

Evaluación de la prefactibilidad de un sistema de generación eléctrica a partir de biogás con estiércol de ganado vacuno o porcino en Cundinamarca

Evaluation of the feasibility of a system of power generation from manure biogas from cattle or pigs in Cundinamarca

Angélica M. Sánchez R.
GIM Ingeniería Eléctrica
angelsan_87@hotmail.com

Viviana C. García G.
Itelca S.A.S.
viviana.garcia@itelca.com.co

El artículo plantea la implantación de un sistema para el aprovechamiento de la biomasa como recurso, y así suplir la necesidad energética que se tiene en una finca o residencia con una carga puntual brindando beneficios ambientales y sociales a la comunidad. Preliminarmente se realizó una comparación entre el estiércol del ganado vacuno y porcino para elegir cuál era el más apropiado para trabajar; con el resultado de este se seleccionó el municipio de Cundinamarca con mayor disponibilidad de tal recurso. Se realizó la caracterización del lugar donde se desarrollaría el diseño del sistema determinando la demanda eléctrica de la finca se realizan los cálculos para el dimensionamiento de cada uno de los equipos. Dentro de los costos se contempló la ejecución de la obra y el mantenimiento y posteriormente se confrontaron con los costos generados al manejar una planta para el suministro de energía, demostrando de esta manera las bondades del sistema.

Palabras clave: Biogás, energía alternativa, estiércol, generación no convencional

The paper poses the implementation of a system for the use of biomass as a resource, and thus meet the energy need that you have a farm or residence with a point charge providing environmental and social benefits to the community. Preliminary comparison between manure from cattle and pigs was performed to choose which was the most appropriate to work, with the result that the municipality of Cundinamarca with greater availability of such a remedy was selected. Characterization of where the system design would develop was performed, determining the electrical demand of the farm sizing calculations for each of the teams are made. Within the implementation costs of the work and maintenance was contemplated and subsequently confronted with the costs incurred in operating a plant for the power supply, thus demonstrating the benefits of the system.

Keywords: Alternative energy, biogas, manure, not conventional generation

Introducción

La biomasa es la única energía renovable totalmente gestionable (no necesita de un soporte de ciclos combinados de gas para poder garantizar su potencia), por tanto no genera ningún sobre costo al sistema (Calle, 2012). En este proyecto se registra el estudio de prefactibilidad para generar energía eléctrica, abastecer una carga específica y satisfacer necesidades básicas, usando estiércol de ganado vacuno o porcino como recurso energético. El estiércol, como recurso principal, hace que la producción de energía sea práctica y asequible. Las ventajas más representativas son:

- Alternativa para el uso de recursos no renovables.
- Reduce la contaminación y solución.

- Ofrece un alto grado de sanidad.
- Aporta con el problema de los desperdicios orgánicos y contaminación.
- Crea una alternativa de solución para la generación de energía eléctrica de forma eficiente, viable y autónoma.

Estas ventajas hacen que el aprovechamiento de los recursos mediante una tecnología que utilice biodigestores sea atractivo, puesto que se produce biogás, y este puede ser aprovechado para reemplazar las fuentes energéticas usuales no renovables, cobrando gran importancia en la sustitución de combustibles fósiles y aprovechando el estiércol como fuente de energía de muy bajo costo (Congreso de Colombia, 2014). Esta solución se adapta a un piloto en Paratebueno

(Cundinamarca), el cual es ampliamente replicable, con el fin de lograr autosuficiencia energética en las horas pico de consumo y/o evitar cortes en su ciclo productivo, teniendo en cuenta que los recursos para la vida son no renovables, además de contribuir en la reducción de las emisiones de CO₂ y una solución higiénico-ambiental a los desechos orgánicos.

Esta alternativa favorece a las zonas más apartadas y subdesarrolladas del país, como son las zonas rurales, fortaleciendo la sustentabilidad y la sostenibilidad, y afectando positivamente la cultura, calidad de vida, herramientas de producción, consumo de recursos y aprovechamiento de residuos.

En el desarrollo, inicialmente se evaluó el estado actual de estos sistemas con el fin de determinar las características más convenientes. Luego se escogió la zona de trabajo. Los parámetros de elección fueron la actividad económica fuertemente relacionada al cuidado de vacas para establecer el potencial del recurso. Se desarrolló el diseño de la solución adaptando cada detalle para una finca característica ubicada en el municipio de Paratebuena del departamento de Cundinamarca, donde debido a las condiciones topográficas y el difícil acceso (parte alta de la cordillera, zona montañosa, sin vías de acceso, ni comunicación) no se encuentra interconectado al sistema de transmisión, esto da la oportunidad de brindar un beneficio adicional al usuario, ya que carece del servicio de energía eléctrica.

Metodología

Energía y medio ambiente

La preocupación de las naciones por la contaminación y el aumento de la temperatura media global, más conocida como calentamiento global, generada por el uso de recursos fósiles y con el agravante de que otras actividades humanas como la deforestación han limitado la capacidad regenerativa de la atmósfera para eliminarlos, ha invitado a reflexionar sobre el mundo y a buscar soluciones donde la generación de energía eléctrica sea renovable, con reducción en las emisiones de carbono y viable desde el punto de vista técnico, social y económico.

Sistemas de generación con energías limpias. La preocupación por la contaminación y el aumento de la temperatura media global hacen que se busquen soluciones donde la generación de energía eléctrica sea renovable, con reducción en las emisiones de carbono y viable desde el punto de vista técnico, social y económico. Esta necesidad hace que el aprovechamiento de diferentes recursos sea atractivo, puesto que se produce energía reemplazando las fuentes energéticas usuales no renovables, cobrando gran importancia en la sustitución de combustibles fósiles.

Pero esta no es la única ventaja que ofrece trabajar con este tipo de recursos, las propuestas que trabajan con energías alternativas tienen como objetivo principal el suministro de energía eléctrica para zonas no interconectadas (ZNI), ya que los sistemas existentes aún no ofrecen un cubrimiento total y las ZNI tienen una baja demanda y el acceso a estas es difícil para realizar la instalación a la red (Corporación Ema, 2012). Una de las principales características que se debe tener presente en la implementación de este tipo de sistemas es la disponibilidad que hay en la zona, ya que por su naturaleza se encuentra de forma aleatoria y se debe almacenar energía en el lapso de tiempo en que no se utiliza. Para conocer la disponibilidad en cada área del país se pueden consultar los diferentes estudios realizados.

Auto-generación en Colombia con biocombustible. La generación de energía generalmente se realiza con motores Otto a gas natural, supliendo así necesidades de tipo industrial y comercial. Es recomendable autogenerar electricidad si se tiene un bajo factor de utilización de potencia. En general se recomienda para procesos que consumen energía en horarios picos, procesos para arranque de motores eléctricos de gran forma simultánea o por que se tenga un servicio eléctrico deficiente.

Colombia es uno de los países con precios de electricidad para la industria más altos de Suramérica, además el cambio climático, los precios del petróleo, los incentivos tecnológicos y el conocimiento tecnológico que se tiene, se ha venido presentando en los últimos años un aumento significativo de la participación de energías alternativas, y es por esto que actualmente las industrias colombianas están generando la mayor cantidad de electricidad posible, desde sus propias instalaciones, y de esta manera atender sus procesos productivos, generando importantes ahorros que en ocasiones alcanzan el 50 % (Romero, Zapata, Valles, y Vesga, 2003).

Los proyectos de cogeneración se encuentran en la línea de los sistemas de generación distribuida. Estos sistemas son instalados en lugares que demandan energía, y para satisfacerla se emplean recursos locales, la mayoría renovables, con lo cual hacen que se reduzcan las pérdidas en el sistema por unidad de energía consumida y disminución en el uso de redes. *El potencial de cogeneración en el país es mucho mayor, tanto para el sector azucarero como*

Fecha recepción del manuscrito: Agosto 29, 2014

Fecha aceptación del manuscrito: Septiembre 22, 2014

Angélica M. Sánchez R., GIM Ingeniería Eléctrica; Viviana C. García G., Itelca S.A.S.

