



**MEMORIA TÉCNICA DEL PROYECTO TITULADO:**

**“Energy +”**

Que presentan:

**LUIS ANTONIO MALAGÓN RIVERA  
CARLOS DANIEL RAMÍREZ SANTANA  
KARLA MARTÍNEZ CEBALLOS  
HUMBERTO CRUZ SALAZAR  
VALENTINA LÓPEZ ORTUBE**

Estudiantes de 7° semestre de la carrera de Ingeniería en Energía de la Universidad Mondragón México, como parte del proceso de evaluación para el Proyecto Fin de Semestre.

El Marqués, Querétaro, Noviembre del 2020.

## ÍNDICE DEL CONTENIDO

### **0. RESUMEN**

#### **0.1 ABSTRACT**

### **1. INTRODUCCIÓN**

### **2. PROPUESTA DE TRABAJO**

### **3. DIAGNÓSTICO Y JUSTIFICACIÓN**

### **4. IDEACIÓN Y DESARROLLO CONCEPTUAL**

### **5. MEMORIA DESCRIPTIVA**

### **6. PLAN DE FABRICACIÓN**

### **7. LISTA DE PIEZAS, MATERIALES Y HERRAMIENTAS**

### **8. PLANOS**

### **9. CÁLCULOS TÉCNICOS**

### **10. PRESUPUESTO**

### **11. PRUEBAS**

### **12. PROBLEMAS ENCONTRADOS Y SOLUCIÓN ADAPTADA**

### **13. RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

### **14. VALORACIÓN DEL PROYECTO**

### **15. REFERENCIAS Y ANEXOS**

## 0. RESUMEN

En los últimos tiempos, se ha comenzado a dar una mayor importancia a las Energías Renovables no solo en nuestro país, sino que a nivel mundial. Al hablar de “Energía Renovable”, se habla del tipo de energía obtenida mediante la utilización de recursos naturales como el sol, el agua, el viento, la materia orgánica, entre otros más. Esto permite una mayor facilidad tanto para su extracción como regeneración de la materia comparando con las fuentes de energía convencionales por materia fósil que mayormente se utilizan en la actualidad.

Las energías renovables tienen un papel importante que desempeñar en la reducción de las emisiones globales. Las adiciones de capacidad renovable deben crecer en más de 300 GW en promedio cada año entre 2018 y 2030 para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París, de acuerdo con el Escenario de Desarrollo Sostenible de la Agencia Internacional de la Energía.

México está entre los países que más contaminan del ranking de países por emisiones de CO<sub>2</sub>, formado por 184 países, en el que se ordenan los países de menos a más contaminantes. A nivel mundial México ocupa el lugar 12 en las emisiones de CO<sub>2</sub> por quema de combustibles fósiles, con un total de 416.26 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> ó el 1.5% de las emisiones globales.

Los resultados del INEGI (1990-2006), indican que el incremento en las emisiones de GEI fue de aproximadamente 40% durante ese período, lo que significa una tasa media de crecimiento anual de 2.4%.

México cuenta con una gran cantidad de unidades productivas (en particular granjas de cerdos y establos lecheros) que generan desechos orgánicos; estos representan una condición desfavorable para el medio ambiente, causando un grave problema de contaminación y salud pública. Sin embargo, actualmente se ha visto una gran oportunidad para su aprovechamiento como una fuente de energía renovable, por el uso de las excreciones para la producción de biogás que puede ser utilizado para generar energía eléctrica y/o térmica.

El uso del automóvil, aerosoles, y los gases emitidos por diferentes tipos de industria son algunas de las causas del efecto invernadero. A esta lista también se debe agregar la crianza de ganado para consumo humano, que según la revista “Carbon Balance and Management y patrocinada por la NASA y el Joint Global Change Research Institute (JGCRI)” en un nuevo estudio, en los últimos años ha aumentado el porcentaje de emisiones de metano que producen las vacas y que dañan el medio ambiente. La investigación, publicada, concluyó que las emisiones de metano producidas por el ganado aumentaron un 11% en comparación a las medidas publicadas en el año pasado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

Cada una de las miles de millones de vacas que existen en el planeta, expulsa entre 113 y 189 litros de metano al día y, sorprendentemente no son las flatulencias las principales causantes, sino los eructos del ganado, pues representan el 95% de las emisiones de este gas, según el estudio. Las nuevas cifras también develaron un incremento de un 8.4% en las emisiones de metano por el proceso de digestión que tienen las vacas lecheras; las emisiones causadas por su excremento aumentaron también en un 36.7%.

Retomando lo anterior, en México existen cuatro diferentes modalidades de granja de producción de leche de acuerdo con su nivel tecnológico: especializado, semiespecializado, doble propósito y el familiar o de traspatio.

Para 2008 las unidades de producción de nivel tecnológico especializado alcanzaron el 50.6% de la producción total de leche, el familiar representó 9.8%; por su parte el de doble propósito aportó el 18.3%; en tanto que el nivel semi especializado produjo el 21.3%.

En la tabla a continuación se resume el tipo de sistema productivo para bovinos productores de leche y los estados en los que éstos se encuentran.

SISTEMAS PRODUCTIVOS DE GANADO BOVINO Y ESTADOS	
Sistema Productivo	Estados
Especializado	Durango, Coahuila, Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, Chihuahua, México, San Luis Potosí, Hidalgo, Querétaro y Baja California.
Semiespecializado	Jalisco, Chihuahua, Michoacán, Puebla, México, Tlaxcala, Zacatecas, Hidalgo, Baja California y Sonora
Doble Propósito	Veracruz, Jalisco, Guanajuato, Chiapas, San Luis Potosí, Tabasco, Guerrero, Sinaloa, Zacatecas y Coahuila
Familiar	Jalisco, México, Hidalgo, Durango, Coahuila, Aguascalientes, Nuevo León, Michoacán, Sonora y Baja California
Extensivo	Tamaulipas, Veracruz y Tabasco.

**Tabla No.1**

Obtenida de: [Diagnóstico-Nacional-de-los-Sistemas-de-Biodigestión.pdf](#)

Como podemos observar en la tabla, Querétaro se encuentra dentro de los estados que cuentan con granjas bovinas especializadas, lo cual lo vuelve un buen candidato para la implementación de un biodigestor alimentado por excretas bovinas.

Según los datos obtenidos del Diagnóstico Nacional de los Sistemas de Biodigestión en el año 2010. Para poder obtener la materia orgánica necesaria para que funcione un biodigestor a nivel industrial se debe contar con adecuados sistemas de manejo del ganado y llevar a cabo prácticas de recolección de sus desechos.

En base a ello y de acuerdo a las características definidas por cada tipo de sistema productivo,, los que reúnen las condiciones necesarias para instalar sistemas de biodigestión anaerobia son los establos especializados y semiespecializados, por lo cual, es factible la instalación de biodigestores en establos de los estados de Durango, Coahuila, Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, Chihuahua, México, San Luis Potosí, Michoacán, Puebla, Querétaro, Tlaxcala y Zacatecas, aunque es necesario considerar también las condiciones climáticas preponderantes en cada estado, ya que la temperatura (aunque es un factor secundario) es también importante para que se lleve a cabo correctamente la digestión anaerobia dentro del biodigestor.

## **ABSTRACT**

In recent times, it has begun to give greater importance to Renewable Energies not only in our country, but worldwide.

When speaking of "Renewable Energy", we speak of the type of energy that is obtained through the use of natural resources such as the sun, water, wind, organic matter, among others. This

allows greater ease for both extraction and regeneration of matter compared to conventional fossil matter energy sources that are mostly used today.

Renewable energies have an important role to play in reducing global emissions. Renewable capacity additions must grow by more than 300 GW on average each year between 2018 and 2030 to achieve the goals of the Paris Agreement, according to the Sustainable Development Scenario of the International Energy Agency.

Mexico is among the countries that pollute the most in the ranking of countries by CO<sub>2</sub> emissions, made up of 184 countries, in which the countries are ranked from least to most polluting. Worldwide, Mexico ranks 12th in CO<sub>2</sub> emissions from burning fossil fuels, with a total of 416.26 million tons of CO<sub>2</sub>, or 1.5% of global emissions.

The results of the INEGI (1990-2006) indicate that the increase in GHG emissions was approximately 40% during that period, which means an average annual growth rate of 2.4%.

Mexico has a large number of productive units (particularly pig farms and dairy farms) that generate organic waste; These represent an unfavorable condition for the environment, causing a serious pollution and public health problem. However, currently there has been a great opportunity for its use as a renewable energy source, due to the use of excreta for the production of biogas that can be used to generate electrical and / or thermal energy.

The use of the automobile, aerosols, and the gases emitted by different types of industry are some of the causes of the greenhouse effect. To this list should also be added the raising of cattle for human consumption, which according to the magazine "Carbon Balance and Management and sponsored by NASA and the Joint Global Change Research Institute (JGCRI)" in a new study, in recent years has increased the percentage of methane emissions produced by cows that damage the environment. The published research found that methane emissions from livestock were up 11 percent compared to measurements released last year by the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Each one of the billions of cows that exist on the planet, expels between 113 and 189 liters of methane a day and, surprisingly, it is not flatulence that is the main cause, but rather the belching of cattle, since they represent 95 percent of emissions. of this gas, according to the study. The new figures also revealed an 8.4 percent increase in methane emissions from the digestion process in dairy cows; emissions from their excrement also increased by 36.7 percent.

Returning to the above, in Mexico there are four different types of milk production farm according to their technological level: specialized; semi-specialized, dual purpose and family or backyard. For 2008 the specialized technological level production units reached 50.6% of the total milk production, the family represented 9.8%; on the other hand, the dual purpose one contributed 18.3%; while the semi-specialized level produced 21.3%.

The table below summarizes the type of production system for dairy cattle and the states in which they are found.

SISTEMAS PRODUCTIVOS DE GANADO BOVINO Y ESTADOS	
Sistema Productivo	Estados
Especializado	Durango, Coahuila, Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, Chihuahua, México, San Luis Potosí, Hidalgo, Querétaro y Baja California.
Semiespecializado	Jalisco, Chihuahua, Michoacán, Puebla, México, Tlaxcala, Zacatecas, Hidalgo, Baja California y Sonora
Doble Propósito	Veracruz, Jalisco, Guanajuato, Chiapas, San Luis Potosí, Tabasco, Guerrero, Sinaloa, Zacatecas y Coahuila
Familiar	Jalisco, México, Hidalgo, Durango, Coahuila, Aguascalientes, Nuevo León, Michoacán, Sonora y Baja California
Extensivo	Tamaulipas, Veracruz y Tabasco.

**Table No.1**

Obtained from: [National-Diagnosis-of-the-Biodigestion-Systems.pdf](#)

As we can see in the table, Querétaro is within the states that have specialized cattle farms.

