Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica.

Departamento de Electroenergética.

TRABAJO DE DIPLOMA

Propuesta y evaluación de un modelo energético sostenible en el Complejo Agroindustrial Pecuario "Guayos"

Autor: Alexander López Savran

Tutor: Dr. Carlos de León Benítez

Consultante: Ing. Orestes Hermida García

Santa Clara

2010

"Año 52 de la Revolución"

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Electroenergética.

TRABAJO DE DIPLOMA

Propuesta y evaluación de un modelo energético sostenible en el Complejo Agroindustrial Pecuario "Guayos"

Autor: Alexander López Savran

E-mail: alsavran@uclv.edu.cu

Tutor: Dr. Carlos de León Benítez

E-mail: charle@uclv.edu.cu

Consultante: Ing. Orestes Hermida García

Teléfono: 0141-343303

Santa Clara

2010

"Año 52 de la Revolución"

Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Eléctrica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

_____

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

_____

Firma del Autor

_____

Firma del Jefe de Departamento donde se defiende el trabajo

_____

Firma del Responsable de Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

"Hemos descubierto, afortunadamente,

algo mucho más importante,

el ahorro de energía, que es como encontrar

un gran yacimiento"

Fidel, 5 de Mayo del 2006

DEDICATORIA

A mi madre y mi padre: por todo el amor, el cariño y la educación.

A mi familia: gran parte de mi ser y principal escuela.

A mis amigos y amigas: por serlo

A mis compañeros: por haber compartido estos cinco años de estudio.

AGRADECIMIENTOS

A los profesores que con su labor fueron los máximos responsables de mi formación profesional.

A mis padres por su ayuda constante.

Al Ing. Orestes Hermida por el asesoramiento y ayuda en el tema de energía de biogás.

A los trabajadores del Complejo Agroindustrial Pecuario "Guayos" por la atención y ayuda con la información necesaria.

Al Dr. Carlos de León Benítez por la guía.

TAREA TÉCNICA

1. Hacer una revisión bibliográfica sobre el tema.
2. Diseñar un sistema para aprovechar al máximo el potencial de Biogás existente en Complejo Agroindustrial Pecuario "Guayos".
3. Analizar los resultados.

Firma del Autor

Firma del Tutor

RESUMEN

En el Complejo Agroindustrial Pecuario "Guayos", provincia Sancti Spíritus, existe un gran potencial de biogás que tiene un bajo aprovechamiento, con el objetivo de revertir esta situación se realiza la propuesta y evaluación de un modelo energético sostenible a partir del uso de biogás como combustible para obtener energía calorífica y para la generación de electricidad. Después del diagnóstico de la situación energética actual, el análisis de los consumos de combustibles y el levantamiento de la carga eléctrica instalada, se propone modificar el modelo energético actual.

En el modelo energético propuesto el biogás se destina para el quemador de gas en la planta de pienso líquido, el calentador de agua en el matadero y para el grupo electrógeno.

La implementación del modelo energético propuesto facilitará el ahorro de 18 t/año de diesel y 53640 kW.h/año de electricidad, aportando al programa de ahorro de energía y reduciendo la dependencia de los hidrocarburos.

Se logra la contribución a la Gestión Eficiente de Energía en el Complejo con la disminución del 42,0 % del consumo de electricidad del Sistema Electroenergético Nacional (SEN).

El modelo energético puede ser aplicado en otros centros con características similares, contribuyendo a la eficiencia energética y el respeto ambiental.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO i

DEDICATORIA ii

AGRADECIMIENTOS iii

TAREA TÉCNICA iv

RESUMEN v

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 4

1.1 Energías renovables y su avance a nivel mundial 4

1.2 Desarrollo de Energías Renovables en Cuba 9

1.2.1 Energía de la biomasa 12

1.2.2 Energía de biogás 12

1.3 Uso del biogás para la generación de electricidad 13

1.3.1 Experiencias internacionales en la generación de electricidad con biogás.. 15

1.3.2 Experiencias nacionales en la generación de electricidad con biogás…. 18

1.4 Conclusiones parciales 21

CAPÍTULO 2. MÉTODOS Y RESULTADOS 23

2.1 Materiales consultados 23

2.2 Métodos utilizados 23

2.2.1 Guía para la elaboración del Plan General de Ordenamiento Territorial del municipio 23

2.3 Análisis de los resultados 26

2.3.1 Fase de diagnóstico 27

2.3.1.1 Análisis socio-económico y ambiental del Complejo 27

2.3.1.2 Estimación del potencial de biogás generado 29

2.3.1.3 Análisis del modelo energético actual 31

2.3.1.4 Diagnóstico energético del Complejo 32

2.3.2 Fase de la propuesta 33

2.3.2.1 Selección de los equipos para funcionar con biogás 34

2.3.2.2 Descripción del modelo energético propuesto 35

2.3.2.3 Especificaciones de los componentes del esquema tecnológico propuesto 36

2.3.2.4 Determinación de la carga eléctrica para el grupo electrógeno .. 39

2.3.3 Fase de ejecución 40

2.3.3.1 Montaje de los equipos, dispositivos y accesorios 40

2.3.4 Fase de evaluación 41

2.3.4.1 Evaluación económica del modelo energético propuesto 41

2.3.4.2 Aplicación del Flujo de caja. Determinación del valor actual neto (VAN) y del tiempo de recuperación de la inversión (TIR) 44

2.3.4.3 Análisis de sensibilidad del VAN 45

2.3.4.4 Valoración de los beneficios ambientales 48

2.3.4.5 Valoración del impacto social 48

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 50

Conclusiones 50

Recomendaciones 50

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 51

ANEXOS 54

INTRODUCCIÓN

El proceso de reordenamiento energético en Cuba requiere de un estudio de situaciones derrochadoras existentes y de proyecciones sostenibles a corto, mediano y largo plazo para el mejoramiento del Sistema Electroenergético Nacional (SEN).

La implementación de los programas de la Revolución Energética, que incluyen la instalación de los grupos electrógenos eficientes y la elevación de la disponibilidad en la generación eléctrica, uso racional y control estricto de los combustibles y la energía eléctrica, desarrollo de las fuentes de energía renovable, entre otros, favorece considerablemente el ahorro de recursos energéticos y ayuda a una gestión con enfoque sostenible.

Las tecnologías de energías renovables a pequeña y mediana escala representan para Cuba una alternativa económica y ambiental factible para la provisión de energía a comunidades y para la expansión de la capacidad eléctrica instalada, ya sea por medio de sistemas aislados o conectados a la red eléctrica.

Cuba y las provincias centrales en particular, cuentan con recursos para desarrollar sistemas hidráulicos, solares, eólicos y de biomasa principalmente, la última incluye a toda la materia orgánica que proviene de plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía.

La economía de la provincia de Sancti Spíritus está sustentada fundamentalmente por el desarrollo de la actividad agropecuaria y se caracteriza por un amplio desarrollo ganadero, generándose considerables volúmenes de biomasa que pueden ser transformados en energía.

En economías de orientación agropecuaria, el uso apropiado de la biomasa ofrece una alternativa para reducir los costos de operación por concepto de insumos energéticos y además pueden revitalizar las economías entregando energía en forma independiente y segura, logrando importantes beneficios. Las comunidades rurales y granjas pueden ser energéticamente autosuficientes en un alto grado a partir del uso racional de la biomasa disponible. Para convertir residuos agropecuarios e industriales en energía se utilizan las características bio-químicas de la biomasa y la acción metabólica de microorganismos para producir combustible gaseoso como biogás.

Adicionalmente, la tecnología de biogás puede disminuir la contaminación del medio ambiente, disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuir al ahorro de los combustibles fósiles y productos derivados del petróleo. Sin embargo, existen barreras que dificultan un mayor desarrollo de este tipo de energía: la falta de conocimiento de las tecnologías, técnicas aún incipientes, entre otras. Un tema de gran interés e importancia para Cuba es la generación de electricidad con biogás y se realizan los estudios para la búsqueda de las fuentes seguras para ello. Se han hecho levantamientos y estudios de los potenciales de materia orgánica en vertederos de residuos urbanos, biomasa cañera y otros tipos de biomasa.

Actualmente el Grupo Provincial de Biogás realiza un trabajo para implementar el biogás con fines energéticos en lugares con potencial favorable. Debido a la existencia de un volumen considerable de biomasa, principalmente residuos pecuarios, que se utilizan para la producción de biogás en el Complejo Agroindustrial Pecuario Guayos, se realiza el presente estudio para extender su uso como fuente de energía calorífica y para la generación de electricidad.

Problema de investigación

La falta de experiencias sobre el uso integral de biogás como combustible, limita realizar propuestas y acciones más factibles para el ahorro de energía y la protección del medio ambiente.

Objetivo general:

- ✓ Contribuir al programa de ahorro de energía exponiendo un modelo energético sostenible para su aplicación en lugares con potencial de biogás y reducir la actual dependencia de los hidrocarburos.

Objetivos específicos:

- ✓ Extender el uso del potencial de biogás existente para obtener energía calorífica y para la generación de electricidad en el Complejo.
- ✓ Contribuir a la gestión eficiente de energía en el Complejo.
- ✓ Elevar la conciencia energética y el respeto ambiental en la entidad y ampliar el conocimiento sobre el uso de biogás.

Hipótesis:

Si se demuestra la factibilidad del uso de biogás como energía calorífica y para la generación de electricidad como modelo energético sostenible, puede ser utilizado como ejemplo para lugares con condiciones similares.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Energías renovables y su avance a nivel mundial

Existe consenso entre varios autores de que la disponibilidad de combustibles fósiles es limitada y que existen problemas globales que están vinculados al uso de estos combustibles [15]; en contraposición, la distribución porcentual de las principales fuentes energéticas que se utilizan para cubrir la demanda mundial en la actualidad [20] corresponden a: combustibles fósiles (80 %), energía nuclear (6 %) y el resto a las fuentes renovables, fundamentalmente biomasa, energía hidráulica, etc.

En los próximos 20 años se calcula que la demanda mundial de energía se multiplicará por tres. Durante este tiempo, se espera que las principales fuentes de producción de electricidad (a saber, los combustibles fósiles como por ejemplo el carbón, el petróleo o el gas natural) deberán disminuir su distribución para cumplir con las exigencias del protocolo de Kyoto: una reducción del 12 % para el año 2010.

Las reservas mundiales de petróleo ascienden a 2 200 Gtep (2 200 billones de toneladas equivalentes de petróleo) [1], lo que de acuerdo al consumo mundial de alrededor de 7 Gtep al año, se agotarían en algo más de 300 años.

En cuanto a las tendencias evolutivas del entorno energético existen varias reflexiones, por un lado se prevé un incremento de la participación del gas, la continuidad de la participación del petróleo y el carbón, una disminución de la participación de la energía nuclear y un incremento del aporte de las fuentes renovables de energía, por lo que se necesita contar con herramientas para el desarrollo de proyectos con estos fines. Más recientemente, otros autores refieren

que las mayores perspectivas están en las energías renovables y la energía nuclear [1].

La promoción de las fuentes renovables a nivel mundial se realiza a través de diferentes asociaciones. La Asociación más conocida es la *International Solar Energy Society* (ISES), fundada en los años cincuenta para promover la energía solar con sede central en Alemania y con la sección para la América Latina en Argentina. Otra Asociación, que en los últimos años está comprometida con la promoción de energías renovables, es Greenpeace. A inicios de los años 70 nació la *Internacional Association for Hidrogen Energy* (IAHE), con sede en Coral Gables, Estados Unidos, que promueve las tecnologías para la producción y utilización de hidrógeno solar.

Un informe de Greenpeace, 2008, en colaboración con la Asociación Europea de Industria Fotovoltaica (EPIA), apunta que en el año 2030 habrá en todo el planeta una potencia instalada de 1,3 millones de MW de energía solar fotovoltaica, lo que permitirá cubrir el 10% del consumo eléctrico mundial, dando servicio a más de 3 600 millones de personas.

