



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA**

**UTILIZACIÓN DE BIOGÁS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGIA  
ELÉCTRICA EN EL SECTOR AGROPECUARIO**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA**

**PRESENTAN**

CASTILLO PÉREZ SERGIO (ICE)

MERA CORNEJO MA. GUADALUPE (ICE)

PERALTA DOMINGUEZ OSCAR ALBERTO (ICE)

**ASESORES**

ASESOR METODOLÓGICO: ING. VERA JAIME ANA MARIA

ASESOR TECNICO: ING. VALVERDE TRUJILLO ERASMO



CIUDAD DE MÉXICO.

MARZO 2015

---

## **DEDICATORIA**

### **Sergio Castillo Pérez**

Quiero dedicar esta Tesis a mi querida familia, por haberme apoyado incondicionalmente todos estos años en las buenas y en las malas, por toda la motivación para la culminación de mis estudios profesionales y en la vida.

A mis asesores Erasmo Valverde Trujillo y Ana Maria Vera Jaime por todo el apoyo, las enseñanzas y todas esas horas dedicadas para la elaboración de esta tesis.

A todos mis amigos que fueron parte importante durante todos estos años de estudio y que sin su apoyo y amistad la escuela no habría sido igual.

A Marlene Pérez Martínez porque me salvaste de convertirme en un Licenciado en turismo y me llevaste por el camino de la ingeniería nuevamente

A mi querida Brenda Rivera Mejia porque sin tu apoyo y cariño durante estos 14 años tal vez mi carrera y esta tesis habrían sido muy distintas.

### **Mera Cornejo Ma. Guadalupe**

Dedico este trabajo a mi familia parte esencial de mi educación, que me han enseñado a valorar lo que se tiene y a superar las adversidades de la vida con dos palabras: amor y unión. A mis amigos que desinteresadamente siempre me han apoyado en este proceso que eh concluido satisfactoriamente. Y en especial con respeto, orgullo y admiración dedico este trabajo a mis padres: Pedro Mera Pérez y Esperanza Cornejo Aguilar, que con esfuerzo, amor, firmeza, ejemplo y educación han respaldado cada uno de los logros y derrotas que eh tenido en la vida.

### **Peralta Domínguez Oscar Alberto**

Esta tesis la Dedico a Mi mamá Leticia Domínguez Pérez por todo su apoyo, comprensión, sacrificio y dedicación al ser una gran inspiración para mí.

A mis hermanos por apoyarme cuando lo llegué a necesitar.

Y a mis amigos que siempre me ayudaron a seguir adelante día a día.

---

## **AGRADECIMIENTOS**

### **CASTILLO PÉREZ SERGIO**

A mis padres por el gran amor y apoyo que tienen para sus hijos, por tener siempre la fortaleza y temple para formarnos a mí y a mi hermana como excelentes miembros de esta sociedad.

A mi madre, Cristy Maria del Carmen Pérez Reyes por el apoyo y la devoción ilimitada e incondicional, por todos esos años de levantarte temprano para que estuviera listo para ir a la escuela, a mi padre, Leonides Castillo Bartolo por todo esos años de tener que estar trabajando lejos para que pudiera tener todas las comodidades para la escuela y para la vida, a mi hermana Guiee Vinisa Castillo Pérez por siempre apoyarme en las buenas y en las malas.

A mis asesores Erasmo Valverde Trujillo y Ana Maria Vera Jaime por el apoyo que nos mostraron en este año de duro trabajo para hacer posible esta tesis.

A Brenda Rivera Mejia por todo el cariño, aprecio y apoyo que me has obsequiado todos estos años, porque estuviste siempre pendiente de este trabajo desde el comienzo hasta el día del examen profesional

A todos mis amigos y compañeros de carrera que hicieron de estos años en la ESIME un lugar donde daba gusto estudiar.

### **MERA CORNEJO MA. GUADALUPE**

A gradezco profundamente al Instituto Politécnico Nacional y a la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica por la educación recibida en sus aulas y a enseñarme a portar con orgullo sus respectivos escudos.

A mi asesor de tesis Ing. Erasmo Valverde Trujillo por el apoyo mostrado al equipo en la realización de este trabajo.

A mi familia y amigos que han sido pieza fundamental en mi vida. Con orgullo y admiración, Gracias!

### **OSCAR ALBERTO PERALTA DOMINGUEZ**

A mi madre, Leticia Domínguez por el gran amor y la devoción que tienes a tus hijos, por el apoyo ilimitado e incondicional que siempre me has dado, por tener siempre la fortaleza de salir adelante sin importar los obstáculos, por haberme formado como un hombre de bien a pesar de las circunstancias y por ser la mujer que me dio la vida y me enseñó a vivirla... no hay palabras en este mundo para agradecerte, mamá.

A todos mis amigos y compañeros de la universidad por su apoyo y las buenas y malas experiencias que vivimos juntos, sé que nos seguiremos viendo.

Y por último a mi profesor, amigo y asesor de tesis Ing. Erasmo Valverde Trujillo, por ésa gran motivación que me dio y el enseñarme siempre a esforzarme hasta el último momento.

---

## INDICE

<b>DEDICATORIA</b>	Pág. 2
<b>AGRADECIMIENTO</b>	Pág. 3
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	Pág. 4
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	Pág. 6
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	Pág. 8
<b>INTRODUCCIÓN</b>	Pág. 10
<b>OBJETIVO</b>	Pág. 11
<b>JUSTIFICACIÓN</b>	Pág. 12
<b>ALCANCES Y LIMITACIONES</b>	Pág. 13
<b>Capítulo 1 MARCO TEÓRICO</b>	Pág. 14
1.1 Definición de Residuo	Pág. 14
1.1.1 Clasificación de los Residuos	Pág. 14
1.2 Daños que provoca el manejo Inadecuado de los residuos	Pág. 17
1.3 Energía	Pág. 19
1.4 Biomasa	Pág. 20
1.4.1 Digestión Anaerobia	Pág. 21
1.4.2 Ventajas del uso de la Biomasa	Pág. 22
1.5 Biogás	Pág. 23
1.5.1 Aplicaciones de la Biogeneración	Pág. 24
<b>Capítulo 2 SITUACIÓN ACTUAL</b>	Pág. 26
2.1 La Generación de Energía y el Medio Ambiente	Pág. 26
2.1.1 Energías Renovables	Pág. 27
2.2 Energía Renovable en México	Pág. 29
2.3 El Sector Agropecuario y la Generación de Energía	Pág. 32
2.3.1 Biogás en México	Pág. 34

---

<b>Capítulo 3 DESARROLLO DEL PROYECTO</b>	Pág. 38
3.1 Cronograma	Pág. 38
3.2 Metodología	Pág. 39
3.2.1 Estudio Geográfico del “Rancho el Canelo”	Pág. 39
3.2.2 Estudio estadístico de la producción de excreciones del ganado	Pág. 42
3.2.3 Proceso para la generación de Biogás en el “Rancho el Canelo”	Pág. 43
3.2.4 Diseño de la instalación para la producción de Biogás	Pág. 53
3.2.5 Lista de materiales para el biodigestor	Pág. 67
3.2.6 Proceso para la generación de Electricidad a partir del Biogás	Pág. 71
3.2.7 Diseño de la instalación para la producción de Electricidad con Biogás	Pág. 72
3.3 Cálculos y resultados	Pág. 75
3.3.1 Aplicación teórica de los resultados obtenidos	Pág. 78
3.3.1.1 Caracterización del funcionamiento del generador eléctrico	Pág. 78
3.3.1.2 Modo de funcionamiento	Pág. 79
3.3.1.3 Ahorro de electricidad	Pág. 81
<b>Capítulo 4 ESTUDIO ECONOMICO</b>	Pág. 82
4.1 Factibilidad técnico-económica	Pág. 82
4.2 Factores que se deben tomar en cuenta	Pág. 82
4.3 Evaluación Económica	Pág. 84
4.4 Cronograma de construcción	Pág. 85
4.5 Memoria económica	Pág. 85
4.5.1 Costos	Pág. 85
4.5.1.1 Materiales	Pág. 86
4.5.2 Recuperación de la inversión	Pág. 89
4.5.2.1 Ahorro de energía eléctrica por generación de electricidad aprovechando biogás.	Pág. 89
4.5.2.2 Venta de biol	Pág. 90
<b>CONCLUSIONES</b>	Pág. 96
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	Pág. 97
<b>ANEXOS</b>	Pág. 99

---

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ciclo Biomasa	Pág. 21
<b>Figura 2.</b> Proceso de la Digestión Anaerobia	Pág. 21
<b>Figura 3.</b> Proceso de Producción de Biogás	Pág. 24
<b>Figura 4.</b> Aplicación del Biogás	Pág. 25
<b>Figura 5.</b> Inversión de Generación de Energías Renovables	Pág. 27
<b>Figura 6.</b> Esquema de Energías Renovables	Pág. 28
<b>Figura 7.</b> Grafica de Energías Renovables a nivel Mundial antes del 2013	Pág. 29
<b>Figura 8.</b> Mapa de las principales Centrales de Generación de Energía en la República Mexicana	Pág. 31
<b>Figura 9.</b> Estados de la Republica donde hay producción de Biogás	Pág. 37
<b>Figura 10.</b> Municipio de Mixquiahuala de Juárez, Hgo. Vista desde satélite	Pág. 39
<b>Figura 11.</b> Cantidades de estiércol y el rendimiento en gas	Pág. 46
<b>Figura 12.</b> Figura base para el diseño del biodigestor	Pág. 47
<b>Figura 13.</b> Diseño del biodigestor	Pág. 53
<b>Figura 14.</b> Diseño de la caja de mezcla para la carga	Pág. 54
<b>Figura 15.</b> Caculo para el tamaño de tubo de descarga	Pág. 55
<b>Figura 16.</b> Diseño de la caja de mezcla	Pág. 55
<b>Figura 17.</b> Vista superior de la caja de mezcla	Pág. 57
<b>Figura 18.</b> Diseño de la compuerta para la caja de mezcla	Pág. 57
<b>Figura 19.</b> Diseño del digestor	Pág. 59
<b>Figura 20.</b> Vista superior del digestor sin campana	Pág. 60
<b>Figura 21.</b> Malla de alambre para la base de las paredes del digestor	Pág. 60
<b>Figura 22.</b> Corte de la pared de descarga	Pág. 61
<b>Figura 23.</b> Corte de la pared de salida del biol	Pág. 61

---

<b>Figura 24.</b> Diseño de la campana flotante	Pág. 62
<b>Figura 25.</b> Diseño de la campana flotante vista desde abajo	Pág. 63
<b>Figura 26.</b> Diseño de la caja de salida del biol	Pág. 64
<b>Figura 27.</b> Diseño de la caja de salida del biol, vista superior	Pág. 65
<b>Figura 28.</b> Diseño de la caja de salida del biol, vista lateral	Pág. 65
<b>Figura 29.</b> Diseño de la caja de salida del biol, vista frontal	Pág. 65
<b>Figura 30.</b> Calculo para el tamaño de tubo de salida del biol	Pág. 67
<b>Figura 31.</b> Diseño de la instalación para generar energía eléctrica	Pág. 71
<b>Figura 32.</b> Modelo diario de la demanda promedio por día	Pág. 80
<b>Figura 33.</b> Etapas que intervienen en el proyecto	Pág. 82
<b>Figura 34.</b> Costos a considerar en el proyecto	Pág. 84

---

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla I.</b> Alcances y Limitaciones del Proyecto	Pág.13
<b>Tabla 1.</b> Clasificación de Residuos	Pág. 14
<b>Tabla 2.</b> Segunda Clasificación: Según origen o fuente de generación	Pág. 15
<b>Tabla 3.</b> Problemas Ambientales que ocasionan los RSU	Pág. 17
<b>Tabla 4.</b> Enfermedades Provocadas por los RSU	Pág. 18
<b>Tabla 5.</b> Clasificación de las Fuentes de Energía	Pág. 20
<b>Tabla 6.</b> Capacidad Instalada de Generación en México	Pág. 29
<b>Tabla 7.</b> Porcentaje de Tipos de Generación de Energía en México	Pág. 30
<b>Tabla 8.</b> Centrales de Generación de Energía por estado y tipo de Energía Generada	Pág. 32
<b>Tabla 9.</b> Comparación de Valores Caloríficos para diferentes Combustibles	Pág.35
<b>Tabla 10.</b> Características del Municipio de Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo	Pág. 39
<b>Tabla 11.</b> Características del Rancho “El Canelo”	Pág. 40
<b>Tabla 12.</b> Alimentación y producción de excreción del ganado	Pág. 42
<b>Tabla 13.</b> Bacterias que predominan en el proceso según la temperatura	Pág. 44
<b>Tabla 14.</b> Contenido en sólidos y PH de las excreciones	Pág. 45
<b>Tabla 15.</b> TRH	Pág. 46
<b>Tabla 16.</b> Tipos de fermentación	Pág. 50
<b>Tabla 17.</b> Tipos de biodigestor. Comparación	Pág. 51
<b>Tabla 18.</b> Medidas de la caja de mezcla	Pág. 56
<b>Tabla 19.</b> Descripción de las partes de la caja de mezcla	Pág. 57
<b>Tabla 20.</b> Medidas de las figuras 17 y 18	Pág. 58



---

<b>Tabla 21.</b> Medidas de la figura 19	Pág. 60
<b>Tabla 22.</b> Medidas de las figuras 20, 21,22 y 23	Pág. 62
<b>Tabla 23.</b> Medidas de las figuras 24 y 25	Pág. 64
<b>Tabla 24.</b> Medidas de la figura 26	Pág. 65
<b>Tabla 25.</b> Diseño de la caja de salida de Biol, (vista lateral)	Pág. 66
<b>Tabla 26.</b> Lista de materiales para la caja de mezcla y su respectiva descripción	Pág. 68
<b>Tabla 27.</b> Lista de materiales para el digestor y su respectiva descripción	Pág. 69
<b>Tabla 28.</b> Lista de materiales para la caja de salida de biol y su respectiva descripción	Pág. 70
<b>Tabla 29.</b> Descripción de los equipos y materiales a utilizar	Pág. 73
<b>Tabla 30.</b> Tabla de cálculo y resultados del proyecto	Pág. 75
<b>Tabla 31.</b> Rango de potencia del generados	Pág. 78
<b>Tabla 32.</b> Análisis de gasto en kilowatts/hora por día	Pág. 79
<b>Tabla 33.</b> Cronograma de actividades de construcción	Pág. 85
<b>Tabla 34.</b> Costo de análisis y diseño	Pág. 86
<b>Tabla 35.</b> Lista de materiales y precios para la construcción del Biodigestor	Pág. 87
<b>Tabla 36.</b> Precios del material necesario para la generación de energía eléctrica por biogas	Pág. 88
<b>Tabla 37.</b> Costos totales por concepto de construcción de biodigestor y generación de electricidad	Pág. 89
<b>Tabla 38.</b> Histórico de consumo de 2014 y proyección de ahorros	Pág. 90
<b>Tabla 39.</b> Ganancias por ventas del fertilizante proyectadas a un año	Pág. 92
<b>Tabla 40.</b> Línea de tiempo teórica de los FNE´s del 2014	Pág. 94
<b>Tabla 41.</b> Especificaciones técnicas del generador eléctrico a biogas	Pág. 101

---

---

## INTRODUCCIÓN

Las zonas rurales se caracterizan por impulsar y priorizar el desarrollo de la actividad agrícola, ganadera y la explotación forestal. Estas actividades productivas generan residuos orgánicos los cuales no están siendo aprovechados adecuadamente en zonas donde la población carece de fuentes energéticas (gas doméstico y energía eléctrica) para sus hogares. La utilización de los residuos provenientes de la ganadería (excreciones) es una alternativa significativa para la obtención de gas natural (biogás) a través de los biodigestores los cuales reducirán esta demanda de energía.

Las energías renovables, a diferencia de la energía fósil, se caracteriza por provenir de fuentes duraderas como el viento, el sol, el agua, etc. incluyéndose además recientemente los desechos de origen orgánico, para la generación de biogás mediante una fermentación anaeróbica (desechos de la industria ganadera, agrícola y residuos sólidos urbanos, entre otros).

Los altos precios del combustible y las elevadas tarifas locales de la energía eléctrica son factores fundamentales para desarrollar plantas de biogás a nivel nacional y regional que produzcan energía, a partir del uso de los desechos de la producción agropecuaria.

Los beneficios derivados de la generación de biogás más allá de su impacto en la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), radican en una fuente energética para un autoconsumo con importantes ahorros económicos.

---

## **OBJETIVO**

### **OBJETIVO GENERAL:**

Analizar y diseñar del proceso para la generación de energía eléctrica a partir de biogás generado con el estiércol de ganado ovino en el “Rancho El Canelo” ubicado en el municipio de Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo.

### **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- Investigar el principio de generación de biogás para aplicarla a la generación de energía eléctrica.
- Analizar y seleccionar el generador eléctrico adecuado para la generación de energía eléctrica a partir de biogás.
- Calcular teóricamente la factibilidad técnico-económica para el aprovechamiento del biogás en la generación de energía eléctrica empleada en agro-negocios.

---

## JUSTIFICACION

Ante el inminente deterioro de nuestras fuentes de energía, el ser humano se ha visto obligado a buscar nuevas alternativas en generación de energía, que sean más eficientes, económicas y que no alteren el medio ambiente.

Hoy en día los diferentes métodos de generación de energía son insuficientes para abastecer a toda la población, además de ser costosos y en algunos casos contaminantes.

Por ello con el presente trabajo se pretende contribuir a dar una solución diferente a la problemática del abastecimiento de energía eléctrica, por medio de un generador eléctrico a partir de la generación de biogás, y así contribuir con la economía de la sociedad y el bienestar con el medio ambiente.

---

---

## ALCANCES Y LIMITACIONES

**Tabla I.** Alcances y Limitaciones del Proyecto.

ALCANCES	LIMITACIONES
<ul style="list-style-type: none"><li>• La investigación se enfoca en el sector agropecuario, en específico, un rancho en una zona rural del estado de Hidalgo.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• El proyecto no se realizó físicamente, por el corto periodo de tiempo que se tiene para la presentación del proyecto.</li><li>• Será un proyecto enfocado únicamente en excreciones de ganado ovino.</li><li>• Variación del precio de los materiales de la estructura para el diseño del proyecto.</li></ul>

---

## Capítulo 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Definición de Residuo

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (S.E.M.A.R.N.A.T.) define a un residuo como todo aquel elemento o componente que pierde utilidad y que por tanto debe ser descartado y entonces se dice que son generados por toda la sociedad en menor o mayor grado de acuerdo a la actividad económica que desarrollan.

#### 1.1.1 Clasificación de los Residuos

Los residuos se clasifican de diversas maneras como lo muestra la siguiente tabla (Tabla 1).

**Tabla 1.** Clasificación de Residuos.

Fuente: SEMARNAT

Clasificación de residuos según:		
TIPO	FUENTE U ORIGEN QUE LO GENERA	LEY
<ul style="list-style-type: none"><li>• Residuos Orgánicos.</li><li>• Residuos Inorgánicos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Domésticos</li><li>• Comerciales</li><li>• Provenientes de espacios públicos.</li><li>• Institucionales.</li><li>• Hospitalarios.</li><li>• Industriales.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Residuos Sólidos Urbanos (RSU)</li><li>• Residuos de Manejo Especial (RME)</li><li>• Residuos Peligrosos (RP)</li></ul>

---

**1er. Clasificación:** Corresponde al tipo de recurso natural del que provienen:

- Residuos Sólidos Orgánicos. (RSO)- Aquellos que provienen de algún ser vivo (animal, planta, hongo, etc.)
- Residuos inorgánicos (RSI): Aquellos que provienen de minerales, del petróleo o de otros recursos inertes o sin vida.

