



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA**

TEMA:

**“Arranque de un grupo electrógeno Otto usando el gas de síntesis del
gasificador Downdraft acondicionados como un sistema de micro
generación eléctrica para fines didácticos”**

Autor:

Buñay Guacho, Samuel

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO EN ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

Tutor:

Ing. Martillo Aseffe José Alfonso, Mgs.

Guayaquil, Ecuador

2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

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

CERTIFICACION

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Buñay Guacho, Samuel**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero en Eléctrico-Mecánica**.

TUTOR:

Ing. Martillo Aseffe José Alfonso, Mgs.

DIRECTOR DE LA CARRERA:

Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 21 días del mes de marzo del año 2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Buñay Guacho, Samuel**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Arranque de un grupo electrógeno Otto usando el gas de síntesis del gasificador Downdraft acondicionados como un sistema de micro generación eléctrica para fines didácticos**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Eléctrico-Mecánica, 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, a los 21 días del mes de marzo del año 2019

EL AUTOR

Buñay Guacho, Samuel



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA**

AUTORIZACION

Yo, **Buñay Guacho, Samuel**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Arranque de un grupo electrógeno Otto usando el gas de síntesis del gasificador Downdraft acondicionados como un sistema de micro generación eléctrica para fines didácticos**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 21 días del mes de marzo del año 2019

EL AUTOR:

Buñay Guacho, Samuel



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

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

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Heras Sánchez Miguel Armando, Msc.

DIRECTOR DE CARRERA

Ing. Philco Asqui Luis Orlando, Msc.

COORDINADOR DE TITULACIÓN

Ing. Bohórquez Escobar Bayardo, Msc.

OPONENTE

REPORTE URKUND

Reporte Urkund del Trabajo de Titulación denominado: Arranque de un grupo electrógeno Otto usando el gas de síntesis del gasificador Downdraft acondicionados como un sistema de micro generación eléctrica para fines didácticos, del estudiante: **Buñay Guacho, Samuel**. Se encuentra al 3% de coincidencias.



Urkund Analysis Result

Analysed Document: SAMUEL BUÑAY PROYECTO PRESENTACION 11_02_2019 (1).docx (D47992611)
Submitted: 2/16/2019 12:34:00 AM
Submitted By: orlandophilco_7@hotmail.com
Significance: 3 %

Sources included in the report:

<https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/51964e746dc67.pdf>
<https://es.wikipedia.org/wiki/Biomasa>
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4842711.pdf>
<https://www.elcomercio.com/actualidad/biomasa-fuente-explotada.html>
<http://www.eumed.net/tesis-doctorales/2014/jalv/biomasa.htm>
<http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%252C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>

Instances where selected sources appear:

11

Atentamente

Ing. Philco Asqui Luis Orlando, Msc.

DEDICATORIA

Al Todo Poderoso, por ser la fuente de esperanza y Fe que guía mi camino.

A mi familia, mi esposa Priscilla Mendoza, mis hijas Laura, Abigail y Belén Buñay Mendoza por su comprensión y darme la fortaleza y cariño para seguir adelante, por estar a mi lado siendo los motivos principales para esforzarme día a día.

A mi Padre Manuel Buñay, por entre otras cosas ser el ejemplo de lucha y perseverancia en mi vida, a mis hermanos Verónica, Abraham, Moisés por la confianza puesta en mí.

A la memoria de mi madre Petrona Guacho, por haber sido ese ser especial que formó mis pasos que me dio todo el amor que no se olvida.

El autor

Buñay Guacho, Samuel

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la voluntad, la Fe, la Sabiduría para culminar esta etapa de mi vida y poder aportar con los conocimientos adquiridos al desarrollo de mi país, de mi familia y del mío en particular.

A mi familia por todo el apoyo, comprensión y confianza que me ayudó a seguir firme en la culminación de la carrera.

Al Ing. José Martillo Aseffe, tutor de este trabajo de Tesis. Por su tiempo, por la paciencia, por los conocimientos compartidos en el desarrollo de este proyecto.

Al personal docente y administrativo de la Facultad de Educación Técnica el Desarrollo, a mis compañeros de estudio por el tiempo compartido y la amistad brindada.

El autor

Buñay Guacho, Samuel

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS.....	XI
INDICE DE TABLAS.....	XIII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
Capítulo I: Generalidades de la Investigación.....	2
1.1 Introducción.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	4
1.5 Hipótesis.....	4
1.6 Metodología de la investigación.....	4
Capítulo II: Marco Teórico.....	6
2.1 Energía Renovable y su Potencial.....	6
2.1.1 Tipos de energía.....	6
2.1.2 Entorno Global de las Energías Renovables.....	6
2.1.3 Entorno Nacional de las Energías Renovables.....	9
2.1.4 Tecnologías para la generación de Electricidad a partir de Energía Renovables.....	11
2.2. Características energéticas de la biomasa.....	19
2.2.1 Biomasa Residual en Ecuador.....	23
2.2.2 Procesos empleados para extraer Energía de la Biomasa.....	25
2.3 Gasificación.....	29
2.3.1 Proceso de la gasificación.....	33
2.3.2 Gasificadores.....	33
2.4 Potencial residuo del maíz.....	36
2.5 Principio de gasificación de biomasa para generación de electricidad con motores de combustión interna.....	38
2.6 Motores de combustión interna (MCI).....	40
2.6.1 Clasificación de motores combustión interna.....	42

2.6.2 Terminología del motor de combustión interna	48
2.6.3 Principio de funcionamiento de Motores de Combustión Interna a biogás.....	51
2.7 Problemas en el uso del biogás en motores de combustión	56
2.8 Energía	57
2.8.1 Planta de energía eléctrica.....	57
2.9 Microgeneración de potencia eléctrica.	59
2.9.1 Grupo Motor-Generados	62
Capítulo III: Diseño y Procedimiento.....	65
3.1 La gasificación /generación de energía eléctrica.....	65
3.2 Prueba de funcionamiento del gasificador.....	70
3.3 Resultados.....	84
CONCLUSIONES	87
RECOMENDACIONES.....	88
BIBLIOGRAFÍA.....	89
ANEXOS.....	96
ANEXO 1. Presupuesto del Proyecto	96
ANEXO 2 Análisis de tipo de combustible para gasificador propuesto.....	98
ANEXO 3 Materia Prima adecuada para el Gasificador Gek.....	99
ANEXO 4 Especificaciones del Grupo electrógeno LIFAN 5500	101
ANEXO 5. Equipos de mediciones:	102

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO II

Figura 2 1. . Esquema para la generación de electricidad por tipo de tecnología	7
Figura 2 2. Energías renovables en los sectores de electricidad, calefacción y transporte a nivel mundial	8
Figura 2 3. Consumo de energía renovable en los principales mercados.....	8
Figura 2 4. Participación de fuentes en la generación eléctrica dentro del SIN.....	11
Figura 2 5. Generación de energía renovable no convencional en el país .	11
Figura 2 6. Energía Eólica.....	12
Figura 2 7. Energía Solar	13
Figura 2 8. Energía Oceánica	14
Figura 2 9. Energía Hidráulica.....	15
Figura 2 10. Energía Geotérmica.....	16
Figura 2 11. Orígenes de Biomasa	17
Figura 2 12. Potencial Bioenergética del Ecuador, Residuos agrícolas.....	24
Figura 2 13. Procesos de conversión de la biomasa y principales productos/aplicaciones	26
Figura 2 14. Esquema de un proceso de pirólisis para la obtención de combustibles líquidos.....	28
Figura 2 15. Sistema de gasificación empleado en motores de combustión interna–MCI	30
Figura 2 16. Proceso de obtención de gas de síntesis y de hidrocarburos.	30
Figura 2 17. Tipos de gasificadores de lecho fijo ascendente: a) Updraft b) Downdraft	35
Figura 2 18. Ranking de Rendimiento de las 5 principales provincias de cultivo de maíz 2017	36
Figura 2 19. Producción y Rendimiento del Maíz.....	37
Figura 2 20. Rango de capacidad de cogeneración según su tecnología ...	39
Figura 2 21. Funcionamiento del motor de combustión interna.....	42
Figura 2 22. Basado en el número de carreras	44
Figura 2 23. Partes del Motor de Combustión.....	48

Figura 2 24. Motor a gasolina acondicionado para consumir biogás	64
---	----

CAPITULO III

Figura 3. 1. Gasificador Downdraft GEK	65
Figura 3. 2. Venturi, ejetor de aire comprimido, quemador	66
Figura 3. 3. Montaje de la unidad conductora	66
Figura 3. 4. Armado del puerto de cenizas y del agitador manual de rejilla	67
Figura 3. 5. Gasificador, vista general.....	67
Figura 3. 6. Elementos del Gasificador GEK TOTTI	69
Figura 3. 7. Proceso del flujo del gas GEK TOTTI	71
Figura 3. 8. Zuro del maíz como biomasa	71
Figura 3. 9. Medida de Humedad.....	72
Figura 3. 10. Gas saliente del quemador	73
Figura 3. 11. Campana de reducción	74
Figura 3. 12. Temperatura superior en la zona de reducción.....	74
Figura 3. 13. Temperatura inferior en la zona de reducción.....	75
Figura 3. 14. Medición del flujo del aire.....	75
Figura 3. 15. Llama en el quemador observada por la noche	76
Figura 3. 16. Gasificador Downdraft GEK TOTTI.....	76
Figura 3. 17. Medición de presión diferencia	77
Figura 3. 18. Manómetro Diferencial	77
Figura 3. 19. Valor presión diferencial.....	78
Figura 3. 20. Ceniza removida desde el puerto de ceniza del gasificador ..	78
Figura 3. 21. Preparación del material filtrante con carbón y aserrín.	79
Figura 3. 22. Estado de los filtrantes luego de pruebas en el filtro de lecho	80
Figura 3. 23. Medición de temperatura en la salida del gas del radiador. ...	81
Figura 3. 24. Grupo Electrónico LIFAN 5500	82
Figura 3. 25. Conexión desde la unidad conductora de gas hasta la admisión del motor.....	82
Figura 3. 26. Temperatura Etapa Gasificación.....	84
Figura 3. 27. Temperatura etapa enfriamiento	85

INDICE DE TABLAS

CAPITULO II

Tabla 2. 1. Poder calorífico del producto energético de algunos Residuos .	22
Tabla 2. 2. Clasificación del GG según el agente gasificante usado	32
Tabla 2. 3. Clasificación de las Plantas de Energía.....	58
Tabla 2. 4. Tipos de tecnologías para la microgeneración de Electricidad..	61

CAPITULO III

Tabla 3. 1. Especificaciones del gasificador GEK TOTTI	68
Tabla 3. 2. Requerimientos de Biomasa.....	68
Tabla 3. 3. Temperatura etapa gasificación	84
Tabla 3. 4. Temperatura etapa Enfriamiento	85

RESUMEN

El objetivo general de este proyecto es el de arrancar un grupo electrógeno Otto usando el gas de síntesis del gasificador downdraft acondicionados como un sistema de micro generación eléctrica para fines educativos en la Facultad Técnica de la universidad católica Santiago de Guayaquil.

Para lograr los objetivos se procedió a realizar el montaje del sistema empleando el gasificador de flujo descendente o Downdraft GEK TOTTI de dicha Facultad, cuyo propósito será producir gas de síntesis con bajo contenido de alquitranes e impurezas mediante el proceso de conversión termoquímica, tomando como biomasa residuo orgánico del maíz.

El proceso de armar componentes pendientes y acondicionamiento para el objetivo final que consistía en la adaptación para el funcionamiento del grupo electrógenos fue llevado en varias etapas siendo principalmente el armado de los filtros, conexión de ductos de gases, armado del Venturi para la conducción de gases y funcionamiento del quemador.

Este trabajo deja las bases y la ingeniería básica de cada uno de los elementos que componen al equipo, y de esta manera sirva para un mejor entendimiento de a los estudiantes, sobre la micro generación de electricidad, usando distinto tipos de biomasa.

Palabras claves: Energía Renovable, Biomasa, gasificador, gas de síntesis, grupo electrógeno, micro generación

ABSTRACT

The general objective of this project is to start an Otto generator using the synthesis gas of the downdraft gasifier conditioned as a microelectric generation system for educational purposes in the Technical School of the Santiago de Guayaquil Catholic University.

To achieve the objectives, the system was assembled using the downflow gasifier or Downdraft GEK TOTTI of the Faculty, whose purpose is to produce synthesis gas with low content of tars and impurities through the process of thermochemical conversion, taking as biomass organic residue of corn.

The process of assembling pending components and conditioning for the final objective that consisted of the adaptation for the operation of the generator set was carried out in several stages, being mainly the assembly of the filters, connection of gas ducts, assembly of the Venturi for the conduction of gases and operation of the burner.

This work leaves the bases and basic engineering of each of the elements that make up the team, and in this way serves for a better understanding of the students, on the micro generation of electricity, using different types of biomass.

Keywords: Renewable energy, Biomass, gasifier, synthesis gas, generator set, micro generation

Capítulo I: Generalidades de la Investigación

1.1 Introducción

La demanda mundial de energía crece debido a las altas tasas de industrialización y al auge de las economías emergentes. (Pérez & García, 2014) El uso más intensivo de las fuentes de energía renovables está aún lejos de los combustibles fósiles, que proporcionan el 80% de la energía producida en el mundo. Desde el punto de vista de las emisiones de gases de efecto invernadero, es esencial contar con fuentes de energía renovables que garanticen el suministro de la industria, el transporte y la población. (Del Val Gento, 2009, p. 22)

Los avances tecnológicos están cada vez más dirigidos a la gestión de fuentes respetuosas con el medio ambiente. Estos avances se basan en la utilización de elementos naturales como el agua, el viento, el sol y la biomasa (Pérez y García, 2013), señalaron a la biomasa como materia primaria abundante con alto potencial de producción de energía. (p.75)

En las últimas décadas, la utilización de la biomasa como fuente energética ha estado presente en el escenario internacional, como una forma atractiva y prometedora de producir energía térmica o eléctrica con un impacto ambiental mínimo. Teniendo en cuenta el enorme potencial en fuentes renovables que tiene Ecuador, principalmente debido a la abundancia de biomasa de residuos agroindustriales e industrias forestales, es esencial buscar la consolidación de una matriz de generación de electricidad basada en energías renovables no convencionales, promoviendo el uso racional de los recursos energéticos del país (Arteaga et al, 2015, p. 25),

Este estudio analiza la viabilidad de generar electricidad a partir del residuo orgánico del maíz (zuro), la tecnología propuesta es la gasificación de la biomasa junto con el generador de combustión interna Otto, especialmente diseñado para el uso del gas producido. Aunque en el país la tecnología no está muy extendida, se está utilizando con éxito en otros países más avanzados.

1.2 Planteamiento del problema

Debido al aumento constante en la demanda de energía de los combustibles fósiles, el ser humano está buscando una fuente alternativa de energía para satisfacer sus necesidades básicas, para lo cual utiliza fuentes alternativas de energía, llamadas Energías Renovables, en las que se encuentra biomasa.

En Ecuador la biomasa es variada, pero como todavía es un país en desarrollo, no se la explota adecuadamente, la biomasa de los residuos agrícolas más comunes es el café, las flores, el banano, el cacao, las papas, palma africana, el maíz, las cáscaras de arroz, etc.

Por todo lo anterior, es necesario investigar e introducir métodos alternativos de obtención de combustible a partir de fuentes de energía renovables, entre las que se encuentra la biomasa.

1.3 Justificación

La necesidad de reducir y controlar los gases de efecto invernadero procedentes principalmente por la deflagración de combustibles fósiles que perturban el medio ambiente lleva a los centros de educación superior a una investigación constante sobre la aplicación de tecnologías que fomenten el uso de fuentes de energía renovable.

Actualmente existe un gasificador Downdraft GEK en la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, que fue instalado y modificado con la finalidad de repotenciarlo; su funcionamiento radica en la utilización de biomasa(cascarilla de arroz o zuro de maíz) para obtener gas combustible que puede ser utilizado en diferentes procesos, hoy en día el gas producto de la combustión no es utilizado, simplemente es liberado al ambiente, entonces se ve la necesidad de implementar un sistema para la micro generación de energía eléctrica a partir de dicho gasificador.

Así mismo, el presente proyecto prevé utilizar residuos que actualmente están siendo desaprovechados, como es el caso del zuro del maíz. Su deposición es un gran problema para las empresas que los generan, que, en ausencia de otras alternativas, las queman al aire libre sin tener en cuenta el impacto

ambiental. Usándolos, el problema se resolverá y se creará una nueva fuente de ingresos para el sector industrial.

Los resultados servirán como base para el desarrollo de futuros análisis de investigación y la introducción de la misma tecnología con biomasa diferente, como rastrojo de cereales, residuos de algodón y otros.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Arrancar un grupo electrógeno Otto usando el gas de síntesis del gasificador downdraft acondicionados como un sistema de micro generación eléctrica para fines educativos en la Facultad Técnica de la universidad católica Santiago de Guayaquil.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Inspeccionar y habilitar el gasificador downdraft GEK TOTTI de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la UCSG con la finalidad de producir gas de síntesis.
2. Acondicionar y regular el grupo electrógeno comercial de 5KW empleando gas de síntesis del Gasificador de biomasa Downdraft.
3. Estimar el funcionamiento del grupo electrógeno Lifan 5500 usando como combustible el gas de síntesis obtenido del zuro de maíz.

1.5 Hipótesis

Existe relación positiva entre el uso de gas de síntesis de gasificadores como combustible y el arranque de un grupo electrógeno Otto acondicionado como un sistema de microgeneración eléctrica.

1.6 Metodología de la investigación

La investigación que se presenta requiere de un estudio Bibliográfica y documental, Descriptivo y de Observación. A continuación, se exponen

definiciones sobre estos tipos de investigación y se explica la forma en que se emplearon en el documento actual.

