



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

TEMA:

**ESTUDIO Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA
RENOVABLE A TRAVÉS DEL PROCESAMIENTO DE RESIDUOS
SÓLIDOS ORGÁNICOS PARA APLICACIÓN EN LA U.C.S.G.**

AUTOR:

ARMAS CABRERA, JUAN PABLO

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO MECÁNICO

TUTOR:

Ing. Celso Bayardo Bohórquez Escobar, Mgs.

Guayaquil, Ecuador

25 de Agosto del 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr.
Armas Cabrera, Juan Pablo como requerimiento para la obtención del título
de **INGENIERO ELÉCTRICO MECÁNICO**.

TUTOR

Ing. Celso Bayardo Bohórquez Escobar, Mgs.

DIRECTOR DE CARRERA

Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando, Mgs.

Guayaquil, 25 de agosto del 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Armas Cabrera, Juan Pablo**

DECLARO QUE:

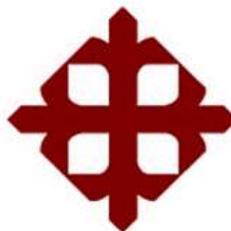
El trabajo de titulación “**Estudio y análisis de un sistema de producción de energía renovable a través del procesamiento de residuos sólidos orgánicos para aplicación en la U.C.S.G.**” previo a la obtención del Título de **Ingeniero Eléctrico Mecánico**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 25 de agosto del 2018

EL AUTOR

ARMAS CABRERA, JUAN PABLO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **Armas Cabrera, Juan Pablo**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **“Estudio y análisis de un sistema de producción de energía renovable a través del procesamiento de residuos sólidos orgánicos para aplicación en la U.C.S.G.”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 25 de agosto del 2018

EL AUTOR

ARMAS CABRERA, JUAN PABLO

REPORTE DE URKUND

Documento	Tesis JP.docx (D40762423)
Presentado	2018-08-07 10:23 (-05:00)
Presentado por	fernandopm23@hotmail.com
Recibido	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
Mensaje	Revisión TT Juan Armas Mostrar el mensaje completo

2% de estas 17 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes.

transformada por animales y personas como fuente de alimentación y otros beneficios para su subsistir. La característica principal de la biomasa como fuente de energía es su composición baja en carbono y azufre, y alta en oxígeno e hidrocarburos, lo cual produce un alto poder energético en su composición. Otra característica que afecta al poder calorífico de la biomasa es la humedad, por lo tanto resulta conveniente clasificar a la biomasa en dos grupos principales: Biomasa seca y Biomasa húmeda.

2.1.1. Tipos de Biomasa.

Figura 1. 11: Tipo de Biomasa. Fuente: CITATION Coo08 \l 3082 (Coordinación de Energías Renovables, 2008)

La biomasa Seca contiene una humedad hasta el 60%, de este tipo de orgánicos se puede aprovechar su energía a través de procesos termoquímicos como la combustión, gasificación o la licuefacción de los mismos. Un ejemplo de este tipo de biomasa son la madera seca, bagazo, leña, etc. La biomasa Húmeda tiene una humedad mayor al 60%. Este tipo de biomasa lo podemos encontrar en residuos vegetales y animales. Para obtener la energía necesitamos de un proceso químico como la descomposición o fermentación aeróbica o anaeróbica. Para efecto de este estudio, se analiza la descomposición anaeróbica la cual se produce generalmente por la fermentación de residuos o desechos animales y vegetales dentro de un biodigestor generando de esta forma el biogás. El residuo de esta fermentación es un compost orgánico que se puede utilizar como fertilizante agrícola por su alto contenido de nutrientes para suelos.

2.2. Biogás El biogás se obtiene por la digestión anaeróbica de la biomasa, lo que significa que se produce en circunstancias sin la presencia de oxígeno como en los fondos de los pantanos, lagunas, lagos o en vertederos generados por el hombre también llamado biodigestores. "La composición del biogás es principalmente el metano entre el 55-70%, el CO₂ entre 30-45% y el resto está conformado de nitrógeno, hidrógeno, oxígeno, y sulfuro de hidrógeno" 1 .

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado a la comunidad científica, social y ambientalista del Ecuador. Que este trabajo sea una semilla que aporte en sobremanera al cambio en la mentalidad sobre la energía en nuestro planeta. También está dedicado a las generaciones de ingenieros por venir, para que encuentren aquí un apoyo en el momento que decidan invertir sus conocimientos en ánimos de procurar y preservar el bien de nuestro planeta, y las vidas en él.

EL AUTOR

ARMAS CABRERA, JUAN PABLO

AGRADECIMIENTO

A Dios mi creador, que por su voluntad me encuentro donde estoy ahora, le agradezco infinitamente por haberme dado la oportunidad de probarme a mí mismo y al mundo que el conocimiento cuenta, que es poderoso y que debe usarse para el bien de las naciones.

Gracias a mis padres y a mi familia que con paciencia creyeron en mí todos estos años, me siento sinceramente convencido de que este logro no es solo mío, sino de todos.

Gracias a mi sueño, que no me dejó rendirme aun cuando pensé que no podría lograr culminar esta carrera.

Al ing. Celso Bayardo Bohórquez, quien desinteresadamente me ha ayudado y guiado a lo largo incluso desde antes de este arduo proceso de titulación, sus consejos dentro y fuera de la universidad han sido los mejores después de Dios y mis padres.

Y unas gracias especiales al Ing. Xavier Mendoza Arce, ya que sin su valiosa ayuda este trabajo no habría sido posible.

A todos ustedes por su apoyo, guía, buenos consejos y sobre todo por ayudarme a madurar y crecer personal y profesionalmente, les estoy eternamente agradecido.

Gracias totales.

EL AUTOR

ARMAS CABRERA, JUAN PABLO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS, Mgs.

DECANO

f. _____

Ing. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO, Mgs

DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

Ing. MARTILLO ASEFFE, JOSÉ

OPONENTE

Índice General

Índice de Figuras	XI
Índice de Tablas	XII
Resumen.....	XIII
Capítulo 1: Descripción General.....	2
1.1. Introducción.	2
1.2. Antecedentes.....	4
1.3. Definición del Problema.....	5
1.4. Justificación del Problema.	6
1.5. Objetivos del Problema de Investigación.	6
1.5.1 Objetivo General.....	6
1.5.2 Objetivos Específicos.	6
1.6. Hipótesis.....	7
1.7. Metodología de Investigación.	7
Capítulo 2: Fundamentación Teórica	8
2.1. Biomasa	8
2.1.1. Tipos de Biomasa.....	8
2.2. Biogás	9
2.2.1. Biogás en el Ecuador.....	9
2.2.2 Propiedades del biogas	10
2.2. Biodigestor	11
2.3.1 Característica de un Biodigestor.....	12
2.3.2 Tipo de Biodigestores.....	12
2.3.3 Funcionamiento y Esquema Operativo.....	21
2.3.4 Capacidad de Planta	23
2.3.5 Localización y diseño del biodigestor	24
2.3.6 Etapa de arranque	25
2.3.7 Etapa de operación	28
2.3.8 Mantenimiento	28
2.3. Generación de energía por combustión	31
2.4.1 Generador de Potencia Eléctrica	32
2.4.2 Componentes de un generador eléctrico.....	34
2.4.3 Sistemas de enfriamiento para generadores	36

CAPÍTULO 3: SIMULACION Y RESULTADOS OBTENIDOS.....	38
3.1. Estudio y levantamiento de la carga	38
3.2 Calculo de tamaño y capacidad del proyecto.....	43
3.3 Capacidad del generador eléctrico.....	44
3.4 Modelo y características del generador	44
3.5 Diseño del biodigestor	45
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	50
4.1. Conclusiones.....	50
4.2. Recomendaciones.....	51
Bibliografía	52
ANEXOS.....	67

Índice de Figuras

Capítulo 1:

Figura 1. 1: Tipo de Biomasa.....	8
-----------------------------------	---

Capítulo 2

Figura 2. 1: Modelo Biodigestor Chino.....	14
Figura 2. 2: Modelo Biodigestor Indiano	16
Figura 2. 3: Modelo Biodigestor Horizontal	17
Figura 2. 4: Modelo Biodigestor Batch	19
Figura 2. 5: Esquema etapa de arranque	26
Figura 2. 6: Etapa prueba de biogás.....	27
Figura 2. 7: Etapa de operación.....	28
Figura 2. 8: Caso de estudio.....	31
Figura 2. 9: Esquema generador	32
Figura 2. 10: Generador eléctrico	33
Figura 2. 11: Ilustracion de la ley de Faraday	34
Figura 2. 12: Componentes de un generador	35

Capítulo 3

Figura 3. 1 Esquema del biodigestor	47
Figura 3. 2 Esquema de la fosa del biodigestor.....	48
Figura 3. 3 Generador vista aérea	48
Figura 3. 4 Generador vista lateral.....	48

Índice de Tablas

Capítulo 2

Tabla 2. 1: Características del Biogás	11
Tabla 2. 2: Carga por combinación de estiércol.....	22
Tabla 2. 3: Mezclas recomendadas	23
Tabla 2. 4: Volumen de mezcla agua-estiercol	23

Capítulo 3

Tabla 3. 1: Definición y cuantificación de cargas	38
Tabla 3. 2: Potencia de las cargas.....	39
Tabla 3. 3: Acondicionadores de aire.....	39
Tabla 3. 4: Cargas eléctricas en el departamento de secretaria.....	40
Tabla 3. 5: Cargas eléctricas en el departamento coordinación académica 1.	40
Tabla 3. 6: Cargas eléctricas en el departamento coordinación académica 2.	40
Tabla 3. 7: Cargas en el departamento de apoyo docente.....	41
Tabla 3. 8: Cargas grupo 1 de oficinas.....	41
Tabla 3. 9: Cargas grupo 2 de oficinas.....	41
Tabla 3. 10: Cargas en decanato.....	42
Tabla 3. 11: Cargas sala de profesores y utilitarios.....	42
Tabla 3. 12: Cargas exteriores.....	42
Tabla 3. 13: Detalle de carga total.....	43
Tabla 3. 14 Catalogo de equipos biodigestores Ecuador.....	46
Tabla 3. 15 Medidas del generador	49

Resumen

El presente trabajo de titulación consistió en el análisis de la factibilidad de la instalación de un biodigestor que produzca suficiente biogás como para suministrar energía para aplicación en la universidad católica Santiago de Guayaquil.

Se analizó el diseño y la implementación para después concluir mediante una comparación con los sistemas actuales instalados si es factible instalar un biodigestor que utilice las descargas sanitarias de la facultad técnica para producir energía suficiente para alimentar el sistema eléctrico en baja tensión del edificio de administración de la facultad de educación técnica para el desarrollo de la U.C.S.G.

También se calculó las dimensiones de todos los equipos así como los espacios físicos para la instalación, para esto se investigó sobre materiales, modelos de equipos y se esquematizaron las conexiones eléctricas para la implementación del sistema nuevo ya que este trabajaría como un bypass en el sistema ya instalado.

Los cálculos de las cargas en el edificio determinarían la dimensión de los equipos ya que el cálculo de la capacidad de generación está relacionada directamente con este dato, finalmente, la conclusión de este trabajo será determinar si es factible esta implementación.

Palabras claves: Energía, biomasa, biodigestor, biogás, generación, generador.

Capítulo 1: Descripción General

1.1. Introducción.

En la naturaleza, existe un gran número de compuestos químicos que contribuyen a la destrucción de la capa de ozono y que son responsables del efecto de invernadero que ocurre en el planeta y que son directamente responsables del aumento de la temperatura promedio mundial, uno de ellos es el gas metano (CH_4) que es un hidrocarburo que se produce por el proceso cíclico en el que la biomasa se descompone en elementos químicos simples para el aprovechamiento de plantas y animales. Está comprobado que este gas es uno de los más potentes destructores de la capa de ozono ya que en comparación con el dióxido de carbono (CO_2), es alrededor de **veinte veces más dañino.**

Como es conocido, las industrias agropecuarias, principalmente las que se dedican a procesar carnes de animales como las ganaderías, las granjas avícolas, las granjas porcinas y también las procesadoras de alimentos procesados de origen vegetal producen millones de toneladas de gas metano sin refinar, las cuales no tienen un manejo integral y que por ende son liberadas al ambiente sin ningún control en su mayoría, haciendo un gran daño al medio ambiente y ocasionando grandes problemas que van desde contaminación de las aguas hasta problemas sanitarios y de control de infecciones y enfermedades.

Por otra parte, el ser humano aporta significativamente a este efecto contaminante ya que debido a su población en el planeta cada vez más elevada, su producción de desechos biológicos va aumentando en igual

proporción, y a pesar de que las ciudades donde vivimos tienen sistemas de alcantarillado sanitario y de disposición de desechos orgánicos, la mayor parte de las veces los desechos terminan siendo expuestos al aire libre liberando grandísimas cantidades de gas metano al ambiente, de manera que esto convierte al ser humano también en parte del problema.