**2da. Clasificación:** Es según su origen o fuente de generación. Como lo pueden ver en la siguiente tabla (Tabla 2).

**Tabla 2.** Segunda Clasificación: Según su origen o fuente de generación.

Fuente: SEMARNAT

Tipo de Residuo	Fuente	Ejemplo
<b>Residuos Domiciliarios.</b>	Casas habitacionales.	Restos de Comida, residuos de jardín, papeles, latas, vidrio, pilas, restos de pintura, restos de materiales y empaques de limpieza.
<b>Residuos comerciales.</b>	Tiendas, mercados o centros comerciales.	Papel, vidrio, cartón, papeles, restos de comida, residuos peligrosos.
<b>Residuos Institucionales.</b>	Oficinas de gobierno, universidades, escuelas.	Papel, cartón, vidrio, latas, restos de jardinería, restos de comida.
<b>Residuos Hospitalarios.</b>	Hospitales y Centros de salud.	Papel, cartón, restos de medicamentos, jeringas, restos de órganos, sangre.
<b>Residuos Industriales.</b>	Industrias de distinto tipo.	Además de los residuos de oficina como papel, o restos de comida del consumo de empleados, habrá restos de materiales dependiendo del tipo de industria que se trate.
<b>Residuos de la Construcción y demolición.</b>	Sitios de construcción, o de demolición de edificios, construcción de carreteras.	Madera, acero, hormigón, cemento, ladrillo, piedra, varilla.
<b>Residuos de espacios públicos o de limpieza municipal.</b>	Limpieza de calles, parques, playas, u otros sitios públicos.	Papeles, latas, residuos de jardinería, y otros que deja la gente en espacios públicos.
<b>Residuos de plantas de tratamiento.</b>	Plantas de tratamiento de aguas negras.	Lodos, generalmente son considerados residuos peligrosos.

---

**3er. Clasificación:** La cual se establece en la Ley General de Residuos del País, y es la siguiente:

**Residuos Sólidos Urbanos (RSU):** son los generados en las casas habitación como resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas; son también los residuos que provienen de establecimientos o de la vía pública, o los que resultan de la limpieza de las vías y lugares públicos y que tienen características como los domiciliarios. Es importante mencionar que aunque sean generados en comunidades rurales, el término siempre será el de Residuos Sólidos Urbanos.

**Residuos de Manejo Especial (RME):** son los generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos ni como residuos sólidos urbanos. También son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos; y pueden ser:

- Residuos de las rocas o de los productos de su descomposición.
- Residuos de servicios de salud, con excepción de los biológico-infecciosos.
- Residuos de las actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas, ganaderas incluyendo los residuos de insumos.
- Lodos que quedan del tratamiento de aguas residuales.
- Residuos de tiendas departamentales o centros comerciales.
- Residuos de la construcción, mantenimiento y demolición.
- Residuos tecnológicos provenientes de la industria de la informática, electrónica, vehículos automotores.

**Residuos Peligrosos (RP)** son aquellos que poseen alguna de las características identificadas como de peligrosidad y que son: su corrosividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contienen agentes infecciosos.

También son parte de los residuos peligrosos los envases, recipientes, embalajes, y suelos que hayan sido contaminados por residuos peligrosos y que se transporten de un lugar a otro.






---


## 1.2 Daños que provoca el manejo Inadecuado de los residuos

El mal manejo de los residuos provoca daños a la salud y al medio ambiente generando serios problemas, tanto en la salud, a la biodiversidad y ecosistemas, así como a la imagen y los servicios públicos como el drenaje y el alcantarillado de las localidades. La siguiente tabla (Tabla 3) muestra los problemas ambientales que ocasionan los RSU.

**Tabla 3.** Problemas Ambientales que ocasionan los RSU.

Fuente: SEMARNAT

Problema Ambiental	Originado por	Imagen
<b>Contaminación del suelo, de lagos y ríos superficiales y subterráneos.</b>	La filtración de los líquidos que producen los residuos orgánicos, que al mezclarse con residuos peligrosos, se convierten en una sustancia sumamente tóxica. Estos líquidos son conocidos como lixiviados.	
<b>Generación de Gas</b>	La descomposición de los residuos vegetales y animales, que además de ser tóxicos y explosivos contribuyen negativamente al problema del cambio climático.	
<b>Interrupción de Cauces de agua, o desperfectos en el funcionamiento de los sistemas de drenaje y la salida de aguas negras, lo que provoca inundaciones.</b>	Depósito de residuos en arroyos, canales, barrancas o en las vías públicas de las localidades.	

<p><b>Contaminación del Agua. Muerte de organismos que comen residuos, se enredan o quedan atrapados en materiales elásticos o fibrosos que los estrangulan o inmovilizan.</b></p>	<p>Depósito o arrastre de todo tipo de residuos hacia lagunas, mares o ríos.</p>	
--	--	---

## Efectos en la Salud


Los residuos pueden generar muchos problemas a la salud humana. Se pueden producir por distintos tipos de condiciones, o componentes que pueden ser:




- De origen biológico, a lo que comúnmente se conoce como fauna nociva que se prolifera cuando hay residuos manejados inadecuadamente y que transporta microbios que provocan enfermedades como el cólera, la rabia y otras.
- De origen químico, como sustancias tóxicas, corrosivas, explosivas o inflamables.
- De origen físico, como objetos punzo cortantes que causan heridas por las que pueden contagiarse enfermedades como el SIDA.

La siguiente tabla (Tabla 4) resume las enfermedades que provocan el mal manejo de los residuos sólidos urbanos (RSU).

**Tabla 4.** Enfermedades provocadas por los RSU.

Fuente: SEMARNAT

Fauna Nociva	Enfermedades que Provoca	Información especial
	<p>Cólera, Fiebre tifoidea, salmonelosis, disentería, diarreas.</p>	<p>1.-Las moscas pueden transmitir al menos 20 enfermedades graves. 2.-Su radio de acción puede ser de 10 Km. En 24 hrs. 3.-En solo un kilogramo de residuos se pueden generar cerca de 70.000 moscas</p>

	<p>Fiebre tifoidea, gastroenteritis, lepra, intoxicación alimentaria.</p>	<p>1.-Las cucarachas pueden transmitir más de 70 enfermedades y cerca de 8% de la población humana es alérgica a ellas.</p>
	<p>Peste bubónica, tifus murino, leptospirosis, diarreas, disentería, rabia.</p>	<p>1.-Las ratas, además de que pueden transmitir enfermedades graves, contribuyen al deterioro y a la contaminación de los alimentos.</p> <p>2.-Provocan también daños a los edificios y casas y pueden provocar incendios ya que roen el plástico de los cables eléctricos.</p> <p>3.-Un dato asombroso, es que una sola pareja pueda dar origen a cerca de 10 mil descendientes en el transcurso de un año.</p>
	<p>Malaria, Fiebre amarilla, dengue. Encefalitis vírica.</p>	<p>Principalmente provoca el dengue.</p>

### 1.3 Energía

Energía es la capacidad para realizar un trabajo y se presenta de diversas formas, entre las más comunes están: energía mecánica, energía eléctrica, energía electromagnética, energía química, energía nuclear y energía térmica.

De acuerdo al origen de las fuentes de energía se puede clasificar en:

- Renovables
- No renovables

En la tabla siguiente (Tabla 5) se muestra una clasificación de las fuentes de energía según el criterio anterior.

---

**Tabla 5.** Clasificación de las Fuentes de Energía.

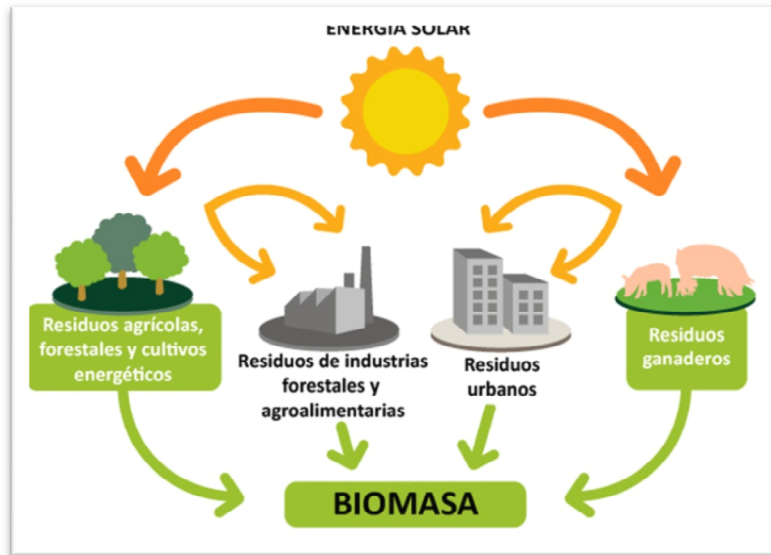
Fuente: SEMARNAT

<b>ENERGÍAS RENOVABLES</b>	<b>ENERGÍAS NO RENOVABLES</b>
Energía hidráulica	Combustibles fósiles
Energía eólica	Petróleo
Biomasa	Gas natural
Energías del mar:	Carbón
Mareas	Combustibles nucleares:
Olas	Uranio
Corrientes	Torio
Gradientes térmicos	Deuterio
Energía solar	Hidrocarburos no tradicionales:
Energía geotérmica	Arenas asfálticas

## 1.4 Biomasa

La biomasa es el conjunto total de los organismos vivientes, animales y vegetales de una determinada región, considerados colectivamente; por lo tanto, energéticamente hablando, el concepto uso de biomasa es el aprovechamiento del colectivo de organismos vivos, caracterizado por poseer como base compuestos orgánicos reducidos con lo que se consigue un aporte energético orgánico y no fósil. Es decir, la biomasa es la energía que pueden obtener de la materia viva o masa.

La biomasa es un tipo de energía renovable y puede ser transformada en otro tipo de energía al someterla a determinados procesos conocidos como procesos de conversión energética de la biomasa. En la siguiente figura (Figura 1) se puede apreciar el ciclo de la obtención de Biomasa.



**Figura 1.** Ciclo Biomasa.

Fuente: Enerx.com

### 1.4.1 Digestión Anaerobia

Es un proceso natural microbiano que ocurre en forma espontánea en la biomasa en ausencia de oxígeno que genera una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono) conocida como biogás y una suspensión acuosa (bio-abonos) que contiene los componentes no degradados o parcialmente degradados, como lo describe la imagen de la siguiente figura (Figura 2).



**Figura 2.** Proceso de la Digestión Anaerobia.

Fuente: INDIREN

---

## 1.4.2 Ventajas del uso de la Biomasa

El empleo energético de la biomasa presenta numerosas ventajas, no solo para el propietario de la instalación de aprovechamiento, también para el conjunto de la sociedad. En el primero de los casos, las ventajas son fundamentalmente económicas ya que se reducen los costos energéticos al disminuir la cantidad de combustibles o de energía eléctrica que se debe adquirir. Las ventajas que ofrece son energéticas, medioambientales y socioeconómicas.

### **Ventajas Energéticas**

La biomasa permite obtener grandes ventajas energéticas, entre las cuales destacan principalmente:

- Proceso neto de producción de energía
- Generación de un combustible renovable de aceptable calidad

### **Ventajas Medioambientales**

Los países tanto en vías de desarrollo como desarrollados se enfrentan a una demanda creciente de energía para satisfacer sus expectativas económicas y sociales.

Por otra parte el uso de combustibles fósiles para obtener energía, sobre todo eléctrica, trae como consecuencia el vertido de sustancias tóxicas al aire, al agua y a los suelos, dañando la naturaleza a corto, medio y largo plazo.

Frente a esta situación y en un futuro no muy lejano, parece clara la necesidad de una transición en las fuentes de energía desde su actual dependencia de los hidrocarburos a nuevas energías renovables y soluciones cada vez más ecológicas.

### **Ventajas Económicas**

Este tipo de proyectos tiene ventajas económicas ya que con el uso de la biomasa es posible:

- Producción de energía eléctrica
- Producción de energía calorífica
- Producción de bio-abonos de alta calidad

---

Beneficios micro-económicos a través de la sustitución de energía y fertilizantes, del aumento de ingresos y del aumento de la producción agrícola ganadera cuando se emplea a nivel agropecuario.

### **Ventajas Socioeconómicas**

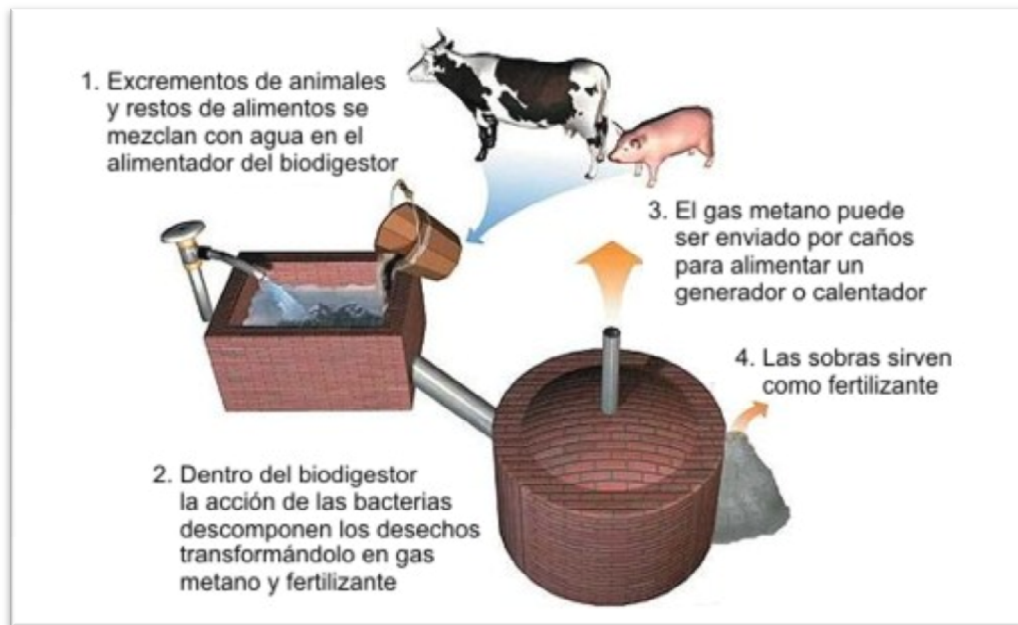
Otras de sus ventajas del uso de la biomasa son socioeconómicas tales como:

- Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles.
- Favorece el desarrollo del mundo rural y supone una oportunidad para el sector agrícola, abriendo oportunidades de negocio a las agroindustrias y favorece la investigación y el desarrollo tecnológicos.
- Evita la contaminación del medio ambiente
- Reduce significativamente las emisiones de dióxido de carbono y de maximización de los beneficios del reciclaje.
- Producción de abonos sanitarios y fertilizantes ricos en nutrientes
- Maximización de los beneficios del reciclaje
- El aprovechamiento de algunos tipos de biomasa (principalmente la forestal y los cultivos energéticos) contribuyen a la creación de puestos de trabajo en el medio rural.

### **1.5 Biogás**

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, emplea el término biogás para nombrar a la mezcla de gases resultantes de la descomposición de la materia orgánica realizada por acción bacteriana en condiciones anaerobias.

El biogás (también llamado gas de pantanos) se produce en un proceso de la degradación anaeróbica de la biomasa y está compuesto en un 60 % de gas Metano (cuya fórmula química es CH<sub>4</sub>), Dióxido de Carbono (su fórmula química es CO<sub>2</sub>) y concentraciones mínimas de compuestos orgánicos no metánicos. En la figura 3 se puede observar el proceso para la producción de biogás.



**Figura 3.** Proceso de producción de Biogás.

Fuente: Biodisol.com

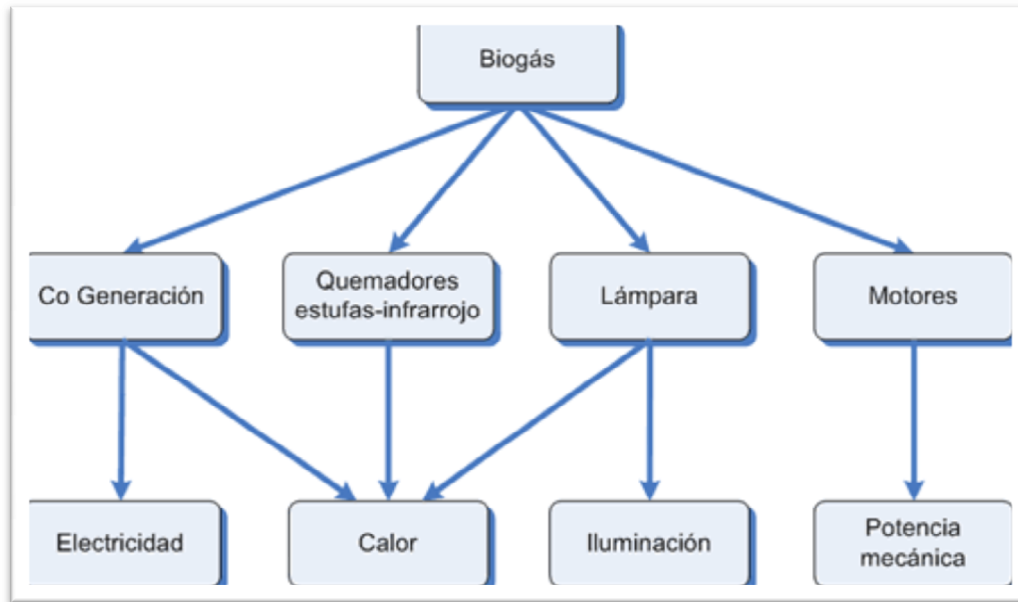
### 1.5.1 Aplicaciones de la Biogeneración

El uso de la biogeneración presenta numerosas ventajas medioambientales y socioeconómicas. Los excrementos de los animales (cerdos, ganado, pollos, etc.), basuras y residuos orgánicos se convierten en uno de los desechos más contaminantes en nuestro medio y muchas de las técnicas modernas no logran solucionar económicamente este problema. Con la biodigestión disminuye el índice de contaminación ya que transforma estos desechos y los convierte en subproductos aprovechables (recursos) como el bio-abono y el biogás.

El empleo de la tecnología de digestión anaerobia o biodigestión para tratar la biomasa residual húmeda además de anular su carga contaminante, reduce fuentes de olores molestos y elimina, casi en su totalidad, los gérmenes y los microorganismos patógenos del vertido. Los fangos resultantes del proceso de digestión anaerobia pueden ser utilizados como fertilizantes en la agricultura.

Algunas de sus aplicaciones del Biogás se pueden ver en la siguiente figura (Figura 4).





**Figura 4.** Aplicación del Biogás.

Fuente: Biodisol.com

---

## Capítulo 2. SITUACION ACTUAL

### 2.1 La generación de energía y el medio ambiente

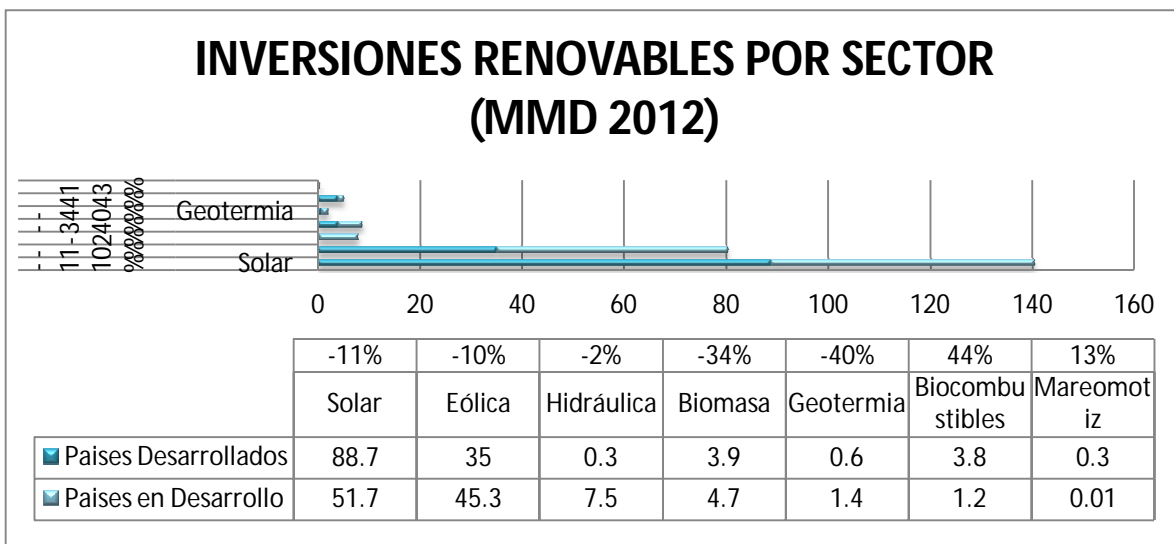
Hoy en día es común hablar de los gases de efecto invernadero (GEI), del aumento de temperatura media de la corteza terrestre, del cambio climático y de las acciones emprendidas para su control a nivel internacional. Las agrupaciones científicas más importantes del mundo sostienen que el efecto invernadero de la atmósfera se ha incrementado en la Tierra debido a la emisión de ciertos gases, como el dióxido de carbono y el metano, producidos por la quema de combustibles fósiles, actividad industrial, doméstica y el transporte.