Esta investigación fue financiada por: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Correspondencia en relación con el artículo debe ser enviada a: Angélica M. Sánchez R. Email: angelsan_87@hotmail.com

para otros sectores... según el Plan Energético Nacional, liderado por la Unidad de Planeación Minero Energética (Romero et al., 2003). El potencial total de cogeneración en la industria colombiana podría llegar a ser por lo menos de 423 MW adicionales, con una contribución de los sectores alimentos, bebidas y tabaco, papel y textil, entre otros.

El potencial para generación de energías alternativas en Colombia es considerable debido a su amplia gama de recursos para tal fin. Este tipo de energías se clasifican en seis grandes grupos: energía solar, energía eólica (del viento), energía de la biomasa. La producción de biogás es práctica ya que no necesita de recursos ambientales como fuente energética siendo el estiércol el recurso principal para la producción de energía, además es replicable teniendo en cuenta los parámetros correspondientes a las características ambientales.

El biodigestor

Los biodigestores son cámaras donde se realiza la degradación de materia orgánica mediante la digestión anaeróbica, permitiendo la producción de biogás (combustible limpio y menos tóxico) y la producción de biol, el cual puede ser empleado como fertilizante orgánico (Martí, 2008). Uno de los objetivos principales del proyecto es obtener un modelo de biodigestor eficiente, viable, económico, tecnológico y que su implantación sea adecuada para la zona en que se desea trabajar. Algunos de los criterios que se tienen presentes para realizar el diseño de un biodigestor son los que se enumeran a continuación (Alvarez y Perdomo, 2012)

1. Espacio: Este criterio determina el tipo de diseño y si el fermentador se ubica o no bajo tierra.
2. Estructuras existentes: Se deben tener presentes para saber si alguna de ellas se puede emplear.
3. Minimizar costes: Es un parámetro muy importante en el diseño, cabe anotar que minimizarlos puede conllevar a que la producción del biogás también disminuya.
4. Sustrato disponible: Determina el tamaño y la forma del tanque.
5. Condiciones físicas: Son importantes para que el funcionamiento de la planta sea la deseada (clima, condiciones del suelo, sustrato para la digestión, etc.).
6. Habilidades: Si se elige una tecnología muy sofisticada, el personal encargado de realizar la construcción y el montaje debe tener la preparación necesaria.
7. Normalización: Es necesaria para verificar que todo lo que se diseñe este bajo norma y este dentro de los estándares para posibles certificaciones.

Teniendo presente los tipos de biodigestores, en la tabla 1 se pueden ver las ventajas y desventajas de los más empleados y aceptados a nivel industrial. Esta comparación se realizó con el fin de saber cuál tipo de biodigestor es el más apropiado para las necesidades que se quieren suplir.

El tipo de biodigestor más conveniente para este estudio es el Taiwán ya que tiene una planta instalada de 5 700 unidades según censo del 2007, por esta razón se cuenta con mayor experiencia en este diseño, los materiales tienen buen tiempo de entrega y precio facilitando su consecución y además es un sistema fácil de entender.

Debido a que se busca la practicidad y viabilidad financiera, el método de carga recomendable es con cargas continuas y descargas del material, esto hace que él las bacterias trabajen eficientemente y por lo tanto que el sistema trabaje adecuadamente UPME (2003). Otra recomendación es depositar residuos frescos al biodigestor, ya que es importante conservar los valores de los nutrientes de los residuos.

Biogás en energía eléctrica. Queriendo aprovechar el biogás para generar energía eléctrica se consideró que la cantidad que se emplee sea la suficiente para que se justifique la compra o modificación de un generador eléctrico.

El biogás se puede emplear para reemplazar la gasolina o el diésel en motores de combustión interna. Estos motores son capaces de transformar en movimiento la energía que proviene de la combustión de combustibles. Durante cada ciclo el motor aspira aire, después agregan el combustible y se queman en el interior del motor. Los gases quemados son expulsados del sistema y el ciclo se repite nuevamente (ciclo abierto).

El biogás puede sustituir el diésel hasta en un 70 %. Es necesario que se tenga un porcentaje de diésel ya que el biogás no es explosivo por compresión y el motor no tiene bujía para producir la chispa que produzca la explosión. Al trabajar con el diésel y biogás el motor no sufre ningún tipo de alteración. La modificación o adaptación que se le debe realizar al motor de diésel para que trabaje con diésel y biogás consiste en colocar una *T* entre el filtro y el sistema de admisión del aire. Esto se hace con el fin de que cuando entre el biogás por el canal del aire el motor se acelere haciendo que se reduzca el suministro de diésel y se establezca la velocidad del motor.

Se debe instalar una válvula para regular el suministro del biogás. En la Fig. 1 se muestra la modificación a los mandos que se realizó en un motor diésel- biogás con el fin de permitir un control del regulador sobre la inyección del gas - oíl. Esta recomendación fue realizada por el fabricante para evitar el embalaje del motor. Haciendo la modificación del varillaje la regulación tiene un ajuste fino del biogás y del gas.

Accesorios para la conducción del biogás.

- Tuberías

El gas que es producido en el biodigestor es conducido a los lugares en los que tendrá su uso final a través de tuberías. El material de esta puede ser PVC ya que es resistente a la corrosión, es económica y su instalación es sencilla. Al momento de seleccionar el diámetro es importante tener

Tabla 1
Ventajas y desventajas de los diferentes biodigestores (UPME, 2003).

BIODIGESTOR	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Plantas de cúpula fija	<ul style="list-style-type: none"> - Costes iniciales bajos. - Materiales convencionales como el ladrillo, bloque, cemento. - Larga vida útil, hasta 20 años. - No tiene partes móviles ni oxidables, por lo tanto es la topología más sencilla. - Su diseño es compacto, por lo que ocupa poco espacio. - Bien aislado. - La construcción crea empleo local. - Flexibilidad de tamaño. 	<ul style="list-style-type: none"> - La cúpula debe estancar al gas para su correcto funcionamiento y debe almacenarlo sin pérdidas, haciendo que su construcción sea un poco compleja. - La presión del gas no es constante, afectando los equipos provocando la variabilidad en el consumo; debido a los esfuerzos provocados puede ser la causa de fugas. - Gas producido no es apreciable a la vista. - Funcionamiento de la planta no es rápidamente. - La excavación puede ser costosa en rocas.
Plantas de cúpula flotante o modelo Hindú	<ul style="list-style-type: none"> - Presión del gas constante. - El gas almacenado es fácilmente cuantificable por la posición del tambor, por lo que se puede determinar la cantidad de gas producida; el nivel de la cúpula depende del gas almacenado. - Los escapes de gas no son un problema siempre que el tambor sea pintado regularmente y desoxidado. - Esta tipología permite detectar los posibles problemas de explotación a tiempo. - Su tamaño depende de su uso (familiar, de uso comunitario o gran escala). - Su apariencia es más estética. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costes de construcción y mantenimiento de la campana altos, si ésta es metálica. - Campana expuesta a corrosión si no es de acero inoxidable. - Mantenimiento intensivo ya que se tiene que pintar y quitar el óxido. - Vida útil baja, en zonas tropicales unos 5 años. - Si se utilizan sustancias fibrosas la campana tiende a quedar pegada en la escoria flotante.
Plantas tubulares de Plástico o esférico Taiwán	<ul style="list-style-type: none"> - Modelo estandarizado y a bajo coste. - Apropiado para zonas con alto nivel freático. - Altas temperaturas de digestión en climas cálidos. - Fácil limpieza, vaciado y mantenimiento. - Sustratos difíciles pueden ser utilizados. - Fáciles de entender y utilizar. - Su construcción es más sencilla. - Materiales convencionales como el ladrillo, bloque, cemento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Normalmente se necesitan bombas para aumentar la presión del gas. - Tiene una vida útil baja, y es susceptible a daños mecánicos. - La población local normalmente no está dispuesta a arreglar un plástico dañado. - La excavación puede ser costosa en rocas.

presente la distancia que existe entre la planta y el lugar en el que se consuma el gas, así como el flujo máximo (el flujo máximo del gas se obtiene al sumar los consumos que tienen los equipos que funcionen simultáneamente) y la pérdida de gas admisible.