Es por esto que en el mundo el manejo medioambiental ha sido materia de discusión cada vez más seria a través de los años, y cada vez con más frecuencia el discurso de las energías renovables ha tomado más importancia en la comunidad científica mundial. En el Ecuador no es distinto, ya que el gobierno de este país impulsa y promueve las energías limpias debido al ánimo de proteger su gran y rico ecosistema y su vasta biodiversidad; de manera que en años recientes se planteó como política de gobierno ir cambiando la matriz energética poco a poco para que cada vez más porcentaje de la energía usada por los ecuatorianos sea de origen renovable, para evitar contaminación masiva al ambiente por la producción de energía mediante combustibles fósiles.

Este trabajo pretende plantear una solución a pequeña escala a la problemática que se presenta no solo en el Ecuador sino a nivel mundial que se concentra en la búsqueda de fuentes de energía más amigables con el ecosistema y el medio ambiente y que ayuden a reducir el daño ocasionado a la capa de ozono. Principalmente consiste en un estudio y un análisis para utilizar materias primas de origen orgánico que tengan la capacidad de producir un compuesto orgánico llamado biogás refinado, el cual, de poder ser producido en los niveles necesarios, podría funcionar como un combustible viable para la producción constante de energía eléctrica, producida mediante

el uso de elementos y maquinas eléctrico – mecánicas y posteriormente analizar cuáles serían los usos y aplicaciones que se le podría dar a esta producción energética tomando en cuenta el sector donde este proyecto se lleve a cabo.

1.2. Antecedentes.

Desde hace millones de años, el biogás ha sido producto de un proceso natural hecho por los organismos vivos primitivos que habitaban el planeta tierra, es parte del ciclo natural en el que los seres vivos regresan a ser parte de la corteza terrestre y así siguió siendo por mucho tiempo hasta que en el año de 1886 se descubrió que el estiércol de vacas producía este gas en el momento de su descomposición ya que el metabolismo microbiano que se producía dentro del estiércol emanaba gases combustibles. Para 1895 la investigación sobre el biogás ya había llegado a los países más desarrollados de Europa.

En tiempos más actuales, tomando como referencia desde la década de 1970, la tecnología del biogás se ha venido desarrollando a pasos agigantados sobre todo en países superpoblados como china, donde en sus áreas rurales no tienen acceso a la red eléctrica publica ni tampoco cuentan con combustibles de uso doméstico, utilizando el biogás producido por los pozos sépticos, hoy en día más de 20 millones de habitantes en china producen energía con el biogás que producen sus viviendas.

Para mediados de los años 70, en países como la india, Alemania y Dinamarca ya habían grandes cantidades de plantas productoras de energía a base de biogás, ya que estos países estaban pasando por crisis energéticas

gracias a la alza en los precios de la electricidad. La primera planta de gas centralizada de biogás en Dinamarca fue inaugurada en el año de 1984 y fue construida en respuesta a la alza de los precios del petróleo a principios de los años 80.

En la actualidad existe una producción de desechos agropecuarios masiva por la producción de alimentos de consumo humano aparte de que la población mundial también aporta con sus desechos y esto hace que la implementación de plantas que produzcan electricidad a base de biogás sea cada vez más viable.

1.3. Definición del Problema.

La contaminación en el medio ambiente por gases como el metano es un peligro constante para la capa de ozono, ya que la destruye. A esto se debe el desarrollo de la tecnología del biogás para producir diversos tipos de energía, entre ellos la energía eléctrica que es la más utilizada en el mundo. El aprovechamiento de este combustible natural es algo beneficioso ya que además de evitar la contaminación serviría para compensar la demanda energética en hogares, industrias, etc.

Los biodigestores productores de gas metano refinado son equipos que permiten producir el combustible para una maquina electromecánica generadora de corriente y voltaje eléctricos de una manera segura, limpia y constante, de manera que la instalación de uno de estos permitiría aprovechar toda la biomasa disponible para la producción de energía eléctrica sustentable.

1.4. Justificación del Problema.

La captación de desechos sólidos orgánicos como ventaja tiene la particularidad de que se puede realizar en cualquier sitio de cualquier sector por lo que la implementación de uno de estos sistemas de producción de energía sería muy viable siempre y cuando la cantidad de materia prima para la emisión de gas metano sea la suficiente y también que se le dé un buen manejo a los residuos orgánicos de este equipo.

1.5. Objetivos del Problema de Investigación.

1.5.1 Objetivo General.

Elaborar un estudio sobre producción de energía renovable a través del biogás obtenido en un biodigestor que use la descarga sanitaria de la facultad técnica para posteriormente analizar la factibilidad y las aplicaciones en los sistemas eléctricos instalados en la facultad técnica de la U.C.S.G.

1.5.2 Objetivos Específicos.

- Estudiar sobre la producción de energía proveniente de la biomasa y determinar al biogás como un combustible viable para producir electricidad.
- Determinar un proceso para transformar el biogás a electricidad mediante elementos electro-mecánicos.
- Analizar la viabilidad técnica del proyecto y sugerir las aplicaciones de la energía producida en la facultad técnica de la U.C.S.G.
- Elaborar los esquemas de conexión para la implementación del proyecto en la facultad técnica de la U.C.S.G.

1.6. Hipótesis.

Es posible alimentar algún sistema eléctrico de la facultad técnica de la UCGS usando un sistema de producción de energía eléctrica en baja tensión que utilice como combustible el biogás producido por la descomposición que hacen las bacterias presentes en la biomasa contenida en un biodigestor que utiliza como materia prima las descargas de la batería sanitaria de la facultad técnica de la U.C.S.G.

1.7. Metodología de Investigación.

Este trabajo de titulación está realizado de manera descriptiva y analítica cualitativa de los resultados de la investigación, ya que en este documento se propone especificar si la implementación de un sistema de producción de energía a base de un biodigestor de biomasa es viable en la facultad técnica utilizando la descarga sanitaria de los edificios.

Se explicarán a detalle todos los procesos necesarios para la implementación del proyecto, empezando desde la fundamentación teórica de los materiales y todos los conceptos que se necesiten conocer para una ejecución exitosa del proyecto.

Por último se hará una explicación de las conclusiones utilizando el método de comparación y contraste, analizando las ventajas y desventajas de la propuesta con respecto al sistema que se plantea reemplazar.

Capítulo 2: Fundamentación Teórica

2.1. Biomasa

La biomasa es la principal fuente de energía que el hombre ha utilizado para diversos fines de beneficio propio. La biomasa produce energía mediante el proceso de fotosíntesis en las células de las plantas por la acción de la luz solar. Dicha energía es consumida y transformada por animales y personas como fuente de alimentación y otros beneficios para su subsistir.

La característica principal de la biomasa como fuente de energía es su composición baja en carbono y azufre, y alta en oxígeno e hidrocarburos, lo cual produce un alto poder energético en su composición. Otra característica que afecta al poder calorífico de la biomasa es la humedad, por lo tanto resulta conveniente clasificar a la biomasa en dos grupos principales: Biomasa seca y Biomasa húmeda.

2.1.1. Tipos de Biomasa.

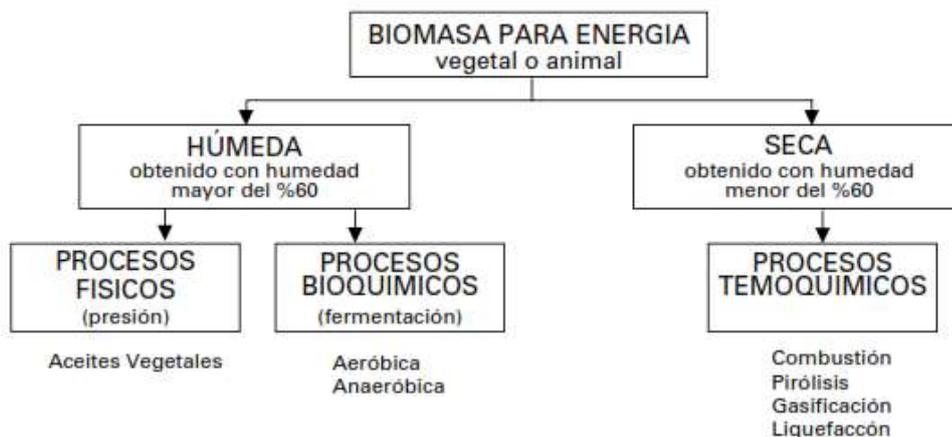


Figura 1. 1: Tipo de Biomasa.

Fuente: (Coordinación de Energías Renovables, 2008)

La biomasa Seca contiene una humedad hasta el 60%, de este tipo de orgánicos se puede aprovechar su energía a través de procesos

termoquímicos como la combustión, gasificación o la licuefacción de los mismos. Un ejemplo de este tipo de biomasa son la madera seca, bagazo, leña, etc.

La biomasa Húmeda tiene una humedad mayor al 60%. Este tipo de biomasa lo podemos encontrar en residuos vegetales y animales. Para obtener la energía necesitamos de un proceso químico como la descomposición o fermentación aeróbica o anaeróbica. Para efecto de este estudio, se analiza la descomposición anaeróbica la cual se produce generalmente por la fermentación de residuos o desechos animales y vegetales dentro de un biodigestor generando de esta forma el biogás. El residuo de esta fermentación es un compost orgánico que se puede utilizar como fertilizante agrícola por su alto contenido de nutrientes para suelos.

2.2. Biogás

El biogás se obtiene por la digestión anaeróbica de la biomasa, lo que significa que se produce en circunstancias sin la presencia de oxígeno como en los fondos de los pantanos, lagunas, lagos o en vertederos generados por el hombre también llamados biodigestores. “La composición del biogás es principalmente el metano entre el 55-70%, el CO₂ entre 30-45% y el resto está conformado de nitrógeno, hidrógeno, oxígeno, y sulfuro de hidrógeno”¹.

2.2.1. Biogás en el Ecuador

El biogás en el Ecuador es una práctica que ya lleva varios años en uso. Al principio, se pensó en el biogás como una solución a la contaminación

¹ (Dublein & Steinhäuser, 2008)

en el Ecuador porque principalmente una de sus actividades principales es la explotación y producción agropecuaria, sobre todo la ganadería, producción de lácteos, y producción agrícola de ciclo corto como el maíz y el arroz, actividades que producen mucho desperdicio orgánico y que puede ser una buena materia prima para un biodigestor.

Aparte, dentro de la legislación ecuatoriana, las regulaciones medioambientales exigen a los productores agroindustriales dar tratamiento a los desperdicios que producen sus actividades por lo que en el Ecuador la producción del biogás ha estado creciendo desde hace ya varios años.

A pesar de que no es una práctica muy común, hoy en día hay proyectos que proponen hacer crecer las industrias no solo en reducción de costos sino en disminución de contaminación de manera de que aplicar técnicas para aprovechar todos estos componentes y de esta manera existen varias empresas que se dedican a desarrollar sistemas cada vez más eficientes y cada vez más productivos en términos de aprovechamiento de materia orgánica como Biodigestores Ecuador.

2.2.2 Propiedades del biogas

El biogás está compuesto en su mayoría por gas metano y dióxido de carbono, la cantidad extraída depende mucho de la materia digerida y de la tecnología utilizada para extraer los mismos. En la

Tabla 2. 1 se presenta las características del biogás.

Tabla 2. 1: Características del Biogás

Composition	55–70% methane (CH₄) 30–45% carbon dioxide (CO₂) Traces of other gases
Energy content	6.0–6.5 kWh m ⁻³
Fuel equivalent	0.60–0.65 L oil/m ³ biogas
Explosion limits	6–12% biogas in air
Ignition temperature	650–750 °C (with the above-mentioned methane content)
Critical pressure	75–89 bar
Critical temperature	–82.5 °C
Normal density	1.2 kg m ⁻³
Smell	Bad eggs (the smell of desulfurized biogas is hardly noticeable)
Molar Mass	16.043 kg kmol ⁻¹

Fuente: (Dublein & Steinhauser, 2008)

2.2. Biodigestor

Un biodigestor básicamente consiste en un depósito cerrado, donde se introducen los residuos orgánicos mezclados con agua para ser digeridos por microorganismos². El biogás producido por la fermentación se puede almacenar en este mismo depósito en la parte superior del digestor, llamada domo o campana de gas. Esta campana de almacenamiento puede ser rígida o flotante. En algunos casos, está separada del digestor y se le llama gasómetro. Este gasómetro es una campana invertida, sumergida en un tanque de agua, que además de almacenar el gas, ejerce presión sobre el gas para el consumo.

² (Ministerio de Energía Gobierno de Chile, 2011)

Los digestores se pueden construir enterrados o sobre el suelo, utilizando diferentes materiales de construcción, como por ejemplo, ladrillos o vaciado de cemento. La campana puede ser metálica, de madera recubierta de plástico o de ferrocemento. La carga y descarga de los residuos puede ser por gravedad o bombeo.

2.3.1 Característica de un Biodigestor

Para que un digestor de residuos orgánicos opere en forma correcta, deberá reunir las siguientes características:

- a) Ser hermético con el fin de evitar la entrada de aire, el que interfiere con la digestión anaeróbica y a la vez, impedir las fugas del biogás producido.
- b) Estar térmicamente aislado para evitar cambios bruscos de temperatura, lo que usualmente se consigue construyéndolos enterrados.
- c) Aun no siendo en recipiente de alta presión, el contenedor primario de gas deberá contar con una válvula de seguridad.
- d) Contar con medios para efectuar la carga y descarga del sistema.
- e) Tener acceso para el mantenimiento.
- f) Contar con un medio para romper las natas o costras que se forman.