According to the data obtained from the National Diagnosis of Biodigestion Systems in 2010. In order to obtain the organic matter necessary for a biodigester to function at an industrial level, adequate livestock management systems must be in place and collecting practices must be carried out. your waste.

Based on this and according to the characteristics defined by each type of production system, those that meet the necessary conditions to install anaerobic biodigestion systems are specialized and semi-specialized stables, which is why the installation of biodigesters in stables of the states of Durango, Coahuila, Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, Chihuahua, Mexico, San Luis Potosí, Michoacán, Puebla, Querétaro, Tlaxcala and Zacatecas, although it is also necessary to consider the prevailing climatic conditions in each state, since the temperature (although is a secondary factor) is also important for proper anaerobic digestion within the biodigester.

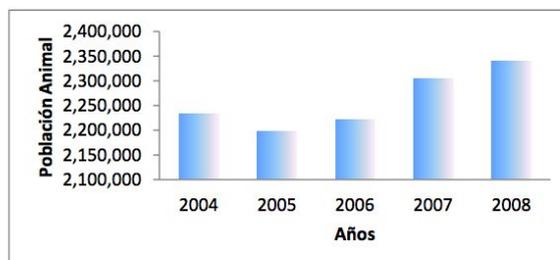
## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 CONTEXTO GENERAL DE LA PROBLEMÁTICA

La ganadería intensiva trae consigo bastantes problemas como son la degradación del suelo para alimentación de ganado, contaminación de mantos acuíferos y la generación de CO<sub>2</sub> a la hora de la excreción del ganado. Según la Coordinadora Estatal Stop Ganadería Industrial con sede en España “La ganadería intensiva, es responsable del 14,5% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que provocan el cambio climático”.

Tomando en contexto a nuestro país México, estas cifras resultan alarmantes cuando se toma en cuenta que ha habido un crecimiento anual promedio en México de 2.4% en ganado productor de leche lo que quiere decir un aumento de hasta 600,000 cabezas de ganado al año. En la siguiente imagen (Tabla No.2) se muestra una encuesta realizada por el SIAP donde dice que hasta el 2008 México contaba con 2.34 millones de ganado productor de leche, haciendo las cuentas respectivas estaríamos hablando que hoy en 2020 México cuenta con poco menos de 3 millones de cabezas productoras de leche lo que significa un aumento en las excreciones y por lo tanto un aumento en los GEI.

**Población de Ganado Bovino Productor de Leche 2004-2008**



Fuente: SIAP 2008

## Tabla No. 2

Obtenida de: [Diagnostico-Nacional-de-los-Sistemas-de-Biodigestión.pdf](#)

De acuerdo a la Cuarta Comunicación de México ante la Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, en 2006 las emisiones en unidades de bióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>) para México fueron de 711,650 Gg. Donde la agricultura tuvo una participación de 6.4% (45,552.1 Gg), y los usos de la energía 60.4% (430,097 Gg), esto quiere decir que hay aproximadamente 45,552.1 Gg de materia orgánica que puede ser utilizada para la generación de energía y al mismo tiempo teniendo impacto en el uso de la energía donde más del 46% de la población mexicana sigue usando leña como método primario para cocción y el 20% para alumbrado; para eso hace falta un producto que se llama Biodigestor el cuál se encarga de transformar materia orgánica con altos porcentajes de metano en energía usable de manera térmica, cocción y hasta electricidad, lo malo de este aparato es que no es tan eficiente la mayoría de las veces y conlleva una gran inversión y mantenimiento que no todos pueden sostener por lo que solo granjas con alto nivel técnico y de control son viables para este tipo de sistemas.

En México hay muy pocos biodigestores, específicamente 721, que son totalmente funcionales de los cuales solo 14 están en el estado de Querétaro aún contando con una buena cantidad de granjas especializadas que son los beneficiarios viables para estos proyectos.

La gran mayoría de los biodigestores implementados no funcionan por variables que pueden ser totalmente controladas si se hacen los cálculos y procedimientos correctos. Exactamente los errores más comunes son:

1. Sobredimensionamiento del sistema
2. Fallas en los sistemas de agitación
3. Fallas en el quemador
4. El mantenimiento no se realiza de manera regular.
5. Los propietarios no están lo suficientemente familiarizados con el funcionamiento de los sistemas.

Teniendo en cuenta el gran potencial que México tiene en cuanto a la implementación de biodigestores por su cantidad de ganado bovino, su mal diseño y control así como la poca cantidad implementada hace que nuestro proyecto sea una gran oportunidad de explorar nuevas formas de usar la energía al mismo tiempo que contrarresta el deterioro en el medio ambiente.

ESTADOS SELECCIONADOS EN LA DEFINICIÓN DE LA MUESTRA MODIFICADA		
NO.	ESTADO	NO. DE BIODIGESTORES
1	GUANAJUATO	29
2	JALISCO	124
3	MICHOACAN	6
4	NUEVO LEÓN	14
5	PUEBLA	28
6	QUERETARO	9
7	SONORA	157
8	YUCATAN	45
9	VERACRUZ	3
10	COMARCA LAGUNERA	64
<b>TOTAL</b>		<b>479</b>

**Tabla No.3**

Obtenida de: [Diagnóstico-Nacional-de-los-Sistemas-de-Biodigestión.pdf](#)

## 1.2 OBJETIVO GENERAL

Diseñar adecuadamente un biodigestor para granja bovina productora de leche especializada, utilizando los subproductos/excreciones del ganado para el almacenamiento de biogás y darle un uso posterior en iluminación dentro del complejo ganadero siguiendo la siguiente metodología:

1. Cálculo de cabezas de ganado
2. Estimación de producción de biogás
3. Estimación de producción de biofertilizante
4. Dimensionamiento de biodigestor
5. Método de almacenamiento
6. Distribución de energía generada

## 1.3 JUSTIFICACIÓN

La ganadería intensiva, es responsable del 14,5% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero que provocan el cambio climático, y se busca hacer uso de estos gases para no tenerlos en vano; además de que los diseños de biodigestores tienen fallas comunes y frecuentes como se mencionaba con anterioridad. Diseñando biodigestores para granjas que recaen en la definición de “Granjas especializadas”, es posible mitigar más de 80 toneladas de CO<sub>2</sub> que irían directo a la atmósfera así como una gran oportunidad de reducir costos en facturas eléctricas con el gran potencial de generación de energía presente en estas granjas especializadas.

### 1.3.1 SUB OBJETIVOS

A continuación desarrollamos los objetivos específicos de nuestro proyecto y desglosamos los hitos que se realizan en cada uno de ellos con su tiempo estimado:

1. Conocer el proceso anaeróbico que ocurre en un biodigestor. (Todos)
  - Lectura de documentos, por lo menos dos por integrante. ( 2 días) (7-9 de Septiembre)
  - Hacer Síntesis de información. ( 1 día) (10 de septiembre)
  - Exposiciones de conclusiones. ( 1 día) (10 de septiembre)

- Junta de toma de decisión. ( 1 día) (10 de septiembre)
  - Agregar la información obtenida a la Memoria Técnica. (11 de septiembre)
2. Conocer el proceso de hidrólisis y acidogénesis para la separación de sustancias que afectan de una manera negativa el proceso. (Todos)
- Lectura de documentos, por lo menos dos por integrantes. ( 2 días) (14-15 de septiembre)
  - Hacer Síntesis ( 1 día). (18 de septiembre)
  - Exposición de conclusiones. ( 1 día) (25 de septiembre)
  - Junta de toma de decisiones. ( 1 día) (25 de septiembre)
  - Agregar la información obtenida a la Memoria Técnica. (26 de septiembre)
3. Sacar respaldo cuantitativo del proceso, contemplando el peso de los desechos almacenados y su conversión a metano. (28 de Septiembre al 9 de Octubre)
- Calcular cuántos Joules se necesitan para realizar encendido de luminaria.
  - Calcular cantidad de animales.
  - Calcular cantidad de excremento de animal por día.
  - Eficiencia del proceso de conversión.
  - Calcular cantidad de gas generada (m<sup>3</sup>) por animal al día/semana/año,etc
  - Saber cuántos Joules o m<sup>3</sup> de gas metano tenemos al final.
  - Asesoría con Lucila García para revisión de los cálculos.
  - Agregar resultados obtenidos y verificados a la Memoria Técnica.
- 4.- Especificar cómo va a ser nuestro modelo, capaz de producir x cantidad de metano, con todas las medidas para su construcción.
- Primer boceto de la máquina dibujado en 2D, mostrando diferentes vistas y un diagrama de flujo. ( 11-18 de Octubre)
  - Buscar Software adecuado para el diseño en 3D y hacerlo. ( 19-25 de Octubre)
  - Modificar el boceto según los resultados obtenidos en las pruebas y asesorías, todo para mejorar y hacer más eficiente el proceso.
- 5.- Cotización del proyecto.
- Buscar proveedores de materiales a implementar.
  - Costo de todos los materiales y recursos utilizados desglosados en una lista.
  - Costo total del sistema a implementar.
  - Retorno de inversión con variables verdaderas.
- 8.- Tener todo los entregables listos para presentar el día de la presentación final.

## 1.4 INDICADORES DE ÉXITO

Para medir el éxito de nuestro proyecto, desarrollamos una lista de los indicadores a tomar en cuenta:

- Generación eléctrica a través del biodigestor.
- Obtención del biogás.
- Poder iluminar un foco convencional de uso doméstico mediante la generación de electricidad producida del biogás.
- No obtener fugas del biodigestor.
- Buen uso de almacenamiento de Energía.

## 2. PROPUESTA DE TRABAJO

### 2.1 PROPUESTA DE TRABAJO

Crear un diseño adecuado y adaptado a las necesidades actuales del mercado mexicano en el Estado de Querétaro, de un biodigestor que se instalará en una granja bovina productora de leche de nivel especializada, utilizando los subproductos/excreciones del ganado del beneficiario para el almacenamiento de biogás que tendrá un uso final para la iluminación de la granja.

### 2.2 REQUISITOS PROPUESTOS POR LA MATERIA LIDER (Generación y transporte de energía)

1. Calculan los indicadores de consumo energético y productividad para tarifas industriales/comerciales/residenciales.
2. Realizan balances de materia en la transformación de la energía.
3. Proyectan el ahorro económico por el aumento de la eficiencia energética.
4. Proyectan el beneficio ambiental por el aumento de la eficiencia energética.

### 2.3 IMPLICACIÓN DE LAS MATERIAS ASOCIADAS AL PROYECTO

#### Materia asociada 1: Sistemas de monitoreo y adquisición de datos.

1. Identificación de las características de los sensores a utilizar, así como la selección de los mismos.
2. Diseño de interfaces de acoplamiento de señales.
3. Identificación de las necesidades de diferentes sistemas y selección de dispositivos idóneos de acuerdo a señales a procesar.
4. Programación de algoritmos para el procesamiento de señales.
5. Identificación de herramientas de monitoreo y su relación con los sistemas de control.