A pesar de esta extensa variabilidad del clima, existen indicios en las últimas décadas, que han entrado en un proceso acelerado de cambio climático, basado en las observaciones de la variación de las características físicas de la atmosfera, así como en la flora y la fauna en diversas partes del mundo. La principal consecuencia, es la observación del aumento de la temperatura media de la corteza terrestre (una media de 0.6 °C), en el último siglo y las grandes cantidades de GEI.

El crecimiento de la población a nivel mundial, desarrollo económico e industrialización en el mundo entero significa que el consumo mundial de energía continuará aumentando. Estas tendencias, sumadas al mantenimiento del empleo de combustibles fósiles para producir energía primaria, también significan que las emisiones de gases de invernadero continuarán aumentando en el mundo entero. Aun con medidas estrictas de reducción, las proyecciones actuales no muestran una estabilización de las emisiones hasta aproximadamente el año 2050.

## 2.1.1 Energías Renovables

En los últimos años ha surgido la preocupación sobre el suministro y precio futuro de la energía. Resultado de esto, los países consumidores, enfrentados a los altos costos del petróleo y a una dependencia casi total de este energético, tuvieron que modificar costumbres y buscar opciones para reducir su dependencia de fuentes no renovables, como se muestra en la gráfica de la figura 5, se busca invertir en nuevas energías renovables.



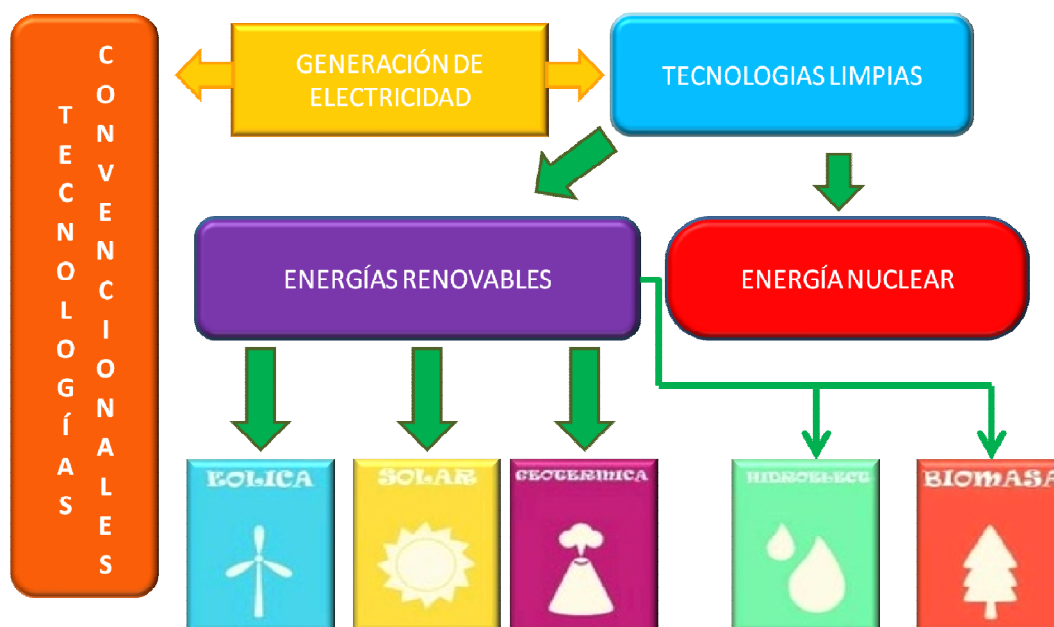
**Figura 5.** Inversión de Generación de Energías Renovables.

Fuente: SENER

Las energías renovables se basan en los flujos y ciclos contenidos en la naturaleza. Son aquellas que se regeneran y se espera que perduren por cientos o miles de años. Además, se distribuyen en amplias zonas y su adecuada utilización tiene un impacto ambiental favorable en el entorno, elemento que hoy se convierte en una herramienta de gran importancia, ante la necesidad de disminuir significativamente la emisión de gases de efecto invernadero a nivel mundial.

---

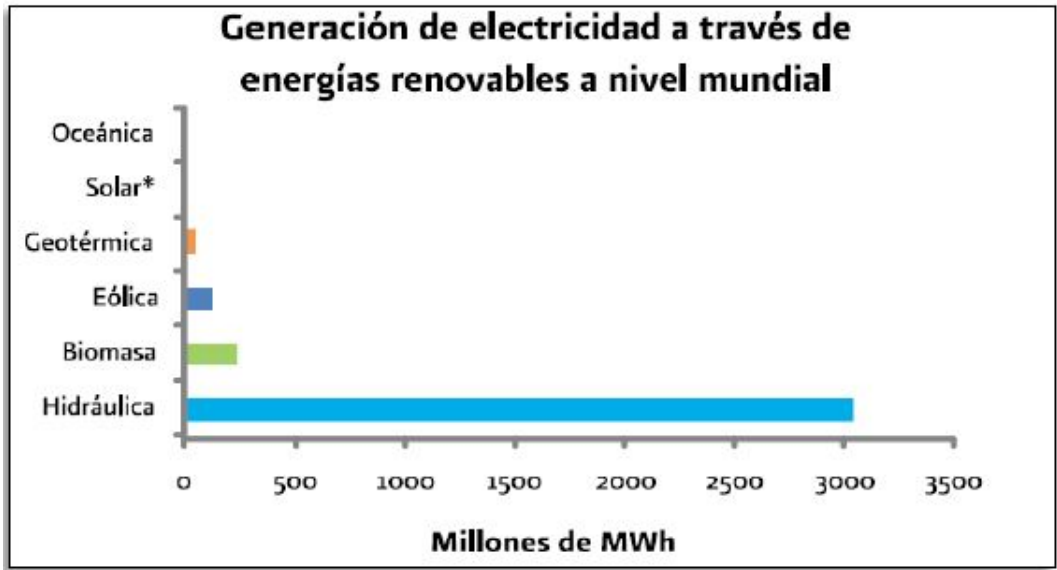
Entre las opciones para reducir la dependencia del petróleo y reducir costos en la generación de energía eléctrica como principal energético se está considerando el mejor aprovechamiento de la energía solar, sin hacer menos a sus diversas manifestaciones secundarias tales como la energía eólica, hidráulica y las diversas formas de biomasa; es decir, las llamadas energías renovables (Figura 6).



**Figura 6.** Esquema de Energías Renovables

Fuente: SENER

Hoy en día muchas de las tecnologías de aprovechamiento de energías renovables han madurado y evolucionado, aumentando su confiabilidad y mejorando su rentabilidad para muchas aplicaciones. (Figura 7).



**Figura 7.** Gráfica de Energías Renovables a nivel mundial antes del 2013  
Fuente: SENER

### 2.2 Energía Renovable en México

En 2012, la capacidad instalada para la generación de energía eléctrica con fuentes renovables fue de 14,501 MW7, de los cuales, el 86% son para servicio público y el 14% para permisionarios. Como lo pueden observar en las siguientes tablas 7 y 8.

**Tabla 6.** Capacidad Instalada de Operación en México  
Fuente: CFE/SENER

TIPO DE ENERGIA	CAPACIDAD INSTALADA EN OPERACIÓN (MW)	CAPACIDAD AUTORIZADA EN CONSTRUCCIÓN (MW)
Eólica	1.289	2.460
Geotérmica	823	0
Hidráulica	11.707	289
Solar	37	156
Biomasa	645	100
<b>Total</b>	<b>14.501</b>	<b>3.006</b>

---

**Tabla 7.** Porcentaje de Tipos de Generación de Energía en México.

Fuente: CFE/SENER

TIPO DE ENERGIA	SERVICIO PÚBLICO	AUTOABASTECIMIENTO	GENERACIÓN DISTRIBUIDA	TOTAL	PART.
Eólica	3.219	8.352	461	12.032	59%
Hidráulica	4.771	701	139	5.611	27%
Solar					
<i>Fotovoltaica</i>	6	752	1.170	1.928	9%
Termosolar	14	0	16	30	0%
Geotérmico	151	0	25	176	1%
Biomasa	0	422	345	767	4%
<b>Total</b>	8.161	10.227	2.156	20.544	100%

El país tiene 253 centrales en operación y en construcción para la generación de energía eléctrica con fuentes renovables. Los proyectos de energías renovables (ER) tienen presencia en el 90% de las entidades federativas del país; sin embargo, Oaxaca y Veracruz son los estados con mayor número de proyectos, eólicos y de bioenergía respectivamente. Como se ve en el mapa de la figura 8 aportada por CFE.



**Figura 8.** Mapa de las principales centrales de generación de energía en la República Mexicana

Fuente: CFE

México cuenta con una capacidad de 5,951 MW, tomando en cuenta las centrales en operación y en construcción. Los estados de Oaxaca, Baja California, Tamaulipas y Veracruz concentran cerca del 75% de la capacidad. Es importante señalar que por ley, la participación privada en proyectos hidroeléctricos sólo se permite en aquellos con capacidad instalada de hasta 30 MW. En la siguiente tabla (Tabla 9) se puede observar la cantidad de centrales para la generación de energías renovables.

**Tabla 8.** Centrales de Generación de energía por estado y tipo de energía generada.

Fuente: CFE

ESTADO	BIOENERGÍA	EÓLICA	GEO-TÉRMICA	HIDRÁULICA < A 30 MW	SOLAR*	TOTAL
OAXACA	33	2,499		39		2,571
BAJA CALIFORNIA		258	645	24	5	932
TAMAULIPAS	13	437				450
VERACRUZ	270	40		124		434
NUEVO LEÓN	28	274				302
SAN LUIS POTOSÍ	81	200			1	282
MICHOACÁN	15		192	4		210
JALISCO	61			58	30	149
CHIAPAS	25	39		60		124
PUEBLA	15		52	39		106
OTROS	205	2	10	118	156	492
TOTAL	745	3,749	898	467	192	6,052

### 2.3 El Sector Agropecuario y la generación de Energía

La instalación de una planta de biogás transformaría a los productores agropecuarios en generadores de energía a escala industrial y en productores de sus propios bio-fertilizantes. Una planta de biogás produce gas metano (CH<sub>4</sub>), el cual, quemado en un motor a gas, puede mover un generador eléctrico y producir energía eléctrica y calor. Esta fuente eléctrica es adecuada como base de red por producir las 24 horas del día y todo el año (sin considerar el mantenimiento anual del motor).

Como requisito ideal o condición óptima para el aprovechamiento máximo de un proyecto de esta naturaleza y envergadura, existen tres factores a considerar: la necesidad de energía eléctrica, de energía térmica y la disponibilidad de biomasa, ya sea vegetal (plantas



---

energéticas, ejemplo, maíz, sorgo, etc.), animal (estiércol, residuos de frigorífico, etc.) y/o residuos orgánicos de la industria alimenticia o urbanos.

Una planta de biogás es la respuesta racional a la búsqueda de una solución sustentable y segura al destino final de los residuos orgánicos y a la vez los transforma en un recurso energético, que además y en su modelo de aplicación agraria transformaría al productor agropecuario en un productor energético, complementando esa actividad.

Por su parte, un biodigestor, fermentador o reactor de descomposición es el elemento central en una planta de generación de biogás a partir de biomasa. En él, la materia orgánica original (proteínas, carbohidratos y grasas) es transformada por bacterias mediante un ciclo de fermentación anaeróbica (sin oxígeno) de cuatro fases: Hidrólisis, Acido-génesis, Aceto-génesis y Metano-génesis, en biogás. Entre el 50 y 75 % del biogás producido será gas metano. Además del biogás, también se genera bio-fertilizantes líquidos y sólidos como segundo producto, los que usados como abono en los cultivos propios, constituyen un excelente fertilizante natural de suelos agrícolas.

El proceso del reactor es constante y la producción de gas es continua, además permite:

- 1.- Aprovechamiento del cultivo completo, incluido el rastrojo, para producir en forma sostenible gas combustible y con esta energía (haciendo usufructo de lo que normalmente no se aprovecha).
- 2.- Posible generación directa de energía eléctrica y térmica en origen, a través de un motor a explosión o turbina a gas acoplado a un electro-generador.
  - a.- Por ser su producción constante, esa energía podría aportarse a la red eléctrica como carga base haciéndola más confiable.
  - b.- La energía térmica remanente también puede ser aprovechada, por ejemplo en procesos industriales como calefacción, secado o incluso para producir frío en cámaras de refrigeración, aumentando así la eficiencia del concepto.
  - c.- Posibilidad de una independencia de red eléctrica y/o de gas natural. Igualmente sería apta como solución en zonas de producción demasiado alejadas o aisladas de los servicios nacionales de red.

---

3.- Producción de un excelente bio-fertilizante para uso agrícola, para mejorar suelos y cultivos y con ello el rendimiento de la tierra productiva, que resulta apto para su comercialización.

4.- Como alternativa y/o complemento de sustrato, puede ser utilizada, previa higienización, la fracción biológica de los RSU (residuos sólidos urbanos) y de esa manera alcanzar una reducción del volumen de los mismos, prolongando la vida útil del relleno sanitario y disminuyendo su impacto ambiental.

5.- Ganancia económica, sostenible a largo plazo por generación de un producto, metano y/o además energía eléctrica y térmica, aparte del beneficio de la comercialización o usufructo directo del segundo producto, los bio-fertilizantes sólidos y líquidos.

6.- Capitalización política ideal por una mejor y más racional gestión de los residuos y/o uso de recursos naturales disponibles tanto como productos agroindustriales en forma sostenible a largo plazo y acción ejemplar con proyección hacia todo el país y el extranjero.

7.- Cuando el metano originario del biogás sea aprovechado energéticamente, se quemará en forma climáticamente neutral (es decir que el CO<sub>2</sub>, consecuente no será más que aquel que fijaron las plantas al crecer) por provenir de biomasa, y no de origen fósil.

8.- Posibilidad de empleo y aplicación de un máximo de insumos y servicios nacionales para la construcción, realización y explotación de la planta, a menor costo, reduciendo la dependencia de insumos del extranjero.

### **2.3.1 Biogás en México**

El biogás en México como ya han visto es un bioenergética capaz de sustituir a los combustibles fósiles en la generación de energía. La Secretaría de Energía (SENER) considera que existe un potencial de 3000 MW para la generación de energía eléctrica a través de biogás proveniente de la recuperación y aprovechamiento del metano (SENER, 2010); éste último es producto de la descomposición de los residuos animales, residuos sólidos urbanos (RSU) y el tratamiento de aguas negras. Dado el valor calorífico del biogás, el cual es de 23 MJ/kg (Tabla 10) sus principales usos en México están relacionados con la generación de electricidad y calor.

---

**Tabla 9.** Comparaciones de valores caloríficos para diferentes combustibles.

Fuente: SENER

Combustible	Valor Calorífico (CV) Aproximado	Factor de emisión indirecto (kgCO <sub>2</sub> e/GJ, CV neto)
Petróleo	45.21 MJ/kg	12.51
Gas Natural	36 MJ/m <sup>3</sup>	5.55
Gas Natural Licuado	55.14 MJ/kg	20.00
Keroseno	43.12 MJ/kg	13.34
Diesel	44.79 MJ/kg	13.13
Biogás	23 MJ/m <sup>3</sup>	0.246 <sup>b</sup>

Esto tiene gran sentido, puesto que se consigue una mayor eficiencia energética cuando se emplea biomasa para generar electricidad que cuando se convierte en combustible para el transporte. Por ejemplo se ha reportado, que 1 MJ de biomasa puede reemplazar alrededor de 0.95 MJ de combustible fósil en la producción de calor y electricidad, mientras que 1 MJ de biomasa puede reemplazar sólo alrededor de 0.35 a 0.45 MJ de petróleo crudo en el sector transporte.

Al mismo tiempo, la emisión de gases de efecto invernadero del biogás son menores en comparación con otros combustibles. En el sector ganadero mexicano el empleo del biogás para la producción de energía eléctrica no es la excepción.

Usar excretas para producir biogás juega un rol pivote en la integración de las granjas ganaderas, reduciendo el riesgo a la salud, facilitando el control de la contaminación y al mismo tiempo añadiendo valor agregado a los subproductos.

Los grandes volúmenes de excretas que diariamente se producen en las granjas porcícolas y establos ganaderos posibilitan que mediante los procesos de biodigestión anaerobia y producción de biogás, se genere calor y energía eléctrica.

En la actualidad, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) a través del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) ha emprendido el desarrollo de proyectos para el aprovechamiento de biogás en el sector

---

ganadero. Se han identificado en el país, alrededor de 966 sistemas de biodigestión beneficiados por proyectos relacionados con la reducción de emisiones como los Project Design Document (PDD), proyectos bajo la iniciativa Metano a Mercados (M2M) para la comercialización de bonos de Carbono y los proyectos en el sector agropecuario apoyados por el FIRCO.

El número biodigestores instalados en el país no es una cantidad suficiente para la población ganadera actual. Sin embargo, visualizando la necesidad de mejorar las condiciones ambientales, energéticas, productivas y económicas en el sector, la SAGARPA a través del FIRCO otorga apoyos económicos a unidades productivas para la instalación de sistemas de biodigestión, así como equipos para el aprovechamiento de biogás (moto generadores). En los últimos 4 años (2008-2011) se han duplicado el número de proyectos que tienen que ver con la instalación de estos sistemas ambientales.

De estas acciones emprendidas por el FIRCO durante el periodo 2008-2011, se estima una reducción de 679 mil Ton de CO<sub>2</sub> por los sistemas de biodigestión instalados; asimismo con la incorporación de sistemas integrales (biodigestor + moto generador) se alcanzó la reducción de 1,989 Ton CO<sub>2</sub> y un desplazamiento de energía eléctrica de 3.70 GWh (FIRCO, 2011). Ésta generación de energía podría abastecer el consumo anual de alrededor de 10,000 viviendas de interés social, considerando un consumo promedio de éstas de 200 kWh/mensuales.

Como ven, uno de los principales usos del biogás en este sector es el aprovechamiento de las excretas para la generación de energía eléctrica, que posteriormente puede ser interconectada a la red del servicio público (CFE), para su posible porteo entre socios y/o autoconsumo del establecimiento.

El primer relleno sanitario instalado en México para el aprovechamiento de biogás se encuentra en Nuevo León. El Proyecto “Bioenergía”, involucró el establecimiento de un relleno sanitario, operado por la empresa SIMEPRODE en Salinas Victorias, Nuevo León. Dicho proyecto se basa principalmente en el aprovechamiento del biogás, producto de la descomposición de los desechos, para la generación de energía eléctrica, alrededor de 7 MW.

La energía generada se aprovecha para el alumbrado público (52% de la ciudad), el Metro, edificios públicos y el bombeo de agua potable en la zona metropolitana de Monterrey, así

---

como para cubrir los requerimientos energéticos en las instalaciones de la propia empresa. Por otro lado, en cuanto a la reducción de emisiones de gases contaminantes, se estima que están en el orden de un millón de toneladas de CO<sub>2</sub> (SEDESOL, 2005).