2.3.2 Tipo de Biodigestores

Los biodigestores varían ampliamente de acuerdo con su complejidad y utilización. Los más sencillos caen dentro de la clasificación de digestores discontinuos o de cargas por lotes y los más complejos se caracterizan por poseer dispositivos que permiten alimentarlos, proporcionándoles calefacción

y agitación. Resulta conveniente clasificarlos según su modo de operación con relación a su alimentación o carga en los siguientes tipos:

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

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

Discontinuos o régimen estacionario: Los digestores se cargan con las materias primas en una sola carga o lote. Después de un cierto período de fermentación, cuando el contenido de materias primas disminuye y el

rendimiento de biogás decae a un bajo nivel, se vacían los digestores por completo y se alimentan de nuevo dando inicio a un nuevo proceso de fermentación. Esto se conoce también como digestores Batch o Batelada.

Modelo Chino: Los digestores de este tipo son tanques cilíndricos con el techo y el piso en forma de domo y se construyen totalmente enterrados³. Al iniciar el proceso, el digestor se llena con residuos agrícolas compostados mezclados con lodos activos de otro digestor, a través de la cubierta superior, que es removible. Una vez cargado así, es alimentado diariamente con los residuos que se encuentren disponibles, provenientes de la letrina y de los animales domésticos, a través del tubo de carga el cual llega a la parte media del digestor.

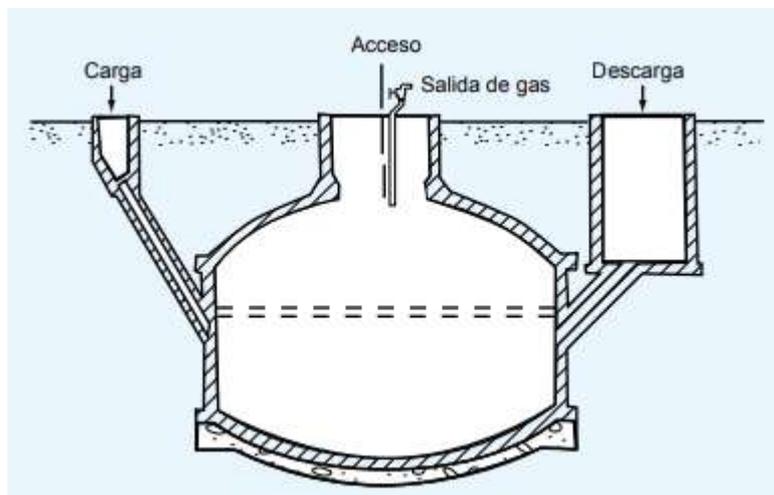


Figura 2. 1: Modelo Biodigestor Chino

Fuente: **(Ministerio de Energía Gobierno de Chile, 2011)**

En este tipo de digestores no existe gasómetro, almacenándose el biogás dentro del sistema. A medida que aumenta el volumen del gas almacenado en el domo del digestor, aumenta su presión forzando al líquido,

³ (Ministerio de Energía Gobierno de Chile, 2011)

en los tubos de entrada y salida a subir y llegándose a alcanzar presiones de 99 hasta 100 cm de columna de agua. Se generan entre 0.15 y 0.20 volúmenes de gas por volumen de digestor/día. Como consecuencia de la variación de presión, la que aumenta al generarse el gas y disminuye al consumirse éste, se reduce la eficiencia en los equipos consumidores. Periódicamente se extrae una parte del líquido en fermentación a través del tubo de salida, mediante una cubeta y una o dos veces al año el digestor se vacía completamente aplicando el residuo (sólido) a los campos de cultivo. A pesar que el digestor chino es poco eficiente para generar biogás, es excelente en la producción de bioabono, ya que los tiempos de retención son en general largos y además se tiene gran cantidad de este material cuando se necesita para mezclar con el suelo antes de la siembra. Los tiempos de retención de operación para los biodigestores tipo chino son de 30 a 60 días, requiriéndose para alcanzar la misma eficiencia (máximo 50% de reducción de la materia orgánica) de 1/2 a 1/3 de este tiempo de retención en los biodigestores tipo hindú.

Modelo Indiano: Estos digestores en general son enterrados y verticales, semejando a un pozo. Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación⁴. El gasómetro está integrado al sistema, o sea que, en la parte superior del pozo flota una campana donde se almacena el gas. De esta forma, la presión del gas sobre la superficie de la

⁴ (Ministerio de Energia Gobierno de Chile, 2011)

mezcla es muy baja, de alrededor de 30 cm de columna de agua. Con esta campaña se logra, además, una presión constante, lo que permite una operación eficiente de los equipos a los que alimenta. La campana también ayuda al rompimiento de la espuma que se forma en muchos biodigestores.

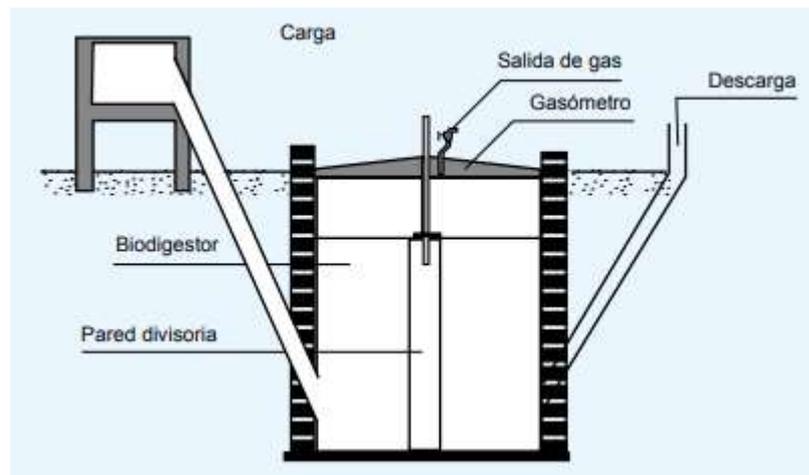


Figura 2. 2: Modelo Biodigestor Indiano
Fuente: **(Ministerio de Energía Gobierno de Chile, 2011)**

La entrada de la carga diaria por gravedad hasta el fondo del pozo, además de producir agitación, provoca la salida de un volumen equivalente de lodos digeridos, desde la superficie o desde el fondo, según el diseño del sistema, los que se hacen fluir hasta una pileta para su aplicación a los cultivos. Para aumentar la retención de la materia prima, posee un tabique central. En este caso, los materiales usados son preferentemente excretas, las que deben estar bien diluidas y mezcladas homogéneamente. Este tipo de digestor presenta una buena eficiencia de producción de biogás, generándose entre 0.5 y 1,0 volumen de gas por volumen de digestor por día.

Biodigestores Horizontales: Estos digestores se construyen generalmente enterrados, son poco profundos y alargados, semejando un canal, con relaciones de largo a ancho de 5:1 hasta 8:1 y sección transversal circular, cuadrada o en “V”. Se operan a régimen semi continuo, entrando la carga por un extremo del digestor y saliendo los lodos por el extremo opuesto. La cúpula puede ser rígida o de algún material flexible que no presente fugas de gas y que resista las condiciones de la intemperie. Este tipo de digestores se recomiendan cuando se requiere trabajar con volúmenes mayores de 15 m³, para los cuales, la excavación de un pozo vertical comienza a resultar muy problemática.

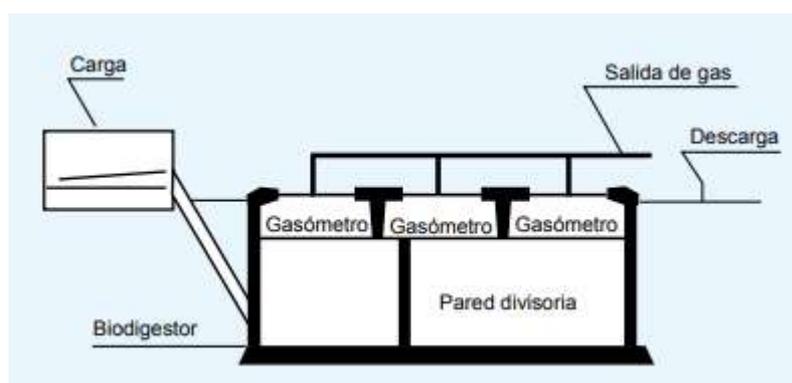


Figura 2. 3: Modelo Biodigestor Horizontal
Fuente: (Ministerio de Energía Gobierno de Chile, 2011)

Digestor Batch: (discontinuo o régimen estacionario). Este tipo consiste en una batería de tanques o depósitos herméticos (digestores) con una salida de gas conectada con un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás⁵. El objetivo de disponer de más un digestor es tener siempre uno de ellos en carga o en descarga, mientras el resto se encuentra en producción de biogás. La alimentación o carga del digestor con la materia prima, sólida, seca, se realiza por lotes (discontinuamente) y la carga de los residuos estabilizados

⁵ (Ministerio de Energía Gobierno de Chile, 2011)

se efectúa una vez que ha finalizado la producción de biogás. Este sistema discontinuo es aplicable en situaciones particulares, como sería la de materias primas que presentan problemas de manejo en un sistema semi-continuo y continuo, o materiales difíciles de digerir metano génicamente o cuando las materias primas a procesar, están disponibles en forma intermitente, como es el caso de los rastrojos de cosecha. Está destinado a pequeñas y grandes explotaciones agropecuarias, su uso a escala doméstica es poco práctico.

Ventajas del digestor discontinuo:

- a) Ocupa menor volumen de digestor por volumen de biogás producido, debido a la alta concentración de materia seca en el sustrato (40 – 60%).
- b) Ocupa de 60 – 80% menos de agua que los digestores continuos y semi continuos.
- c) No forma costra ni necesita agitación diaria.
- d) No sufre cambios de temperaturas violentos.
- e) Ocupa menos mano de obra, ya que no necesita carga diaria, sino cada 2 o 3 meses para carga y descarga. Durante el resto del tiempo, basta amontonar el material a usar.
- f) La mayor parte del bioabono se obtiene en forma sólida, siendo más fácil de esparcir en la preparación de suelos.
- g) La corrosión de las tapas de los digestores es menor, debido a que éstas están insertas en un sello de agua.
- h) No requiere de cuidados especiales que pueda causar accidentes en la fermentación anaeróbica.

- i) Se puede construir sobre el suelo o semi enterrado. Es ideal para localidades de nivel freático superficial o terreno en rocas.

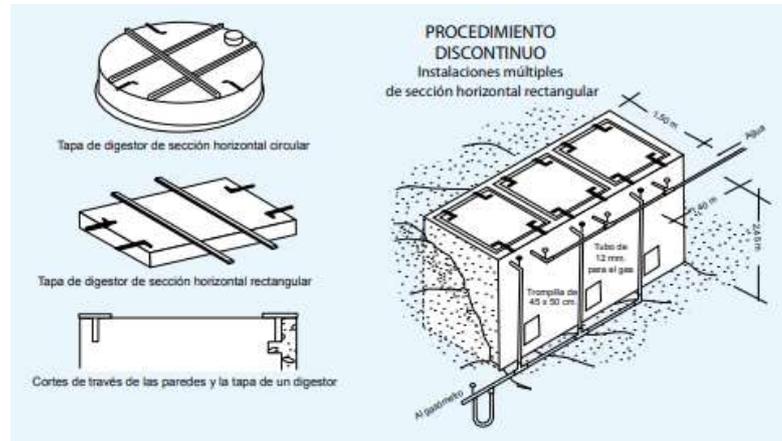


Figura 2. 4: Modelo Biodigestor Batch
Fuente: (Ministerio de Energía Gobierno de Chile, 2011)

Consideraciones de construcción y estimación de costos. La Tecnología del Biogás presenta características propias que hacen su análisis complejo, pues no sólo interviene el aspecto energético, también un importante impacto de difícil evaluación en conservación del medio ambiente, mejoramiento de suelos, alimentación de animales y en general mejoramiento de las condiciones de vida. Existen factores que se deben tener en cuenta al realizar la evaluación económica de la implementación de ésta tecnología, pues pueden resultar limitantes en muchos lugares⁶. Estos son:

- Recolección de las materias primas, transporte y acondicionamiento.
- Almacenamiento del biogás, transporte y uso • Almacenamiento del efluente, transporte y uso.

⁶ (Ministerio de Energía Gobierno de Chile, 2011)

En cuanto al lugar, la elección del sitio donde se ubicara el digestor es de gran importancia pues incidirá en el éxito o fracaso de la operación del sistema.

