

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZÚ
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD



PROYECTO FINAL DE GRADO

Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás en una finca rural de calle tercera de Coronel Oviedo

AUTOR: MARIELA MAIRIN VERA PEZOA

TUTOR: ING. NELLY SOLEDAD MORENO SOSA

CORONEL OVIEDO - 2025



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.



Usted es libre de:

- **Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato
- **Adaptar** — remezclar, transformar y construir a partir del material

Bajo los siguientes términos:

- **Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.
- **No Comercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

DERECHO DE AUTOR

Quien suscribe, Mariela Mairin Vera Pezoa, autor del trabajo de investigación titulado “Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás en una finca rural de calle tercera de Coronel Oviedo”, declara que voluntariamente cede a título gratuito en forma pura y simple ilimitada e irrevocablemente a favor de la Facultad de Ciencias y Tecnologías – UNCA, el derecho de autor de contenido patrimonial, que le corresponde sobre el trabajo de referencia. Conforme a lo anteriormente expresado, esta sesión le otorga a la FCyT la Facultad de comunicar la obra divulgarla, publicarla y reproducirla en soportes analógicos o digitales en la oportunidad que así lo estime conveniente. La FCyT deberá indicar qué autoría o creación del trabajo corresponde a mi persona y hará referencia al autor y a las personas que hayan colaborado en la realización del presente trabajo de investigación.

En la ciudad de Coronel Oviedo a los 27 días, del mes de junio del 2025

.....

Firma



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo de fin de grado para la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico, aprobado en representación de la Facultad Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú, por el Tribunal Examinador constituido por los siguientes profesores y con la siguiente nota final:

CALIFICACIÓN FINAL: _____

ACTA N°: _____

FECHA: _____

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Prof. Ing.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

DEDICATORIA

Con todo mi corazón agradezco a Dios y a la Virgen por su guía y apoyo constante a lo largo de mi trayectoria académica.

A mis padres Fermín Vera y Lucilda Pezoa, por su respaldo incondicional y sus oraciones.

A mis hermanos, Hernán, Romina y Mairin, quienes siempre me han brindado su aliento, motivación y compañía.

No puedo olvidar a mis amigos y familiares que me han acompañado en esta travesía.

Este logro es por y para ustedes.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

AGRADECIMIENTOS.

A la ingeniera Nelly Soledad Moreno Sosa, por su orientación y acompañamiento en la elaboración de este proyecto.

Al ingeniero Pedro Pastor González, por sus sugerencias y recomendaciones que han sido clave para el logro de este importante objetivo.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.
VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

RESUMEN.

El presente proyecto de fin de grado consiste en un estudio para un sistema de generación de energía eléctrica a partir de biogás en una finca rural de calle tercera, ubicada en la Ciudad de Coronel Oviedo, departamento de Caaguazú.

Se determinó que la demanda de energía eléctrica en la finca corresponde a una capacidad instalada de 26737 W, con un consumo diario de 119,866 kWh. Se consideró un total de 94 vacas grandes, con peso promedio de 450 kg, las cuales son estabuladas durante la noche, esto permite aprovechar el 25 % del estiércol generado, lo que resulta en una cantidad disponible de 846 kg/día. El biodigestor seleccionado es de tipo tubular Taiwán, con un volumen total de 180 m³, el cual se dividirá en tres biodigestores de 60 m³ cada una. La producción de electricidad es de 184,409 kWh/día y se ha optado por un generador eléctrico a biogás de 32KW/40kVA.

La evaluación económica del proyecto resultó inviable, con un Valor Actual Neto (VAN) negativo de Gs 2.096.625 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 11%. Este análisis se realizó considerando una tasa de interés del 12% para un periodo de 7 años.

Palabras Clave:

Biodigestor

Biogás

Generación de electricidad



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ABSTRACT.

This final degree project consists of a study for a biogas-based electricity generation system on a rural farm on Third Street, located in the city of Coronel Oviedo, department of Caaguazú.

The farm's electricity demand was determined to correspond to an installed capacity of 26737 W, with a daily consumption of 119,866 kWh. A total of 94 large cows, with an average weight of 450 kg, were herded into stables overnight. This allows 25% of the manure generated to be utilized, resulting in an available quantity of 846 kg/day. The selected biodigester is a Taiwan tubular type, with a total volume of 180 m³, which will be divided into three biodigesters of 60 m³ each. Electricity production is 184,409 kWh/day, and a 32 kW/40 kVA biogas generator was chosen.

The project's economic evaluation proved unfeasible, with a negative Net Present Value (NPV) of 2.096.625 PYG and an Internal Rate of Return (IRR) of 11%. This analysis was conducted considering an interest rate of 12% for a 7-year period.

Keywords:

Biodigester

Biogas

Electricity generation



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ÍNDICE

I. INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1.....	2
II. REVISION BIBLIOGRAFICA	2
1. ANTECEDENTES.....	2
2. MARCO TEORICO.....	4
2.1. Biogás.....	4
2.1.1. Aplicaciones del biogás	4
2.1.2. Beneficios del biogás.....	4
2.2. Digestión anaerobia.....	5
2.2.1. Factores que influyen en la digestión anaerobia	6
2.2.1.1. Temperatura.....	6
2.2.1.2. Tiempo de retención.....	6
2.2.1.3. Relación carbono/nitrógeno	6
2.2.1.4. Contenido de solidos.....	7
2.2.1.5. PH	7
2.2.1.6. Tóxicos e inhibidores.....	7
2.3. Biodigestor.....	8
2.3.1. Características de los biodigestores.....	8
2.3.2. Tipos de biodigestores	9
2.3.3. Principales digestores en el medio rural	10
2.2.3.1. Biodigestor de campana flotante o tipo hindú	10
2.2.3.1. Biodigestor de cúpula fija o tipo chino	11
2.2.3.2. Biodigestor tubular o tipo Taiwán	11
2.3. Biomasa.....	12
2.3.1. Tipos de biomasa	12
CAPITULO 2.....	14
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION	14
CAPITULO 3.....	17



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

IV. OBJETIVOS.....	17
CAPITULO 4.....	18
V. METODOLOGIA.....	18
CAPITULO 5.....	19
5.1. Parámetros a considerar para el caso de estudio.....	19
5.2. Descripción de la finca.....	19
5.3. Consumo eléctrico de la finca.....	21
5.4. Biodigestor:.....	22
5.4.1. Biodigestor tubular o de flujo pistón.....	23
5.4.2. Ventajas	25
5.7.3. Desventajas	26
5.5. Producción de estiércol diario.....	26
5.6. Determinación de estiércol disponible	27
5.7. Cantidad de estiércol de ganado vacuno generado en la finca	28
5.8. Relación estiércol-agua	29
5.9. Producción de biogás según la temperatura y tiempo de retención	30
5.10. Demanda de biogás para energía eléctrica.....	32
5.11. Determinación de la cantidad de estiércol para la obtención de biogás necesaria.....	33
5.12. Determinación de la carga diaria total en la finca	34
5.13. Determinación del volumen del biodigestor	35
5.13.1. Volumen liquido	35
5.13.2. Volumen de biogás.....	36
5.13.3. Volumen total del biodigestor	36
5.14. Dimensiones y materiales del biodigestor	37
5.14.1. Resultados de las dimensiones de la zanja del biodigestor	39
5.15. Dimensionamiento del sistema de generación de electricidad	40
5.15.1. Dimensionamiento de la energía eléctrica producida	40
5.15.2. Cálculo y selección del Generador	42
CAPITULO 6.....	44
6.1. Evaluación económica del proyecto	44



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

6.1.1.	Factura mensual del servicio eléctrico suministrado por la Ande	44
6.1.2.	Inversión del sistema a biogás para generación de electricidad.....	45
6.1.3.	Mantenimiento y operación para el sistema a biogás.....	47
6.1.4.	Determinación del flujo neto proyectada	47
6.1.4.1.	Egresos	47
6.1.4.2.	Ingresos	48
6.1.5.	Cálculo del Valor Actual Neto (VAN) Y Tasa Interna de Retorno (TIR)	49
VI.	CONCLUSIONES	51
VII.	RECOMENDACIONES.....	53
VIII.	BIBLIOGRAFÍA.....	54
IX.	ANEXO	55



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ÍNDICE DE FIGURAS.

FIGURA 1. BIODIGESTOR DE CAMPANA FLOTANTE.....	10
FIGURA 2. BIODIGESTOR DE CÚPULA FIJA	11
FIGURA 3. BIODIGESTOR TUBULAR.....	12
FIGURA 4. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO. VISTA SATELITAL.....	20
FIGURA 5. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO. VISTA SATELITAL AMPLIADA.....	20
FIGURA 6. BIODIGESTOR TIPO TAIWÁN	23
FIGURA 7. PARTES DEL BIODIGESTOR TUBULAR	25
FIGURA 8. BIODIGESTORES EN SERIE	37
FIGURA 9. DIMENSIONES DE LA ZANJA TRAPEZOIDAL	40



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA 1. CONSUMO ELÉCTRICO EN LA FINCA	21
TABLA 2. KG DIARIO DE ESTIÉRCOL GENERADO POR CADA TIPO DE ANIMAL	27
TABLA 3. CÁLCULO DE ESTIÉRCOL DISPONIBLE SEGÚN EL CASO	28
TABLA 4. RESULTADOS DE LA CANTIDAD DE ESTIÉRCOL VACUNO GENERADO EN LA FINCA	29
TABLA 5. MEZCLA ESTIÉRCOL – AGUA	29
TABLA 6. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS SEGÚN TEMPERATURA Y TIEMPO DE RETENCIÓN	30
TABLA 7. DATOS DE TEMPERATURA EN CORONEL OVIEDO.	31
TABLA 8. CARACTERÍSTICAS DE BIOGÁS	32
TABLA 9. DIMENSIONES DEL BIODIGESTOR PLANTEADO.....	38
TABLA 10. DIMENSIONES SEGÚN AL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL TALUD DE LA ZANJA.....	39
TABLA 11. DIMENSIONES DE LA ZANJA	40
TABLA 12. RESULTADOS DEL DIMENSIONAMIENTO PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA.....	42
TABLA 13. FACTURA MENSUAL Y ANUAL EN LA FINCA	45
TABLA 14. PRESUPUESTO PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A BIOGÁS.....	46
TABLA 15. COSTOS ANUALES DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN PARA EL SISTEMA A BIOGÁS ..	47
TABLA 16. INGRESOS Y EGRESOS	48
TABLA 17. CÁLCULO DE VAN Y TIR A 7 AÑOS	50

I. INTRODUCCION

El aumento de la demanda energética en los últimos años, sumada a la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y encontrar alternativas sostenibles, ha despertado un gran interés en la biomasa como fuente de energía renovable. En este contexto la generación de energía eléctrica a partir de biogás se ha convertido en una opción prometedora y relevante ya que aporta grandes beneficios tanto ambientales como económicas.

Teniendo en consideración que la ganadería es la actividad principal en la finca, el cual genera suficiente cantidad de desechos, se pretende realizar una evaluación de viabilidad técnica y económica para implementar en ella la generación de energía eléctrica propia a partir del estiércol vacuno, buscando minimizar el alto consumo energético mediante un sistema de energía renovable y reducir la contaminación atmosférica aprovechando al máximo la energía limpia.

CAPITULO 1

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

1. ANTECEDENTES

El estudio titulado “IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR A PARTIR DE RESIDUOS GANADEROS, PARA USO DOMESTICO EN LA HACIENDA LA ESPERANZA, CALCETA, BOLÍVAR, MANABÍ” realizado por Jhandry Manuel Basurto Loor y Sarahy Fernanda Huiza Menéndez en junio del 2017 tuvo como finalidad la de implementar un biodigestor que genere gas combustible (biogás) para fines domestico a partir de los residuos animales, específicamente de ganado vacuno (estiércol). Se aplicó el método cuantitativo para la determinación de los componentes principales del biodigestor así mismo se tomó en cuenta los tratamientos que se le dará al estiércol para elaborar el biogás además se realizó análisis económicos de los tratamientos y el costo de los beneficios que se darán en la hacienda. Mediante resultados favorables obtenidos se llegó a la conclusión de que la aplicación de energías alternativas y la utilización de este tipo de tecnologías limpias ofrece una gran ventaja para la disposición final de los residuos orgánicos (estiércol) como también tiene una gran ventaja económica ya que son tecnologías accesibles y con vida útil prolongada [1].

