio colombiano cuenta con un sistema interconectado, el 34 % restante es considerado como zona no interconectada. La principal dificultad que enfrentan las zonas no interconectadas es que el servicio de energía eléctrica no es permanente o incluso es nulo. En las zonas en que se presta el servicio de energía sólo se ofrece por unas horas al día.

En este sentido, la preocupación del Gobierno ha sido generar soluciones energéticas para estas zonas, que permitan la mejor provisión posible del servicio en términos de insumos, duración y tarifas, pero que además sean viables financieramente y sostenibles a largo plazo [3].

La realización de la estación de carga, nace de una Vigilancia Tecnológica realizada en la estrategia Tecnoparque Nodo Bucaramanga del Sena Regional Santander hacia el año 2014 en la cual se estudian los sectores económicos del departamento y se hace énfasis en el sector agrícola ya que según el Plan de Desarrollo Santander en Serio la tecnificación del campo es de vital importancia porque logra pasar de una agricultura artesanal a una agricultura de precisión permitiendo

ahorrar costos en insumos y hacer que el campo sea más productivo. De acuerdo a la anterior propuesta y a que en el departamento de Santander se producen 18.000 toneladas de la fruta de cacao al año (lo cual genera 25.000 empleos a familias de bajos recursos en zonas rurales) [4] se propone desde el Sena realizar el diseño e implementación de un vehículo eléctrico utilitario como solución a labores de recolección y siembra de las plantaciones de la semilla de cacao en cultivos de laderas del terreno Aguas Calientes del municipio El Playón en el departamento de Santander. De acuerdo a lo anteriormente planteado y a la falta de redes eléctricas por ser una zona rural y sus terrenos de plantación de difícil acceso se prevé hacer como posible solución el diseño de una estación de carga eléctrica a partir de biomasa producto de residuos orgánicos.

Para solucionar la carga de vehículos eléctricos es necesario buscar alternativas energéticas en estas zonas, para ello, en la primera sesión se plantea la metodología de trabajo en donde se destacan los principales parámetros que se deben tener en cuenta a la hora de realizar una caracterización físico química de los sustratos a estudiar, además, aquellos necesarios para realizar los respectivos cálculos de la estación de carga.

En la segunda sección, se plantean los resultados obtenidos y se diseña la estación de acuerdo a las necesidades de carga de las baterías del vehículo eléctrico y al generador de biogás seleccionado. Finalmente, se diseña la estación de carga con su respectiva instrumentación e interfaz gráfica.

2. Metodología

El diseño metodológico se divide en tres fases (ver figura 1) las cuales incluyen la caracterización físico-química de los sustratos a estudiar, la definición de los parámetros para el diseño del biodigestor y la estación de carga.

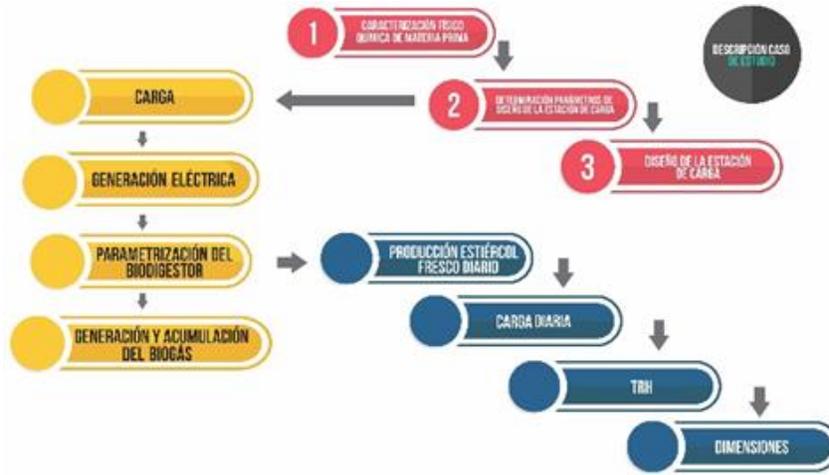


Figura 1. Diseño metodológico. Fuente: elaboración propia.

2.1. Caracterización físico química de la materia

Para el aprovechamiento de la materia prima producto de las excretas de cerdos y gallinas, es necesario realizar la caracterización físico química de ambos sustratos con el fin de determinar la estabilidad del proceso a través del pH y alcalinidad total (AT), la conversión de materia orgánica en términos de demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos volátiles (SV), la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) y la producción de biogás mediante el potencial de bioquímico de metano (PBM).