Bibliográfica y documental, que se considerarán fuentes documentales y bases de datos digitales, donde se compone de artículos científicos relevantes relacionados al uso de gasificadores acondicionados a un grupo electrógeno.

Descriptivo por cuanto se caracteriza las partes operativas que compone cada etapa del sistema. Además, se detalla la propuesta y montaje del sistema de gasificación didáctica downdraft en la FETD en beneficio de la enseñanza de un método de obtención de electricidad utilizando biomasa.

Observación, esta es una técnica que consiste en prestar atención cuidadosamente un fenómeno, hecho o evento, obtener información y registrarla para relacionar las variables de la hipótesis planteada.

Capítulo II: Marco Teórico

2.1 Energía Renovable y su Potencial

La energía se puede encontrar en diferentes fuentes, que pueden clasificarse como primarias o secundarias, de acuerdo de si se obtienen directamente o a través de otra fuente. En el caso de la energía eléctrica, esta es una fuente secundaria, ya que es necesario recurrir a otra fuente de energía para acceder a ella.

“Otra forma de clasificar las fuentes de energía es su capacidad de obtener, renovables y no renovables, dependiendo de si se pueden reemplazar o terminar de forma permanente” (Gasca, 2013, p. 25).

2.1 1 Tipos de energía

La energía renovable (ER) es la energía que proviene de fuentes naturales prácticamente inagotables. Las fuentes de energía renovables son fuentes de energía limpia, inagotable y cada vez más competitivas. Se consideran inagotables ya sea por la gran cantidad de energía que contienen o porque pueden regenerarse de forma natural. (Lozano, 2016, p. 41)

Se diferencian de los combustibles fósiles especialmente en su pluralidad, cantidad y uso potencia en cualquier parte del mundo, pero especialmente en que no producen gases de efectos invernadero que producen el cambio climático o las emisiones contaminantes. Además, su costo está disminuyendo constantemente, mientras que la tendencia general en los costos de los combustibles fósiles es la puesta, independientemente de su volatilidad en el mercado. (SolergyEcuador, 2018, p. 35)

2.1.2 Entorno Global de las Energías Renovables

El sector de ER consiste en todas las formas de energía que se renuevan continuamente. Algunos de estos son: el sol, el viento, el agua, la biomasa y el calor del núcleo de la Tierra (León, 2014). En la figura siguiente, se muestra el esquema para la generación de electricidad por tipo de tecnología.

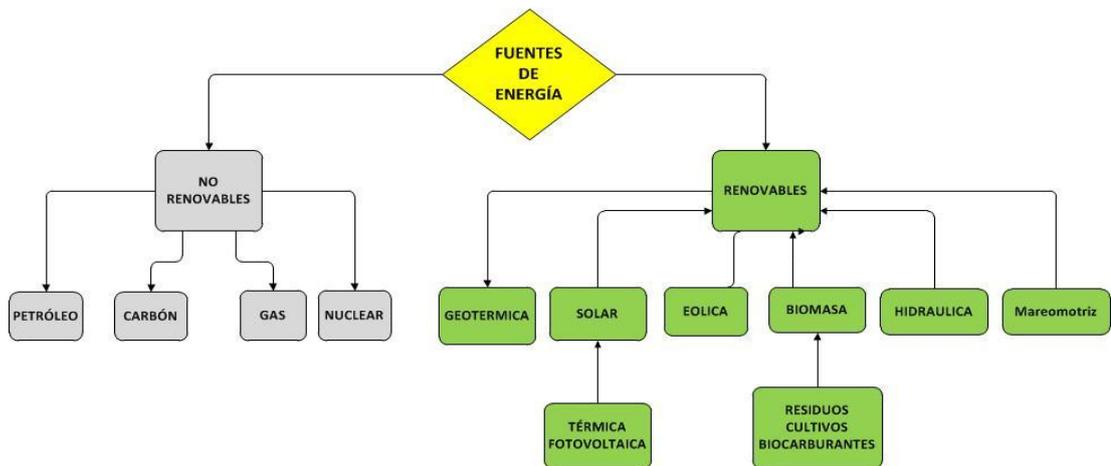


Figura 2 1. . Esquema para la generación de electricidad por tipo de tecnología
Fuente: Autor

El movimiento internacional para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la expansión del uso de energía renovable ha llevado a una amplia gama de políticas y acuerdos gubernamentales para lograr este objetivo. Al menos 127 países implementaron un cierto tipo de política gubernamental para promover la producción de energía renovable en el 2012, de los cuales dos tercios se encuentran en países en desarrollo y en desarrollo.(Lozano, 2013, p. 21)

La Agencia Internacional de Energía (AIE) proporciona un análisis profundo del mercado, asesoramiento sobre políticas y conocimientos tecnológicos para facilitar la rápida expansión del despliegue de energía renovable en los sectores de electricidad, calefacción y transporte.

Según un informe de análisis y previsiones del mercado de energía renovable 2018 de la Agencia Internacional de Energía, señala que la energía renovable continuará su expansión en los próximos años, cubriendo el 40% del crecimiento del consumo mundial de energía. Su uso continúa aumentando más rápidamente en el sector eléctrico y representará casi un tercio del total de la generación eléctrica mundial para 2023. Debido al apoyo político más débil y las barreras adicionales al despliegue, el uso de energía renovable se expande mucho más lentamente en el transporte. y sectores de calefacción (IEA, 2018).

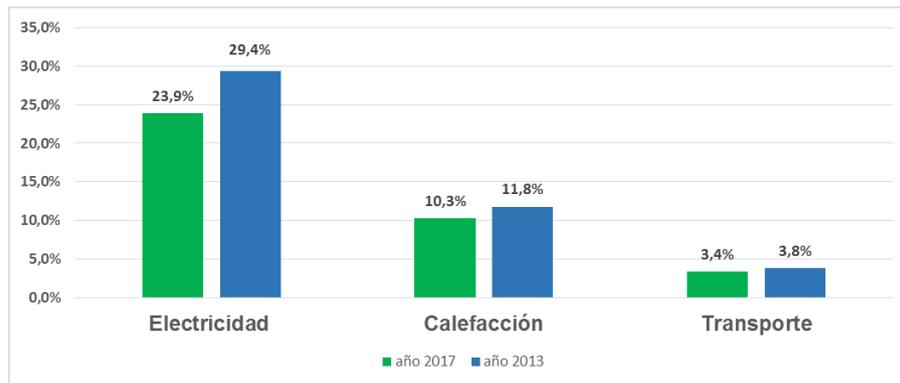


Figura 2 2. Energías renovables en los sectores de electricidad, calefacción y transporte a nivel mundial
Fuente: Agencia Internacional de Energía (IEA, 2018)

Las fuentes de energía renovables tendrán un rápido aumento en el sector eléctrico, ya que proporcionarán casi el 30% de la demanda de electricidad en 2023 en comparación con el 24% en 2017. Durante este período, se espera que las fuentes de energía renovable satisfagan más del 70 por ciento. % de crecimiento en el sector. La generación de electricidad en el mundo está liderada por la energía solar. PV, y luego eólica, hidroeléctrica y bioenergética.



Figura 2 3. Consumo de energía renovable en los principales mercados
Fuente: Agencia Internacional de Energía (IEA, 2018)

Brasil, posee la estructura energética más verde, y China lidera en crecimiento absoluto. De los mayores consumidores de energía del mundo, Brasil tiene el porcentaje más alto de energía renovable: casi el 45% del consumo total de energía final en 2023. El consumo de bioenergía en el transporte y la industria es significativo, y la energía hidroeléctrica domina el sector eléctrico.

Mientras tanto, gracias a una política dirigida a descarbonizar todos los sectores y disminuir la contaminación atmosférica dañina a nivel local, China está en términos absolutos por delante del crecimiento mundial durante el período de pronóstico, superando a la Unión Europea y convirtiéndose en el mayor consumidor de energía renovable.. En la Unión Europea, el mayor uso de energía renovable se debe a los objetivos vinculantes de energía renovable para 2020 y 2030, así como a la implementación de políticas nacionales y una mayor eficiencia energética. (Unión Europea, 2016, párr. 2).

2.1.3 Entorno Nacional de las Energías Renovables

En línea con la búsqueda de una matriz energética más diversificada, más limpia y más soberana y con el fin de utilizar más eficientemente sus propios recursos energéticos, Ecuador está promoviendo la producción de electricidad a partir de fuentes renovables no tradicionales.

En este sentido, el sector eléctrico ha proporcionado las regulaciones necesarias para que en el futuro aumente la participación de este tipo de tecnología, dado el enorme potencial de Ecuador, así como la complementariedad que estas fuentes pueden tener con la energía hidroeléctrica, el mayor recurso para generar electricidad en el país. (Delgado, 2016, p. 12)

Ecuador fortaleció los proyectos de energía renovable que ayudan a reducir las emisiones de carbono, gracias a la producción de energía limpia, según la revista Eolic y Electronic Vehicle (REVE), en 2006, la electricidad provino de la generación térmica (combustible fósil) al 47%, y En 2016, esta cifra cayó al 8%.(párr. 3)

Según el Ministerio de Medio Ambiente de Ecuador (MAE, 2016) en el período 1990-2000, cada año se deforestaron 93,000 hectáreas; mientras que en 2008-2014 la cifra se redujo a 47,000 ha (49%), es decir, hay un aspecto favorable en la reducción de la tasa neta anual de deforestación y la reducción de las emisiones de gases de efectos invernadero (GEI).

El país lidera la región en términos de generación de electricidad a partir de fuentes renovables. Muchos países solo están tratando de tener una matriz renovable con un 40%, mientras que Ecuador ya supera el 90%. "La incorporación de políticas ante el cambio climático en el territorio es otra innovación. (El Telégrafo, 2016, p. 10).

La primera planta de energía eólica en Ecuador, ubicada en la provincia de Loja, se construyó a 2,720 metros sobre el nivel del mar y se considera la más alta de América Latina. Mega infraestructura tiene 11 aerogeneradores, con una capacidad de 16.5 megavatios, energía que reemplaza a la generación térmica, producida por 4.5 millones de galones de diésel, la energía producida y enviada a través del sistema nacional llega a 45,000 hogares ecuatorianos, 45% son recibidos por familias de la provincia de Rough (REVE, 2016, párr.1).

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), en su revista Energía Verde para Galápagos, señala las diferentes plantas de generación de energía que están en operación: Eólica San Cristóbal 2.4 MW (octubre de 2007); Sistema híbrido Florean 159kW (febrero de 2011); Puerto fotovoltaico Puerto Ayora 1.5 MWp (agosto 2014); Baltra 2.25 MW eólica (noviembre 2014); Isla fotovoltaica Baltra 67 kWp (marzo 2016). Este conjunto de alternativas técnicas, ajustadas a los estándares ambientales más exigentes, ha permitido una reducción total acumulada de 2.5 millones de galones de diésel en el Archipiélago (PNUD, 2016)

Así, en los próximos años, se espera que Ecuador pasea matrices de generación eléctrica más competitivas y más limpias, generando más del 90% de su energía utilizando fuentes renovables y permitiendo un uso más eficiente de sus recursos naturales. Todos esto en el marco del respeto por la naturaleza y el compromiso social de la población ubicada cerca de los objetos, dejando atrás la historia de la pobreza, el abandono y la indiferencia de las áreas de influencia de este tipo de trabajo. Además, garantizará las reservas de energía que permiten en cualquier momento asegurar el suministro de electricidad. Además, la capacidad de tener suministros seguros y confiables a precios competitivos creará condiciones favorables

para acelerar la instalación de industrias de uso intensivo de energía en el país.

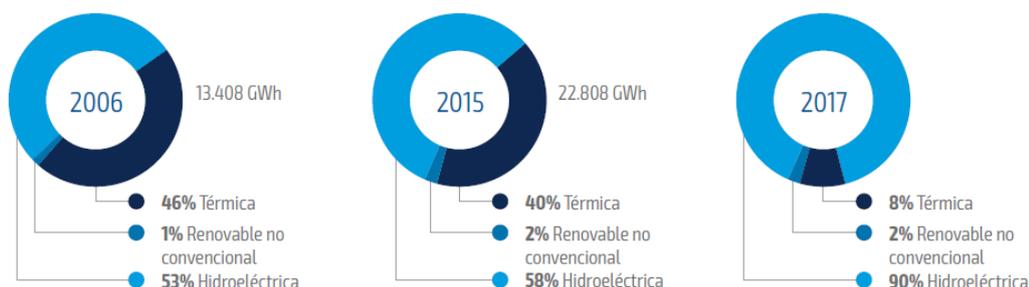


Figura 2 4. Participación de fuentes en la generación eléctrica dentro del SIN
Fuente: Agencia de Regulación y Control de Electricidad del Ecuador (2016)

2.1.4 Tecnologías para la generación de Electricidad a partir de Energía Renovables

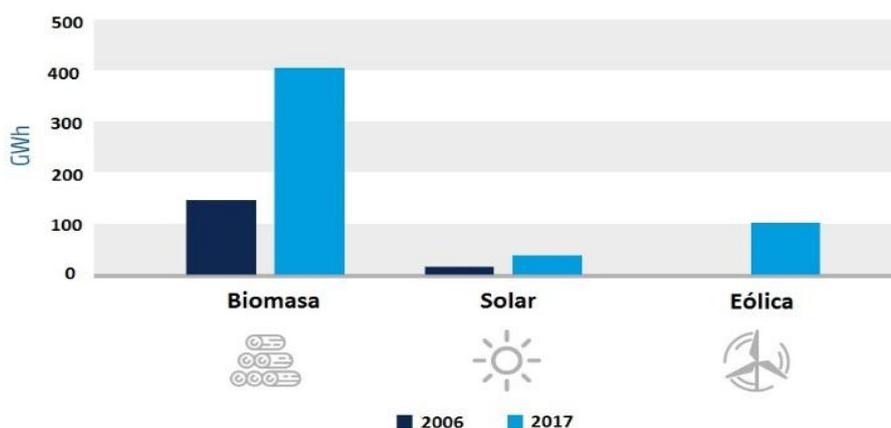


Figura 2 5. Generación de energía renovable no convencional en el país
Fuente: Agencia de Regulación y Control de Electricidad del Ecuador (2016)

Los tipos de energía Renovable más empleado son los siguientes;

- Energía eólica
- Energía solar
- Energía oceánica
- Energía hidráulica
- Energía geotérmica
- Energía de la biomasa

Energía Eólica



Figura 2 6. Energía Eólica
Fuente: (López, 2011)

La energía eólica es producida por el flujo de aire caliente ascendente y aire descendente fría. El aire es calentado por la radiación del Sol, a través de la cual alcanza una temperatura suficiente para elevarse por encima de la superficie de la Tierra, lo que producen un aire que no recibe suficiente radiación solar, tiene una temperatura relativamente más baja, lo que hace que descienda al espacio ocupado por el aire caliente. Este efectos del calentamiento desigual en el aire y las fuerzas centrífugas y de coriolis de la tierra causados por la rotación causa vientos terrestres. (Sardón, 2013, p. 11)

La humanidad ha usado la energía generada por el viento durante unos cinco mil años para triturar granos, bombear agua, nadar, etc. A finales del siglo XIX, se intentó generar electricidad a partir del viento. Actualmente hay países que han desarrollado y optimizad la energía eólica a través de turbinas eólicas, WCES (sistemas de conversión de energía eólica), turbinas eólicas o turbinas de viento y molinos de viento. La producción puede variar desde unos cuantos kW hasta varios MW. (Forero, 2016)

La energía eólica es un recurso abundante, renovable y limpio que ayuda a reducir las emisiones de gases de efectos invernadero al sustituir las estaciones termoeléctricas basadas en fósiles, lo que lo convierte en una forma de energía verde. Su principal desventaja es la intermitencia del viento. (López, 2011, p. 28)

Energía Solar



Figura 2 7. Energía Solar
Fuente: (Funes, 2015)

La energía solar es la energía obtenida del uso de la radiación electromagnética del Sol (Funes, 2015)

La radiación electromagnética del Sol permitió la existencia de todas las formas de vida, tanto pasadas como presentes. El ser humano de la antigüedad era consciente de la conexión del Sol con la vida y los ciclos de la naturaleza, hasta que comenzaron a considerarlo una deidad. Actualmente, puede utilizar la radiación solar, ya sea para producir energía en forma térmica o en forma de electricidad. Este último utiliza células fotovoltaicas que sirven para convertir directamente la electricidad en energía de parte de los fotones que conforman el espectro visible de la luz solar. (Soltec, 2016, párr 3)

La radiación es utilizable en sus componentes directas y difusas, en suma de ambos. La radiación directa es la que proviene directamente del foco solar, sin reflexión y refracción intermedia. Lo difusa es el emitido por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de refracción y reflexión solar en la atmósfera, en las nubes y en el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su uso, mientras que no es posible concentrar la luz difusa proveniente de todas las direcciones (Funes, 2015, p. 31).

Energía oceánica o mareomotriz

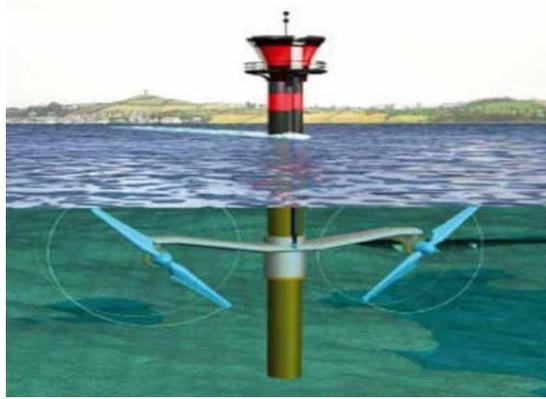


Figura 2 8. Energía Oceánica
Fuente: (Funes, 2015)

Esto se logra mediante el uso de las mareas. Cuando está conectado a un alternador, el sistema se puede usar para generar electricidad, convertir la energía de las mareas en energía eléctrica, una forma de energía más segura y utilizable. Este es un tipo de energía renovable, mientras que la fuente principal de energía no se agota durante su operación, y está limpia, porque la conversión de energía no conduce a la formación de subproductos contaminantes gaseosos, líquidos o sólidos. Sin embargo, la relación entre la cantidad de energía que se puede obtener a través de los medios existentes y los costos económicos y ambientales de instalar dispositivos para su proceso ha evitado una penetración significativa de este tipo de energía.