#### Materia asociada 2: Tecnologías de almacenamiento de energía.

1. Identificación de las posibles fugas de energía en el sistema o solución propuesta.
2. Análisis comparativo de los posibles mecanismos y tecnologías de almacenamiento disponibles y compatibles para el sistema o solución propuesta.
3. Desarrollo de un circuito o proceso de reintegración de la energía almacenada en el sistema para eficientar el sistema o solución propuesta.

### Materia asociada 3: Gestión de proyectos.

1. Gestionar un proyecto a través de una carpeta documental.
2. Aplicación de herramientas para la planeación y control.
3. Formatos de seguimiento y evaluación.
4. Gestión de riesgos a través de la evaluación y planes de mitigación.

## **3. DIAGNÓSTICO Y JUSTIFICACIÓN**

### **3.1 PROBLEMÁTICA**

En México se cuenta con una gran cantidad de granjas de cerdos y establos lecheros que generan desechos orgánicos en enormes cantidades, los cuales representan una condición desfavorable para el medio ambiente, causando un grave problema de contaminación y un grave problema para la salud pública en general. Gran parte de los GEI son generados en reacciones de fermentación entérica la cual es la que ocurre en la digestión de los animales que finalmente sale como excretas las cuales liberan CO<sub>2</sub> el cual es perjudicial para el medio ambiente.

Actualmente, se ha visto una gran oportunidad para el aprovechamiento de estas excretas como una fuente de energía renovable, para la producción de biogás con un posterior uso en la generación de energía eléctrica y/o térmica.

### **3.2 PROBLEMÁTICA A RESOLVER**

En la actualidad, los sistemas de biodigestión que se encuentran instalados en México cuentan con una gran área de oportunidad refiriéndonos a la base de diseño, de operación y de mantenimiento.

Algunos de los problemas más comunes y que buscamos resolver con nuestro proyecto son los que se enlistan a continuación:

1. Sobredimensionamiento del sistema.
2. Fallas en los sistemas de agitación.
3. Fallas en el quemador.
4. Mal mantenimiento.
5. Poca información de los propietarios hacia el funcionamiento de los sistemas instalados.

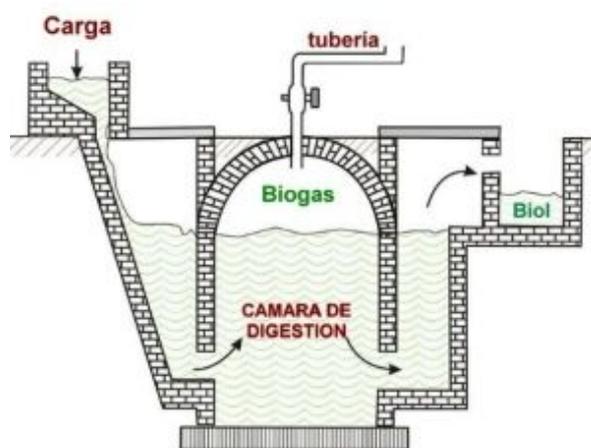
En general, se apunta con este proyecto a que los propietarios de los sistemas están conscientes de los beneficios que les aporta el contar con biodigestores dentro de sus granjas, obteniendo generación de energía eléctrica como el principal beneficio y la disminución de su contaminación ambiental que impactan como el beneficio secundario más importante. De esta misma manera hay una gran área de oportunidad en los gastos relacionados para la recolección de excretas de la granja para su manejo responsable haciendo que los gastos se vean reflejados en ahorros económicos en facturas de uso eléctrico lo que nos da la justificación de generar un proyecto de este tipo.

#### 4. IDEACIÓN

Se planea realizar un modelo de Biodigestor Semi-continuo, es decir que este tipo de biodigestor será alimentado diariamente con una carga relativamente pequeña en comparación al contenido total; Ésta se deposita en la cámara de carga y se extrae de la cámara de descarga un volumen igual del efluente líquido para así mantener el volumen constante. Generalmente de esta manera se logra producir biogás casi permanentemente dentro de la cámara debido al suministro constante de excretas con los nuevos nutrientes para las comunidades de bacterias.

La carga debe ser una mezcla de una parte del material orgánico que en este caso serían las excretas bovinas y cuatro partes de agua (proporción 1:4).

El digestor almacena sólo un pequeño volumen del gas generado en el interior, por lo que requiere un contenedor diferente construido para tal fin en pocas palabras necesitaremos de un gasómetro.



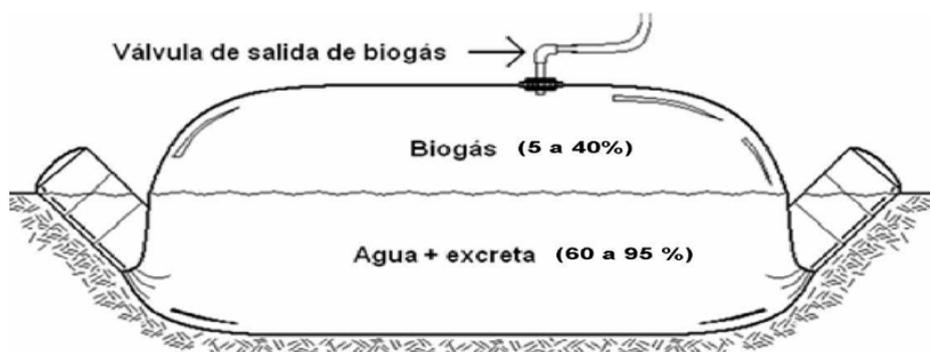
**Imagen ilustrativa de un biodigestor semi--continuo**

Recuperado de: <https://ecoinventos.com>

Una vez explicado lo anterior, se planea diseñar un biodigestor por un sistema lagunar encarpado y sellado herméticamente con membrana de PVC de alta resistencia a los rayos UV.

En la parte que corresponde a la del almacenamiento de gas se utilizará una membrana reforzada de 1000 micras de espesor. La carpa cubrirá un 90% de fase líquida que estará en la fosa y 10% de fase gaseosa quedará expuesta para la retención del biogás. Relación 10:90.

Para el armado de este biodigestor se ocupará como diseño base el sketch de un biodigestor de sistema lagunar previamente ya diseñado y general que posteriormente se reemplazará por los planos del biodigestor de nuestra propia creación.



**Imagen ilustrativa de un biodigestor tipo laguna**

Referencia: <http://news.bbc.co.uk/>

## 4.2 CÁLCULOS PRELIMINARES

Una vez visto los conceptos generales sobre lo que implica un biodigestor, lo que es, así como sus tipos, pasamos a la parte técnica, mas no aún a calcular la producción de Biogás que obtendremos durante la fermentación. Por ahora se mostrarán algunos cálculos realizados en estudios de campo así como estimaciones para nuestro usuario meta y así poder seguir a la parte de producción.

Retomando nuestro indicador de éxito que es el encender una foco convencional de uso común de 50w; tendremos que saber la cantidad de joules que requerimos para su funcionamiento y así poder hacer compatibles las unidades de energía del gas metano con la energía eléctrica necesaria para encenderlo.

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ J/s}$$

$$50 \text{ watt} = 50 \text{ J/s}$$

Ahora bien, si queremos mantener esa luz alumbrada para un día de uso común que son en promedio 5 hrs de uso corriente (Doméstico) obtendremos que necesitaremos un cantidad de 900,000 joules en total para nuestras 5 hrs de uso.

$$1 \text{ min} = 60 \text{ seg}$$

$$1 \text{ hr} = 60 \text{ min}$$

$$1 \text{ hr} = 3600 \text{ seg}$$

$$50 \text{ watts} = 50 \text{ J/s}$$

$$\text{Cantidad de energía requerida} = (50 \text{ J/s})(3600 \text{ seg/1 h}) * 5 = 900,000 \text{ joules}$$

Ahora bien, en caso de querer obtener la energía requerida con unidad base de watts tendremos que hacer lo siguiente:

$$P = 50 \text{ Watts}$$

$$T = 5 \text{ Hrs}$$

$$T_{\text{mes}} = 30 \text{ días}$$

$$E_{\text{Requerida}} = (50 \text{ watts}) (5 \text{ hrs})(30 \text{ días}) = 7,500 \text{ WH/mes} = 7.5 \text{ KWh/mes}$$

### 4.2.1 Estudio de campo

Con datos recopilados de diversas fuentes, se tiene que el número promedio de cabezas de ganado para una granja tipo especializada es de 250 a 300 respectivamente, para parte de nuestros cálculos tomaremos de referencia 300 cabezas de ganado bovino.

Para el cálculo de excretas por cabeza bovina, se considera su peso (450 kg) y se multiplica por un factor ya establecido de 6.8% de su peso que son las excretas diarias obtenidas del animal que nos da un resultado de 30.6 kg/día. A su vez, dividimos esto en 24 horas para saber la exacta cantidad de excretas por hora siendo esta = 1.275 kg/h cada día.

Teniendo el dato de que se trabaja 16 horas de estabulación (Recolección) y considerando las 300 cabezas, tendremos como resultado 6120 kg/día.

De esta forma, ya sabiendo la cantidad de materia que podemos acumular en un día, ahora tendremos que multiplicarlo por la cantidad de días que contiene un mes, esto a razón de que el proceso de fermentación dentro de la cámara de fermentación del biodigestor es en un promedio de 30 días en ambientes cálidos y hasta 55 días en ambientes con tendencias frías. Para nuestro cálculo tomaremos la referencia a 30 días por la localización del proyecto que es en el Edo de Querétaro con 30C°. Realizando el cálculo obtenemos 183,600 kg por cada mes, esta cantidad es la que dispondremos para la producción de Biogás.

$$300 \times 1.275 \text{ kg/h} = 382.5 \text{ kg/h}$$

$$382.5 \text{ kg/h} \times 16 \text{ horas de estabulación} = 6120 \text{ kg/día}$$

$$6120 \text{ kg/día} \times 30 \text{ días} = 183,600 \text{ kg/mes}$$

Datos		Unidades
Cabezas productoras	300	cabezas
Masa (kg)	450	kg
Dias/mes	30	días
Kg/Dia de excreta	30.6	kg/dia
kg/Dia de excreta /hora	1.275	kg/h (una cabeza)
	382.5	kg/h (300 cabezas)
Hora estabulación	16	horas
Estiercol x día	6120	kg/dia (300 cabezas)

Para conocer un aproximado de las dimensiones de nuestro biodigestor necesitaremos considerar que nuestra mezcla de será “húmeda” con una concentración de sólidos volátiles (SV) de 8%, lo que nos indica que introduciremos juntos con nuestros kilogramos de excreta y agua para llegar a esta concentración preestablecida, factor que afecta en la capacidad de nuestro biodigestor, aumentando la capacidad de este. Dando como resultado un total de 498.32 m<sup>3</sup> -> 500 m<sup>3</sup>.