El diámetro recomendable para la conducción es de $\frac{3}{4}$ pulgadas, y para instalaciones dentro de viviendas de $\frac{1}{2}$ pulgadas.

- Válvula de seguridad y filtro de retención de ácido sulfhídrico

Debido a que el sistema se realizó para la generación de energía eléctrica, se debe instalar un filtro que realice la retención del ácido sulfhídrico, debido a que este corroe las partes metálicas, hace que el tiempo de vida útil de los equipos sea más corto y provoca que el olor del biogás se convierta en contaminación. Para asegurarse de que una presión excesiva en el circuito de gas no dañe el biodigestor, es indispensable instalar una sencilla válvula de seguridad contra sobrepresiones. Es decir, en el caso de que no se esté consumiendo el gas, éste tendrá un lugar por donde escapar, impidiendo además que el aire entre en el biodigestor, lo

cual dañaría el proceso de producción de gas. La válvula de seguridad se instalará a la salida del biodigestor, entre este mismo y la válvula de bola que aísla el biodigestor del resto del circuito de gas, facilitando las labores de mantenimiento. Es importante revisar el estado de la válvula mientras realizamos la carga del biodigestor.

La válvula consta de una botella de gaseosa grande y el filtro de una conexión en forma de *T*. Se coloca la botella en posición vertical y se llena con agua entre 8 y 12 cm, haciendo unos agujeros sobre la parte superior de la botella para que en caso de exceso de agua esta salga libremente. Se asegura la botella, ya sea con alambre o con cinta a la conexión en *T*. El filtro debe instalarse luego de la válvula de seguridad y antes del medidor del flujo de biogás. El tamaño del filtro estará en función del volumen del biogás producido y de la concentración de ácido sulfhídrico. En la Fig. 2 se muestra el esquema típico de un filtro.

Dentro de la conexión en *T* se introduce viruta de hierro la cual tendrá dos funciones. Por un lado, actuará como filtro del ácido sulfhídrico (eliminando olores) y por el otro,

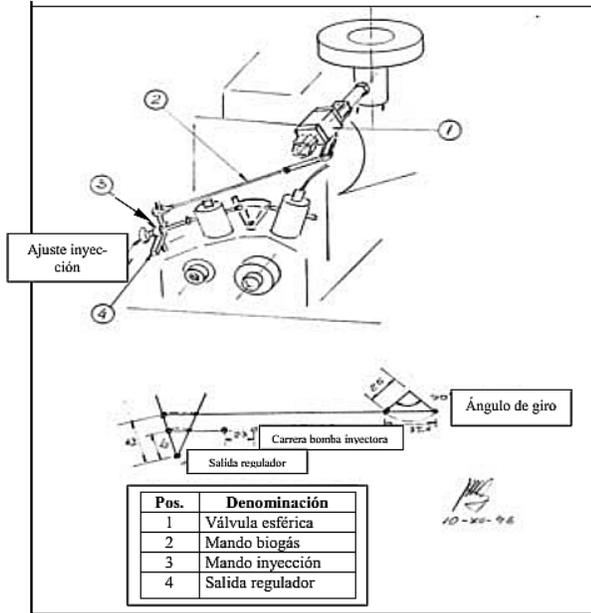


Figura 1. Modificación de mandos Motor Diesel-Biogás (Sinópoli et al., 1999).

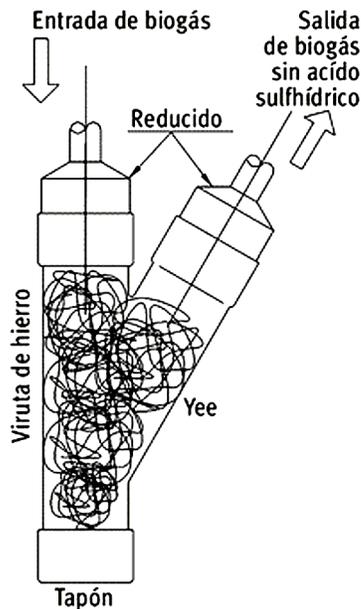


Figura 2. Filtro sulfhídrico (Guardado, 2014).

impedirá que una combustión externa se propague por el interior de la tuberías de gas (Guardado, 2014).

- Válvulas de fábrica

Para que el exceso de gas que no se utiliza pueda salir y evitar que la bolsa que almacena el biogás estalle, se debe instalar una válvula de presión. Una válvula que regula la presión es la *válvula limitadora de presión*. Estas se emplean para seguridad (sobrepresión). Cuando la presión sobrepasa

el valor máximo, se abre la salida y el gas sale a la atmósfera, en la Fig. 3 se puede observar su estructura.

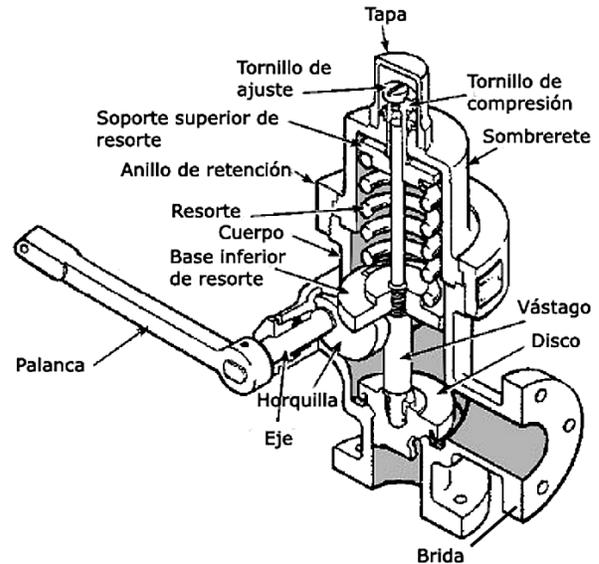


Figura 3. Válvula de alivio (Mitzlaff, 1988).

- Trampa de condensado

Cuando el biogás sale del digestor pasa por la tubería de conducción donde baja su temperatura y se genera la condensación de la humedad, por lo tanto el biogás contiene vapor de agua el cual puede estar presente en cantidades apreciables que de lleguen a obstruir la tubería.

Una posible solución que se empleó en el diseño es la instalación de una trampa de agua la cual consiste en una T con un tapón roscado o recipiente donde se deposite el agua. Una trampa debe ser ubicada antes del filtro sulfhídrico y otra antes de ingresar a la planta. Se pueden ubicar trampas de agua cada cierto tramo de la tubería, dependiendo de la topografía del terreno y la longitud del trayecto. En la Fig. 4 se visualiza una trampa de condensado.

Estiércol de vaca o cerdo como fuente de energía

Algunos animales como los rumiantes (por ejemplo, las vacas) emiten metano durante el proceso de digestión, en el cual los microorganismos descomponen los carbohidratos para que el torrente sanguíneo del animal lo pueda absorber (fermentación entérica). La segunda forma en que los animales pueden producir metano es a través de la descomposición del estiércol. Este se procesa utilizando sistemas de tratamiento para el estiércol, descomponiéndose sin oxígeno, y produciendo grandes cantidades del gas. La temperatura crítica del metano es de $-82,7^{\circ}\text{C}$ y tiene una presión crítica de $45,96 \text{ kg/cm}^2$, estas características hacen que el gas deba ser utilizado en su estado natural, puesto que el equipo para licuarlo consume gran cantidad de energía.