“Otra forma de extraer energía del mar es: las olas (energía de las olas), la diferencia de temperatura entre las aguas superficiales y profundas del océano, el gradiente térmico oceánico; Salinidad, corriente marinas, energía eólica marina”(Funes, 2015, párr 1).

Energía hidráulica.

Se llama energía hidráulica, energía de agua o energía hidroeléctrica, que se obtiene del uso de energías cinéticas y potenciales de la corriente de agua, cascadas o mares.

Estas características lo hacen significativo en regiones donde una combinación adecuada de lluvia, diferencias geológicas y orografía favorable para la construcción de represas. La energía hidráulica se obtiene a partir de

la energía potencia y cinética contenida en las masas de agua que transportan los ríos, provenientes de la lluvia y la fusión. El agua en su caída entre dos niveles del canal pasa a través de una turbina hidráulica que transmite la energía a un alternador que la convierte en energía eléctrica (Funes, 2015).



Figura 2 9. Energía Hidráulica
Fuente: (Gasca, 2013)

Energía Geotérmica

La energía geotérmica es la energía que se puede obtener al aprovechar el calor dentro de la Tierra. El calor dentro de la Tierra se debe a varios factores, entre los que podemos destacar el gradiente geotérmico, el calor radiógeno.

En la mayoría de los casos, la explotación debe realizarse con dos pozos (o un número par de pozos), de modo que uno obtenga el agua caliente y el otro se reinyecte en el acuífero, después de enfriar el flujo obtenido. Las ventajas de este sistema son múltiples: hay menos posibilidades de agotar el depósito térmico, ya que el agua reinyectada todavía contiene una cantidad significativa de calor.

Tampoco se agota el agua del reservorio, ya que se mantiene la cantidad total. Las posibles sales o emisiones de gases disueltos en el agua no se manifiestan cuando circulan en un circuito cerrado a través de las tuberías, lo que evita la contaminación. (Robilliard, 2009, p. 42)

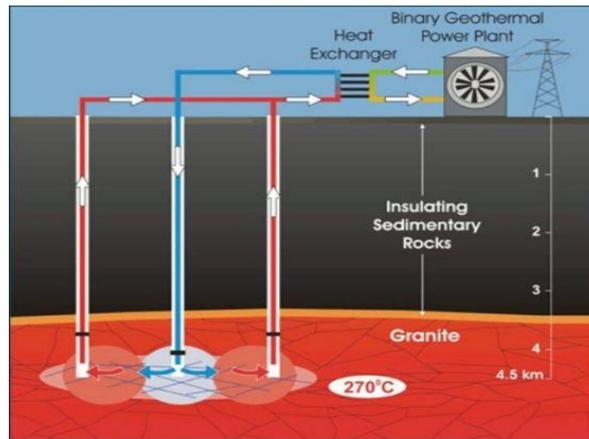


Figura 2 10. Energía Geotérmica
Fuente: Robilliard (2009)

Biomasa

La biomasa es toda la masa viva que coexiste en la tierra o, justamente, en una capa superficial estrecha llamada Biosfera, (Velasco, 2009) La biomasa es un sistema que la naturaleza utiliza para el almacenamiento de energía. La biomasa consiste en materiales vegetales (como madera y desechos agrícolas) y desechos animales que pueden quemarse de manera directa como combustibles sólidos o convertirse en biocombustibles líquidos o gaseosos.(Nogués & García, 2010, p. 51)

La Real Academia Española (RAE) define la biomasa como una sustancia orgánica que surge en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizado como fuente de energía. Incluye solo los que se han producido recientemente, excepto el gas, el petróleo y el carbón.

Biomasa significa materia orgánica en la superficie de la Tierra, un resultado directo o indirecto de la radiación solar, que puede estar en forma húmeda o seca, ya sea un producto residual de un ser vivo, de origen reciente o con un largo proceso de transformación y tiene un potencia energético que puede calcularse. (Nogués & García, 2010, p. 55)

La humanidad ha usado biocombustibles, como madera, paja o estiércol seco, así como para encender velas o lámparas a base de aceites vegetales o animales. Cuando apareció la metalurgia, se hizo necesario lograr

temperaturas más altas, lo que nos obligó a utilizar el proceso de pirólisis en madera seca para formar carbón, lo que hizo posible llevar a cabo la reducción química necesaria para extraer metales de los minerales. (Forero, 2016)

La necesidad de utilizar la madera para la producción de carbón en procesos como la navegación, el transporte, la construcción, etc., reduce los bosques en grandes áreas, lo que lleva a precios más altos y obliga a otras fuentes de energía.

Esta necesidad de energía condujo en el siglo XVIII a la explotación del carbón mineral, lo que permitió la creación de las primeras granjas industriales y el mejoramiento del nivel de vida de varias clases sociales, así como abrir el camino a la invención de nuevas máquinas. (Tonda, 2015, párr 1)

Esta práctica continuó hasta las tres cuartas partes del siglo XIX, pero con la llegada del petróleo y la energía hidráulica, el carbón fue reemplazado gradualmente como la principal fuente de generación de energía. Sin embargo, actualmente el 14% de la energía primaria consumida por la humanidad consiste en biocombustibles. (Nogués y García, 2010)

El término biomasa también incluye gases y líquidos resultantes de la descomposición de materiales orgánicos biodegradables. (Basu, 2010)

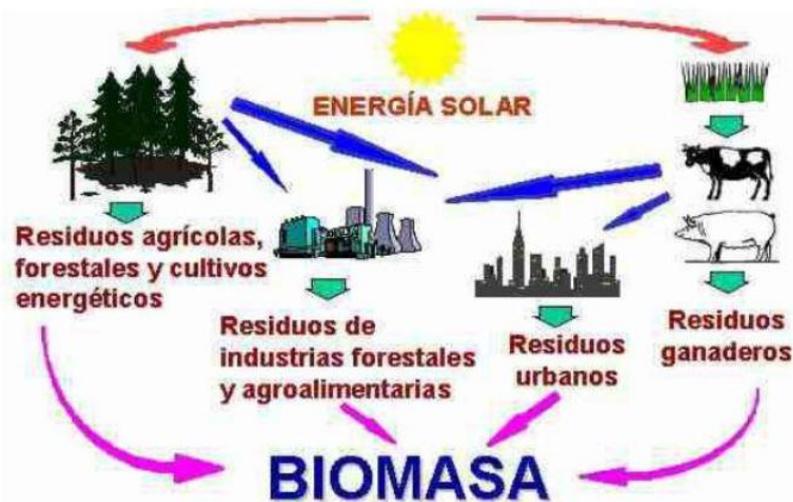


Figura 2 11. Orígenes de Biomasa
Fuente: Funes (2015)

La biomasa puede proporcionar energía que reemplaza a los combustibles fósiles, gracias a los combustibles agrícolas (como el biodiesel o el bioetanol), gaseosos (gas metano) o sólidos (madera), pero todo depende de si se utiliza más biomasa que la producción pura del ecosistema que se explota. que no se produce ningún otro consumo de combustible en los procesos de transformación, y que la utilidad de la energía es más apropiada en comparación con otros usos posibles (como los fertilizantes y los productos alimenticios) (Funes, 2015)

Del Peso, (2014) autor de Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad nos menciona las siguientes ventajas y desventajas de la utilización de biomasa.

Ventajas ambientales:

- Reducción de las emisiones de CO₂ en comparación con otros combustibles fósiles: porque, aunque para hacer uso de la energía de esta fuente renovable, tenemos que provenir con una ignición (que resultará en H₂O y CO₂), la cantidad de dióxido de carbono emitido, causando el efecto invernadero, se considera que es el mismo importe que será capturado por las plantas durante su crecimiento. Por lo tanto, esta ignición no significa un acrecentamiento de este gas a la atmósfera.
- No emite contaminantes sulfurados o nitrogenados (que causan lluvia ácida), ni solo partículas sólidas. Además, al usar los motores de combustión interna de biocombustibles supone una disminución de las emisiones generadas (hidrocarburos volátiles, partículas, SO₂ y CO).
- Reducción de residuos: gracias al reciclaje de biomasa a partir de residuos de otras actividades. Por ejemplo, el uso del proceso de digestión anaeróbica para tratar la biomasa residual húmeda, además de cancelar su carga contaminante, reduce las fuentes de olores molestos y elimina, casi por completo, los gérmenes y microorganismos nocivos del derrame. Los lodos resultantes del proceso de digestión anaerobia (residuos) se pueden usar como fertilizantes agrícolas.

- Previene la erosión y la degradación del suelo: por medio de la ejecución de cultivos energéticos en tierras abandonadas.

Ventajas socioeconómicas

- Diversificación energética: El aprovechamiento de la biomasa contribuye a este objetivo marcado por los planes energéticos nacionales y europeos.
- Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles.
- Nuevas oportunidades para el sector agrícola: ya que los cultivos energéticos podrían sustituir a los cultivos excedentarios en el mercado de alimentos.
- Puede contribuir a un aumento económico en el medio rural: con el aprovechamiento de algunos tipos de biomasa, principalmente la forestal y los cultivos energéticos.(p. 33)

Pero no debemos olvidar algunas pequeñas desventajas derivadas de las características que presenta la biomasa.

“Tienen menores rendimientos energéticos que los combustibles derivados de combustibles fósiles en este momento, tienen mayores costos de producción en comparación con la energía que proviene de los combustibles fósiles” (Arpi y Calderón, 2014, párr 4).

La biomasa tiene una densidad de energía baja, es decir, para obtener la misma cantidad de energía es necesario mayor cantidad de materia prima. Esta significa que pueden ocurrir problemas de transporte y almacenamiento y la necesidad de acondicionamiento o transformación para su uso. (Del Peso, 2014, p. 22)

2.2. Características energéticas de la biomasa

La evaluación de la viabilidad técnica y económica del proceso de conversión de biomasa en energía requiere la consideración de ciertos parámetros y condiciones agrupadas en:

Composición química

Las distintas clases de biomasa consisten en una parte orgánica, una parte inorgánica y agua. Durante la combustión, la parte orgánica se inflama, la parte inorgánica influye en el proceso de combustión y forma cenizas o restos sólidos.

La composición química de la biomasa inicial se puede conocer analizando los componentes más importantes, como el carbono (C), el hidrógeno (H), el nitrógeno (N), el azufre (S) y, en algunos procesos, el cloro (Cl). También contiene oxígeno (O), pero este elemento no se comprueba directamente, pero se calcula a partir de la diferencia entre el peso total y la suma de los otros elementos más la ceniza. (Lucas, 2012, p.41)

Contenido en humedad

El contenido de humedad, o también conocido como humedad relativa, es la proporción de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. La humedad de la biomasa se puede medir en seco (h) o en húmedo (H), ya que el peso húmedo de la madera húmeda (P_h) y el peso seco (P_o) obtenido al pesar la madera se seca en un horno para evaporar el agua presente. Así que tenemos:(FAO, 2016, párr 2)

$$h = \frac{P_h - P_o}{P_o} \quad \cdot \quad H = \frac{P_h - P_o}{P_h}$$

Cuanto menor sea el contenido de humedad, mayor será el valor calorífico de esta biomasa y el proceso de su combustión, ya que al quemar la biomasa, el agua debe evaporarse antes de que haya calor disponible. La mayoría de los procesos de conversión de energía requiere una humedad relativa de menos del 30%. A valores más altos, es necesario realizar operaciones de acondicionamiento y secado antes del proceso de conversión de energía. (Lucas, 2012)

Fonseca (2003) nos muestra que los combustibles sólidos con un contenido de humedad de más del 30% dificultan el arranque del gasificador y reducen el valor calorífico del gas. Esto último se debe al hecho de que es necesario proporcionar calor para evaporar la humedad del combustible antes de la

gasificación, ya que al reducir la temperatura en la zona de oxidación, hace que el craqueo de los hidrocarburos liberados en la zona de pirólisis sea incompleto desperdiciando gran parte del potencial térmico del combustible

Contenido de materiales volátiles del combustible

El contenido de materiales de CSP volátiles, conocidos como alquitranes y que se liberan del combustible sólido en la etapa de pirólisis, determina el tipo de gasificador y el sistema de purificación de gas que se utilizará.

Estos alquitranes tienen un aspecto muy viscoso que causa graves daños a los motores y también tienen un alto contenido de energía, por lo que es necesario eliminarlos en el sistema de purificación de gas cuando están en poca cantidad y gasificarlos para evitar perder el valor calorífico del gas. , cuando están en grandes cantidades. Como regla general, si el combustible contiene más del 10% de compuestos volátiles, debe usarse en gasificadores de lecho móvil de flujo paralelo (Ahrenfeldt y Pedersen citados por Fonseca, 2003)

Porcentaje en cenizas

Indica la cantidad de sólido incombustible por kilogramo de materia prima. Es deseable que su porcentaje en relación con la materia seca sea lo más bajo posible.

Las cenizas pueden causar varios problemas, especialmente en los gasificadores de lecho móvil, debido a que su fusión y aglomeración forman escoria, lo que requiere un mayor mantenimiento del generador de gas y, por lo tanto, aumenta los costos de mano de obra. La acumulación de escoria causa una formación excesiva de alquitrán e incluso un bloqueo completo del generador de gas. (Fonseca, Rodríguez, & Camargo, 2017)

Poder calorífico

La caloría por masa es un parámetro que establece la energía disponible en la biomasa y se enuncia como la cantidad de energía por unidad física (por ejemplo, julios por kilogramo). Esta es la energía que se libera en forma de calor cuando la biomasa se combustiona completamente. Más específicamente, el calor calorífico superior (PCS) es el calor que realmente

sucede en la reacción de combustión, y el más bajo (PCI) es efectivamente útil, producido sin utilizar la energía de condensación del agua y otros procesos. (Petromercado, 2016)

El PCI de un combustible se forma a partir del PCS, desenvainando el calor latente del agua formada

$$PCI = PCS - 2,5(9H + H_2O)$$

Donde:

PCI Poder calorífico interior (MJ/Kg)

PCS Poder calorífico superior (MJ/Kg)

2,5 Calor de condensación del agua a 0°C (MJ/kg agua)

9 Kilos de agua que se forman al oxidar un kilo de hidrógeno

H Tanto por uno de hidrógeno en el combustible

H₂O Tanto por uno de humedad del combustible

Generalmente, el contenido de energía en la biomasa se mide de acuerdo con el valor calorífico del recurso, no obstante para cualquiera de ellos, como en el caso de la biomasa residual húmeda, se determina sobre la base del valor calorífico del producto energético obtenido durante su procesamiento. (Lucas, 2012)

Tabla 2. 1. Poder calorífico del producto energético de algunos Residuos

BIOMASA	PODER CALORIFICO MJ/Kg
Carbón	25 a 32
Madera	10 a 20
Cascara de Coco	18 a 19
Paja	14 a 16
Cascara de Café	16
Tallos de Algodón	16
Cascara de Cacao	13 a 16
Cuesco de Palma de Aceite	15
Cascara de Arroz	13 a 14
Tallos de Maíz	13 a 15
Aserrin	11

Fuente: C. Highman (2003)

2.2.1 Biomasa Residual en Ecuador

En Ecuador, debido a su naturaleza agrícola, la biomasa residual es una fuente de energía renovable con un alto potencial de explotación. La bioenergía o energía de biomasa es un tipo de energía renovable a partir del uso de materia orgánica generada en cualquier proceso biológico.

El Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energía Renovable (INER), en el camino hacia el uso de biomasa residual con fines energéticos, está desarrollando varios proyectos que utilizan los recursos naturales para el uso eficiente de la energía en Ecuador. (INER, 2017, p.22)

La biomasa de Ecuador es muy numerosa, pero debido a que es un país en desarrollo, todavía no se usa adecuadamente, la biomasa de los residuos agrícolas más comunes es el banano, el café, el cacao, las flores, el maíz, las cáscaras de arroz, las papas y etc.