Primero tendremos que saber la cantidad de mezcla (Excreta + agua) que tendremos que agregar cada día al biodigestor, para eso realizamos los siguientes cálculos:

### Datos:

$\rho \text{ H}_2\text{O} = 1,000 \text{ kg/m}^3$

$\rho \text{ Excretas} = 993 \text{ kg/m}^3$

Factor de agua para concentración a 8% de SV = 2.25

Excreta/ día = 6,120 Kg

TRH (Tiempo de Retención Hidráulica) = 25 días

### Cálculo:

1. Volumen H<sub>2</sub>O =  $\left( \left( \text{Excreta/ día} \right) \cdot \left( 2.25 \right) \right) / \rho \text{ H}_2\text{O} = 6,120 \cdot 2.25 = 13,770 \text{ L} = 13,770 \text{ kg}$   
**Volumen H<sub>2</sub>O = 13,770 kg de H<sub>2</sub>O cada día / 1,000 = 13.77m<sup>3</sup>**
2. Volumen Excreta =  $\left( \text{Excreta/ día} \right) / \rho \text{ Excretas} = \left( 6,120 \text{ kg} \right) / \left( 993 \text{ kg/m}^3 \right)$   
**Volumen Excreta = 6.1631**
3. Volumen total carga diaria = Volumen H<sub>2</sub>O + Volumen Excreta = **13.77m<sup>3</sup> + 6.1631 m<sup>3</sup>**  
**Volumen total carga diaria = 19.93 m<sup>3</sup> ~20m<sup>3</sup> ---> Depósito de carga diaria**
4. Volumen laguna = Volumen total carga diaria \* TRH  
**Volumen laguna = 19.93 m<sup>3</sup> \* 25 días = 498. 32 m<sup>3</sup> ---> Biodigestor**

Datos		Unidades
Cabezas productoras	300	cabezas
Masa (kg)	450	kg
Dias/mes	30	días
Kg/Dia de excreta	30.6	kg/dia
kg/Dia de excreta /hora	1.275	kg/h (una cabeza)
	382.5	kg/h (300 cabezas)
Hora estabulación	16	horas
Estiercol x día	6120	kg/dia (300 cabezas)
Densidad estiercol	993	kg/m <sup>3</sup>
Factor H <sub>2</sub> O	2.25	
Masa H <sub>2</sub> O	13770	kg/día
Densidad H <sub>2</sub> O	1000	Kg/m <sup>3</sup>
Volumen H <sub>2</sub> O	13.77	M <sup>3</sup> /dia
Mada Humeda	19890	Kg/m <sup>3</sup>
Volumen Excretas	6.163141994	M <sup>3</sup> /dia
Mezcla diaria (humedo)	19.93314199	M <sup>3</sup> /dia
TRH	25	Días
Volumen Biodigestor	498.3285498	m <sup>3</sup>

Una vez que ya tenemos nuestro volumen de almacenamiento, calculamos el rendimiento de biogás, cuánta energía estaremos obteniendo, considerando todos los datos anteriores. Lo que,

tras unas consideraciones y cálculos, obtuvimos **517.446 KW/mes** suponiendo un funcionamiento en 1hr y otra de **414 kwh/día** suponiendo un funcionamiento las 24 hrs del día.

Datos		Unidades
Cabezas productoras	300	cabezas
Masa (kg)	450	kg
Dias/mes	30	días
Kg/Dia de excreta	30.6	kg/dia
kg/Dia de excreta /hora	1.275	kg/h (una cabeza)
	382.5	kg/h (300 cabezas)
Hora estabulación	16	horas
Estiercol x día	6120	kg/día (300 cabezas)
Densidad estiercol	993	kg/m3
Factor H2O	2.25	
Masa H2O	13770	kg/día
Densidad H2O	1000	Kg/m3
Volumen H2O	13.77	M3/dia
Mada Humeda	19890	Kg/m3
Volumen Excretas	6.163141994	M3/dia
Mezcla diaria (humedo)	19.93314199	M3/dia
TRH	25	Días
Volumen Biodigestor	498.3285498	m3
ST (18%)	1101.6	kg/día
SV/ST	0.89	
SV	980.424	kg/dia
Factor conversión	0.04	m3 biogás /kg excreta
Volumen biogas "B"	39.21696	m3/dia
Energía	1.49024448	GJ/día
Energía	0.0000172482	GW/día
Energía	17.2482	kW/día

Tras tener nuestros KW por día (17.24 kw/día) los multiplicamos por las 24 horas en las que el biodigestor va a estar trabajando, lo que nos dio 414 KWh/día, 12419 KWh mensuales y 150,000 KWh al año.

Datos para 300 cabezas		Unidades
Cabezas productoras	300	cabezas
Masa (kg)	450	kg
Días/mes	30	días
Kg/Día de excreta	30.6	kg/día
kg/Día de excreta /hora	1.275	kg/h (una cabeza)
	382.5	kg/h (300 cabezas)
Hora estabulación	16	horas
Estiercol x día	6120	kg/día (300 cabezas)
Densidad estiercol	993	kg/m <sup>3</sup>
Factor H <sub>2</sub> O	2.25	
Masa H <sub>2</sub> O	13770	kg/día
Densidad H <sub>2</sub> O	1000	Kg/m <sup>3</sup>
Volumen H <sub>2</sub> O	13.77	m <sup>3</sup> /día
Masa Humeda	19890	kg/m <sup>3</sup>
Volumen Excretas	6.163141994	m <sup>3</sup> /día
Mezcla diaria (humedo)	19.93314199	m <sup>3</sup> /día
TRH	25	Días
Volumen Biodigestor	498.3285498	m <sup>3</sup>
ST (18%)	1101.6	kg/día
SV/ST	0.89	
SV	980.424	kg/día
Factor conversión	0.04	m <sup>3</sup> biogás /kg excreta
Volumen biogas "B"	39.21696	m <sup>3</sup> /día
Energía	1.49024448	GJ/día
Energía	0.0000172482	GW/día
Energía	17.2482	kW/día
horas/día	24	h
Energía diaria	414	kWh/día
Energía mensual	12419	kWh/mes
Energía anual	149,024.45	kWh/año
Precio energía	2.31	\$/kWh
Costo anual	\$ 344,246.47	\$/año

Conociendo que como promedio la granja lechera, de donde recopilamos datos para que fuera más real nuestras cifras, consume alrededor de 3600 KWh al mes, con sus 300 cabezas vacas productoras de leche, lo que significa que al meter las excretas totales de las 300 vacas estaríamos produciendo 12,500 KWh al mes, casi el doble.

Por esta razón decidimos hacer la misma tabla pero contemplando diferentes cantidades de cabeza de ganado, con lo que justificamos que podemos implementar nuestro biodigestor, claro que siempre se tendría que considerar el consumo eléctrico de cada lugar en donde se planea este proyecto.

Datos para 200 cabezas		Unidades
Cabezas productoras	200	cabezas
Masa (kg)	450	kg
Días/mes	30	días
Kg/Día de excreta	30.6	kg/día
kg/Día de excreta /hora	1.275	kg/h (una cabeza)
	255	kg/h (300 cabezas)
Hora estabulación	16	horas
Estiercol x día	4080	kg/día (300 cabezas)
Densidad estiercol	993	kg/m <sup>3</sup>
Factor H <sub>2</sub> O	2.25	
Masa H <sub>2</sub> O	9180	kg/día
Densidad H <sub>2</sub> O	1000	Kg/m <sup>3</sup>
Volumen H <sub>2</sub> O	9.18	m <sup>3</sup> /día
Masa Humeda	13260	kg/m <sup>3</sup>
Volumen Excretas	4.108761329	m <sup>3</sup> /día
Mezcla diaria (humedo)	13.28876133	m <sup>3</sup> /día
TRH	25	Días
Volumen Biodigestor	332.2190332	m <sup>3</sup>
ST (18%)	734.4	kg/día
SV/ST	0.89	
SV	653.616	kg/día
Factor conversión	0.04	m <sup>3</sup> biogás /kg excreta
Volumen biogas "B"	26.14464	m <sup>3</sup> /día
Energía	0.99349632	GJ/día
Energía	0.0000114988	GW/día
Energía	11.4988	kW/día
horas/día	24	h
Energía diaria	276	kWh/día
Energía mensual	8279	kWh/mes
Energía anual	99,349.63	kWh/año
Precio energía	2.31	\$/kWh
Costo anual	\$ 229,497.65	\$/año

Datos para 150 cabezas		Unidades
Cabezas productoras	150	cabezas
Masa (kg)	450	kg
Dias/mes	30	días
Kg/Dia de excreta	30.6	kg/dia
kg/Dia de excreta /hora	1.275	kg/h (una cabeza)
	191.25	kg/h (300 cabezas)
Hora estabulación	16	horas
Estiercol x día	3060	kg/dia (300 cabezas)
Densidad estiercol	993	kg/m3
Factor H2O	2.25	
Masa H2O	6885	kg/día
Densidad H2O	1000	Kg/m3
Volumen H2O	6.885	m3/dia
Masa Humeda	9945	kg/m3
Volumen Excretas	3.081570997	m3/dia
Mezcla diaria (humedo)	9.966570997	m3/dia
TRH	25	Días
Volumen Biodigestor	249.1642749	m3
ST (18%)	550.8	kg/día
SV/ST	0.89	
SV	490.212	kg/dia
Factor conversión	0.04	m3 biogás /kg excreta
Volumen biogás "B"	19.60848	m3/dia
Energía	0.74512224	GJ/día
Energía	0.0000086241	GW/día
Energía	8.6241	kW/día
horas/día	24	h
Energía diaria	207	kWh/día
Energía mensual	6209	kWh/mes
Energía anual	74.512.22	kWh/año
Precio energía	2.31	\$/kWh
Costo anual	\$ 172,123.24	\$/año

Lo que significa que podríamos implementar un biodigestor, considerando meter la masa de excretas de 150 cabezas de ganado, con el que estaríamos produciendo 6,200 KWh al mes, dando espacio a la energía consumida por el sistema del biodigestor y a su vez, si quisieran expandir su producción, incrementando su consumo eléctrico, y también se tendría espacio en el biodigestor para ese crecimiento y producción de este.

**NOTA :** Hay que considerar que al reducir la producción, reducimos la cantidad de excretas (kg) que entrarían al biodigestor, haciendo que las dimensiones de este reduzcan.