La caracterización físico química es realizada en el Centro Integrado de Laboratorios de la Facultad Físico Química de la Universidad Industrial de Santander, siguiendo las metodologías propuestas por [5 -7].

2.2. Parametrización del biodigestor

Para la caracterización del biodigestor que se debe emplear como agente productor de biogás es necesario determinar los parámetros que definen su forma y producción. En la figura 2 se puede observar el esquema de la metodología de diseño.

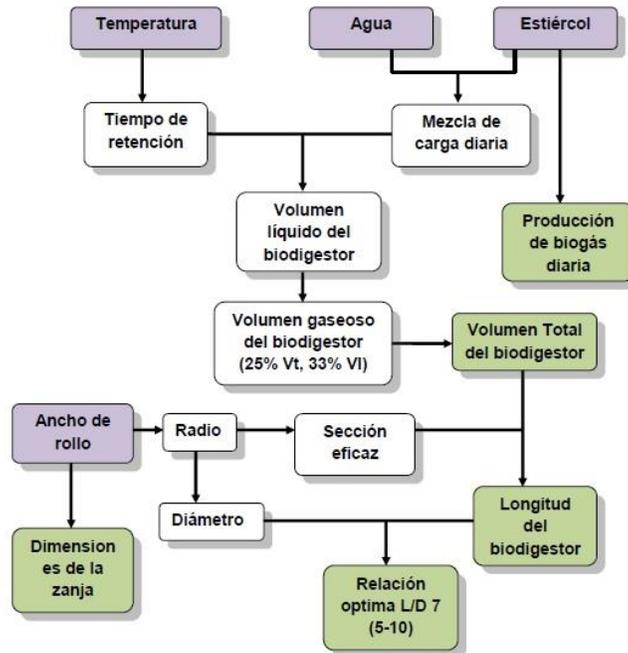


Figura 2. Metodología de diseño de un biodigestor. Fuente: J. Martí. “Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación”. Bolivia, 2008.

2.3. Volumen del biodigestor

El volumen del biodigestor corresponde a la suma del volumen gaseoso y el volumen líquido; por su parte el volumen líquido equivale a multiplicar la carga diaria Q en unidades de m^3 por el TRH, ecuación (1)

$$V_L = Q * TRH \quad (1)$$

donde TRH es el tiempo de retención hidráulico; de acuerdo a la literatura el volumen gaseoso representa el 25% del volumen total o un tercio del volumen líquido.

Una vez se obtiene el volumen total, se encuentran las dimensiones del biodigestor el cual se calcula con la ecuación (2)

$$V_{cilindro} = \pi * r^2 * L \quad (2)$$

Siendo r , el radio del tubo dado en m , L la longitud del biodigestor en m . De acuerdo a la literatura se pueden obtener diferentes posibilidades de longitud y ancho del rollo para alcanzar el volumen total deseado, de acuerdo a la anterior se estima una relación óptima de 7 la cual es flexible en un rango de 5-10 [8]. La zanja es de forma trapezoidal, como se muestra en la figura 3.

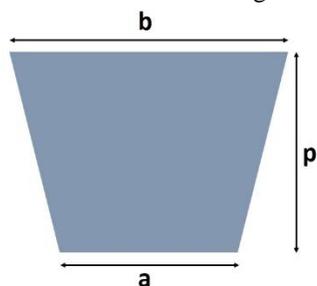


Figura 3. Forma de la zanja donde se implementa el biodigestor. Fuente: J. Marti. “Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación”. Bolivia, 2008.

Y sus dimensiones están dadas de acuerdo al ancho del rollo como se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Dimensiones promedio del biodigestor

Dimensiones promedio del biodigestor					
AR(m)	2	1,75	1,5	1,25	1
a(m)	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
b(m)	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
p(m)	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Fuente: elaboración propia.

Para realizar la estimación de cada cálculo, se desarrolla en Excel la automatización del diseño de biodigestores tubulares de bajo costo ingresando parámetros como la cantidad de cerdos o gallinas, peso de acuerdo a su estado de gestación o uso final, temperatura promedio del lugar donde se requiera implementar el sistema y sólidos

totales y volátiles como resultado de la caracterización físico-química correspondiente al sustrato.