Varios ministerios ecuatorianos, como la producción, la pre inversión y la electricidad, produjeron el atlas de bioenergía ecuatoriana, que contiene la información más completa y actualizada sobre la producción de biomasa en el territorio de Ecuador, y servirá como la principal herramienta para desarrollar perfiles de proyectos, políticas e investigaciones futuras. En el campo de la bioenergía. El atlas consiste en mapas que describen en detalle la ubicación y la cantidad de biomasa residual disponible para el cantón y su potencial energético correspondiente para diez cultivos (banano, arroz, cacao, caña de azúcar, maíz, palma africana, piña, café, palma y plátano), tres tipos de ganado (avicultura, porcino y vacunación) y forestal. Se consideran dos aspectos de la biomasa residual: el contenido de energía determinado sobre la base de la información y los resultados de las pruebas de laboratorio de muestras tomadas en el campo a nivel nacional, y la distribución geográfica de la biomasa residual del cantón.

un generador, la energía se produce para el consumo en la misma planta de fabricación que en las ciudades vecinas.(Bravo, Ruiz, y Jaramillo, 2016)

2.2.2 Procesos empleados para extraer Energía de la Biomasa

Según González (2012) los métodos que se manejan para extracción de energía de la biomasa son:

- Ignición directa de biomasa vegetal o primaria (es un proceso poco eficiente).
- Combustión tras un proceso físico simple de selección y separación (astillado, compresión y secado al aire).
- Procesado termoquímico (procesos como la pirólisis, gasificación y licuefacción).
- Procesado bioquímico (proceso promovido por bacterias como la digestión anaerobia y la fermentación para la producción de combustibles gaseosos o líquidos de mayor grado, estabilidad y densidad energética. (p 249)

Otros autores como Peláez y Espinoza, (2015) las posibilidades de aprovechamiento de la biomasa con fines energéticos y no energéticos son diversas:

- a) Mediante el empleo de procesos de conversión de la energía de la biomasa en calor y/o electricidad,
- b) Mediante la conversión en otra forma de energía en estado líquido por ejemplo etanol, biodiesel, aceite de pirólisis, etc. o gaseoso, tales como gases de síntesis o biogás
- c) Mediante la fabricación de aglomerados y compuestos de madera y fibras naturales. Los procesos para obtener energía se pueden dividir en termoquímicos y bioquímicos. (p.34)

Los procesos termoquímicos incluyen combustión, gasificación, pirólisis, licuefacción, extracción con agua caliente y explosión de vapor. Los procesos bioquímicos incluyen la fermentación, la digestión anaeróbica (AD) y la hidrólisis enzimática, que normalmente se utilizan para producir combustibles

líquidos. La siguiente figura muestra un esquema de los procesos antes mencionados:

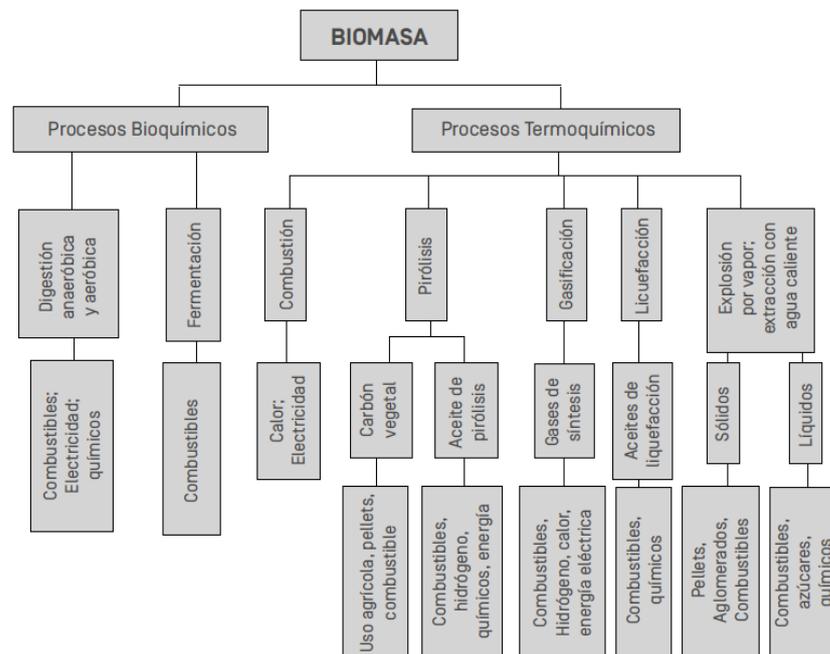


Figura 2 13. Procesos de conversión de la biomasa y principales productos/aplicaciones

Fuente: Adaptado de Basu (2010)

Se analizarán los procesos termoquímicos, ya que se adaptan al final del proyecto, que consiste en generar energía eléctrica a partir de los residuos de la industria de la madera. Para un aplazamiento rápido, se puede mencionar que los procesos físicos se utilizan para producir aceites, mientras que los productos bioquímicos están destinados a producir combustibles líquidos. Ambos procesos utilizan biomasa con un alto porcentaje de humedad.

Procesos Termoquímicos

Consisten en agregar calor a la biomasa y, dependiendo del proceso, la cantidad de oxígeno u otros gases que se agregarán, la tasa de descomposición de la biomasa puede variar, usándola directamente para generar energía o producir otra sustancia responsable. Estos sistemas de extracción se describen a continuación:

Combustión directa

El proceso de combustión directa de la biomasa vegetal o primaria podría ser un proceso ineficaz y posee lugar en dos etapas, en las que se carbonizan las dos clases de combustible que forman parte de un combustible sólidos. Por un lado, hay componentes volátiles, que se presentan en forma de una mezcla de vapores o aceites y alquitranes vaporizados cuando la temperatura del combustible aumenta y que dan lugar a la reactivación repentina de la flama cuando se quema madera o carbón; El sólido restante está compuesto de char y material inerte. El carbón vegetal es carbón que se quema produciendo CO₂ y de la materia inerte quedan escorias y cenizas. (González et al., 2015)

En esta combustión tenemos como principal ventaja, la descomposición de la biomasa es más rápida en este proceso si se lo compara con los otros.

Entre las desventajas señalamos:

- Cuando la biomasa se oxida, los compuestos orgánicos aún no se degradan y no se eliminan debido a una combustión incompleta debido a la deficiencia de oxígeno local, lo que genera contaminantes que se llaman inquemados.
- El monóxido de carbono se puede liberar a la atmósfera, que es un gas nocivo para la salud.
- Cuando se quema la biomasa se necesita una gran cantidad de calor para llevar el agua a su punto de ebullición, que es de unos 400 KJ por litro. (Forero, 2016)

Pirólisis

La pirólisis consiste en un proceso termoquímico a temperaturas moderadas (más bajas que en el caso de la gasificación) en ausencia (parcial) de oxígeno, donde el proceso produce productos sólidos (carbón vegetal), líquidos y gaseosos. El equipo utilizado para este proceso se conoce como reactores de pirólisis, cuyo principio de funcionamiento tiene algunas similitudes con los gasificadores. Sin embargo, los parámetros operativos de los reactores de pirólisis son diferentes (Peláez y Espinoza, 2015)

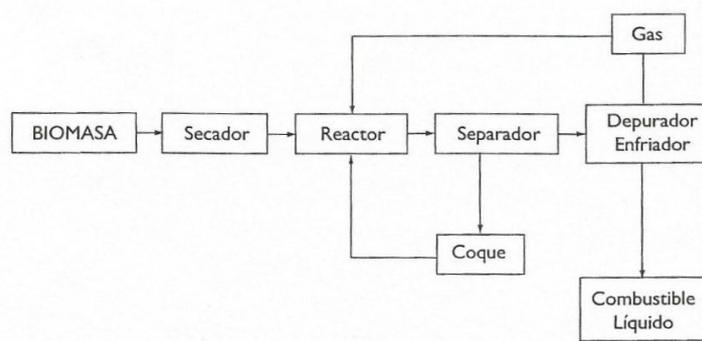


Figura 2 14. Esquema de un proceso de pirólisis para la obtención de combustibles líquidos.
Fuente: González (2012).

Los productos de pirólisis son gases, vapores, líquidos, aceites y carbón. En cualesquiera casos, la pirólisis se usa para obtener combustibles líquidos y es necesario trabajar en ausencia total de oxígeno y a elevadas temperaturas en intervalo de 250 ° C a 600 ° C (Castro, 2015). Al inicio, se forma el vapor pirógeno (composición de hidrógeno, CO, CO₂ e hidrocarburos), luego se forman compuestos líquidos (aceites, alcoholes y ácidos) y, finalmente, un residuo sólido llamado coque, que está compuesto de alquitrán, carbón y ceniza. Los residuos forestales y agrícolas y los residuos sólidos urbanos (RSU) o la basura se someten al proceso de pirólisis, que se muestra en la figura.(Energía renovable, 2018)

La pirólisis, como los señalan Arroyo y Guzmán (2018), consiste en elevar la temperatura de la materia orgánica en ausencia de oxígeno externo, también se menciona que esta reacción libera vapor de agua y compuestos volátiles, el proceso de destrucción de las moléculas deja el carbón al final, que contiene alquitrán y ceniza, y el resto es carbono en la mayoría. Se recomienda utilizar madera seca con un contenido de humedad de no más del 18%. Para la pirólisis, se pueden usar hornos de ladrillo o de metal o se puede colocar biomasa bajo tierra para generar una falta de oxígeno.

Ventajas

- No genera gases contaminantes como óxidos de nitrógeno y azufre, sino nitrógeno gaseoso y azufre sólido.

- El producto final del proceso, es carbón de madera, que tiene un potencial energético mayor al de la biomasa inicial.

Desventajas

- Si el carbón es obtenido a baja temperatura tendrá una gran cantidad de alquitrán de tipo corrosivo, obligando a adquirir una temperatura de 500°C para un mínimo de calidad química.
- La inversión que se requiere para construir un tipo de esta planta puede llegar a ser alta.
- No funciona muy bien con material orgánico que no tenga un alto valor calórico. (Tavera, 2016) y (Barajas, Anaya, Hernández, & Cardozo, 2009)

2.3 Gasificación

La gasificación, como lo mencionan Peláez y Espinoza (2015) es el proceso termoquímico de convertir un combustible sólido en un producto gaseoso con un contenido de energía utilizable, mediante combustión parcial, en presencia de un oxidante, por ejemplo aire u oxígeno, en cantidades más pequeñas que el estequiométrico.

El oxígeno proviene del aire, de una fuente externa, al igual que el vapor de agua o el CO₂, y usar solo oxígeno puede aumentar los niveles de CO y H₂ y suprimir la dilución del nitrógeno. El tipo de reactor que se utilizará dependerá de la potencia de la granulometría de los residuos, la humedad o la limpieza del gas requerido. (Velasco, 2009, p. 46)

Según el tipo de gas utilizado, el valor calorífico del gas producido puede ser bajo (aire y vapor de agua), medio (oxígeno y vapor de agua) o alto (hidrógeno y vapor de agua). El gas producido se llama gas pobre, productor de gas o gas de síntesis (Peláez & Espinoza, 2015)

La siguiente figura muestra un esquema de proceso de gasificación simple que partiendo de carbón, conduce al denominado gas de ciudad.

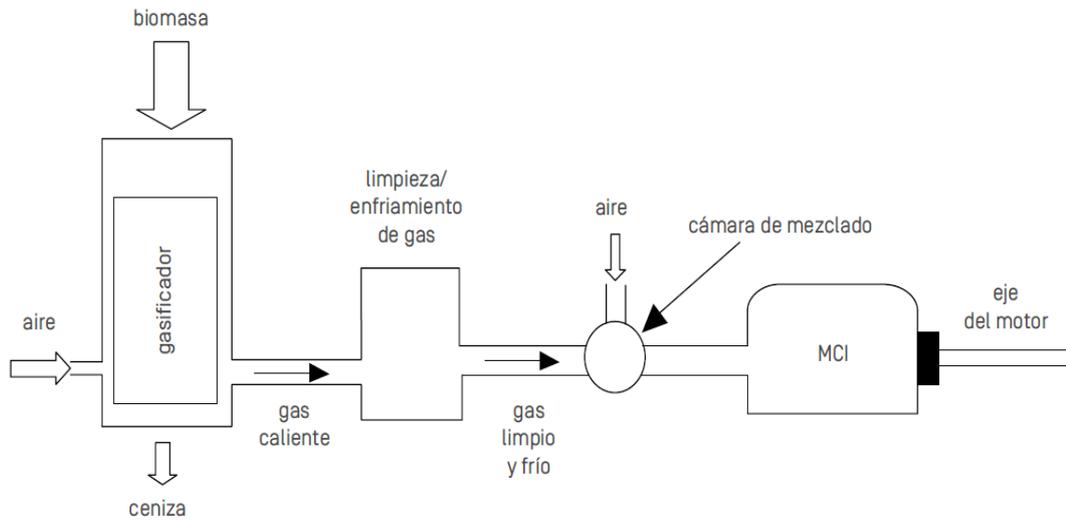


Figura 2 15. Sistema de gasificación empleado en motores de combustión interna–MCI
Fuente: (Adaptado de Foley y Barnard, 1983).

Los procesos de gasificación más complejos, aplicados al carbón como material de partida, producen el llamado gas de síntesis o syngas, cuya obtención se describe a continuación en la figura siguiente.

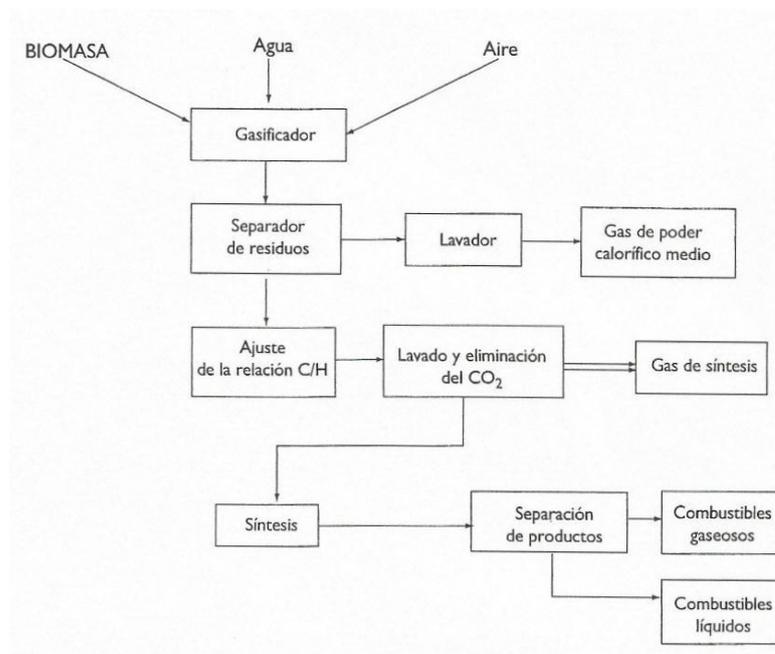


Figura 2 16. Proceso de obtención de gas de síntesis y de hidrocarburos.
Fuente: González (2012).

El syngas se puede usar en la producción de metano o de metanol, de acuerdo con las reacciones globales siguientes:



Debido a que esta es una forma en la que, con la introducción de varios gases, se produce más de un combustible según la unidad, como el aire, que produce gas de baja energía, oxígeno puro para producir combustible con menos nitrógeno, vapor de agua y oxígeno a un combustible con una gran cantidad de hidrógeno para la síntesis de otras sustancias, como el metanol o el hidrógeno puro, que genera un alto contenido de metano. (Raja, 2006)

Puede aprovechar la energía del gas producido en forma de calor, electricidad o gas de síntesis para insumos químicos.

El contenido de azufre en este proceso no es muy significativo, y el que existe se transforma en sulfuro de hidrógeno, que se puede eliminar.

Desventajas

Este proceso puede liberar monóxido de carbono, lo que hace necesario evitar la fuga de gas en el reactor hacia la atmósfera circundante. Aparte del monóxido de carbono que se puede liberar, se debe tener cuidado con la formación de álcalis, que deben separarse y eliminarse de manera adecuada. (Forero, 2016)

La viabilidad de una planta de gasificación puede verse afectada por variables como el tamaño o el costo.

Dado que la mayoría de los gases que se forman según el gasificador son de bajo valor calorífico, deja el CH₄ como la única opción, lo que hace que la presión catalítica sea necesaria para su formación. (Pérez, Borge & Agudelo, 2010, p.51)

Agentes gasificantes

Dependiendo del agente gasificante utilizado, se producen diferentes efectos en la gasificación, y el gas de síntesis, el producto final, transforma en su composición y valor calorífico:

Aire, fragmento de la biomasa procesada, se quema con el oxígeno vigente y el resto de la biomasa sufre la deflación. Sin embargo, el 50% del gas de síntesis es nitrógeno y, en términos de valor calorífico, el gas está alrededor de 5.5 MJ/Nm³. Este gas de síntesis es conveniente para motores de combustión interna convencionales, ya que como materia prima para la síntesis de metanol es un gas pobre (Pérez et al., 2010, p.27)

Vapor de agua u Oxígeno, mejora el rendimiento general y aumenta la proporción de hidrógeno en los gases de síntesis. Es el sistema más adecuado para producir gas de síntesis si desea utilizarlo como materia prima para producir metanol o gasolina sintética. Si bien el aire es libre y el vapor de agua se produce a partir del calor contenido en el gas de síntesis, el oxígeno tiene un costo económico y energético que debe tenerse en cuenta. (Pachano, 2017)

Hidrógeno Como agente de gasificación, se puede obtener gas de síntesis, que puede reemplazar al gas natural, ya que puede alcanzar un valor calorífico de 30 MJ / kg. No se recomienda como gasificador en la industria, excepto en casos de excedentes de baja pureza. (Pérez et al., 2010, p. 11)

McKendry manifiesta que dependiendo del agente gasificante usado durante la gasificación, aire, vapor de agua, oxígeno o hidrógeno, el gas de gasificación se clasifica en:

Tabla 2. 2. Clasificación del GG según el agente gasificante usado

Tipo de gas	Poder calorífico (CV)	Gasificante
Bajo valor calorífico	4 – 6 MJ/Nm ³	Aire /mezcla vapor aire
Medio valor calorífico	12 – 18 MJ/Nm ³	Oxígeno y vapor
Alto valor calorífico	40 MJ/Nm ³	Hidrogeno

Fuente: Fonseca, 2003, uso del gas gasificado termoquímica de biomasa.

2.3.1 Proceso de la gasificación

El gas se origina en un reactor (gasificador), sus peculiaridades penden primariamente de la clase de biomasa utilizada y del intervalo de energía eléctrica. Este gas se somete a un proceso de limpieza y luego se suministra al motor de combustión interna. Para la generación de electricidad a pequeña (<1 MW), los reactores más utilizados son los gasificadores de tipo descendente, que pueden garantizar los requisitos de calidad del gas que se suministrará al motor. (Lesme, Garcia, Oliva, Pajarín, y Revilla, 2016, p. 39)

En este trabajo se ejecuta una valoración experimental de la eficacia de conversión de la energía química de la biomasa en energía eléctrica de la tecnología de gasificación y generación de electricidad, con el uso de motores de combustión interna de mediciones experimentales ejecutadas en una instalación que trabaja con residuos de la producción de la madera.

La generación de electricidad utilizando gas de biomasa como combustible en motores de combustión interna es una tecnología en el estado comercial. Los motores usados pueden ser de encendido por chispa o motores diésel.