Otro estudio realizado en junio del 2016, titulado “DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DOMÉSTICO PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL ESTIÉRCOL DE GANADO” cuyo autor es Winston Juan Oscar Arrieta Palacios presentó una investigación que consistía en diseñar una instalación de biogás a escala doméstica que permita aprovechar las excretas de ganado vacuno y/o porcino con la finalidad de satisfacer la demanda energética tanto para la iluminación como para la cocción diaria de alimentos. El mismo mencionó que la aplicación de la digestión anaeróbica tiene un gran potencial en zonas rurales ya que esta tecnología contribuye al desarrollo sostenible de estas zonas alejadas, además expresó que la utilización de biodigestores permite acceder a las poblaciones de escasos recursos (agricultores y ganaderos) a energía y fertilizantes de bajo costo, generados principalmente a partir de desechos contaminantes como el

**Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás
en una finca rural calle tercera de Coronel Oviedo
Mariela Mairin Vera Pezoa – 2024**

estiércol animal, a la vez que contribuyen a mitigar la contaminación del aire y del agua, mejorando su salud [2].

El trabajo “EVALUACIÓN DE PREFACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGIA ELÉCTRICA MEDIANTE LA UTILIZACION DE UN BIODIGESTOR. CASO BIOMASA AVÍCOLA: GRANJA SAN BERNARDO UBICADA EN LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO DPTO CAAGUAZÚ” presentado en 2022 por Guido Osvaldo Caballero Cáceres se basó en el estudio de prefactibilidad para así obtener información del impacto técnico-económico que conlleva el Biodigestor, haciendo uso el aprovechamiento energético de la biomasa en la Granja avícola San Bernardo. El mismo mencionó que una problemática que tiene gran incidencia en la Producción Avícola son los cortes en el suministro de las redes de energía eléctrica, ya que tienen un impacto negativo en la producción en la granja debido a que se necesita energía eléctrica de forma ininterrumpida en todo el desarrollo de producción. Sin embargo, se llegó a la conclusión de que plantear la alternativa de instalación para el uso del generador eléctrico alimentado por Biogás hoy en día conlleva mucha inversión, por tanto, no es viable para la Granja San Bernardo pero sí podría llegar a ser utilizada como una alternativa en caso de fallas por parte de la ANDE [3].

Otro proyecto denominado “DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO EN EL CASERÍO EL PORVENIR, DISTRITO DE BAGUA GRANDE – AMAZONAS” realizado por Ruth Ysabel Gutiérrez Ramos en 2021 tuvo como objetivo diseñar un biodigestor para generación de electricidad a partir de estiércol de ganado vacuno; para suministro de energía eléctrica a la Institución Educativa 16599 El Porvenir. La misma mencionó que dicha institución no tiene acceso a la electricidad debido al costo de distribución y dificultades territoriales alejas a la red eléctrica del concesionario por ello consideró que la producción de biogás mediante el uso de biodigestores es una buena alternativa para la producción de energía eléctrica, considerando que los pequeños generadores son capaces de convertir el biogás en energía eléctrica. Como conclusión indicó que la

evaluación económica del proyecto resulto rentable respecto a un grupo electrógeno a gasolina [4].

2. MARCO TEORICO

2.1. Biogás

El biogás es un gas combustible que se genera por reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante microorganismos (bacterias) en ausencia de oxígeno (proceso anaeróbico). [5]

El biogás se obtiene a partir de desechos orgánicos como residuos de origen animal, de origen humano, vegetales, aguas residuales, etc. Entre sus componentes principales se encuentran el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂), proporciones que dependen de la materia orgánica con el que ha sido producido.

2.1.1. Aplicaciones del biogás

Existen diversas opciones para la utilización del biogás. Dentro de éstas destacan la producción de calor o vapor, generación de electricidad y combustible de vehículos. [6]

El biogás puede emplearse en la propulsión de algunos vehículos, en motores de combustión interna sea nafteros como diésel, así mismo, puede ser aprovechada para la producción de energía eléctrica. Además, puede utilizarse como fuente de calor en las viviendas, servicios de calefacción y agua caliente según las necesidades.

Cabe mencionar que otra aplicación derivada de la fabricación del biogás es la obtención de abonos y fertilizantes naturales. Durante el proceso de su generación se producen residuos sólidos que no son utilizados por los microorganismos para producir biogás. Sin embargo, estos residuos sólidos resultan ser valioso para ser utilizado como fertilizante para enriquecer diferentes tipos de suelos, desde las macetas de las plantas en un hogar hasta los campos de cultivos.

2.1.2. Beneficios del biogás

-Diversidad de usos: Alumbrado, cocción de alimentos, producción de energía eléctrica,

transporte automotor, tratamiento de residuos, producción y aprovechamiento de biofertilizante

-Ambiente: Controla patógenos. Controla olores. Reduce la contaminación de las aguas superficiales con estiércol y otros desechos orgánicos. El aprovechamiento de la materia orgánica, reduce el volumen de basura destinada a los vertederos, reduciendo focos de infección y moscas.

-Tecnología sostenible: Al ser una tecnología sencilla, es accesible a cualquier persona sin conocimientos previos. Basta con instalar de forma guiada un biodigestor para conocer a fondo la tecnología, su manejo diario, su mantenimiento y modalidad de reparaciones. Todos los materiales se pueden conseguir en el mercado local, sin ser necesario importar nada del extranjero. [7]

2.2. Digestión anaerobia

La digestión anaeróbica es un proceso microbiológico que, en condiciones anaerobias (ausencia de oxígeno) permite transformar la materia orgánica en metano. Se compone de múltiples etapas en la que intervienen una población heterogénea de microorganismos. [8]

Este tipo de digestión se lleva a cabo en cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

La primera etapa del proceso es la hidrólisis, en esta la materia orgánica se descompone pasando de proteínas, carbohidratos y lípidos, a compuestos más pequeños y sencillos como aminoácidos, azúcares y ácidos grasos. En la segunda etapa del proceso o acidogénesis los compuestos solubles obtenidos de la hidrólisis son transformados a dióxido de carbono (CO₂), hidrógeno (H₂), y a otros ácidos de cadena corta (ácidos grasos volátiles). En la tercera etapa o acetogénesis estos ácidos de cadena corta, son convertidos en ácido acético. Finalmente, en la última etapa del proceso o metanogénesis, las bacterias metanógenas convierten el ácido acético en metano (CH₄), hidrógeno (H₂) y dióxido de carbono (CO₂). [9]

2.2.1. Factores que influyen en la digestión anaerobia

2.2.1.1. Temperatura

En función de la temperatura óptima de crecimiento, los microorganismos se clasifican en: psicrófilos (temperatura óptima de crecimiento inferior a 30°C); mesófilos (óptimo de crecimiento entre 30 y 45°C); termófilos (su temperatura óptima es superior a los 45°C y generalmente entre 50 y 60°C). Como consecuencia de este crecimiento específico de los microorganismos se pueden distinguir las fermentaciones psicrófila, mesófila y termófila. [8]

Los procesos anaeróbicos, como muchos otros sistemas biológicos, están muy influenciados por la temperatura. La rapidez con la que ocurren estos procesos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos que participan, y esta velocidad de crecimiento está directamente relacionada con la temperatura. Cuando la temperatura sube, los microorganismos crecen más rápido y el proceso de digestión se acelera, lo que resulta en una mayor producción de biogás.

La temperatura de funcionamiento del digestor es un factor clave en su diseño, ya que tiene un gran impacto en la velocidad de la digestión anaeróbica. Cambios bruscos en la temperatura dentro del digestor pueden causar la inestabilidad del proceso.

2.2.1.2. Tiempo de retención

Este parámetro puede definirse como el tiempo que debe permanecer el efluente orgánico o sustrato en el digestor, para alcanzar los niveles de energía y/o reducción de la carga contaminante que se hayan prefijado. [8]

Este aspecto depende de la concentración y el tipo de desecho a descomponer, así como de la temperatura a la que funcionará el biodigestor.

2.2.1.3. Relación carbono/nitrógeno

Toda materia orgánica contiene en su composición Carbono y Nitrógeno que sirven de alimento a las bacterias metanogénicas. En general como aceptable una relación de 25 - 30. Es decir, entre 25 - 30 partes de Carbono y una parte de Nitrógeno.

Valores superiores disminuirán la velocidad de reacción de las bacterias, y valores inferiores pueden crear problemas de inhibición de la actividad bacteriana. [10]

Las excretas de vacuno contienen aproximadamente un 32% de carbono y un 1.5% de nitrógeno, lo que resulta en una relación C/N de 21, cercana a la proporción óptima.

2.2.1.4. Contenido de sólidos

Con el aumento de contenido de sólidos en la mezcla a digerir, la movilidad de las bacterias puede verse disminuida y, por lo tanto, afectada la producción de biogás. Pero en este punto tampoco existen reglas fijas; mediciones realizadas utilizando mezclas de estiércoles animales en agua han determinado que para digestores continuos el porcentaje óptimo de sólidos oscila entre el 8% y el 12%. [7]

2.2.1.5. PH

La digestión anaerobia se desarrolla en condiciones óptimas a un pH de 7,0 - 7,2 pudiendo tener una fluctuación entre 6,5 y 7,5. [8]

Para la fermentación anaerobia el pH debe ser neutro.

- Si el pH > 8 la carga corre riesgo de putrefacción.
- Si el pH < 6 indica descompensación entre fase ácida y metanogénica, pudiendo bloquearse la producción de metano. [7]

2.2.1.6. Tóxicos e inhibidores

El proceso de digestión anaeróbica es inhibido por la presencia de sustancias tóxicas en el sistema. Estas sustancias pueden formar parte de las materias primas que entran al digestor o pueden ser subproductos de la actividad metabólica de los microorganismos anaeróbicos. [6]

Concentraciones elevadas de ácidos, amoníaco y nitrógeno, sales minerales, iones metálicos y algunas sustancias orgánicas como detergentes, desinfectantes y agroquímicos, aparte del oxígeno; inhiben la actividad de las bacterias metanogénicas.

La fase metanogénica también es inhibida por varias sustancias tóxicas, como los

metales pesados, el cadmio, el cobre, el cromo, el níquel, el plomo y el zinc. [7]

En la digestión anaeróbica, también se deben considerar los inhibidores, que son sustancias que, en ciertas concentraciones, pueden perjudicar el funcionamiento del biodigestor y evitar que las bacterias realicen la digestión adecuadamente. Sin embargo, cuando se utilizan estiércoles, estos inhibidores generalmente no representan un problema, ya que sus concentraciones son bajas.

2.3. Biodigestor

Un digestor de desechos orgánicos o biodigestor es, en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales-no se incluyen cítricos ya que acidifican) en determinada dilución de agua para que se descomponga, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio. [11]

El biodigestor crea un ambiente biológico propicio mediante la acción de microorganismos, que lleva a cabo un proceso de fermentación anaerobia. Como resultado de este proceso, se produce el biogás, así como líquidos lixiviados que pueden utilizarse como fertilizantes.

Esta tecnología también ofrece grandes posibilidades para la preservación del medio ambiente, ya que reduce la cantidad de residuos que se vierten en los ecosistemas y, al mismo tiempo, genera una fuente de energía bastante limpia.

2.3.1. Características de los biodigestores

- Hermético a modo de evitar fugas
- Térmicamente aislado para prevenir cambios de temperatura
- Acceso para mantenimiento [3]

Otra de las principales características de la biodigestión es que reduce el nivel de contaminación que generan los desechos tanto de origen animal como humano. Es una tecnología de fácil instalación que utiliza cualquier tipo de residuos orgánicos como

materia prima. Se está adoptando especialmente en comunidades rurales con el objetivo de obtener beneficios importantes como abordar la problemática energética y ambiental, al mismo tiempo que se logra una gestión adecuada de los residuos.

Existen biodigestores para distintas cantidades de residuos, en tamaños pequeños y grandes, es flexible y puede ajustarse según las necesidades específicas, permitiendo su expansión y adaptación en diversos contextos.