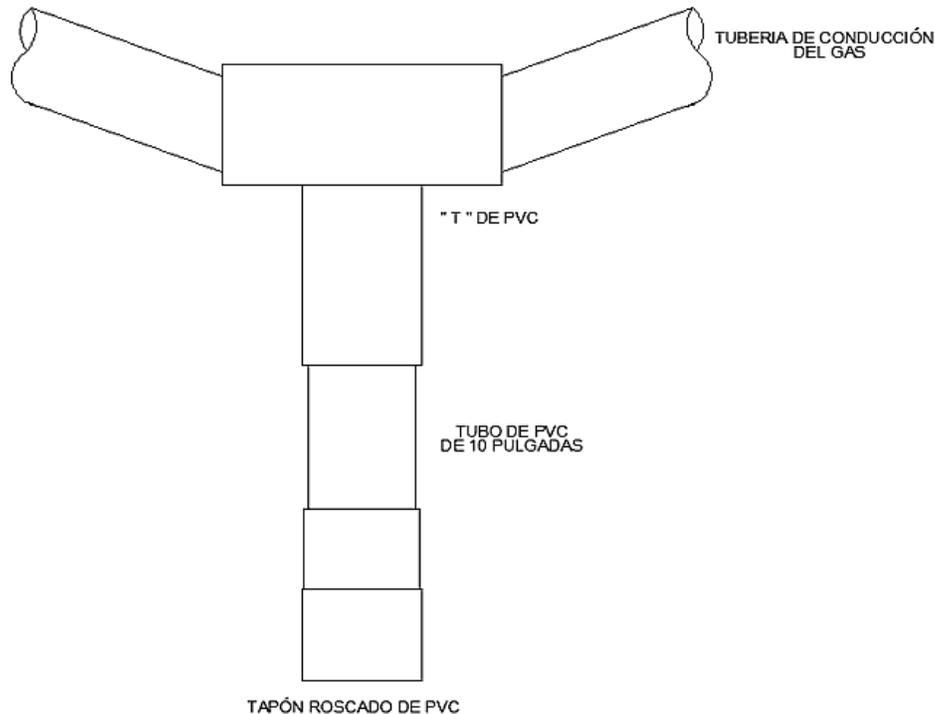


Figura 4. Trampa de condensado (García y Ortíz, 2010).

El recurso puede ser almacenado cerca al biodigestor o en otro sitio, esto depende de la necesidad que se tenga de disminuir el transporte. Antes de alimentar el biodigestor, el estiércol debe encontrarse libre de otros materiales como arena y rocas, ya que la adhesión de sólidos a la materia hace que las tuberías se puedan bloquear obstaculizando la operación. Solamente una pequeña cantidad de sólidos es admitida por la mayoría de digestores. Varias instalaciones agrícolas o pecuarias recolectan los residuos en un solo punto (laguna, piscina, pila, tanque, entre otros) haciéndolas las mejores candidatas para la implementación de tecnología de producción de biogás.

Teniendo el estiércol como materia prima, se realizaron consultas y se comparó el estiércol de ganado vacuno o bovino y porcino, con el objeto de determinar cuál era el más óptimo para satisfacer los requerimientos del diseño.

A cada uno de los siguientes ítems se les asignó un porcentaje según los factores más relevantes que se tiene para la construcción del biodigestor:

- Gas obtenido en un periodo de digestión (días): 10 %
- Volumen de estiércol (día): 15 %
- Temperatura: 25 %
- Recolección de residuos: 20 %
- Disponibilidad: 30 %

Después de sumar los porcentajes dados a cada tipo de estiércol, se concluyó que el tipo de estiércol más adecuado para las condiciones planteadas es el vacuno o bovino, no solo por las razones expuestas sino porque los residuos

que se obtienen se pueden emplear como fertilizante y *la mayor parte de los digestores utilizan como material de fermentación el estiércol, y especialmente el de vacuno o bovino ya que contiene una gran cantidad de bacterias metanogénicas, siendo un material muy apropiado para la digestión anaeróbica* (Téllez, 2008).

Cundinamarca como zona de trabajo

Al implementar un sistema de generación eléctrica con un biodigestor que funcione adecuadamente, es necesario evaluar las condiciones generales del lugar donde se pretende instalar el sistema. Para establecer la zona de trabajo, se consultó material bibliográfico de censos realizados en el departamento de Cundinamarca para conocer las zonas potenciales.

De acuerdo a los datos de los censos del año 2013, se escogieron preliminarmente ocho zonas por cada tipo de ganado. Conociendo la temperatura promedio de cada municipio seleccionado por la mayor disponibilidad del ganado, se redujo el grupo a dos municipios por cada tipo de ganado. Los nombres de los municipios y la temperatura promedio de estos se muestra en la tabla 2.

Ya que el tipo de estiércol seleccionado es el del ganado vacuno se analizan las características de los dos municipios escogidos para este tipo de recurso.

Los municipios de Cundinamarca donde hay mayor disponibilidad de ganado vacuno son Paratebuena y Puerto

Tabla 2
Clasificación de municipios por disponibilidad del recurso y temperatura.

GANADO PORCINO	
MUNICIPIO	TEMPERATURA PROMEDIO
BITUIMA	23 °C
LA VEGA	22 °C
GANADO VACUNO O BOVINO	
MUNICIPIO	TEMPERATURA PROMEDIO
PARATEBUENO	27 °C
PUERTO SALGAR	30 °C

Salgar. De acuerdo a las características de cada municipio (el recurso energético se adapta mejor a un sistema con alta temperatura promedio del lugar y la disponibilidad de espacio que se tenga) se determinó que el lugar que más se adaptaba para aplicar masivamente el biodigestor como sistema de generación de energía eléctrica era Paratebueno.

Demanda de energía eléctrica

En la tabla 3 se describe la demanda de energía eléctrica para una vivienda con dos (2) habitaciones, una (1) sala, una (1) cocina y un baño. Cada una de las habitaciones tiene una bombilla de 60 W. La sala tiene un (1) televisor, una (1) grabadora y una (1) bombilla de 60 W. El baño tiene un bombilla de 60 W, y finalmente la cocina tiene una (1) nevera mediana y una (1) bombilla de 60 W.

El factor de utilización es el número de horas de utilización de una instalación o dispositivo, dividido las horas del día. La carga instalada típica de un usuario residencial en la zona rural estudiada de Cundinamarca es de aproximadamente 3000 W (3 kW). Esta carga está sujeta al factor de utilización de la instalación eléctrica y de sus elementos, de tal manera que la demanda de potencia (potencia efectiva) es de aproximadamente 487,55 W. Esto determina que el factor de carga actual de la instalación eléctrica sería del 57,5 %. Por lo tanto, en la carga instalada típica están incluidos los aumentos de consumo y una proyección del crecimiento medio anual de la demanda eléctrica del usuario del 3 %, durante los años de vida útil de la instalación (15 años).

Describiendo el modelo de aplicación, se desarrolló y recopiló toda la información, y se diseñó un modelo enfocado a las particularidades geográficas de Cundinamarca para obtener un registro del sistema aplicado a la cotidianidad. La temperatura afecta de manera directamente proporcional la actividad de las bacterias que digiere el estiércol, es decir cuanto menor temperatura, menor actividad tendrán éstas, y por tanto será necesario que el estiércol esté más tiempo en el interior del biodigestor. De esta forma, la temperatura determina el tiempo de retención

Tabla 3
Demanda usuario residencial zona rural.

EQUIPO	POTENCIA UNITARIA [W]	CANT.	POTENCIA [W]	FACTOR DE UTILIZACIÓN	POTENCIA EFECTIVA [W]
Nevera	325	1	325	0,45	146,25
Televisor	90	1	90	0,25	22,5
Grabadora	20	1	20	0,42	8,4
Ilu. Habitación 1	60	1	60	0,17	10,2
Ilu. Habitación 2	60	1	60	0,17	10,2
Ilu. Sala	60	1	60	0,25	15
Ilu. Cocina	60	1	60	0,33	19,8
Ilu. Baño	60	1	60	0,08	4,8
Ventilador	90	2	180	0,17	30,6
Moto bomba	1119 (1,5 hp)	1	1865	0,08	149,2
Alumbrado perimetral	60	3	180	0,17	30,6
Cerca eléctrica	40	1	40	1	40
TOTAL	2088	-	3000	-	487,55

a tal punto que a temperaturas muy bajas no es viable implementar esta alternativa energética.

La carga a abastecer y la autonomía son parámetros del diseñador. Consientes de las características de Cundinamarca, cuya actividad económica se basa en criaderos de vacas y producción de derivados lácteos, tiene un nivel de acceso al agua alto, lo cual es un beneficio para la implementación del proyecto.

Implementación y resultados

Para dar una solución a la problemática se deben seguir las siguientes etapas, las cuales intervienen en el proceso de fermentación de los componentes orgánicos.