Los Estados con mayor potencial para la producción de biogás son: Durango, Coahuila, Guanajuato, Jalisco, Chihuahua, Hidalgo y México, como se muestra en la figura 9. La región Norte de nuestro país, resaltando la región de la Comarca Lagunera, concentra establos lecheros cuyas características operativas permiten el aprovechamiento de excretas para la producción de biogás.



**Figura 9.** Estados de la República donde hay producción de biogás.

Fuente: SENER

---

## Capítulo 3. DESARROLLO DEL PROYECTO

### 3.1 Cronograma

El cronograma de actividades que se planteó se presenta a continuación:

1. Investigación de la teoría necesaria para la producción de biogás en el Rancho “El Canelo”.
2. Investigación de la teoría necesaria para la producción de energía eléctrica, a partir de la generación de biogás.
3. Recopilación de datos estadísticos sobre el ganado a utilizar para la producción de biogás en el Rancho “El Canelo”.
4. Recopilación de datos estadísticos de la geografía del Rancho “El Canelo”: clima, topografía, geología, etc.
5. Diseños preliminares de las estructuras por medio de un software: se irán realizando diseños para el proceso de generación de biogás y energía eléctrica.
6. Investigación de materiales estructurales: estudio de los posibles materiales a utilizar en la construcción del equipo para la generación de biogás y energía eléctrica.
7. Se revisarán los datos recopilados y los diseños preliminares para elegir el diseño final del proyecto.
8. Elaboración del documento final: se irá documentando el desarrollo del proyecto a medida que se registran los avances para así poder armar el artículo final de una forma más estructurada.

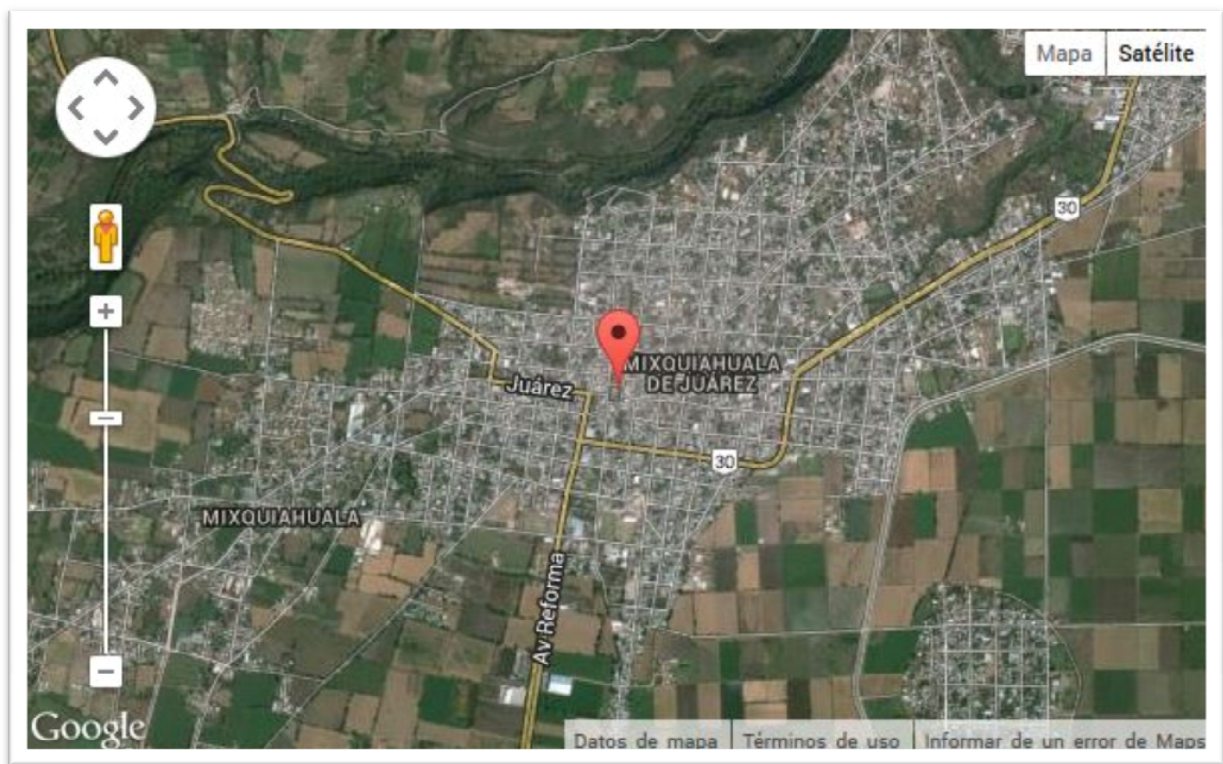
---

## 3.2 Metodología

### 3.2.1 Estudio Geográfico del “Rancho el Canelo”

El Rancho “El Canelo” se ubica en una zona rural del estado de Hidalgo, específicamente en el municipio de Mixquiahuala de Juárez.

Mixquiahuala de Juárez, cuyas coordenadas geográficas son 20°13'52" de latitud norte y 99°12'47" de longitud oeste, del meridiano de Greenwich y a una altura de 2100 metros sobre el nivel del mar, se encuentra ubicado a una distancia de 67 Km de la capital del estado de Hidalgo. Como se muestra en la siguiente figura (Figura 10).



**Figura 10.** Municipio de Mixquiahuala de Juárez, Hgo. Vista desde satélite.

Fuente: Google Maps.

---

**Tabla 10.** Características del Municipio de Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo.

Fuente: <http://www.inafed.gob.mx>

<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>DESCRIPCION</b>
<b>Población</b>	21,453
<b>Extensión Territorial</b>	Tiene una extensión territorial de 138.10 Km <sup>2</sup> . Este municipio representa el 0.7% de la superficie del Estado.
<b>Orografía</b>	Este municipio se ubica en el Eje Neo volcánico en el 95%, formado por llanuras en su mayor parte el 5% restante del territorio municipal se localiza en la provincia de la Sierra Madre Oriental.
<b>Hidrografía</b>	Se encuentra posicionado en la región del Pánuco, en la cuenca del río Moctezuma, de la cual derivan dos subcuencas: el río Tula que cubre el 87.12% de la superficie municipal y el río Actopan que riega el 12.88% restante.
<b>Clima</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Clima semiseco templado.</li><li>• Su temperatura promedio mensual oscila entre los 11°C y los 27°C.</li><li>• La precipitación anual es de 509 mm.</li></ul>
<b>Geología</b>	El suelo es semidesértico, pardo rojizo, rico en materia orgánica y nutrientes, su uso es fundamentalmente para labores pecuarias y agrícolas; las tierras son de riego y algunas de Temporal.

El Rancho “El Canelo” es una propiedad y negocio familiar donde la principal actividad económica es la agricultura y la ganadería. Las dimensiones del lugar se pueden observar en el croquis de la figura (Figura 17) al igual que sus principales características se pueden observar en la tabla (Tabla 12).



**Tabla 11.** Características del Rancho “El Canelo”.

Fuente: Datos estadísticos Rancho “El Canelo”

<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>DESCRIPCION</b>
<b>Actividades Económicas</b>	<b>*Agricultura:</b> Sembradíos de maíz, frijol, cebada, alfalfa, chile, tomate y calabaza. <b>* Ganadería:</b> Crianza, venta y autoconsumo de ganado ovino, porcino y avícola.
<b>Instalaciones</b>	Casa habitación. 2 Corrales de ganado ovino. 2 Corrales de ganado avícola. 1 Corral ganado porcino. Terreno para sembradío 1 Bodega Estacionamiento
<b>Flora</b>	Árboles frutales entre ellos granado, nogal, limón, naranjo, perón, guayabo, durazno, higo y ciruelo. Nopal, Maguey y arboles como el Pirul y Mezquite.
<b>Fauna</b>	70 borregos (crías y adultos). 4 cerdos 30 animales avícolas. 2 perros
<b>Servicios Públicos</b>	Alumbrado publico Energía Eléctrica Agua potable Drenaje Conductos de aguas de riego(Aguas residuales) Gas

---

### 3.2.2 Estudio estadístico de la producción de excreciones del ganado.

La generación de biogás, como ya se ha mencionado se genera a partir de desechos orgánicos y en particular en este proyecto se utilizarán las excreciones del ganado que se encuentra en el rancho.

Antes de empezar a hacer el diseño del biodigestor para la producción del biogás, es necesario tener en cuenta algunos datos sobre el ganado que se utilizará en este proyecto, para que al final se pueda hacer un balance de cuanto se le tiene que invertir al ganado para generar la materia prima y de ahí partir para poder conocer el material y dimensiones para los pre-diseños del biodigestor.

En la siguiente tabla (Tabla 13) se muestra la información recabada por un censo con el dueño del Rancho “El Canelo”, sobre la inversión que se le hace al ganado y la cantidad de excreciones que se generan.

**Tabla 12.** Alimentación y producción de excreción del ganado.

Fuente: Datos estadísticos Rancho “El Canelo”

<b>GANADO</b>	<b>ALIMENTACION</b>	<b>PESO Y ALTURA PROMEDIO</b>	<b>PRODUCCION DE EXCRECIONES CADA MES</b>
<b>Ovino Raza Dorper</b>	Gabazo de frutas, cascara de frutas, cascara de nopal, alfalfa, cebada, zacate y agua. Sal mineral (Esta se compra cada 3 meses)	De 35kg a 45kg en su etapa adulta.	Aproximadamente 1 toneladas al mes.
<b>Avícola Raza de engorda y criollo</b>	Maíz quebrado, alimento procesado para pollos, alfalfa y agua.	2kg en su etapa adulta.	Aproximadamente 0.2 toneladas al mes.
<b>Porcino</b>	Alfalfa, maíz, gabazo de frutas, cascara de frutas y agua.	Peso promedio de 45Kg a 60Kg en su etapa adulta.	Aproximadamente 0.5 toneladas al mes.

---

### 3.2.3 Proceso para la generación de Biogás en el “Rancho el Canelo”

Después de haber investigado algunos datos estadísticos sobre el lugar donde se va a construir el generador de biogás y sobre el ganado utilizado para la generación de este, se procederá en este apartado a describir el proceso por el cual se generará biogás en el Rancho “El Canelo”.

a) Características principales.

- Temperatura del sustrato.
- Contenido en Sólidos de las excreciones y PH
- Cantidad de excreciones para la producción de biogás.
- Retención Hidráulica para el biodigestor
- Volumen de carga

b) Para la alimentación del Biodigestor.

- Fermentación Continua
- Fermentación Semi-continua
- Fermentación por Discontinuo

c) Tipo de Biodigestor, según el tipo de Fermentación.

- Fermentación Continua
  - ✓ Desplazamiento horizontal
  - ✓ Sistema de tanques múltiples
  - ✓ Sistema de tanque vertical
- Fermentación Semi-continua
  - ✓ Taiwán (Tubular)
  - ✓ Chino (Cúpula Fija)
  - ✓ Hindú (Cúpula Móvil)
- Fermentación por Discontinuo
  - ✓ Carga por lotes o Batch

d) Cálculo de la producción de Biogás y Cálculo para la producción de energía.

---

En el siguiente apartado se muestran los datos obtenidos:

### a) Características principales

#### ❖ Temperatura

Para que se inicie el proceso se necesita una temperatura mínima de 4° a 5° C y no se debe sobrepasar una máxima de alrededor de 70°C. Es importante saber el rango de temperatura del lugar para saber qué tipo de bacterias predominan y tratar de mantener estable el proceso. La temperatura está íntimamente relacionada con los tiempos que debe permanecer la biomasa dentro del digestor para completar su degradación (Tiempo de retención Hidráulica, TRH). En la tabla 14 se muestran datos sobre las bacterias predominantes en el proceso de biogeneración dependiendo la temperatura del biodigestor y el tiempo de fermentación que lleva el proceso.

**Tabla 13.** Bacterias que predominan en el proceso según la temperatura.

Fuente: Manual para la producción de biogás IIR

FERMENTACION	TEMP. MINIMA [°C]	TEMP. OPTIMA [°C]	TEMP. MAXIMA [°C]	TIEMPO DE FERMENTACIÓN
Psicrofilica	4°-10°	15°-18°	20°-25°	Sobre 100 días
Mesofilica	15°-20°	25°-35°	35°-45°	30-60 días
Termofilica	25°-45°	50°-60°	75°-80°	10-15 días

- Por lo tanto observando la tabla anterior y con ayuda del estudio estadístico del lugar de ubicación del rancho, se sabe que las bacterias que predominan en esta generación de biogás son bacterias de fermentación mesofílica, ya que la temperatura del lugar varía de 11°C a 32° y el diseño va enfocado a un tiempo de fermentación de 30 días, así que ya sabiendo esto, las características y materiales del biodigestor deben ir enfocadas para mantener este nivel de temperatura.

---

❖ Contenido en Sólidos de las excreciones y PH.

Con base a lo que se requiere para el trabajo, fue necesario consultar a una Licenciada en Veterinaria de la UAM Xochimilco para poder hacer un análisis sobre el contenido de sólidos de las excreciones para el alimento del biodigestor.

Los resultados arrojados en este análisis de laboratorio se pueden observar en la siguiente tabla 15:

**Tabla No. 14.** Contenido en sólidos y PH de las excreciones.

Fuente: Manual para la producción de biogás IIR

ANIMAL	PH	MATERIA ORGANICA %	%N	%P	%K	%Ca	%Mg
Ovino	8.0	61	1.95	0.31	1.26	1.16	0.34
Porcino	7.3	45.3	0.60	0.61	0.26	0.09	0.10
Aviar	6.4	39.7	0.38	0.45	0.13	0.04	0.02

❖ Cantidad de excreciones para la producción de biogás

En lo que se refiere a estiércoles animales la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos.

Esto lo podran ver en la tabla de la figura 11 donde se da un aproximado sobre las cantidades a tomar en cuenta para el llenado del biodigestor, así como la cantidad de solidos volátiles y el porcentaje de metano generado posiblemente. Este trabajo se enfocara en los datos de la parte de cerdos, ovinos y aves, para los cálculos pertinentes posteriormente.

ESPECIE	PESO VIVO	kg ESTIERCOL/día	l/kg.S.V.	%CH <sub>4</sub>
Cerdos	50	4,5 - 6	340 - 550	65 - 70
Vacunos	400	25 -40	90 - 310	65
Equinos	450	12 - 16	200 - 300	65
Ovinos	45	2.5	90 - 310	63
Aves	1.5	0,06	310 - 620	60
Caprinos	40	1.5	110 - 290	--

**Figura 11.** Cantidades de estiércol y el rendimiento en gas. Fuente: Manual para la producción de biogás IIR

❖ Retención Hidráulica para el biodigestor (TRH)

En los digestores continuos y semicontinuos:

TRH= El valor en días del cociente entre el volumen del digestor y el volumen de carga diaria.

En una zona agrícola el TRH varía con la temperatura de la región al igual que las bacterias que se involucran en el proceso como ya se vio anteriormente. En la siguiente tabla 16 se muestra un aproximado del tiempo de retención líquida que se tiene que tener para el bienestar del proceso.

**Tabla 15.** TRH

Fuente: Manual para la producción de biogás IIR

CARACTERISTICAS DEL LUGAR	TRH
<b>Clima tropical</b>	20-30 días
Regiones cálidas	<b>30-60 días</b>
<b>Clima frio</b>	60 a 100 días

- En conclusión con la tabla de arriba se puede conocer que para nuestro biodigestor es necesario un TRH de 30 a 60 días, debido al tipo de clima donde ese encuentra ubicado el rancho.

---

❖ Volumen de carga

Se sabe que para el volumen total de un biodigestor se debe tomar en cuenta que un 75% es el volumen de la mezcla y un 25% se deja para el volumen del gas, por lo tanto con la siguiente expresión se puede calcular el volumen total del biodigestor:

$$V_T = V_M + V_G$$

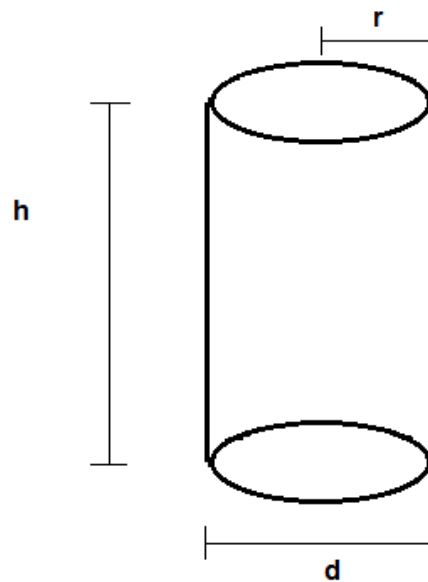
Dónde:

$V_T$ = Volumen total del biodigestor; [lt]

$V_M$ =Volumen de la mezcla; [lt]

$V_G$ = Volumen del gas; [lt]

El diseño parte de un  $V_T = 1520$  litros de capacidad en el biodigestor, esto se obtuvo mediante los siguientes datos y cálculos (Figura 12):



**Figura 12.** Figura base para el diseño del digestor.

Fuente: Diseño del equipo

---

---

$$V_T = \pi * r^2 * h = (\pi)(.55m)(1.60m) = 1.520m^3$$

Convirtiendo a litros:

$$V_T = \frac{(1.520m^3)(1000 \text{ litros})}{1m^3} = 1520 \text{ litros}$$

Con esto se puede obtener el volumen de la mezcla  $V_M$  y el volumen de gas aproximado  $V_G$ :

$$\begin{aligned} \text{Volumen de la mezcla } (V_M) &= V_T * 0.75 \\ &= (1520 \text{ litros})(0.75) \\ &= \underline{1140 \text{ litros}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volumen del gas } (V_G) &= V_T * 0.25 \\ &= (1520 \text{ litros})(0.25) \\ &= \underline{380 \text{ litros}} \end{aligned}$$

Se debe tomar en cuenta que estos valores de volúmenes son calculados teóricamente y debido a las condiciones físicas, climatológicas y biológicas puede variar la cantidad en el volumen. En el caso del volumen del gas es tomado referente a que la campana flotante esta puesta dentro del biodigestor sin carga aún, debido a que al generarse los gases la campana se moverá y puede modificarse el valor del volumen del gas calculado anteriormente.

Ahora bien para el cálculo de la carga de la mezcla, se debe tomar en cuenta que este volumen calculado es el total de la mezcla, es decir aún falta determinar la cantidad de excremento a introducir y la cantidad de agua a revolver con las excreciones.

En el manual de biogás de SAGARPA y el Manual para la producción de biogás IIR se menciona que es óptimo utilizar un factor de mezcla de agua y excreciones de 1:1, es decir por cada kilogramo de excreciones se le agregará un litro de agua, por lo tanto el volumen de la carga se obtiene de la siguiente forma:



---

---

$$\text{Volumen de la carga } (V_C) = \frac{V_M}{2} = \frac{1140\text{litros}}{2} = 570\text{litros de excreciones}$$

Lo que significa que serán revueltos con 570 litros de agua para sí obtener el volumen de la mezcla y poder llenar en biodigestor.

Con lo anterior se puede calcular el volumen de carga diaria así como el volumen de mezcla diaria del biodigestor:

$$\text{Volumen de carga diaria } (V_d) = \frac{V_C}{RTH} = \frac{570}{30} = 19 \text{ kilogramos de excrementos}$$

$$\text{Volumen de la mezcla diaria } (V_{Md}) = V_d * 2 = (19) * 2 = 38 \text{ litros de mezcla}$$

Hay que aclarar que esta cantidad se vaciará al biodigestor por cargas pequeñas para no saturar la entrada del biodigestor y con base a los datos obtenidos como el TRH, temperatura y características de sólidos, esta carga se mantendrá dentro del biodigestor por 30 días, moviendo la mezcla 3 veces por semana con ayuda de un agitador que se instala dentro del biodigestor, esto para acelerar el proceso.