2.4 Generación eléctrica y carga

De acuerdo a las baterías seleccionadas, se identifica la capacidad energética del arreglo (6 baterías en total en serie-paralelo) y se realiza una prueba en banco en donde se comienzan a hacer cargas lentas con el respectivo cargador conectadas a la red eléctrica, este proceso se hace para balancear las celdas y garantizar al arreglo un mejor desempeño y optimizar su vida útil. En este sentido se determina que el arreglo en 8[h] completa la carga eléctrica del sistema. Una vez se estima este valor, se determina la potencia requerida por el generador a biogás que se necesita para el diseño de la estación de carga.

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización físico química de la materia prima

De acuerdo a la disponibilidad de animales como cerdos y gallinas los cuales sirven como modelo de aprendizaje y unidad productiva para los aprendices de la Sede Aguas Calientes del SENA y además del aprovechamiento de las excretas como materia prima de estos animales como sustrato para el biodigestor, se lleva a cabo el análisis físico-químico de cada uno para determinar su comportamiento y el posible potencial bioquímico de metano (pbm).

Con los resultados obtenidos en laboratorio, se puede determinar que la regulación del proceso es debida a factores como el pH y la alcalinidad. El pH es el encargado de determinar la producción de biogás en la digestión anaerobia y su rango óptimo es de 6,5 a 8 [9]. El valor obtenido para el caso del sustrato de cerdo es de 8,18 y para el caso del sustrato de gallinas es de 7,79. Además, es importante evaluar la relación AGV/AT la cual debe estar en un rango entre 0, 2 y 0,6 [10] con el fin de evitar la acidificación del biodigestor. El sustrato de cerdos se encuentra entre el rango establecido con un valor de 0,45 lo cual mantiene el ph mientras que el sustrato de gallinas presenta una relación mayor con un valor de 0, 87, lo cual puede producir un descenso en el ph, y disminuir la producción de ácido y así mismo, detener la actividad metanogénica.

Se realiza el análisis de producción de metano para relaciones 1:3 y 1:5 en sustrato de gallinas y 1:3 en sustrato de cerdos. La figura 4 muestra el comportamiento diario del proceso y se puede establecer que la mejor relación para el caso de gallinas en un tiempo no mayor a 30 días es 1:5 en donde luego de tener una caída a los 20 días se puede lograr una estabilidad.

Para el caso de cerdos se logra una máxima producción a los 15 días y el proceso sigue manteniéndose.

Es importante conocer también el acumulado de acuerdo al tiempo de ensayo por mezcla que se muestra en la tabla 2, ya que se puede determinar la máxima pendiente de

producción y así escoger el mejor comportamiento de cada sustrato analizado. En la figura 5 se puede observar que la mejor pendiente de producción de metano la realiza el sustrato de cerdo (EP2) y además se puede confirmar que con la mezcla 1:5 del sustrato de gallinas tiene un mejor comportamiento.

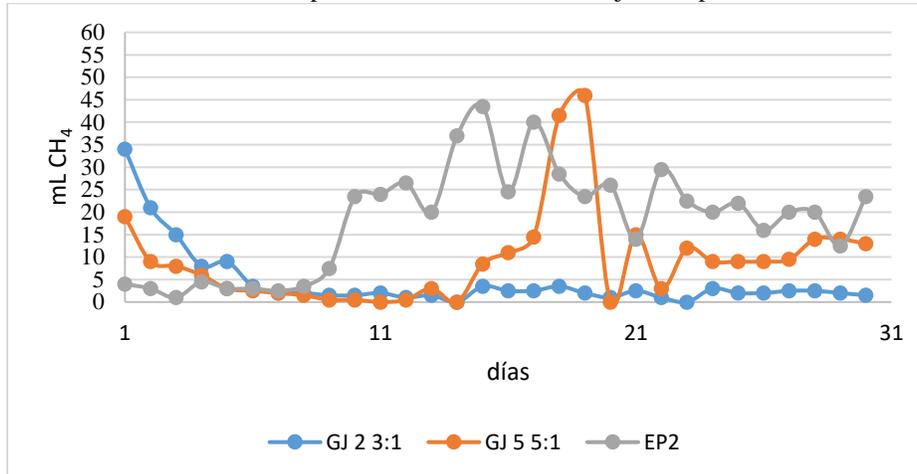


Figura 4. Producción de metano para diferentes mezclas de sustratos de gallinas y cerdos. Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Valores del metano acumulado diario para cada mezcla.