En el año 2007, el mercado global de energía solar fotovoltaica creció un 40%, pasando de 1 598 MW a 2 246 MW instalados. Se espera, asimismo, que en los próximos veinte años el sector brinde trabajo a más de 6,3 millones de personas, principalmente en el ámbito de la producción, instalación, comercialización y suministro de energía, y ahorre la emisión de mil millones de toneladas anuales de dióxido de carbono [10].

La publicación semanal de CUBAENERGÍA [8], reporta que Estados Unidos, España y China lideraron en 2007 la instalación de energía eólica en el mundo, fuente energética que aumentó su capacidad mundial en un 27% en el 2007, según datos del Consejo Global de la Energía Eólica. EE.UU. incrementó su capacidad en 5 244 MW; China en 3 449 MW y España en 3 522 MW. El país europeo es el tercero del mundo en instalaciones de energía eólica, con una capacidad total instalada de 15 145 MW. En primer lugar se mantiene Alemania (22 300 MW) y en segundo, EE.UU. (16 800 MW). "Las cifras de crecimiento que estamos experimentando en energía

eólica siguen superando nuestras previsiones más optimistas", aseguró el secretario general del Consejo Global de la Energía Eólica, Steve Sawyer. "La energía eólica se ha convertido en una fuente principal de energía y en un factor importante en los mercados energéticos mundiales, con presencia en más de 70 países de todo el Globo", recordó. Por primera vez en décadas, más de la mitad del mercado anual de energía eólica se situó en 2007 fuera de Europa, tendencia que continuará en el futuro.

El uso de leyes que favorecen con ayudas económicas estatales a los que producen energía eléctrica con fuentes renovables (préstamos a bajo interés y altos precios por la energía eléctrica producida), ha contribuido a su desarrollo en algunos países, por ejemplo, en Alemania, la Ley de las Energías Renovables, vigente desde el 2000 y modificada en el 2004. La compensación por el pago de la electricidad generada por kW.h estuvo, en el 2002, entre 10.1 y 8.6 Euro, dependiendo de la capacidad eléctrica instalada. Algunos resultados son los siguientes: en el 2004 se instalaron calentadores solares con una potencia global de 4 040 MW, la potencia instalada con módulos fotovoltaicos llegó a 734 MW. Al finalizar el 2001 existían en Alemania aproximadamente 1 650 plantas de biogás en la agricultura con una capacidad eléctrica instalada de 140 MW [20], y ya en el 2003 tenían 2 000 plantas con una potencia eléctrica de 400 MW. Los planes son cubrir, en el 2050, el 60 % de las necesidades energéticas del país [20].

En Dinamarca las experiencias demuestran que el tratamiento de estiércoles y otros residuos orgánicos en plantas de biogás es una alternativa beneficiosa, ya que reduce los efectos negativos de los sectores agrícola, industrial y energético sobre el medio ambiente [13]. Esto es válido para la situación cubana, sumando los beneficios económicos y sociales a nivel local y regional.

Las energías renovables podrían solucionar muchos de los problemas ambientales, como el cambio climático, los residuos radiactivos, las lluvias ácidas y la contaminación atmosférica. Las energías renovables cubrieron en 1996 el 7,2 % del consumo energético español (1996 fue un buen año hidráulico, lo que explica tal porcentaje excepcionalmente alto). En 1996 había instalados en España 320 mil

metros cuadrados de colectores solares (produjeron en 1996 el equivalente a 25,3 ktep), numerosos aerogeneradores eólicos con una potencia global de 211 MW (316,6 GW.h en 1996), varios cientos de centrales hidroeléctricas con una potencia de 17 332 MW (41 619 GW.h en 1996) y una decena de instalaciones geotérmicas con una producción de solo 3 400 tep en 1996.

El potencial de las energías renovables en España, aún con las limitaciones de tecnología y costos económicos, es muy elevado. La energía eólica muestra las potencialidades para la creación de empleo de las nuevas tecnologías energéticas, pues ya emplea a cerca de 4 000 personas en España. Un decreto aprobado por el último Consejo de Ministros de 1998 regula los mecanismos e incentivos que hagan posible para el año 2010 que las energías no contaminantes y sostenibles puedan aportar el 12 % del consumo nacional.

Uno de los complejos de energía solar de Luz International, en el desierto Mojave, California posee varias instalaciones que cubren más de 750 hectáreas y generan 354 megavatios de electricidad, lo que es suficiente para abastecer 170 000 hogares. Los espejos curvos siguen la trayectoria del sol, concentrando su luz en unos tubos que contienen un aceite sintético que se calienta hasta casi 400 grados centígrados. El calor se usa para producir vapor, que genera electricidad a través

de una turbina.

Los sistemas mareomotrices podrían abastecer casi tres cuartas partes de las necesidades energéticas actuales de la Comunidad Europea. Las posibilidades para las mini-centrales hidroeléctricas son también significativas. En China hay más de 60 000 de estas centrales en funcionamiento, lo que es solo una quinta parte del potencial hidroeléctrico total. En los EEUU, si las 67 000 presas existentes, la mayoría de ellas construidas para controlar inundaciones, fueran utilizadas para producir electricidad, sería posible abastecer a varios millones de hogares, potencial técnicamente aprovechable 9 800 TW.h/año, de producción anual: 2 200 TW.h/año. Las hidroeléctricas más grandes del mundo se encuentran en América Latina: Itaipú (Brasil-Paraguay) y Guri (Venezuela).

La biomasa puede llegar a ser uno de los combustibles más importantes en el futuro. En los próximos veinte años podría suministrar un octavo del presupuesto energético mundial. En España actualmente el potencial energético de la biomasa asciende a 37 000 ktep, pero tal cifra incluye 19 600 ktep de cultivos energéticos y 3 800 ktep de residuos forestales y agrícolas. La obtención de biogás en digestores a partir de residuos ganaderos reducirá las emisiones de metano y está promocionada con el fin de reducir la contaminación, obtener fertilizantes y producir energía.

Un Libro Blanco, para las energías renovables, tiene como principal objetivo duplicar la aportación de las energías renovables, de forma que en el año 2010 el 12 % de la energía que se consuma en la Unión Europea proceda de fuentes renovables. Es la primera vez que se establece un objetivo de estas características, que obligue a una aportación concreta de las renovables, más allá de los tradicionales buenos deseos de hacer "lo que se pueda". Además, en España ese compromiso está explícitamente recogido en la Ley del Sector Eléctrico [10].

The European Renewables Energy Council (EREC), después de años de estudio con otros grupos sobre energía, llegó a la conclusión en el informe presentado en el taller internacional para las Energías Renovables [20], que es realmente posible pasar de 13-14 % actual de fuentes renovables a nivel mundial, a 50 % en el 2040. De estas fuentes el 51 % sería biomasa; 8,56 % agua; 10,8 % viento; 12,3 % fotovoltaica; 8,6 % solar térmica; 6,9 % energía geotérmica y entre 1 y 2 % energía del mar. Este escenario sería posible si el protocolo de Kyoto se implementa y se toman a nivel internacional medidas rigurosas para la protección del medio ambiente y la promoción de la fuentes renovables, y si se actúa con una colaboración muy estrecha entre todos los países, con una clara voluntad de los países del Norte de ayudar económicamente a los países del Sur [20].

El Taller Internacional "Futuro de biogás en Europa - III" realizado en el año 2007 en Dinamarca y auspiciado por *"European Commission through the PROBIOGAS Project y European Commission under the Intelligent Energy – Europe Programme"* [18], tuvo como objetivo principal analizar las perspectivas de biogás en Europa y las tecnologías para su producción. Se presentaron trabajos prácticos de estudio en

producción de biogás en siete países (Holanda, Bélgica, Francia, Irlanda, España, Grecia, Dinamarca). Al final fue presentada una conferencia sobre la visión futura del biogás para 2020, alegando que más del 50 por ciento de la energía será producida por fuentes renovables.

1.2 Desarrollo de Energías Renovables en Cuba

En la década de los sesenta Cuba dedicó una atención muy particular a los problemas del medio ambiente y de la energía. El propio Ernesto Che Guevara encausó programas en el campo de las energías renovables. Después hubo un período de estacionamiento, en virtud de los intercambios comerciales con la Unión Soviética, que garantizaban el suministro de petróleo para las necesidades del país. A los inicios de los años noventa hubo una toma de conciencia del problema energético y están comprometidos a nivel gubernamental numerosos ministerios. Además varias firmas y empresas trabajan en el campo de energías renovables [20].

En la actualidad el desarrollo de las fuentes renovables de energía en Cuba se lleva a cabo en varias direcciones simultáneamente:

- Educación y formación de una cultura y de una conciencia energética y de respeto ambiental.
- Investigación y desarrollo científico-técnico.
- Fomento de la industria nacional.
- Aumento del uso de las fuentes renovables de energía.
- Planificación energética.

El potencial que representan hoy las energías renovables tiene una relevancia creciente de cara a la búsqueda de una concepción energética que conduzca hacia un desarrollo pleno y armónico con el medio ambiente [1]. Para Cuba, alcanzar su autosuficiencia energética es una cuestión estratégica, pues esta será una garantía en el mantenimiento de la soberanía y la independencia nacional.

En los países tropicales como Cuba, las energías renovables pueden desempeñar un papel fundamental. La política de la utilización de fuentes de energía renovables [2], se viene empleando desde la década de los setenta y desde los años ochenta se

ejecutaron varias plantas de biogás en diferentes provincias, destacándose la provincia Villa Clara con la fundación del Grupo de Biogás en el año 1993, con el destino de crear una cultura a todos los niveles sobre el uso y los beneficios de la tecnología de biogás.

En Cuba dadas las características de su base productiva, la aplicación de tecnologías para la producción de biogás ha estado dirigida fundamentalmente a residuales de ingenios azucareros y fábricas de derivados de la caña de azúcar, de plantas procesadoras de café y de instalaciones pecuarias [16].

El programa de energía eólica posee varios proyectos en ejecución, como:

- Campo Eólico en Gibara, Holguín con seis unidades de 850 kW, potencia total de 5 100 kW.
- Campo Eólico en la Isla de la Juventud, con seis unidades de 275 kW, potencia total de 1 650 kW.

El programa de energía solar tiene instalados más de 7 000 módulos fotovoltaicos de 150 a 250 W en comunidades sin servicio eléctrico del SEN. Está en desarrollo un proyecto de Planta Solar con capacidad de 100 kW sincronizada al SEN. Potencial: seis kW.h-día/m^2 para 1 700 horas/año.

Dentro del programa de energía de la biomasa se encuentra en ejecución un primer proyecto experimental en la comunidad Cocodrilo, planta de biomasa con capacidad para 50 kW, tecnología hindú. Está en fase de diseño una planta de biomasa con capacidad de 1 000 kW, en la comunidad La Melvis [8].

Se ha demostrado con los resultados obtenidos hasta la fecha, que la participación de todas las organizaciones políticas y sociales en cada provincia es imprescindible para el desarrollo favorable y seguro de estas energías. En Cuba, al principio de la década del ochenta, llegaron a construirse más de 4 000 digestores de pequeña escala que en breve tiempo dejaron de utilizarse, entre otras cosas, por sus características de explotación y diseño. El proceso de desactivación se ha producido por no existir atención adecuada a estas instalaciones desde la base hasta la dirección en el territorio [15]. Las plantas de biogás se han comportado como un

problema más para el Ministerio de la Agricultura, sin embargo, se considera, que para la población rural fue y es una solución ventajosa para satisfacer las necesidades energéticas principalmente, confirmada por la existencia de numerosas instalaciones en explotación tanto de los años setenta como las más recientes y por la constante demanda de los pobladores y empresas para la ejecución de nuevas plantas.

El potencial de biogás en Cuba, analizado muy conservadoramente, supera las 200 000 tep al año. Existen unas 650 plantas de biogás de tecnología china, hindú, alemana, belga y otras variantes cubanizadas, de las cuales cerca del 50% permanecen inactivas ante la indiferencia de los poseedores de las mismas. Es necesario rescatarlas, con el empeño y los recursos de los territorios hasta que se puedan desplegar planes más ambiciosos. Se cuenta con especialistas dispuestos a brindar ayuda desinteresada con el objetivo de continuar desarrollando la tecnología y ampliar el noble uso del biogás, para lo cual no se requieren grandes niveles de inversión [11].