## 5. MEMORIA DESCRIPTIVA

El digester almacena sólo un pequeño volumen del gas generado en el interior, por lo que requiere un contenedor diferente construido para tal fin, en pocas palabras necesitaremos de un gasómetro.

### Selección de materiales y componentes para el diseño puesto en la granja:

del tanque al motor y aquí se convierte en energía

#### 1. Gasómetro

- Cantidad = 1
- Cantidad a almacenar: 39.21 m<sup>3</sup>/diarios de biogás.
- Capacidad mínima Gasómetro = 840 m<sup>3</sup>
- Material seleccionado: Acero inoxidable

#### 2. Laguna de biodigestión:

- Cantidad = 1
- Material seleccionado:
  - Alberca de hormigón
  - Campana flotante de polímero resistente a rayos UV con circunferencia de 10m y relación 10:90 en fase gaseosa-líquida respectivamente.
- Capacidad : 500m<sup>3</sup>
- Medidas:
  - Ángulo inclinación talud = 20°
  - Profundidad = 2 m
  - AM = 3.6 m
  - Am = 2.15 m
  - Largo = 87 m
  - At = 5.75 m

#### 3. Sistema de precarga:

- Cantidad = 1
- Volúmen requerido = 20 m<sup>3</sup>/día
- V<sub>max</sub> = 24 m<sup>3</sup>
- Dimensiones de depósito de precarga:
  - Largo = 4m
  - Ancho = 3m
  - Profundidad = 2m

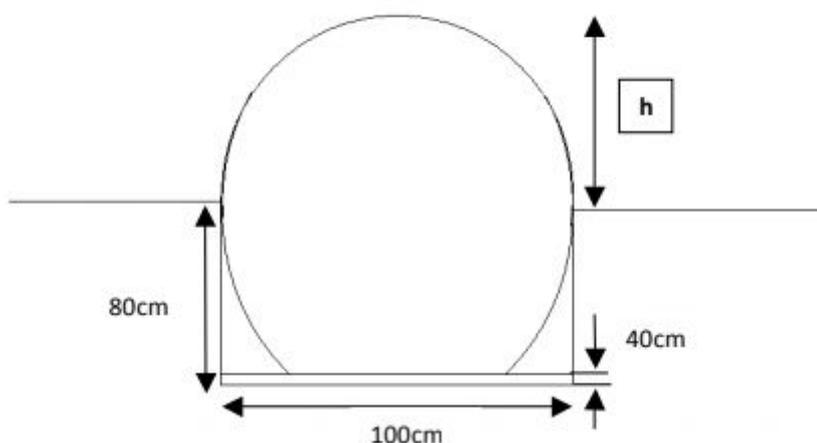
#### 4. Sistema de agitación:

- Cantidad = 2
- Marca/ modelo = SUMA Giant Mix Z6
- Potencia = 4 kw
- At max = 5m

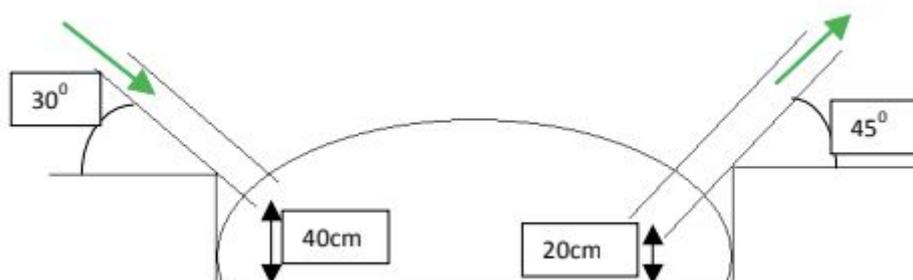
Como referencia para la elaboración de un prototipo, se está tomando un diseño similar a un proyecto Nicaragüense que funcionará con el mismo principio, y a continuación se explica el funcionamiento y diseño del modelo nicaragüense, que será adaptado y basado para el nuestro (las medidas varían por esta razón).

Estas especificaciones se realizarán sólo para un prototipo.

- Tamaño de la fosa: 8m de largo, 80 cm de profundidad, 1m de ancho
- Tamaño tanque (en nuestro caso sería un tanque de acero inoxidable): 2.5m de semicircunferencia, radio  $\pi \cdot R = 2.5$ ,  $R = 0.79$ m. Longitud
- 10m.
- Volumen del biodigestor: se calcula a través del siguiente diagrama.



- Inclinación de las tuberías de entrada y salida:  
La tubería de entrada tendrá una inclinación de 30 grados y la de salida, de 45 grados.



Este sería el modelo basado que se realizará como prototipo únicamente.

## 6. PLAN DE FABRICACIÓN

Inclinación de las tuberías de entrada y salida:

1. Cavar la fosa con las dimensiones adecuadas para alojar el biodigestor: Longitud y profundidad
  - Los lados y el piso deben ser lisos, sin piedras o raíces que sobresalgan y puedan dañar la bolsa de plástico, por lo tanto limpiaremos el área antes de meter la bolsa.
  - La tierra que se saca de la zanja deberá ser llevada lejos de los bordes para evitar que el viento la regrese.
2. La bolsa plástica medirá aproximadamente 3 m, es necesario que mida dos metros más que la fosa, para ganar un metro por cada extremo de la bolsa y poder amarrar la entrada y la salida del biodigestor.
2. Cortamos dos trozos de tubería de PVC 6": 60x cm (entrada) y 70 cm (salida).
3. Cortamos el hule de las llantas (recámara de la rueda) en tiras de unos 5 cm de ancho y con un par de tiras, forramos un extremo de cada tubo. Esta parte de los tubos será la que irá dentro de la bolsa. El objetivo es evitar cualquier daño en la misma.
4. Para acomodar las tuberías de entrada y salida tenemos que hacer unas rampas con una inclinación de 60° sobre la horizontal, para la entrada y de 45° sobre la horizontal para la salida.
5. Empezaremos por el extremo de la fosa donde estará situada la salida del biodigestor: a 30 cm de la fosa y centrado, situamos el balde dónde caerá el biol. El balde irá introducido en el suelo, por lo que cavaremos un agujero que lo aloje pero no completamente enterrado en el suelo (habrá que ir tanteando según se haga la rampa y vamos probando cómo queda acomodado el tubo).
  - 5.1. La tubería de salida tiene que quedar con una inclinación de 45° y dentro de la fosa, a 20 cm por encima del fondo, además tiene que reposar en el balde, para que cuando salga el compost, éste caiga dentro.
  - 5.3. Para ello, tenemos que hacer un corte en el balde, en forma de semicírculo desde la boca del balde. Lo cortaremos con una hoja de sierra.
  - 5.4. Haremos una rampa en el suelo, que comunique el balde con el interior de la fosa y dónde descansará la tubería. La rampa tiene que ser de 45°.
  - 5.5. Para la entrada, seguimos el mismo procedimiento, pero esta vez, la inclinación de la rampa ha de ser de 60° y dentro de la fosa, el tubo ha de quedar a una altura de 40 cm sobre el fondo. Para ello, situamos el balde a 15 cm de la fosa, e igualmente lo enterramos en el suelo.

5.6. Para la entrada, se recomienda que al final de la construcción, el balde se sustituya por una caja de hormigón, a modo de embudo, que haga más fácil la carga del biodigestor.

6. Rociar de cal las paredes de la fosa.
7. Cubrir el fondo de la fosa con la paja, con el fin de conseguir una superficie blanda para el biodigestor.
8. Cubrir las paredes y el fondo de la fosa con el plástico negro aislante