#### **b) Para la alimentación del Biodigestor.**

- Fermentación Continua
- Fermentación Semicontinua
- Fermentación por Discontinuo

**Tabla 16.** Tipos de Fermentación  
Fuente: Manual para la producción de biogás IIR

TIPOS DE FERMENTACION	DESCRIPCION	DESVENTAJAS	VENTAJAS
Continua	La solución nutritiva estéril se añade continuamente al tanque de fermentación (birreactor) y una cantidad equivalente de la solución utilizada de los nutrientes con los microorganismos, se saca simultáneamente del Sistema.	Se tiene que añadir diariamente los excrementos y dar mantenimiento para mantener en equilibrio la fermentación en el proceso.  Se requiere de mucho tiempo.	Con la supervisión y la alimentación diaria del biodigestor, se puede obtener una cantidad considerable y de calidad del biogás.  Es apta para producciones de gas a nivel industria.
Semicontinua	Los sustratos se añaden escalonadamente a medida que progresa la fermentación.	Se pueden generar bacterias que puedan afectar en cierta parte el proceso de fermentación, esto hasta que se le de mantenimiento al biodigestor.	Se reduce el tiempo de carga y recarga.  Es apta para producciones de gas en el área agrícola.
Discontinua	Al inicio de la operación se añade la solución esterilizada de nutrientes y se inocula con el microorganismo. A lo largo de toda la fermentación no se añade nada, excepto: oxígeno (en forma de aire), un agente antiespumante y/o un ácidos o una base para controlar el pH.	Por el largo periodo de fermentación se pueden crear bacterias que puedan afectar al proceso. Se desgasta más rápido el biodigestor, por falta de mantenimiento.	Como es una sola carga, se reduce tiempo y esfuerzo.  Es apta para producciones de gas pequeñas.

- Tomando en cuenta la información de la tabla 17, se eligió hacer un biodigestor de fermentación semicontinua, por el tiempo y secuencia del proceso llevado en el rancho.

Se tomó en cuenta las necesidades del lugar, el tiempo y las cantidades de eses para el proceso de producción, ya que la cantidad de eses en el rancho es de una cantidad

---

mediática, se optó por hacer una fermentación semicontinua y así poder hacer varias cargas en lapsos cortos de tiempo y poder dar mantenimiento a él biodigestor.

### c) Tipo de Biodigestor, según el tipo de Fermentación.

Como se eligió el biodigestor de fermentación semicontinua, se descartan las demás opciones de biodigestores tanto el de fermentación continua, como el de fermentación discontinua, y se procede a elegir uno de los tres tipos de biodigestores que existen en este tipo de fermentación.

- Fermentación Semicontinua
  - ✓ Taiwán (Tubular)
  - ✓ Chino (Cúpula Fija)
  - ✓ Hindú (Cúpula Móvil)

**Tabla 17.** Tipos de Biodigestor. Comparación  
Fuente: Manual para la producción de biogás IIR

TIPO DE BIODIGESTOR	VENTAJAS	DESVENTAJAS
TAIWAN (Tubular)	Bajo costo Materiales accesibles y baratos.	Puede dañarse fácilmente debido a que siempre están expuestos.
CHINO (Cúpula Fija)	Trabaja con grandes variaciones de presión.	A causa de las variaciones de presión reduce la eficiencia de los equipos. Se forma gran cantidad de espuma. El tiempo de operación se alarga de 30 a 60 días.
HINDÚ (Cúpula Móvil)	Bajas presiones de gas, de alrededor de 300 mm C.A. La campana ayuda al rompimiento de la espuma. Permite una operación eficiente de los equipos que alimenta.	El costo de su equipo.

- A partir de la información obtenida en la tabla 18 se concluyó que el biodigestor más adecuado para nuestras necesidades es el biodigestor tipo Hindú de campana flotante, debido a que posee más ventajas y es más eficiente.

---

**d) Cálculo de la producción de Biogás, Cálculo para la producción de energía y Cálculo para la producción de biol esperada.**

1. Cálculo para la producción de biogás a energía:

Producción de Biogás (por día) = VG (m<sup>3</sup>)

$$\begin{aligned} &= \frac{(380l)(1m^3)}{1000l} \\ &= 0.38m^3 \text{ por día} \end{aligned}$$

2. Cálculo para la producción de Kilowatts por mes a partir de la producción de biogás:

Producción de Biogás (por mes) = Producción de Biogás (por día) \* RTH

$$\begin{aligned} &= (0.38m^3) * (30 \text{ días}) \\ &= 11.4m^3 \text{ por mes} \end{aligned}$$

En el manual de SAGARPA sobre la producción de biogás por menciona que 1m<sup>3</sup> de biogás equivale a 6.25Kw, por lo tanto, tomando en cuenta esta definición se obtiene que:

$$\begin{aligned} \text{Kilowatts (por mes)} &= \text{Producción de Biogás (por mes)} * 6.25Kw \\ &= (11.4m^3) * (6.25kw) \\ &= 71.25 kw * m^3 \end{aligned}$$

Lo que da como resultado que con este diseño se espera superar y cubrir la cantidad de Kw promedio de consumo en el rancho "El Canelo" y así ahorrar la cantidad pagada de dinero al año del consumo de energía.

3. Calculo para la producción de biol al mes:

---

Se sabe que el volumen de mezcla diaria es de  $V_{Md} = 38 \text{ litros}$  ya antes calculada, por lo tanto el volumen de biol se calcula de la siguiente forma:

$$V_B = V_{Md} - (0.2 * V_{Md}) = 38 \text{ litros} - (0.2 * 38 \text{ litros}) = 30.4 \text{ Litros de biol diarios}$$

Por lo tanto al mes:

$$V_{Bm} = V_B * RTH = 30.4 * 30 = 912 \text{ litros}$$

### 3.2.4 Diseño de la instalación para la producción de Biogás.

En base a la información recopilada y los datos obtenidos se procede a emplear el diseño del biodigestor para el Rancho “El Canelo”.

Se proponen medidas de un tanque de agua para el hogar y con base a eso calcular el volumen total del diseño de nuestro biodigestor, lo cual ya se obtuvo en el apartado anterior. Con ese volumen obtenido se parte para el siguiente diseño de nuestro biodigestor (Figura 13).

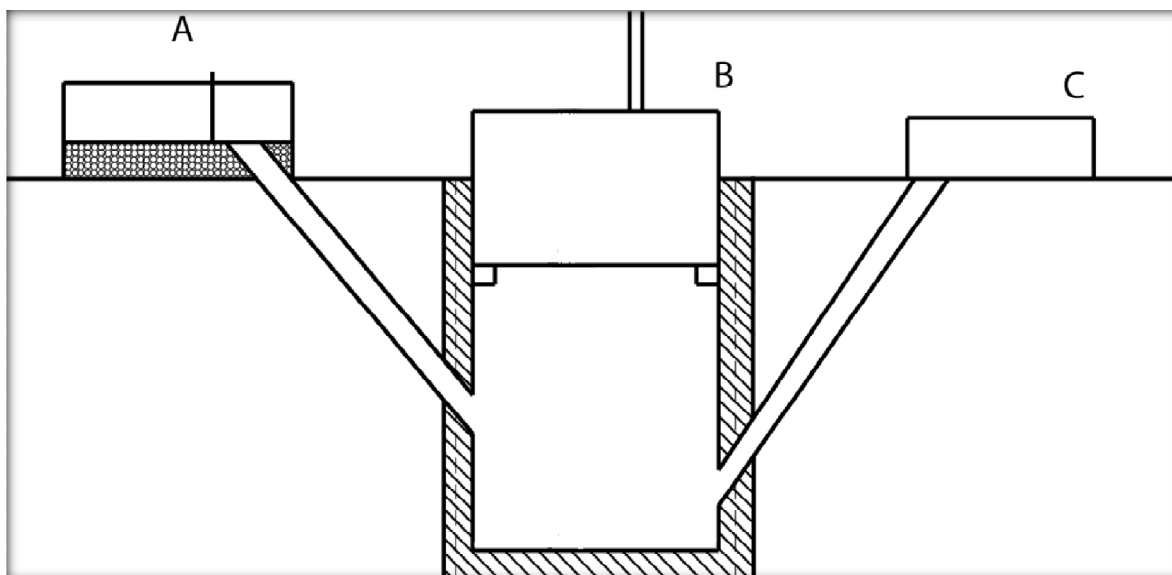


Figura 13. Diseño del Biodigestor.

Fuente: Diseño del equipo

---

Dónde:

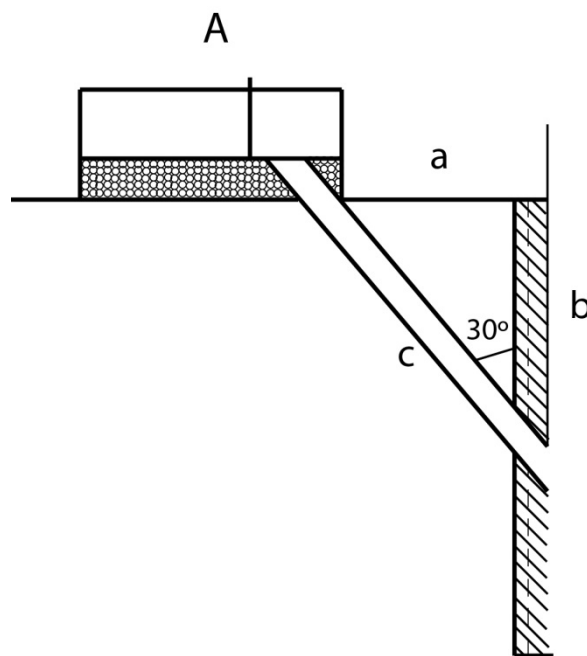
A: Caja de la carga mezclada.

B: Digestor de campana flotante.

C: Caja de salida del biol.

En el siguiente apartado se muestra una descripción sobre las letras en que se dividió el biodigestor. Se debe aclarar que este diseño es propio del equipo y se basó en un tanque de agua y con medidas propuestas arbitrariamente pero que se ajustarán a nuestras necesidades del proyecto.

❖ A: Caja de la carga mezclada.



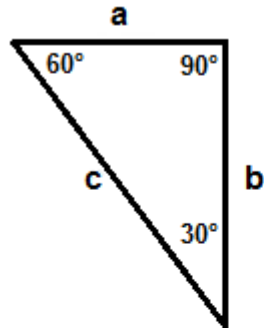
**Figura 14.** Diseño de la caja de mezcla para la carga.

Fuente: Diseño del equipo

Esta caja sirve para la mezcla de los kilogramos de excreciones con los litros de agua ya antes calculados (Figura 14). Para las medidas de la figura anterior (Figura 15) del tubo (b) y

---

la distancia de separación de la caja al biodigestor (a) se propone un ángulo de inclinación del tubo de 30° y de ahí se obtienen los cálculos pertinentes:



$$b=0.80$$

Para calcular a:

$$\tan(30^\circ)=a/b$$

entonces obtenemos que:

$$\begin{aligned} a &= \tan(30^\circ) \cdot b \\ &= \tan(30^\circ)(0.8) \\ &= 0.46\text{m} \end{aligned}$$

por lo tanto:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

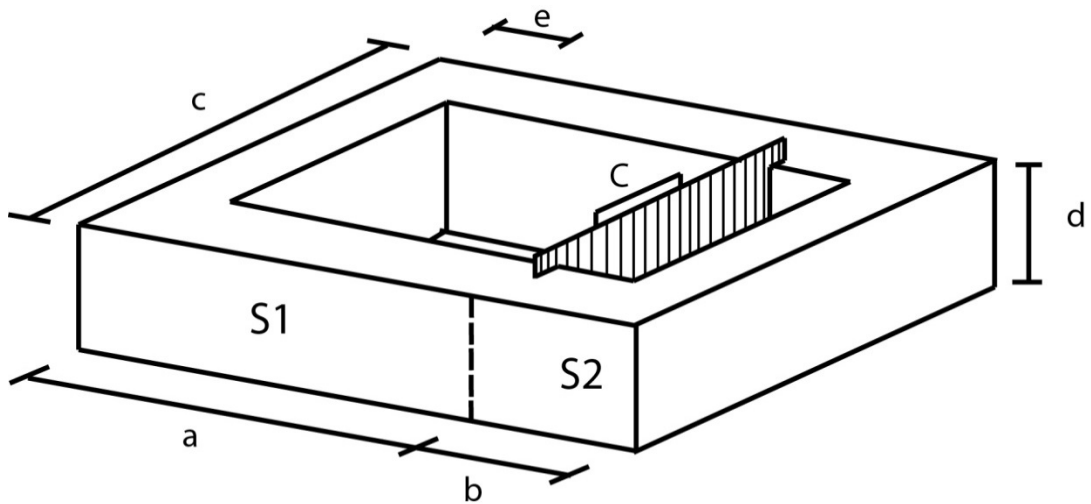
$$c = \sqrt{(0.46)^2 + (.8)^2}$$

$$c= 0.922\text{m}$$

**Figura 15.** Calculo para el tamaño del tubo de descarga.

Fuente: Diseño del equipo

En la siguiente figura (Figura 16) se pueden observar características del diseño y en la tabla 19 se muestran las medidas.



**Figura 16.** Diseño de la caja de mezcla.

Fuente: Diseño del equipo

**Tabla 18.** Medidas de la caja de mezcla.

Fuente: Diseño del equipo

LETRA	MEDIDAS [metros]
<b>A</b>	0.90
<b>B</b>	0.60
<b>C</b>	0.90
<b>D</b>	0.40
<b>E</b>	0.15

Esta caja está dividida en tres partes importantes S1, S2 y C como que se describen a continuación en la siguiente tabla (Tabla 20).

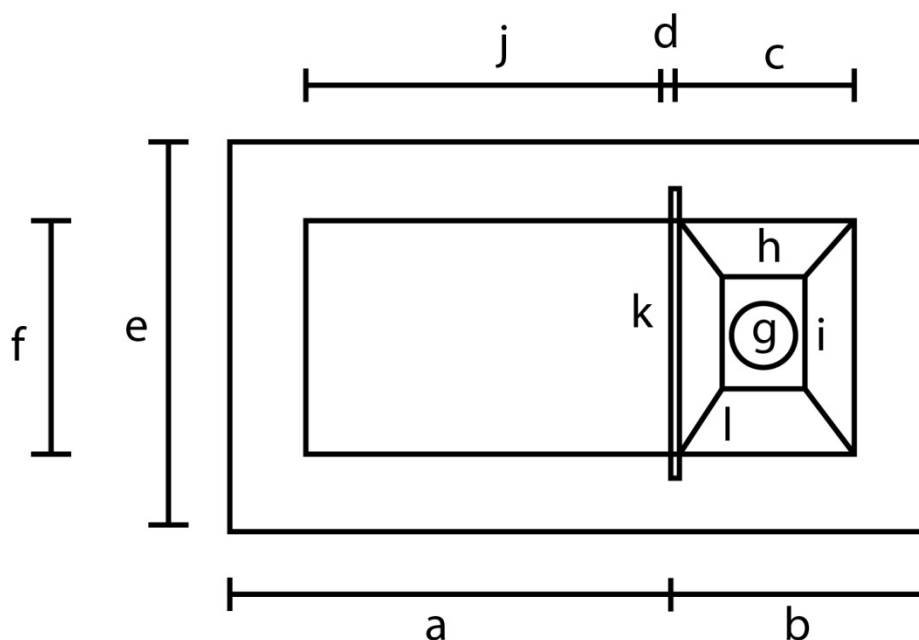


**Tabla 19.** Descripción de las partes de la caja de mezcla.

Fuente: Diseño del equipo

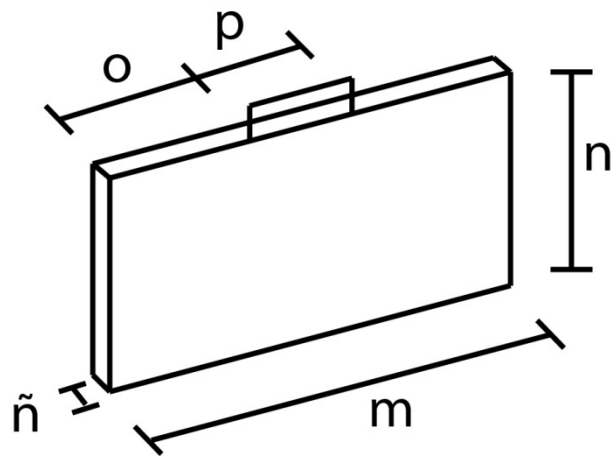
LETRA	DESCRIPCION
S1	Parte de la caja para mezclar el estiércol con la cantidad de agua necesaria para la carga dl digestor.
S2	Sección donde se vacía la carga mezclada y está conectada con el tubo para la descarga directa al biodigestor.
C	Compuerta utilizada para separar S1 y S2 y que no se pase liquido o estiércol antes de ser mezclada perfectamente.

En las siguientes figuras (Figura 17 y Figura18) se muestra el diseño en diferentes vistas de la caja y en la tabla 21 se muestran las medidas.



**Figura 17.** Vista superior de la caja de mezcla.

Fuente: Diseño del equipo



**Figura 18.** Diseño de la compuerta para la caja de mezcla.

Fuente: Diseño del equipo

**Tabla 20.** Medidas de la Figura 17 y Figura 18.

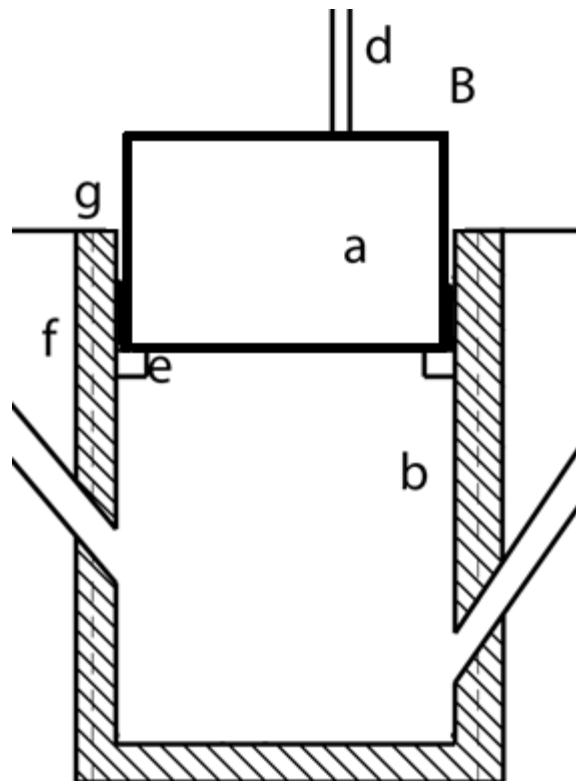
Fuente: Diseño del propio equipo de trabajo

LETRA	MEDIDAS [metros]	
A	0.75	
B	0.60	
C	0.442	
D	0.008	
E	0.90	
F	0.60	
G	0.15 de diámetro	0.922 de largo
H	0.25	
I	0.31	
J	0.742	
K	0.65	
L	0.145	
M	0.65	

N	0.40
Ñ	0.008
O	0.25
P	0.15

❖ B: Digestor de campana flotante.

En esta parte se describe la estructura del digestor y la campana flotante. Esta es la parte principal y más importante del proceso debido a que aquí se genera la fermentación anaerobia y se crea el biogás. Como se puede ver en la siguiente figura (Figura 19) se procede a describir las partes y las medidas (Tabla 22).