Según expertos del Grupo Nacional de Biogás, perteneciente al Grupo Central de Energía Renovable y Eficiencia Energética, el principal uso ha sido en la cocción de alimentos con el consecuente ahorro de combustibles, aunque se ha empleado puntualmente en alumbrado y generación de electricidad. En Magueyal, municipio San Luis en la provincia de Santiago de Cuba, se capta el biogás obtenido en los biodigestores y se envía a un grupo electrógeno donde se mezcla con diesel para generar electricidad.

Se han identificado potencialidades para usar el biogás en la cogeneración de energía eléctrica y energía térmica a partir de residuales de la industria azucarera y del café, entre otros. Otra vía es captar el biogás que se produce en los rellenos sanitarios debido a la descomposición de la materia orgánica, experiencia que ya se aplica en el relleno de la calle 100 en Marianao. La creación de plantas de biogás en Centros Integrales Porcinos para tratar los residuos y generar electricidad es otra aplicación prometedora.

Según datos del Grupo Nacional de Biogás, el potencial de Cuba supera los 400 millones de metros cúbicos anuales. Si se aprovechara adecuadamente, se podría instalar una potencia de generación eléctrica de 85 MW y producir más de 700 GW.h al año, así se evitaría emitir más de tres millones de toneladas de dióxido de carbono y se ahorrarían unas 190 mil toneladas de petróleo. Además, se obtendrían dos millones de toneladas de abono orgánico al año y se reduciría la carga contaminante. Datos preliminares ubican a Ciudad de La Habana y Pinar del Río, como los territorios con mayor potencial.

1.2.1 Energía de la biomasa

La biomasa está considerada como una de las principales fuentes de energía renovable en el futuro, para la producción de biocombustibles que sustituyan a los fósiles y para la producción de energía eléctrica y eventualmente calor (con equipos de cogeneración). El interés en esta forma de energía está creciendo cada vez más, como lo demuestran los frecuentes congresos y programas internacionales sobre el tema.

Importante es utilizar la biomasa de la manera correcta y en los países tropicales la energía de biomasa puede desempeñar un papel fundamental [20]. En Tailandia, India, Brasil y Cuba, países productores de azúcar, se utiliza el bagazo de la caña en las instalaciones de cogeneración para la producción de energía eléctrica y calor.

1.2.2 Energía de biogás

El biogás es un gas que se produce mediante un proceso metabólico de descomposición de la materia orgánica sin la presencia de oxígeno. Este biogás es combustible, tiene un alto poder calorífico de 4 700 a 5 500 kcal/m^3 y puede ser utilizado en la cocción de alimentos, para la iluminación de naves y viviendas, así como para la alimentación de motores de combustión interna que accionan máquinas herramientas, molinos de granos, generadores eléctricos, bombas de agua y vehículos agrícolas o de cualquier otro tipo. La generación natural de biogás es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono. El metano producido por bacterias es el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan

material orgánico y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente [15].

Componentes del biogás:

Los principales componentes del biogás son el metano (CH4) y el dióxido de carbono (CO2). Aunque la composición del biogás varía de acuerdo a la biomasa utilizada, su composición aproximada se presenta en la tabla.1.1.

Tabla.1.1 Composición del biogás

Metano, CH4	40 - 70% volumen
Dióxido de carbono, CO2	30 - 60
Sulfuro de hidrógeno, H2S	0 - 3
Hidrógeno, H2	0 - 1

El metano, principal componente del biogás, es el gas que le confiere las características de combustible al mismo. El valor energético del biogás por lo tanto estará determinado por la concentración de metano - alrededor de 20 – 25 MJ/m^3, comparado con 33 – 38MJ/m^3 para el gas natural [17].

1.3 Uso del biogás para la generación de electricidad

En principio el biogás puede ser utilizado en cualquier equipo comercial diseñado para uso con gas natural. El gráfico (Figura.1.1) que se encuentra a continuación resume las posibles aplicaciones.

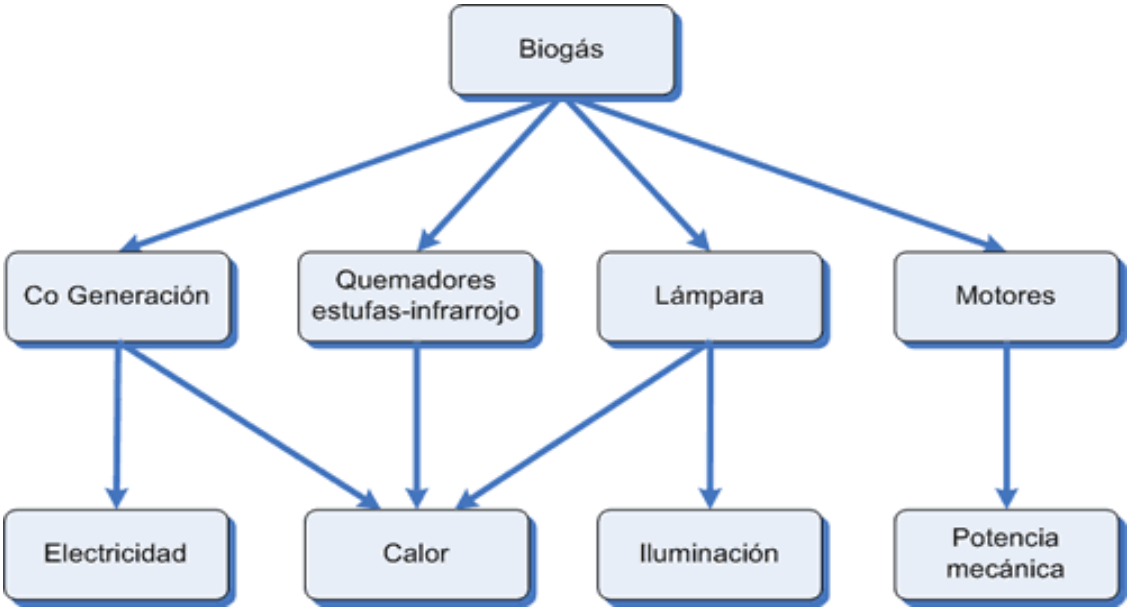

Figura.1.1 Aplicaciones del biogás.

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como diesel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado una desventaja es su baja velocidad de encendido.

En los motores de Ciclo Otto el carburador convencional es reemplazado por un mezclador de gases. Estos motores son arrancados con nafta y luego siguen funcionando con un 100 % de biogás con una merma de la potencia máxima del 20 % al 30 %.

A los motores de Ciclo Diesel se les agrega un mezclador de gases con un sistema de control manteniendo el sistema de inyección convencional. De esta manera estos motores pueden funcionar con distintas proporciones de biogás diesel y pueden convertirse fácil y rápidamente de un combustible a otro lo cual los hace muy confiables. El gasoil no puede ser reemplazado en los motores funcionando a campo del 85 % al 90 %, debido a que la autonomía conseguida es menor comparada con la original.

Los motores a biogás tienen un amplio espectro de aplicación siendo los más usuales el bombeo de agua, el picado de raciones y el funcionamiento de

ordeñadoras en el área rural. El otro uso es su empleo para activar generadores de electricidad.

Una gran importancia tienen los sistemas de cogeneración, los cuales buscan la mayor eficiencia en el aprovechamiento de la energía contenida en el biogás. En estos casos la potencia mecánica provista por el eje del motor es aprovechada para generar electricidad a través de un generador. Simultáneamente y por medio de una serie de intercambiadores de calor, ubicados en los sistemas de refrigeración (agua y aceite) del motor y en la salida de los gases de escape, se recupera la energía térmica liberada en la combustión interna. De este modo se logra un mejor aprovechamiento de la energía.

La difusión de estos sistemas estará condicionada por la rentabilidad final. Sin embargo, representa la utilización más racional del biogás ya que se obtiene una forma de energía extremadamente dúctil como la electricidad al mismo tiempo que una fuente de calor [21].

1.3.1 Experiencias internacionales en la generación de electricidad con biogás

La valorización energética de la biomasa para generar electricidad continúa sin desarrollarse como debería en España, a pesar de los esfuerzos que se están haciendo porque el sector se haga fuerte de una vez por todas [7]. El Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010, en el año 2010 debe cubrirse con fuentes renovables al menos el 12 % del consumo total de energía en España. Así mismo, este PER 2005-2010 incorpora otros dos objetivos indicativos para 2010: 29,4 % de generación eléctrica con renovables y 5,75 % de biocarburantes en transporte.

El biogás sí está cercano a alcanzar el objetivo parcial establecido para esta tecnología en el PER. Este objetivo está fijado en 250 MW de potencia a instalar en 2010, y actualmente ya hay instalados 175 MW, lo que supone un 70 % de dicho objetivo. Hasta el momento más de tres cuartas partes del cumplimiento del objetivo se ha producido a través del biogás procedente de la desgasificación de vertederos, mientras que los biodigestores continúan estando poco desarrollados en España. El Núcleo de Excelencia en Generación Termoeléctrica y Distribuida – NEST del

Instituto de Ingeniería Mecánica Universidad Federal de Itajubá de Brasil, plantea que es uno de los países del mundo que más ha avanzado en la implementación de programas de uso de la energía de la “biomasa moderna”. Sin embargo, esfuerzos adicionales deben ser realizados en lo relacionado con la generación de electricidad en pequeña escala.

En América Central el proceso de la producción simultánea de vapor y electricidad, la cual se aplicaría en muchos procesos industriales que requieren las dos formas de energía, es muy común en los ingenios de azúcar, los cuales aprovechan los desechos del proceso, principalmente el bagazo. Por la alta cantidad de bagazo disponible, tradicionalmente la co-generación se realiza en una forma bastante ineficiente. Sin embargo, en los últimos años ha existido la tendencia a mejorar el proceso para generar más electricidad y vender el excedente a la red eléctrica [12].

Según la información de la Universidad Nacional de Ingeniería de Perú [5], la generación de energía eléctrica a partir de uso de biogás en motores de combustión interna ha sido el tema central de varios proyectos desarrollados y finalmente se ha encontrado una alternativa viable para la generación de energía eléctrica en lugares carentes de esta. Esta alternativa consiste en la adaptación de pequeños grupos electrógenos, tanto de encendido por chispa (a gasolina) como diesel, para trabajar con biogás, para lo cual se han efectuado algunas modificaciones, principalmente, en el sistema de alimentación de combustible. Estas modificaciones se caracterizan por el uso de tecnología sencilla y la economía de su realización. Durante el desarrollo del proyecto se han visto aspectos vinculados con el diseño, construcción y pruebas del sistema de alimentación de los motores, incluyendo los mecanismos y accesorios de regulación en diferentes regímenes de operación del motor. Para el diseño del carburador – mezclador se ha empleado un modelo matemático para optimizar su geometría, minimizando las pérdidas de presión y manteniendo la relación aire-combustible adecuada.

En el desarrollo del proyecto se logró implementar un sistema que permite un fácil arranque del motor y una alimentación confiable y segura de biogás, lo cual permitió hacer funcionar de manera adecuada el motor estacionario (a gasolina) Honda GX-

240 (relación de compresión: 8/1; cilindrada: 242 cm^3, diámetro x carrera: 73x58 mm; potencia máxima: 5,97 kW a 3 600 r.p.m.) con un combustible no especificado por el fabricante, esto es muy importante ya que con esto se vislumbra la posibilidad de electrificación de muchas comunidades rurales y urbano marginales que no tengan acceso a la energía eléctrica.

La Universidad EARTH asumió el reto de rescatar, validar, generar, adaptar y difundir tecnologías aplicables a la realidad del trópico y capacitar a sus estudiantes internacionales con el aprendizaje de tecnologías apropiadas, amigables con el ambiente, de bajo costo y de alta eficiencia y rentabilidad [4]. La EARTH inauguró el 26 de septiembre del 2006 una planta de generación de energía eléctrica a partir de biogás, con lo cual se amplían las posibilidades de producir electricidad en los países tropicales, a partir de energías renovables. Desde hace 12 años, la EARTH ha utilizado, promovido y difundido el uso de biodigestores, que permiten la producción de biogás a partir de excrementos animales y humanos y de otros residuos orgánicos.