2.3.2 Gasificadores

Al pensar en instalar una planta para la gasificación de biomasa o cualquier otro combustible sólido, es importante elegir el tipo de gasificador teniendo en cuenta el combustible principal utilizado, las condiciones atmosféricas, económicas y tecnológicas de este lugar para producir gas con una alta proporción de componentes combustibles y una cantidad mínima de impurezas. mejorar el rendimiento del motor y evitar o minimizar el desgaste anormal del motor (Fonseca, 2003)

El gasificador es el equipo principal en una planta de gasificación, que es responsable de obtener la composición de gas deseada y asegurar una producción estable para aplicaciones posteriores. Los gasificadores se clasifican por el método de contacto que utilizan entre las fases sólida (biomasa) y gaseosa (agente oxidante).

La selección del tipo de gasificador a utilizar depende de la potencia que se desee y del tipo de tecnología con la que se usará para el uso de la gasificación. (Lesme et al., 2016)

Los de lecho fluidizados es utilizado para grandes instalaciones, mientras que para potencias más pequeñas se prefieren los lechos fijos, como es el caso de este proyecto

Gasificador Updraft

En estos gasificadores, el sólido desciende lentamente en contracorriente con la corriente de gas generada por la introducción de los agentes gasificantes (aire u oxígeno y vapor) a través del fondo del gasificador. A medida que el sólido desciende, se calienta por la corriente ascendente del gas hasta que alcanza la zona de combustión donde se alcanza la temperatura máxima, sufriendo un enfriamiento posterior antes de la descarga de escorias.

La temperatura en la zona de combustión está condicionada por la temperatura de fusión de la ceniza. La regulación de la temperatura en el lecho se realiza mediante inyección de vapor. El consumo de vapor es mucho mayor en el caso de trabajar con cenizas secas. Debido a que la desgasificación y desvolatilización del sólido se realiza en una zona de baja temperatura del gas (entre 250 y 500°C), no se produce la descomposición de los aceites, alquitranes y gases formados (fenoles, amoníaco, H₂S), obteniendo una contaminación bastante contaminada del gas. (Pérez, Díaz, Obando, y Molina Ochoa, 2009)

Gasificador Downdraft

El sólido ingresa por la parte superior del reactor, experimentando sucesivamente con los procesos de secado y pirólisis cuando se somete a un aumento progresivo de la temperatura. Este perfil de temperatura se debe al hecho de que la conducción y la radiación de calor a temperaturas suficientemente altas, tienen lugar desde el fondo, donde el calor se genera por combustión parcial de los productos que llegan allí.

Los gases, alquitranes y carbón continúan su camino descendente y llegan a la zona de oxidación a alta temperatura, en la que queman o rompen una parte

con el oxígeno introducido, proporcionando la energía necesaria para mantener el proceso térmicamente y empobreciendo la calidad del gas. Los productos reaccionan entre sí, a través de las reacciones de reducción, para aumentar la cantidad y la calidad como combustible de la fase gaseosa. (Pérez Bayer et al., 2009)

El gasificador de la planta será downdraft, ya que, como se describe, cumple con los rangos de nuestras instalaciones, y es más apropiado que la corriente ascendente para la generación más baja de alquitranes.

Gasificador Crossdraft

Este gasificador tiene ventajas significativas sobre los gasificadores de corriente ascendente y descendente. El tiempo de inicio es de alrededor de 5 minutos, tienen la capacidad de operar con combustibles húmedos o secos y la temperatura del gas producido es comparativamente elevada. De ello se deriva que la composición del gas producido tiene un bajo contenido de hidrógeno y metano. Como desventaja se debe considerar la necesidad de usarse con combustibles con bajo contenido de cenizas, como la madera y el carbón mineral.

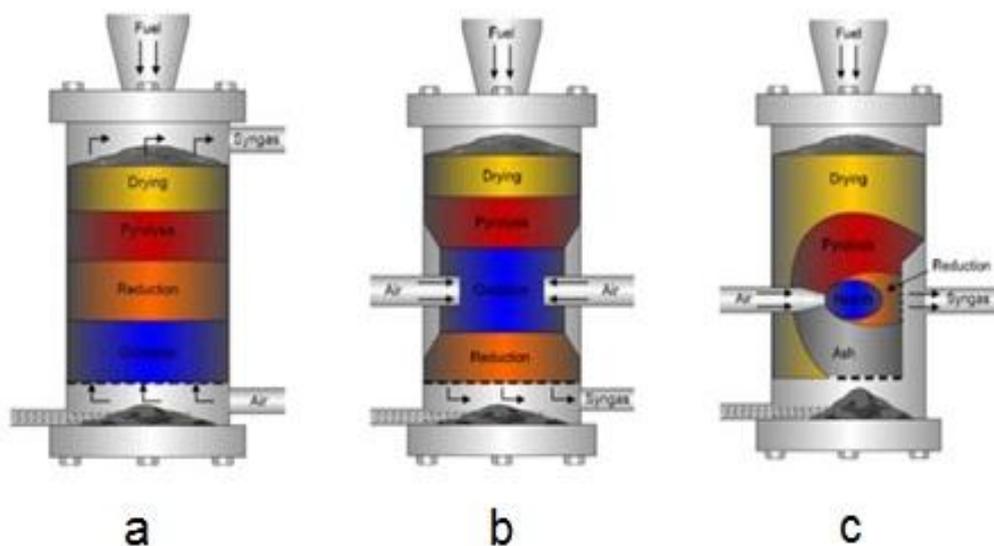


Figura 2 17. Tipos de gasificadores de lecho fijo ascendente: a) Updraft b) Downdraft c) Crossdraft

Fuente: Bull (2008)

2.4 Potencial residuo del maíz

Según el Instituto Nacional de Investigación Agrícola (INIAP), el maíz amarillo duro en Ecuador es uno de los productos agrícolas más importantes de la economía nacional. Constituye la principal materia prima para la elaboración de alimentos concentrados (equilibrados) destinados a la industria animal, especialmente aves de corral comerciales, que es una de las actividades más dinámicas del sector agrícola. (INIAP, 2014, parr 2)

Ecuador produce 1,4 millones de toneladas (t) de maíz, de las cuales 900 000t adquieren la industria nacional para la producción de proteína alimenticia. Para 2019, la proyección es que la producción aumente a 1.5 millones de toneladas de maíz, según el Ministerio de Agricultura de Ecuador. En los últimos años, el país ha aumentado sus niveles de producción de cereales, pero aún es deficiente. Entre enero y febrero de este año, se importaron 200,000 toneladas. La productividad del maíz es de 5,6 toneladas por hectárea, pero la intención es aumentar a 7 t / ha (El Comercio, 2018)

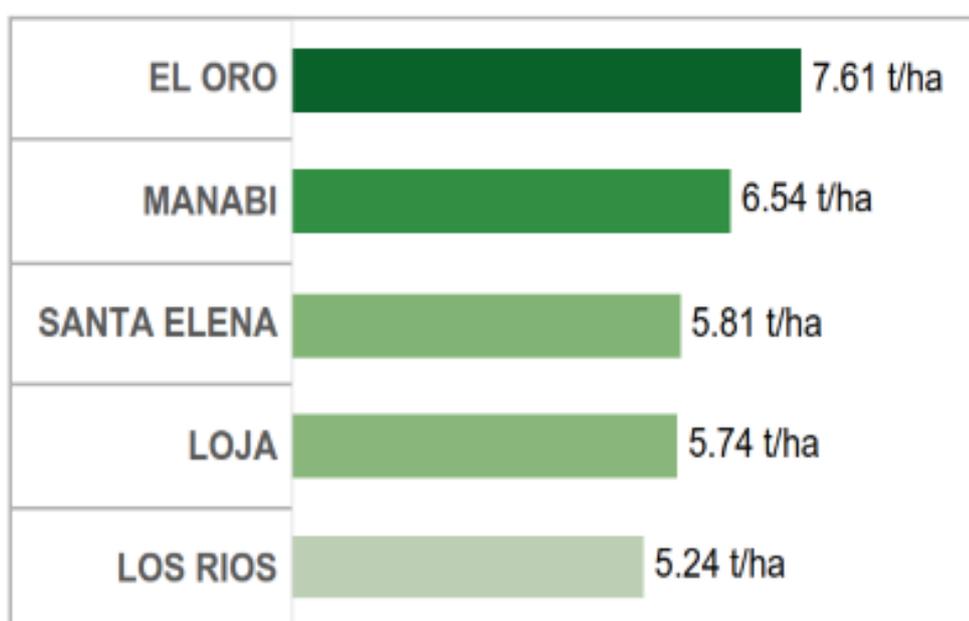


Figura 2 18. Ranking de Rendimiento de las 5 principales provincias de cultivo de maíz 2017

Fuente: Ministerio de Agricultura y ganadería del Ecuador, 2018

La producción del maíz en el Ecuador, como se observa en la siguiente figura, desde el año 2010 al 2015 fue en aumento, disminuyendo en el 2016 a causa del terremoto producido en ese año y afecto a la provincia de Manabí especialmente, recuperándose paulatinamente

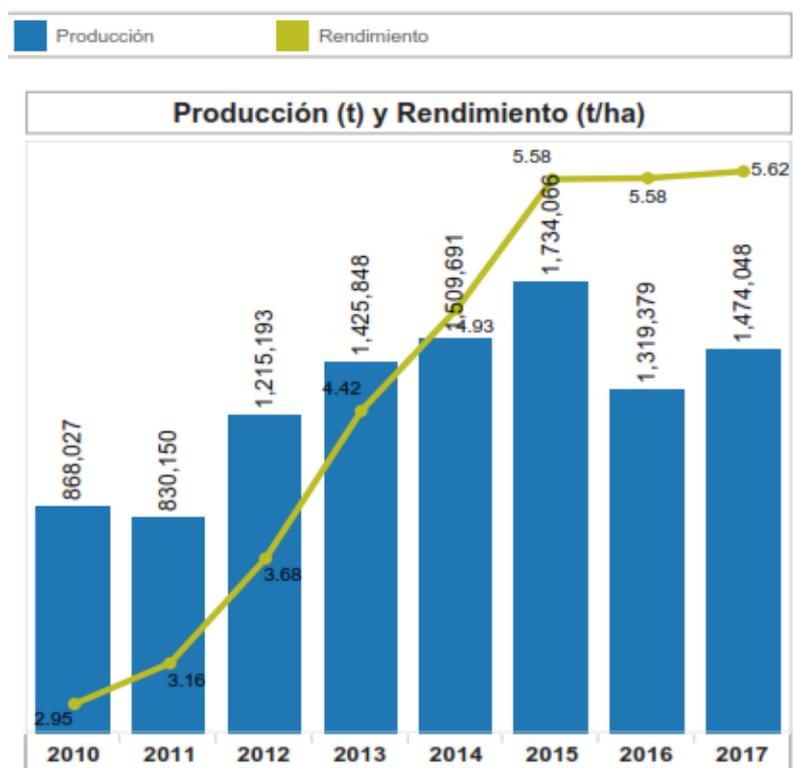


Figura 2 19. Producción y Rendimiento del Maíz
Fuente: Ministerio de Agricultura y ganadería del Ecuador, 2018

La biomasa producida por el residuo de maíz que constituye un recurso energético está formada por tallo, hojas, cáscara (humedad inferior al 12 por ciento). Su cantidad es equivalente a 2,5 veces el peso del grano de maíz cosechado. De la totalidad del cultivo, la población general solo aprovecha el 50% que corresponde al producto comercial, el resto corresponde a diversas estructuras de la planta como caña, hoja, extremidades y mazorca entre otras.

La producción de biomasa residual que genera un cultivo de maíz de grano (cañas, hojas, cáscaras y mazorcas de maíz), fluctúa entre 20 y 35 toneladas por hectárea. La proporción entre los componentes de los residuos depende principalmente de la variedad, el nivel de fertilización y el tipo de cultivar (Imba y Tallana, 2014)

Combustión del zuro de Maíz

En su tesis de grado Espinoza (2015) cita a Keener (1981) como uno de los investigadores que demostró que la cáscara de maíz es un combustible excelente y contribuye a reducir las necesidades de energía para una parte del proceso de secado del grano de maíz. Además, Keener propone un consumo energético específico de aproximadamente 1.500 kcal / kg de agua en la fase gaseosa, y una eficiencia de combustión entre 80 y 85%.

La energía proveniente del zuro seco también se usa para secar los húmedos. La tecnología utilizada para la quema de las vigas se basa en un horno especial de dos etapas (gasificación y combustión), donde los gases de combustión se utilizan para mezclarse con el aire de secado, y en el lugar se alcanzan temperaturas de 90 a 110 ° C. secador de grano.

Como se mencionó anteriormente, el rendimiento de una hectárea de maíz, 6000 kg de grano producirá una tonelada de maíz; como el calor de combustión del zuro seco es de aproximadamente 3 600 kcal / kg (15.1 kJ / kg), la capacidad térmica del zuro será de 3 600 000 kcal, suficiente para secar dos o más hectáreas de maíz con 20% de humedad inicial (El valor calorífico de la cáscara de maíz con 20% de humedad reportada en la literatura es de 15.1 kJ / g (Food and Agriculture Organization for de United Nation, 1998).

2.5 Principio de gasificación de biomasa para generación de electricidad con motores de combustión interna

Si bien el concepto de generar electricidad con biomasa no es nuevo, en la última década ha aumentado el interés de desarrollar tecnologías altamente eficientes para este propósito. La biomasa es particularmente atractiva para estaciones de baja capacidad (<10 MW) y exhibe tasas de eficiencia de alrededor del 35 - 40%, es decir, por encima de los ciclos tradicionales (menos del 30%).

Las aplicaciones más extendidas del gas pobre son: turbinas de gas, ciclos combinados, la producción de productos químicos y, más recientemente, la generación de energía en celdas de combustible de alta eficiencia. Una de las plantas más exitosas para producir calor y electricidad a partir de biomasa es

la instalada en Austria (Güssing), tiene un gasificador de lecho fijo con recirculación y una capacidad de 2 MW de electricidad y 4,5 MW de capacidad térmica.

Los gases calientes limpios se utilizan en un equipo de combustión interna y en un ciclo combinado (CHP). Bridgwater informó sobre un estudio de las tecnologías existentes considerando los aspectos de preparación, gasificación, limpieza de gases: Los resultados de esta investigación favorecen el uso de tecnologías de producción integradas en ciclos combinados de turbinas de gas (B-IGCC).

Los elementos básicos de una planta de gasificación y ciclo combinado (B-IGCC) incluyen un secador de biomasa, un gasificador, un sistema de limpieza, una turbina de gas alimentada por gas de biomasa, un generador de vapor recuperativo y un vapor de turbina.

Selección tecnología cogeneración

La elección de la tecnología más adecuada para cada centro de consumo de energía depende de una serie de factores como la electricidad / calor, el nivel de temperatura de la demanda térmica, la disponibilidad de combustibles, las fluctuaciones de la demanda térmica, etc. (Agencia Sostenibilidad Energética de Chile, 2018)

La Tabla a continuación muestra una comparación entre las posibles tecnologías para cogeneración según diversas escalas de potencia.

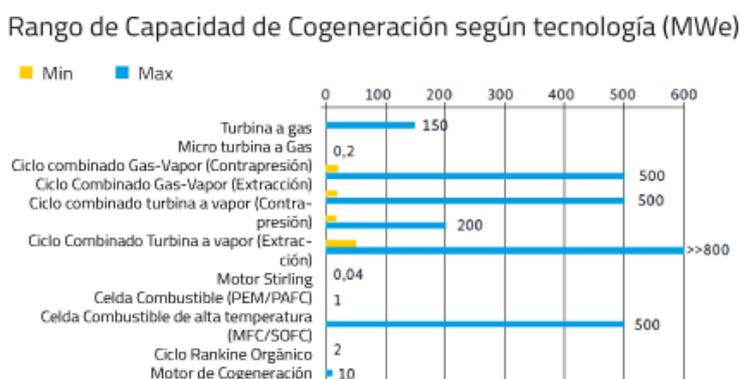


Figura 2 20. Rango de capacidad de cogeneración según su tecnología
Fuente: Agencia Sostenibilidad Energética de Chile (2018)

2.6 Motores de combustión interna (MCI)

La historia de los motores de combustión interna se remonta al año 1680 cuando Christian Huygens desarrolló un motor que usa pólvora para explosión dentro de un tubo cilíndrico. Posteriormente, en el año 1860 aparece el motor de compresión que utiliza gas de carbón fue desarrollado por Lenoir en Francia. El motor se llamaba Lenoir, y fue operativamente similar a la máquina de vapor. En 1866, el motor de pistón libre Otto-Langen fue desarrollado en Alemania y tenía una eficiencia térmica superior a la del "motor Lenoir. (Huamán, 2013)

En 1876, se desarrolla el motor de cuatro tiempos, basado en el ciclo de Otto fue perfeccionado por Nikolous Otto en Alemania, que revolucionó el desarrollo de los motores de combustión interna e incluso se utilizan hasta la fecha. (Alvarado, 2016)

La tecnología de los motores y basados en ello evolucionaron en el año 1892. Tales motores están acreditados a Rudolf Diésel otro ingeniero alemán y se denominó como motor a diésel. Dos motores de carrera surgieron en 1881 en Escocia y fueron desarrollados por primera vez por Dugald Clerke, Motor Brayton basado en el ciclo Brayton y el 'motor Atkinson basado en el ciclo de Atkinson se desarrollaron en el año 1873 y 1885 respectivamente.

Además de los motores convencionales tiempos descritos anteriormente, el motor Wankel, que era un motor rotativo y el motor Stirling que era un motor de combustión externa surgió en años 1957 y 1938 respectivamente. En 1923 un motor llamado pistón libre fue desarrollado por Pateras, en Francia.