Día	Fecha	GJ 2 3:1	Acumulado 3:1	GJ 5 5:1	Acumulado 5:1	EP2	Acumulado EP2
1	11-jul	34	34	19	19	4	4
2	12-jul	21	55	9	28	3	7
3	13-jul	15	70	8	36	1	8
4	14-jul	8	78	6	42	4,5	12,5
5	15-jul	9	87	3	45	3	15,5
6	16-jul	3,5	90,5	2,5	47,5	3	18,5
7	17-jul	2	92,5	2	49,5	2,5	21
8	18-jul	2	94,5	1,5	51	3,5	24,5
9	19-jul	1,5	96	0,5	51,5	7,5	32
10	20-jul	1,5	97,5	0,5	52	23,5	55,5
11	21-jul	2	99,5	0	52	24	79,5
12	22-jul	1	100,5	0,5	52,5	26,5	106
13	23-jul	1,5	102	3	55,5	20	126
14	24-jul	0	102	0	55,5	37	163
15	25-jul	3,5	105,5	8,5	64	43,5	206,5
16	26-jul	2,5	108	11	75	24,5	231
17	27-jul	2,5	110,5	14,5	89,5	40	271
18	28-jul	3,5	114	41,5	131	28,5	299,5
19	29-jul	2	116	46	177	23,5	323
20	30-jul	1	117	0	177	26	349
21	31-jul	2,5	119,5	15	192	14	363
22	1-ago	1	120,5	3	195	29,5	392,5
23	2-ago	0	120,5	12	207	22,5	415
24	3-ago	3	123,5	9	216	20	435
25	4-ago	2	125,5	9	225	22	457
26	5-ago	2	127,5	9	234	16	473
27	6-ago	2,5	130	9,5	243,5	20	493
28	7-ago	2,5	132,5	14	257,5	20	513
29	8-ago	2	134,5	14	271,5	12,5	525,5
30	9-ago	1,5	136	13	284,5	23,5	549
Acumulado [mL]		136		284,5		549	
PBM [m3/kgSV]		0,017		0,071		0,137	
Pendiente de producción			2,5		9,5		21,7

Fuente: elaboración propia.

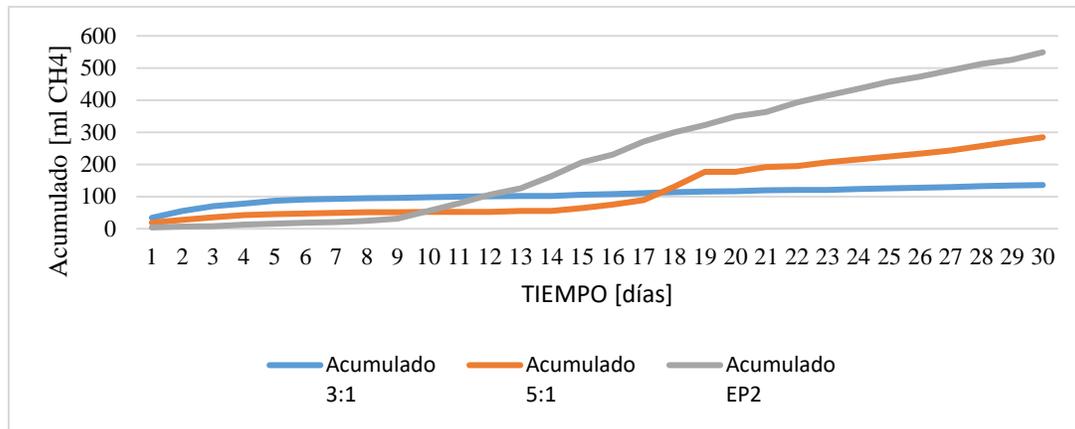


Figura 5. Producción de metano para diferentes mezclas de sustratos de gallinas y cerdos. Fuente: elaboración propia.

3.2. Determinación de los parámetros de diseño de la estación de carga

Los parámetros de diseño del biodigestor se definen a partir de la selección del arreglo de baterías, para tal fin se escogen baterías Tesla Smart Litio-ion 18.650 EV modulo que se usarán en el vehículo eléctrico y cuyas características se observan en la tabla 3.