1. Recolección y almacenamiento: Definición del lugar y horario para que los animales depositen las excretas.

2. Metanización: La fermentación anaeróbica es causada por bacterias que crecen en lugares donde no hay oxígeno.

3. Acondicionamiento del biogás: Depurado y almacenado en los depósitos de gas. Todo lo generado debe ser convertido en dióxido de carbono. Se debe contar con un sistema de quemado si se genera sobreproducción.

4. Conducción: Conexión de las diferentes etapas.

5. Juego de válvulas: Se deben instalar válvulas ubicadas estratégicamente para mantener la misma presión a lo largo del proceso.

6. Accionamiento del sistema motor-generator: El gas acciona el motor que convierte el metano en energía eléctrica.

Teniendo la necesidad de satisfacer una carga de 3 kW, y considerando que el uso que se le daría a la planta será doméstico, se eligió la planta GENPAR GENERADORES GPG4000. Esta planta ofrece un poco más de la potencia continua requerida. A primera vista la planta con la que se trabajaría sería la SOKAN SK-GD4000CL, sin embargo esta planta solo puede ser empleada con cierto porcentaje de biogás y el resto con combustible, mientras que GENPAR emplea al biogás como combustible en un 100 %.

El primer parámetro para iniciar los cálculos se obtiene de la información técnica del motor. ¿Cuántos litros de gasolina requiere el motor y para cuánto tiempo de autonomía?. Respondiendo a esta pregunta, el motor que se utiliza en este modelo consume 15 l de gasolina para garantizar un funcionamiento durante 13 h, de tal relación se obtiene que para 5 h se requieren 5,77 l/h de gasolina ó 7,21 m³/h (7 212,5 de biogás). Un metro cúbico de biogás es equivalente a 0,8 litros de gasolina (Basalo, 2006).

Esta alternativa fomenta la aplicación del biogás al servicio eléctrico de espacios que dispongan de ganado vacuno o bovino, con una carga a abastecer menor o igual 3 kW con una autonomía de 5 h con el fin de suplir la carga máxima en horas pico que se puede presentar durante el día (De 05:00 a 06:00 y de 18:00 a 22:00). Sin descartar otros usos como puede ser suministrar energía en caso cortes del servicio eléctrico o para la implementación de cogeneración, entre otros. Conociendo la temperatura se puede despejar todas las variables para conocer todas las características que debe tener el sistema. El resumen de los resultados obtenidos se muestra en la tabla 4.

En la Fig. 5 se muestra el esquema final del biodigestor con la planta seleccionada y los respectivos accesorios.

Análisis económico

Costo de oportunidad

Esta alternativa usa los recursos para mejorar la calidad de vida de las personas brindando beneficios tanto a nivel ambiental como tecnológico. Teniendo en cuenta los resultados del costo beneficio registra un porcentaje de viabilidad que justifica su implementación y análisis como la mejor opción para la utilización del estiércol como recurso energético.

La gasolina es un combustible que presenta una variación en precio impredecible. Este comportamiento dificulta la proyección a largo plazo, debido a que hay muchas variables entre ellas las que afectan directamente la producción de petróleo que no son posibles de prever. Sin embargo, se presenta un estudio utilizando el crecimiento promedio con el fin de tener en cuenta este diferencial en la viabilidad financiera del proyecto. Se registra un máximo en el 2012 de

9.040,4 y un mínimo en 1999 de 1.608,29. El valor de la tasa que se contempló para el valor de la gasolina, es el resultado del promedio del valor de la gasolina durante los últimos 14 años. El resultado es un promedio de 11,3 % anual con el cual se hace una estimación de dicha variación.

La planta seleccionada, GENPAR GENERADORES GPG4000, consume 1,15 l/h de gasolina y el tiempo de trabajo es cinco horas diarias, se tiene que:

- Consumo diario: 5,8 l
- Consumo anual: 2117 l = 559,25 galones

El transportarse entre el municipio de Paratebueno se puede realizar por la vía principal que comunica Villavicencio con Yopal. Se tomara el valor del galón de gasolina en la ciudad de Villavicencio (\$8665,63). Este valor fue tomado del último reporte dado por el Ministerio de Minas y Energía (MinMinas, 2014).

$$\$8665,63 \times 559,25 \text{ galones} = \$4846253,60 \quad (1)$$

Por lo tanto el valor de la gasolina para satisfacer la carga diaria es igual a:

$$\$8665,63 \times 1,53 \text{ galones} = \$13277,40 \quad (2)$$

A este valor se le suma el transporte del insumo a la finca (\$2500), así se tiene que el valor de producir energía por un día con una planta de gasolina es igual a \$15777,40 y el precio en el primer año es \$5758753,60.

Teniendo presente los valores que se manejan diariamente después de instalar el biodigestor (recolección de estiércol: \$10000, agua (cuatro litros por cada kg de estiércol): 1,4694 m³ × \$2210 = \$3247,40) se obtuvo el valor de producir la energía por un día igual a \$13247,20.

En caso de contar con suministro de energía por parte de la electrificadora, se tiene que el precio del kWh es igual a \$359,2396 (este valor aplica para un estrato 3). Por lo tanto, el precio que se tendría por las cinco horas de autonomía es \$1796,198 (los precios están sujetos a sólo cinco horas diarias).

Para la cotización de los materiales, el punto de partida es revisar que elementos son de fácil consecución y de esta manera adaptar el diseño. En la tabla 5 se registran los materiales y mano de obra presupuestados para la ejecución del proyecto.

Al evaluar el costo total con los beneficios de la comunidad y el costo que generaría interconectar esta zona se registra la viabilidad financiera de la presente solución como opción para el suministro de energía eléctrica. En la tabla 6 se muestra la proyección que se tiene del proyecto calculado en pesos colombianos por 15 años, partiendo de la inversión inicial (año cero) y tomando el valor de la tasa de incremento fijo anual (2,5 %) para el mantenimiento del sistema.

Tabla 4
Resumen resultados.

VARIABLE	ECUACION	RESULTADO DEL MODELO
Estiércol requerido en kg EF al día	$CE = Br * \frac{kg\ EF}{kg\ ST} * \frac{kg\ ST}{m^3\ Biogas}$	180,31 $\frac{kg\ EF}{Día}$
Estiércol requerido en kg	$Er = \frac{CE}{\%MSO}$	367,36 kg estiércol
Poder calorífico superior PCS = H	$H = [n * H(CO2) + n * H(H2O)] - [n * H(CH4) + n * H(O2)]$	890 330 $\frac{kJ}{kmol}$
Despejar de: $PCS - PCI - m_{H_2O} h_{fg}$ PCI Poder calorífico Interior en $\frac{kJ}{kg}$	$PCI = PCS + m_{H_2O} h_{fg}$	27 478,8 $\frac{kJ}{kg}$
Convertir $\frac{kJ}{kg} \frac{kg}{m^3} = \frac{kJ}{m^3}$	$PCI \left(\frac{kJ}{m^3}\right) = \frac{PCI \left(\frac{kJ}{kg}\right)}{0,83}$	33 106,99 $\frac{kJ}{m^3}$
Potencia consumida por el motor	$P = Fc * PCI$	45 871,15 $\frac{kJ}{h}$
Fc' = Consumo de biogas calculado con el poder calorífico específico Hu	$Fc' = \frac{P}{Hu}$	2,29 $\frac{m^3}{h}$
Cantidad de biogas requerido optimo	$Br_{op} = Br + \%Br$	11 939,21 $\frac{l}{Día}$
Cantidad de masa solida orgánica	$MSO = \frac{Br_{op}}{250} \frac{l}{kg\ MSO}$	47,76 kg MSO
Cantidad de estiércol producido	$CEP = \frac{MSO}{0,13} \frac{kg\ MSO}{kg\ estiércol}$	367,36 kg estiércol
Cantidad de estiércol producido p.v.	$CEP_{p.v.} = \frac{MSO}{0,05} \frac{kg\ estiércol}{p.v.}$	7 347,2 kg p.v.
Peso vivo real requerido	$PVR = CEP_{p.v.} * \left(\frac{24\ h}{\text{tiempo de retención } \frac{h}{Día}}\right)$	16 030,26 kg p.v.
Cantidad de reses	$Cant\ reses = \frac{PVR}{400} \frac{kg}{res}$	40 reses
Carga diaria	Carga diaria = CEP + 4*CEP(1 agua)	1 836,8 $\frac{l}{Día}$
Carga diaria fs	Carga diaria fs = carga diaria + carga diaria * 22%	2 240,9 $\frac{l}{Día}$
Volumen del biodigestor	$Volumen = TR * Carga\ diaria\ fs$	2 240,9 $\frac{l}{Día}$
Despejando el radio de $V = \pi r^2 l$. Donde r= radio y l= longitud	$r = \sqrt[3]{\frac{94,12\ m^3}{16 * \pi}}$	r = 1,23 m D = 2,46 m l = 20 m
Producción por hora	$Carga\ diaria\ fs * \frac{l}{Día} * \frac{Día}{24\ h}$	93,37 $\frac{l}{h}$
Producción en $\frac{m^3}{s}$	Producción por hora * $\frac{m^3}{1000\ l} * \frac{h}{3600\ s}$	0,0259 * 10⁻³ $\frac{m^3}{s}$
Área	$A = \frac{\pi * D^2}{4}$	1,27 * 10⁻³ m²
Flujo volumétrico	$v = \frac{Q}{A}$	0,2 $\frac{m}{s}$
Número de Reynolds	$Re = \frac{D * v * \rho}{\mu}$	1 388,47
Pérdidas de energía	$hl = f * x * \frac{1}{D} * x * \frac{v^2}{2g}$	10,83 m
Diferencia de presión	$\Delta p = \gamma H_L$	153,1 $\frac{N}{m^2} = 0,0015\ bar$
Diámetro para agujero de adecuación al motor	$A_g = \frac{1}{4} * d_g^2 * \pi$ $A_g = \frac{f_c}{c_g}$	0,111 mm ² Y el diámetro es de 11,88 mm, esta es la apertura que se le realizara al Venturi para que conduzca el biogás