El motor de pistón libre es en realidad una combinación de motor de pistón y cilindro alternativo y turbina, este motor es una forma modificada de motor utilizado para transformar la energía química del combustible en energía térmica y posteriormente para producir trabajo, basado en el mecanismo utilizado para agregar energía térmica

Se pueden clasificar en los siguientes:

- Motor de combustión externa.
- Motor de combustión interna.

El motor de combustión externa tiene combustión fuera del motor y agrega calor al funcionamiento fluido utilizado en el motor. Por lo tanto, en los motores de combustión externa el calor liberado durante la combustión es utilizado indirectamente por el fluido de trabajo en el motor de combustión externa.(Flores, 2015)

Los motores alternativos de combustión interna (MACI), se utilizan para la transformación de la energía de los combustibles en trabajo mecánico. Equipan prácticamente a todos los vehículos de transporte por carretera y tienen implantación en el sector naval, aeronáutico, industrial y de sistemas auxiliares. (Arango Gómez, Sierra Vargas, y Silva Leal, 2014)

Son máquinas volumétricas y sus componentes básicos son el cilindro-pistón y el árbol cigüeñal, que mediante un sistema biela-manivela es el encargado de transformar el movimiento lineal del pistón sobre el cilindro en un movimiento rotatorio. Utilizan gas, gasóleo o fuel-oíl como combustible. (Ruiz, 2015)

En general se basan en la producción de vapor a baja presión (hasta 10 bares), aceite térmico y en el aprovechamiento del circuito de agua de refrigeración de alta temperatura del motor. Son también adecuadas la producción de frío por absorción, bien a través del vapor generado con los gases en máquinas de doble efecto, o utilizando directamente el calor del agua de refrigeración en máquinas de simple efecto. (García y Fraile, 2008)

Los motores de combustión interna tienen la combustión que se produce en el propio motor y el calor liberado durante la combustión se usa directamente para obtener trabajo en el eje, estos motores tienen numerosas ventajas sobre los motores de combustión externa como una menor relación peso / potencia, simplicidad, menor costo inicial y mayor eficiencia, etc.

Debido a la transferencia de calor indirecta, los motores de combustión externa permiten el uso de cualquier combustible más barato, como carbón, madera, petróleo, etc. para la combustión. (Rodríguez, Roy, y Gómez, 1999)

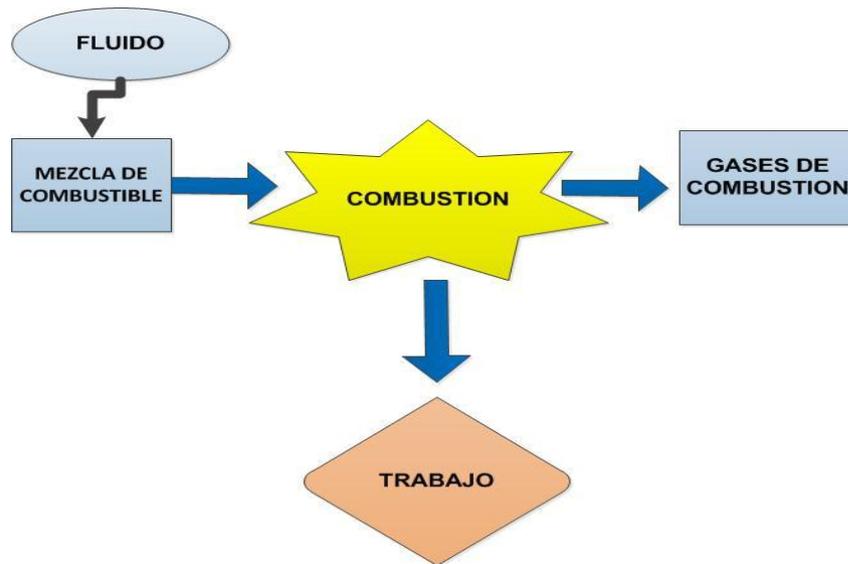


Figura 2 21. Funcionamiento del motor de combustión interna
Fuente: Autor

El motor de combustión interna es una máquina que se compone de varios mecanismos, elementos fijos y móviles cuya operación es responsable de aprovechar, dirigir, regular la transformación de un tipo de energía o un trabajo, en este caso podemos ver que transforma la energía. La química de la gasolina en energía mecánica lineal, para luego transformarla mediante un mecanismo de biela en energía mecánica rotacional. Todo este proceso se lleva a cabo cuando el combustible se comprime en un cilindro por medio de un pistón o pistón y la mezcla se enciende por medio de una chispa provista por un sistema de encendido. La enorme fuerza explosiva que recibe el pistón se convierte en energía mecánica de movimiento

2.6.1 Clasificación de motores combustión interna

Los motores de combustión interna se pueden clasificar de la siguiente manera.

(a) **Basado en el número de carreras:** la cantidad de carreras involucradas en un ciclo del motor IC puede ser dos trazos o cuatro golpes. Tal motor puede ser:

- Motores de dos tiempos.
- Motores de cuatro tiempos

Según Díaz (2008) las definiciones de los motores basados en el número de carreras de dos y de cuatro tiempo es como sigue:

El motor de dos tiempos, es aquel que necesita un giro del cigüeñal para completar el ciclo, es decir, en los primeros 180 ° realiza la admisión y la compresión y en el segundo 180 ° hace que la explosión y el escape, una de las serias desventajas. De este tipo de motores es que es cárter seco, que es el tanque de aceite para la lubricación interna del sistema.

En este tipo de motores, la lubricación se realiza mezclando el aceite con la gasolina, es decir, entran mezclados en el cárter y la cámara de combustión, la mezcla de aceite con el biogás es una complicación determinante cuando se tiene en cuenta este tipo de motor y el que tiene la desventaja de la pre mezcla con el aceite porque los dos están en diferentes estados.

El motor de cuatro tiempos, que utiliza dos vueltas del cigüeñal para cumplir con el ciclo, la admisión, la compresión, la explosión y el escape, este motor tiene algunas ventajas sobre los dos tiempos, una de las ventajas es que en este motor la lubricación funciona con el aceite depositado en el cárter, por lo que no es necesario mezclar previamente el combustible con el lubricante, una de las propiedades del aceite es que es refrigerante, el motor cuatro veces se enfría mejor, lo que disminuye el desgaste de las piezas móviles, por ejemplo, el pistón del motor de dos tiempos está expuesto a doble esfuerzo en el mismo número de revoluciones.

Por otro lado, la eficiencia térmica de este motor es mayor, ya que los gases de escape nuevos no son expulsados por el escape de inmediato. Finalmente, la necesidad eléctrica de un motor de 4 tiempos es menor, ya que con la misma cantidad de revoluciones, la bujía se enciende la mitad del tiempo que el motor de 2 tiempos. Por todas las ventajas presentadas, se decidió utilizar una planta de energía con un motor de 4 tiempos (p. 115)

1-Primera Carrera descendente: Admisión;

Las válvulas de entrada se abren y las de escape cerrado, el pistón se mueve hacia el PMI, lo que crea una caída de presión en el cilindro que causa la aspiración de gases a través del conducto de admisión. Cuando el pistón alcanza el PMI, las válvulas de admisión se cierran y comienza la fase de compresión.

2-Primera Carrera ascendente: Compresión.

Las válvulas de admisión y escape cerradas, el pistón se mueve desde el punto muerto inferior (PMI) hasta el punto muerto superior (PMS) que comprime el fluido. Cuando la compresión se acerca al PMS en los motores de encendido por chispa, se produce la chispa o, en el caso de los motores de encendido por compresión, se inyecta combustible y se produce combustión. (Britz, 2016)

3-Segunda Carrera descendente: Expansión.

Válvulas de admisión y escape cerradas. Como efecto de la combustión, hay un aumento en la presión en el pistón que lo empuja desde el PMS al PMI. De este empuje se obtiene el trabajo del motor.

4-Segunda Carrera ascendente: Escape.

Cuando el pistón alcanza el PMI, las válvulas de escape se abren y los gases de combustión se expulsan a medida que el pistón se mueve hacia el PMS. Al llegar a las proximidades del PMS, las válvulas de escape se cierran y el ciclo se inicia de nuevo.

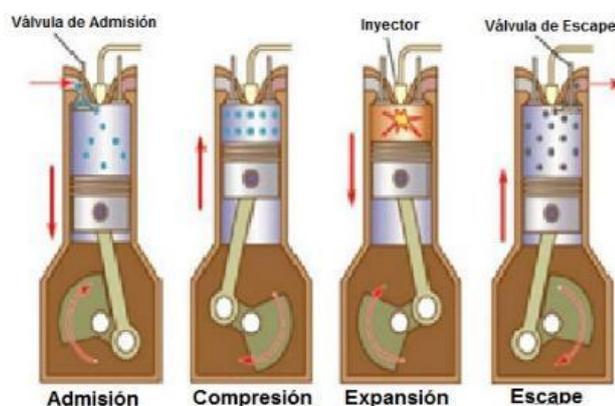


Figura 2 22. Basado en el número de carreras
Fuente: Britz (2016)

(b) **Basado en el ciclo termodinámico:** Dependiendo del ciclo termodinámico utilizado en el interior. Estos motores de combustión se pueden clasificar como:

- Motores basados en el ciclo Otto (motor de encendido por chispa)
- Motores basados en diésel o ciclo dual (Motor de encendido por compresión)

(c) **Basado en el mecanismo de ignición:** Los motores de combustión interna tienen la combustión como proceso base. El proceso de combustión puede iniciarse utilizando un encendido asistido externamente (encendido por chispa) o solo puede iniciarse debido a una compresión excesiva (encendido por compresión). Tales motores se llaman:

- Motores de encendido por chispa (MEP)
- Motores de encendido por compresión(MEC)

Los motores de encendido por chispa pueden tener un sistema de encendido por magneto o un sistema de encendido por batería que crea el potencial eléctrico necesario para la chispa.

Los motores MEP se caracterizan por la necesidad de un suministro de energía externa al ciclo termodinámico para iniciar la combustión, en los motores modernos esta energía es proporcionada por una chispa producida entre dos electrodos de una bujía.

El momento de la producción de esta chispa debe ser adecuado para obtener la máxima eficiencia posible, generalmente la mezcla de aire y combustible se hace fuera del cilindro y se introduce a través del conducto de admisión, en algunos casos el combustible se puede inyectar directamente durante la compresión formando una Mezcla heterogénea.

Otras denominaciones de los motores MEP son:

- ✓ Motores de Explosión
- ✓ Motores de Encendido por Chispa
- ✓ Motores Otto

Los motores MEC inician la combustión por medio de un proceso de autoignición de la mezcla de aire y combustible al lograr temperaturas finales suficientemente altas en la cámara de combustión en la etapa de compresión. En estos motores, solo el aire ingresa en el conducto de admisión y el combustible se inyecta hacia el final de la carrera de compresión, cuando el aire alcanza niveles altos de temperatura para producir autoinflamación.

A diferencia del MEP donde el área donde comienza y se mueve la combustión está claramente ubicada (a partir de la bujía), en los motores MEC depende especialmente del área en la que la mezcla está en las proporciones ideales, siendo estas son las áreas donde La mezcla está en proporciones estequiométricas.

Por lo tanto, el proceso de combustión depende espacial y temporalmente del proceso de inyección y se ve afectado por los procesos físicos que tienen lugar en la inyección, por ejemplo, la atomización del combustible, su evaporación, la relación aire-combustible y la turbulencia producida. En la cámara de combustión. (Giacosa, 2011)

La denominación más usual para denominar al motor MEC es:

- ✓ Motor Diesel, en honor al inventor de este motor

Otros nombres menos corrientes también empleados serían:

- ✓ HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition)
- ✓ CAI (Controlled Auto-Ignition)

(d) **Según el tipo de combustible utilizado:** los motores IC se pueden clasificar según el tipo de combustible usado. Estos pueden ser:

- Motores de gasolina (la gasolina se usa como combustible)
- Motores de gas (combustible gaseoso en uso)
- Motores diésel (diésel usado como combustible)
- Motores multicomcombustibles (se está utilizando más de un combustible)

(e) **Basado en la admisión de combustible:** los motores IC pueden ser de diferentes tipos según el arreglo utilizado para admisión de combustible:

- Motores de tipo carburador (usar medición de combustible del carburador)
- Motores de inyección (use inyector de combustible y sistema de inyección)(Valdés, López, & Taín, 2010)

(f) Según el tipo de enfriamiento: los motores IC tienen un requisito inherente de enfriamiento continuo del motor. Según el tipo de enfriamiento, estos pueden clasificarse como:

- Motores refrigerados por aire (generalmente utilizados en motores de tamaño pequeño)
- Motores refrigerados por agua (generalmente utilizados en motores de gran tamaño)

(g)Según el tipo de movimiento: los motores IC pueden tener un movimiento alternativo de pistón o también pueden tener movimiento rotatorio. Tales motores pueden ser:

- Motores reciprocantes
- Motores rotativos.

Los motores reciprocantes pueden tener diferentes disposiciones de cilindros, tales como:

- ✓ Motores de cilindros opuestos.
- ✓ Motores de cilindros inclinados.

Disposición del cilindro en forma de V.

Los motores rotativos pueden clasificarse además como motores de un solo rotor o motores de varios motores, es decir,

- ✓ Motor de un solo rotor.
- ✓ Motor multi rotor (Acebes, 2017a)

2.6.2 Terminología del motor de combustión interna

Algunos de los componentes básicos y términos generalmente utilizados en los motores de combustión interna se dan como debajo.

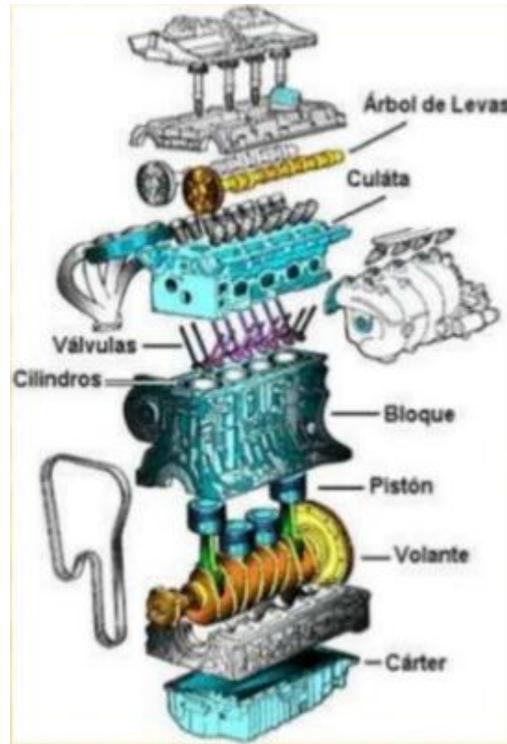


Figura 2 23. Partes del Motor de Combustión
Fuente: Rodríguez (1999)

1. **Cilindro:** Es un bloque cilíndrico que tiene un espacio cilíndrico en el interior para que el pistón realice movimientos recíprocos. La parte superior del cilindro que lo cubre desde la parte superior se llama culata. Esto es fabricado por el proceso de fundición y los materiales utilizados son de fundición o acero aleado.

2. **Anillos de pistón y pistón:** el pistón es una parte cilíndrica que alterna dentro del cilindro y se usa para hacer trabajo y conseguir trabajo. El pistón tiene anillos de pistón ajustados firmemente en la ranura alrededor del pistón y proporcionar un cierre hermético para evitar fugas en el pistón y la pared del cilindro durante el movimiento alternativo del pistón movimiento. Los pistones son fabricados por fundición o proceso de forja. Los pistones son de fundición de aleación de aluminio. Los aros de pistón están hechos de silicona, hierro

fundido, aleación de acero mediante proceso de fundición. (Valdés et al., 2010)

3. **Espacio de combustión:** es el espacio disponible entre la culata y la parte superior del pistón cuando el pistón está en la posición más alejada del cigüeñal (TDC).

4. **Colector de admisión:** Es el paso / conducto que conecta el sistema de admisión a la válvula de entrada sobre el cilindro a través del colector de admisión, la mezcla aire / aire-combustible entra en el cilindro.

5. **Colector de escape:** Es el paso / conducto que conecta el sistema de escape a la válvula de escape al cilindro. A través del colector de escape salen los gases quemados del cilindro.

6. **Válvulas:** el motor tiene válvulas de admisión y de escape que son operadas por válvulas, mecanismo compuesto por leva, árbol de levas, seguidor, vástago de válvula, brazo oscilante, resorte de válvula, etc. Las válvulas son generalmente de tipo cargado por resorte y hecho de aceros de aleación especial por proceso de forja.

7. **Bujía:** Es el encendedor externo usado para iniciar el proceso de combustión. La bujía es activada por energía eléctrica alimentada por sistema eléctrico con motor. Entrega chispa con energía adecuada, para iniciar la combustión en el momento adecuado.

8. **Cojinete:** se requieren cojinetes para soportar el eje del cigüeñal. Los rodamientos son de metal blanco con plomo, bronce.

9. **Biela:** Es el miembro que conecta el pistón y el cigüeñal. En general tiene sección y está fabricado en acero forjado.

10. **Manivela:** Es el miembro rígido que conecta el cigüeñal y la biela. La manivela está montada en el cigüeñal. La manivela transfiere el movimiento de la biela al cigüeñal ya que está conectada a la conexión varilla a través del pasador de manivela.

11. **Cigüeñal:** es el eje en el que se puede obtener un trabajo positivo útil del pistón-cilindro. El movimiento alternativo del pistón se convierte en un

movimiento giratorio del cigüeñal. Son fabricados por proceso de fogón en aleación de acero.

12. **Cárter:** Donde se almacena el aceite, estos están hechos de aleación de aluminio, acero, hierro fundido, etc. mediante proceso de fundición.

13. **Pasador de garra:** es el pasador que une el extremo pequeño de la biela y el pistón. Esta hecho de acero forjado.