Los 600 biodigestores del tipo Taiwán que se encuentran en funcionamiento actualmente en la Universidad EARTH y en el medio rural de Costa Rica, fueron instalados en trabajo conjunto con el Ministerio de Agricultura y Ganadería - MAG, El Instituto Costarricense de Electricidad – ICE en sus proyectos de Conservación de Cuencas, La Pastoral Social de Limón, El Proyecto Pocotsi, de la Fundación Neotrópica y El Proyecto COBODES de la Unión Europea. Estos biodigestores producen biogás con un contenido de entre 60 a 80 % de metano, que es un combustible apto para su uso directo o para la generación de energía eléctrica. Este proyecto está dirigido a suplir las necesidades de energía eléctrica a mayor escala, es decir, en pequeñas y medianas comunidades y empresas agroindustriales rurales. El motor de la planta eléctrica fue construido para gas natural y fue calibrado para funcionar con biogás, con un contenido de entre 60 a 70 % de metano. Esta planta tiene un potencial de generación de energía eléctrica de 40 kW.h, lo que permite mantener encendidos 400 bombillos de 100 W, o bien suplir la demanda energética de entre 40 a 60 viviendas dotadas con electrodomésticos básicos. Este motor produce muy bajo ruido y por ello no afecta el bienestar humano y/o animal.

La inversión en este sistema de generación de 40 kW.h alcanzó los 60 mil dólares. Se calculó recuperar dicha inversión en seis años. Si se toman en cuenta los beneficios ambientales de la producción, captación y utilización de fuentes de energías renovables y se valora la menor contaminación ambiental, el tiempo de recuperación de la inversión se reduce sensiblemente. Dependiendo de la cantidad de animales que posea la empresa agropecuaria y del volumen de captación de excretas u otros desechos orgánicos y de las aguas servidas, se puede producir mayor o menor cantidad de biogás y por ello instalar un generador con menor o mayor capacidad. Esto hace que sea un sistema a escala, sin requerir siempre de altas inversiones.

Los resultados de la utilización del biogás para generación de electricidad, llevados a cabo en la granja Pozo Verde, Colombia, están representados por dos motores diesel con sus respectivos generadores, que fueron adaptados para funcionar alimentados con biogás-acpm (combustible diesel). Se logró un nivel de sustitución en el consumo de acpm del 67% y del 47% para los motores Perkins y Blackstone, respectivamente. El empleo del biogás en el motor Perkins muestra una disminución del 40 % en el costo del kW.h al compararse con el costo de la energía actualmente suministrada a la granja [22].

1.3.2 Experiencias nacionales en la generación de electricidad con biogás

Existen muy poca información y literatura sobre la generación de electricidad con biogás en Cuba. En el año 1998, un campesino con la participación de los especialistas del Instituto de Investigaciones Porcinas de La Habana realizaron la prueba con un generador eléctrico de 1,5 kW, monofásico, con voltaje 120 V, frecuencia 60 Hz, Biestratus [19].

Desde julio del año 2006, comienza a trabajar con biogás el grupo electrógeno MWM- DITER para el suministro de electricidad a la comunidad rural Mageyal, provincia Santiago de Cuba [14].

El grupo electrógeno que tiene las siguientes características:

Motor: MWM- DITER, Tipo: D 327-2

Ciclo de trabajo: 4 tiempos

Sistema de combustión: Inyección directa.

Lubricación: Circulación forzada de aceite.

Refrigeración: Por aire

Número de cilindros: 2, Diámetro del cilindro: 100 mm.

r.p.m.: 1 800

Consumo de combustible. gr / CVh =196+5 % ó 450 l / h

Presión de aceite en velocidad nominal-mínimo: 2kg/cm2

Ajuste del interruptor de advertencia de presión de aceite: 0,5 – 0,8 kg/cm2

Presión de aceite a ralentí: mínimo 0,5 kg/cm2

Potencia generada: 14,4 kW.

Este grupo electrógeno tiene 22 años de explotación.

Para la generación de electricidad con biogás se ejecutaron dos digestores a través de un proyecto internacional financiado por una Organización no Gubernamental (ONG). Los parámetros de cada uno son las siguientes:

Digestor No. 1.-

Volumen total: 83,04 m^3

Volumen de la cámara de fermentación: 59,78 m^3

Volumen de almacenamiento de biogás: 23,56 m^3

Digestor No. 2

Volumen total: 91,26 m^3

Volumen de la cámara de fermentación: 65,73 m^3

Volumen de almacenamiento de biogás: 25,53 m^3

La necesidad de biogás para la planta de acuerdo a las horas de trabajo son las siguientes:

Para 8 horas de trabajo-------57,6 m^3

Para 12 horas de trabajo-----86,4 m^3

La entrada de biogás al motor se realiza por la admisión de aire con un dispositivo diseñado en el Centro de Estudios de Eficiencia Energética, que se muestra:

Grupo electrógeno: MWM- DITER, Tipo: D 327-2

Consumo de combustible de diseño. gr / CVh =196+5 % ó 4,50 litros / h

Consumo de combustible actual. Litros / hora = 5

Años de explotación: 22

Este grupo electrógeno comenzó a trabajar con biogás el 23 de julio del 2006 y se tomaron los datos hasta el 23 de Diciembre.

Días trabajados: 156

Horas de servicio electricidad: 1 185,6

Promedio diario de horas de electricidad: 7,6

Consumo horario de diesel: 1,41

Diesel consumido en la etapa: 1 671,69 litros/h

Diesel que se hubiese consumido con 4 horas de trabajo diario sin biogás: 3 120 litros/h

Ahorro de diesel: 144 831 litros

Horas de entrega de electricidad en 156 días a 4 horas diarias: 624

Horas adicionales aportadas de suministro eléctrico con biogás: 561,6

Consumo de diesel para 7,6 horas de trabajo durante 156 días sin biogás: 5 928 litros

Según el Boletín Informativo del Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA), CITMA / Dirección de Energía Renovable, abril, 2010, en el vertedero de La Habana se ha desarrollado una tecnología para el reciclaje de esta fracción orgánica, mediante la digestión anaerobia, lo que posibilita la obtención

de biogás y su transformación a energía eléctrica. El biogás está siendo utilizado para producir energía eléctrica y para el autoconsumo de la planta en su sistema de calentamiento del digestor. El grupo electrógeno presta servicio a la oficina de Comunales con un tiempo de 4-8 horas por día.

En el mismo Boletín, abril 2010, se reporta sobre un Proyecto de generación de electricidad a partir de biogás en instalaciones de CUBARON S.A. a partir de las aguas residuales de tres instalaciones localizadas en Santa Cruz del Norte.

La compañía alemana Chriwa ha elaborado una propuesta de proyecto y los resultados esperados son muy alentadores:

- Producción de 23 000 m^3 de biogás (con 65-70 % CH4) diarios
- Producción de 60 MW.h de electricidad diarios
- Producción de 30 t de vapor diario
- Producción de 1 t de fertilizante orgánico diario
- Reducción de 46 t de la carga contaminante actual diaria

Resulta muy interesante el hecho de que actualmente las tres instalaciones consumen como demanda máxima diaria de electricidad solo unos 40 MW.h, por lo que restarían unos 20 MW.h para entregar a la red nacional de suministro. El equipamiento de la planta, instalación y puesta en marcha, está valorado en unos 7,7 millones de euros (incluyendo la construcción civil). Su estudio preliminar arroja la posibilidad adicional de ingresos por concepto de venta de créditos de carbono de unos 770 000 euros anuales.

1.4 Conclusiones parciales

Existe un desarrollo en aumento de las energías renovables debido a la importancia que tienen en la construcción de una sociedad más limpia y con menos dependencia de los hidrocarburos.

La energía de la biomasa en Cuba representa una solución a los problemas energéticos existentes, ya que puede sustituir en un gran porciento a las fuentes de energía convencionales.

El biogás como combustible juega un papel importante en la creación de centros más eficientes y sostenibles aplicándolo en la generación de electricidad.

CAPÍTULO 2. MÉTODOS Y RESULTADOS

2.1 Materiales consultados

Durante el estudio integral del Complejo Agroindustrial Pecuario "Guayos" se consultó la documentación gráfica, como mapa cartográfico de ubicación general, plano detallado de la instalación, levantamiento de la red eléctrica y varios informes, proyectos y avales, despejando la información necesaria.

2.2 Métodos utilizados

Se organizaron cuatro fases de trabajo que siguieron el orden metodológico de la guía para la elaboración del Plan General de Ordenamiento Territorial y Urbanismo, aprobada por el Consejo Científico del Instituto de Planificación Física de La Habana en el año 2000.

Teniendo en cuenta, que el ordenamiento territorial es la expresión espacial de la política económica, social, cultural y ambiental de toda la sociedad con la cual interactúa y que es una disciplina científico-técnica, administrativa y política orientada al desarrollo equilibrado del territorio y a la organización física del espacio según un concepto rector, se ajusta para la aplicación en el área de acción del presente estudio y a la temática abordada.

2.2.1 Guía para la elaboración del Plan General de Ordenamiento Territorial del municipio

La guía tiene un carácter abierto, encaminado a que en cada municipio y asentamiento, consejo popular o localidad se precise su propio diseño conceptual, metodológico y técnico del Plan General de Ordenamiento Territorial y Urbanismo,

a partir de la propia identidad local, de la dinámica económica y social del territorio, y de las capacidades institucionales y de gestión instaladas para asumir su visión del futuro y conducir adecuadamente las acciones del presente. Ahora, más que nunca, se requiere de una reflexión conceptual y práctica profunda y explícita, que contribuya a la eficacia, eficiencia y efectividad del ordenamiento territorial, en las condiciones concretas de cada localidad, y que parte de un conocimiento amplio de las políticas estatales y de los objetivos provinciales, municipales y comunitarios.

Se pueden identificar tres procesos emergentes en los últimos años: críticas a la práctica del planeamiento estatal o legal; el enfoque estratégico y el planeamiento de acción.

El planeamiento de acción es el proceso participativo de desarrollo de un plan de corto plazo, relativo para el uso de recursos disponibles, para responder a objetivos limitados y, regularmente, en un área definida.

Se le identifica además con las siguientes características:

- Orientado a la implementación.
- Ataca problemas específicos y legitimados por los implicados.
- Innovador y flexible.
- Los agentes implicados se lo deben apropiar.
- Constituye un proceso de aprendizaje.

Usualmente, el proceso de planeamiento de acción se apoya en especialistas que aportan técnicas y elementos de gestión. Para su éxito, es esencial la claridad que se tenga de las cuestiones a priorizar, y los beneficios y resultados que se lograrán con el proceso participativo.

En el caso de esta investigación se aplicó el diseño metodológico para el planeamiento de acción que se desarrolló en el Complejo Agroindustrial Pecuario "Guayos" y tuvo cuatro etapas de trabajo:

Fase de Diagnóstico: se hace un diagnóstico de la situación actual en diferentes esferas del centro.

Fase de la Propuesta: para programar y diseñar la propuesta que puede solucionar la problemática manifestada determinando plazos de ejecución (corto, mediano o largo) y magnitud (solución parcial o total) de la misma.

Fase de Ejecución: para acometer las acciones e inversiones específicas de la propuesta enunciada.

Fase de Evaluación: para valorar los resultados económicos, ambientales y sociales de la propuesta ejecutada.

Fase de diagnóstico.

El diagnóstico constituye el resumen del análisis retrospectivo y de la situación actual, aportando dos tipos de conclusiones: la fundamental que es la territorial y la sectorial.

En ese sentido, la territorialización del diagnóstico es un resultado esencial de este análisis y su expresión correcta es la identificación y caracterización de las áreas-problemas, en especial las áreas críticas y las áreas potenciales.

En función de este análisis físico-espacial, se abordan las interrelaciones y efectos de los siguientes grupos de aspectos:

La situación económica y social del complejo.

La situación energética.

La situación ambiental.

Se realizó el diagnóstico del sistema socio-económico y ambiental apoyándose en el método de observación directa durante un recorrido por el área en estudio. También se consultaron los estudios anteriores en cada ámbito.