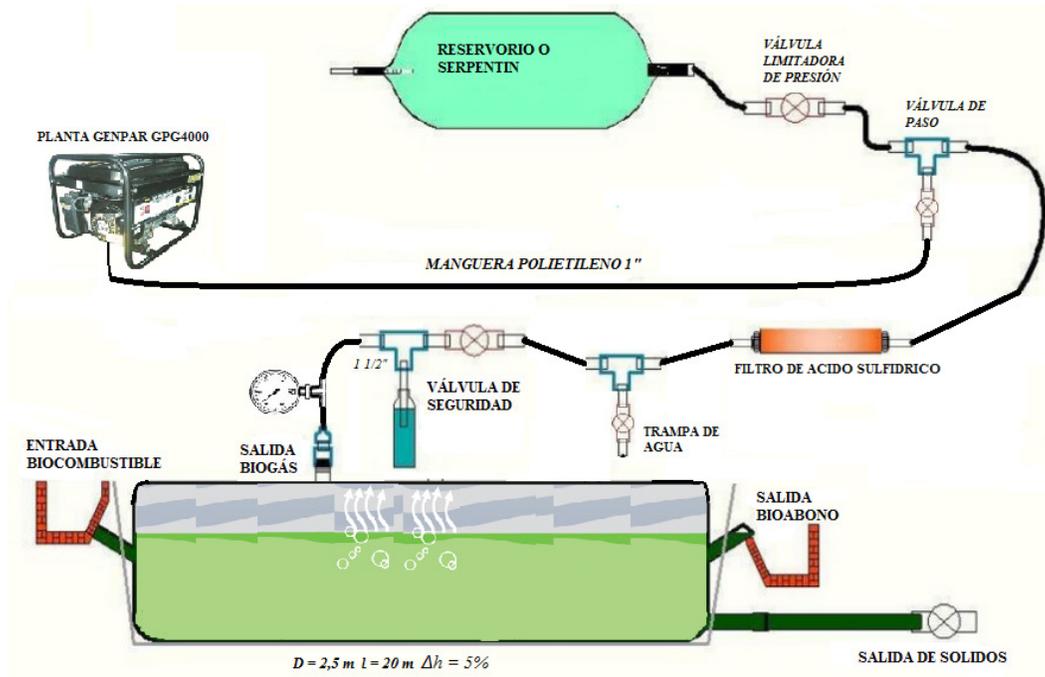


Figura 5. Esquema final del biodigester modelo Paratebueno.

Tabla 6
Proyección a 20 años.

ITEM	DESCRIPCION	TOTAL
1	MATERIALES	
	TUBO PVC 3"	\$841.814
	TUBO PVC 1/2"	\$1.317.862
	PLASTICO TIPO BIODIGESTOR	\$6.037.904
2	MANTENIMIENTO	
	COSTO OPERARIO - MANTENIMIENTO	\$8.069.367
	SUBTOTAL	\$16.266.947
	TOTAL	\$16.266.947

Valor Actual Neto (V.A.N.)

Este valor es la suma de los valores de todos los flujos netos de caja que tendrá el proyecto, sin incluir el valor de la inversión inicial. Si el valor de esta suma es positivo, el proyecto será rentable. Para nuestro caso el valor del V.A.N. se detalla en la tabla 7.

Ya que el resultado es positivo, el proyecto es rentable.

Tabla 7
V.A.N. del proyecto.

	INVERSIÓN INICIAL	INGRESOS	EGRESOS
AÑO 0	\$ 34.033.480,00		0
AÑO 1	-	\$ 5.758.753,60	\$ 907.150,00
AÑO 2	-	\$ 6.409.492,76	\$ 929.828,75
AÑO 3	-	\$ 7.133.765,44	\$ 953.074,47
AÑO 4	-	\$ 7.939.880,93	\$ 976.901,33
AÑO 5	-	\$ 8.837.087,48	\$ 1.001.323,86
AÑO 6	-	\$ 9.835.678,36	\$ 1.026.356,96
AÑO 7	-	\$ 10.947.110,02	\$ 1.052.015,88
AÑO 8	-	\$ 12.184.133,45	\$ 1.078.316,28
AÑO 9	-	\$ 13.560.940,53	\$ 1.105.274,19
AÑO 10	-	\$ 15.093.326,81	\$ 1.132.906,04
AÑO 11	-	\$ 16.798.872,74	\$ 1.161.228,69
AÑO 12	-	\$ 18.697.145,36	\$ 1.190.259,41
AÑO 13	-	\$ 20.809.922,79	\$ 1.220.015,90
AÑO 14	-	\$ 23.161.444,06	\$ 1.250.516,29
AÑO 15	-	\$ 25.778.687,24	\$ 1.281.779,20
TOTAL	\$ 34.033.480,00	\$ 202.946.241,56	\$ 16.266.947,27
TOTAL		\$ 186.679.294,29	

Tasa Interna de Retorno

La tasa interna de retorno es la tasa que hace que el valor del V.A.N. de una inversión sea igual a cero. La tasa de retorno para el proyecto es igual a:

Tabla 5
Presupuesto.