Tabla 3. Características de la batería Tesla Smart Litio-ion 18650 EV module

Capacidad energética por modulo	3 kWh
Tensión nominal por celda	3,8 V
Tensión nominal por módulo	57 V
Configuración de las celdas por módulo	22p15s
Total celdas por módulo	330
Peso por módulo	19,05 kg
Densidad energética por módulo	0,1574 kWh/kg

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a las características de carga de las baterías se requiere emplear un generador a biogás de 2,25 kW. De acuerdo a las características del mercado de generadores que funcionen a biogás en Colombia se encuentra la referencia *CC1500 -MG* la cual entrega una potencia de 1,3 kW y consume como mínimo 1,46 m³ biogás/h. Esto implica que se necesitan dos generadores a biogás *CC1500-MG*. En la tabla 4 se pueden identificar las características de los generadores a biogás escogidos.

Con los anteriores valores se puede estimar el diseño de los biodigestores.

Teniendo en cuenta el pbm del análisis de los dos tipos de excretas se puede determinar el valor de producción de estiércol diario para cada biodigestor. El análisis de pbm se hace mediante el método de biodegradabilidad anaerobia, para una mezcla 1:3 de estiércol de cerdo y una mezcla 1:5 de estiércol de gallina, además se deben

tener en cuenta los sólidos volátiles de cada muestra. En nuestro experimento fueron observados los valores después de un mes y se estimaron sus valores mínimos: 0,101 m³/kg_{SV} estiércol de cerdos y 0,057 m³/kg_{SV} estiércol de gallinas.

Tabla 4. Características generador a biogás *CC1500-MG*

Frecuencia Hz	50/60
Tensión de salida	110
Potencia de pico	1,3
Sistema de ignición	T.C.I
Consumo mínimo de combustible (m ³ /h)	1,46
Tipo alternador	Sincronización de fase monofásica AC

Fuente: Green Power Soluciones. Características generadoras a biogás, 2015.

El análisis realizado para la obtención de sólidos volátiles se lleva a cabo mediante el método de estándar con las mezclas ya establecidas anteriormente para cada tipo de sustrato. En las tablas 5 y 6 se pueden observar los valores para cada tipo de sustrato cuyos resultados son: 250,24 g_{SV}/kg_{muestra}, estiércol de cerdo y 461,3 g_{SV}/kg_{muestra}.

Tabla 5. Sólidos volátiles muestras de excretas porcinas

SV (gSV/muestra)	Promedio
243,7	250,24
248,1	
258,9	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Sólidos volátiles muestras de excretas de gallina

SV (gSV/muestra)	Promedio
464,38	461,3
453,95	
465,01	
461,95	

Fuente: elaboración propia.

Con los anteriores valores se determina una producción de estiércol diario de acuerdo a la metodología planteada, en donde para el caso de cerdos es de 346,59 *kg estiércol/día* y para las gallinas de 333,15 *kg estiércol/día*; es importante tener en cuenta que el consumo mínimo del generador es de 1.46 *m³ biogás* purificado/h y según el fabricante su trabajo diario debe ser de 6 horas aproximadamente. Para determinar el tiempo de retención hidráulico (TRH) se estima la temperatura promedio del playón la cual es de 25°C y para cada región característica debido a su temperatura se contempla un valor de TRH. De 25 días.

La mezcla de agua y estiércol correspondiente a cada sustrato es de: 1:3 para estiércol porcino y 1:5 para estiércol de gallinas. Con esta proporción para cada sustrato se realizan los cálculos de carga diaria, volumen líquido del digestor, volumen de biogás y el volumen total, como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Valores teóricos del volumen total de biodigestor.

	Producción de estiércol diario (kg/día)	Carga diaria (m ³)	Volumen líquido del digestor (m ³)	Volumen de biogás (m ³)	Volumen total (m ³)
Sustrato de Cerdos	346,59	1,39	34,66	11,55	46,21
Sustrato de gallinas	333,15	2	49,97	16,66	66,63

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a los valores establecidos y teniendo en cuenta los valores comerciales del ancho del rollo del material poliuretano se determina la longitud del biodigestor y las dimensiones de la zanja, que se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Dimensión del biodigestor y la zanja.

	Longitud (m)	Diametro (m)	L/d óptimo	a (m)	b (m)	p (m)
Sustrato cerdos	16,16	1,91	8,46	0,95	1,15	1,25
Sustrato gallinas	13,09	2,55	5,14	1,27	1,47	1,57

Fuente: elaboración propia.