**Figura 19.** Diseño del digestor.

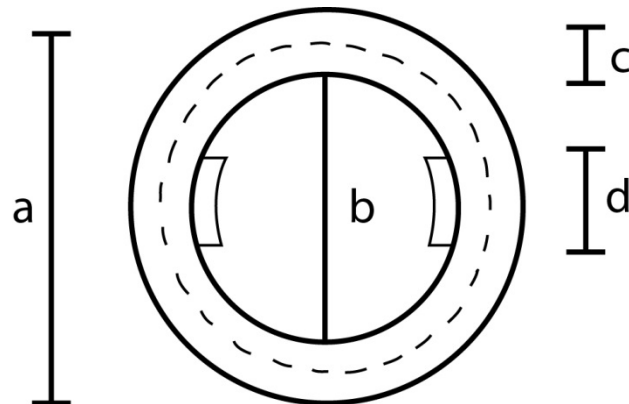
Fuente: Diseño del equipo

**Tabla 21.** Medidas de la Figura 19.

Fuente: Diseño del equipo

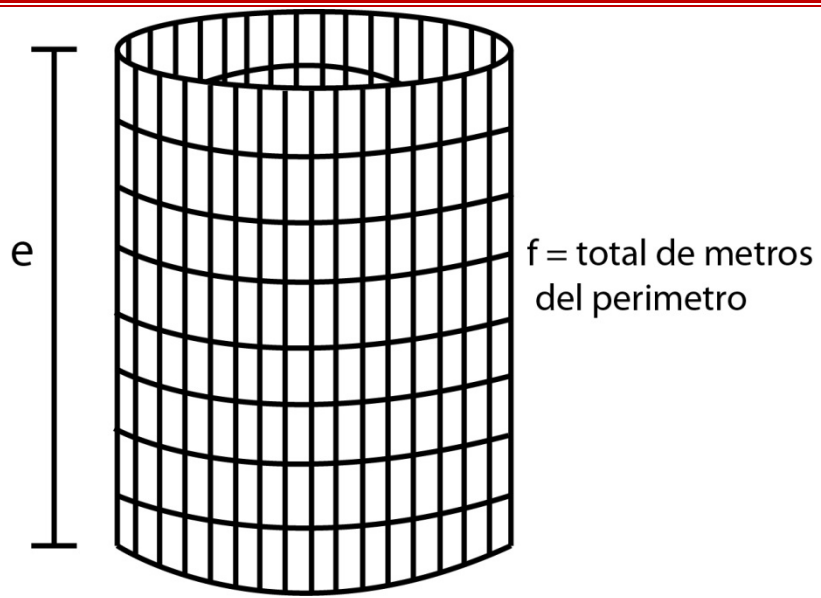
LETRA	DESCRIPCION
A	Campana Flotante
B	Cuerpo del digestor
C	Mezclador
D	Tubería de biogás
E	Soporte para campana Flotante
F	Paredes del biodigestor
G	Malla de alambre

En las siguientes figuras (Figuras 20, 21,22 y 23) se puede apreciar las medidas de cada uno de los componentes del digestor.



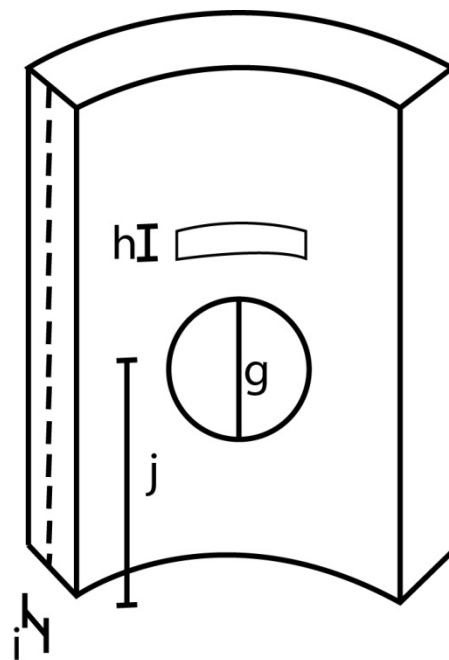
**Figura 20.** Vista superior del digestor sin campana.

Fuente: Diseño del equipo



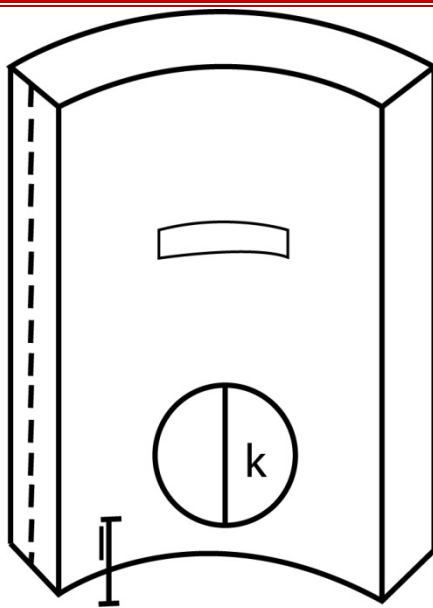
**Figura 21.** Malla de alambre para la base de las paredes del digestor.

Fuente: Diseño del equipo



**Figura 22.** Corte de la pared de descarga.

Fuente: Diseño del equipo



**Figura 23.** Corte de la pared de salida del biol.

Fuente: Diseño del equipo

**Tabla 22.** Medidas de las Figuras 20, 21, 22 y 23.

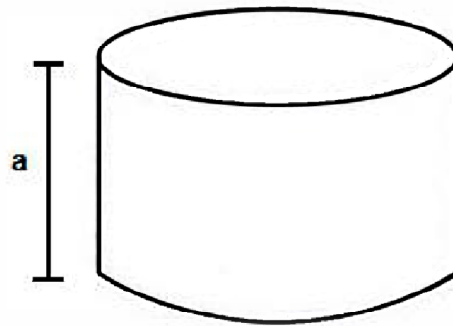
Fuente: Diseño del equipo.

LETRA	MEDIDA [metros]	
A	1.26	
B	1.10	
C	0.08	
D	0.10	
E	1.40	
F	r=.59	3.70 metros totales de malla
G	0.15	
H	0.04	
I	0.04	
J	0.80	

---

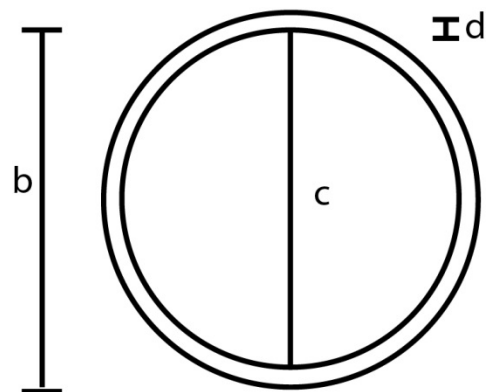
K	0.15
L	0.10

Lo anterior fue el cuerpo del digestor, ahora se procederá a describir las medidas de la campana flotante como se muestra en la siguiente figura (Figura 24 y 25) y los datos escritos en la tabla 24.



**Figura 24.** Diseño de la campana flotante.

Fuente: Diseño del equipo



**Figura 25.** Diseño de la campana flotante vista desde abajo.

Fuente: Diseño del equipo

---

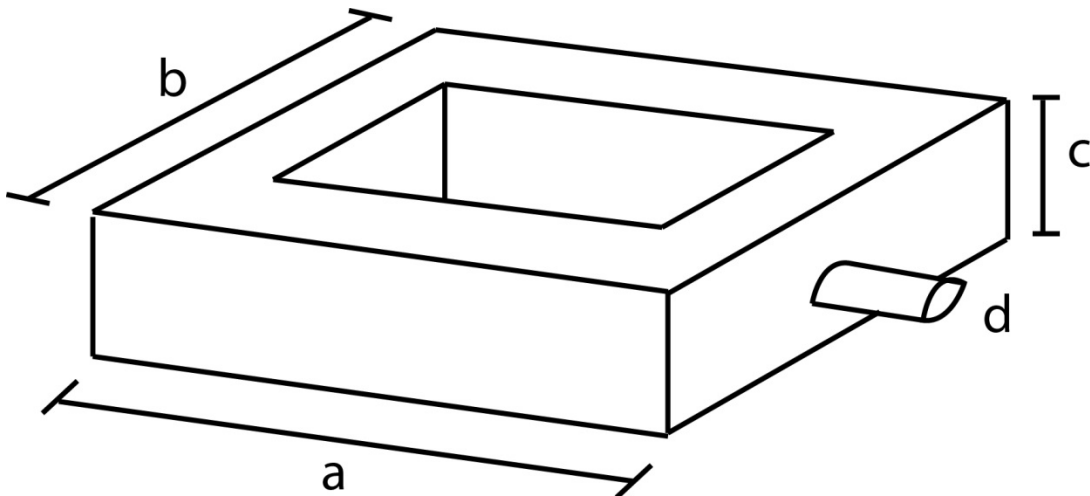
**Tabla 23.** Medidas de las Figuras 24 y 25.

Fuente: Diseño del equipo

LETRA	MEDIDAS [metros]
A	0.5
B	1.10
C	0.02
D	0.04

❖ Caja de salida del biol.

En este apartado se explica el diseño y medidas de la caja de salida de biol, como se muestra en la siguiente figura (Figura 26) el diseño quedo de esa forma y las medidas se observan en la tabla 25:



**Figura 26.** Diseño de la caja de salida del biol.

Fuente: Diseño del equipo

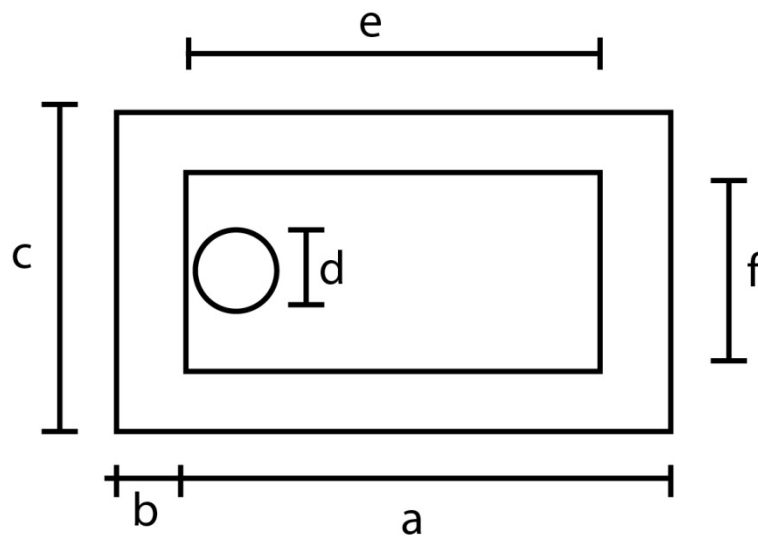


**Tabla 24.** Medidas de la figura 26.

Fuente: Diseño del equipo

LETRA	MEDIDA [metros]
A	1.20
B	0.90
C	0.40
D	0.15 de diámetro

Desde otras vistas:



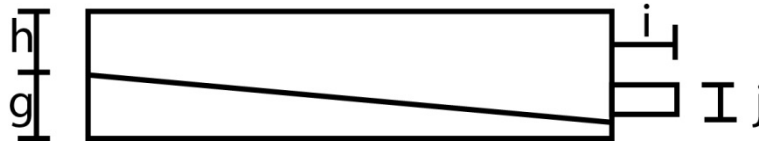
**Figura 27.** Diseño de la caja de salida de biol, vista superior.

Fuente: Diseño del equipo



**Figura 28.** Diseño de la caja de salida de biol, vista lateral.

Fuente: Diseño del equipo



**Figura 29.** Diseño de la caja de salida de biol, vista frontal.

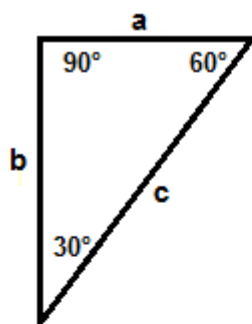
Fuente: Diseño del equipo

**Tabla 25.** Diseño de la caja de salida de biol, vista lateral.

Fuente: Diseño del equipo

LETRA	MEDIDAS [metros]
A	1.20
B	0.15
C	0.90
D	0.15
E	0.90
F	0.60
G	0.15
H	0.25
I	0.20
J	0.15
K	0.375
L	0.15
M	0.375

Para las medidas de la figura anterior (Figura 30) del tubo (b) y la distancia de separación de la caja al biodigestor (a) se propone un ángulo de inclinación del tubo de 30° y de ahí se obtienen los cálculos pertinentes:



$$b = 1.3\text{m}$$

Para calcular a:

$$\tan(30^\circ) = a/b$$

entonces obtenemos que:

$$\begin{aligned} a &= \tan(30^\circ) \cdot b \\ &= \tan(30^\circ)(1.3) \\ &= 0.75\text{m} \end{aligned}$$

por lo tanto:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$c = \sqrt{(0.75)^2 + (1.3)^2}$$

$$c = 1.5\text{m}$$

**Figura 30.** Calculo para el tamaño del tubo de salida del biol.

Fuente: Diseño del equipo

### 3.2.5 Lista de Materiales para el biodigestor

A continuación en las siguientes tablas se muestran (Tabla 27, 28 y 29) las listas de materiales utilizados para la construcción del biodigestor y su respectiva descripción de su utilización. En el apartado del estudio económico se muestran las cantidades de cada material y su precio.

---

**Tabla 26.** Lista de materiales para la caja de mezcla y su respectiva descripción.

Fuente: Diseño del equipo.

<b>MATERIALES PARA LA CAJA DE MEZCLA (A)</b>	
<b>Material</b>	<b>Descripción de su utilización</b>
Blocks para construcción	Para el armado de las paredes de la caja de mezcla de la carga. Para darle firmeza y durabilidad a la caja!
Cemento	Para el recubrimiento de los blocks utilizados en las paredes de la caja de mezcla. Para darle estética y firmeza a la caja.
Tubo de PVC de 6 pulgadas.	Para la descarga de la mezcla que se vaciará al biodigestor.
Compuerta de hierro	Para evitar que se fugue carga antes de mezclar homogéneamente la carga.

---

**Tabla 27.** Lista de materiales para el digestor y su respectiva descripción.

Fuente: Diseño del equipo.

<b>MATERIALES PARA EL DIGESTOR (B)</b>	
<b>Material</b>	<b>Descripción de su utilización</b>
Cúpula Flotante de acero inoxidable	Es la tapa del digestor, y es de acero inoxidable para evitar su degradación rápidamente, debido a las reacciones químicas que suceden en el digestor durante el proceso de biogeneración.
Concreto (Cemento, arena, grava)	Para la construcción del biodigestor, se eligió concreto para dar soporte a la pared debido a las presiones y los cambios químicos que existirán en el proceso.
Malla de fierro electro-soldada	Para dar soporte a la pared de concreto.
Tubo de cobre para la salida de biogás.	Por durabilidad y una mejor salida del biogás.
Botellas rellenas de cemento y cadenas de metal.	Para los contrapesos y agitar la mezcla del digestor, y si obtener una mezcla homogénea y acelerar el proceso.

---

**Tabla 28.** Lista de materiales para la caja de salida de Biol y su respectiva descripción.

Fuente: Diseño del equipo

<b>MATERIALES PARA LA CAJA DE DESCARGA DE BIOL (C)</b>	
<b>Material</b>	<b>Descripción de su utilización</b>
Blocks para construcción	Para el armado de las paredes de la caja de mezcla de la carga. Para darle firmeza y durabilidad a la caja!.
Cemento	Para el recubrimiento de los blocks utilizados en las paredes de la caja de mezcla. Para darle estética y firmeza a la caja.
Tubo de PVC de 6 pulgadas.	Para la descarga de la mezcla que se vaciará al biodigestor.
Compuerta de fierro	Para evitar que se fugue carga antes de mezclar homogéneamente la carga.

---

### 3.2.6 Proceso para la generación de Electricidad a partir del Biogás

Después del proceso de generación de biogás y de obtener un diseño para el biodigestor se procede a realizar el análisis de la siguiente etapa de nuestra propuesta de diseño: La generación de energía eléctrica por biogás.

Se utilizarán diversos materiales y equipo para la generación de electricidad a partir del biogás.

En este proceso se necesitan las siguientes etapas para que el biogás pueda ser aprovechado en la generación de energía eléctrica.

❖ Etapas:

➤ Salida del biogás del biodigestor:

En esta etapa se tiene un control del flujo del biogás que sale del biodigestor con ayuda de una válvula que ayuda a liberar la presión excedente en la campana flotante, permitiendo el flujo continuo de biogás.

➤ Proceso de purificación:

Durante esta etapa el biogás es sometido a un proceso de limpieza para obtener una mejor calidad de  $\text{CH}_4$ . Esta etapa se divide en dos esencialmente:

a) Desulfurización:

La presencia de  $\text{H}_2\text{S}$  en el biogás debe ser eliminada antes de enviarlo a la planta generadora, para evitar problemas de corrosión en la misma.

b) Deshidratación:

El biogás al salir del biodigestor sale con excedentes de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y se necesita que nuestro producto sea lo más puro posible, para evitar daños y deterioro en la planta eléctrica y así alargar la vida de nuestro equipo.

➤ Monitoreo de presión:

---

Es muy importante conocer la presión del sistema para poder hacer uso del generador eléctrico, por lo tanto en esta etapa se pretende tener un monitoreo de la presión del biogás que pasa por la tubería.

➤ Medidor de flujo:

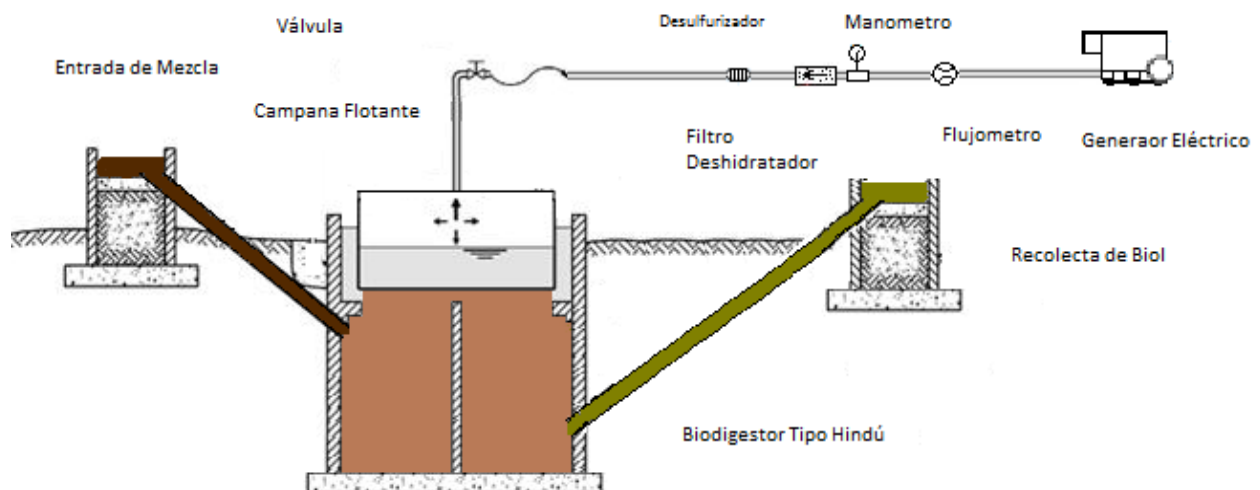
Se supervisa la cantidad de biogás que ha pasado por la tubería y así alimentar correctamente al generador eléctrico.

➤ Generador eléctrico:

Es la etapa final del, el cual convierte el biogás en energía eléctrica, por medio de un proceso electromecánico.

### 3.2.7 Diseño de la instalación para la producción de Electricidad con Biogás

En este apartado se procede a describir el diseño de la instalación que el equipo determino y diseñó con base a lo investigado, para poder generar energía eléctrica a través del biogás generado en el proceso ya antes descrito. Como se puede observar en la figura siguiente (Figura 31) donde se muestra un bosquejo sobre la instalación que es necesaria para el proceso de generación de energía a partir del biogás que se obtiene del biodigestor:



**Figura 31.** Diseño de la instalación para generación de energía eléctrica.

Fuente: Diseño del equipo



De acuerdo a la investigación realizada y con la descripción de cada etapa que interviene en el proceso, se procede a describir los materiales y equipo necesarios, tomando en cuenta los factores alternos que pueda haber para la realización del mismo.

- ❖ Artefactos y adaptaciones necesarias.