14. **Levas y árboles de levas:** Las levas se montan sobre el árbol de levas para abrir y cerrar las válvulas en tiempos correctos y para una duración correcta. El árbol de levas recibe movimiento del cigüeñal a través de los engranajes de distribución.

15. **Carburador:** El carburador es un dispositivo para preparar la mezcla de aire y combustible en la proporción y el suministro correctos en el momento adecuado

16. **Diámetro:** Es el diámetro interior nominal del cilindro.

17. **Área del pistón:** es el área de un círculo de diámetro igual al diámetro interior.

18. **Carrera:** Es la distancia nominal recorrida por el pistón entre dos posiciones extremas en el cilindro.

19. **Punto muerto:** se refiere a las posiciones extremas dentro del cilindro en las que el pistón se invierte.es movimiento Por lo tanto, hay dos centros muertos en el cilindro, llamados "centro muerto superior" o "muertos internos" centro "y" centro muerto inferior "o" centro muerto exterior ".

El punto muerto superior (PMS) es la posición más alejada del pistón desde el cigüeñal. También se le llama muerte interna centro (IDC). El punto muerto inferior (PMI) se refiere a la posición cerrada del pistón desde el cigüeñal. También es llamado punto muerto exterior (ODC).

20. **Volumen barrido:** es el volumen barrido por el pistón mientras se viaja desde un punto muerto hasta el otro. También se le puede llamar volumen de movimiento o volumen de desplazamiento. (Acebes, 2017)

21. **Volumen de separación:** Es el espacio de volumen sobre el pistón dentro del cilindro, cuando el pistón está en centro muerto superior. Se proporciona para consideraciones de amortiguación y depende, en gran medida, de la compresión proporcionada.

22. **Relación de compresión:** Es la relación del volumen total del cilindro cuando el pistón está en BDC al volumen de liquidación.

2.6.3 Principio de funcionamiento de Motores de Combustión Interna a biogás

Según Payri (2011), en los motores de gas, su principio de funcionamiento está definido por el ciclo Otto, que es un motor que se define por cuatro fases de funcionamiento: admisión, compresión, expansión y escape. Cuando un motor de ciclo Otto utiliza gas natural, no requiere ninguna transformación mecánica significativa. Simplemente equipar el sistema de almacenamiento, el carburador y el encendido con válvulas eléctricas, y también agregue un convertidor catalítico, si lo desea.

El MCI, que trabaja con biogás, es una tecnología ampliamente utilizada en la producción de energía eléctrica y térmica, aunque se sabe que una mezcla estequiométrica de biogás-aire proporciona en promedio aproximadamente el 85% de la energía de la mezcla estequiométrica de diesel-aire.

Sin embargo, el uso de biogás es un poco más complicado debido a la calidad de su composición química, ya que es un combustible relativamente pobre que contiene una cantidad significativa de CO₂ y contaminantes como partículas, humedad y sulfuro de hidrógeno (H₂S). Esto requiere al menos un tratamiento previo y secado para el biogás y una selección muy cuidadosa del motor. (Britz, 2016)

En el mercado puede encontrar varios proveedores de estos motores, así como proveedores de accesorios esenciales como filtros, deshumidificadores, sistemas de recuperación y disipación de calor, sistemas de control y conexión a la red eléctrica y proveedores de paquetes completos, adecuados a las necesidades de Cada actor y motor (Retamal y Marchant, 2012).

Por este motivo, aunque la tecnología se está aplicando, la configuración de parámetros del motor no está bien definida, teniendo en cuenta que los MCI están diseñados en condiciones de operación muy diferentes a las que están realmente sometidas, como es el caso de los motores estacionarios. , por lo que su funcionamiento en relación con sus condiciones geográficas y climáticas, influye en su desempeño, lo que afecta directamente su eficiencia.

El biogás filtrado se puede utilizar como un solo combustible en el motor de astillado eléctrico (MEP). El motor de encendido por compresión (MEC), ya que no tiene una bujía, no emite una chispa para producir la explosión dentro del cilindro, en cuyo caso se debe utilizar el biogás mezclado con el combustible diesel, que explota por compresión. En el caso de MEC, hasta el 65% del combustible diesel ha sido reemplazado por biogás, sin afectar el motor ni su eficiencia (Souza, 2015).

La modificación general para un MEC o MEP es la adición de un mezclador que agrega el biogás al aire de admisión. Se han utilizado varios tipos de mezcladores de aireadores, que se instalan fácilmente entre el filtro y el tubo de admisión de aire; en el caso de los MEP, la mezcla contiene aproximadamente un 15% de biogás, que corresponde a una parte de biogás por cada 6 o 7 partes de aire para MCI de mezcla estequiométrica o ligeramente menor para MCI de mezcla pobre. Una de las aplicaciones principales del biogás en el MEC es la operación alternada con el biogás (operación dual), pero las modificaciones realizadas significan que el motor se transforma en un MEP cuando se usa biogás debido a la necesidad de agregar un sistema de encendido, el cual Se usa comúnmente en motores estacionarios de baja capacidad.

En el caso de MEC, las proporciones de biogás son menores y dependen de la forma o tipo de conversión aplicada. Hasta el 90% del combustible fósil se puede reemplazar con biogás, pero es necesario usar diesel como combustible piloto para encender el biogás (operación de bi-combustible), además, se pueden ajustar en una configuración dual o dedicada. En el MEC de compresión de capacidad media, el encendido se mantiene mediante la adición parcial de combustible diesel, que requiere modificaciones en los ajustes del gobernador de la bomba de inyección o una exploración más

detallada de otros parámetros que influyen en el rendimiento (Arango et al, 2014)

Actualmente en las plantas de generación de energía, la eficiencia del MCI aumenta con la energía generada para alcanzar un valor cercano al 38% para MCI de diferentes tamaños y también para operaciones de carga parcial; sin embargo, la calidad del biogás también afecta el rendimiento de conversión. Antes de la aparición del MCI de mezcla pobre, las eficiencias alcanzadas eran bastante bajas, siendo casi la mitad de las actuales. (A. García, Cendales, & Sarmiento, 2016)

A diferencia del MEC, para los MEP con una capacidad en el rango de 5 a 150 kW, se han informado reducciones sustanciales en la energía suministrada al operar con biogás. Para motores con capacidad, en el rango de 150 a 1,500 kW, existe una pérdida de eficiencia del 10% en la producción indirecta de potencia mecánica cuando se opera con biogás, aunque para aplicaciones de generación, el biogás se produce in situ. Esta pérdida no es importante debido a la mayor flexibilidad en el uso de la energía disponible y la autosuficiencia de sus necesidades energéticas diarias durante muchas estaciones del año sin usar combustibles fósiles (UBA, 2016).

Encendidos por compresión (MEC) operados con biogás

En el MEC, el sistema de inyección de combustible suministra una cierta cantidad de combustible líquido de acuerdo con el régimen de operación. Sin embargo, el motor succiona y comprime una mezcla de aire con biogás que se ha preparado en el dispositivo de mezcla externo; Entonces, esta mezcla se enciende junto con el diésel líquido.

Para operar el MEC con carga parcial, el suministro de biogás se reduce por medio de una válvula de control de gas que induce una restricción simultánea en el flujo de aire, disminuyendo la eficiencia y la presión promedio efectiva. Por lo tanto, la relación aire / combustible debe verse afectada y cambiar con la cantidad de biogás mezclado. (Acebes, 2017)

Al analizar el rendimiento del MEC dual operado en el modo de combustible diesel-gas, alcanza valores similares a los alcanzados utilizando solo

combustible líquido, ya que el valor calorífico del biogás es similar. El conducto de admisión y el colector de admisión de los MEC están dimensionados de tal manera que garantizan una relación óptima de combustible diesel / aire para la operación en estas condiciones. Cuando se succiona una mezcla de aire / biogás en lugar de solo aire, la cantidad de aire neto aspirado se reduce en la misma proporción de mezcla de aire / biogás, pero el combustible diesel se reduce en función de la relación de densidades de diesel /biogás de modo que la relación de exceso de aire aumentará entre 1.2 y 1.3 con una entrada total de combustible inferior a la cantidad en operación con diesel. Como resultado del exceso de aire, la potencia de salida máxima en modo bi-combustible puede ser menor que la operación solo con combustible diésel.

En regímenes medios y bajos, la entrada de aire es mayor de lo necesario y permite la aspiración de una proporción relativamente mayor de combustible en el aire, por lo que, en estos casos, la potencia de salida no será significativamente menor que en el funcionamiento con diésel (Hernández, 2014)

Encendidos por chispa (MEP) operados con biogás

La implementación del biogás en MEP se basa en modificaciones de aquellos que consumen gasolina y tienden a producir menos energía que cuando se trabaja con combustibles fósiles líquidos.

La razón de este fenómeno es una disminución en la eficiencia volumétrica en la cámara de combustión, ya que el biogás es un combustible gaseoso que ocupa una gran fracción de volumen en la mezcla aspirada por el motor. En el caso de la gasolina, se suministra líquido, y cuando se evapora sobre el flujo de aire en el colector de admisión, los efectos de enfriamiento causan un aumento en la densidad y, por lo tanto, la cantidad de mezcla de aire / combustible de hecho. (Souza, 2015)

La modificación de un MEP es relativamente fácil, esto se basa en la adición de un mezclador de aire / gas en lugar de un carburador. El control del motor se realiza variando el suministro de mezcla; Un aumento en la relación de compresión parece ser deseable, ya que proporciona un aumento en la

eficiencia del proceso desde el punto de vista termodinámico (Hernández, 2014)

Se espera un bajo consumo de combustible específico y una mayor potencia de salida teniendo en cuenta el ajuste de los parámetros operativos. La modificación para el funcionamiento del MEP en el modo de biogás es permanente y se debe evitar el uso del combustible original.

El ajuste del punto de ignición es importante dado el lento ritmo de combustión del biogás, aprovechando el hecho de que esto no impone ningún problema específico en el encendido del sistema estándar, lo que brinda la ventaja de realizar ajustes en un rango suficientemente amplio (Acebes, 2017)

El MEP diseñado para gasolina y que trabaja con biogases tiende a ser menos eficiente cuando aumenta el porcentaje de dióxido de carbono en el biogás, ya que el CO₂ admitido al combustible no es reactivo, ocupa un espacio que impide el suministro de más combustible. Reactivo y, además, actúa como moderador de la combustión que disminuye el valor calorífico del combustible. Para estos motores, los conductos de admisión se dimensionaron para el funcionamiento con gasolina y el exceso de aire en funcionamiento estable es cercano a 1.1, lo que hace que la mezcla de biogás y aire alcance una energía total durante la combustión menos que en funcionamiento con gasolina. Con la disminución de la energía total alcanzada en la mezcla después de la combustión, la potencia producida disminuye en la misma proporción. Un biogás de 60% de CH₄ cuyo valor calorífico es de 25 MJ / m³ se considera un gas con una capacidad promedio baja y causa una reducción en la potencia de alrededor del 20% (metano purificado o 10% de gas natural, 5% de GLP) (Arango et al., 2014)

La potencia y la eficiencia volumétrica del MCI para el mismo régimen dependen en gran medida de la composición del biogás, siendo mayor en operación con biogases de composición de alto metano que con composiciones de metano débil. Por ejemplo, la potencia producida y la eficiencia volumétrica obtenida en un MEP son mayores con un biogás del 70% de CH₄ que con un biogás del 50% de CH₄, ya que el primero tiene un mayor poder calorífico y menos cantidad de moderador combustión (CO₂).

La reducción de potencia en el MEP (afectación principal) debe preverse a partir del momento en que se selecciona el motor apropiado para una clase de potencia, para una aplicación determinada y con una demanda de potencia específica.

En el MEP, el control de potencia y velocidad se lleva a cabo variando el suministro de mezcla de aire / combustible, accionando la válvula de mariposa ubicada entre el dispositivo de mezcla y la entrada del motor.

El cierre de la válvula de mariposa produce una caída de presión (efecto de estrangulamiento) en el flujo de mezcla, por lo que el llenado del cilindro se produce a baja presión, lo que provoca una menor cantidad de mezcla de aire/combustible con respecto a la masa y la energía de referencia.

Como resultado, la potencia producida, la presión promedio efectiva y la eficiencia muestran una disminución en la operación controlada (carga parcial) donde la disminución en la eficiencia se observa por el aumento en el consumo específico de combustible.

Para compensar los efectos mencionados anteriormente, el motor debe seguir funcionando a velocidad media pero con el acelerador abierto, lo que requiere una combinación adecuada a los requisitos de velocidad y potencia del equipo movido por el motor. (Hernández, 2014)

2.7 Problemas en el uso del biogás en motores de combustión

Cuando el biogás se utiliza para generar electricidad, algunos de los compuestos de la carrera pueden dañar el motor de combustión, lo que conllevaría la necesidad de una reparación costosa del mismo, así como la interrupción del servicio. Otros, sin embargo, son compuestos inertes que reducen la eficiencia de la combustión.

Algunas de estas impurezas en el gas pueden tener un efecto corrosivo o de desgaste en el equipo, perdiendo parte de su potencial de generación de energía. Por lo tanto, se requiere que este gas pase por un proceso de limpieza. Los contaminantes de biogás más comunes son:

- Ácido Sulfhídrico (H₂S)>20ppm

- Haluros >100 ppm
- Compuestos de sílice

Cuando sucede la combustión, tanto el ácido sulfhídrico como los compuestos halogenados pueden formar ácidos corrosivos como H₂SO₄, HCl y HF que interactúan con los elementos del motor. (Arango Gómez et al., 2014)

2.8 Energía

La energía es la capacidad de hacer trabajo, generar calor y emitir luz. La ecuación para el trabajo, es la fuerza, que es el tiempo de masa, la gravedad, la distancia.

El calor es la capacidad de cambiar la temperatura de un objeto o fase de una sustancia. Por ejemplo, el calor transforma un sólido en un líquido o un líquido en un vapor. El calor es parte de la definición de energía.

Otra parte de la definición de energía es la radiación, que es la luz y la energía emitidas en forma de ondas que viajan a la velocidad de la luz.

La energía se mide en unidades de calorías, quad y julios. Una kilocaloría es la cantidad de energía o el calor requerido para elevar la temperatura de 1 kilogramo de agua de 14.5 ° C a 15.5 ° C. La unidad quad se utiliza para medir la energía necesaria para los grandes países. La medida final de la energía es julios.

La energía es un insumo esencial para el desarrollo económico y la mejora de la calidad de vida.

2.8.1 Planta de energía eléctrica

Hesamzadeh (2014) autor de The Economics of Electricity, nos manifiesta que los sistemas de potencia de energía eléctrica constan de tres grupos físicos principales:

- Dispositivos para convertir energía de otras formas en energía eléctrica (también conocidos como generadores o plantas de energía eléctrica)
- Dispositivos asociados con el transporte o suministro de energía eléctrica al lugar donde se consume (cables y redes)

- Dispositivos para convirtiendo esa energía eléctrica en la gran cantidad de bienes y servicios que conforman la vida moderna, como luces, calentadores, motores y dispositivos electrónicos.

Una planta de energía es un conjunto de sistemas o subsistemas para generar electricidad, es decir, energía con economía y con los estándares cumplidos. La central eléctrica en sí misma debe ser útil económicamente y respetuosa con el medio ambiente para la sociedad. (Raja, 2006)

Clasificación de las plantas de energía

Tabla 2. 3. Clasificación de las Plantas de Energía

Convencional	No convencional
<ul style="list-style-type: none"> • Plantas de energía de motores a vapor • Plantas de energía de turbinas a vapor • Plantas de energía diesel (considera los de ciclo otto) • Plantas con turbinas a gas <ul style="list-style-type: none"> • Plantas Hidroeléctricas • Plantas de energía nuclear 	<ul style="list-style-type: none"> • Generador termoeléctrico • Generador termo-iónico • Plantas de energía de celdas de combustible • Células solares fotovoltaicas sistema de potencia • Plantas de energía MHD • Fussion Reactor NPP Power System • Biogás, biomasa, energía, sistema de energía. • Energía geotérmica • Sistema de energía eólica <ul style="list-style-type: none"> • Conversión de energía térmica oceánica (OTEC) <ul style="list-style-type: none"> • Ola y marea • Esquema de plantación de energía

Fuente: Blac, 2006, Planta de clasificación y biometanización

Una planta de energía puede definirse como una máquina o conjunto de equipos que generan y entregan

Una planta puede estar definido como mecánica o eléctrica, el equipo principal para la generación de energía eléctrica es generador. Cuando se acopla a un motor primario, el generador produce la electricidad. El tipo de movimiento principal o el conjunto motriz determina el tipo de plantas de energía en el que se clasifica: Las plantas de vapor, Diesel, de turbina de gas y las plantas de energía nuclear se denominan planta de energía térmica, porque convierten el calor en energía eléctrica.

La planta de energía de vapor, la planta de energía diésel, la planta de energía de turbina de gas y las plantas de energía nuclear se denominan planta de energía térmica, porque convierten el calor en energía eléctrica.(Lacoste, Colicigno, y Corti, 2011, p 39)

Determinación del tipo de planta eléctrica.

El primer parámetro claramente definido en este apartado es la utilización de una planta eléctrica cuyo motor de combustión use gasolina como combustible, en otras las razones por la cual se decide esto es:

- El motor a gasolina puede ser sustituido 100% por biogás.
- Comercialmente son más fáciles de encontrar.
- Son más económicas.
- Se encuentra en mayor diversidad de tamaños.

2.9 Micro generación de potencia eléctrica.

Micro generación

Se determina a la microgeneración a la producción simultánea de electricidad y calor útil a partir de un combustible, habitualmente gas natural.