3.3. Diseño de la estación de carga

El diseño de la estación de carga se realiza teniendo en cuenta los valores relacionados anteriormente para los tanques de mezcla, biodigestores y reservorios por

sustrato. Además, se incorpora un filtro de retención de ácido sulfhídrico y una bomba de aire.

Se debe instalar un filtro para la retención de ácido sulfhídrico, ya que el aprovechamiento del biogás es para energía eléctrica mediante el uso de un generador a biogás. Este ácido es precursor del ácido sulfúrico, el mismo que corroe las partes metálicas y acorta el tiempo de vida útil de los equipos. Por esta razón se hace necesario disminuir el contenido de este compuesto, mediante tratamientos físico-químicos de acondicionamiento o un sistema consistente en la adición de sales de hierro. Dentro de los tratamientos físico-químicos se emplean los procesos redox los cuales son útiles en la eliminación del ácido sulfhídrico.

Debido a que el generador a biogás necesita a su entrada una presión de biogás purificado de 6 kPa, se hace necesario incorporar un soplador. Para grandes cantidades de biogás es necesario un soplador de canal lateral el cual tiene como función aumentar la presión del biogás purificado aspirado al generar en el canal toroidal periférico remolinos debidos al empuje centrífugo del rotor. Cuando gira el rotor los álabes realizan un empuje del biogás purificado hacia adelante y también hacia el exterior debido a la fuerza centrífuga, produciendo un movimiento helicoidal. En este movimiento, se comprime el gas una y otra vez con el fin de incrementar la presión lineal a lo largo del canal.

Para el caso de estudio se puede incorporar un soplador de 24 V , potencia de 120 W presión máxima de 8 kPa, un flujo de aire de 38 m³/h, su respectivo controlador porque funciona con un motor brushless. Para proveer su alimentación se debe incorporar dos paneles solares fotovoltaicos.

Se selecciona una tarjeta que emplea un sensor de gas infrarrojo, diseñada para facilitar la integración de sistemas de detección de gas que requieren alta calidad, medición precisa y confiable de las concentraciones de CO, CO₂ y CH₄. Además, incluye medición de temperatura y corrección de presión atmosférica. Emplea una comunicación RS232 con la opción del protocolo de comunicaciones TCP/IP.

Se hace la selección de una válvula solenoide de material fluoroelastómetro (FKM) el cual es aceptable para el H₂S. se requieren manómetros de baja presión para identificar los puntos críticos de presión en el sistema.

La selección del PLC se realiza de acuerdo a las entradas y salidas analógicas y digitales que requiera el sistema. Para el caso de estudio se necesitan dos entradas

analógicas y cuatro salidas digitales. El PLC seleccionado es un LOGO12/24RC.

Teniendo en cuenta la instrumentación y etapa de control seleccionada para el sistema que se requiere diseñar, se

realiza un esquema general como se muestra en la figura 6, y se incluye una interfaz gráfica elaborada con el software SCADA (Supervisión, control y adquisición de datos) y una interfaz HMI, figura 7.