El esquema tecnológico se actualizó mediante un recorrido y levantamiento de los equipos, dispositivos y componentes existentes en la unidad.

El volumen de biogás posible a obtener se calculó utilizando el método de indicadores de producción para residuos orgánicos ganaderos y método de medición del flujo con medidor de gas.

Fase de propuesta.

A partir del diagnóstico y teniendo en cuenta los objetivos económicos, sociales y ambientales del lugar de estudio se actúa tomando decisiones sobre la marcha, en un entorno variable, fortaleciendo las ideas que vislumbran un impacto positivo.

La propuesta se lleva a cabo mediante múltiples enfoques, ideas y técnicas de pronóstico, para proyectar el modelo energético más factible y teniendo en cuenta las condiciones, posibilidades y prioridades del complejo.

La propuesta constituye una forma de mejorar el esquema energético convencional o actual del lugar, aprovechando la fuente de energía renovable existente.

Fase de ejecución

Esta etapa corresponde a la instalación de todos los dispositivos que integran el esquema tecnológico propuesto: tuberías para conducción de biogás, depósitos de almacenamiento, torre de purificación, compresor y grupo electrógeno.

Fase de evaluación

Está relacionada con la evaluación de los resultados con el empleo del modelo energético propuesto. Se realizó la evaluación económica utilizando el método de flujo de caja, con el objetivo de estimar el valor actual neto y el tiempo de recuperación de la inversión. Además se tienen en cuenta los beneficios ambientales y sociales en función de la aplicación de la tecnología.

2.3 Análisis de los resultados

En este epígrafe se realiza el análisis del trabajo teniendo en cuenta las cuatro etapas a desarrollar anteriormente mencionadas.

2.3.1 Fase de diagnóstico

2.3.1.1 Análisis socio-económico y ambiental del Complejo

Ámbito socio-económico

El Complejo Agroindustrial Pecuario "Guayos" se ubica en la provincia de Sancti Spíritus, en el municipio Cabaiguán a unos 1,5 km al oeste del poblado Guayos en un área de desarrollo agropecuario, perteneciente al Ministerio del Interior. El área socio-administrativa está compuesta por las instalaciones de uso social como garita, oficinas, almacenes, cocina, comedor obrero y dormitorio. El área de producción está compuesta por el módulo de cría porcina, naves para la cría de toros y carneros, almacenes, nevera, molinos de pienso seco, matadero de animales, fábrica de pienso líquido.

Principales datos del Complejo:

Área total del Complejo – 11,22 ha

Número de trabajadores – 35

Capacidad máxima de las instalaciones para cría de cerdos – hasta 2 200 animales

Naves para la ceba de toros – capacidad hasta 60 animales

Fuente de abasto de agua – agua subterránea (cuatro pozos)

Servicio eléctrico actual – del SEN

Combustibles utilizados – diesel y biogás

Estado medio-ambiental

Siendo la actividad principal del Complejo la crianza animal, labores agrícolas y pequeñas industrias, se originan volúmenes considerables de residuales pecuarios, industriales y domésticos. En el Complejo se han desarrollado las acciones para mejorar el sistema de depuración y manejo de estos residuos. Las aguas residuales de origen orgánico provenientes de las naves de cerdos y toros,

del matadero y planta de pienso líquido, son enviadas a un sistema de tratamiento que está compuesto por los siguientes objetos de obra:

1. Colector de carga.

- Trampa de sólidos flotantes y sólidos sedimentables (Figura.2.1).
- Digestor anaerobio compuesto por el tanque de digestión, espacio para acumulación de biogás y tanque de compensación sobre el digestor (Figura.2.2).

Figura.2.1. Trampa de sólidos

Figura.2.2. Digestor anaerobio

2. Sistema de lagunas (Figura.2.3) y lecho de secado (Figura.2.4)

Figura.2.3 Laguna

Figura.2.4. Lecho de secado de lodos

El sistema de tratamiento con la implementación del digestor anaerobio ha mejorado el manejo de los residuos pecuarios y ha disminuido la contaminación del las aguas y del suelo.

2.3.1.2 Estimación del potencial de biogás generado

La producción de biogás a partir de desechos orgánicos existentes en el Complejo representa una fuente posible para su uso directo como energía calorífica o para generar energía eléctrica, que puede sustituir el consumo de portadores energéticos convencionales y aprovechar su empleo como fuente energética renovable.

El modelo de digestor construido es de tipo pistón con flujo continuo y volumen de digestión de 266 m^3. Teniendo en cuenta, que en el biodigestor la producción de biogás es un proceso continuo que aumenta y disminuye durante el día, debido a factores tales como la temperatura ambiental, tipo de biodigestor, variabilidad de alimentación, tiempo de retención, utilización de agua de lavado, entre otros, el volumen producido varía para cada caso específico. Según los datos aportados por el proyectista, especialista y operario de la planta Ing.O.Hermida, en este caso se obtiene más de 1 m^3 de biogás/m^3 de digestor, debido a la mezcla de diferentes sustratos como residual porcino, vacuno, residuo de matadero y del tacho de pienso líquido, que posibilitan la generación de más de 315 m^3 de biogás al día.

Existen varios métodos de cálculo o estimación de la producción de biogás, tales como uso de indicadores de producción, análisis de laboratorio, utilización de contadores o medidores de gas, entre otros.

Se lleva a cabo el cálculo del volumen de biogás y se realiza la comparación de los diferentes resultados para contar con mayor información.

Métodos utilizados.

1. Método de cálculo por "índices" de producción para la determinación del volumen promedio generado (Tabla.2.1).

Tabla.2.1. Evaluación del potencial de materia orgánica para la producción de biogás

Fuente de materia orgánica	**Cantidad de animales (cabezas)**	**Volumen de materia orgánica o excretas (kg/día)**	**Volumen promedio de biogás (m^3/día)**
Ganado porcino	2 200 peso equivalente 60 kg	5940	297
Ganado bovino estabulado	80	640	32
Matadero integral		375 kg de residuos	15
Tacho de pienso líquido		75 kg de residuos	3
TOTAL			**347**

Los potenciales se calcularon utilizando los siguientes indicadores:

- 1 cerdo de 135 libras excreta 2,7 kg/día
- 1 toro de 600 libras excreta 7- 8 kg/día

➢ Índice de producción:

- 1kg de excreta porcina o vacuna produce entre 0,03 – 0,05 m^3/día de biogás.
- 25 kg de residuos de matadero producen 1 m^3/día de biogás

Fuente [9] [17].

2. Método de medición del flujo de biogás con medidor de gas, precisión clase B, Marca BETA, Chino, G1.6.

Las mediciones fueron tomadas cada 24 horas durante tres días (Tabla.2.2).

Tabla.2.2. Medición del volumen de biogás

Fecha	**Lectura Volumen m^3/día**
01/04/10	329
02/04/10	341
03/04/10	350

Los cálculos resultantes indican que el volumen promedio de biogás es similar en cada fuente aportada.

2.3.1.3 Análisis del modelo energético actual

El modelo energético actual corresponde al esquema tecnológico (Figura.2.5), que facilita la utilización de biogás como fuente alternativa para la cocción de alimentos, aprovechando del volumen generado solamente al 5 %, el 95 % restante no se aprovecha.

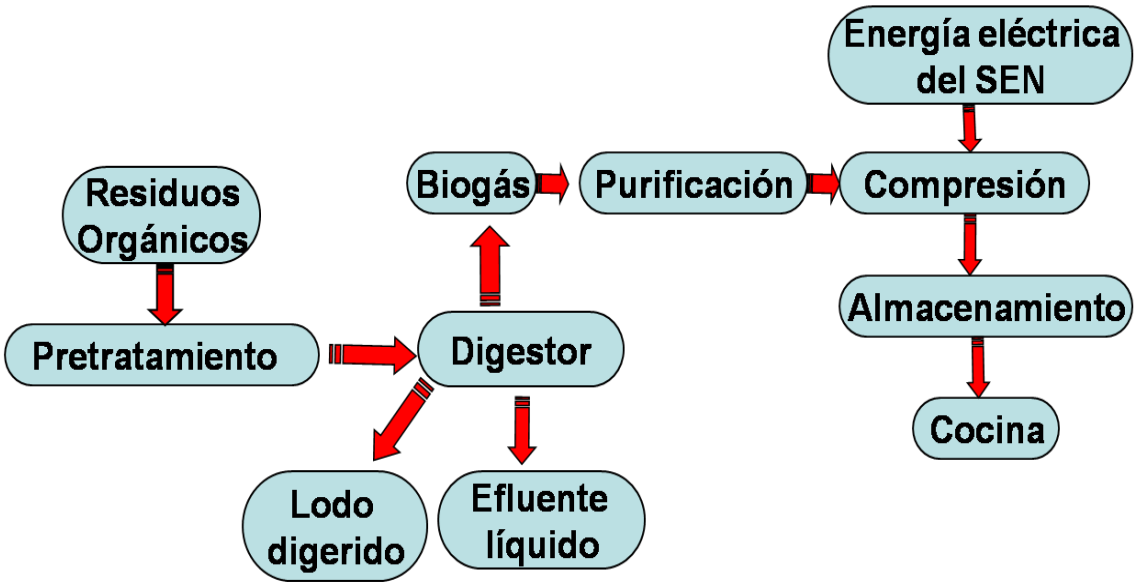

Figura.2.5. Esquema tecnológico actual.

El flujo tecnológico se inicia en el área de pre tratamiento, los dispositivos que lo componen son la cámara de mezcla para residuos entrantes y la trampa de sólidos para separar los sólidos flotantes y sólidos sedimentables (no orgánicos). Después la mezcla se deposita en el digestor donde ocurre el proceso de digestión anaerobia y se originan tres productos: el biogás, efluente líquido y lodo digerido. Posteriormente el biogás pasa por un filtro para su purificación, eliminando el sulfuro de hidrógeno (H_2 S). A continuación se comprime para su

almacenamiento en depósitos previstos para este fin (balas) y luego se distribuye para la red de consumo directo en la cocción de alimentos.

La purificación del biogás es muy importante por el carácter corrosivo del sulfuro de hidrógeno (H_2S). El método de purificación usado es el de ´´Absorción del H_2S a partir de óxido de hierro´´.

El filtro (Figura.2.6.) está compuesto por un recipiente el cual contiene agua y limallas de hierro, al entrar el biogás reacciona con el hierro, logrando una reacción que elimina en un porciento elevado el H_2S.

Figura.2.6. Filtro de H_2S.

2.3.1.4 Diagnóstico energético del Complejo

El diagnóstico permite conocer los principales portadores energéticos utilizados en el Complejo y los consumos actuales (Tabla.2.3). Los datos fueron brindados por el energético del Complejo y se reflejan a continuación:

✓ Electricidad (para alumbrado, bombeo de agua, refrigeración, calentamiento de agua en matadero, forrajeras, molinos de pienso seco)

✓ Diesel (para la planta de pienso líquido)

✓ Biogás (para cocción de alimentos en el comedor)

✓ Gas licuado (de reserva)

✓ Leña (de reserva)

Tabla.2.3. Consumo actual de portadores energéticos

Portadores energéticos	**Consumo mensual**	**Consumo anual**
Diesel	1,5 t/mes	18 t/año
Electricidad	10 500 kW.h/mes	126 000 kW.h/año
Biogás	450 m^3/mes	5400 m^3/año

Fuente: Datos suministrados por el especialista del Complejo

Los datos del uso actual de los portadores energéticos convencionales como diesel y electricidad muestran un consumo anual considerable, por lo que el aprovechamiento de biogás con fines energéticos pudiera proporcionar un ahorro significativo. Para conocer la carga instalada que representa cada equipo eléctrico en el Complejo se revisa el levantamiento de carga en cada área (Anexo 3).

Los resultados del levantamiento y su análisis, permiten seleccionar los equipos que representan una mayor carga eléctrica y con un tiempo de explotación puntual como:

- Bombas de agua
- Forrajeras

Los datos del análisis energético y del levantamiento de la carga eléctrica proporcionan una base para realizar la propuesta en función del volumen de biogás disponible.