2.3.2. Tipos de biodigestores

Los biodigestores varían ampliamente de acuerdo con su complejidad y utilización. Los más sencillos caen dentro de la clasificación de digestores discontinuos o de cargas por lotes y los más complejos se caracterizan por poseer dispositivos que permiten alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación. Resulta conveniente clasificarlos según su modo de operación con relación a su alimentación o carga en los siguientes tipos:

a) Continuos: Cuando la alimentación del digestor es un proceso ininterrumpido, el efluente que descarga es igual al afluente o material de carga (que entra al digestor), con producciones de biogás, uniformes en el tiempo. Son utilizados principalmente para el tratamiento de aguas negras. Corresponde a plantas de gran capacidad, tipo industrial, en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación, así como para su control. Dado que se genera una gran cantidad de biogás, habitualmente, éste se aprovecha en aplicaciones industriales.

b) Semi continuos: Cuando la primera carga que se introduce al digestor consta de una gran cantidad de materias primas. Posteriormente, se agregan volúmenes de nuevas cargas de materias primas (afluente), calculados en función del tiempo de retención hidráulico (TRH) y del volumen total del digestor. Se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad del afluente que se incorporó. Este proceso es usado en el medio rural, cuando se trata de sistemas pequeños para uso doméstico. Los diseños más populares son el digestor Indiano y Chino.

c) Discontinuos o régimen estacionario: Los digestores se cargan con las materias primas

en una sola carga o lote. Después de un cierto período de fermentación, cuando el contenido de materias primas disminuye y el rendimiento de biogás decae a un bajo nivel, se vacían los digestores por completo y se alimentan de nuevo dando inicio a un nuevo proceso de fermentación. Esto se conoce también como digestores Batch o Batelada. [6]

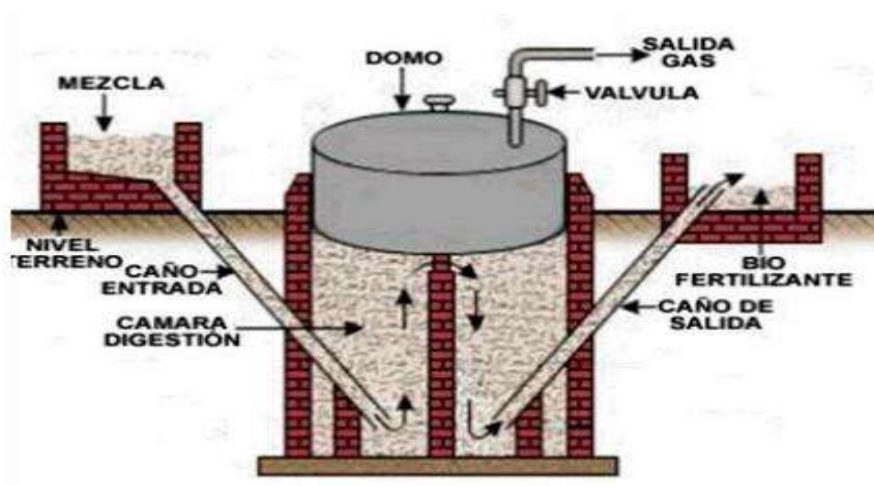
2.3.3. Principales digestores en el medio rural

Los biodigestores más comunes incluyen el tipo chino o de cúpula fija, el tipo hindú o de campana flotante, y el tipo Taiwán o tubular. Entre estos tipos, China e India lideran en cuanto a las mejores tecnologías de construcción.

2.2.3.1. Biodigestor de campana flotante o tipo hindú

Este tipo de biodigestor está parcialmente enterrado y consiste en un tanque vertical acompañado de una campana flotante o gasómetro, generalmente de metal, que almacena el biogás y mantiene una presión constante. Esta característica es beneficiosa para el uso de equipos y sistemas que operan con biogás. Además, el sistema incluye un depósito para la premezcla que alimenta el biodigestor y otro depósito para la salida del fertilizante (ver figura 1). En comparación con el modelo chino, este diseño es más eficiente para la producción de biogás.

Figura 1. Biodigestor de campana flotante

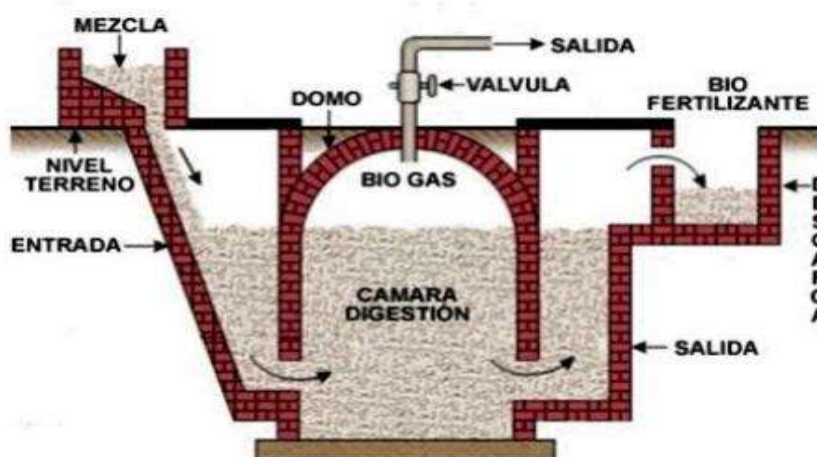


Nota: tomada de [7]

2.2.3.1. Biodigestor de cúpula fija o tipo chino

El biodigestor de cúpula fija se compone de una cámara de digestión con un techo en forma de domo, junto con dos tanques conectados a esta cámara. Uno de los tanques se ubica en la entrada y sirve para suministrar la mezcla de sustrato y agua al biodigestor, mientras que el otro se encuentra en la salida y recoge el biol o efluente utilizado como fertilizante. Dentro de la cámara de digestión anaeróbica, el biogás se acumula en la parte superior y se dirige a través de un conducto hacia una válvula de seguridad, desde donde se envía al lugar de uso del biogás (ver figura 2). Este tipo de biodigestor está completamente enterrado, lo que lo hace muy eficiente para el tratamiento de aguas y la producción de bio-abono, aunque menos para la producción de biogás. El biodigestor tipo chino requiere entre 30 y 60 días para completar el proceso de digestión.

Figura 2. Biodigestor de cúpula fija



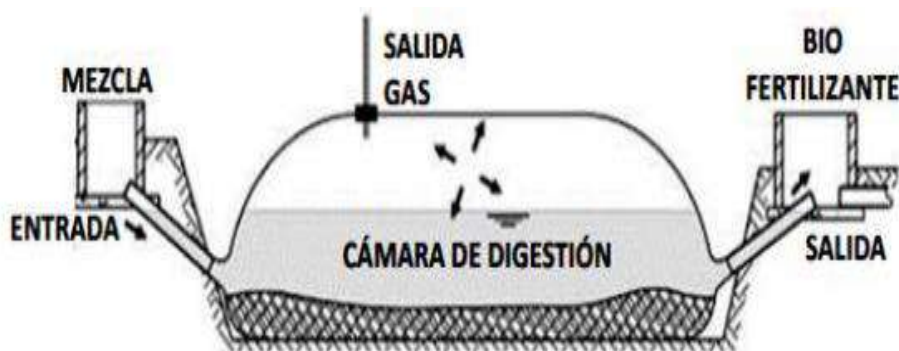
Nota: tomada de [7]

2.2.3.2. Biodigestor tubular o tipo Taiwán

También llamado biodigestor de estructura flexible, este modelo se compone de una bolsa de polietileno o PVC que está parcialmente llena, permitiendo que el biogás producido se acumule en el espacio vacío en la parte superior. En este sistema, el 75% del volumen inferior está dedicado a la masa de fermentación, mientras que el 25% restante, en la parte superior, se utiliza para almacenar el biogás. Este diseño es especialmente adecuado para áreas con temperaturas altas y constantes. No obstante,

es crucial que el material digestible sea resistente a los rayos UV, ya que, de lo contrario, podría afectar negativamente a los metanógenos. La Figura 3 muestra un biodigestor tubular.

Figura 3. Biodigestor tubular



Nota: tomada de [7]

2.3. Biomasa

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz, etc.), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros). [11]

Actualmente, la biomasa es la principal fuente de energía entre todas las alternativas renovables. La bioenergía tiene la capacidad de ser implementada en diferentes escalas, ya sea a nivel pequeño, mediano o grande, y puede ser aplicada a una amplia variedad de recursos, modo de procesamiento y utilización.

El uso de biomasa como fuente de energía puede desempeñar un papel fundamental en la sustitución de los combustibles fósiles, lo que resultaría en una mayor seguridad energética a nivel nacional al diversificar las fuentes de energía. Además, al ser una fuente de energía renovable, puede contribuir a mitigar el cambio climático.

2.3.1. Tipos de biomasa

Biomasa natural: Se produce de forma espontánea en la naturaleza, sin intervención humana. Por ejemplo, las podas naturales de los bosques.

**Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás
en una finca rural calle tercera de Coronel Oviedo
Mariela Mairin Vera Pezoa – 2024**

Biomasa residual seca: Procede de recursos generados en las actividades agrícolas y forestales, así como en las industrias agroalimentaria y maderera (ej: aserrín).

Biomasa residual húmeda: Procede de vertidos biodegradables formados por aguas residuales urbanas e industriales y también de los residuos ganaderos (el guano, por ejemplo).

Cultivos energéticos: Su única finalidad es producir biomasa transformable en combustible. Incluye los cereales, oleaginosas, remolacha y los cultivos lignocelulósicos.

[12]

CAPITULO 2

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION

Planteamiento del problema

El estiércol producido por los animales produce gas metano, que tiene un efecto invernadero 25 veces mayor que el CO₂ [13].

Las emisiones del ganado, provenientes del estiércol y de liberaciones gastroentéricas, producen aproximadamente 32% de las emisiones de metano [14].

Cada animal produce entre 4 y 6 kg de estiércol diarios, 80% del nitrógeno se descompone y volatiliza como amoníaco (NH₃) y desprende de 37 a 170 ml de metano (CH₄) por kilogramos de excretas [15].

En la finca, la ganadería es una de las principales fuentes de ingresos, sin embargo, en esta no existe una gestión adecuada de los desechos que son generados por dicha actividad, en particular lo que respecta al estiércol de los animales y, por tanto, esto representa una problemática ambiental la cual afecta la calidad de vida de quienes residen dicho predio como también el desarrollo eficiente de la actividad ganadera.

Por otra parte, una problemática de gran incidencia son los cortes del servicio de energía eléctrica, ya que afecta negativamente, puesto que en la finca se requiere un abastecimiento continuo de electricidad, considerando que almacenan importantes cantidades de quesos, leche y vacunas animales en sistemas de refrigeración por lo que la detención de heladeras y congeladores representa pérdidas significativas si el servicio no se restablece con rapidez.

Cada año la demanda del consumo de la energía eléctrica en el país aumenta de forma considerable y con el avance de la crisis climática cada vez más adverso nos acerca aún más a una situación desfavorable donde es posible un escenario futuro de déficit en el sector energético.

**Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás
en una finca rural calle tercera de Coronel Oviedo
Mariela Mairin Vera Pezoa – 2024**

El viceministro de Minas y Energía, Mauricio Bejarano, según un artículo publicado en el diario La Nación, para el 2030 nuestro país estará consumiendo toda la potencia instalada de energía eléctrica proveniente de las centrales Itaipu, Yasyreta y Acaray [16].

Las proyecciones de la ANDE dicen que para el 2033 o 2034 ya estaríamos alcanzando el tope de nuestra capacidad de oferta energética; pero creemos que ese punto crítico podría adelantarse al 2029, especialmente si se impulsan los proyectos de inversión que están en carpeta, manifestó Julio Fernández, director del Centro de Estudios Económicos de la UIP [17].

Y por lo expuesto, la situación actual nos obliga a pensar en nuevas fuentes de generación por lo que la obtención de electricidad a partir del biogás se puede considerar como una alternativa sostenible en generación de energía eléctrica ya que en la finca se cuenta con suficiente cantidad de desechos, específicamente del estiércol vacuno, para la producción de biogás.