Hay que tener en cuenta las siguientes premisas para escoger el lugar adecuado:

- a) Debe estar cerca del lugar donde se consumirá el gas, pues las tuberías son caras y las presiones obtenibles no permiten el transporte a distancias mayores de 30 metros.
- b) Se debe encontrar cerca del lugar donde se recogen los desperdicios para evitar el acarreo que tarde o temprano atentará contra una operación correcta del biodigestor, e implicara mayores costos.
- c) Debe estar en un lugar cercano al de almacenamiento del efluente y con una pendiente adecuada para facilitar el transporte y salida del mismo.
- d) Debe estar a por lo menos 10 – 15 metros de cualquier fuente de agua para evitar posibles contaminaciones.
- e) Debe ubicarse preferentemente protegido de vientos fríos y donde se mantenga relativamente estable la temperatura, tratando de que reciba el máximo de energía solar.

En cuanto al tipo de biodigestor, esta decisión debe tomarse teniendo en cuenta algunos criterios tales como:

- a) Inversión que se está dispuesto a realizar.
- b) Energía que se quiere obtener.
- c) La biomasa con que se cuenta para alimentar el digestor.
- d) El tamaño requerido del digestor.

- e) Las características del lugar en cuanto a profundidad del nivel freático o mantos rocosos.

2.3.3 Funcionamiento y Esquema Operativo

El diseño de una planta de biogás dependerá de la cantidad y del tipo de residuos disponibles en el medio rural, de las condiciones de clima, necesidades de biogás que se requiere, ubicación, materiales y técnicas de construcción de que se disponga en cada sitio. Con el objeto de minimizar los costos de la planta, ésta deberá ser adecuada a cada necesidad, construida hasta donde sea posible con materiales y mano de obra locales. Antes de proceder al diseño de una planta de biogás para el medio rural, es necesario estimar el potencial de producción de biogás, para definir su factibilidad considerando la forma de manejo del ganado y por lo tanto cual es la cantidad mínima de residuos que permita producir el biogás requerido para cubrir las necesidades planteadas.

Necesidades de biogás para una familia compuesta por 5 personas.

Cocinar (5 horas).....	0.30 * 5.....	1.50 m3 /día
3 lámparas (3 horas).....	0.15 * 3 * 3.....	1.35 m3 /día
1 refrigerador medio.....	2.20 * 1.....	2.20 m3 /día
	Total.....	5.05 m3 /día

Para cubrir estas necesidades se requiere disponer de un determinado número de animales.

Cálculos de cargas en función de materias primas

- Si se tienen bovinos: 13 animales, o sea, 127 kg estiércol/día.
- Si se tienen porcinos: 39 animales, o sea, 85 kg estiércol/día.
- Si se tienen aves: 365 animales, o sea, 65 kg estiércol/día.

Otra posibilidad es establecer una combinación de estiércoles, como por ejemplo:

Tabla 2. 2: Carga por combinación de estiércol

Número animales	kg estiércol/día	Biogás m ³ /día
2 bovinos	20	0.80
20 porcinos	45	2.40
250 aves	45	2.50
Total	110 kg/día	5.70 m ³ /día

Fuente: (Ministerio de Energía Gobierno de Chile, 2011)

Si resulta favorable la comparación entre las necesidades de biogás y el potencial de generación, se puede proceder al cálculo de la planta. Se debe tener en cuenta que estos materiales se incorporan al biodigestor diluidos en agua. Cantidad de agua a agregar dependerá de la cantidad de sólidos totales de las excretas frescas y del tipo de carga, es decir, si se opera con cargas diarias (semi continuas) o con sistemas estacionarios (discontinuos o batch). Cuando se utilizan biodigestores rurales pequeños de carga semi continua, en forma práctica se recomiendan las siguientes mezclas:

Tabla 2. 3: Mezclas recomendadas

Tipo animal	Estiércol: agua
Bovino	1:1
Porcino	1:3
Aves	1:3

Fuente: (Ministerio de Energía Gobierno de Chile, 2011)

El tamaño del digester está en función de las cargas diarias y del periodo óptimo de fermentación. Este último parámetro dependerá de la temperatura media de cada región, así como de las variaciones de temperaturas diarias y estacionales.

2.3.4 Capacidad de Planta

Suponiendo que se tiene un potencial de biogás de 5.70 m³ /día, generado por la combinación de estiércoles que dan un total de 120 kg/día, se debe calcular el volumen de la mezcla de agua - estiércol. Para el ejemplo propuesto, se tiene:

Tabla 2. 4: Volumen de mezcla agua-estiércol

Animal	Kg estiércol + litros de agua	Mezcla litros/día
Bovinos	20 + 20	40
Porcinos	45 + 135	180
Aves	45 + 135	180
	Total mezcla	400 l/día

Fuente: (Ministerio de Energia Gobierno de Chile, 2011)

Considerando un tiempo de residencia de 35 días y que el volumen diario de la mezcla es de 400 litros, se tiene:

$$\text{Volumen diario} * \text{Tiempo de residencia} = \text{Volumen digester}$$

$$400 \text{ l/día} * 35 \text{ días} = 14000 \text{ litros Volumen digester} = 14 \text{ m}^3$$

2.3.5 Localización y diseño del biodigester

Una decisión importante es la elección del lugar donde se construya una planta de biogás. Para determinar estos sitios se deben tomar en cuenta ciertos factores:

- Materia prima accesible y agua requerida suficiente para efectuar la carga diaria en el caso de digestores semi-continuo.
- Cercanía del lugar de uso del biogás.
- Facilidad para el empleo del bioabono o su almacenamiento en caso de ser necesario.
- Topografía del sitio, así como las características del suelo y los niveles de las aguas subterráneas

Como se mencionó anteriormente existen varios diseños de digestores. Un factor decisivo en la elección del diseño, además de los mencionados en la elección del lugar, es la temperatura promedio mensual atmosférica y el tipo de invierno. La velocidad de biodegradación de los residuos así como la producción de biogás, dependen en gran medida de las características de la materia prima, del tiempo de retención, del porcentaje de sólidos totales y de la temperatura a la cual se lleva a cabo el proceso. En el caso específico del medio rural, la disponibilidad de residuos agropecuarios y el rango promedio de temperatura atmosférica dentro de los límites aceptables para la actividad de las metanobacterias, serán factores determinantes para definir áreas con posibilidades de implementar la tecnología del biogás.

2.3.6 Etapa de arranque

En el caso de un proceso de carga continua, realizada en un solo depósito de digestión, correspondería a una fermentación de una sola etapa. La producción del biogás, comienza después de cierto periodo (Tiempo de

Retención Hidráulica) a partir de una carga inicial, en función del tipo de las materias primas y de la temperatura interna de funcionamiento del biodigestor.

Las diferentes etapas para una correcta operación del biodigestor se pueden agrupar en:

- a) Retiro del agua utilizada para la prueba de filtraciones. Una vez finalizada la prueba con agua para comprobar que existen filtraciones en el biodigestor, se debe retirar parte del agua, dejando sólo 1/3 de la altura del digestor. Esta agua que se deja, tiene por finalidad contribuir a diluir las materias orgánicas seleccionadas, con que se cargará el digestor en la fase de carga inicial
- b) Preparación de la Carga Inicial o primera carga. Este proceso se caracteriza por el llenado completo del digestor, a través de la parte superior del digestor que es removible, es decir, sin el depósito de almacenamiento de biogás. En tambores limpios de cualquier producto químico o combustible, se prepara una mezcla, en partes iguales de residuos animales y/o humanos con residuos vegetales, como pajas, tallos, previamente trozados. Es necesario incorporar esta carga de materias orgánicas diluida con agua. La proporción final de sólidos totales debe estar cercana al 10%.
- c) Término de la primera carga. Antes de colocar la campana de gas, se debe remover la costra (material fluctuante) que suele formarse en la superficie. Antes de colocar la campana de gas, se debe remover la costra (material fluctuante) que suele formarse en la superficie.

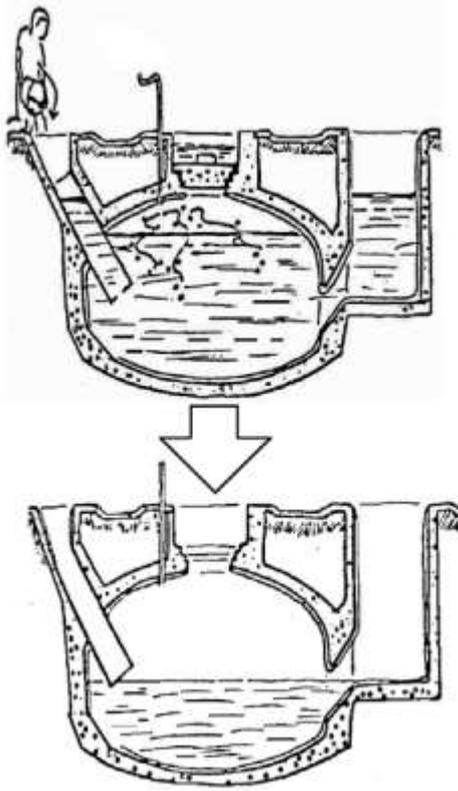


Figura 2. 5: Esquema etapa de arranque
Fuente: (Ministerio de Energía Gobierno de Chile, 2011)

Dejar abierto conexión a salida de gas, durante 5 a 7 días, con el objeto de eliminar todo el oxígeno que pueda existir como producto de las primeras fases del proceso de descomposición de las materias orgánicas. Posteriormente cerrar y dejar que se eleve la presión interna y soltar el gas. Repetir esta operación hasta completar 10 – 15 días, con lo cual se elimina todo el oxígeno remanente, junto con el anhídrido carbónico (CO₂) que se genera en las primeras fases del proceso de fermentación previas a la etapa de formación de metano (CH₄).

- d) Pruebas Inicio producción de biogás. Transcurridos 15 días de la carga inicial o de arranque, se debe comenzar a verificar el inicio de producción de biogás (CO₂ y CH₄ en proporción similar), mediante la

verificación de “quema de biogás”. Se acopla una manguera a la salida de gas y utilizando un quemador o mechero, se prueba si el gas se enciende. Si el gas quema con una llama azulada y de buena consistencia, se puede iniciar el uso normal del biogás.

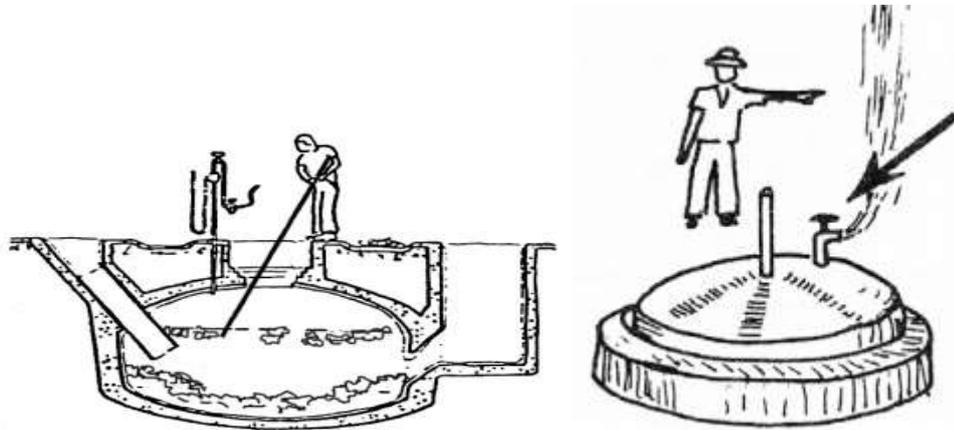


Figura 2. 6: Etapa prueba de biogás
Fuente: **(Ministerio de Energía Gobierno de Chile, 2011)**

En caso contrario, si no enciende o quema mal, se debe eliminar todo el gas y repetir la prueba cada vez que se alcance una presión interna adecuada. Si después de 30 días (o 45 días, de acuerdo a la temperatura interna del digestor) de completada la carga de arranque, el gas que se genera, no se quema, podría existir algún problema en la fermentación. Se debe verificar que no exista una acidificación excesiva del carga (inferior a pH 6) o variaciones bruscas de la temperatura interna del digestor, materiales contaminados con productos químicos que pudieran alterar la actividad microbiana.

2.3.7 Etapa de operación

Con el tubo de entrada tapado de la caja de carga, se prepara una mezcla de residuos (animales) con agua formando un lodo, el cual, debe

contener como máximo entre 8 a 12% de sólidos totales. El volumen total de esta mezcla está en función del volumen total del digestor y del Tiempo de Retención Hidráulico. Se coloca un plástico transparente encima de la caja de carga y deja reposar esta mezcla hasta el día siguiente; donde se espera la hora de mayor temperatura atmosférica, se retira el material fluctuante, se homogeniza la mezcla y se deja entrar al digestor El volumen (afluente) que entra, conlleva a que salga por el tubo de la caja de descarga igual volumen (efluente).