Es necesario disponer de ciertos equipos de distribución, purificación y tratamiento del biogás generado en el biodigestor, con el objeto de llevar este producto a los diferentes puntos de consumo y remover contaminantes que pueden estar presentes en la corriente gaseosa. Los principales equipos requeridos son:

**Tabla 29.** Descripción de los equipos y materiales a utilizar

Fuente: Diseño del equipo

MATERIAL	DESCRIPCION	IMAGEN
<b>Implementos de Distribución</b>	Mangueras flexibles, Juntas, acoples y tubería.	
<b>Válvula</b>	Mecanismo que regula el flujo del biogás.	
<b>Desulfurizador</b>	Permite la extracción del sulfuro de hidrógeno que es componente natural del biogás. Este H <sub>2</sub> S es muy corrosivo y por lo tanto, su eliminación	

	<p>es importante para garantizar una mayor vida útil de los equipos domésticos usados a biogás.</p>	
<b>Filtro Deshidratador</b>	<p>Permite la extracción del vapor de agua que es componente natural del biogás.</p>	
<b>Flujometro</b>	<p>Permite una medición rápida de volumen de biogás utilizado.</p>	
<b>Manometro</b>	<p>Para disponer de una fácil y rápida medición del nivel de presión de la línea de distribución de biogás. Esto es muy importante para determinar si el sistema mantiene suficiente presión para poder hacer uso de los artefactos domésticos.</p>	

**Generador Eléctrico**

Consumo de biogás: 4  
m<sup>3</sup>/h



### 3.3 Cálculos y Resultados

En la siguiente tabla (Tabla 31) se puede resumir el procedimiento matemático que se realizó para obtener los datos de producción de biogás, de biol y de electricidad. Todas las formulas fueron sacadas de la teoría analizadas de diferentes bibliografías, mostradas al final de este trabajo.

**Tabla 30.** Tabla de cálculos y resultados del proyecto.

Fuente: Diseño del equipo

CÁLCULO	FORMULA	RESULTADO
Volumen Total del Biodigestor ( $V_T$ )	$V_T = \pi * r^2 * h$ $= (\pi)(.55m)(1.60m)$ $= 1.520m^3$	1.520m <sup>3</sup> Convertido a litros: 1520 litros

Volumen de mezcla ( $V_M$ )	$V_M = 0.75 * V_T$ $= 0.75 * 1.520m^3$ $= 1.14m^3$	$1.14m^3$ Convertido a litros: 1140 litros
Volumen del biogás ( $V_G$ )	$V_G = 0.25 * V_T$ $= 0.25 * 1.520m^3$ $= 0.38m^3$	$0.38m^3$ Convertido a litros: 380 litros
Volumen de carga ( $V_C$ )	<p>Con una relación 1:1 (1 litro de agua por cada kilogramo de estiércol):</p> $V_C = \frac{V_M}{2}$ $= \frac{1.14 m^3}{2}$ $= 0.57m^3$	$0.57m^3$ Convertido a litros para la carga de estiércol: 570 litros Por lo tanto de agua serían: 570 litros
Volumen de carga/día ( $V_d$ )	$V_d = \frac{V_C}{\text{Días de RTH}}$ $= \frac{0.57 m^3}{30}$ $= 0.019m^3$	$0.019m^3$ Convertido a litros para la carga de estiércol: 19 litros
Volumen de mezcla diaria ( $V_{Md}$ )	$V_{Md} = V_d * 2$ $= (0.019m^3)*2$ $= 0.038m^3$	$0.038m^3$ Convertido a litros: 38 litros
Volumen de biol/día ( $V_B$ )	$V_B = V_{Md} - (0.2 * V_{Md})$ $= 0.038 m^3 - (0.2 * 0.038 m^3)$	$0.0304 m^3$ Convertido a litros:

	$= 0.0304 \text{ m}^3$	30.4 litros
Producción de biogás/mes sin desplazamiento de la cúpula ( $V_{Gm}$ )	$V_{Gm} = V_G * RTH$ $= (0.38\text{m}^3) * (30\text{días})$ $= 11.4\text{m}^3 \text{ por mes}$	$11.4\text{m}^3$ Convertido a litros: 11400 litros
Producción de biogás al día con desplazamiento de la cúpula ( $V_{G/cd}$ )	$\frac{V_G}{cd} = \frac{V_d}{\left(\frac{11KgET}{0.15ST}\right) \left(\frac{1KgST}{0.16m^3}\right)}$ $= \frac{19}{\left(\frac{1KgET}{0.15ST}\right) \left(\frac{1KgST}{0.16m^3}\right)}$ $= 0.456\text{m}^3$	$0.456\text{m}^3$ Convertido a litros: 456 litros
Producción de biogás esperada al mes con desplazamiento de la cúpula ( $V_{Gm/cd}$ )	$\frac{V_{Gm}}{cd} = \frac{V_G}{cd} * RTH$ $= (0.456\text{m}^3) * 30 \text{ días}$ $= 13.68\text{m}^3$	$13.68\text{m}^3$ Convertido a litros: 13,680 litros
Producción de energía eléctrica al mes	Tomando en cuenta el siguiente dato recopilado de teoría: $1\text{m}^3 = 6.25\text{Kw}$  Kilowatts (por mes) = $V_{Gm} * 6.25\text{Kw}$ $= (13.68\text{m}^3) * (6.25\text{kw})$ $= 85.5 \text{ kw} * \text{m}^3$	$85.5 \text{ kw} * \text{m}^3$ por mes

---

### 3.3.1 Aplicación teórica de los resultados obtenidos.

En base a los resultados obtenidos teóricamente con respecto a la cantidad de energía eléctrica generada, se decidió proponer su utilización en la red de alumbrado de la casa-habitación del Rancho “El Canelo”.

#### 3.3.1.1 Caracterización del funcionamiento del generador eléctrico

En este apartado se estudiará el comportamiento del generador que se ha elegido para autoabastecer de energía eléctrica a la casa. Se comenzará definiendo el modo de funcionamiento del generador y su relación con el funcionamiento de la red eléctrica. Se definirá y seleccionará el rango de potencia de trabajo y posteriormente se definirán los parámetros de trabajo del equipo los cuales son la carga y la eficiencia. Esto permitirá realizar el balance de combustible y de electricidad generada lo cual revelará la viabilidad técnica.

En la siguiente tabla se define el rango de potencia primaria para el generador eléctrico B4T-10000 que se ha elegido:

**Tabla 31.** Rango de potencia del generador.

Fuente: Diseño del equipo

<b>Rango de potencia primaria</b>	
<b>Potencia primaria (100%)</b>	<b>6.4 kW</b>
<b>Potencia mínima recomendada (30%)</b>	<b>1.9 kW</b>
<b>Potencia de sobrecarga max. (110%)</b>	<b>7 kW</b>
<b>Potencia promedio max. permisible (70%)</b>	<b>4.5 kW</b>

Para un correcto funcionamiento, el sistema deberá operar por debajo de la potencia promedio máxima permisible la mayor parte del tiempo. Se analizará con una tabla para comprobar que se encuentre dentro de este rango.

### 3.3.1.2 Modo de funcionamiento

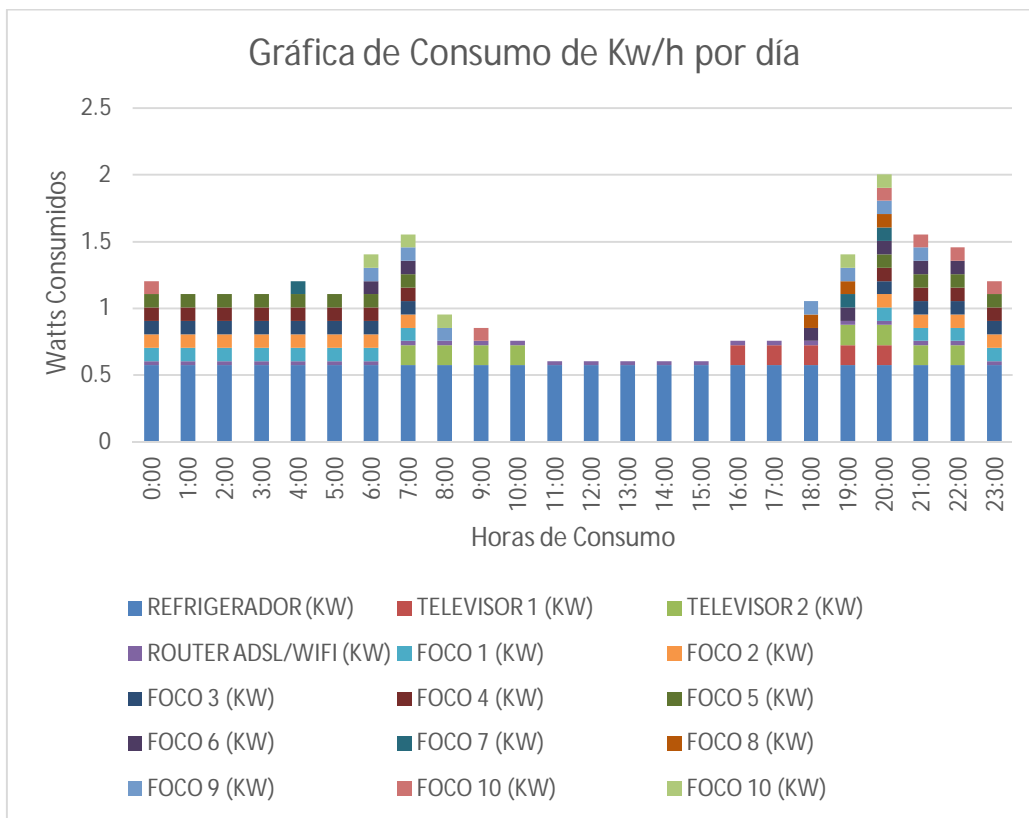
El generador trabajará cada 9 días alimentando las cargas seleccionadas en la (tabla 33). El resto de cargas en la casa pueden ser alimentadas de esta forma ya que hay un excedente de kw/h no utilizadas del generador. El generador sólo se prenderá 1 hr por día ya que la baja producción de biogás no alcanza para mantener más tiempo prendido al generador. Esto implica, la utilización de la red de CFE el resto del día.

**Tabla 32.** Análisis de gasto en kW/h por día.

Fuente: Diseño del equipo

HORA	REFRI GERA DOR (KW)	TELEVIS OR (KW) 1	TELEVI SOR 2 (KW)	ROUTER ADSL/WIFI (KW)	FOCO 1 (KW)	FOCO 2 (KW)	FOCO 3 (KW)	FOCO 4 (KW)	FOCO 5 (KW)	FOCO 6 (KW)	FOCO 7 (KW)	FOCO 8 (KW)	FOCO 9 (KW)	FOCO 10 (KW)	FOCO 11 (KW)
00:00	0.575	0	0	0.03	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0.1	0
01:00	0.575	0	0	0.03	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
02:00	0.575	0	0	0.03	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
03:00	0.575	0	0	0.03	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
04:00	0.575	0	0	0.03	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0	0	0	0
05:00	0.575	0	0	0.03	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
06:00	0.575	0	0	0.03	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0.1	0	0.1
07:00	0.575	0	0.15	0.03	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0.1	0	0.1
08:00	0.575	0	0.15	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0.1
09:00	0.575	0	0.15	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0
10:00	0.575	0	0.15	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:00	0.575	0	0	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:00	0.575	0	0	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:00	0.575	0	0	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:00	0.575	0	0	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15:00	0.575	0	0	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

16:00	0.575	0.15	0	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17:00	0.575	0.15	0	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18:00	0.575	0.15	0	0.03	0	0	0	0	0	0.1	0	0.1	0.1	0	0
19:00	0.575	0.15	0.15	0.03	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1
20:00	0.575	0.15	0.15	0.03	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
21:00	0.575	0	0.15	0.03	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1	0
22:00	0.575	0	0.15	0.03	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0.1	0
23:00	0.575	0	0	0.03	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0.1	0
TOTAL(K W)	13.8	0.75	1.2	0.72	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0.7	0.3	0.3	0.7	0.6	0.5
TOTAL(K W/DIA)	25.57														
TOTAL(K W/H)	2.005														



**Figura 31.** Modelo diario de la demanda promedio por día.

Fuente: Diseño del equipo



---

➤ La conclusión que se obtienen analizando el levantamiento de cargas son las siguientes:

- El pico de potencia máxima que puede llegar a demandar el hogar es de 2.005 Kw y se da durante una hora, entre las 20:00 y 21:00 hrs.
- El consumo diario de las cargas en el hogar es de 25.57 Kwh/día

Respecto a las conclusiones obtenidas cabe señalar que con un consumo de 25.57 kWh/día, se obtiene un consumo mensual de 767.1 Kwh/mes, el cual se pretende considerar que permanecerá constante durante todo el año.

### 3.3.1.3 Ahorro de electricidad

Como se puede observar en el análisis de la demanda eléctrica del hogar en la *Tabla 33*, el consumo eléctrico es de 25.57 kWh/día. Toda esta demanda es cubierta por la red eléctrica, lo que supone un consumo anual de:

*Consumo anual con el sistema actual = 9333.05 kWh/año*

Aprovechando el potencial de biogás con el sistema diseñado, la casa pasará a consumir 23.565 kWh/año en 40 ocasiones diferentes al año de la red eléctrica.

*Consumo anual con el sistema diseñado = 9252.85 kWh/año*

Esto supondrá, por tanto, un ahorro en el consumo eléctrico en la casa de:

*Ahorro en el consumo eléctrico anual = 942.6 kWh/año*

Lo que supone un ahorro de:

$$\text{Ahorro: } 942.6 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \times \$ .996 = \$914.41 \text{ pesos por año}$$

---

## Capítulo 4. ESTUDIO ECONÓMICO

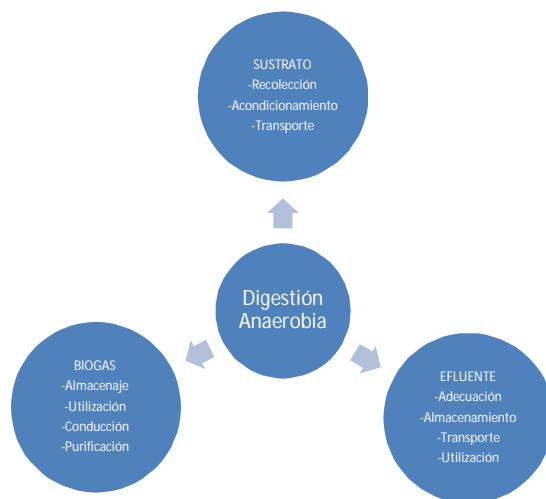
### 4.1 Factibilidad técnico económica

El propósito de este apartado es proporcionar un ejemplo de evaluación del potencial de generación de biogás a través de desechos orgánicos. La evaluación económica de la implementación y utilización de las energías renovables es un tema de importancia capital.

El presente trabajo se desarrollará en forma preliminar una metodología general de evaluación considerando en particular los factores que intervienen y la evaluación de los insumos y productos generados en base a la experiencia suministrada por autores de distintos países con vasta experiencia por investigaciones de diferentes países con gran experiencia en el tema.

### 4.2 Factores que se deben tomar en cuenta

Se analizará cada uno de los factores que intervienen en las etapas críticas del sistema de que tienen una importancia significativa en el análisis económico del biogás. Con el fin de facilitar el análisis, en la figura 32 se exponen las etapas que intervienen en la obtención de biogás, los estudios de factibilidad deberán tener en cuenta cada una de ellas.



**Figura 32.** Etapas que intervienen en el proyecto.

Fuente: Diseño del equipo

---

En cada una de estas etapas intervienen diversos factores económicos, técnicos y humanos por lo cual se debe analizar para cada tipo de explotación con el fin de determinar la viabilidad del proceso en su conjunto.

En este tema también se toma en cuenta la capacidad de la mano de obra, el tiempo disponible que se puede dedicar a la nueva actividad y la predisposición a realizarla como la predisposición al manejo de estiércol o residuo que está condicionada al tipo de manipulación que se necesite del mismo.

Por lo tanto, buscando no alterar en forma significativa las tareas y manejo que se venían realizando tratando de economizar la cantidad de horas/hombre para la operación se analizó el tipo de digestión adecuada encontrando que un Biodigestor de tipo semi-continuo es el mas adecuado porque incorporaba más ventajas y eficiencias sobre de los otros y las cargas no son constantes evitando así modificar significativamente las tareas y la cantidad de horas/hombre para la operación.

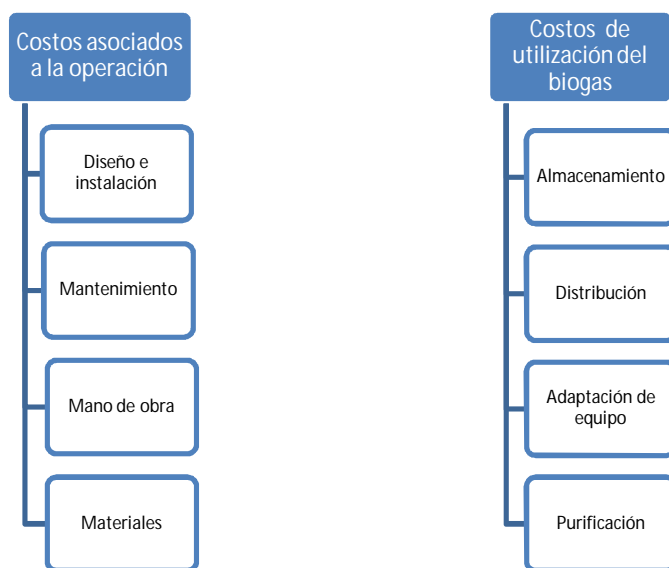
Desde el punto de vista de la materia prima será necesario contar con un sistema de fácil recolección y manipulación evitándose en las temporadas frías el lavado con agua de las instalaciones el cual produce grandes volúmenes con altas diluciones y bajas temperaturas.

El medio ambiente con sus características climáticas y de suelo condición el tipo de Biodigestor a construir incidiendo también en la selección del modelo y el monto de la inversión inicial necesaria ya que existen parámetros que pueden ser modificados con la temperatura de funcionamiento, el tiempo de retención hidráulica y la velocidad de carga volumétrica los cuales están relacionados entre sí y determinan la eficiencia final del Biodigestor y la energía neta disponible.

Con respecto a los productos del sistema la correcta utilización tanto del biogás como del biofertilizante cobra significativa importancia pues será en definitiva la retribución a la inversión y trabajos realizados. Existen distintas alternativas que deberán ser cuidadosamente evaluadas comparativamente desde el punto de vista técnico, económico y social para realizar una correcta elección.

---

Los costos que se deberán considerar han sido clasificados en la figura 33 teniendo en cuenta todos los pasos que intervengan desde la recolección del sustrato hasta la utilización de los productos.



**Figura 33.** Costos a considerar en el proyecto.

Fuente: Diseño del equipo

### 4.3 Evaluación económica

Los costos tienen importancia vital para el desarrollo exitoso del biodigestor. Estos costos deben poder soportados por el dueño del rancho el Canelo determinando factibilidad de este proyecto y las ganancias que obtendrá por realizarlo.

Para explicar por qué este sistema es factible para realizarse en el Rancho “El canelo” y en otros posibles lugares con clientes potenciales, se empleó el indicador de viabilidad conocido como Valor Presente Neto (VPN).

El VPN es un procedimiento que permite calcular el valor presente en un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. Es el método más conocido a la hora de evaluar proyectos de inversión a largo plazo. Para el cálculo del VPN se necesita conocer y tomar en cuenta todos los gastos hechos hasta antes de la primera producción de biogás.

---

El valor del VPN debe ser mayor a cero para que la inversión sea viable y así maximizar el valor de la riqueza de los accionistas.

#### 4.4 Cronograma de construcción

En la tabla 34 se muestra un cronograma para la construcción del biodigestor y la instalación del mismo incluyendo la parte de la generación eléctrica.