2.3.2 Fase de la propuesta

Después de los análisis de la situación energética actual, el estudio de la carga eléctrica instalada, la prioridad industrial y la posibilidad de uso de biogás como fuente de energía alternativa, se propone modificar el esquema energético actual. Para la selección más factible se evalúan varios elementos del proceso industrial y mecanismos de ajuste para otro tipo de combustible.

Factores principales a considerar:

- ✓ Volumen de biogás disponible
- ✓ Características técnicas de los equipos existentes
- ✓ Empleo actual de combustibles
- ✓ Posibilidad económica para adquirir equipamiento complementario
- ✓ Prioridad en la producción

2.3.2.1 Selección de los equipos para funcionar con biogás

Teniendo en cuenta todos los factores mencionados y principalmente el orden de prioridad en el flujo productivo, se proponen los siguientes equipos para funcionar con biogás.

Para producción de energía calorífica:

1. Cocina de gas industrial
2. Quemador de gas en la planta de pienso líquido.
3. Calentador de agua en el Matadero.

Para generación de energía eléctrica:

1. Grupo electrógeno, que generará electricidad para determinados equipos vitales del Complejo.

Consumo promedio de biogás por equipos

- ✓ **Cocina de gas industrial**

Se utiliza para la elaboración de alimentos en la cocina del comedor obrero.

Consumo promedio de biogás - 15 m^3 /día (dato suministrado por el especialista)

- ✓ **Planta de pienso líquido**

Equivalencia de los combustibles:

1 m^3 de biogás representa 0,41 kg de diesel (anexo 1)

Consumo diario de diesel: 0,05 toneladas

Por tanto, el consumo teórico de biogás debe ser de 120 m^3/día

- ✓ **Calentador de agua**

Consumo promedio de biogás – 50 m^3/día (dato suministrado por el especialista)

- ✓ **Grupo electrógeno:**

Para el grupo electrógeno se dispone de 130 m^3, que es el biogás restante.

Como resultado se puede observar que la demanda puede ser cubierta con el volumen actual de biogás.

2.3.2.2 Descripción del modelo energético propuesto

El esquema tecnológico propuesto (Figura.2.7.) se justifica por la necesidad del aprovechamiento máximo del volumen de biogás disponible actualmente y por la premura del ahorro de fuentes convencionales como diesel y energía eléctrica suministrada del SEN.

Se plantea la incorporación de la tubería para la conducción del biogás desde el tanque de almacenamiento hasta el quemador de gas en la planta de pienso líquido, el calentador de agua del matadero y el grupo electrógeno, el cual contará con un circuito seccionalizado. Con este modelo se aprovechará el volumen de biogás producido al 100 %. Además para hacer más eficiente el modelo propuesto se plantea aprovechar el calor producido por el grupo electrógeno en la aceleración del proceso de descomposición de la materia orgánica y así obtener una mayor cantidad de biogás diariamente.

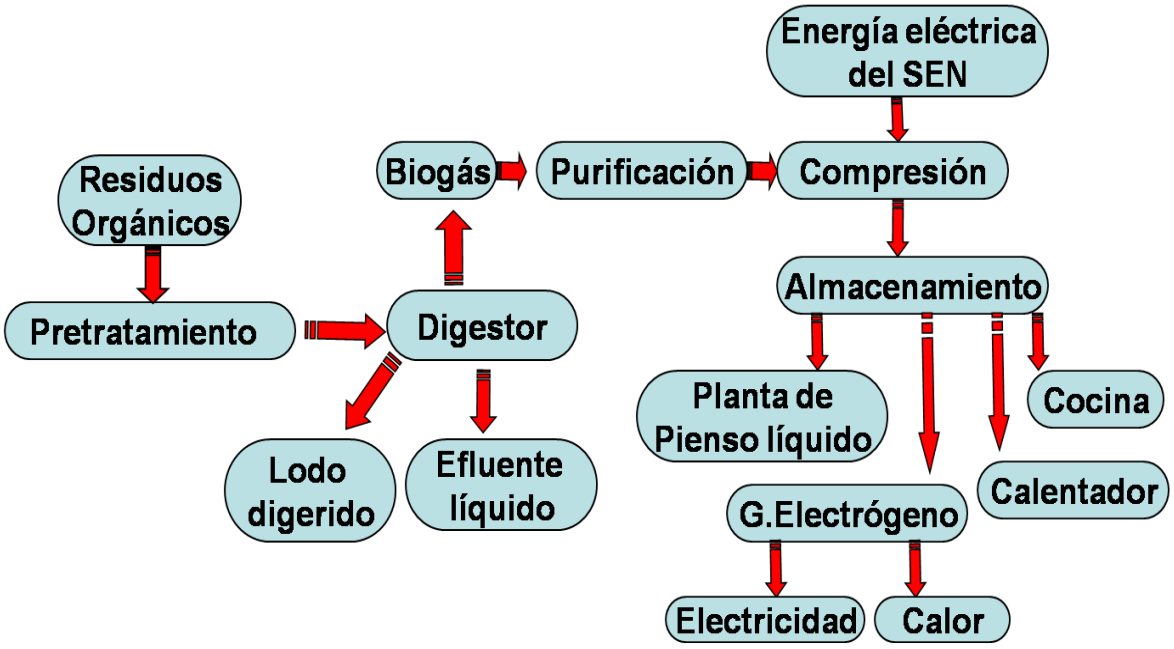

Figura.2.7. Esquema tecnológico propuesto.

La generación de electricidad posibilitará el funcionamiento de los equipos que actualmente son altos consumidores, aumentando la eficiencia energética del centro y contribuyendo al ahorro.

2.3.2.3 Especificaciones de los componentes del esquema tecnológico propuesto

Cálculo del volumen de almacenamiento de biogás

De acuerdo con el volumen promedio generado de 315 m^3/día, que puede tener producciones mayores, es necesario realizar la acumulación en horarios que no se consume y mantener la reserva para garantizar el servicio propuesto en caso de alguna dificultad en la producción de biogás.

Se cuenta con 4 balas de 15,8 m^3 cada una y la presión máxima permisible por el fabricante es hasta 15 atm.

Los cálculos del volumen de biogás almacenado se realizan aplicando la ecuación de estado de los gases ideales (Fórmula.2.1.) y con una presión de 10 atm:

$P_1 * V_1 = P_2 * V_2$ (Fórmula.2.1.)

$10atm * 63{,}2m^3 = 1atm * V_2$

$V_2 = 632m^3$

Resulta un volumen total de 632 m^3 de biogás a presión normal, por lo que se garantiza la capacidad de almacenaje para prestar el servicio durante dos días. El almacenamiento del biogás se realiza con el uso de un compresor.

Características técnicas del compresor Chino

Caudal – 45 m^3/h, Potencia nominal del motor – 7,5 kW.h**,** Presión máxima – 10 atm

Calentador de agua

El diseño del calentador está basado en el intercambio de calor en tubo, siguiendo las leyes de la Termodinámica.

Quemador de biogás

El quemador de biogás será elaborado por ALASTOR

Características técnicas del grupo electrógeno

Para la generación de electricidad se cuenta con un grupo electrógeno(a gasolina) (Figura.2.7.) que fue modificado para trabajar con biogás, el cual posee las siguientes características:

(Figura.2.7.) Grupo electrógeno.

Sistema de control del grupo electrógeno

Cuenta con diferentes relojes analógicos que indican los parámetros del motor como:

- Nivel de aceite
- Temperatura
- Velocidad

Para lograr un funcionamiento adecuado del generador se cuenta con un frecuencímetro, un amperímetro, un voltímetro, un regulador de voltaje y un regulador de velocidad.

Datos del motor:

Tipo – Zil 131

Potencia máxima 150 Hp ó 110kW a 3 200 rpm

Consumo de combustible – 90m^3/h de biogás a su máxima potencia

Datos del generador:

Tipo – trifásico (3Ø)

Potencia nominal - 60 kvas

Factor de potencia - 0,8

Frecuencia- 60 Hz

Voltaje – 230 V

Corriente - 37,5 A

Velocidad sincrónica - 1800 rpm

Conexión – estrella con neutro aterrado

Excitado independiente

Se logró implementar un sistema que permite un fácil arranque del motor y una alimentación confiable y segura de biogás, lo cual permitió hacer funcionar de manera adecuada el motor estacionario.

El arranque del grupo electrógeno se realiza con gasolina y continua trabajando con biogás, debido a la adaptación de un mezclador a la entrada del carburador, que según la admisión del motor permite la entrada exacta de una mezcla de aire y biogás.

El cálculo del consumo teórico de combustible del motor fue realizado sobre la base de:

- Potencia máxima del motor (110 kW) (dato del fabricante).
- Consumo nominal de combustible para esa potencia (45 litros/h de gasolina)
- Equivalencia calórica de los combustibles: un litro de gasolina ≈ dos m^3 de biogás (T=25^{0}C y P=1atm con una concentración de metano del 65 %)

El grupo electrógeno tiene una demanda base de biogás para funcionar entre 15m^3 y 20m^3, se estima el consumo de un m^3 por cada kW.h en incremento. Teniendo en cuenta que el motor va a entregar aproximadamente la mitad de su potencia máxima, el consumo de biogás se reduce considerablemente, por tanto sería de unos 60 m^3/h, teniendo en cuenta un margen de error del cinco por ciento por encima del consumo real.

2.3.2.4 Determinación de la carga eléctrica para el grupo electrógeno

Para lograr una buena eficiencia del grupo electrógeno se debe conectar una carga eléctrica cerca del 90 % de la nominal del generador (48 kW) con el objetivo de no sobrecargarlo y tener en cuenta los picos de corriente en el arranque de los motores. El consumo de biogás del motor y la cantidad con la que se dispone, permite generar electricidad por un tiempo de dos horas diariamente.

Para seleccionar los equipos que trabajarán con el grupo electrógeno se siguió el criterio de los mayores consumidores y teniendo en cuenta que su ubicación fuese la más cercana posible para reducir las pérdidas en la transmisión de la energía eléctrica, además se tuvo en cuenta el horario de trabajo de los mismos.

Los equipos para trabajar con el grupo electrógeno están representados en la Tabla.2.5.

Tabla.2.5. Carga total instalada al grupo electrógeno

Equipos (trifásicos)	**Carga unitaria (kW)**	**Número de unidades**	**Tiempo de explotación**	**Carga total instalada(kW)**
Planta de Pienso Seco				**44,5**
Motor eléctrico	5,5	1	2	
Módulo porcino				
Motobomba	4,5	1	2	
Motobomba	5,5	1	2	
Bomba sumergible	4,5	4	2	
Cebadero bovino (toros)				
Forrajera	5,5	1	2	
Nave ovina (carneros)				
Forrajera	5,5	1	2	

La conexión de los equipos se realizará mediante un circuito seccionalizado, que permite en caso de una falla en el grupo electrógeno, el funcionamiento de estos equipos con la energía del SEN.

2.3.3 Fase de ejecución

La ejecución de la propuesta se realiza con la instalación de los equipos y accesorios necesarios obedeciendo a las normas y regulaciones existentes y teniendo en cuenta las particularidades de cada componente.

2.3.3.1 Montaje de los equipos, dispositivos y accesorios

El montaje de todos los equipos se realizó con la asesoría del personal especializado para garantizar la eficiencia y seguridad del flujo tecnológico.

Depósitos para almacenamiento de biogás (Figura.2.8.)

El montaje de las balas de almacenamiento de biogás (4 unidades) que están diseñadas para acumulación de gas a presión se realizó sobre muros de hormigón para su mayor seguridad y estabilidad. El régimen de trabajo establecido para la compresión es de hasta 10 atm, menor que el nominal, (hasta 15 atm). Se realizó el aterramiento de cada bala por el personal especializado.

Figura.2.8 Balas de almacenamiento.

Equipo para comprimir el biogás

La instalación del compresor (Figura.2.9.) se realizó sobre una base de hormigón con la caseta correspondiente. Se instalaron las tuberías para succionar el biogás del biodigestor y para enviarlo hacia las balas. Mediante un presostato se logra la automatización del proceso de compresión.

Figura.2.9. Compresor Chino.