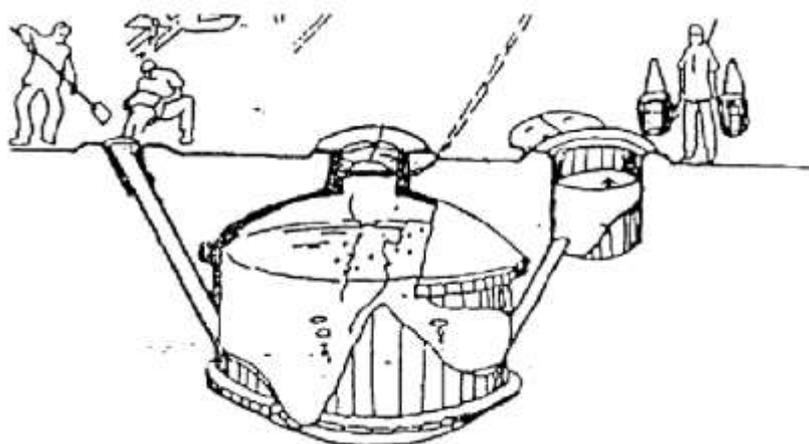


Figura 2. 7: Etapa de operación
Fuente: **(Ministerio de Energía Gobierno de Chile, 2011)**

2.3.8 Mantención

Periódicamente se debe inspeccionar y verificar si existen filtraciones de agua o aire en los digestores de biogás, para proceder a su reparación. En los digestores de carga continua, por lo menos una vez al año, se debe vaciar completamente el digestor, retirando el lodo del fondo. Esto permite realizar lo siguiente:

- a) Tratamiento de roturas: cincelar las roturas en forma de V, raspar la superficie circundante; posteriormente llenar ese agujero en forma de

V con cemento (1:1), compactar y aplicar dos o tres veces un enlucido hecho de una pasta de cemento puro.

- b) Cuando no se encuentran filtraciones, se debe lavar la cámara de fermentación y aplicar dos o tres capas de enlucido con una pasta pura de cemento.
- c) Si el enlucido está deteriorado o está deformado, es necesario sacarlo y lavar las paredes; entonces volver a enlucir, aplicando una tras otra, distintas capas de enlucido muy fino con una cuidadosa compactación.
- d) Cuando el agua freática penetra al biodigestor, es preciso aplicar una pasta salada con agua; se tapa el hoyo y se aprieta aplicando cemento con una cubierta de cenizas durante 20 minutos y entonces se remueve la cubierta. El cemento del enlucido con material salado se vuelve a aplicar, se vuelve a apretar con la envoltura y se repite este proceso tres veces.
- e) Cuando se produce una combinación de filtraciones en caños (tubos de entrada y salida) y cúpula, se cincela alrededor de la filtración y se saca el caño; entonces se vuelve a colocar cemento u hormigón de gravilla, haciendo fraguar localmente para que se fije el caño.
- f) Si el fondo se hunde o la pared se separa, se agrandará la resquebrajadura y se profundizará al máximo, rellenándose con una mezcla de hormigón con grava fina.
- g) Se debe revisar frecuentemente las juntas de la manguera para asegurar que no se filtre ni el agua ni el aire.

- h) Después del trabajo diario, se debe lavar el depósito donde se preparan las mezclas de materia primas con agua limpia.
- i) Si el depósito de descarga permanece sin uso por un período largo, se debe exponer al ambiente para evitar su corrosión interna.

Caso de estudio

Explotación agropecuaria que dispone de 10 bovinos.

Capacidad de la planta de gas:

$$100 \text{ kg de estiércol} + 100 \text{ litros de agua} = 200 \text{ litros mezcla/día}$$

$$\text{Volumen diario} * \text{Tiempo de retención} = \text{Volumen digestor}$$

$$200 \text{ litros} * 40 \text{ días} = 8000 \text{ litros}$$

$$\text{Volumen digestor} = 8 \text{ m}^3$$

$$100 \text{ kg de estiércol} + 100 \text{ litros de agua}$$

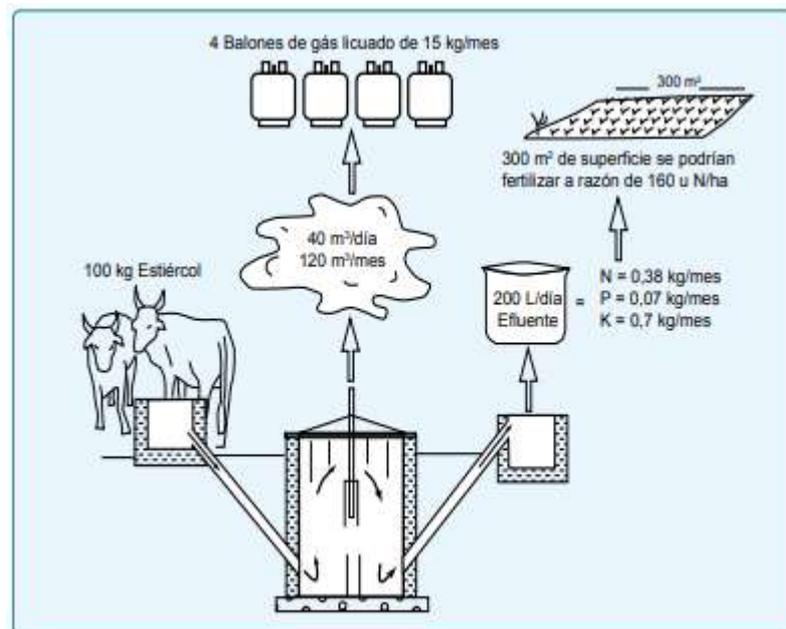


Figura 2. 8: Caso de estudio

Fuente: **(Ministerio de Energía Gobierno de Chile, 2011)**

2.3. Generación de energía por combustión

Las centrales de tipo combustión interna cuentan con motores de combustión interna donde se aprovecha la expansión de los gases de combustión para obtener la energía de combustión para obtener la energía mecánica, que es transformada en energía eléctrica en el generador.

Las centrales de combustión interna, utilizan generalmente diesel como combustible pero hay casos donde se emplean una mezcla de combustóleo y diesel.

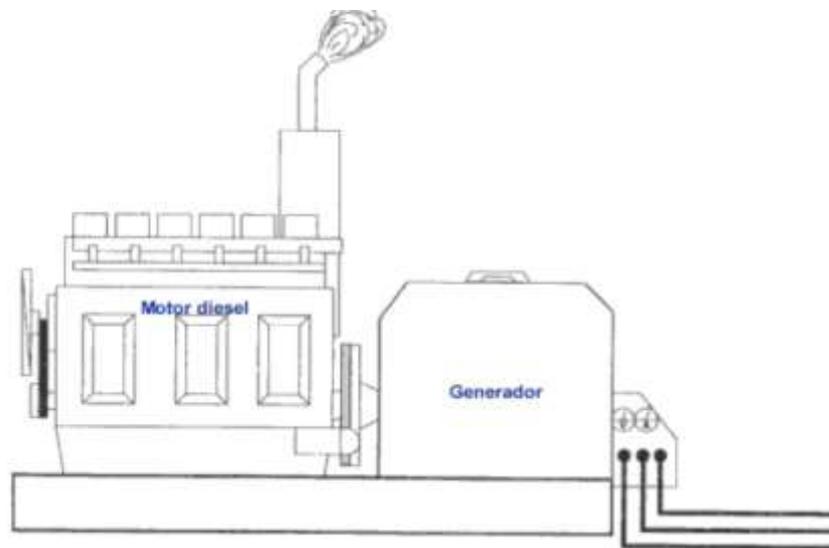


Figura 2. 9: Esquema generador
Fuente: (Gomez Quiñones)

2.4.1 Generador de Potencia Eléctrica

Un generador es una máquina eléctrica rotativa que transforma energía mecánica en energía eléctrica. Lo consigue gracias a la interacción de los dos elementos principales que lo componen: la parte móvil llamada rotor, y la parte estática que se denomina estator.

Cuando un generador eléctrico está en funcionamiento, una de las dos partes genera un flujo magnético (actúa como inductor) para que el otro lo transforme en electricidad (actúa como inducido).



Figura 2. 10: Generador eléctrico
Fuente: **(Fundación Endesa)**

Principio de funcionamiento de un generador eléctrico: Ley de Faraday
Esta ley nos dice que el voltaje inducido en un circuito es directamente proporcional al cambio del flujo magnético en un conductor o espira. El principio de funcionamiento de los generadores se basa en el fenómeno de inducción electromagnética.

La Ley de Faraday. Esta ley nos dice que el voltaje inducido en un circuito es directamente proporcional al cambio del flujo magnético en un conductor o espira. Esto quiere decir que si tenemos un campo magnético generando un flujo magnético, necesitamos una espira por donde circule una corriente para conseguir que se genera la f.e.m. (fuerza electromotriz).

Este descubrimiento, realizado en el año 1830 por Michael Faraday, permitió un año después la creación del disco de Faraday. El disco de Faraday

consiste en un imán en forma de U, con un disco de cobre de doce pulgadas de diámetro y 1/5 de pulgas de espesor en medio colocado sobre un eje, que está girando, dentro de un potente electroimán. Al colocar una banda conductora rozando el exterior del disco y otra banda sobre el eje, comprobó con un galvanómetro que se producía electricidad mediante imanes permanentes. Fue el comienzo de las modernas dinamos, es decir, generadores eléctricos que funcionan por medio de un campo magnético. Era muy poco eficiente y no tenía ningún uso como fuente de energía práctica, pero demostró la posibilidad de generar electricidad usando magnetismo y abrió la puerta a los conmutadores, dinamos de corriente continua y finalmente a los alternadores de corriente.

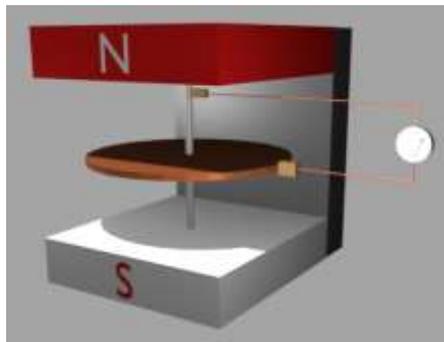


Figura 2. 11: Ilustración de la ley de Faraday
Fuente: **(Fundación Endesa)**

2.4.2 Componentes de un generador eléctrico

Motor. Es el corazón del generador, no hay nada más importante, es su fuerza mecánica inicial y sin él no podría dar energía eléctrica.

Alternador. Este componente es el encargado de la producción en la salida de energía eléctrica. Además es el que dosifica la entrada mecánica de los generadores eléctricos. Un alternador está formado por:

Estátor: es la parte fija exterior de la máquina. Allí se encuentran las bobinas que, inducidas, producen la corriente eléctrica. Este estator va colocado sobre una carcasa metálica que le sirve como soporte.

Rotor: es el componente móvil que gira dentro del estator y provoca un campo magnético inductor que genera el anterior bobinado inducido.

Sistema de combustible. Este sistema depende del modelo de generador eléctrico ya que éste determina su capacidad, no obstante, la media de autonomía es de 6 a 8 horas.

Regulador de voltaje. Este es un elemento principal que transforma el voltaje CA en CC.

Sistema de enfriamiento y escape. Es el encargado de vigilar que el generador no se sobrecaliente, es empleado mayormente como vía al exterior, de ahí que estos equipos deban colocarse en lugares ventilados.

Sistema de lubricación. Que el generador tenga una buena lubricación garantiza su fluidez y durabilidad en las actividades que debe realizar. Por ello, es importante mantenerlo a punto.

Todas las piezas del generador trabajan en una sinergia perfecta para brindarte esa energía eléctrica que necesitas. Esta es la razón principal para mantener estos aparatos en un lugar adecuado y cuidar de su funcionamiento diario.



Figura 2. 12: Componentes de un generador
Fuente: **(Fundación Endesa)**

2.4.3 Sistemas de enfriamiento para generadores

Los tipos de enfriamiento normalmente usados en los generadores de corriente alterna son los de aire enfriado, aire-agua con cambiador de calor y el de gasto de agua con cambiador de calor.

a) El método de aire enfriado

Los generadores que usan este método de enfriamiento, toman el aire del exterior a la temperatura ambiente como medio de enfriamiento, el aire se circula a través del estator y el rotor por medio de impulsores en ambos extremos del rotor. El aire caliente se extrae por la parte de atrás del generador para completar el ciclo, es decir, circula una sola vez.

b) Cambiador de calor aire-aire

Un generador con un intercambiador de calor aire-aire es diferente de uno del tipo con enfriamiento natural, debido a que el intercambiador de calor constantemente recircula el mismo aire a través del estator, este método tiene además la ventaja de que conserva limpios los aislamientos, ya que el aire se cambia constantemente y con esto se elimina la necesidad de los filtros de aire en el sistema.

c) Cambiador de calor aire-agua

Un generador con un cambiador de calor aire-agua es diferente del que usa cambiador de calor aire-aire. en que el calor que viene del rotor y el estator se circula a través de un enfriador que consiste de un cierto número de tubos de cobre con perforaciones de circulación alrededor del diámetro exterior de

los tubos. Es necesario tener una fuente de agua de enfriamiento, que se debe hacer circular a través de estos enfriadores; este sistema tiene la ventaja de que evita que se introduzcan al generador elementos contaminantes para los devanados.