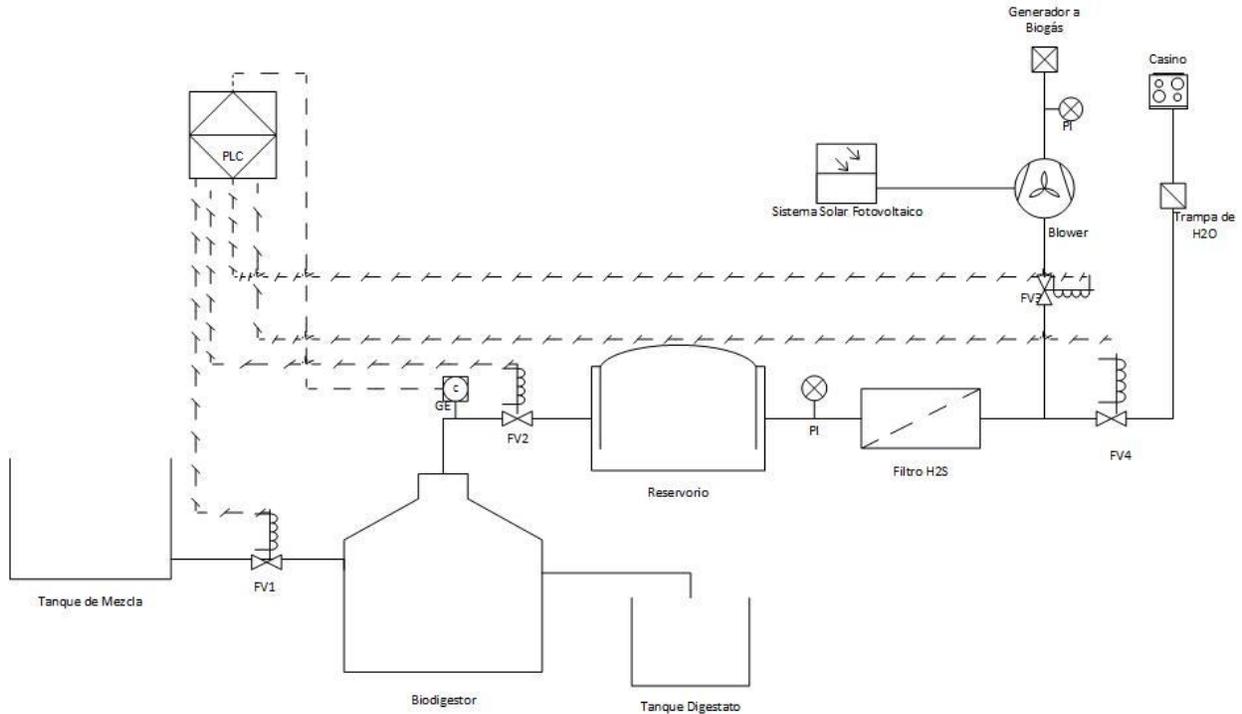


Figura 6. Esquema general de la estación de carga. Fuente: elaboración propia.

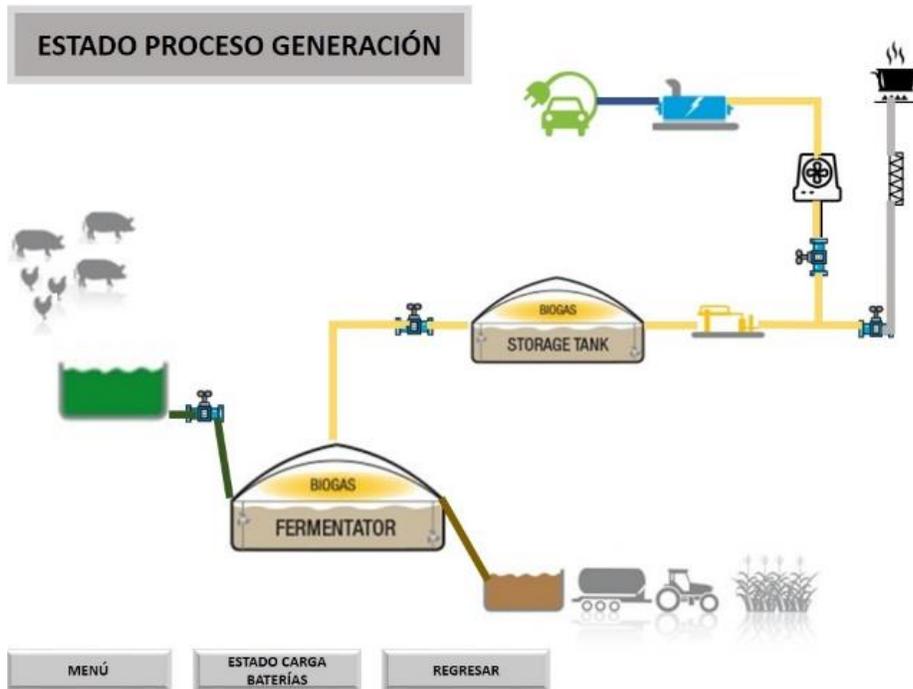


Figura 7. Interfaz gráfica de la estación de carga. Fuente: elaboración propia.

4. Conclusiones

Al estudiar los resultados de la caracterización físico-química, se puede notar que el pH para el caso del sustrato de gallinas es óptimo, para el caso del sustrato de cerdos indica una acumulación de compuesto alcalino, lo cual indica que la carga puede correr riesgo de putrefacción de sobrepasar un pH de 8,5. Para el caso de estudio es un resultado positivo ya que no se sobrepasa el rango de alcalinidad y tampoco hay presencia de acidez lo cual podría inhibir la actividad de las bacterias metanogénicas. Por otra parte, en cuanto respecta a la estabilidad del proceso se puede identificar que para el caso del sustrato estudiado de gallinas a la hora de realizar la relación AGV/AT supera el rango con un valor de 0,87, lo cual implica que no hay un balance entre la población de microorganismos acidogénicos y metanogénicos.