## **7. LISTA DE PIEZAS Y MATERIALES**

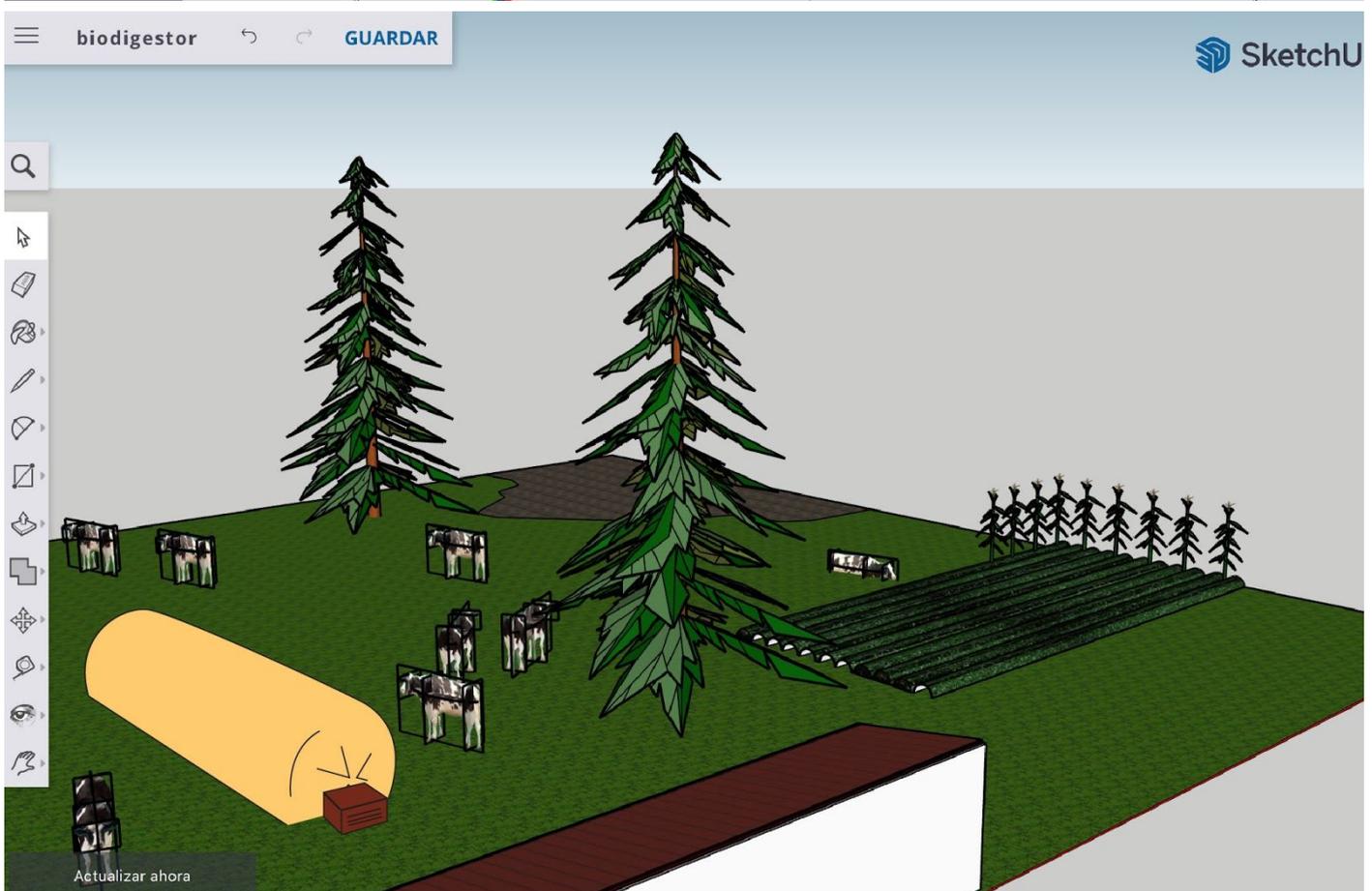
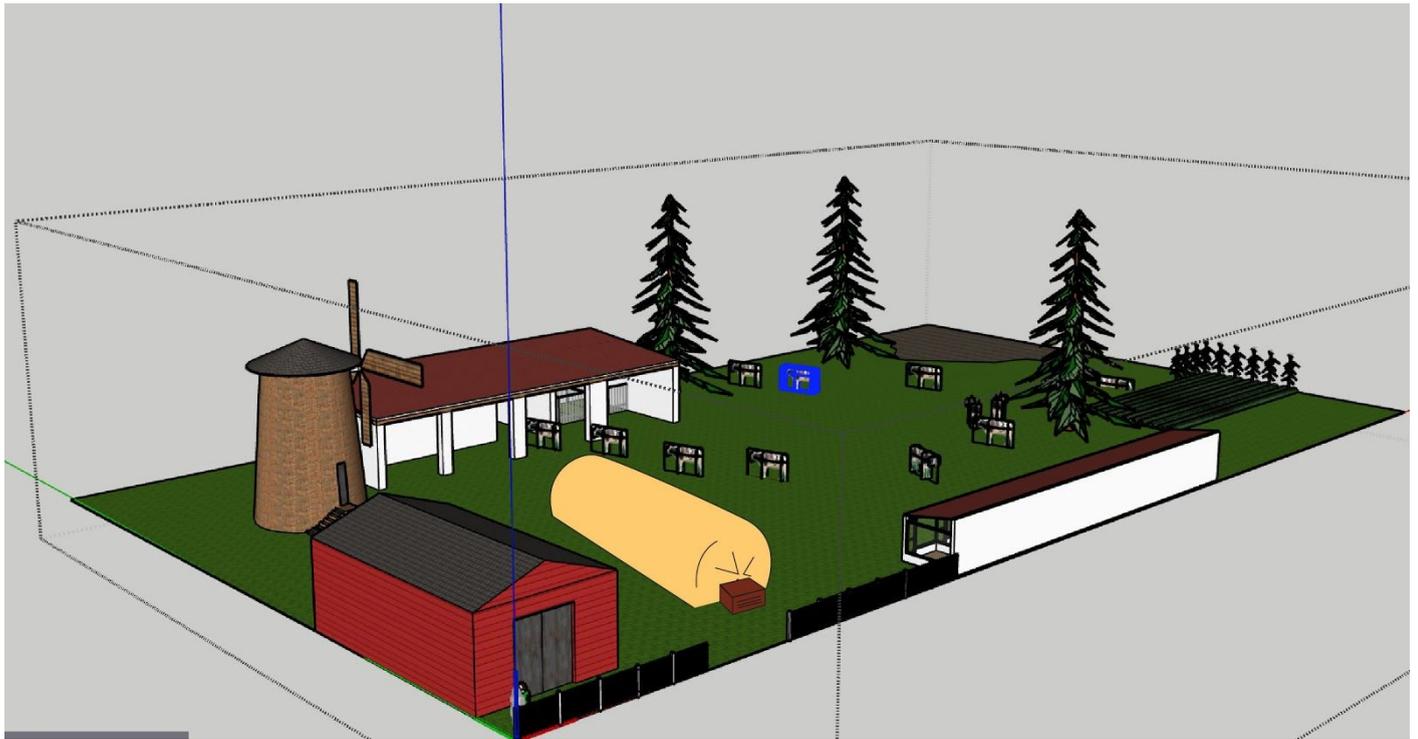
A continuación se muestra la lista de materiales que se requerirán en la construcción del biodigestor. Las cantidades y marcas de los materiales a seleccionar se describen más abajo en la parte del presupuesto.

Los materiales serían los siguientes:

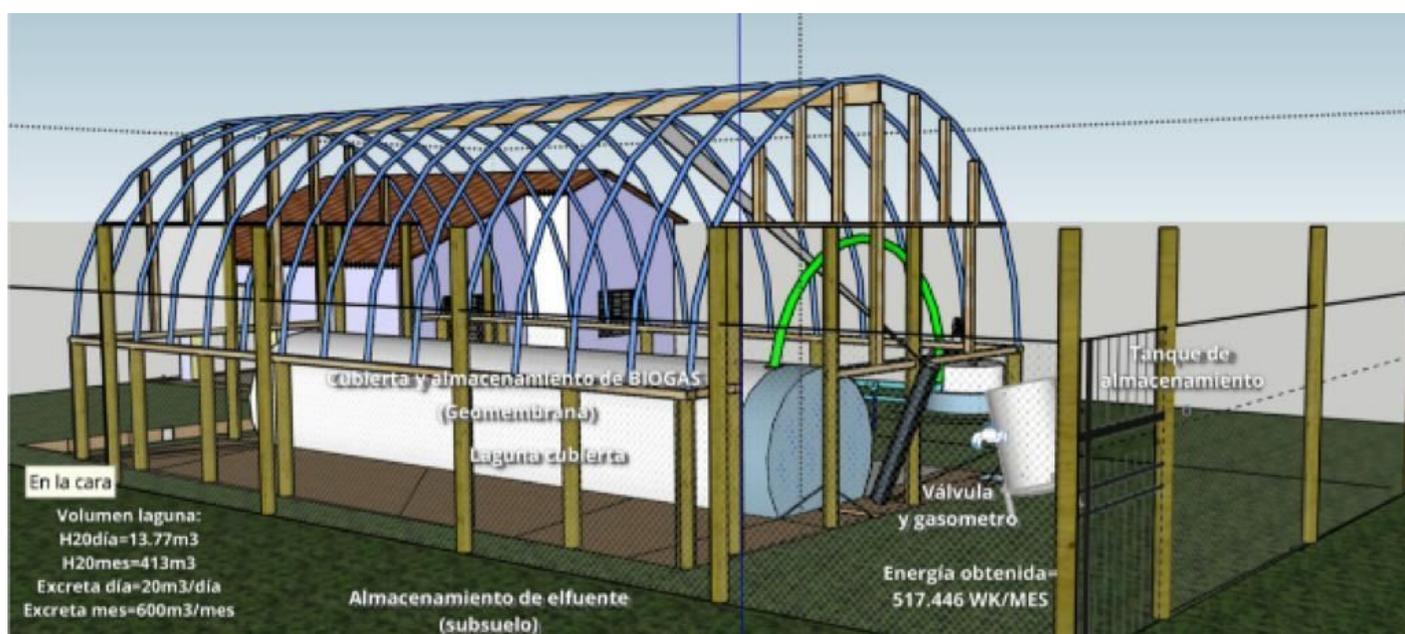
- Laguna Biodigestor
- Válvula de seguridad industrial  $\frac{3}{4}$
- Contenedor de mezcla diaria
- Filtro de sulfhídrico
- Cubierta de membrana PVC
- Sistema de agitación
- Bomba Centrífuga
- Inversor
- Tubos de PVC
- Manguera de cristal de  $\frac{1}{2}$  pulgada
- llaves esféricas de  $\frac{1}{2}$  pulgada
- Acople rápido hembra
- codos de pvc  $\frac{1}{2}$  pulgada
- cámaras de bici
- Mano de obra promedio
- Sensor de presión
- Sensor de tem. y Ph

## **8.PLANOS**

A continuación se muestra un dibujo 3D en Sketchup que simplifica y ayuda a visualizar cómo quedaría el producto final (el biodigestor) ya instalado en sitio.







## 9. CÁLCULOS TÉCNICOS

Con base a los resultados obtenidos en los cálculos anteriores, ahora haremos el procedimiento de saber cuánta será nuestra producción de Biogás final mensualmente, cabe volver a mencionar que la producción de gas es cada mes ya que ese es el tiempo en el que ocurre la fermentación de la materia dentro del contenedor.

Retomando los valores anteriores que se muestran en la parte de abajo, ahora tendremos que hacer que estos dos sean compatibles para ver el potencial de generación de nuestro sistema, para esto tendremos que recurrir a la energía del gas metano, recordemos que el gran parte de nuestro contenido en el Biogás es gas metano con hasta el 65% de su contenido total y un mínimo de 50% de Co2 y 50% gas metano.

Para empezar tenemos que cada kg de SV de excremento de ganado bovino produce hasta 0.04 m3 de gas metano. Por otro lado, tenemos que el poder calorífico del gas metano es de 31.72 MJ/m3.

También para tener otro factor con el cual podamos comparar esos usos, utilizaremos una el caso de una casa que gasta en promedio 30 m3 de gas mensualmente y que en su factura aparecen una utilización de 0.95GJ por esa cantidad de uso (30 kg)

### 1. Datos

Materia disponible = 183,000 kg /mes

Energía requerida para encendido de foco por 5hrs = 900,000 Joules o 7.5 kwh / mes