Grupo electrógeno

El montaje del grupo electrógeno con su caseta metálica se realizó sobre una base de hormigón prevista para este fin en el lugar más oportuno para el suministro de biogás al motor.

También se tuvo en cuenta la condición para prestar el servicio con más facilidad a los equipos seleccionados. Se instaló un filtro de sulfuro de hidrógeno (H_2S) adicional en la tubería de entrada al motor para asegurar la calidad óptima del biogás y de esta forma optimizar el funcionamiento del mismo.

Tubería de conducción de biogás

Se realizó la instalación de la tubería para suministrar el biogás hasta el grupo electrógeno.

Además se colocaron las tuberías para conducir el biogás hasta el calentador de agua en el matadero y para el quemador de gas en la planta de pienso líquido.

2.3.4 Fase de evaluación

En esta etapa se valoran los resultados del comportamiento de diferentes indicadores con la aplicación del nuevo modelo energético, teniendo en cuenta varios aspectos de relevancia.

2.3.4.1 Evaluación económica del modelo energético propuesto

El costo total de de los componentes del modelo propuesto se expresan en moneda nacional (Tabla.2.6).

Tabla.2.6. Estimación del costo de los equipos para el modelo propuesto

Equipamiento del modelo propuesto	**Costo total pesos**	**Observaciones**
Biodigestor	50 000	
Grupo electrógeno	45 000	
Depósitos para almacenar el biogás, 4 unidades	2 000	Balas recuperadas de CUPET
Compresor	3 500	
Tuberías de gas, 200,0 m.	200	
Calentador de agua	200	Elaborado en el taller
Quemador de gas	1 000	
Filtro de H_2S	20	Elaborado en el taller
Accesorios	10	Recuperados
Total	**37 260**	

Fuente: Datos aportados por los especialistas del Complejo

El suministro de biogás para la planta de pienso líquido, para el calentador de agua en el matadero y para la generación de electricidad en el grupo electrógeno durante 2 h/día representa ganancias inmediatas por la sustitución de portadores energéticos convencionales (Tabla.2.7).

Tabla.2.7. Cálculo del ahorro de portadores energéticos convencionales

Portador energético	**Ahorro por mes**	**Ahorro por año**	**Ahorro por año**
Diesel	1,5 t	18 t	19,5 tep
Energía eléctrica	4470 kW.h	53640 kW.h	16,0 tep
Total			35,5 tep

Conversiones utilizadas:

Media nacional para la producción de un kW.h – 277 g de petróleo.

El factor de conversión de una tonelada de diesel a tep es 1,085. (Anexo 1)

Tabla.2.8. Cálculo de emisiones evitadas de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y su repercusión económica

Gases causantes de efecto invernadero	Emisiones evitadas (t/año)	Daños económicos evitados (USD/año)
Metano (CH_4) (descomposición de la materia orgánica)	43	19 780
Dióxido de Carbono (CO_2) (Combustión de diesel)	106	2 120
Total		**21 900**

Se asume que una tonelada de CO_2 emitida causa un daño entre 8 y 66 USD, tomamos un valor de 20 USD y 1 tonelada de metano equivale a 23 toneladas de CO_2 [6].

Cálculos realizados:

Se obtienen 114 975 m^3/año de biogás con una concentración de metano hasta el 65 % lo que representa la producción de 74 733 m^3/año de CH_4. (Información de la concentración de metano fue brindada por el especialista, que posee los resultados de las muestras tomadas de la composición de biogás con el analizador de gases)

Peso específico del metano

1 mol de gas a temperatura y presión ambiental es igual a 0,0274 m^3

$$M(CH_4) = 12*1 = 12$$

$$= 1*4 = 4$$

$$= 12 + 4 = 16 g/mol$$

$$0{,}0274 m^3 CH_4 ----- 1 m^3$$

$$16 ----- x(peso_del_CH_4)$$

$$x = 0{,}580 kg$$

Conversiones utilizadas:

1 m^3 de CH_4 equivale a 0,580 kg

La combustión de 277g de petróleo produce 890 g de CO_2.

Estimación de ingresos por el valor agregado de la tecnología propuesta

La tecnología de biogás para el manejo de residuos orgánicos proporciona numerosos beneficios que pueden sustituir las importaciones e insumos externos.

- Se hace posible la obtención de hasta 5 t/mes de lodos, que constituyen un bioabono de alta calidad para el mejoramiento de suelos y el aumento del rendimiento de las cosechas.

Considerando el precio de 1 tonelada de bioabono 60 USD se obtiene un ingreso de 3 600 USD al año.

2.3.4.2 Aplicación del Flujo de caja. Determinación del valor actual neto (VAN) y del tiempo de recuperación de la inversión (TIR)

Variante 1

Costo promedio de la energía		0.19	$ por kW.h		
Costo del biodigestor	50000				
Costo del motor generador	45000				
Costo de las balas de almacenaje	2000				
Costo del compresor	3500				
Costo del quemador de gas	1000				
Costo del calentador	200				
Costos Auxiliares	4500				
Costo de Inversión Total	106200				
Vida útil (años)	5	5	5	5	5
Impuestos (%)	20	20	20	20	20
Tasa de intereses (%)	20	20	20	20	20

Año	1	2	3	4	5
Costo de la energía ($/kW.h)	0.19	0.209	0.228	0.247	0.266
Energía Generada (MW.h) por año	54	54	54	54	54
Ingreso Energía Generada ($) por año	10260	11286	12312	13338	14364
Ingreso por Emisiones de CO2 evitadas	21900	21900	21900	21900	21900
Ingreso por ton petróleo ahorrada	5050	5050	5050	5050	5050
Ingreso por bioabono	3600	3600	3600	3600	3600
INGRESO TOTAL	40810	41836	42862	43888	44914
Depreciación	21240	21240	21240	21240	21240
Ahorro sin impuestos ($)	19570	20596	21622	22648	23674
Ahorro con impuestos ($)	15656	16476.8	17297.6	18118.4	23674
Flujo efectivo no descontado ($)	36896	37716.8	38537.6	39358.4	44914
Factor descuento por intereses	0.833333	0.6944444	0.5787037	0.482253	0.401878
Flujo efectivo descontado ($)	30746.67	26192.222	22301.852	18980.71	18049.93

Valor Residual					0
Flujo de caja	-75453.33	-49261.11	26959.259	-7978.55	10071.38
Valor Presente Neto	10071.38				

- Como se puede apreciar el valor actual neto es mayor que cero, por tanto se acepta la inversión o la ejecución del modelo energético propuesto, que se justifica por sus beneficios.
- El período de recuperación de la inversión con la implementación propuesta en el Complejo Agroindustrial Pecuario ¨Guayos¨ es de cuatro años aproximadamente.

2.3.4.3 Análisis de sensibilidad del VAN

Si en la evaluación del proyecto se concluyó que en el escenario proyectado como el más probable el VAN era positivo, es posible preguntarse hasta dónde puede bajarse el precio o caer la cantidad demandada o subir un costo, entre otras posibles variaciones, para que ese VAN positivo se haga cero. Se define el VAN de equilibrio como cero por cuanto es el nivel mínimo de aprobación de un proyecto. De aquí que al hacer el VAN igual a cero se busca determinar el punto de quiebre o variabilidad máxima de una variable que resistiría el proyecto.

El costo de la energía eléctrica tiene dos aristas, una es el pago en moneda nacional por los kW.h gastados y la otra el costo en divisa para el país cuando se genera un kW.h. Se varía el costo de la energía para observar el comportamiento del VAN y el TIR.

Variante 2

Costo promedio de la energía		1,5	$ por kW.h
Costo del biodigestor	50 000		
Costo del motor generador	45 000		
Costo de las balas de almacenaje	2 000		
Costo del compresor	3 500		
Costo del quemador de gas	1 000		
Costo del calentador	200		

Costos Auxiliares	4 500					
Costo de Inversión Total	106 200					
Vida útil (años)	5	5	5	5	5	
Impuestos (%)	20	20	20	20	20	
Tasa de intereses (%)	20	20	20	20	20	
Año	1	2	3	4	5	
Costo de la energía ($/kW.h)	1,5	1,65	1,8	1,95	2,1	
Energía Generada (MW.h) por año	54	54	54	54	54	
Ingreso Energía Generada ($) por año	81000	89100	97200	105300	113400	
Ingreso por Emisiones de CO2 evitadas	21900	21900	21900	21900	21900	
Ingreso por ton petróleo ahorrada	5050	5050	5050	5050	5050	
Ingreso por bioabono	3600	3600	3600	3600	3600	
INGRESO TOTAL	111550	119650	127750	135850	143950	
Depreciación	21240	21240	21240	21240	21240	
Ahorro sin impuestos ($)	90310	98410	106510	114610	122710	
Ahorro con impuestos ($)	72248	78728	85208	91688	122710	
Flujo efectivo no descontado ($)	93488	99968	106448	112928	143950	
Factor descuento por intereses	0,833333	0,6944444	0,5787037	0,482253	0,401878	
Flujo efectivo descontado ($)	77906,67	69422,222	61601,852	54459,88	57850,28	
Valor Residual						0
Flujo de caja	-28293,3	41128,889	102730,74	157190,6	215040,9	
Valor Presente Neto	215040,9					

El comportamiento del VAN y el TIR son favorables con el aumento del costo de la energía.

Otro factor que se puede variar es el costo de los equipos para saber hasta dónde es rentable la inversión.

Variante 3

Costo promedio de la energía		0,19	$ por kW.h			
Costo del biodigestor	56434					
Costo del motor generador	48000					
Costo de las balas de almacenaje	2000					
Costo del compresor	5000					
Costo del quemador de gas	1000					
Costo del calentador	200					
Costos Auxiliares	4800					
Costo de Inversión Total	117434					
Vida útil (años)	5	5	5	5	5	
Impuestos (%)	20	20	20	20	20	
Tasa de intereses (%)	20	20	20	20	20	
Año	1	2	3	4	5	
Costo de la energía ($/kW.h)	0,19	0,209	0,228	0,247	0,266	
Energía Generada (MW.h) por año	54	54	54	54	54	
Ingreso Energía Generada ($) por año	10260	11286	12312	13338	14364	
Ingreso por Emisiones de CO2 evitadas	21900	21900	21900	21900	21900	
Ingreso por ton petróleo ahorrada	5050	5050	5050	5050	5050	
Ingreso por bioabono	3600	3600	3600	3600	3600	
INGRESO TOTAL	40810	41836	42862	43888	44914	
Depreciación	23486,8	23486,8	23486,8	23486,8	23486,8	
Ahorro sin impuestos ($)	17323,2	18349,2	19375,2	20401,2	21427,2	
Ahorro con impuestos ($)	13858,56	14679,36	15500,16	16320,96	21427,2	
Flujo efectivo no descontado ($)	37345,36	38166,16	38986,96	39807,76	44914	
Factor descuento por intereses	0,833333	0,6944444	0,5787037	0,482253	0,401878	
Flujo efectivo descontado ($)	31121,13	26504,278	22561,898	19197,42	18049,93	
Valor Residual						0
Flujo de caja	-86312,87	-59808,59	-37246,691	-18049,3	0,653652	
Valor Presente Neto	0,653652					

El VAN es mayor que cero, por tanto, se puede aprobar el proyecto con un costo de la inversión de 117 434 pesos como valor máximo.

2.3.4.4 Valoración de los beneficios ambientales

Se muestra a través de la elevación de la protección ambiental por la vía de mejorar las técnicas de manejo de residuos y desarrollo de agro ecología. La tecnología contribuye módicamente al cumplimiento de los acuerdos de La Cumbre de Desarrollo Sostenible (Johannesburgo, 2002) sobre la necesidad de privilegiar la conservación de la naturaleza y la protección ambiental.

La tecnología implementada proporciona:

- Protección de las fuentes superficiales por la reducción de los vertimientos y la disminución de la carga contaminante vertida.
- Reducción de las emisiones de CO_2 y CH_4, gases de efecto invernadero, causantes del cambio climático, que influyen en el aumento de la frecuencia de fenómenos naturales como sequía, ciclones, tormentas, que causan pérdidas sociales y económicas (humana y material).