Justificación

La creciente demanda de energía en Paraguay y la preocupación del avance de la crisis climática, impone la búsqueda de fuentes alternativas de generación de energía eléctrica, en ese sentido es importante prestar singular atención por su gran potencial y considerarlo como una alternativa sostenible al biogás, que se puede obtener a partir de los desechos orgánicos existentes en el entorno.

Claramente impactos positivos o beneficios se van a reflejar en lo social mejorando la calidad de vida de las familias que habitan en la finca proporcionando energía eléctrica autónoma, como fuente única de abastecimiento o de respaldo y en lo ambiental una ventaja es que la utilización de biodigestores, permiten reciclar, en particular, en este caso el estiércol vacuno, eliminando los malos olores, alimañas y vectores.

Así mismo, teniendo en consideración que en la finca también se dedican a la agricultura, permitirá que puedan disponer de fertilizantes de calidad para sus cultivos y ahorrar recursos financieros en la compra de estos productos.

El aprovechamiento del biogás no solo aporta beneficios económicos, sino que también ofrece grandes beneficios ambientales puesto que contribuye en la disminución de la contaminación atmosférica procedente de gases de efecto invernadero como las emisiones de metano en la producción pecuaria.

Este trabajo se considera viable pues se cuenta con los requerimientos necesarios para su desarrollo.

CAPITULO 3

IV. OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar la factibilidad de generar energía eléctrica mediante el biogás en una finca rural de calle tercera de Coronel Oviedo.

Objetivos específicos

- Calcular el consumo de electricidad en la finca
- Determinar la cantidad diaria en kg de estiércol vacuno disponible en la finca
- Dimensionar el biodigestor para la producción de biogás
- Seleccionar el generador para la generación de energía eléctrica a partir de biogás
- Analizar la viabilidad técnica y económica de generar energía eléctrica mediante el biogás

CAPITULO 4

V. METODOLOGIA

Tipo de estudio

Investigación aplicada: este proyecto se considera una investigación aplicada ya que se enfoca en solucionar problemas prácticos a través de la aplicación de conocimientos desarrollados en esta investigación

Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

Revisión bibliográfica: se realizará investigaciones bibliográficas y se examinará estudios previos, tesis, informes técnicos, documentos científicos, manuales y otras fuentes relevantes para recabar información acerca del tema propuesto.

Fases metodológicas

Se realizó una inspección y recolección de datos a través de las revisiones bibliográficas para recabar información acerca del proceso de producción del biogás y de los principales tipos de biodigestores y sus componentes, así como las condiciones y los procedimientos necesarios que deben tomarse en cuenta para su implementación. También se examinó el tiempo de producción del biogás, el dimensionamiento del biodigestor, las ventajas y desventajas y la asistencia técnica para su implementación. Además, se hizo una evaluación técnica y económica del proyecto mediante un análisis de los costos de inversión que requiere la producción del biogás y la instalación del biodigestor, se analizó el precio de cada uno de los componentes que son necesarios para la elaboración del proyecto, así como el costo del diseño de ingeniería (mano de obra) y por último se verificó si la implementación de la alternativa de generación de energía eléctrica a base de biogás resultaría factible en la finca de calle tercera.

CAPITULO 5

5.1. Parámetros a considerar para el caso de estudio

Es fundamental conocer las características del lugar donde se desea evaluar la viabilidad de implementar un biodigestor, el cual permitiría aprovechar el estiércol vacuno mediante la digestión anaerobia y obtener biogás para la generación de electricidad.

Los parámetros mínimos a analizar incluyen aspectos geográficos tales como la ubicación de la finca, el clima, la disponibilidad del agua. Otros parámetros técnicos a considerar son: el consumo eléctrico, la cantidad de animal vacuno, el estiércol disponible diario, mezcla con agua, carga diaria al biodigestor, tiempo de retención, el volumen del biodigestor, entre otros.

5.2. Descripción de la finca

Esta se encuentra ubicada en la ciudad de Coronel Oviedo, en el barrio calle tercera, camino al aeropuerto Capitán Walter Gwynn, aproximadamente a unos 6 km de la ruta PY08 - Dr. Blas A. Garay, cuyas coordenadas son -25.517271, -56.417331. En la estación de veranos, la temperatura máxima promedio diaria es más de 30°C mientras que en invierno la temperatura máxima promedio diaria es menos de 24°C.

La finca cuenta con un total de 94 cabezas de ganado vacuno donde una de las principales fuentes de ingreso es la agricultura y la ganadería, cuenta con suministro de agua proveniente de una corporación comunitaria como también de un sistema de pozo propio que a través de un motor bombea agua a un tanque, de esta manera abastece y proporciona agua vital para los animales de granja y corral. Actualmente el suministro del servicio eléctrico es proveído por la Ande.

En las siguientes figuras se muestra la ubicación de la zona de estudio.

**Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás
en una finca rural calle tercera de Coronel Oviedo**
Mariela Mairin Vera Pezoa – 2024

Figura 4. Ubicación de la zona de estudio. Vista satelital.

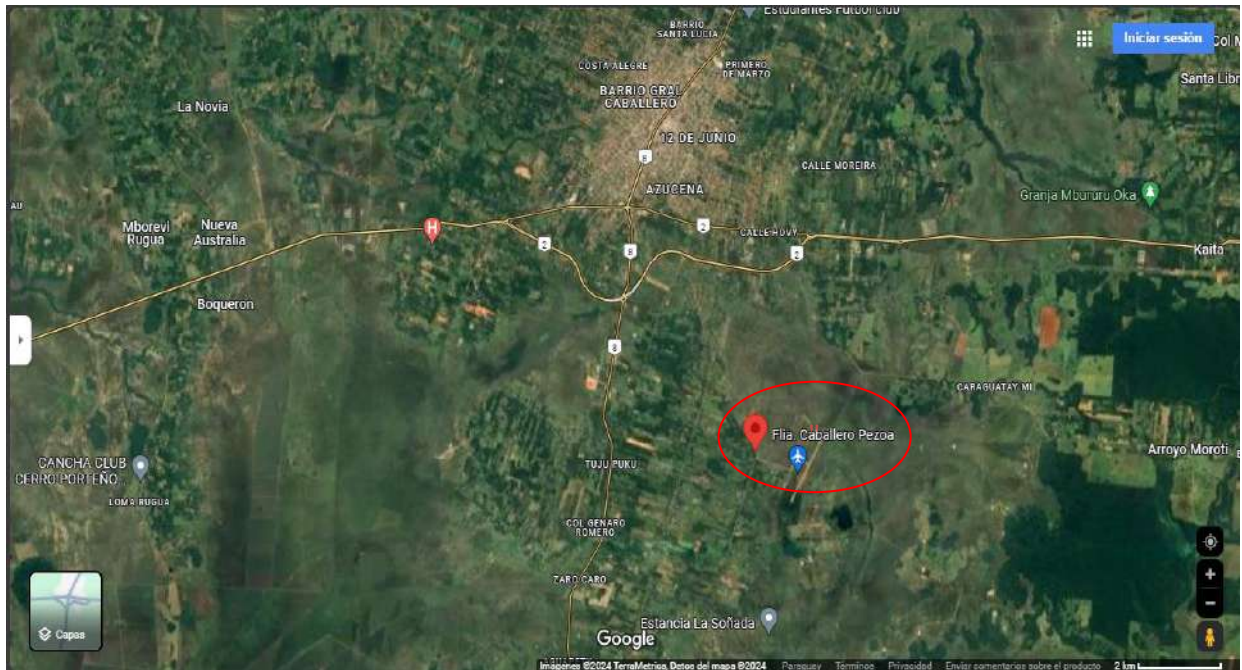
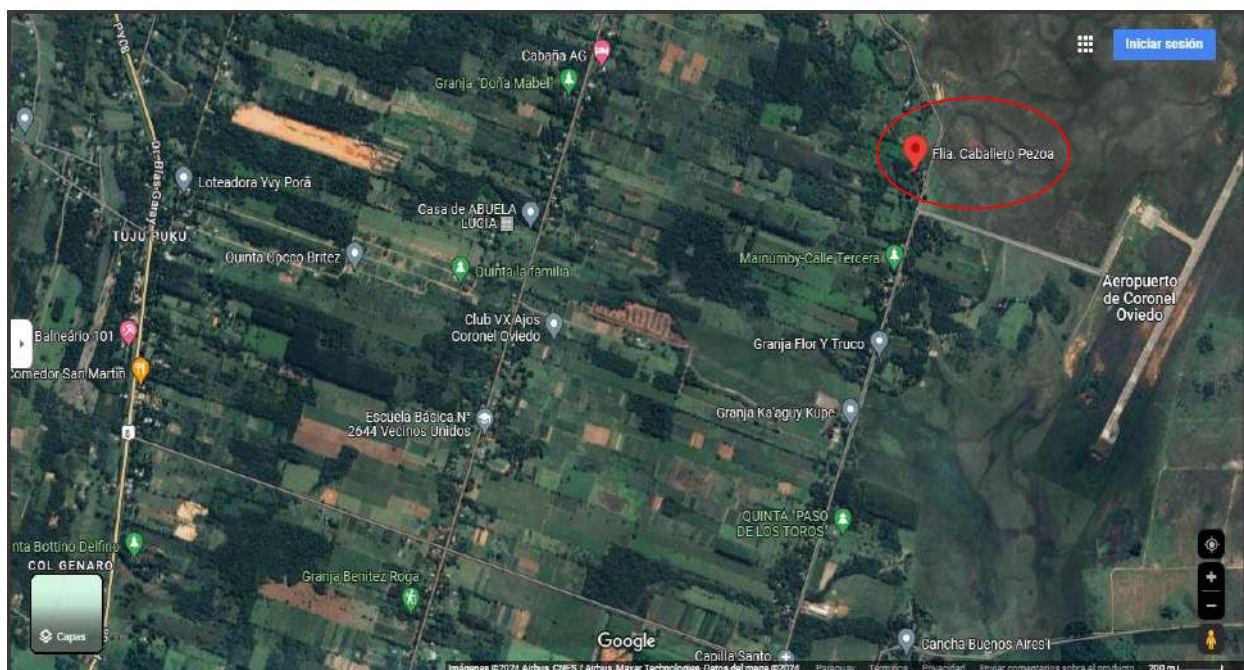


Figura 5. Ubicación de la zona de estudio. Vista satelital ampliada.



**Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás
en una finca rural calle tercera de Coronel Oviedo
Mariela Mairin Vera Pezoa – 2024**

5.3. Consumo eléctrico de la finca

En la siguiente tabla, se detallan las potencias de los equipos eléctricos, la cantidad, las horas de uso y el consumo total diario.

Tabla 1. Consumo eléctrico en la finca

Equipo	Potencia (W)	Unidad	Potencia Total (W)	Tiempo (hora/día)	Consumo (kWh/día)
Ducha eléctrica	4400	2	8800	2	17.6
Aire acondicionado	1500	2	3000	8	24
Congelador	700	2	1400	24	33.6
Cocina eléctrica	3500	1	3500	2	7
Horno eléctrico	2700	1	3500	2	7
Heladera	300	2	600	24	14.4
Lavarropa	1000	2	2000	2	4
Plancha	1000	2	2000	2	4
Televisión	150	2	300	8	2.4
Ventilador de techo	80	4	320	8	2.56
Licuadaora	300	1	300	1	0.3
Foco LED	9	13	117	8	0.936
Fluorescente	40	3	120	8	0.960
Cargador de celular	10	3	30	12	0.360
Bomba de agua sumergible (sapito)	750	1	750	1	0.750
TOTAL			26737		119,866

De acuerdo a la tabla 1, se obtiene que la demanda eléctrica en la finca es:

Capacidad instalada: 26737 W

Consumo diario: 119,866 kW

Se asume que este consumo se mantiene constante a lo largo del año, aunque es evidente que durante el día hay momentos con picos de consumo más altos cuando coinciden varias actividades simultáneamente.

Las potencias de los artefactos y/o electrodomésticos fueron tomadas del pliego de tarifas N° 21 de la Ande (Administración Nacional de Electricidad).