**Tabla 33.** Cronograma de actividades de construcción.

Fuente: Diseño del equipo

Día	1	2	3	4	5
Actividad	Excavación		Cimbrado y colado	Descimbrado e instalación del biodigestor	Instalación de la etapa de generación eléctrica

#### 4.5 Memoria económica

##### 4.5.1 Costos

En esta sección se detallan los costos totales por concepto de los materiales y costos por honorarios. Para la obra civil del biodigestor (lo que incluye la excavación y la construcción de la pared del biodigestor, construcción de las cajas de carga y descarga y la tubería de conexión al biodigestor). Para la obra civil y en apoyo a la comunidad, se propone contratar 1 maestro de obras el cual hizo un presupuesto de \$1200 por día durante los 4 días que se tiene proyectado dure la obra civil, con un horario de 8am a 6 pm con una hora de comida.

También se describen los honorarios por concepto de diseño por parte del equipo de los cuales se encuentran mostrados en la tabla 35.

---

Tabla 34: Costos por análisis y diseños

Fuente: Diseño del equipo

Concepto	Precio
Honorarios del equipo por hr.	<b>\$450.00</b>
Honorarios por concepto de 70 hrs hombre	<b>\$31,500.00</b>
Costo por obra civil	<b>\$4,800</b>
<b>Total</b>	<b>\$36,300,00</b>

#### 4.5.1.1 Materiales

En la tabla 30 se muestra el precio de cada material necesario para la construcción el biodigestor incluyendo la campana flotante, el sistema de mezclado interno de la biomasa y la tubería necesaria para guiar el flujo del biogás a la siguiente etapa (generación de energía eléctrica).

**Tabla 35.** Lista de materiales y precios para la construcción del biodigestor.

Fuente: Diseño del equipo

<b>MATERIAL "BIODEGESTOR TIPO HINDÚ"</b>		
<b>MATERIAL</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
Contra peso para campana	\$100	\$200
Malla Electro soldada	\$2800	\$2800
Tubo desagüe PVC 6"	\$108.90 x Tramo 6m (Durman)	\$108.90
Tubos de presión de PVC de 15cm	\$29 (Homedepot) Tramo 4m	\$29
Válvula PVC bola ½	\$18 (Funcosa)	\$36
Adaptador macho C/R	\$5	\$5
Codo E/C	\$44	\$44
Tee 20 mm	\$5	\$5
Manguera para gas ¼" 50 mts	\$450	\$450
Adaptador Hembra C/R	\$10	\$10
Neplo flex ½ mm	\$275	\$275
Teflón	\$5	\$5
Abrazaderas ½	\$10	\$10
Varilla 3/16	\$70	\$70
Aditivo plastificante	\$425 (23 Kg)	\$425
Campana de Acero inoxidable	\$6000	\$6000
Arena	\$120	\$360
Grava	\$178	\$350
Cemento	\$120 x Saco (50Kg)	\$600
Block	\$6.90 x block (10x20x40)	\$207
Compuerta de caja de mezcla	\$700	\$700
Termómetro Digital Lcd Con 175cm De Cable - Sensor En Extremo	\$190	\$190
<b>TOTAL TEORICO</b>		<b>\$12879.90</b>

---

A continuación se enuncian en la tabla 37 los precios por los materiales para la etapa de generación de energía eléctrica.

**Tabla 36.** Precios del material necesario para la generación de energía eléctrica por biogás.

Fuente: Diseño del equipo

<b>MATERIAL PARA GENERACIÓN DE ENERGIA ELÉCTRICA</b>	
<b>MATERIAL</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
<b>Válvula</b>	<b>\$982</b>
<b>Filtro desulfurizador</b>	<b>\$926.44</b>
<b>Filtro deshidratador</b>	<b>\$910</b>
<b>Manómetro</b>	<b>\$445</b>
<b>Flujómetro</b>	<b>\$550</b>
<b>Planta eléctrica generadora a base de biogás</b>	<b>\$69,645</b>
<b>Manguera Bicapa</b>	<b>\$450</b>
<b>TOTAL TEÓRICO</b>	<b>\$ 73908.44</b>

Para un mejor análisis de los costos se reunieron todos los datos finales de cada tabla de gastos en la tabla 38



---

**Tabla 37.** Costos totales por concepto de construcción de biodigestor y generación de electricidad.

Fuente: Diseño del equipo

<b>Concepto</b>	<b>Costo</b>
Costos por análisis y diseños	\$31,500.00
Costo por construcción	\$4,800.00
Costo de materiales	\$12879.90
Costo por generación eléctrica	\$73908.44
<b>Total</b>	<b>\$123,088.34</b>

#### **4.5.2 Recuperación de inversión.**

##### **4.5.2.1 Ahorro en energía eléctrica por generación de electricidad aprovechando el biogás.**

En este apartado se hace un análisis de la energía consumida durante el 2014 en el Rancho “El canelo” realizando una comparación entre los kW consumidos por periodo de cobro en CFE y la cantidad de kW generados con el biodigestor. Estos datos se muestran en la tabla 33 con mayor detalle.

**Tabla 38.** Histórico de consumo del 2014 y proyección de ahorros.

Fuente: Diseño del equipo

Mes (CFE maneja un lapso de 2 meses)	Energía consumida (kWh)	Costo de la Energía (pesos)	Energía (kWh/mes) sustituida con biogás	Costo de la Energía sustituida (ahorro)
Enero-Marzo	137	\$168	120.3 kwh	\$147.52
Marzo-Mayo	124	\$144	120.3 kwh	\$147.52
Mayo-Julio	142	\$171	120.3 kwh	\$147.52
Julio-Septiembre	135	\$153	120.3 kwh	\$147.52
Septiembre-Noviembre	123	\$138	120.3 kwh	\$147.52
Noviembre-Enero	177	\$202	120.3 kwh	\$147.52
Total	838	\$998		\$885.12
	Promedio por mes: 69.8333	Promedio por mes: \$83.1666		Promedio por mes \$73.76

#### 4.5.2.2 Venta de Biol.

La mayor recuperación de inversión se encuentra contenida en la venta del biol el cual se podría colocar con un precio aún menor que el de la competencia en el mercado de los biofertilizantes en un precio de \$80 por litro. En el mercado, el precio estándar por litro de biol es de \$85.

El precio por registrar una marca es de \$2,303.33 más el Impuesto al Valor Agregado (del 16%), lo que da un total de \$2,671.86. Este valor debería ser registrado en el apartado

4.5.1 debido a que es un gasto inicial, pero con fines prácticos será registrado con valor negativo en la tabla 40.

---

No hay que olvidar que se necesitan envases en los cuales se distribuirá el Biol, para esto se cotizaron precios por mayoreo con distribuidoras de envases de PET obteniendo un precio \$265 por paquete el cual incluye 112 piezas de botellas de 1lt. Para poder hacer valido el precio de mayoreo, la compra mínima debe ser de \$1,500.00. Tomando en cuenta estas consideraciones, el precio por botella seria de:

$$\$265 \div 112 \text{ piezas} = \$ 2.366 \text{ por pieza}$$

El numero de botellas que se utilizarían por mes seria de:

$$30.4 \times 30 = 912 \text{ litros}$$

Por lo tanto, al mes se utilizarían 912 botellas

Tomando en cuenta las operaciones anteriores, el gasto mensual por botellas seria de:

$$912 \text{ botellas} \times \$2.366 \text{ por pieza} = \$2157.792$$

El biol se va a obtener a partir de los primeros 30 a 45 días a partir de la primera carga. El volumen esperado de biol es de 30.4 litros diarios, lo cual daría una venta de \$2,432.00 diarios en promedio. A estas ganancias se les debe restar el costo de cada botella por litro invertido. Ya que la primera carga de biol se efectúa a partir de los 30 a 45 días se considera que las ganancias por venta de biol comenzarían a partir de la segunda semana del segundo mes desde que se inicie la primera carga diaria de estiércol en el biodigestor. El gasto de las botellas debería ser tomado en cuenta en el apartado de costos, pero con fines prácticos será considerado en la tabla 40.

**Tabla 39.** Ganancias por venta del biofertilizante proyectadas a un año

Fuente: Diseño del equipo

Período	Gasto por botellas	Ganancia por venta de biol (IVA incluido)	Ganancias netas	Suma
Mes 1	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Mes 2	\$1078.89	\$36,480.00	\$35,401.10	\$35,401.10
Mes 3	\$2157.79	\$72,960.00	\$70,802.21	\$106,203.31
<b>Mes 4</b>	<b>\$2157.79</b>	<b>\$72,960.00</b>	<b>\$70,802.21</b>	<b>\$177,005.52</b>
Mes 5	\$2157.79	\$72,960.00	\$70,802.21	\$247,807.73
Mes 6	\$2157.79	\$72,960.00	\$70,802.21	\$318,609.94
Mes 7	\$2157.79	\$72,960.00	\$70,802.21	\$389,412.15
Mes 8	\$2157.79	\$72,960.00	\$70,802.21	\$460,214.36
Mes 9	\$2157.79	\$72,960.00	\$70,802.21	\$531,016.57
Mes 10	\$2157.79	\$72,960.00	\$70,802.21	\$601,818.78
Mes 11	\$2157.79	\$72,960.00	\$70,802.21	\$672,620.99
Mes 12	\$2157.79	\$72,960.00	\$70,802.21	\$743,424.20

Como se puede observar en la tabla 34. aún sin contar los ahorros en consumo de energía eléctrica a partir del 5to mes ya se deberá recuperar el costo de la inversión inicial tomando en cuenta que se logra colocar en el mercado nuestro producto.

Aunado a estos beneficios económicos, se debe tener en cuenta el ahorro generado por la producción eléctrica aprovechando el biogás generado teóricamente sumado a las ganancias proyectadas por concepto de venta de biol. Estos datos se muestran en la tabla 35



**Tabla 40.** Línea de tiempo teórica de los FNE´s del 2014.

Fuente: Diseño del equipo

Mes	Ganancias Biol	Ahorros en energía eléctrica	FNE Mensuales	Suma por mes de las ganancias totales
<b>Inversión inicial</b>	\$0.00	\$0.00	<b>-\$123,088.34</b>	<b>-\$123,088.34</b>
<b>Enero</b>	\$0.00	\$73.76	\$73.76	\$-123,014.58
<b>Febrero</b>	\$35,401.10	\$73.76	\$35474.86	\$-87,539.72
<b>Marzo</b>	\$70,802.21	\$73.76	\$70875.97	\$-16,663.75
<b>Abril</b>	<b>\$70,802.21</b>	<b>\$73.76</b>	<b>\$70875.97</b>	<b>\$54,212.22</b>
<b>Mayo</b>	\$70,802.21	\$73.76	\$70875.97	\$125,088.22
<b>Junio</b>	\$70,802.21	\$73.76	\$70875.97	\$195,964.16
<b>Julio</b>	\$70,802.21	\$73.76	\$70875.97	\$266,840.13
<b>Agosto</b>	\$70,802.21	\$73.76	\$70875.97	\$337,716.1
<b>Septiembre</b>	\$70,802.21	\$73.76	\$70875.97	\$408,592.07
<b>Octubre</b>	\$70,802.21	\$73.76	\$70875.97	\$479,468.04
<b>Noviembre</b>	\$70,802.21	\$73.76	\$70875.97	\$550,344.01
<b>Diciembre</b>	\$70,802.21	\$73.76	\$70875.97	\$621,219.98

La tabla 35 muestra el periodo de recuperación proyectado a un año en periodos de 1 mes, se observa la inversión inicial la cual aparece en el periodo 0 y con signo negativo. Esto se debe a que se debe a que se hizo un desembolso de dinero por **\$123,088.34** y por lo tanto debe registrarse como tal. Las cifras de los FNE de los periodos 1 al 12 son positivas; esto quiere decir que en cada periodo los ingresos de efectivo son mayores a los egresos o salidas de efectivo. Para calcular la viabilidad del proyecto se utilizará.

A continuación se describe la fórmula para el cálculo del VPN:

$$VPN = -A + \frac{C1}{(1+i)^1} + \frac{C2}{(1+i)^2} + \frac{C3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{Cn}{(1+i)^n}$$

---

donde:

- A: inversión inicial
- i: tasa de descuento ( la tasa de rendimiento que se podría ganar en una inversión)
- Cn: Flujo Neto de efectivo (la cantidad de dinero en efectivo, entradas menos salidas)

En este caso nuestro valor de tasa de descuento será igual a cero, debido a que cualquier flujo de efectivo dentro de los 12 primeros meses no se considera para el cálculo del VPN.

Sustituyendo en la formula se tiene que:

$$\begin{aligned} \text{VPN} = & -123,088.34 + \frac{73.76}{(1+0)^1} + \frac{\$35474.86}{(1+0)^2} + \frac{70875.97}{(1+0)^3} + \frac{70875.97}{(1+0)^4} + \frac{70875.97}{(1+0)^5} + \frac{70875.97}{(1+0)^6} \\ & + \frac{70875.97}{(1+0)^7} + \frac{70875.97}{(1+0)^8} + \frac{70875.97}{(1+0)^9} + \frac{70875.97}{(1+0)^{10}} + \frac{70875.97}{(1+0)^{11}} + \frac{70875.97}{(1+0)^{12}} \end{aligned}$$

$$\text{VPN} = 621219.98$$

Al calcular el VPN se observa que se obtiene un VPN positivo lo cual significa que en un año el proyecto maximizaría la inversión en \$ 621,219.98, dando por concluido que el proyecto es viable y debe ejecutarse.

---

## CONCLUSIONES

El desarrollo de un proyecto de generación eléctrica a partir de biogás es viable ya que actualmente la mayoría de los países a nivel mundial han diseñado políticas que fomentan la generación eléctrica a partir de fuentes de energía renovable y limpia.

La energía eléctrica generada a partir de biogás es una solución que contribuye a satisfacer el crecimiento en la demanda energética que además evita el vertido de sustancias tóxicas en el aire, agua y a los suelos ya que elimina o disminuye el uso de combustibles fósiles.

Al realizar el estudio para la construcción de un biodigestor en el Rancho el Canelo, de acuerdo a la tabla 41 se puede encontrar que el desarrollo del proyecto es viable, ya que se obtiene una ganancia en un tiempo determinado como se puede ver en la tabla 41.

En cuanto al tema de desarrollo sustentable se realizó una comparación del cumplimiento de algunos indicadores ambientales que se indican a continuación:

En el área social se encuentran coincidencias con los siguientes indicadores ambientales:

1. Económicos: Los ingresos en el Rancho serán beneficiados por el ahorro en el consumo de luz como se muestra en la tabla 41 además de los ingresos obtenidos por la venta de biol mostrados en la tabla 40.
2. Educación: La educación ambiental es fundamental a cualquier nivel social y en cualquier lugar, en la población donde se ubica el rancho se dará a conocer el proyecto en diferentes ranchos existentes.
3. Salud: Utilizar las excretas evitara la proliferación de fauna nociva que puede repercutir en la salud de los habitantes del rancho y de la población vecina.



---

## BIBLIOGRAFIA

- ❖ “Balance Nacional de Energía”- (SENER, Año 2009).
- ❖ “Políticas y Medidas para Fomentar la integración Nacional de Equipos y Componentes para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Uso Sustentable de la Energía”. (SENER, Año 2009.)
- ❖ “Estrategia Nacional para la Transición Energética y aprovechamiento sustentable en la Energía” (SENER, Año 2009).
- ❖ Instituto para la Diversificación y el ahorro de la Energía (IDAE 2008); “Análisis del potencial de cogeneración de alta eficiencia en (España, 2010-2015-2020)”.
- ❖ International Energy Agency, portal de Internet: <http://www.iea.org/>.
- ❖ Fernando, S. La Biomasa Como Fuente de Energía Renovable, portal de Internet: <http://www.cps.unizar.es/isf/index.htm>.
- ❖ Precios unitarios en la construcción, portal de Internet: <http://www.opus-planet.com/> .
- ❖ Secretaría de Economía; Energías Renovables; Primera edición; Ciudad de México, Mayo 2013. Disponible en:  
[http://mim.promexico.gob.mx/work/sites/mim/resources/LocalContent/42/2/130726\\_DS\\_Energias\\_Renovables\\_ES.pdf](http://mim.promexico.gob.mx/work/sites/mim/resources/LocalContent/42/2/130726_DS_Energias_Renovables_ES.pdf).
- ❖ Fabián Andrés Siles; Tesis Generación de Energía Eléctrica a partir de Biogás; ESIMEZ, IPN; México Df, 21 de Junio del 2012.
- ❖ Dra. Yolanda Serrano; Artículo Proceso de Fermentación. Disponible en:  
<http://facultad.bayamon.inter.edu/yserrano/microbiologia%20industrial/Proceso%20de%20fermentacion.pdf>

- 
- ❖ Red Mexicana de Bioenergía, A.C.; Producción de Biogás en México: Artículo Estado Actual y perspectivas; Primera edición; Ciudad de México, Diciembre 2013.  
Disponible en: <http://www.rembio.org.mx/2011/Documentos/Cuadernos/CT5.pdf>
  
  - ❖ Ing. A.M.Sc. Jorge A. Hilbert; Instituto de Ingeniería Rural I.N.T.A; Manual para la Producción de Biogás; Disponible en:  
[http://inta.gob.ar/documentos/manual-para-la-produccion-de-biogas/at\\_multi\\_download/file/Manual%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de%20biog%C3%A1s%20del%20IIR.pdf](http://inta.gob.ar/documentos/manual-para-la-produccion-de-biogas/at_multi_download/file/Manual%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de%20biog%C3%A1s%20del%20IIR.pdf)
  
  - ❖ Prof. María Teresa Varnero Moreno; Manual de Biogás; Santiago de Chile, 2011.  
Disponible en: <http://>
  
  - ❖ Cruz Medrano, S. Artículo Abonos orgánicos Universidad Autónoma de Chapingo, Méx.
  
  - ❖ Romero Lima, M. R. L. 1997. Abonos orgánicos y químicos en producción sanidad y absorción nutrimental de papa y efecto en el suelo. Tesis de M.C. Colegio de Postgraduados, México.
  
  - ❖ Trinidad Santos, A. 1987. Artículo El uso de abonos orgánicos en la producción agrícola. Cuadernos de Edafología 10. Colegio de Postgraduados, México.
  
  - ❖ Bastos, H. Informe Técnico Proyecto de Generación de Electricidad a Base de Biogás. ICE, 2003.
  
  - ❖ Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial, Manual de Biogás y Biomasa Aplicaciones. Volumen D 106,1985.
  
  - ❖ Simposio Centroamericano sobre aplicaciones de energía biomásica Cartago, 4-8 agosto, 1980, .Diseño y construcción de biodigestores, 2ª edición, Editorial Tecnológica de Costa Rica; Costa Rica, 1985.

## Anexos

**Tabla 41.** Especificaciones técnicas del generador eléctrico a biogás.

Fuente: Diseño del equipo

<b>Grupo Electrónico B4T-10000 Bioflflex</b>		
<b>Especificaciones</b>		
Potencia máxima	9.5/7.6	kVA/kW
Potencia nominal	8/6.4	kVA/kW
Frecuencia	60	Hz
Tensión de salida	220	V
Corriente nominal	10.8	A
Factor de potencia	0.8	cos $\phi$
<b>Motor</b>		
Potencia	18.0	Cv
Cilindrada	389	Cc
Rotación	3600	Rpm
Arranque	Eléctrico	
Refrigeración	Forzada a Aire	
Filtro de biogás	Si	
<b>Alternador</b>		
Fases	3	
Modo de excitación	Brushless Auto-excitado	
Regulación de voltaje AVR	AVR	
Grado de aislamiento H	H	
<b>Otros datos</b>		
Combustible	Biogás/Alcohol	
Presión del gas a la entrada	1-5.5	kPa

---

Dimensiones	1200x760x850	MM
Peso neto	50	Kg
Consumo de biogás	4	m <sup>3</sup> /h
Eficiencia eléctrica	26	%
Eficiencia térmica	52	%
Eficiencia total	78	%
<b>Precio</b>		
13.497	R\$ (Real Brasileño)	
6.067,84	CUC (Peso Convertible Cubano)	