Posibilidad de mejorar los suelos para la siembra de cultivos y soportar condiciones adversas (sequías, enfermedades, ataques de plagas, etc.)

2.3.4.5 Valoración del impacto social

El empleo de biogás contribuye al bienestar de los trabajadores:

- Mejora las condiciones de trabajo para cocinar en el comedor y se humaniza el trabajo del hombre.
- Mejora las condiciones de trabajo en la planta de pienso líquido con sustitución de diesel por quemador de biogás.
- Posibilita la capacitación de la sociedad en el uso de una tecnología alternativa y no contaminante.

- Proporciona mayor rendimiento de las cosechas y obtención de productos ecológicos con aplicación de bioabono obtenido de la planta de biogás, que mejora la alimentación de los trabajadores en calidad y cantidad.

Aporta beneficios directos a un total de 35 trabajadores y beneficios indirectos con la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero que afectan el medio donde reside la población.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Los resultados del estudio permiten demostrar la importancia del biogás como energía calorífica y para la generación de electricidad, constituyendo un ejemplo de modelo energético sostenible.

- La propuesta alcanza el óptimo aprovechamiento de biogás y se demuestra la factibilidad de integración del proceso productivo con una fuente de energía renovable de una manera sustentable.
- La implementación del modelo energético propuesto facilitará el ahorro de 18 t/año de diesel y 53640 kW.h/año de electricidad, aportando al programa de ahorro de energía y reduciendo la dependencia de los hidrocarburos.
- Se logra la contribución a la Gestión Eficiente de Energía en el Complejo con la disminución del 42,0 % del consumo de electricidad de la red Nacional.
- La participación de los trabajadores, técnicos, especialistas y comunitarios logra ampliar el conocimiento sobre el uso de biogás y elevar la conciencia energética y el respeto ambiental.

Recomendaciones

- Aplicar el modelo energético sostenible en lugares con condiciones similares.
- Utilizar equipos y dispositivos recuperables en otros escenarios que lo permitan para minimizar los costos y lograr su máximo aprovechamiento.
- Profundizar en el estudio sobre la carga eléctrica más adecuada para el generador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arrastía A., Rodríguez M., Sáez A., Fundora J, (2002). *Ahorro de energía y respeto ambiental*. Editora Política, La Habana.
2. Berriz L., Madruga E. (2001). Cuba y las fuentes renovables de energía, *Energía y Tú*, Cuarta edición.
3. Boletín Informativo del Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA), CITMA / Dirección de Energía Renovable, abril, 2010.
4. Botero R. Universidad EARTH (2006). Generación de energía eléctrica a partir de biogás. http://www.engormix.com/generacion_energiaelectrica_arti cu los_ 1036_POR.htm. 10 de abril del 2010.
5. Biodigestores, (2009). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima - Perú. Facultad de ciencias. http://fc.uni.edu.pe/loptica/biodigestores.htm , 22 de febrero del 2010.
6. Castellanos C., M. (2002). Introducción a la problemática de la Valoración Económico Ambiental, Serie Economía y Medio Ambiente, Dirección de Programas Integrales del Desarrollo, CITMA., Editorial Academia, Habana.
7. Gregorio. M. (2006). Situación actual y perspectiva de la biomasa para generación de electricidad, http://www.eumedia.es/user/articulo.php?id=843 , 17 de abril del 2010.

8. Grupo de Divulgación, Cuba energía. (2008). Clips de Energía, http://www.cubaenergia.cu/boletin, 9 de marzo del 2010.

9. Guardado J. A., “Diseño y Construcción y Mantenimiento de Plantas de Biogás sencillas”. La Habana, Editorial CUBASOLAR, 2007.

10. Las energías renovables son la única alternativa a largo plazo al cambio climático, http://www.nodo50.org/panc/Ere.htm, 22 de febrero del 2010.

11. Laruelo R, (2010). El biogás una alternativa energética para Cuba. Boletín Informativo del Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA), CITMA / Dirección de Energía Renovable, La Habana.

12. Manuales sobre energía renovable: Biomasa Users Network (BUN-CA), (2002), San José, C.R. Biomass Users Network. ISBN: 9968-904-02-3.

13. Nielsen S. B, Asociación Danesa del Biogás. Copenhague. (2001). Plantas de Biogás en Dinamarca, http/www.landbrugsraadet.dk/smcms/Biogas spansk/Venstre_menu1_Introducción/Index.htm., 9 de marzo del 2010.

14. Palacios A., Recio A. (2007) “Electrificación con biogás de la comunidad rural de Mageyal. Municipio San Luís“. Santiago de Cuba.

15. Rivadeneira. R, (2007). Propuesta de alternativas tecnológicas para producir biogás con fines energéticos, Tesis, Centro Universitario Sancti Spíritus, Cuba.

16. Sánchez, J. V, (2003). Producción de biogás a partir de residuales sólidos de origen animal en comunidades locales de la Ciénaga de Zapata, Evento Internacional “Humedales 2003”. Matanzas, Cuba.

17. Sánchez, J. V (2005). Introducción a la producción de biogás, RNPS 0274, ISSN: 1608-1854, Matanzas.

18. Seadi T, (2007). The concept and objectives of PROBIOGAS, The Future of Biogas in Europe III, University of Southern Denmark, Department of Bioenergy.

19. Sosa R., Chao R. (2003). Estudio de pre factibilidad técnico-económica del uso de biogás para la generación de electricidad, Instituto de Investigaciones Porcinas, La Habana.

20. Turríni E, (2006). El camino del Sol un desafió para la humanidad en el tercer milenio. Una esperanza para los países del sur. CUBASOLAR 2006, La Habana.

21. Uso del biogás, http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/usos, 13 de abril del 2010.

22. Zapata. A, (2007). Generación de electricidad en la Fundación CIPAV, Colombia, http://www.proyectosfindecarrera.com/biogás-para-electricidad.htm, 22 de febrero del 2010.

ANEXOS

Anexo I. Conversiones

Tabla1: Valor calórico bruto de diferentes combustibles y su conversión a tep [15].

Combustible	Unidad de Medida	Valor Calórico	Factor de Inversión
Petróleo	t	10 700kcal/kg	1.0700
Gas Natural	m^3	8827 kcal/m^3	0.8827
Leña	m^3	3700 kcal/m^3	0.1414
Bagazo	t	2400kcal/kg	0.2400
Paja de caña	t	1500kcal/kg	0.1500
Electricidad	GW.h	860 kcal/kW.h	0.0860
Gas licuado	t	11980kcal/kg	1.1980
Gasolina de motor	t	11300 kcal/kg	1.1300
Kerosén	t	11030 kcal/ kg	1.1030
Diesel	t	10850 kcal/kg	1.0850
fuel oil	t	10200 kcal/kg	1.0200
Alcohol	hl	6500 kcal/kg	0.65

Carbón vegetal	t	7600 kcal/kg	0.7600
Biogás	m^3	4500 kcal/m^3	0.4500

Tabla 2: Equivalencias del biogás a diferentes combustibles [15].

COMBUSTIBLE	**1 m^3 DE BIOGÁS EQUIVALE A:**
Petróleo	0.42 kg.
Gas Natural	0.51 m^3
Leña	3.18kg.
Bagazo	1.88 kg.
Paja de caña	3.00 kg.
Electricidad	5.23 kWh.
Gas licuado	0.38 kg.
Gasolina de motor	0.4 kg.
Kerosén	0.41 kg.
Diesel	0.41 kg.
Fuel oíl	0.44 kg.
Alcohol	8.45 kg
Carbón vegetal	0.59 kg.

1m^3 de biogás con un valor calórico de 4500kcal/m^3 equivale a 0.42 kg de petróleo

Anexo I I. Cálculo del ahorro de energía eléctrica.

El consumo promedio de energía eléctrica en el Complejo Agroindustrial Pecuario Guayos asciende a 126 000 kW.h/año

La sustitución del consumo de energía eléctrica del SEN por los equipos que funcionan con el grupo electrógeno representa 53640 kW.h/año

El resultado de la siguiente ecuación:

126000 kW.h – 100%

53640 kW.h -- X X=42,55 %,

X representa el por ciento de ahorro de energía eléctrica.

Anexo I I I. Levantamiento de la carga eléctrica en el Complejo.

Tabla 3. Levantamiento de la carga eléctrica en el Complejo.

Alumbrado Exterior				
Equipo	**Carga (kW)**	**Cantidad**	**Días/Mes**	**Tiempo explotación (h/día)**
Lámparas	0.25	6	30	10
Lámparas	0.2	14	30	10
Total				

Área Socio-Administrativa				
Equipo	**Carga(kW)**	**Cantidad**	**Días/Mes**	**Tiempo explotación (h/día)**
Ventilador	0.045	6	24	8
Aire Acondicionado	0.56	2	24	4
Aire Acondicionado	2.82	1	24	1
Caja de agua	0.215	1	26	24
Lámparas	0.018	14	24	4
Lámparas	0.032	7	24	4
Bombillas ahorradoras	0.013	18	24	4
Lavadoras	0.525	1	4	4
Televisor	0.08	2	24	6
Batidora	0.045	1	12	2
DVD	0.025	1	24	1.5
Video	0.025	1	1	8
Bombillas ahorradoras	0.012	5	24	4
Olla Arrocera	1	1	30	4
Olla Reina	2.5	1	24	4
Lámparas	0.04	2	24	4

Instalaciones del Módulo Porcino				
Equipo	**Carga (kW)**	**Cantidad**	**Días/Mes**	**Tiempo explotación (h/día)**
Caja de agua	0.215	1	30	18

Refrigerador doméstico	0.15	1	30	24
Motobomba	5.5	1	26	2
Motor Eléctrico	5.5	1	26	8
Bomba sumergible	4.5	4	26	2
Motobomba	4.5	1	26	2
Lámparas	0.02	2	30	10
Ventilador	0.045	11	30	10
Nevera	0.075	1	30	24
Fogón eléctrico	9.2	1	26	6
Bombilla ahorradora	0.013	33	30	10

Planta de Pienso Líquido

Equipo	Carga (kW)	Cantidad	Días/Mes	Tiempo explotación (h/día)
Bombilla ahorradora	0.013	5	30	10
Lámparas	0.018	1	30	10
Motor eléctrico	5.5	1	24	3
Motor eléctrico	0.35	2	24	3
Generador de vapor	1.25	1	24	8
Motor de ventilador	0.35	1	24	8
Calentador	5	1	24	4
Piedra esmeril	0.35	1	24	1

Cebadero Bovino (Toros)

Equipo	Carga (kW)	Cantidad	Días/Mes	Tiempo explotación (h/día)
Bombilla ahorradora	0.013	11	30	10
Forrajera	5.5	1	30	2
Compresor eléctrico	7	1	30	2

Matadero

Equipo	Carga (kW)	Cantidad	Días/Mes	Tiempo explotación (h/día)
Nevera	2	1	30	24
Motor de ventilador	0.75	3	30	24
Bombilla ahorradora	0.013	14	30	10
Lámparas	0.02	2	30	10
Caja de agua	0.125	1	26	24
Ventilador	0.045	1	26	24
Termo King	12	1	30	24
Calentador de agua	30	1	30	2-5

Nave Ovina

Equipo	Carga (kW)	Cantidad	Días/Mes	Tiempo explotación (h/día)
Bombilla ahorradora	0.007	5	30	10
Forrajera	5.5	1	30	2

Grúa Viajera

Equipo	Carga (kW)	Cantidad	Días/Mes	Tiempo explotación (h/día)
Motor eléctrico	2	1	12	5
Motor eléctrico	1.5	1	12	5

Planta Procesadora de Pescado

Equipo	Carga (kW)	Cantidad	Días/Mes	Tiempo explotación (h/día)
Bombilla ahorradora	0.018	10	26	8
Bombilla incandescente	0.06	1	26	8
Motor eléctrico	1.2	1	26	8

Planta Pienso Seco

Equipo	Carga (kW)	Cantidad	Días/Mes	Tiempo explotación (h/día)

Motores Eléctricos	5.5	4	26	2
Bombilla ahorradora	0.013	2	30	10

Fuente: Datos aportados por el especialista