5.4. Biodigestor:

Existen diferentes tipos de biodigestores, clasificados según su modo de operación (entrada y descarga) y pueden ser diseñados y adaptados en distintos tamaños dependiendo de los objetivos y recursos disponibles, incluyendo la cantidad de materia prima disponible como sustrato y las necesidades energéticas de quienes se beneficiarán del sistema. Los tipos de biodigestores más utilizados son tipo chino o cúpula fija, hindú o campana flotante y Taiwán o tubular.

Para el presente proyecto se seleccionó este último tipo de biodigestor, modelo taiwanés, ya que se destaca por ser uno de los sistemas más económicos. Este biodigestor se caracteriza por ser de bajo costo tanto en la construcción como operación, es más fácil de instalar, manejar, mantener y reparar, razones que lo hacen accesible tanto a los pequeños como medianos productores. Además, ofrece la máxima eficiencia y la ventaja de poder ser trasladado a otro sitio después de cierto tiempo de uso, a diferencia de otros modelos domésticos de biodigestores hechos de mampostería. Su instalación es sencilla y puede ser llevada a cabo por dos personas en dos o tres días, sin necesidad de asistencia técnica directa y utilizando herramientas comunes. Esto facilita su difusión a través de programas de capacitación entre agricultores y productores en fincas rurales.

Debido a que el polietileno tiene una corta vida útil, actualmente se están produciendo estos biodigestores utilizando geomembrana de PVC, aunque es más costoso.

5.4.1. Biodigestor tubular o de flujo pistón

El biodigestor tubular, también conocido como Taiwán, que se muestra en la figura 5, se compone de una bolsa larga de polietileno que se coloca en una cavidad diseñada específicamente.

Es un modelo de biodigestor de tipo semi continuo, ya que se alimenta una vez al día y se retira diariamente una cantidad de biol equivalente a la mezcla que se introdujo. Se le denomina biodigestor de flujo pistón porque la mezcla diaria se desplaza progresivamente a medida que se introducen nuevas cargas, avanzando hasta que, al finalizar su Tiempo de Retención Hidráulica (TRH), se convierte en biol y se expulsa por el extremo opuesto al de la carga.

Sus dimensiones son variables para asegurar una construcción eficaz. Aunque tiene un costo inicial más bajo en comparación con un biodigestor de cúpula fija, su durabilidad es menor.

Figura 6. Biodigestor tipo Taiwán



Fuente: NEGA WATT Ahorro Energético

**Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás
en una finca rural calle tercera de Coronel Oviedo
Mariela Mairin Vera Pezoa – 2024**

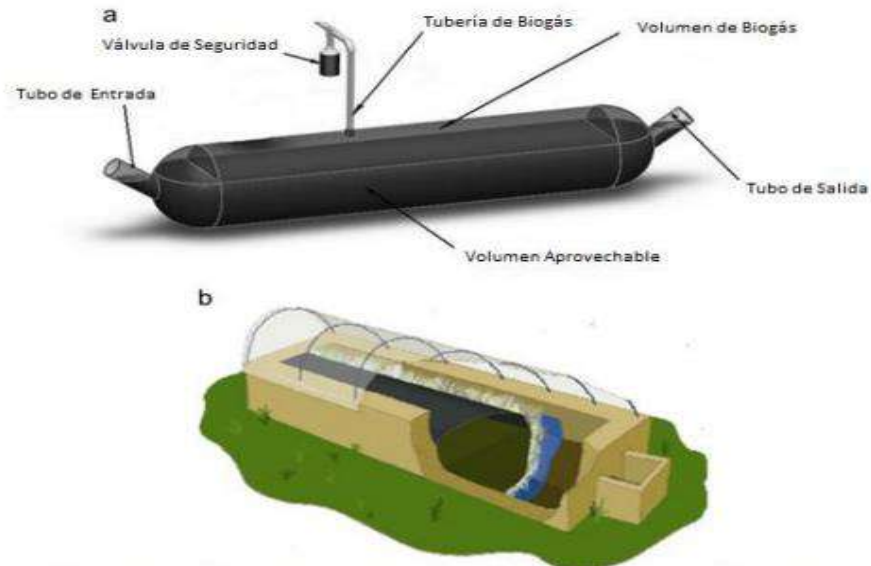
Este tipo de biodigestor es fabricado utilizando materiales como plástico o geotextil, el cual disminuye el requerimiento de mano de obra y la necesidad de comprar otros materiales de construcción como ladrillos, varillas, cementos y similares, que aumentan los costos de instalación. Se caracteriza por estar parcialmente enterrado, con una zanja menos profunda que otros modelos, lo que elimina la necesidad de sistemas de contención adicionales.

Este biodigestor aprovecha la energía solar para elevar el calentamiento dentro de la cámara de digestión, manteniendo así una temperatura óptima del sistema que hace que el proceso sea más efectivo, disminuyendo los tiempos de retención necesarios. Además, los biodigestores tubulares son versátiles en climas fríos, lo cual los convierte en los más populares en Latinoamérica por esta razón.

En la figura 4 (a), se muestra las distintas partes del biodigestor tubular: el tubo de entrada, la cámara de digestión que incluye un volumen útil o volumen líquido y el volumen de biogás que se liberará posteriormente, la tubería de biogás que forma parte de la red de conducción para facilitar su canalización y utilización, la válvula de seguridad que regula la presión interna del sistema y el tubo de salida.

Asimismo, el modelo de biodigestor tubular permite una variedad de diseños y adaptaciones que se pueden ajustar según los recursos, materiales y presupuesto disponibles (figura 4 (b)). Esto incluye opciones como estructuras de concreto para mayor estabilidad, techos o cubiertas en forma de cúpula que ofrecen protección de la intemperie, entre otros.

Figura 7. Partes del biodigestor tubular



Fuente: [18]

Los biodigestores tipo tubular presentan tanto ventajas como desventajas, entre las más destacadas se incluyen las siguientes:

5.4.2. Ventajas

- Es ampliamente utilizada en América Latina.
- Puede ser construido con materiales disponibles localmente.
- Instalación rápida y sencilla.
- El costo es significativamente menor, fácil de manejar y transportar debido a que son piezas ligeras y prefabricadas.
- Reparaciones rápidas y accesibles.
- Facilidad de limpieza y mantenimiento.

- Pueden ser instalados por cualquier productor capacitado sin requerimiento de asistencia técnica directa.

5.7.3. Desventajas

- El material es altamente susceptible a daños, especialmente el polietileno más que la geomembrana, por lo que requiere protección externa contra animales, objetos y la exposición solar, limitando su vida útil promedio.
- Las reparaciones pueden ser hasta agujeros de 20cm aproximadamente tanto en el polietileno como en la geomembrana.
- Necesita espacio en la superficie ya que no está completamente enterrado.
- Requieren más agua para la carga en comparación con los biodigestores de cúpula fija.
- Producen menor presión de biogás que los biodigestores de cúpula fija.

5.5. Producción de estiércol diario

El estiércol diario representa la cantidad total de residuos orgánicos que generan los animales, sin importar si estos están estabulados o no. Este dato es fundamental para calcular el potencial de producción de biogás y biol y para estimar la cantidad de estiércol disponible que se puede cargar en el biodigestor.

En este caso, en la finca, las vacas pasan la noche estabuladas lo que significa que habrá una cierta cantidad de estiércol disponible para ser utilizado en el biodigestor.

Para conocer la cantidad diaria de estiércol producido, existen dos opciones: realizar mediciones en el lugar durante una semana para obtener promedios, o bien estimarlos a partir de valores promedio.

En la tabla 2, se estima la cantidad diaria de estiércol generado por cada 100 kg de peso vivo para distintas especies de animales domésticos.

Tabla 2. kg diario de estiércol generado por cada tipo de animal

Animal	Kg de estiércol diario por cada 100kg de peso vivo
Vaca	8
Cerdo	4
Cabra/oveja	4
Conejo	3
Caballo	7
Humano adulto	0,4 kg por adulto
Humano niño	0,2 kg por niño

Nota: tomada de [13].

5.6. Determinación de estiércol disponible

El estiércol disponible se refiere a aquel que se puede introducir en el biodigestor. Por tanto, siempre será igual o menor que el estiércol producido diariamente por los animales.

De este modo, para determinar la cantidad de estiércol disponible es importante conocer cuantas horas se encuentran los animales estabulados o recogidos en algún lugar cerca del biodigestor, donde sea más accesible y conveniente recoger el estiércol.

En particular, en la finca, las vacas se encuentran semi estabuladas puesto que de día andan sueltos por el campo y solo de noche pasan estabuladas en el corral, por tanto, existe una parte de estiércol que permanece en los pastizales que resulta difícil de recoger para utilizar en el biodigestor. Entonces, en este caso se estima que las vacas dejarán en ese sitio solo el 25% del estiércol que generan en todo el día.

La tabla 3 muestra como determinar el estiércol disponible a partir del estiércol diario en distintos escenarios.

**Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás
en una finca rural calle tercera de Coronel Oviedo
Mariela Mairin Vera Pezoa – 2024**

Tabla 3. Cálculo de estiércol disponible según el caso

Caso	Estiércol disponible
Estabulados	=estiércol diario
Estabulados solo a la noche	=0,25 * estiércol diario
Estabulado un n ^o de horas	= $\frac{n^o \text{ horas estabulado}}{24 \text{ horas}}$ * estiércol diario

Nota: tomada de [13]

5.7. Cantidad de estiércol de ganado vacuno generado en la finca

Actualmente la finca cuenta con un total de 94 animales vacunos con peso promedio de 450 kg/vaca, la cantidad diaria de estiércol generado por cada vaca según tabla 2 es de 8kg.

Entonces, una vaca de 450kg de peso producirá por día: $(\frac{450}{100} * 8kg) = 36kg$ de estiércol, de modo que con 94 vacas se estará produciendo: $(94 * 36kg) = 3384kg$ de estiércol total cada día.

Sin embargo, solo se puede recoger las horas estabuladas a la noche, esto significa que se considera solo el 25% que dejan en el lugar donde duermen.

Por lo tanto, se tiene: $(3384 * \frac{25}{100}) = 846kg$ de estiércol disponible por día procedente de las vacas.

En la tabla 4, se muestra un resumen de los resultados obtenidos.

**Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás
en una finca rural calle tercera de Coronel Oviedo
Mariela Mairin Vera Pezoa – 2024**

Tabla 4. Resultados de la cantidad de estiércol vacuno generado en la finca

Nro. de vacas	94	Unidades
Peso promedio/vaca	450	Kg
Estiércol diario/vaca	36	Kg estiércol/día
Estiércol diario total	3384	Kg estiércol/día
Estiércol disponible	846	Kg estiércol/día

5.8. Relación estiércol-agua

Una vez determinado la cantidad de estiércol disponible para el biodigestor, es importante considerar la cantidad mínima de agua necesaria para mezclar con él. En los biodigestores tubulares se busca obtener que la carga de la mezcla de estiércol y agua al biodigestor tenga entre 3% y 16% de sólidos totales (ST), este rango es el ideal, aunque se pueden procesar cargas con porcentajes menores de sólidos totales, pero no se recomienda manejar valores mayores.

Como referencia se estima que el estiércol de vaca se recomienda mezclar 1:3 (estiércol:agua), es decir, una parte de estiércol con tres de agua como se puede ver en la siguiente tabla.

Tabla 5. Mezcla estiércol – agua

Estiércol	Relación estiércol:agua
Vaca	1:3
Cerdo	1:4
Llama/oveja/cuy	1:8-9

Nota: tomada de [13]

5.9. Producción de biogás según la temperatura y tiempo de retención

El tiempo de retención determina la capacidad del biodigestor, siendo el periodo entre la carga y descarga del sistema. La temperatura ambiente posee una gran influencia en la velocidad de descomposición. A menor temperatura, mayor será el tiempo de retención necesario.

La cantidad de biogás producido a partir de los estiércoles depende de la temperatura a la que el consorcio bacteriano trabaje y del tiempo de retención que se le dé para generar biogás. Cada tipo de estiércol tiene su propio potencial de producción de biogás; incluso a la misma temperatura, algunos producen biogás más rápido que otros.