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
1	MATERIALES				
	GENPAR GENERADORES GPG4000	UND	1	\$1.699.900	1699900
	CEMENTO	BULTO 50 KG	80	\$25.900	\$2.072.000
	CONCRETO 4000PSI	M3	10	\$320.000	\$3.200.000
	BLOQUE No 5 30x12x20cm	UND	150	\$530	\$79.500
	ARENA DE RIO	BULTO 40 KG	2	\$13.900	\$27.800
	VARILLA 1/2 CORRUGADA	6MTS	20	\$11.200	\$224.000
	TUBO PVC 3"	6MTS	2	\$22.900	\$45.800
	TUBO PVC 1/2"	3MTS	3	\$23.900	\$71.700
	PLASTICO TIPO BIODIGESTOR	ML	50	\$6.570	\$328.500
	ACCESORIOS DE PVC, CODOS, ADAPTADORES HEMBRAS Y MACHOS, T, REDUCCIONES, TAPONES Y LLAVES, LIMPIADOR, TEFLON PEGANTE	GL	1	\$50.000	\$50.000
	ARANDELAS DE EMPAQUE DE 20 CM DE DIÁMETRO, CON AGUJEROS AL CENTRO DE ½"	UND	50	\$200	\$10.000
	ARANDELAS EN ACRÍLICO O SIMILAR DE 19 CM DE DIÁMETRO, CON AGUJEROS AL CENTRO DE ½"	UND	50	\$500	\$25.000
	TIRAS DE NEUMÁTICO O EMPAQUE DE CAUCHO DE 5 CM DE ANCHO POR 8 O 10 METROS DE LONGITUD	MTS	4	\$3.500	\$14.000
	CARPA SOLAR	UND	1	\$100.000	\$100.000
	LLAVES DE BOLA ½,	UND	2	\$8.000	\$16.000
	HERRAMIENTAS	GL	1	\$600.000	\$600.000
	TRANSPORTE	GL	1	\$800.000	\$800.000
2	MANO DE OBRA				
	EXCAVACIÓN DE LA FOSA	3*20mts	1	\$950.000	\$950.000
	EXCAVACIÓN DE ENTRADA Y SALIDA	UND	2	\$100.000	\$200.000
	CONSTRUCCION Y PAÑETE TANQUE ENTRADA Y SALIDA	UND	2	\$120.000	\$240.000
	DÍA OPERARIO EN CONEXIONES DE GAS SUPERVISIÓN	UND	5	\$280.000	\$1.400.000
	DÍA OPERARIO EN CONEXIONES DE GAS CAPACITACIÓN	1 DIA	1	\$280.000	\$280.000
	DISEÑO	UND	1	\$2.300.000	\$2.300.000
	ADECUACIONES	UND	1	\$800.000	\$800.000
	HORA DE RECOLECCION	UND	365	\$20.000	\$7.300.000
	INSTALACION	UND	1	\$1.700.000	\$1.700.000
	VIATICOS	GL	1	\$1.200.000	\$1.200.000
	SUBTOTAL				\$25.734.200
3	ADMINISTRACIÓN	1	1		\$2.573.420
4	IMPREVISTOS	1	1		\$1.286.710
5	UTILIDAD 15%	1	1		\$4.439.150
	TOTAL				\$34.033.480

ITEM	DESCRIPCION	VALOR PARCIAL	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3
1	MATERIALES				
	TUBO PVC 3"	\$45.800	\$46.945	\$48.119	\$49.322
	TUBO PVC 1/2"	\$71.700	\$73.493	\$75.330	\$77.213
	PLASTICO TIPO BIODIGESTOR	\$328.500	\$336.713	\$345.130	\$353.759
2	MANTENIMIENTO				
	COSTO OPERARIO - MANTENIMIENTO		\$450.000	\$461.250	\$472.781
	SUBTOTAL	\$25.734.200	\$907.150	\$929.829	\$953.074
	TOTAL	\$34.033.480	\$907.150	\$929.829	\$953.074

ITEM	DESCRIPCION	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7
1	MATERIALES				
	TUBO PVC 3"	\$50.555	\$51.818	\$53.114	\$54.442
	TUBO PVC 1/2"	\$79.143	\$81.122	\$83.150	\$85.229
	PLASTICO TIPO BIODIGESTOR	\$362.603	\$371.668	\$380.959	\$390.483
2	MANTENIMIENTO				
	COSTO OPERARIO - MANTENIMIENTO	\$484.601	\$496.716	\$509.134	\$521.862
	SUBTOTAL	\$976.901	\$1.001.324	\$1.026.357	\$1.052.016
	TOTAL	\$976.901	\$1.001.324	\$1.026.357	\$1.052.016

ITEM	DESCRIPCION	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11
1	MATERIALES				
	TUBO PVC 3"	\$55.803	\$57.198	\$58.628	\$60.094
	TUBO PVC 1/2"	\$87.359	\$89.543	\$91.782	\$94.077
	PLASTICO TIPO BIODIGESTOR	\$400.245	\$410.251	\$420.508	\$431.020
2	MANTENIMIENTO				
	COSTO OPERARIO - MANTENIMIENTO	\$534.909	\$548.281	\$561.988	\$576.038
	SUBTOTAL	\$1.078.316	\$1.105.274	\$1.132.906	\$1.161.229
	TOTAL	\$1.078.316	\$1.105.274	\$1.132.906	\$1.161.229

ITEM	DESCRIPCION	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
1	MATERIALES				
	TUBO PVC 3"	\$61.596	\$63.136	\$64.714	\$66.332
	TUBO PVC 1/2"	\$96.429	\$98.839	\$101.310	\$103.843
	PLASTICO TIPO BIODIGESTOR	\$441.796	\$452.841	\$464.162	\$475.766
2	MANTENIMIENTO				
	COSTO OPERARIO - MANTENIMIENTO	\$590.439	\$605.200	\$620.330	\$635.838
	SUBTOTAL	\$1.190.259	\$1.220.016	\$1.250.516	\$1.281.779
	TOTAL	\$1.190.259	\$1.220.016	\$1.250.516	\$1.281.779

$$\sum_{i=1}^N VPI_i = \sum_{i=1}^N VPC_i \quad (3)$$

Donde,

- VPI_i : Valor actual de los gastos.
- VPC_i : Valor actual de los ingresos previstos.

Reemplazando los valores, se tiene que:

$$i\% = 23\% \quad (4)$$

De acuerdo a los resultados obtenidos en cada método para determinar la viabilidad del proyecto, se observa que en todos es viable la ejecución del proyecto.

Periodo de recuperación

El periodo de recuperación es el tiempo en que el inversionista recuperará la inversión. Sin embargo este método no tiene presente el valor del dinero en el tiempo, ni el hecho de que después de recuperada la inversión se pueden tener pérdidas o ganancias. Conociendo los ingresos y egresos que tiene el proyecto se obtiene el patrimonio al finalizar cada año, en la tabla 8 se registran los flujos de caja.

Tabla 8

Periodo de recuperación.

	INGRESOS	EGRESOS	PATRIMONIO
AÑO 0		-\$ 34.033.480,00	-\$ 34.033.480,00
AÑO 1	\$ 5.758.753,60	\$ 907.150,00	-\$ 29.181.876,40
AÑO 2	\$ 6.409.492,76	\$ 929.828,75	-\$ 23.702.212,39
AÑO 3	\$ 7.133.765,44	\$ 953.074,47	-\$ 17.521.521,42
AÑO 4	\$ 7.939.880,93	\$ 976.901,33	-\$ 10.558.541,82
AÑO 5	\$ 8.837.087,48	\$ 1.001.323,86	-\$ 2.722.778,21
AÑO 6	\$ 9.835.678,36	\$ 1.026.356,96	\$ 6.086.543,20
AÑO 7	\$ 10.947.110,02	\$ 1.052.015,88	\$ 15.981.637,33
AÑO 8	\$ 12.184.133,45	\$ 1.078.316,28	\$ 27.087.454,50
AÑO 9	\$ 13.560.940,53	\$ 1.105.274,19	\$ 39.543.120,84
AÑO 10	\$ 15.093.326,81	\$ 1.132.906,04	\$ 53.503.541,61
AÑO 11	\$ 16.798.872,74	\$ 1.161.228,69	\$ 69.141.185,65
AÑO 12	\$ 18.697.145,36	\$ 1.190.259,41	\$ 86.648.071,60
AÑO 13	\$ 20.809.922,79	\$ 1.220.015,90	\$ 106.237.978,49
AÑO 14	\$ 23.161.444,06	\$ 1.250.516,29	\$ 128.148.906,26
AÑO 15	\$ 25.778.687,24	\$ 1.281.779,20	\$ 152.645.814,29

Como se observa, el año en que se recupera la inversión inicial es el año seis.

Análisis costo beneficio

Los costos del proyecto están conformados por los recursos adquiridos para la producción del biogás y los beneficios son los valores de los servicios generados por el proyecto. Con estos valores se halla la diferencia, y es viable siempre y cuando los beneficios sean mayores a los costos.

Teniendo en cuenta el valor agregado que este proyecto implica, debido a que es de interés social y los beneficios más significativos son intangibles.

- Costo beneficio del primer año.

Con el precio por un año del costo de la gasolina, sin tener en cuenta el transporte se tiene:

$$R\left(\frac{B}{C}\right) = \frac{VPI}{VPE} = \frac{\$3978860}{\$7788081} = 0,51 \quad (5)$$

Donde:

- $R(B/C)$ = Relación Beneficio - costo.
- VPI = Valor presente de ingresos.
- VPE = Valor presente de egresos.