CAPÍTULO 3: SIMULACION Y RESULTADOS OBTENIDOS

3.1. Estudio y levantamiento de la carga

Para este estudio, se tomará como referencia, para el cálculo de la capacidad de la planta de energía eléctrica a base de biogás, el consumo de energía eléctrica de las cargas instaladas en el edificio que tenga la mayor demanda en la facultad técnica (edificio administrativo de la facultad), de este se evaluará los consumos y se harán los análisis para el reemplazo del sistema que consuma aproximadamente la cantidad de energía que produzca el biodigestor.

Tabla 3. 1: Definición y cuantificación de cargas

DEPARTAMENTOS	CARGA		
	Puntos de Luz	Tomacorriente 120 voltios	Tomacorriente 240 voltios
Secretaría	7	7	2
Coordinación Académica	2	6	1
Coordinación Académica 2	3	4	1
Centro de apoyo docente	3	5	1
Director de Carrera de Telecomunicaciones, Maestría en Telecomunicaciones, Coordinación de Ing. Agropecuaria, Instituto de Transferencia Tecnológica ITT, Dirección Granja el Limoncito	6	9	3
Decanato	7	8	1
Consejería Estudiantil, Asistente de Decanato, Director de Carrera de Agropecuaria, Pasillos	11	7	2
Sala de profesores, cafetería y baños	12	17	2
Exteriores del área Administrativa de la FETD.	5	5	0
TOTAL	56	68	13

Fuente: (León Durán, 2018)

Horarios de demanda energética administración de facultad técnica.

El área administrativa de la facultad tiene horarios de atención, por lo tanto se tomara en cuenta los horarios de funcionamiento de las respectivas cargas.

Tabla 3. 2: Potencia de las cargas.

CARGA	POTENCIA (W)	HORARIO DE UTILIZACIÓN
Acondicionadores de aire	1920	09h00 - 16h00
Acondicionadores de aire	1150	09h00 - 16h00
Acondicionadores de aire	2000	09h00 - 16h00
Computadoras	60	09h00 - 16h00
Tomas de corriente para otros usos	120	09h00 - 16h00
Puntos de luz	100	09h00 - 19h00
Refrigeradora	420	24 horas
Televisor	60	12h00 - 14h00
Microondas	1000	12h00 - 13h00
Luces exteriores	100	18h00 - 23h00
Reflectores	300	18h00 - 23h00

Fuente: (León Durán, 2018)

Acondicionadores de aire.

Tabla 3. 3: Acondicionadores de aire

ACONDICIONADORES DE AIRE				
Cantidad	Potencia de funcionamiento por unidad(kW)	Potencia Total(kW)	Horas de Funcionamiento	Cantidad de Wh
3	1,92	5,76	7	40,32
7	1,15	8,05	7	56,35
3	2	6	7	42

Fuente: (León Durán, 2018)

CARGAS POR DEPARTAMENTOS.

Tabla 3. 4: Cargas eléctricas en el departamento de secretaria.

SECRETARÍA						
Equipo	Potencia nominal (W)	Cantidad	Factor de utilización	Potencia Total (W)	Horas de Uso	Consumo Diario (Wh)
Acondicionadores de aire	1920	2	0,8	3072	7	21504
Computadoras	60	5	0,8	240	7	1680
Tomas de corriente para otros usos	120	2	0,3	72	7	504
Puntos de luz	100	7	0,7	490	10	4900
TOTAL						28588

Fuente: (León Durán, 2018)

Tabla 3. 5: Cargas eléctricas en el departamento coordinación académica 1.

COORDINACIÓN ACADÉMICA 1						
Equipo	Potencia nominal (W)	Cantidad	Factor de utilización	Potencia Total (W)	Horas de Uso	Consumo Diario (Wh)
Acondicionadores de aire	1150	1	0,8	920	7	6440
Computadoras	60	1	0,8	48	7	336
Tomas de corriente para otros usos	120	5	0,3	180	7	1260
Puntos de luz	100	2	0,7	140	10	1400
Refrigeradora	420	1	1	420	24	10080
TOTAL						19516

Fuente: (León Durán, 2018)

Tabla 3. 6: Cargas eléctricas en el departamento coordinación académica 2.

COORDINACIÓN ACADÉMICA 2						
Equipo	Potencia nominal (W)	Cantidad	Factor de utilización	Potencia Total (W)	Horas de Uso	Consumo Diario (Wh)
Acondicionadores de aire	1150	1	0,8	920	7	6440
Computadoras	60	1	0,8	48	7	336
Tomas de corriente para otros usos	120	3	0,3	108	7	756
Puntos de luz	100	3	0,7	210	10	2100
Refrigeradora	420	1	1	420	24	10080
TOTAL						19712

Fuente: (León Durán, 2018)

Tabla 3. 7: Cargas en el departamento de apoyo docente.

CENTRO DE APOYO DOCENTE						
Equipo	Potencia nominal (W)	Cantidad	Factor de utilización	Potencia Total (W)	Horas de Uso	Consumo Diario (Wh)
Acondicionadores de aire	1150	1	0,8	920	7	6440
Computadoras	60	1	0,8	48	7	336
Tomas de corriente para otros usos	120	3	0,3	108	7	756
Puntos de luz	100	2	0,7	140	10	1400
Televisor	60	1	0,3	18	2	36
TOTAL						8968

Fuente: (León Durán, 2018)

Tabla 3. 8: Cargas grupo 1 de oficinas.

CONSEJERÍA ESTUDIANTIL, ASISTENTE DE DECANATO, DIRECTOR DE CARRERA DE AGROPECUARIA, COORDINADOR ACADÉMICO, PASILLOS DEL ÁREA ADMINISTRATIVA DE LA FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO						
Equipo	Potencia nominal (W)	Cantidad	Factor de utilización	Potencia Total (W)	Horas de Uso	Consumo Diario (Wh)
Acondicionadores de aire	1150	2	0,8	1840	7	12880
Computadoras	60	3	0,8	144	7	1008
Tomas de corriente para otros usos	120	4	0,3	144	7	1008
Puntos de luz	100	11	0,7	770	10	7700
TOTAL						22596

Fuente: (León Durán, 2018)

Tabla 3. 9: Cargas grupo 2 de oficinas.

DIRECTOR DE CARRERA DE TELECOMUNICACIONES, MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES, COORDINACIÓN DE ING. AGROPECUARIA, INSTITUTO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA ITT, DIRECCIÓN GRANJA EL LIMONCITO, ASESORÍA PEDAGÓGICA						
Equipo	Potencia nominal (W)	Cantidad	Factor de utilización	Potencia Total (W)	Horas de Uso	Consumo Diario (Wh)
Acondicionadores de aire	2000	2	0,8	3200	7	22400
Acondicionadores de aire	1150	1	0,8	920	7	6440
Computadoras	60	3	0,8	144	7	1008
Tomas de corriente para otros usos	120	6	0,3	216	7	1512
Puntos de luz	100	6	0,7	420	10	4200
TOTAL						35560

Fuente: (León Durán, 2018)

Tabla 3. 10: Cargas en decanato.

DECANATO						
Equipo	Potencia nominal (W)	Cantidad	Factor de utilización	Potencia Total (W)	Horas de Uso	Consumo Diario (Wh)
Acondicionadores de aire	2000	1	0,8	1600	7	11200
Televisor	60	1	0,3	18	2	36
Computadoras	60	1	0,8	48	7	336
Tomas de corriente para otros usos	120	6	0,3	216	7	1512
Puntos de luz	100	7	0,7	490	10	4900
Refrigeradora	420	1	1	420	24	10080
TOTAL						28064

Fuente: (León Durán, 2018)

Tabla 3. 11: Cargas sala de profesores y utilitarios.

SALA DE PROFESORES, CAFETERÍA, BAÑOS						
Equipo	Potencia nominal (W)	Cantidad	Factor de utilización	Potencia Total (W)	Horas de Uso	Consumo Diario (Wh)
Acondicionadores de aire	1920	1	0,8	1536	7	10752
Acondicionadores de aire	1150	1	0,8	920	7	6440
Televisor	60	2	0,3	36	2	72
Computadoras	60	1	0,8	48	7	336
Tomas de corriente para otros usos	120	12	0,3	432	7	3024
Puntos de luz	100	7	0,7	490	10	4900
Refrigeradora	420	1	1	420	24	10080
Microondas	1000	1	1	1000	1	1000
TOTAL						36604

Fuente: (León Durán, 2018)

Tabla 3. 12: Cargas exteriores.

EXTERIORES						
Equipo	Potencia nominal (W)	Cantidad	Factor de utilización	Potencia Total (W)	Horas de Uso	Consumo Diario (Wh)
Reflectores	300	2	0,8	480	5	2400
Tomas de corriente para otros usos	120	5	0,3	180	7	1260
Puntos de luz	100	5	0,7	350	5	1750
TOTAL						5410

Fuente: (León Durán, 2018)

Tabla 3. 13: Detalle de carga total.

DEPARTAMENTOS	POTENCIA DE LA CARGA EN W	FACTOR DE COINCIDENCIA 0,9	CONSUMO DIARIO POR DEPARTAMENTO Wh	FACTOR DE COINCIDENCIA 0,9
Secretaría	3874	3486,6	28588	25729,2
Coordinación Académica	1708	1537,2	19516	17564,4
Coordinación Académica 2	1706	1535,4	19712	17740,8
Centro de apoyo docente	1234	1110,6	8968	8071,2
Director de Carrera de Telecomunicaciones, Maestría en Telecomunicaciones, Coordinación de Ing. Agropecuaria, Instituto de Transferencia Tecnológica ITT, Dirección Granja el Limoncito	4900	4410	35560	32004
Decanato	2792	2512,8	28064	25257,6
Consejería Estudiantil, Asistente de Decanato, Director de Carrera de Agropecuaria, Pasillos del área administrativa de la FETD.	2898	2608,2	22596	20336,4
Sala de profesores, cafetería y baños	4882	4393,8	36604	32943,6
Exteriores del área Administrativa de la FETD.	1010	909	5410	4869
TOTAL	25004	22503,6	205018	184516,2

Fuente: (León Durán, 2018)

3.2 Calculo de tamaño y capacidad del proyecto.

Para este proyecto, el tamaño y la capacidad de los equipos a usar deben ser calculados en base a la demanda que se pretende suplir, por lo tanto empezaremos tomando los valores de cargas totales por hora que resultaron del estudio de la carga del edificio de administración de la facultad técnica de la U.C.S.G.

Se iniciará con la capacidad del generador eléctrico, después, del biodigestor y por último, se diseñara la implementación de la interconexión de este sistema en el sistema de la facultad:

3.3 Capacidad del generador eléctrico

Para calcular la capacidad del generador de potencia, una vez obtenida la carga total a la cual se va a suministrar, calculamos con la siguiente formula:

$$KVA = KW / \cos\phi$$

En la cual KVA es la capacidad del generador, y KW es la carga total del edificio (potencia aparente), dividido para el coseno del ángulo entre la potencia aparente y la potencia activa.

$$184.516 \text{ KW} / 0.8 = 230.645 \text{ KVA}$$

El cálculo nos da como resultado que para suministrar energía eléctrica constantemente durante las horas de servicio de las cargas diariamente para todo el edificio de la facultad, es necesario instalar un generador de 230.645 KVA de capacidad. Calculando una capacidad standard similar, sería un generador de 250 KVA de capacidad.

3.4 Modelo y características del generador

Para este proyecto se ha elegido un generador marca “cummins power” modelo C230N6, el cual tiene las siguientes especificaciones técnicas (anexo 2).

3.5 Diseño del biodigestor

Debido a las condiciones del terreno, la demanda del edificio de la facultad y el tamaño del generador necesario para suministrar de energía al mismo, el tamaño del biodigestor debe ser dado por el siguiente factor de conversión:

$$1m^3 \text{ biogas} = 5.96 \text{ KWh energía eléctrica}$$

fuelle: MAE,2015

En la transformación de biogás a electricidad, un metro cubico de biogás equivale a 5.96 kilovatios de energía eléctrica. Utilizando los datos de la tabla 3.13 podemos calcular el volumen del biogás que se necesita combustionar para producir la potencia requerida por el edificio de la facultad, lo calculamos utilizando el factor de conversión.

$$184.516 \text{ KWh} \frac{1m^3 \text{ biogas}}{5.96 \text{ KWh}} = 30.96 \text{ m}^3 \text{ biogás}$$

Este valor de 30.96 m³ de biogás debe ser producido diariamente por el biodigestor para suministrar la demanda diaria del sistema eléctrico del edificio de la facultad técnica.

Para calcular la producción de biogás del biodigestor y por ende, el tamaño y la capacidad de este, se debe calcular utilizando la fórmula establecida en la que para producir 1 metro cubico diario de biogás se necesitan 1000 litros de mezcla de materia prima y agua, es decir 1000 litros de descarga sanitaria hecha por los baños de la facultad. El contenedor debería tener una capacidad de 30000 litros o 7500 galones para producir 30 metros cúbicos de biogás al día.

3.6 Selección del biodigestor

Biodigestores Ecuador es una empresa desarrolladora de tecnologías de biodigestores que tiene como producto principal el biodigestor tipo horizontal hecho a base de membrana de PVC súper resistente.