Por ello, como referencia, la tabla 6 muestra la producción estimada de biogás por cada kilogramo de estiércol fresco de vaca o cerdo que se introduce en el biodigestor, de acuerdo al tiempo de retención y la temperatura de trabajo.

Tabla 6. Producción de biogás según temperatura y tiempo de retención

Temperatura de trabajo del biodigestor (°C)	Estiércol de vaca fresco		Estiércol de cerdo fresco	
	Tiempo de retención (d)	Biogás* (l/kg)	Tiempo de retención (d)	Biogás* (l/kg)
33-37	30	39	25	71
28-32	40	38	30	67
23-27	50	35	35	61
18-22	65	33	50	59
13-17	90	31	65	54
8-12	125	29	90	50

*El biogás está expresado para 25 °C y 1 atmósfera de presión, suponiendo 65% de contenido de metano (CH₄). Se ha considerado en el estiércol de vaca 16% ST, 80% SV/ST y 0,2 m³CH₄ /kg_{sv}; y para el estiércol de cerdo 20% ST, 75 %SV/ST y 0,3 m³CH₄ /kg_{sv}.

Nota: tomada de [13]

**Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás
en una finca rural calle tercera de Coronel Oviedo
Mariela Mairin Vera Pezoa – 2024**

La temperatura es un elemento clave en el funcionamiento del biodigestor ya que las bacterias operan a temperaturas específicas para alcanzar su máximo rendimiento, por eso, tanto una temperatura demasiado alta como una demasiado baja pueden causar problemas en el proceso de digestión.

A continuación, en la tabla 7, se presenta el comportamiento de la temperatura en la zona de estudio.

Tabla 7. Datos de temperatura en Coronel Oviedo.

	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Promedio anual	28.3	29.1	28.3	29.5	30.2	29.2
Meses						
Enero	33.5	33.4	30.9	33.9	33.1	31.7
Febrero	33.0	32.6	31.5	33.2	32.9	31.8
Marzo	29.3	31.9	30.6	30.1	34.9	31.1
Abril	30.6	27.6	31.5	28.1	30.0	29.0
Mayo	22.2	25.2	27.5	25.1	25.7	26.0
Junio	21.1	23.5	21.8	26.5	25.9	22.4
Julio	25.3	26.6	23.2	22.5	24.0	24.8
Agosto	26.7	28.2	23.9	27.0	27.2	27.7
Setiembre	27.4	30.1	27.3	29.4	29.8	31.2
Octubre	29.4	28.7	27.6	31.7	33.6	29.0
Noviembre	30.0	29.5	31.0	33.7	32.7	30.8
Diciembre	31.1	32.2	32.7	32.2	32.7	34.5

Fuente: INE. Atlas de Estadísticas Ambientales del Paraguay

Para seleccionar el Tiempo de Retención (TR), se tomó como referencia la Tabla 6, donde muestra el tiempo de retención según temperatura.

De acuerdo a fuente Atlas de Estadísticas Ambientales del Paraguay se obtuvo los datos de temperatura para Coronel Oviedo indicadas en la Tabla 7. Se consideró una temperatura promedio anual de 29,1°C.

Dado el clima cálido en la finca, la temperatura ambiente mantiene la temperatura de trabajo del biodigestor alrededor de los 29°C, por lo que no es necesario incorporar un diseño solar exterior, como la construcción de un invernadero para optimizar el rendimiento bacteriano dentro del biodigestor. Esto ayuda a evitar costos adicionales.

5.10. Demanda de biogás para energía eléctrica

Una vez determinada la demanda de energía eléctrica en la finca, se realizó una estimación preliminar de la cantidad de biogás requerida para generar la energía eléctrica necesaria.

El biogás es un gas combustible cuya composición varía principalmente según el tipo de sustrato que se utilice y procese. Dado su alto contenido de metano, que tiene una gran capacidad calorífica, se estima que 1 m³ de biogás puede generar aproximadamente 6 kWh de energía. Se considera que el biogás producido a partir de restos orgánicos contiene alrededor del 65% de metano.

En la tabla siguiente se exponen las características más relevantes del biogás

Tabla 8. Características de biogás

Poder calorífico	6	kWh/m ³
Peso específico	1.25	Kg/m ³
Relación a la densidad del aire	0.9	
Temperatura de encendido	700	°C
Contenido de oxígeno para explosión	6-12	Vol.-%

Nota: tomada de [19]

El parámetro η varía según la potencia plantas de generación. El valor de η se considera de 35 a 42 % y 25% en las centrales con gran sistema de turbinas y pequeños generadores, respectivamente [20].

Para este estudio, considerando utilizar un generador con rendimiento eléctrico (η) de 37 %, se obtiene según cálculo, que para para generar 1 kWh se requiere 0.693 m³ de biogás.

$$V_{B-nec} = \frac{1 \text{ kWh}}{6 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} * 65\% * \eta}$$

$$V_{B-nec} = 0,693 \text{ m}^3$$

Y con respecto a la tabla 1, podemos afirmar que el consumo diario de la energía eléctrica en la finca es 119,866 kWh.

Ahora bien, conociendo que 0,693 m³ de biogás equivale a 1 kWh, entonces, para obtener 119,866 kWh se deben producir 83,067 m³/día.

$$V_{B-nec} = \frac{119,866 \text{ kWh}}{6 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} * 65\% * 37\%}$$

$$V_{B-nec} = 83,067 \text{ m}^3 = 83067 \text{ litros}$$

5.11. Determinación de la cantidad de estiércol para la obtención de biogás necesaria

Para generar 119,866 kW se considera que es necesario 83067 litros de biogás al día. De este modo, conociendo la cantidad de biogás deseado, se puede saber cuánto estiércol es necesario para producirlo.

Considerando la temperatura operativa del biodigestor y el tipo de estiércol se establece el tiempo de retención (días) y la generación de biogás (litros/kg).

De este modo, para el caso de estudio, utilizando la tabla 6, se obtiene un tiempo de retención de 40 días siendo la producción de biogás de 38 litros/kg.

Entonces, para producir 83067 litros de biogás se requerirán 546,5 kg de estiércol.

$$E_{nec} = \frac{V_{B-nec}}{PB}$$

$$E_{nec} = \frac{83067}{38 * \frac{1}{kg} * 4}$$

$$E_{nec} = 546,5 \text{ kg}$$

Aproximando a 547 kg y que según datos de la tabla 2 se dispone de esa cantidad de estiércol de vaca en la finca.

Donde:

E_{nec}: Estiércol necesario (kg)

V_{B-nec}: Volumen de biogás necesario (m³)

PB: Producción de biogás ($\frac{\text{litros}}{\text{kg}}$)

5.12. Determinación de la carga diaria total en la finca

La carga diaria se refiere a la cantidad de mezcla de estiércol y agua que se introduce en el biodigestor cada día. Por lo general, se expresa en litros de carga por día (l/d). Para simplificar los cálculos, se considera que 1 kg de estiércol equivale a 1 litro de estiércol, asumiendo una densidad estándar de 1 kg/l para cualquier tipo de estiércol. De esta manera, si se sabe la cantidad de estiércol disponible y la proporción adecuada de mezcla con agua, se puede determinar la carga diaria.

En este caso, para el estiércol de vaca, la carga diaria consistirá en un 25% de estiércol y un 75% de agua, lo que significa que se utilizan tres litros de agua por cada kilogramo de estiércol.

Así, es importante tener en cuenta que la carga diaria se refiere al volumen total de mezcla de estiércol y agua que entra al biodigestor, siendo un factor crucial para su

dimensionamiento. Sin embargo, para calcular la cantidad de biogás que se va a generar, lo relevante es la cantidad de estiércol presente en esa carga diaria, excluyendo el agua.

La finca tiene 94 vacas que estabula toda la noche cerca de la casa, tiene un estiércol disponible de 846 kg al día de los cuales serán utilizados 547 kg y se necesita una mezcla 1:3 estiércol:agua.

De este modo, se tendrá que añadir $(547 * 3) = 1641$ litros de agua, cuya carga diaria se obtiene con 547kg de estiércol de vaca más 1641 litros de agua, dando como resultado 2188 litros de carga diaria.

$$CD = E_{nec} + C_{H_2O}$$

$$CD = (547 + 1641) = 2188 \text{ litros}$$

Donde:

$$CD = \text{Carga diaria} \left(\frac{\text{litros}}{\text{día}} \right)$$

E_{nec} = Estiércol necesario (kg)

C_{H_2O} = Cantidad de agua (litros)

5.13. Determinación del volumen del biodigestor

5.13.1. Volumen líquido

Teniendo en cuenta la carga diaria de 2188 litros y el tiempo de retención de 40 días, el volumen líquido del biodigestor será de 87.52 m³.

$$V_L = CD * TR$$

$$V_L = \left(\frac{2188 \text{ litros}}{\text{día}} * 40 \text{ días} \right) = 87520 \text{ litros, equivalente a } 87,52 \text{ m}^3.$$

Donde:

V_L = Volumen liquido (litros)

CD = Carga diaria ($\frac{\text{litros}}{\text{dia}}$)

TR = Tiempo de retención (días)

5.13.2. Volumen de biogás

Según cálculos, se obtuvo como resultado que el volumen diario de biogás requerida para abastecer la demanda de energía eléctrica en la finca es de 83.067 m³.

$$V_B = \frac{119,866 \text{ kWh}}{6 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} * 65\% * 37\%}$$

$$V_B = 83,067 \text{ m}^3$$

5.13.3. Volumen total del biodigestor

Una vez calculadas el volumen líquido y de biogás, se determinó el volumen total necesario para seleccionar el biodigestor adecuado. Resultando que el volumen total del biodigestor requerido es de 170.6 m³.

$$V_T = V_L + V_B$$

$$V_T = 87,520 + 83,067 = 170,6 \text{ m}^3$$

Donde:

V_T = Volumen total

V_L = Volumen liquido

V_B = Volumen de biogás

5.14. Dimensiones y materiales del biodigestor

Desde el punto de vista técnico y económico es que el reactor esté hecho de plástico tubular. Los reactores pueden ser de polietileno (PE) o geo membrana de PVC.

Para un volumen total de biodigestor de 170,6 m³ de capacidad resulta difícil encontrar o de fabricarlo por ser una sección demasiado grande por lo que se podría considerar una opción que es dividir el sistema en dos biodigestores en serie o tres, o los que haga falta y conectarlos, uno al lado del otro. Cuando los biodigestores están conectados de tal forma, actúan como si fueran un único biodigestor. El primer biodigestor se carga completamente, y el exceso de biol producido se dirige al segundo biodigestor. Aunque el sistema en su conjunto conserva el tiempo total de retención, cada biodigestor maneja solo la mitad del proceso.

En la figura 4, se muestra un ejemplo del mismo

Figura 8. Biodigestores en serie



Para este caso, para un biodigestor con volumen total de 170,6 m³, se recomienda instalar un total de 3 biodigestores en módulos de 60 m³ que suele ser de mayor disponibilidad en los mercados.

**Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás
en una finca rural calle tercera de Coronel Oviedo
Mariela Mairin Vera Pezoa – 2024**

En la tabla 8, se presenta las dimensiones del biodigestor planteado

Tabla 9. Dimensiones del biodigestor planteado

Ancho	3.93	m
Circunferencia	7.85	m
Radio	1.25	m
Diámetro	2.5	m
Longitud	12	m
Volumen	60	m ³
Cantidad	3	
Volumen total	180	m ³

$$Cia = 2 * \text{Arollo}$$

$$r = \frac{Cia}{2 * \pi}$$

$$D = 2 * r$$

Donde:

Cia= circunferencia

Arollo= ancho del rollo

r= radio

D= diámetro

5.14.1. Resultados de las dimensiones de la zanja del biodigestor

Las dimensiones de un biodigestor tubular están determinadas por las dimensiones de la zanja que lo albergará. Esta zanja, diseñada para contener la fase líquida del biodigestor, normalmente tiene una forma trapezoidal con paredes inclinadas para evitar que el terreno colapse. Los biodigestores tubulares se colocan dentro de estas zanjas.

El trapecio será determinado por la longitud de la zanja, la anchura superior e inferior y la profundidad.