Como solución a mejorar la relación AGV/AT, se estima emplear como alcalinizante estiércol bovino el cual debido a su alcalinidad puede contrarrestar los ácidos grasos volátiles y controlar el pH; además, es un residuo biomásico, se encuentra disponible en el lugar de estudio y cuenta con microorganismos que pueden ayudar al proceso sin requerir químicos que en su defecto puedan en algún momento inhibir el proceso. Se realiza también el análisis para determinar el valor de DQO de entrada, pero se sugiere realizar tomas de DQO en la salida para poder encontrar la eficiencia de remoción de cargas contaminantes lo cual puede determinar mejores tiempos de retención y una mayor generación de bacterias metanogénicas en el biodigestor. En el análisis de pbm se puede observar que la producción de metano para el caso del estiércol de cerdo tiene su mayor producción al día 15 del ensayo y logra una estabilidad 15 días después. En el mismo período de tiempo para el caso de la mezcla 1:5 del estiércol de gallina comienza a tener su producción de metano y logra alcanzar su punto máximo de producción a los 19 días y una estabilidad 4 días después. Además, teniendo en cuenta el estudio de acumulación de metano la pendiente de máxima producción la experimenta el estiércol de cerdo el cual tiene un mejor desempeño en comparación con las mezclas de estiércol de gallina estudiadas.

El estiércol de gallinas requiere una mayor cantidad de agua para poder realizar el proceso, pero teniendo en cuenta que en la zona estudiada no llueve con frecuencia, se hace necesario solamente alimentar el biodigestor con estiércol de cerdos. Pero es posible realizar un estudio empleando como inóculo el estiércol de gallinas debido a las características del potencial bioquímico de metano obtenido en el laboratorio para poder aprovechar el

potencial biomásico que hay en la zona. Para ello es necesario estudiar la relación inóculo/sustrato para determinar cuál es la más adecuada y, además, cuál sería el comportamiento del sistema en la producción bioquímica de metano, el pH, alcalinidad, ácidos grasos volátiles, entre otros.

Referencias

- [1] Inês Frade, Anabela Ribeiro, Gonçalo Gonçalves, and António Pais Antunes. Optimal Location of Charging Stations for Electric Vehicles in a Neighborhood in Lisbon, Portugal. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol 2252, pp:91-98, 2012.
- [2] C Samaras and K Meisterling. Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from plug-in hybrid vehicles: Implications for policy. *Environmental Science and Technology*, vol 42, no 9, pp:3170-3176, 2008.
- [3] Jorge Flórez, David Tobón, and Gustavo Castillo. Ha sido efectiva la promoción de soluciones energéticas en las zonas no interconectadas (ZNI) en Colombia: un análisis de la estructura institucional. vol 22, pp:219-245, 2009.
- [4] David R. Tobergte and Shirley Curtis. Plan de Desarrollo Departamental 2012-2015. *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol 53, no 9, pp:1689-1699, 2013.
- [5] B J Jobling Purser, S Thai, T Fritz, S R Esteves, R M Dindale, and A J Guwy. An improved titration model reducing over estimation of total volatile fatty acids in anaerobic digestion of energy crop, animal slurry and food waste. *Water Research*, vol 6, pp:162-170, 2014.
- [6] I Angelidaki, M Alves, D Bolzonella, L Borzacconi, J L Campos, A J Guwy, S Kalyuzhnyi, P Jenicek, and J B Van Lier. Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. *Water Science and Technology* v 59, pp: 927-934.
- [7] AWWA & WEF APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Part 1000 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 2005.
- [8] Jaime Marti. *Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación*. Bolivia, 2008. ISBN 9789995403393.

[9] P E Poh and M F Chong. Bioresource Technology Development of anaerobic digestion methods for palm oil mill effluent (POME) treatment. Bioresource Technology, vol 100, pp:1-9, 2009.

[10] Caixia Wan, Quancheng Zhou, Guiming Fu, and Yebo Li. Semi-continuous anaerobic co-digestion of thickened waste activated sludge and fat , oil and grease. Waste Management, vol 31, no 8, pp:1752-1758, 2011.