De los modelos disponibles, el que se acerca a la producción requerida, es el modelo RC6 cuyas especificaciones se encuentran en la siguiente tabla, el que cumple con los requisitos técnicos y dimensiones adecuadas para producir 30 metros cúbicos de biogás al día.

Tabla 3. 14 Catálogo de equipos biodigestores Ecuador

ESCALA	MODELOS	BIODIGESTOR		DIMENSIONES DE LA ZANJA				PRECIOS*
		Producción BIOGÁS	Producción BIOL	Ancho mayor	Ancho menor	Profundidad	Largo	
		m ³ /día		m				
FAMILIAR	RC1	3	0,3	1,3	1,0	1,2	9	2000
	RC2	6	0,6	1,5	1,1	1,4	14	2500
COMERCIAL	RC3	10	1,0	1,8	1,4	1,7	15	4100
	RC4	15	1,5	2,1	1,6	2,0	18	4800
	RC5**	21	2	2,3	1,8	2,2	18	5400
	RC6**	31	3	2,6	2,0	2,5	20	6150
	RC7**	46	5	3,1	2,3	2,9	22	7100
	RC8**	61	6	3,4	2,5	3,2	26	8000

Fuente: (Biodigestores Ecuador, 2018)

3.7 Diagrama de instalación.

Para esta instalación, se eligió un biodigestor horizontal, comúnmente conocido como “estilo Taiwán” ya que utiliza un equipo hecho totalmente de

plástico PVC reciclado. A continuación se detallará el diseño y la implementación en el espacio físico de los equipos, seguido por la instalación del generador, el cual también tendrá un detalle de sus dimensiones y por último el diagrama eléctrico que ilustra la conexión del sistema a la red de la facultad.

Biodigestor.



Figura 3. 1 Esquema del biodigestor

La instalación del biodigestor es sencilla, construyendo un canal en "v" para asentar el biodigestor que tiene las medidas de 2.5 m de profundidad y 20 m de largo.

Medidas de la fosa del biodigestor:

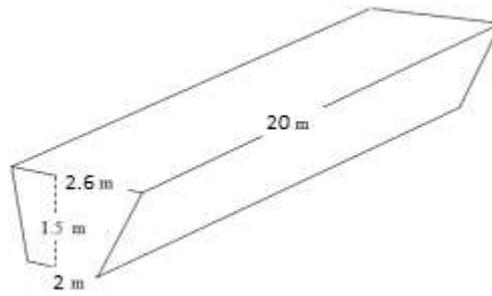


Figura 3. 2 Esquema de la fosa del biodigestor.

Medidas del generador:

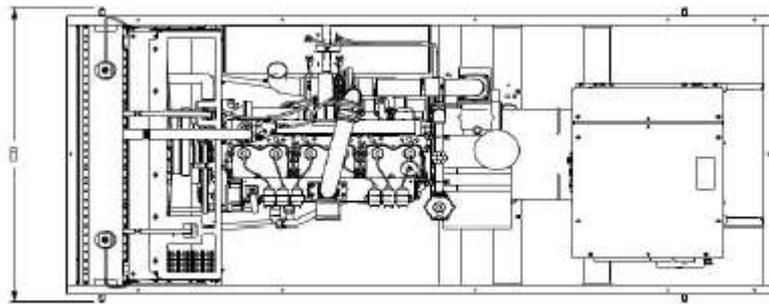


Figura 3. 3 Generador vista aérea

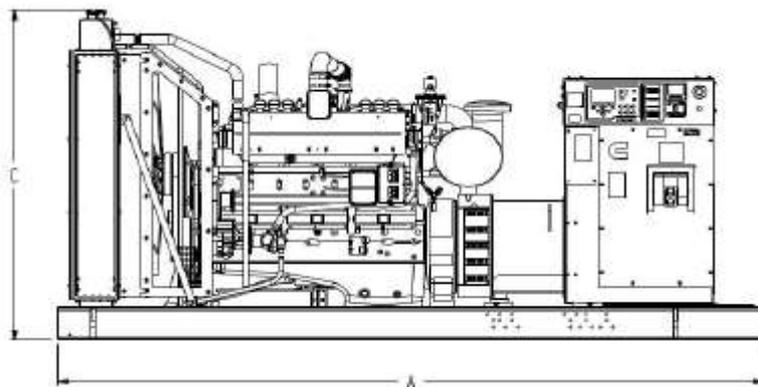


Figura 3. 4 Generador vista lateral.

Tabla 3. 15 Medidas del generador

	Dim "A" mm (in.)	Dim "B" mm (in.)	Dim "C" mm (in.)
C230N6	3734 (147)	1765 (70)	1997 (79)

Fuente: **(CUMMINS, 2017)**

Calculo del área total (espacio físico para implementación) 60m².

Esquema de la conexión eléctrica del proyecto

Este esquema está presente en el anexo 2.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. Conclusiones.

- Mediante el estudio, se logró determinar al biogás que se produce en el interior de un biodigestor como un combustible viable a la producción de energía ya que tiene el suficiente poder calorífico como para accionar un generador a gas para producir electricidad.
- El método para transformar el biogás en energía eléctrica mediante elementos electromecánicos es la utilización de un generador de 250 KVA que funcione combustionando el biogás producido en el biodigestor para accionar el motor de combustión interna que mueve al generador
- Por espacio y por disponibilidad de equipos, la viabilidad de este proyecto es alta, ya que en la facultad se cuenta con los recursos necesarios para producir suficiente energía para alimentación de sistemas eléctricos en la facultad técnica de la u.c.s.g
- El esquema de conexiones realizado puede mostrar efectivamente a grandes rasgos la forma del sistema eléctrico a través del diagrama unifilar de la facultad en mención que se debe realizar para interconectar este sistema de producción con el sistema instalado en el edificio de la facultad.
- Una vez puesto en marcha dicho aporte, estaríamos generando energía limpia, sustentable y no contaminante que reemplazara a la energía no sustentable producida por combustibles fósiles.
- Este sistema logrará reducir la contaminación ambiental reutilizando el gas metano producido por la biomasa descompuesta, de esta manera

estaremos reduciendo la contaminación en gran manera de un gas que afecta a la capa de ozono alrededor de veinte veces que un gas de invernadero común como el dióxido de carbono.

4.2. Recomendaciones.

- Conforme al diseño, se recomienda redireccionar una parte de las descargas sanitarias de la facultad hacia el biodigestor mediante obra civil, ya que estos residuos serán en su mayoría la materia prima para la generación de biogás
- La alimentación del biodigestor también se puede hacer con otros residuos orgánicos como restos de comida, residuos de jardinería y materia biodegradable en general.
- En la construcción, es necesario tomar todas las precauciones en cuanto a la construcción del biodigestor, en lo que tiene que ver con tuberías, válvulas de seguridad para escape de excesos de gas y protección de la membrana de PVC ya que esos materiales por lo general son frágiles y una mala manipulación de estos puede generar escapes de gas.
- Procurar proteger el biodigestor de los cambios bruscos de temperaturas, especialmente la temperatura del ambiente ya que un aumento o disminución de esta puede influir directamente en la producción del biogás por lo que es recomendable construir un techo sobre este para protegerlo de la temperatura o daños en el biodigestor por ruptura de agentes externos.

Bibliografía

- Barahona Defaz, F. A. (2013). Desarrollo, construcción y pruebas de un sistema de uso de biogas como combustible de un biogenerador digestor. 88. Riobamba, Ecuador. Retrieved Julio 1, 2018, from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2658/1/65T00086.pdf>
- Biodigestores Ecuador. (2018, Julio 10). Retrieved from Biodigestores: <http://biodigestoresecuador.com/biodigestores>
- Coordinación de Energías Renovables. (2008). Energías Renovables 2008 - Energía Biomasa. 17. Argentina. Retrieved Julio 10, 2018
- Corona Zuñiga, I. (2007, Diciembre). Biodigestores. 69. Hidalgo, Mexico. Retrieved Julio 01, 2018, from <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/10722/Biodigestores.pdf>
- CUMMINS. (2017). Gaseous Fuel Generator Set GTA 855 Engine Series. 5. Estados Unidos. Retrieved 08 2018, 01
- Dublein, D., & Steinhauser, A. (2008). *Biogas from waste and Renewable Resources*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Fernandez, J. (2003). Biomasa. *Energía Renovable para todos*, 20. España: Energía Renovables. Retrieved Julio 1, 2018, from <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/cuadernos-energias-renovables-para-todos-biomasa.pdf>
- Fundación Endesa. (n.d.). *Los generadores eléctricos*. doi:https://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-

interactivos/conceptos-basicos/v.-funcionamiento-basico-de-
generadores#Lenz

Gomez Quiñones, J. (n.d.). *Producción y Generación de Energía Eléctrica*.

Retrieved Julio 29, 2018, from

<http://www.mty.itesm.mx/etie/deptos/ie/profesores/jgomez/ie/prodgen.pdf>

Herrero Diez, T. (2013, Diciembre). El mercado de las energías renovables en China.

41. España. Retrieved Julio 10, 2018, from

http://www.ivace.es/Internacional_Informes-

[Publicaciones/Pa%C3%ADses/China_y_Hong-](http://www.ivace.es/Internacional_Informes-Publicaciones/Pa%C3%ADses/China_y_Hong-)

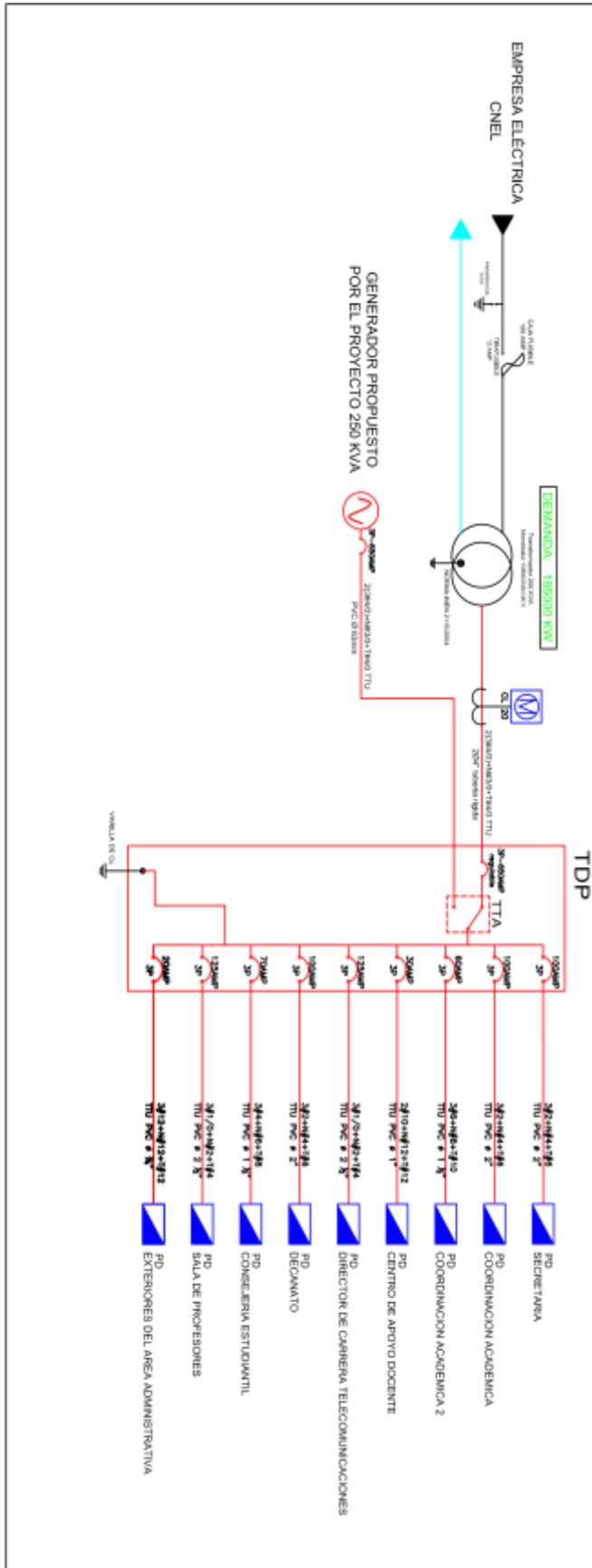
[Kong/CHINA_RENOVABLES_2013.pdf](http://www.ivace.es/Internacional_Informes-Publicaciones/Pa%C3%ADses/China_y_Hong-Kong/CHINA_RENOVABLES_2013.pdf)

León Durán, M. S. (2018). *Estudio técnico y económico para la implementación de paneles solares en el área administrativa de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Retrieved from <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10269>

Ministerio de Energia Gobierno de Chile. (2011). *Manual del Biogas*. Santiago de Chile. Retrieved Julio 15, 2018

ANEXOS.

DIAGRAMA UNIFILAR
ESC. S/IE





Specification sheet

Gaseous Fuel Generator Set

GTA 855 Engine Series

180 kW - 230 kW 60 Hz
Non-regulated



Description

The Cummins Inc. commercial Generator Set (GenSet) is a fully integrated power generation system providing optimum performance, reliability, and versatility for stationary standby power applications.

Features

Cummins Heavy-Duty Engine - Rugged 4-cycle industrial spark-ignited engine delivers reliable power, low emissions, and quick response to load changes.