Para empezar a definir las dimensiones de la zanja y del biodigestor, el primer aspecto a tener en cuenta es el ángulo de inclinación del talud de la zanja. Para este caso, se considera una inclinación (desde la vertical) de $\alpha=7,5^\circ$. Y para conocer ancho inferior (a), ancho superior (b) y la profundidad (p) para un talud de $\alpha=7,5^\circ$ se tomó como referencia la Tabla 9.

Tabla 10. Dimensiones según al ángulo de inclinación del talud de la zanja

α (°)	7,5
Ancho inferior (a)	1,23 x r
Ancho superior (b)	1,63 x r
Profundidad (p)	1,54 x r
Área de la zanja (A_{zanja})	2,20 x r ²

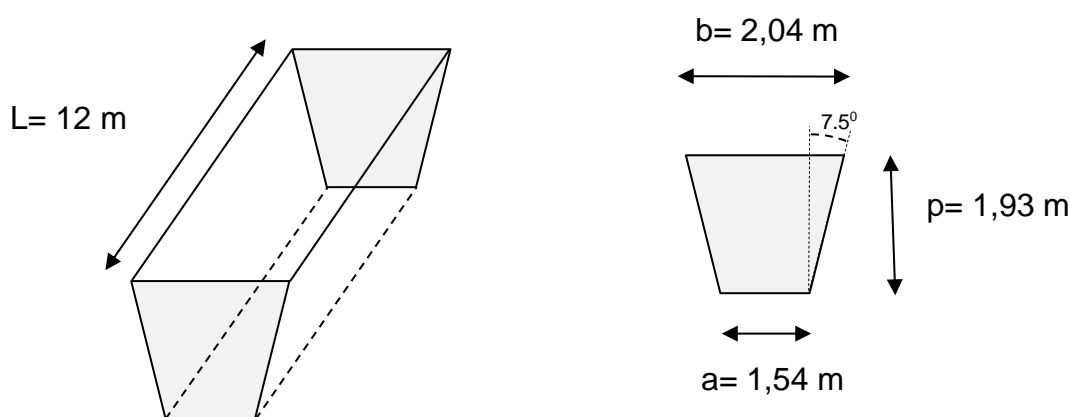
Nota: tomada de [13]

En la Tabla 10, se muestran los resultados obtenidos del cálculo teórico de las dimensiones de las zanjas para los biodigestores planteado

Tabla 11. Dimensiones de la zanja

Angulo ($^{\circ}$)	7,5	m
Radio (r)	1,25	m
Ancho inferior (a)	1,54	m
Ancho superior (b)	2,04	m
Profundidad (p)	1,93	m
Área de la zanja (A_{zanja})	3,44	m ²

Figura 9. Dimensiones de la zanja trapezoidal



5.15. Dimensionamiento del sistema de generación de electricidad

5.15.1. Dimensionamiento de la energía eléctrica producida

El dimensionamiento del sistema de generación eléctrica es fundamental para implementar el proyecto de generación de electricidad utilizando biomasa residual, como el estiércol de ganado vacuno.

Los parámetros a tener en cuenta en el diseño del grupo generador son: Poder calorífico del biogás, eficiencia del generador y la disponibilidad de biogás por día.

**Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás
en una finca rural calle tercera de Coronel Oviedo
Mariela Mairin Vera Pezoa – 2024**

En las condiciones de diseño, la demanda diaria de biogás para satisfacer la necesidad eléctrica es de 83.067 m³/día. Por lo tanto, conociendo el valor del Poder Calorífico del biogás (e), y la cantidad necesaria de biogás para la demanda diaria, se puede calcular la producción de electricidad [kWh /día].

Teniendo en cuenta la eficiencia (η) en las máquinas térmicas (grupo electrógeno, microturbina de gas, etc.) se consideró η para el generador de 37 %. Para los cálculos se utilizó el poder calorífico de biogás igual a 6 kWh/m³. Como resultado se tiene que la Producción de Electricidad es 184,409 kWh/día.

$$EP = V_{B-nec} * e * \eta$$

$$EP = 83,067 m^3 * 6 kWh/m^3 * 37\%$$

$$EP = 184,409 kWh$$

Donde:

EP= energía producida

V_{B-nec} = biogás necesario

e= poder calorífico de biogás

η = eficiencia del generador

Así mismo, los datos del sistema de generación eléctrica a biogás para la finca se resumen en la Tabla 12.

**Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás
en una finca rural calle tercera de Coronel Oviedo
Mariela Mairin Vera Pezoa – 2024**

Tabla 12. Resultados del dimensionamiento para la generación eléctrica

Descripción	Unidades	Resultados
Necesidad diaria de biogás para demanda eléctrica (V_{B-nec})	m ³ /día	83,067
Poder calorífico inferior (e)	kWh/m ³	6
Eficiencia del generador (η)	%	37
Consumo diario de electricidad	kWh/día	119,866
Energía producida (EP)	kWh/día	184,409

5.15.2. Cálculo y selección del Generador

Para determinar la potencia del grupo electrógeno, se realizó los cálculos de la potencia aparente del generador en KVA utilizando la potencia total a ser alimentada y considerando un factor de potencia promedio de la carga de 0.85, teniendo en cuenta la peor condición de desfase.

Según resultado se obtiene que la potencia del generador será de 31,5 KVA.

$$S = \frac{P}{\cos\Phi}$$

$$S = \frac{26737W}{0,85} = 31,5 \text{ KVA}$$

Dado que no existe en el mercado un generador con la dimensión exacta requerida, se optará por utilizar uno de potencia superior. Para cubrir las necesidades actuales, se utilizará un grupo generador de 40 KVA.

Este generador tiene las siguientes características:

- Potencia nominal: 32 kW/40kVA

- Tensión nominal: 400/230 V

**Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás
en una finca rural calle tercera de Coronel Oviedo
Mariela Mairin Vera Pezoa – 2024**

- Frecuencia: 50/60 Hz
- Consumo de biogás: menos de 0,28 cbm/kWh
- Combustible: Biogás
- Corriente Nominal: 58 A

CAPITULO 6

6.1. Evaluación económica del proyecto

Para la evaluación económica, primeramente, se determinó la facturación mensual del servicio eléctrico suministrado por la Ande en la finca y se realizó una evaluación respecto a un grupo electrógeno a biogás analizando el presupuesto referencial del sistema para la generación de electricidad.

6.1.1. Factura mensual del servicio eléctrico suministrado por la Ande

Para este escenario la evaluación se hizo respecto a un sistema eléctrico alimentado por la Ande (Administración Nacional de Electricidad). El costo unitario de la energía eléctrica, fueron tomadas del pliego de tarifas N° 21 de la Ande.

Los parámetros considerados para la obtención del costo son los siguientes:

- Categoría Tarifaria: 142 – consumo residencial o domestico (viviendas) - BT
- Precio de tarifa: 435,51 Gs/kWh
- Instalación de Entrega: Línea de Baja Tensión
- Tensión de Abastecimiento: 380 ó $380/\sqrt{3}$ Voltios

En la Tabla 9, se muestra la factura mensual en la finca correspondiente al sistema eléctrico alimentado por la Ande, que asciende a Gs. 1.565.771, siendo la factura anual de Gs. 18.789.252.

**Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás
en una finca rural calle tercera de Coronel Oviedo
Mariela Mairin Vera Pezoa – 2024**

Tabla 13. Factura mensual y anual en la finca

Equipo	Consumo (kWh/día)	Consumo mensual (kWh)	Tarifa Residencial (Gs.)	Facturación mensual (Gs.)
Ducha eléctrica	17.6	528	435,51	229.949
Aire acondicionado	24	720	435,51	313.567
Congelador	33.6	1008	435,51	438.994
Cocina eléctrica	7	210	435,51	91.457
Horno eléctrico	7	210	435,51	91.457
Heladera	14.4	432	435,51	188.140
Lavarropa	4	120	435,51	52.261
Plancha	4	120	435,51	52.261
Televisión	2.4	72	435,51	31.357
Ventilador de techo	2.56	76.8	435,51	33.447
Licuada	0.3	9	435,51	3.920
Foco LED	0.936	28.08	435,51	12.229
Fluorescente	0.960	28.8	435,51	12.543
Cargador de celular	0.360	10.08	435,51	4.390
Bomba de agua sumergible (sapito)	0.750	22.5	435,51	9.799
TOTAL FACTURA MENSUAL				1.565.771
TOTAL FACTURA ANUAL				18.789.252

6.1.2. Inversión del sistema a biogás para generación de electricidad

El presupuesto para el sistema a biogás para generación de electricidad asciende a Gs. 91.630.967. En la Tabla 14, se menciona los materiales generales de todo el sistema de biodigestión y el costo de inversión referencial para la construcción y generación de electricidad a biogás en la finca.

**Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás
en una finca rural calle tercera de Coronel Oviedo
Mariela Mairin Vera Pezoa – 2024**

Tabla 14. Presupuesto para la generación de electricidad a biogás

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario (Gs.)	Precio total (Gs.)
BIODIGESTOR				
Plástico tubular de 60m ³ con sus accesorios	3	Unidad	7.814.954	23.444.862
Plástico negro para recubrimiento de fosa		Metros	2.500	150.000
Manguera ¾"	5	Metros	4.500	22.500
A. SUB-TOTAL				23.617.362
GENERACION ELÉCTRICA				
Grupo electrógeno a biogás	1	Unidad	58.920.000	58.920.000
Conductor eléctrico 10mm ²	15	Metros	15.000	225.000
Termomagnético 3x50A 06KA VCP	1	Unidad	53.550	53.550
B. SUB-TOTAL				59.198.500
MONTAJE				
Montaje biodigestor	1		1.000.000	1.000.000
Montaje grupo electrógeno a biogás	1		1.000.000	1.000.000
C. SUB-TOTAL				2.000.000
Total (A+B+C)				84.815.862
Costo envío kit biodigestión				5.815.105
Gastos generales				1.000.000
TOTAL Gs.				91.630.967

6.1.3. Mantenimiento y operación para el sistema a biogás

En la Tabla 15, se presentan los costos anuales de mantenimiento y operación para el sistema a biogás para generación de electricidad, que corresponde al mantenimiento biodigestor tubular, y mantenimiento grupo electrógeno a biogás.

Se consideró para este presupuesto mantenimiento 1 vez al año, para su efectivo funcionamiento y producción constante de Energía Eléctrica en la finca.

Tabla 15. Costos anuales de mantenimiento y operación para el sistema a biogás

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario (Gs.)	Precio total (Gs.)
Mantenimiento biodigestor	1		250.000	250.000
Mantenimiento grupo electrógeno a biogás	1		750.000	750.000
TOTAL				1.000.000

6.1.4. Determinación del flujo neto proyectada

Primero calculamos los costos, luego los ingresos y finalmente los beneficios netos para evaluar la viabilidad económica de instalar un sistema de generación de electricidad a base de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno en la finca.

6.1.4.1. Egresos

Los gastos están conformados por el presupuesto que involucra los materiales para la construcción del Biodigestor y los materiales para la generación eléctrica, así como por los gastos que involucran el montaje y operación de los mismos, que suman un total de Gs. 91.630.967 y el mantenimiento anual que es de Gs. 1.000.000.

**Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás
en una finca rural calle tercera de Coronel Oviedo
Mariela Mairin Vera Pezoa – 2024**

6.1.4.2. Ingresos

Los Ingresos se han calculado considerando que en la finca se dejaría de gastar en el pago de la factura mensual del servicio eléctrico suministrado por la ANDE como también en la compra de GLP.

A continuación, en la tabla 16, se detallan los ingresos y egresos anuales considerados para los próximos 7 años. Teniendo en cuenta que la vida útil de los tubulares plásticos es de aproximadamente 7 años.

Tabla 16. Ingresos y egresos

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7
EGRESOS								
Inversión	-91630967							
Mantenimiento		1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000
TOTAL EGRESOS	-91630967	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000
INGRESOS								
Factura		18789252	18789252	18789252	18789252	18789252	18789252	18789252
GLP		336000	336000	336000	336000	336000	336000	336000
TOTAL INGRESOS		19125252	19125252	19125252	19125252	19125252	19125252	19125252
FLUJO NETO	-91630967	18125252	18125252	18125252	18125252	18125252	18125252	18125252

Según lo apreciado en la tabla 16 se relaciona los ingresos y egresos proyectados durante 7 años, evidenciando en el año 0 la inversión total asociados a los costos del sistema de biodigestión, la generación eléctrica y el costo tanto del montaje como la operación de los mismos. Para los años siguientes, en el egreso, se consideran los costos del plan anual de mantenimiento preventivo y correctivo en caso de presentarse algún imprevisto en el sistema, mientras que, en el ingreso, los gastos anuales que se consideran son la factura de la ANDE como la compra del gas licuado de petróleo (GLP).