Debido a que el resultado es menor a 1, se hace un cuadro con la proyección a los 15 años para ver el comportamiento que tienen los costos y beneficios del proyecto.

En la tabla 9 se comparan los costos y beneficios que se tendrían para el proyecto con proyección a 15 años. El valor que se le aumenta a cada año es el de mantenimiento (\$200000) y accesorios (\$50000), el cual se contempla año de por medio. Cabe mencionar que se contempla una tasa de crecimiento anual para el valor de la gasolina igual al 11,3 % (MinMinas, 2014). Cuando el proyecto empieza a dar utilidad el inversionista puede manejar un excelente margen y aun así se beneficiaría la comunidad.

Tabla 9

Costo - Beneficio del proyecto.

AÑO	VALOR COSTO TOTAL	TOTAL BENEFICIO	R(B/C)
0	\$ 34.033.480,00	\$ 5.758.753,60	0,17
1	\$ 34.233.480,00	\$ 12.168.246,36	0,36
2	\$ 34.483.480,00	\$ 25.711.504,55	0,75
3	\$ 34.683.480,00	\$ 54.328.409,12	1,57
4	\$ 34.933.480,00	\$ 114.795.928,47	3,29
5	\$ 35.133.480,00	\$ 242.563.796,85	6,90
6	\$ 35.383.480,00	\$ 512.537.302,74	14,49
7	\$ 35.583.480,00	\$ 1.082.991.320,70	30,44
8	\$ 35.833.480,00	\$ 2.288.360.660,64	63,86
9	\$ 36.033.480,00	\$ 4.835.306.075,93	134,19
10	\$ 36.283.480,00	\$ 10.217.001.738,44	281,59
11	\$ 36.483.480,00	\$ 21.588.524.673,31	591,73
12	\$ 36.733.480,00	\$ 45.616.552.634,71	1241,82
13	\$ 36.933.480,00	\$ 96.387.775.717,15	2609,77
14	\$ 37.183.480,00	\$ 203.667.370.090,33	5477,36
15	\$ 37.383.480,00	\$ 430.349.153.000,87	11511,75

Conclusiones

Al hacer la evaluación del estiércol la opción como recurso energético que se adapta mejor a las necesidades identificadas, es el estiércol de ganado vacuno por su disponibilidad, volumen, potencial energético, beneficios para el fortalecimiento de los suelos, estandarización de los procesos, replicabilidad e incluso en la recolección. El estiércol porcino es foco de lombrices y parásitos capaces de infectar al hombre y el suelo por lo que

además no es recomendable como abono. El estiércol de bobino como recurso energético al ser totalmente gestionable no genera sobrecostos para la producción de energía eléctrica. Se convierte en una solución viable para las zonas no interconectadas o para soluciones donde se pueda implementar como fuente secundaria, al no necesitar el soporte de otra fuente de respaldo. Además es la fuente de abono más recomendable para el tratamiento y fortalecimiento de los suelos.

Este modelo se basa en abastecer con una fuente no convencional de energía renovable aportando al desarrollo sostenible ya que aumenta la productividad del usuario final y la calidad de vida y al bienestar social sin deteriorar el medio ambiente. Se evidencia un mejoramiento en la producción ya que el suministro de energía eléctrica será ininterrumpido, por lo tanto el proceso productivo tendrá una fuente secundaria de energía garantizando un suministro de energía continuo.

Los municipios de Cundinamarca donde hay mayor disponibilidad de ganado vacuno son Paratebuena y Puerto Salgar. De acuerdo a las características de cada municipio (el recurso energético se adapta mejor a un sistema con alta temperatura promedio del lugar y la disponibilidad de espacio que se tenga) se determinó que el lugar que más se adaptaba para aplicar masivamente el biodigestor como sistema de generación de energía eléctrica era Paratebuena.

El biogás necesario para accionar la planta y generar 3 kWh es 2,24 m³, teniendo presente cuanto genera una res en promedio se determina que para satisfacer por cinco horas el predio son necesarias 40 reses con un peso promedio de 400 kg para un ciclo de vida promedio de cuatro años.

La operación, el manejo, la seguridad, el mantenimiento, vida útil, la inversión inicial y la presión del biogás son características que se tuvieron presentes para determinar el tipo de biodigestor que se emplearía. El resultado obtenido es que el tipo de biodigestor más apropiado para la zona y el tipo de residuo a ser empleado es el tubular (Taiwán). Su inversión inicial es baja facilitando su aplicación, las altas temperaturas en climas cálidos hacen que el tiempo de retención sea menor, además su fácil limpieza y mantenimiento permiten que se tenga un buen manejo del afluente y se garantice un buen funcionamiento del biodigestor.

La conducción del biogás es un punto a favor ya que todos los elementos son de fácil adaptabilidad y consecución comercial, aun teniendo en cuenta el desgaste o posibles daños en los equipos, por lo que es importante realizar un mantenimiento periódico que incluya funciones preventivas, correctivas y predictivas, esto se cumple teniendo en cuenta las recomendaciones y comentarios con los cuales se puede sacar el mayor provecho de la vida útil del sistema.

La evaluación costo beneficio indica que el desarrollo del proyecto es viable a partir del tercer año. Si se realiza

el análisis del V.A.N. tenemos un resultado positivo, y por lo tanto decimos que el proyecto es rentable. Durante los 15 años de vida útil que se proponen, es posible establecer un excelente margen mayor o igual al 15 %, además de contribuir con un proyecto de interés social para abastecer las zonas no interconectadas aportando al desarrollo de un país, lo que desencadena un alto potencial de aplicación intensiva con una relación gana-gana para tanto para el ejecutor como para el usuario final.

La generación de energía eléctrica a partir de biodigestores causa afectaciones positivas a nivel tecnológico y social ya que es un método de aplicación que promueve la autonomía energética, además de abastecer la demanda básica con electricidad, y ambiental ya que es amigable con el medio ambiente evitando las emisiones de óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono.

Referencias

- Alvarez, B., y Perdomo, I. (2012). *Diseño de una planta de generación de energía eléctrica a partir de biomasa (estiércol vacuno o bovino) para la finca villa inés macarena meta y estructuración de un manual de procedimientos de diseño e instalación*. (Universidad Distrital Francisco José de Caldas)
- Basalo, A. (2006). *Cálculo de poder calorífico sustancias químicas puras*.
- Calle, R. (2012). Biomasa: Bioenergía para el empleo. En *Congreso nacional del medio ambiente CONAMA2012* (p. 4-147).
- Congreso de Colombia. (2014, Mayo). *Ley no. 1715 por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional*. (República de Colombia)
- Corporación Ema. (2012, Diciembre). *Determinación de inversiones y gastos de administración, operación y mantenimiento para la actividad de generación en zonas no interconectadas utilizando recursos renovables bogotá d.c.* (Informe final para la CREG)
- García, K., y Ortíz, S. (2010). *Biogás*. Retrieved from <http://www.slideshare.net/sortizrodriguez/biogas-15251329>
- Guardado, J. (2014). *Tecnología del biogás*. Retrieved from www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia34/HTML/articulo03.htm
- Martí, J. (2008). *Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. biodigestores de polietileno tubular de bajo costo para trópico, valle y altiplano*. Cooperación Bolivia Alemania GTZ Energía.
- MinMinas. (2014). *Circular precios de la gasolina julio 31 de 2014*. (Ministerio de Minas y Energía, República de Colombia)

- Mitzlaff, K. (1988). *Engines for biogas: Theory - modification - economic operation*. Vieweg+ Teubner Verlag.
- Romero, L., Zapata, H., Valles, C., y Vesga, D. (2003). *Energías renovables: Descripción, tecnologías y usos finales*. UPME Unidad de Planeación Minero Energética.
- Sinópoli, C., Mansilla, F., Onufriuk, C., Dell, J., Díaz, R., y Rolando, A. (1999). *Uso de biogás en motores*.
- Téllez, C. (2008). *Diseño y selección de elementos para una planta de biogás*. (Universidad Austral de Chile)
- UPME. (2003). *Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas y difusión*. (ANC-0603-19-01)