Alternator - Several alternator sizes offer selectable motor-starting capability with low reactance 2/3 pitch windings, low waveform distortion with non-linear loads, fault-clearing short-circuit capability, and class H insulation.

Control System - The PowerCommand® electronic control is standard equipment and provides total GenSet system integration, including automatic remote starting/stopping, precise voltage regulation, alarm and status message display, AmpSentry™ protective relay, output metering, and auto-shutdown at fault detection.

Warranty and Service - Backed by a comprehensive warranty and worldwide distributor network.

Model	Standby rating*			Prime rating		Continuous rating		Data sheet
	Propane 60Hz kW (kVa)	NG 60Hz kW (kVa)	50 Hz kW (kVa)	60 Hz kW (kVa)	50 Hz kW (kVa)	60 Hz kW (kVa)	50 Hz kW (kVa)	60 Hz kW (kVa)
C230N6	180 (225)	230 (288)						FR 11373

* Tested at 0.8 power factor (PF) per NFPA 110.

GenSet Specifications

Voltage Regulation, No Load to Full Load	±1%
Random Voltage Variation	±1% (Three-phase only.)
Frequency Regulation	Isynchronous
Random Frequency Variation	±0.5%
Radio Frequency Interference	Optional PMG excitation operates in compliance with BS800 and VDE level G and N. Addition of RFI protection kit allows operation per MIL-STD-461 and VDE level K.

Engine Specifications

Base Engine	Cummins Model GTA855
Displacement	14 L (854 in ³)
Overspeed Limit	2100 rpm
Regenerative Power	TBD
Cylinder Block Configuration	Cast iron with replaceable wet cylinder liners
Cranking Current	900 amps at ambient temperature of 0 °C (32 °F)
Battery Charging Alternator	43 amps
Battery Type	8D (x2)
Starting Voltage	24-volt, negative ground
Standard Cooling System	See derates on Engine Data Sheet
Lube Oil Filter Types	Single spin-on canister-combination full flow with bypass
Total System Back Pressure Allowed	51 mm Hg (2 in. Hg)
Silencer Back Pressure (Factory Enclosed Units Only)	5.6 mm Hg (.22 in. Hg)

Alternator Specifications

Design	Brushless, 4-pole, drip-proof revolving field
Stator	2/3 pitch
Rotor	Direct-coupled by flexible disc
Insulation System	Class H per NEMA MG1-1.65 or better
Standard Temperature Rise *	125 °C
Exciter Type	Permanent Magnet Generator (PMG)
Phase Rotation	A (U), B (V), C (W)
Alternator Cooling	Direct-drive centrifugal blower

* For UL 1004 ratings, refer to temperature rise at 120 °C or below, and ambient temperature up to 40 °C

Amp Rating at Full-load Voltage

C230N6	Full Load Voltage Amps	120/240 (1 Ph)	120/208	127/220	138/240	220/380	240/416	254/440	377/480	347/600
		N/A	798	755	692	437	399	377	348	277

Fuel Consumption

Model	Fuel Type	Rated Load Fuel Consumption in Standard Cubic Feet per Hour (CFH)			
		1/4	1/2	3/4	Full
C230N6	Propane	N/A	N/A	N/A	832
C230N6	NG	N/A	N/A	N/A	2880

Fuel inlet pressure at GenSet connection: 381 to 508 mm WC (15 to 20 in. WC)

PowerCommand® 3.3 Control System



An integrated microprocessor based generator set control system providing voltage regulation, engine protection, alternator protection, operator interface and isochronous governing. Refer to document S-1570 for more detailed information on the control.

AmpSentry™ - Includes integral AmpSentry™ protection, which provides a full range of alternator protection functions that are matched to the alternator provided.

Power management - Control function provides battery monitoring and testing features and smart starting control system.

Advanced control methodology - Three-phase sensing, full wave rectified voltage regulation, with a PWM output for stable operation with all load types.

Communications interface - Control comes standard with PCCNet and Modbus® interface.

Regulation compliant - Prototype tested: UL, CSA and CE compliant.

Service - InPower™ PC-based service tool available for detailed diagnostics, setup, data logging and fault simulation.

Easily upgradeable - PowerCommand® controls are designed with common control interfaces.

Reliable design - The control system is designed for reliable operation in harsh environment.

Multi-language support - English, Spanish, French (standard); other languages (optional).

Operator Panel Features

Operator/Display Panel

- Displays paralleling breaker status.
- 320 x 240 pixels graphic LED backlight LCD.
- Provides direct control of the paralleling breaker.
- Alphanumeric display with pushbuttons.
- Auto, manual, start, stop, fault reset, and lamp test/panel lamp switches.
- LED lamps indicating GenSet running, remote start, not in auto, common shutdown, common warning, manual run mode, auto mode and stop.

Paralleling Control Functions

- First Start Sensor System selects first genset to close to bus.
- Phase Lock Loop Synchronizer with voltage matching.
- Sync check relay.
- Isochronous kW and kVar load sharing.
- Load govern control for utility paralleling.
- Extended Paralleling (baseload/peak shave) Mode.
- Digital power transfer control, for use with a breaker pair to provide open transition, closed transition, ramping closed transition, peaking and base load functions.

Other Control Features

- 150 watt anti-condensation heater.
- DC distribution panel.

- AC auxiliary distribution panel.

Alternator Data

- Line-to-neutral and line-to-line AC volts.
- Three-phase AC current.
- Frequency.
- kW, kVar, and power factor kVa (three-phase and total).
- Winding temperature (optional).
- Bearing temperature (optional).

Engine Data

- DC voltage and engine speed.
- Lube oil pressure and temperature.
- Coolant temperature.
- Comprehensive FAE data.

Other Display Data

- GenSet model data.
- Start attempts, starts, running hours, kW hours.
- Load profile (operating hours at % load in 5% increments)
- Fault history – up to 32 events.
- Data logging and fault simulation (requires InPower™).
- Air cleaner restriction indication.
- Exhaust temperature in each cylinder.

Standard Control Functions

Digital Governing

- Temperature dynamic governing.
- Integrated digital electronic isochronous governing.

Digital Voltage Regulation

- Configurable torque matching.
- 3-phase, 4 wire line-to-line sensing.
- Integrated digital electronic voltage regulator.

AmpSentry™ AC Protection

- AmpSentry™ protective relay.
- Over current and short circuit shutdown.
- Over current warning.
- Single and three-phase fault regulation.
- Low oil pressure warning and shutdown.
- High coolant temperature warning and shutdown.
- Low coolant level warning and shutdown.
- Low coolant temperature warning.
- Over and under voltage shutdown.
- Over and under frequency shutdown.
- Overload warning with alarm contact.
- Reverse power and reverse var shutdown.
- Field overload shutdown.
- Fuel-in-rupture-basin warning or shutdown.
- Full authority electronic engine protection.
- AMM arc flash provision.

Engine Protection

- Cranking lockout; overspeed shutdown; and battleshort.
- Sensor failure indication.
- Low fuel level warning or shutdown.
- Fail to start (overcrank) and fail to crank shutdown.
- Full authority electronic engine protection.
- Battery voltage monitoring, protection, and testing.

Control Functions

- Data logging and cycle cranking.
- Load shed.
- Remote emergency stop.
- Time delay start and cooldown.
- Configurable inputs and outputs (20).

- Real time clock for fault and event time stamping.
- Exerciser clock and time of day start/stop.

GenSet options and accessories

Engine

- 120 V, 2500 W coolant heaters
- 240/480 V, 4000 W coolant heaters
- 120/208/240 V, 300 W lube oil heater

Alternator

- 80 °C rise
- 105 °C rise

Fuel System

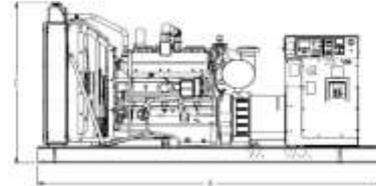
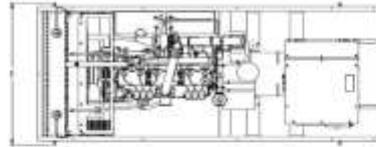
- Flexible fuel connector and fuel strainer

Exhaust System

- GenSet mounted muffler (enclosure models only)
- Catalyst available upon request

Generator Set

- Batteries and battery charger
- Main line circuit breaker
- PowerCommand[®] Network Aux 101, 102 module
- Modbus[®] to BACnet[™] Module
- Weather protective enclosure (F001) with silencer
- Level I and Level II enclosure w/silencer
- Audible alarm, remote drains, and oil maintainer
- Remote annunciator panel
- Spring isolators
- Two-year standby warranty
- Five-year basic power warranty



This outline drawing is for reference only.

Do not use for installation design.

	Dim "A" mm (in.)	Dim "B" mm (in.)	Dim "C" mm (in.)
C230N6	3734 (147)	1765 (70)	1997 (79)

NOTE: Consult drawings for applicable weights. Contact the factory for additional information. See enclosure Specification Sheet for enclosure dimensions.

Codes and Standards



CSA Group tests products under a formal process to ensure that they meet the safety and/or performance requirements of applicable standards. This GenSet is certified to: CSA 22.2 No. 100 Motors and Generators; CSA 22.2 No. 0-044 Regulation of Electrical Equipment; CSA 22.2 No. 14 Industrial Control Equipment; and CSA 22.2 No. 0 General Requirements - Canadian Electrical Code, Part II.



This product has been manufactured under the controls established by a Bureau Veritas Certification approved management system that conforms with ISO 9001:2015.

Ratings Definitions

Emergency Standby Power (ESP):

Applicable for supplying power to varying electrical load for the duration of power interruption of a reliable utility source. Emergency Standby Power (ESP) is in accordance with ISO 8528. Fuel Stop power is in accordance with ISO 3046, AS 2789, DIN 6271, and BS 5514.

Prime Power (PRP):

Applicable for supplying power to varying electrical load for unlimited hours. Prime Power (PRP) is in accordance with ISO 8528. Ten percent overload capability is available in accordance with ISO 3046, AS 2789, DIN 6271, and BS 5514.

Base Load (Continuous) Power (COP):

Applicable for supplying power continuously to a constant electrical load for unlimited hours. Continuous Power (COP) is in accordance with ISO 8528, ISO 3046, AS 2789, DIN 6271, and BS 5514.

Warning: Backfeed to a utility system can cause electrocution and/or property damage. Do not connect GenSets to any building electrical system except through an approved device or after the building main disconnect is open. Neutral connection must be bonded in accordance with National Electrical Code.

Specifications are subject to change without notice.



Cummins Sales and Service
875 Lawrence Drive
DePue, Wisconsin 54116
www.power.cummins.com

© 2017 | Cummins Sales and Service
Doc. A042J415 Rev. 1

5



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Armas Cabrera, Juan Pablo** con C.C: # 092123569-3 autor del Trabajo de Titulación: **Estudio y análisis de un sistema de producción de energía renovable a través del procesamiento de residuos sólidos orgánicos para aplicación en la U.C.S.G.** previo a la obtención del título de **INGENIERO ELECTRICO MECANICO** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 25 de Agosto de 2018

f. _____

Nombre: Armas Cabrera, Juan Pablo

C.C: 092123569-3

REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Estudio y análisis de un sistema de producción de energía renovable a través del procesamiento de residuos sólidos orgánicos para aplicación en la U.C.S.G.		
AUTOR(ES)	ARMAS CABRERA, JUAN PABLO		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. BOHORQUEZ ESCOBAR, CELSO BAYARDO, Mgs.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en eléctrico mecánica		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Eléctrico Mecánico		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	25 de Octubre de 2018	No. DE PÁGINAS:	72
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sistemas de producción de energía renovable		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Energía, biomasa, biodigestor, biogás, generación, generador.		

RESUMEN:

El presente trabajo de titulación consistió en el análisis de la factibilidad de la instalación de un biodigestor que produzca suficiente biogás como para suministrar energía para aplicación en la universidad católica Santiago de Guayaquil. Se analizó el diseño y la implementación para después concluir mediante una comparación con los sistemas actuales instalados si es factible instalar un biodigestor que utilice las descargas sanitarias de la facultad técnica para producir energía suficiente para alimentar el sistema eléctrico en baja tensión del edificio de administración de la facultad de educación técnica para el desarrollo de la U.C.S.G. También se calculó las dimensiones de todos los equipos así como los espacios físicos para la instalación, para esto se investigaron sobre materiales, modelos de equipos y se esquematizó las conexiones eléctricas para la implementación del sistema nuevo ya que este trabajaría como un bypass en el sistema ya instalado. Los cálculos de las cargas en el edificio determinarían la dimensión de los equipos ya que el cálculo de la capacidad de generación está relacionada directamente con este dato, finalmente, la conclusión de este trabajo será determinar si es que es factible esta implementación.

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593991713157	E-mail: juan.armas@indami.com.ec
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Palacios Meléndez Edwin Fernando	
	Teléfono: +593-9-68366762	
	E-mail: edwin.palacios@cu.U.C.S.G..edu.ec	

SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

Nº. DE REGISTRO (en base a datos):	
Nº. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):	