6.1.5. Cálculo del Valor Actual Neto (VAN) Y Tasa Interna de Retorno (TIR)

Para el análisis del VAN y TIR, se debe tomar en cuenta la inversión del proyecto y una tasa de descuento que para este caso se consideró del 12% para un periodo de 7 años.

En la tabla 14, nos indica que la inversión total equivale a Gs. 91.630.967, esta cantidad se consideró como egreso.

Con las siguientes ecuaciones se calculan el V.A.N. y T.I.R:

V.A.N

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1+k)^1} + \frac{Q_2}{(1+k)^2} + \frac{Q_3}{(1+k)^3} + \frac{Q_n}{(1+k)^n}$$

T.I.R

$$0 = -A + \frac{Q_1}{(1+k)^1} + \frac{Q_2}{(1+k)^2} + \frac{Q_3}{(1+k)^3} + \frac{Q_n}{(1+k)^n}$$

Donde:

A: Monto total a invertir (en negativo)

Q_1, Q_2, Q_3, Q_n : Flujo neto de caja, cada año.

k: Tasa de descuento

Desarrollando el procedimiento de cálculo, a continuación, comprobaremos si el proyecto es factible o no. Considerando una tasa de descuento del 12%.

**Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás
en una finca rural calle tercera de Coronel Oviedo
Mariela Mairin Vera Pezoa – 2024**

Tabla 17. Cálculo de VAN y TIR a 7 años

AÑO	FLUJO NETO	(1+k)ⁿ	$\frac{Q}{(1+k)^n}$
0	-91.630.967		
1	18.125.252	1.120	16183260.7
2	18.125.252	1.254	14453948.96
3	18.125.252	1.405	12900535.23
4	18.125.252	1.574	11515407.88
5	18.125.252	1.762	10286749.15
6	18.125.252	1.974	9181991.89
7	18.125.252	2.211	8197762.1
		VAN	-8.911.729
		TIR	9%

Finalmente, se determina que el Valor Actual Neto es de Gs. -8.911.729 y la Tasa Interna de Retorno de 9%.

VI. CONCLUSIONES

Conforme al análisis efectuado para el presente proyecto, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- La demanda de energía eléctrica en la finca es Capacidad instalada: 26737 W y Consumo diario: 119,866 kW.
- Se determinó que la producción estimada de Electricidad a partir de biogás es de 184,409 kWh/día, suficiente para cubrir la necesidad eléctrica en la finca.
- La finca cuenta con 94 animales vacunos con peso promedio de 450 kg/vaca y 846kg de estiércol disponible por día.
- El biodigestor tubular seleccionado es tipo Taiwán y estará compuesto por un volumen total de 180 m³ dividido en tres biodigestores de 60 m³ el cual producirá 83,067 m³ de biogás por día.
- El sistema de generación de electricidad a partir de biogás estará compuesto por un generador eléctrico de 32kW/40kva.
- La inversión del proyecto suma un total de Gs. 91.630.967, adicionalmente el mantenimiento anual que es de Gs. 1.000.000.

- Evaluación Económica:

El Valor Actual Neto (VAN) es de Gs. -8.911.729, lo que determina la inviabilidad de la inversión, dado que el resultado negativo del VAN implica que el proyecto no genera los flujos de efectivo necesarios para cubrir su costo de capital. Asimismo, la Tasa Interna de Retorno (TIR), con un valor del 9%, se encuentra por debajo de la tasa de descuento considerada inicialmente (12%), lo que refuerza la falta de viabilidad económica del proyecto.

**Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás
en una finca rural calle tercera de Coronel Oviedo
Mariela Mairin Vera Pezoa – 2024**

Proponer la alternativa de generar energía eléctrica a partir de biogás en la actualidad requiere una inversión considerable, lo que lo hace inviable para la finca en este momento. Sin embargo, en el futuro, podría reconsiderarse en función del agotamiento de los combustibles fósiles y la contaminación del medio ambiente, lo que incrementaría el interés por la producción y el uso de biocombustibles derivados de fuentes renovables.

VII. RECOMENDACIONES

Plantear la realización de un análisis de viabilidad económica para la instalación de un sistema híbrido que combine biogás y energía solar.

**Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás
en una finca rural calle tercera de Coronel Oviedo
Mariela Mairin Vera Pezoa – 2024**

VIII. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] J. M. Basurto Loor y S. F. Huiza Menéndez, IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR A PARTIR DE RESIDUOS GANADEROS, PARA USO DOMESTICO EN LA HACIENDA LA ESPERANZA, CALCETA, BOLÍVAR, MANABÍ, 2017.
- [2] W. J. O. Arrieta Palacios, DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DOMÉSTICO PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL ESTIÉRCOL DE GANADO”, 2016.
- [3] G. O. Caballero Caceres, EVALUACIÓN DE PREFACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGIA ELÉCTRICA MEDIANTE LA UTILIZACION DE UN BIODIGESTOR. CASO BIOMASA AVÍCOLA: GRANJA SAN BERNARDO UBICADA EN LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO DPTO CAAGUAZÚ, Coronel Oviedo, 2022.
- [4] R. Y. Gutiérrez Ramos, DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO EN EL CASERÍO EL PORVENIR, DISTRITO DE BAGUA GRANDE – AMAZONAS, 2021.
- [5] M. Rios, M. Kaltschmitt y T. Streeb, *Generacion y Utilizacion del BIOGAS: experiencias en Alemania y el potencial en Paraguay.*
- [6] MINENERGIA, PNUD, FAO y GEF, *Manual de Biogas*, Santiago de Chile, 2011.
- [7] V. Garcia Paez, *Manual de Biogás*, Provincia - Buenos Aires.
- [8] M. d. I. m. d. biogas, EL SECTOR DEL BIOGÁS AGROINDUSTRIAL EN ESPAÑA, Madrid-España, 2010.
- [9] L. L. Monsalve Herrera y O. F. Quiñonez Bolívar, *Estudio de viabilidad técnico - financiera de la implementación de un biodigestor tubular en la finca el Líbano, Cepitá - Santander, 2023.*
- [10] I. V. Tapia Tapia, *Instalación y uso de Biogás*, Lima - Peru , 2016.
- [11] A. Duarte, *Programa “Mejoramiento de las bases de datos para una política energetica mas sustentable en Paraguay”*, Piribebuy.
- [12] EPEC, *Energia Renovable: la biomasa*, Cordoba .
- [13] M. Herrero, *Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y manual de instalacion*, Ecuador, 2019.
- [14] ONU, «ONU programa para el medio ambiente,» 20 agosto 2021. [En línea].
- [15] V. K. Ramirez Villacres, *Diseño de un biodigestor para generacion de biogas con residuos de ganado vacuno*, Quito, 2021.
- [16] DIRCOM y MOPC, «En 2030 Paraguay consumira toda la energia de Itaipu, Yasyreta y Acaray,» *diario La Nacion*, 2017.
- [17] «Instan a tomar medidas urgentes tras el rápido crecimiento de la demanda energética,» *diario La Nacion*, 22 abril 2025.
- [18] M. Garfí, J. Martí Herrero, A. Garwood y I. Ferrer, *Digestores anaeróbicos domésticos para la producción de biogás en América Latina: una revision.*
- [19] I. G. Moncayo Romero, «Aqualimpia engineering,» septiembre 2017. [En línea]. Available: www.aqualimpia.de. [Último acceso: agosto 2024].
- [20] E. M. d. O. ., V. d. A. G. ., V. O. d. A. ., M. V. S. ., H. L. C. ., H. d. S. M. ., Y. A. d. O. C. ., A. R. F. Jonni Guiller Ferreira Madeiraa, *Electricity Generation from Biogas of Cassava using Cattle Manure as inoculum: An Assessment of Potential in the Quilombola Community (Brazil)*, Quilombola - Brazil, 2019.

Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás
en una finca rural calle tercera de Coronel Oviedo
Mariela Mairin Vera Pezoa – 2024

IX. ANEXO

Presupuesto kit biodigestión



KIT DE BIODIGESTION

<ul style="list-style-type: none">• Precio de venta BIOBOX CON IVA (1 unidad)• No incluye envío	<p>COP \$4.200.000 ₡ \$7.814.954 US \$1.000</p>
--	--

DHL Rastrear Envío Servicios de logística para empresas **Sus cotizaciones**

Seleccione una cotización para comenzar la reserva de su embarque.

De
Colombia [Cambiar locación](#)
Este es su país de facturación

Para
País o región *
Paraguay

Fecha de embarque: 08 jun 2025 El precio más bajo [Guardar envío](#)

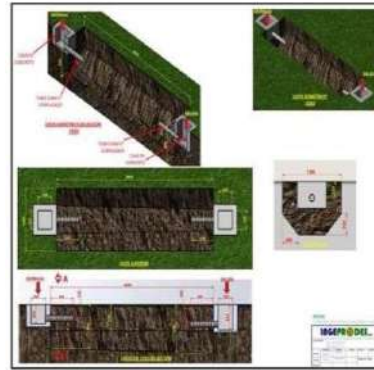
Entrega estimada: **jue, 12 de junio** A más tardar final del día. Reserve para el 9/6/2025 a las 5:00 p. m. para que se realice la recolección hoy. Sin cargo por IVA **US\$ 728,39*** [Continuar con la reserva](#)

**Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás
en una finca rural calle tercera de Coronel Oviedo
Mariela Mairin Vera Pezoa – 2024**

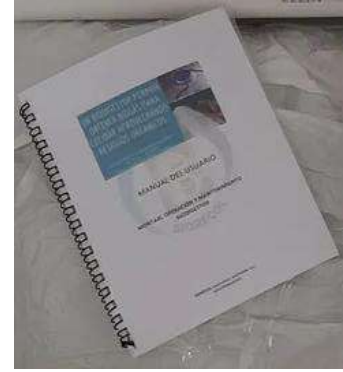
EL KIT CONTIENE:



1. Plastico tubular



2. Plano Civil



3. Manual



4. Valvula de seguridad



5. Filtro de sulfuros



6. Trampa de condensados



7. Tiras de caucho

Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás en una finca rural calle tercera de Coronel Oviedo

Mariela Mairin Vera Pezoa – 2024

Presupuesto generador a biogás

Inicio > Equipo y Componentes Industriales > Aparato de Generador y Electricidad > Generador de Gas



Precio Barato Ricardo 32kw 40kVA Conjunto de Generador de Biogás

US\$ 5.600,00-7.500,00

1 Pieza (MOQ)

Detalles de Producto

Personalización: Disponible
 Servicio postventa: 12months o 1500hours
 Garantía: 12months o 1500hours

[Contactar](#)

[Charlar](#)



Características

Descripción de Producto		Información de la Compañía	
Información Básica.			
No. de Modelo	AJR-32	Tipo de salida	CA trifásica
Gas Fuente	Biogás	Certificación	CE, ISO
Energía	<50kW	Estándar	Estándar
potencia nominal	32kw/ 40kva	frecuencia	50/60hz
tensión nominal	400/230V	corriente nominal	58A
color	requisitos de los clientes	certificado	iso9001/ce
motor	serie ricardo	método de inicio	arranque eléctrico
modo de velocidad	1500/1800rpm	Paquete de Transporte	bolsa de plástico/ contrachapado
Especificación	32kw/40kva	Marca Comercial	aj
Origen	Welfang, Shandong, China	Código del HS	8502200000
Capacidad de Producción	100 sets/mes		

**Estudio de prefactibilidad técnica de generación de energía eléctrica a partir de biogás
en una finca rural calle tercera de Coronel Oviedo
Mariela Mairin Vera Pezoa – 2024**

Finca Flia. Caballero Pezoa



Imagen fotográfica ganado en la finca: fuente propia.