Producción (1 kg de SV) = 0.04 m3 de Gas Metano

### 2. Factura doméstica

Volumen utilizado prom. = 30m3 de Gas Natural

Energía facturada = 0.05 GJ

### 3. Realizando los cálculos obtenemos lo siguiente.

1 kg de SV = 0.04 m3 de Gas metano

980.42 kg /día = X

$$x = (980.42 \text{ kg})(0.04\text{m}^3)$$

**X = 39.21 m3 de Gas Metano producidos diariamente**

**X = 1.49 GJ/Día**

**X = 1.72E-05 GW/ Día**

**X = 414 KWH /Día**

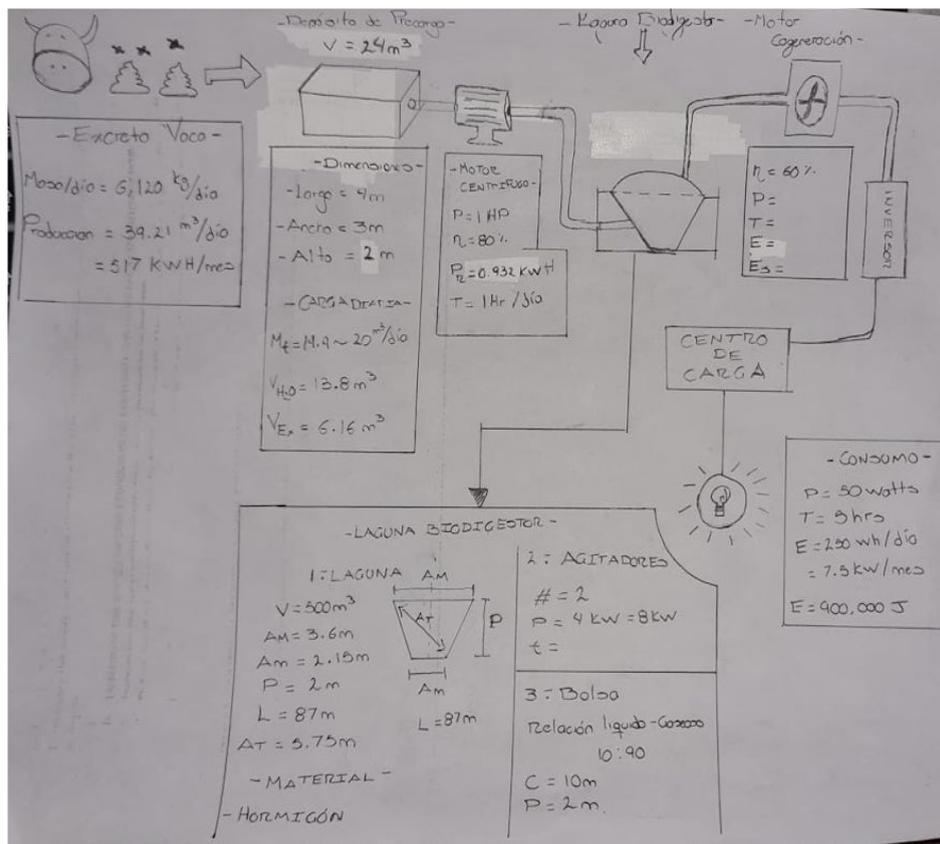
**X = 12, 419 KWH/Mes**

## 10. PRESUPUESTO

MATERIAL	DESCRIPCIÓN GENERAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (MXN)	COSTO FINAL(MXN)
Laguna Biodigestor	AM = 3.6m Am= 2.15m h = 2m L= 87m	1	Por obra: hormigón = \$60/m3	\$30,000 hormigón \$18,500 excavación

	At = 5.75m V= 500m <sup>3</sup>		Solo excavación = \$37/m <sup>3</sup>	
Válvula de seguridad industrial ¾	L:3-¾ Rango de Presión: 75 a 150 psi Normas: ASME Materiales: Silicona y Acero Inoxidable	1	\$1073	\$1073
Contenedor de mezcla diaria	L = 6m A = 3m h = 3m V= 54 m <sup>3</sup>	1	\$13,178	\$13,178
Filtro de sulfhídrico	filtros móviles de distintos tamaños	1	\$20,000	\$20,000
Cubierta de membrana PVC	Circunferencia = 10m  Profundidad = 2m	1	\$16,000	\$16,000
Sistema de agitación	P = 4kw L = 5m	2	\$12,000	\$24,000
Bomba Centrífuga	1 HP 746 w	1	\$900	\$900
Inversor	20 kw	1	\$360,000	\$360,000
Tubos de PVC	200 cm	1	\$2,000	\$2,000
Manguera de cristal de ½ pulgada	200 cm	1	\$1,500	\$1,500
llaves esféricas de ½ pulgada	Llave Valvula Esfera No. 38 Roscable 1 1/2 PuLG Níquel Cli	4	\$250	\$1000
Acople rápido hembra	Conexión Rápida 1/2 PuLG. Acople Hembra X Vástago Manguera	4	\$369	\$1,476
codos de pvc ½ pulgada	Codo Cople Conexión De Pvc Cédula 40 1/2 Pulgada	4	\$30	\$120
cámaras de bici	Camara Para Bicicleta americana	4	\$60	\$240
Mano de obra promedio			\$300 m <sup>2</sup>	\$30,000

Sensor de presión	12V-30V	1	\$2,760	\$2,760
Sensor de tem. y Ph	5V	1	\$2,186	\$2,186
<b>Total con hormigón</b>				<b>\$501,418</b>
<b>Total solo con excavación</b>				<b>\$489,987</b>



## 10.1 Retorno de inversión y retorno de recuperación

Nota: Todos los cálculos que se ocuparon para realizar esta sección se pueden visualizar en la hoja de cálculo ubicada en la sección de anexos.

Para realizar los cálculos tomamos en cuenta el gasto actual de la empresa base al año (aproximadamente 3600 KWh/mes) , infiriendo los gastos de limpieza, recolección y transporte actual que tienen por las excretas del ganado.

ACTUALMENTE		
Tema:	Anual	
Energía eléctrica	99792	\$/año
Limpieza	24000	\$/año
Recolección	5000	\$/año
Transporte	10400	\$/año
Biosólidos (costo de oportunidad)	\$ 398,063.16	\$/año

La compra de biosólidos se encuentra entre \$8.00 a \$20.00 en el mercado, por cuestiones del proyecto calculamos el costo de oportunidad de venta de \$8.00 cada kilo. Dando así un costo de oportunidad extra al cliente de \$398,063.16 de venta para los biosólidos con el biodigestor al año.

Periodos (años)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Generación de energía	-	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123
Ahorros relacionados a excretas	-	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400
Venta de Biosólidos	-	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063
Ingresos	-	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586
<i>Hermigon</i>																				
Costo de producción	501.487																			
Gasto de mantenimiento Bianual		30.000		30.000		30.000		30.000		30.000		30.000		30.000		30.000		30.000		30.000
Precio de Sobreventa al cliente	100.000																			
Flujos de efectivo del proyecto	(601.487)	609.586	579.586	609.586	579.586	609.586	579.586	609.586	579.586	609.586	579.586	609.586	579.586	609.586	579.586	609.586	579.586	609.586	579.586	609.586
<i>Excavación</i>																				
Costo de producción	489.987																			
Gasto de mantenimiento Bianual		30.000		30.000		30.000		30.000		30.000		30.000		30.000		30.000		30.000		30.000
Precio de Sobreventa al cliente	100.000																			
Flujos de efectivo del proyecto	(589.987)	609.586	639.586	609.586	639.586	609.586	639.586	609.586	639.586	609.586	639.586	609.586	639.586	609.586	639.586	609.586	639.586	609.586	639.586	609.586

La tabla anterior, se realizó con base a los datos que obtuvimos del balance de materia del proyecto, tomando en cuenta el costo por KWh que indica la CFE para el tipo de demanda (2.31 \$/KWh). Este fue ajustado a 150 cabezas ganaderas para aproximarnos a la demanda de la empresa base que son de aproximadamente 3600 KWh al mes.

A continuación se muestra el desglose a 150 cabezas ganaderas:

<b>Energía</b>	<b>0.74512224</b>	<b>GJ/día</b>
<b>Energía</b>	<b>0.0000086241</b>	<b>GW/día</b>
<b>Energía</b>	<b>8.6241</b>	<b>kW/día</b>
<b>horas/día</b>	<b>24</b>	<b>h</b>
<b>Energía diaria</b>	<b>207</b>	<b>kWh/día</b>
<b>Energía mensual</b>	<b>6209</b>	<b>kWh/mes</b>
<b>Energía anual</b>	<b>74,512.22</b>	<b>kWh/año</b>
<b>Precio energía</b>	<b>2.31</b>	<b>\$/kWh</b>
<b>Producción anual</b>	<b>\$ 172,123.24</b>	<b>\$/año</b>

Si dejamos las cabezas de ganado a 300, obtenemos los siguientes datos:

Energía	1.49024448	GJ/día
Energía	0.0000172482	GW/día
Energía	17.2482	kW/día
horas/día	24	h
Energía diaria	414	kWh/día
Energía mensual	12419	kWh/mes
Energía anual	149,024.45	kWh/año
Precio energía	2.31	\$/kWh
Costo anual	\$ 344,246.47	\$/año

Si lo realizamos a 200 cabezas ganaderas, obtenemos la siguiente tabla:

Energía	0.99349632	GJ/día
Energía	0.0000114988	GW/día
Energía	11.4988	kW/día
horas/día	24	h
Energía diaria	276	kWh/día
Energía mensual	8279	kWh/mes
Energía anual	99,349.63	kWh/año
Precio energía	2.31	\$/kWh
Costo anual	\$ 229,497.65	\$/año

Elegimos dimensionarlo en 150 cabezas de ganado para cubrir la demanda total de kWh de nuestro cliente base.

A continuación se desglosa el análisis financiero de nuestro proyecto, tomando en cuenta el costo de oportunidad que se describió previamente como un ingreso extra para el cliente y tomando en cuenta un mantenimiento cada 2 años con un costo de \$30,000:

Periodos (años)	0
Genreación de energía	-
Ahorros relacionados a excretas	-
Venta de Biosolidos	-
Ingresos	-
<i>Hormigon</i>	
Costo de produccion	501.487
Gasto de mantenimiento Bianual	
Precio de Sobreventa al cliente	100.000
Flujos de efectivo del proyecto	(601.487)
<i>Excavación</i>	
Costo de produccion	489.987
Gasto de mantenimiento Bianual	
Precio de Sobreventa al cliente	100.000
Flujos de efectivo del proyecto	(589.987)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123
39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400
398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063
609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586
	30.000		30.000		30.000		30.000		30.000
609.586	579.586	609.586	579.586	609.586	579.586	609.586	579.586	609.586	579.586
	30.000		30.000		30.000		30.000		30.000
609.586	639.586	609.586	639.586	609.586	639.586	609.586	639.586	609.586	639.586

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123
39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400
398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063
609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586
	30.000		30.000		30.000		30.000		30.000
609.586	579.586	609.586	579.586	609.586	579.586	609.586	579.586	609.586	579.586
	30.000		30.000		30.000		30.000		30.000
609.586	639.586	609.586	639.586	609.586	639.586	609.586	639.586	609.586	639.586

La proyección se realizó a 20 años, con una sobreventa al cliente de \$100,000, esta sería la ganancia hipotética que tendríamos nosotros dividida entre los integrantes del equipo.

Generacion de energia (\$)		
Ahorro de Kw al año para el cliente	74.512,00	
Costo promedio de Kw	2,31	
Ahorro anual para el cliente	172.122,7	
Gastos actuales del cliente (ahorros del proyecto)		
Gastos recurrentes		
Energia Electrica	99.792	\$ al año
Limpieza	24.000	\$ al año
Recoleccion	5.000	\$ al año
Transporte	10.400	\$ al año
Ingreso adicional por venta de residuos		
Biosolidos (costo de oportunidad)	398.063	\$ al año
Tasa de rendimiento de capital del cliente *	10%	(Utilidad del año/capital del cliente al cierre del año)

<b>Metricas de Rentabilidad</b>	Hormigon	Excavacion
<i>Para el equipo</i>		
Rendimiento sobre el costo de elaboración	19,9%	20,4%
Periodo de recuperacion	0,99	1,03
Tasa interna de retorno para el cliente	99,7%	105,0%

Tendríamos un retorno de inversión en 0.99 años (11.88 meses) con hormigón o si sólo se realiza excavación en 1.03 años (12.36 meses).

Con estos números concluimos que nuestro proyecto es rentable y que es posible aumentar el sobreprecio de venta en dado caso que quisiéramos tener más ganancia como equipo.

Si lo subieramos la doble, los números quedarían de la siguiente forma y el proyecto sigue siendo rentable:

Periodos (años)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Genreación de energía	-	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123	172.123
Ahorros relacionados a excretas	-	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400	39.400
Venta de Biosolidos	-	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063	398.063
Ingresos	-	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586	609.586
<b>Hormigon</b>											
Costo de produccion	501.487										
Gasto de mantenimiento Bianual			30.000		30.000		30.000		30.000		30.000
Precio de Sobreventa al cliente	200.000										
Flujos de efectivo del proyecto	(701.487)	609.586	579.586	609.586	579.586	609.586	579.586	609.586	579.586	609.586	579.586
<b>Excavación</b>											
Costo de produccion	489.987										
Gasto de mantenimiento Bianual			30.000		30.000		30.000		30.000		30.000
Precio de Sobreventa al cliente	200.000										
Flujos de efectivo del proyecto	(689.987)	609.586	639.586	609.586	639.586	609.586	639.586	609.586	639.586	609.586	639.586

<b>Generacion de energia (\$)</b>	
Ahorro de Kw al año para el cliente	74.512,00
Costo promedio de Kw	2,31
Ahorro anual para el cliente	172.122,7
<b>Gastos actuales del cliente (ahorros del proyecto)</b>	
<b>Gastos recurrentes</b>	
Energia Electrica	99.792 \$ al año
Limpieza	24.000 \$ al año
Recoleccion	5.000 \$ al año
Transporte	10.400 \$ al año
<b>Ingreso adicional por venta de residuos</b>	
Biosolidos (costo de oportunidad)	398.063 \$ al año
Tasa de rendimiento de capital del cliente *	10% (Utilidad del año/capital del cliente al cierre del año)

<b>Metricas de Rentabilidad</b>	Hormigon	Excavacion
<i>Para el equipo</i>		
Rendimiento sobre el costo de elaboración	39,9%	40,8%
Periodo de recuperacion	1,15	0,88
Tasa interna de retorno para el cliente	85,4%	89,8%

## 11. PRUEBAS

Debido a toda la situación actual que se está viviendo a nivel mundial, no fue posible realizar un prototipo físico por lo que la parte de pruebas fue sustituido por el dibujo 3D que se mostró con anterioridad.

De ser posible las pruebas hubieran consistido en realizar un prototipo a nivel escala en el que pudiéramos comprobar el tiempo de concentrado para las excretas y verificar cuánto biogás es posible producir tomando en cuenta las variables influyentes como la Temperatura, el PH y el tiempo.

Para así poder escalar de manera más precisa en base en los resultados de las pruebas y el análisis del balance de materia que se realizó.

## 12. PROBLEMAS ENCONTRADOS Y SOLUCIONES ADAPTADAS

Tras un análisis completo de nuestro sistema concluimos que hay muchas variables que se necesitan estar controlando para poder generar, de una manera eficiente con los resultados ya planteados anteriormente.

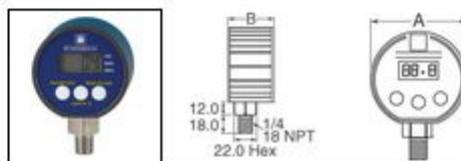
Las variables más considerables a tratar, siendo las involucradas en el proceso de la conversión de la biomasa a biogás, son; la temperatura, Ph y la Presión.

- Para tener un control sobre el pH, primero consideramos que tenemos que tener un valor entre los 6.8-7.4, pues si este baja de 6 el metano producido será con concentraciones muy bajas lo que implica que no tendrá la eficiencia energética planteada.
- Como control de la variable de temperatura trabajaremos con un a temperatura de 25°C-30°C y controlaremos esta variable con un sensor que encontramos y que es muy funcional para este tipo de trabajo,

Para estas dos variable se usará el mismo sensor, Zitainn Medidor de Prueba Combinado



- Por último para la variable de presión contaremos con que funcionara con un rango de 0-7 psi, pues la presión del biogás oscila entre los 0,1015 y los 0,2901 psi.



### 13. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

### 14. VALORACIÓN DEL PROYECTO

**Humberto Cruz Salazar:**

Desde mi punto de vista fue un proyecto retador tanto en conocimientos como comprensión ya que muchos de los cálculos realizados en el el proceso de fabricación son totalmente al entendimiento de lo que el proceso se refiere los cuales se tiene que apoyar con mucha investigación en temas en los que no tenemos la experiencia preferencial para este tipo de proyectos. Creo que es un tipo de sistema que si bien aún no está en pleno desarrollo y no tiene eficiencias elevadas como otras máquinas; nos hace ver la posibilidad de generar valor a subproductos que generalmente representan gasto y que ocupa un espacio considerable a la masa generada, ésta última puede convertirse en una fuente de generación (En términos de energía) de energía eléctrica o calorífica y que creo, tiene un gran potencial para generar grandes cambios respecto a la mitigación de GEI así como una nueva área de oportunidad tanto para emprender o investigar hasta un gran potencial en generación de empleos y que asimismo tengan electricidad personas en lugares rurales de difícil acceso así como personas en situación de precariedad la cual es gran parte de la población mexicana.

Un proyecto con gran aprendizaje y enfoque social y ambientalmente responsable de acuerdo a los requerimientos de la ONU y acuerdos de Tokyo y París.

### **Valentina López Ortube**

No creí que el costo de un proyecto de este tipo fuese tan elevado, sin embargo, es un ahorro que ayuda al medioambiente y a largo plazo económicamente también.

Hacer este proyecto me ayudó a aprender mucho sobre el biogás y los tipos de biodigestores existentes, las distintas eficiencias que tienen y sus contras en cierto tipo de proyectos.

Creo que un biodigestor es una mejor idea en instalaciones chicas como lo son en un hogar. Ya que estas tienen menor costo de inversión y mayor ganancia por lo mismo.

A la vez fue un proceso complicado coordinarse y organizarse como equipo, creo que el no vernos dificulta un poco la comunicación y esto no fue de mucha ayuda. Sin embargo, supimos sobrellevarlo del mejor modo.

### **Karla Martínez Ceballos:**

Un proyecto retador sobre todo en el área de investigación, fue necesario leer varios trabajos relacionados al tema, así como comprender químicamente el proceso que se realiza a nivel molecular para que la materia orgánica pueda transformarse en biogás y que se pueda transformar en energía calórica o en energía eléctrica. Gracias al apoyo de nuestra **maestra** líder pudimos aprender y realizar el balance de materia necesario para poder centrar nuestro proyecto a algo más real, ya con números y profundizar más a detalle en el proceso químico.

Fue un proyecto de mucho aprendizaje, ya que a lo largo de la carrera no se había profundizado mucho en este tipo de energía y logramos entender el por qué aún este tipo de energía no se explota del todo aún dentro de nuestro país. Sin duda, fue un tema muy interesante y un proyecto bastante complejo de realizar por todas las variantes que se tienen que tomar en cuenta. Estoy segura que este proyecto cuenta con una área de oportunidad grande todavía pero que es un muy buen primer acercamiento a un proyecto real con este tipo de fuente renovable de energía.

### **Luis Antonio Malagón Rivera:**

Personalmente con este proyecto puede entender a más profundidad la idea de la producción de un biogás, la cual sí presentó un reto pues tuve que reforzar muchos temas en cuestiones químicas, que tenía muy olvidadas, por el comportamiento de las sustancias y la importancia en el proceso de cada una de las variables, pues con alguna que llegue a cambiar drásticamente, afectará por completo el resultado de nuestro biogás. De ahí la importancia de un sistema de monitoreo de estas variables, evitando un colapso en nuestro proyecto.

Siendo un proyecto en el cual, como equipo, no nos vimos en persona en ningún momento, presentó un reto a un mayor, reto que el principio no considere pero si fue considerable y que llegó reflejarse en nuestros resultados, por fortuna pusimos corregirlos.

### **Carlos Daniel Ramírez Santana:**

Este proyecto, nuestro último proyecto fin de semestre, nos enriqueció mucho aprendizaje a lo largo del semestre, más que nada en ámbitos químicos, y almacenamiento de energía. Pudimos resolver la cuestión sobre la transformación energética a través de varios procesos electroquímicos como hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

También fue todo un reto lograr llevar a cabo el proyecto debido a la situación actual, la modalidad de escuela en línea sin poder ver a nuestros demás compañeros ni maestros, y resolviendo dudas de manera remota es algo complicado; y también tuvimos que tener mucho aprendizaje por nuestra cuenta.

## 15. REFERENCIAS Y ANEXOS

### Anexo 1

Análisis financiero del proyecto:

[https://docs.google.com/spreadsheets/d/1gto\\_DfOMpZcSvS3o1EC5qI2pUyA-7ia2qODL0BFxwFY/edit?usp=sharing](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1gto_DfOMpZcSvS3o1EC5qI2pUyA-7ia2qODL0BFxwFY/edit?usp=sharing)

### Anexo 2

Balance de materia:

[https://docs.google.com/spreadsheets/d/1JD3Kch7msiY2X\\_\\_o86sigD0zpWpTSvEcx7CHvKLSru0/edit?usp=sharing](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1JD3Kch7msiY2X__o86sigD0zpWpTSvEcx7CHvKLSru0/edit?usp=sharing)

### Referencias:

FIRGO y SAGARPA. (2010). *Diagnóstico General de la Situación Actual de los Sistemas de CDMX*.

Milenio Digital. (10 de septiembre de 2020). *Los gases de las vacas aportan más de lo pensado al cambio climático*. Obtenido de <https://www.milenio.com/estilo/gases-vacas-aportan-pensado-cambio-climatico>

<https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/408-la-acumulacion-de-estiercol-en-los-pastizales-ganaderos>

*DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR*, Susana Gómez, Universidad Carlos III de Madrid.

<https://core.ac.uk/download/pdf/30046846.pdf>

<https://books.google.com.mx/books?id=CV2mDwAAQBAJ&pg=PA83&dq=construcción+biodigestor&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjfio7wzsbsAhVQT6wKHem3BB8Q6wEwBXoECAUQAQ#v=onepage&q=construcción%20biodigestor&f=false>

<http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>

<http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/produccion%20sostenible/Curso%20biodigestores.pdf>