La microgeneración (cogeneración a pequeña escala) cubre total o parcialmente las necesidades térmicas y de calefacción. Los equipos de microgeneración son máquinas de combustión interna (motor) cuyo eje se encuentra conectado a un generador para la producción de electricidad. El calor de refrigeración de la máquina térmica se utiliza en los servicios de

calefacción y producción de agua caliente sanitaria (ACS). De esta forma, generan electricidad y calor simultáneamente a partir de un único combustible, habitualmente gas natural. (Hesamzadeh, 2014)

A diferencia de los equipos convencionales, los sistemas de microgeneración producen electricidad permitiendo además el aprovechamiento del calor residual del proceso. Se trata de una generación económica y descentralizada de electricidad. La elevada eficiencia de este sistema le permite en muchos casos ser una alternativa, total o parcial, a la instalación de paneles solares.

Government, (como se citó en Balcombe, 2014) señala que en la legislación del Reino Unido, la microgeneración se define como la producción a pequeña escala de calor y/o electricidad a partir de una fuente baja en carbono, que genera 50 kW o menos de electricidad y/o 45 kW de calor. Esta escala de generación es adecuada para su instalación en edificios domésticos y comerciales. Las tecnologías de microgeneración comprenden energía solar térmica, bombas de calor de fuente subterránea (GSHP), bombas de calor de fuente de aire (ASHP), bombas de calor de fuente de agua (WSHP), estufas y calderas de biomasa, energía solar fotovoltaica (PV), eólica, hidroeléctrica, calor y energía micro combinada (CHP) y pilas de combustible.

A continuación, describimos un sumario de los tipos de tecnologías para la micro generación de Electricidad

Tabla 2. 4. Tipos de tecnologías para la microgeneración de Electricidad

Tecnología de Micro generación	Descripción	Fuente de combustible	Tipo de Energía
Paneles solares térmicos	Intercambio de calor que utiliza radiación solar para calentar un fluido por transferencia de calor (ya sea en un intercambiador de calor de placa o tubos evacuados) que, a su vez que calienta el agua puede ser usado para calefacción	Energía solar	Calorífica
Bombas de calor de fuente subterránea (GSHP)	El calor relativamente constante a unos pocos metros por debajo del suelo suministra un pequeño diferencial de temperatura a un fluido de transferencia de calor. Mediante un ciclo de compresión similar al de un refrigerador, este calor se transfiere al agua.	Energía Geotérmica	Calorífica
Bomba de calor de fuente de aire (ASHP)	Similar a las bombas de calor de fuente subterránea, pero usa el aire como fuente de calor	Energía térmica del aire	Calorífica
Bombas de calor de fuente de agua (WSHP)	Similar a las bombas de calor de fuente subterránea, pero usa un reservorio de agua local como fuente de calor	Energía térmica del agua	Calorífica
Estufas y calderas de biomasa	El calor se obtiene de la quema de productos forestales (troncos, astillas y pellets) o residuos de biomasa (agrícolas, etc.).	Energía de la combustión de la biomasa	Calorífica
Paneles solares fotovoltaicos	La luz solar excita y libera electrones para crear una corriente continua	Energía Solar	Eléctrica
Turbinas eólicas	La energía eólica se utiliza para impulsar cuchillas expuestas que a su vez impulsan un generador de electricidad	Fuerza motriz del viento	Eléctrica
Micro plantas hidroeléctricas	El agua de una fuente de nivel superior cae a un nivel inferior y la energía cinética se utiliza para impulsar una turbina conectada a un generador de electricidad	Fuerza motriz del agua	Eléctrica
Micro plantas combinadas de calor y potencia eléctrica	Cogeneración de electricidad y calor a partir de diferentes combustibles (por ejemplo, gas natural, biomasa, hidrógeno) y tecnologías (por ejemplo, motores Stirling y de vapor, turbinas, celdas de combustible)	Energía de combustión de varios combustibles	Electricidad y calor
Celdas de combustible	La reacción química de un combustible (por ejemplo, hidrógeno, gas natural, metano) y un oxidante entre dos electrodos crea una carga iónica que genera una corriente que se convierte en electricidad.	Energía electroquímica de la reacción del combustible (hidrógeno, gas natural, metano)	Electricidad y calor

Fuente Sardón, 2013, microgeneración de Electricidad

Una de los métodos para la micro generación puede estar representada por máquinas de combustión interna cuyo eje se encuentra acoplado a un generador para la producción de electricidad que en conjunto son conocidos como grupos electrógenos y que utilizan como fuente de combustible un tipo de biomasa.

Como diferencia de los equipos convencionales de generación de potencia eléctrica, los sistemas de micro generación están en la capacidad de producir electricidad como energía principal y calor útil que puede tener muchas utilidades como calefacción de ambientes domiciliarios y calentamiento de agua para uso domiciliario.

La gasificación de la biomasa o de la materia orgánica es transformada en gas y luego de diferentes procesos de purificación es utilizado como combustible para el aprovechamiento en la combustión de grupos electrógenos. Principal atención y tema principal de nuestro estudio es la aplicación en motores de combustión interna de ciclo Otto ya que es una de las mejores alternativas para la implementación de microgeneración al no tener que ser muy invasivos en la configuración original del equipo para poder obtener los beneficios que implican el poder usar biomasa para la generación de electricidad

Un estudio realizado en el Reino unido indica que la forma en que los hogares interactúan con los sistemas de energía está cambiando. Hasta la fecha, los hogares han sido predominantemente consumidores pasivos de energía. Sin embargo, el crecimiento en tecnologías de microgeneración asequibles, combinadas con la introducción de la medición inteligente y los tiempos de uso, significa que los hogares ahora están desempeñando un papel más activo en la gestión de su consumo de energía. Cada vez más usuarios domésticos de energía se involucran tanto en la producción como en el consumo de energía, como señalan Ellsworth-Krebs y Reid (citado por Balcombe, 2014, p. 51)

2.9.1 Grupo Motor-Generador

Los grupos electrógenos están consignados a una amplia variedad de trabajos, sirviendo como proveedor de energía de reserva, suplementario o de

emergencia, para varias infraestructuras de servicios auxiliares (fundamentales y no fundamentales), alumbrado de emergencia (seguridad, escape o reserva), bancos, estadios deportivos, plantas industriales, hospitales, etc., así como en hogares rurales aisladas de la red pública de suministro de electricidad.

Estas infraestructuras muestran una diversidad de demandas en términos de la escala de las potencias involucradas, la curva de carga, el retardo permisible en la incorporación de la oferta, la duración de la misma y su confiabilidad; llevando a un gran número de modelos que combinan variadas tecnologías. (Lacoste et al., 2011)

Los conjuntos generadores o grupos electrógenos radican fundamentalmente en un conjunto integrado que contiene un motor térmico principal (turbina de gas, motor Otto o diesel), un generador eléctrico (ordinariamente de corriente alterna) conectado al eje o volante del mismo con los elementos auxiliares correspondientes y sistemas complementarios, como indicadores de estado, paneles de control, depósitos de combustible, radiadores, circuitos de lubricación, combustible, refrigerante y posiblemente aire comprimido; cargadores de baterías, reguladores de voltaje y control de frecuencia, protecciones contra sobrecargas, cortocircuitos, etcétera.

Las turbinas se utilizan principalmente para los generadores de energía de las centrales de producción, mientras que para los sistemas de energía diesel, se prefieren los motores diesel.

Los motores de combustión interna con generadores acoplados son ampliamente utilizados para la generación de energía eléctrica; Esto es posible gracias a la conversión de energía química de la biomasa en energía mecánica (motor) y, finalmente, la conversión en energía eléctrica por parte del generador. (Robilliard, 2009)

El uso de este tipo de tecnología se debe al amplio dominio de esto, la facilidad de operación y mantenimiento, además de la velocidad de construcción y alta confiabilidad, es por eso que en áreas industriales aisladas, los generadores de CA son de uso común como la principal fuente de energía eléctrica. (Zubiaurre, 2012)

Las principales variantes en las tecnologías de conversión de biomasa para cogeneración, objeto de este estudio, son los sistemas de combustión directa y los sistemas de gasificación. Los sistemas de gasificación de biomasa operan a través del calentamiento y posterior craqueo térmico de las partículas sólidas, formando un gas combustible llamado gas de síntesis o syngas, que se limpia y filtra, y luego se quema en un modo simple o en un ciclo combinado. (Arroyo-Vinueza & Reina-Guzmán, 2018)

Este tipo de tecnología se usa solo cuando la fuente de energía es el biogás, hay varios tipos de motores que se pueden usar para esta aplicación, entre ellos, los siguientes: motores de gasolina, motores de gas y motores diésel en los que se hacen algunas modificaciones al sistema de inyección para este tipo de combustible.

La imagen muestra un motor de gasolina adecuado para consumir biogás y producir electricidad.



Figura 2 24. Motor a gasolina acondicionado para consumir biogás
Fuente: Zubiaurre (2012)

Capítulo III: Diseño y Procedimiento

3.1 La gasificación /generación de energía eléctrica

Se procede a realizar el acondicionamiento del sistema para la obtención del gas pobre empleando el gasificador de flujo descendente o Downdraft GEK TOTTI de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la UCSG, cuyo propósito será el de producir gas de síntesis con bajo contenido de alquitranes e impurezas mediante el proceso de conversión termoquímica, a fin de que el gas pueda utilizarse para alimentar el grupo electrógeno de combustión interna Otto Lifan 5500 y así producir electricidad.



Figura 3. 1. Gasificador Downdraft GEK
Fuente: UCSG

Para ello se complementó componentes que aún no habían sido acondicionados en el gasificador, y de esta manera poder acoplarlo al grupo electrógenos. Esto fue realizado por las siguientes etapas: Armado de los filtros, conexión de ductos de gases, armado del Venturi para la conducción de gases y funcionamiento del quemador, ver figura 3.2



Figura 3. 2. Venturi, ejetor de aire comprimido, quemador
Fuente: Autor

El montaje de la unidad conductora de gases está formada por el quemador de gases, ejetor de gas comprimido y Venturi, como lo podemos apreciar en la siguiente figura, posee además una válvula con lo cual podemos regular la llama del quemador, además de una segunda válvula por donde entra aire con la finalidad que se mezcle con el gas de síntesis



Figura 3. 3. Montaje de la unidad conductora
Fuente: Autor

Procedemos al Armado del puerto de cenizas y del agitador manual de rejilla
Por cada vez que se coloque nuevo depósito de biomasa, tenemos que realizar la limpieza respectiva de la rejilla.



Figura 3. 4. Armado del puerto de cenizas y del agitador manual de rejilla

Fuente: Autor

En la figura siguiente se observa la etapa de gasificación, armado con todos sus componentes, podemos apreciar en primer plano el gasificador, ciclón, filtro, quemador, todo el conjunto para poder realizar la respectiva prueba



Figura 3. 5. Gasificador, vista general

Fuente: Autor

El GEK TOTTI que es un kit experimental de gasificación con torre de integración térmica total, por sus siglas en inglés, es un gasificador de flujo descendente configurado para alimentar motores para la producción de electricidad. Así mismo permite la recuperación y recirculación de calor mediante el secado del combustible de alimentación con el calor de los gases de escape. Los resultados que ofrece el fabricante del sistema GEK TOTTI es una mejor combustión y una mayor temperatura de craqueo para la conversión de alquitrán en gases combustibles, así como una mayor eficiencia del gasificador. Teóricamente el sistema de gasificación a su máxima

capacidad puede producir gas con un potencial de energía capaz de producir electricidad a través de un motor de 10 kW.(All Power Labs, 2012)

A continuación se detallan las especificaciones del gasificador GEK TOTTI

Tabla 3. 1. Especificaciones del gasificador GEK TOTTI

Rango de capacidad eléctrica (kW)	2 a 4
Rango de flujo de gas (m³ / hr)	5 a 27
Flujo de calor de gas a máx (BTU / hr)	168,993
Tasa de consumo de biomasa (kg / día)	160 a 320
Dimensiones del sistema gasificador (excluyendo tolva) (pies)	2 x 4

Fuente: All Power Labs (2012)

Los sistemas de gasificación requieren características específicas de la materia prima., ALL Power Labs nos señala requisitos de las características de alimentación permitidas para el gasificador GEK. A continuación se muestran los rangos sugeridos para las características de materia prima dadas que se utilizarán en este tipo de gasificador

Tabla 3. 2. Requerimientos de Biomasa

Tamaño de partícula (in)	0.5 - 1.5
Contenido de humedad (% por peso seco)	< 25
Relación fija a volátil	> 0.25
Contenido de cenizas (%)	> 5

Fuente: (All Power Labs, 2012)

El gasificador está apto para trabajar con biomasa residual, para nuestro caso., será residuo del maíz (zuro), cuyo mayor valor calorímetro, según Highman (2003) es de 15 MJ/Kg siempre y cuando su humedad sea inferior al 15% en base húmeda.

Los elementos constituyentes del grupo gasificador son:



Figura 3. 6. Elementos del Gasificador GEK TOTTI
Fuente: All Power Labs (2012)

Antes de cada prueba se procede a realizar la limpieza del reactor por el puerto destinado para esto, en la etapa inicial de puesta en funcionamiento sirvió como punto de verificación y revisión de componentes internos.

Previamente a las pruebas de combustión, se realizó mediciones con el fin de comprobar el correcto funcionamiento de los componentes usando únicamente aire a presión, suministrada por un compresor. El barrido utilizando aire se empleará para la conducción de gases desde el reactor hasta el quemador de la flama, esto verificó el funcionamiento del filtro y de esta forma poder evidenciar algunos puntos que podrían presentar fugas no deseadas.

El zuro del maíz, material de biomasa utilizada para las pruebas, fue preparado de tal manera que cada fragmento no sea superior a los cinco centímetros de longitud y en promedio cuatro centímetros, previamente este material una vez desgranado fue secado al ambiente, para luego ser almacenados en sacos hasta que fueron requeridos para las pruebas.

Las primeras pruebas consistieron en tomar los tiempos que tardan los gases resultantes del proceso de gasificación en ser encendidos en el quemador.

Cabe recalcar que los resultados más notorios a la vista, en cuanto a la llama obtenida desde el quemador fueron más apreciables durante la noche.

El agente gasificante empleado fue el aire, esto según McKendry (citado por Fonseca, 2003) nos proveería como resultado, un gas de bajo poder calorífico, pero representa el método más económico y funcional para nuestro estudio, acerca de las bondades del uso del gas proveniente de la gasificación, que será utilizado como combustible para el respectivo arranque del grupo electrógeno accionado por el motor de combustión interna de ciclo otto.

El conjunto de gasificador y grupo electrógeno LIFAN 5500W fue instalado en los exteriores de la facultad Técnica para el desarrollo, en el espacio asignado se realizaron las conexiones de las líneas de flujo de gas y las pruebas de funcionamiento.

3.2 Prueba de funcionamiento del gasificador.

Tomando en cuenta que el gasificador no había sido previamente puesto en marcha, las pruebas de funcionamiento fueron divididas en dos etapas principalmente:

- Pruebas de funcionamiento del gasificador utilizando el quemador de torbellino
- Funcionamiento del grupo electrógeno usando el gas de síntesis.

Principio de Funcionamiento del gasificador GEK

El proceso del GEK inicia con la introducción de la materia prima en la tolva. Luego esta materia prima pasa a través de un sinfín y entra en el gasificador cruzando por la zona del Pyrocoil. El sinfín que es accionado por un motor de 12 voltios DC es controlado por un interruptor de nivel ubicado en la parte superior del reactor en la zona del Pyrocoil. La materia prima llena el reactor GEK y las etapas necesarias para pasar por el proceso de gasificación: secado, pirólisis, combustión y reducción.

El gas caliente sale del reactor y continúa su recorrido por el ciclón en donde separa las partículas de carbón. Los sistemas de gasificación GEK están diseñados para secar la materia prima aprovechando el calor del gas

producido a través del cubo de secado. Después del cubo de secado, el gas pasa por un filtro de gas y su sistema conducción.

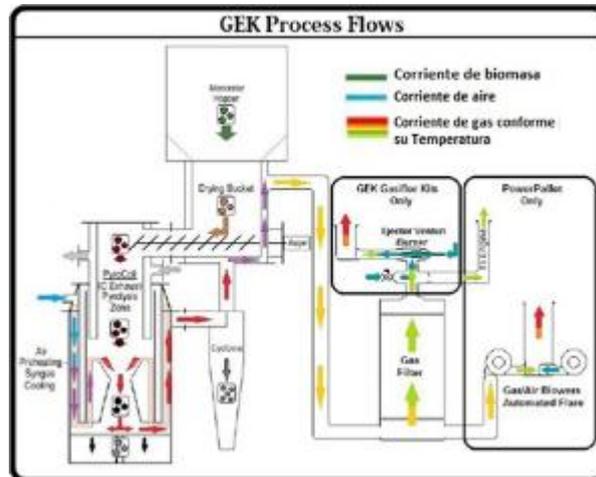


Figura 3. 7. Proceso del flujo del gas GEK TOTTI
Fuente: All Power Lab

Los sistemas de gasificación GEK tienen dos válvulas principales para cambiar entre uno de los dos modos operativos: Flare o Modo de motor (u otro modo de utilización de gas). Para el modo de motor, el intercambiador de calor Pyrocoil, incluido en el diseño TOTTI, aumenta la eficiencia de la reacción al soportar el calor necesario para la zona de pirólisis utilizando el calor residual del escape de un motor u otro proceso.

El material de biomasa empleado como ya se lo indicó es el zuro de maíz, este fue añadido desde la unidad de secado en fragmentos, muy importante por mencionar es que cuando era añadida entera los residuos resultantes de la combustión obstaculizaban el normal descenso del carbón resultante por lo que es necesario que el material sea añadido fragmentado.



Figura 3. 8. Zuro del maíz como biomasa
Fuente: Autor

La humedad que contiene la biomasa es un factor muy importante en tener en cuenta al momento de seleccionar el material combustible. Para la medición en nuestro caso utilizamos el medidor digital de humedad modelo MD812

Se realizaron varias mediciones a la biomasa utilizada, los valores obtenidos estaban entre el rango del 11% al 15% de humedad, que cumple con la recomendación de All Power Labs del 15% de humedad máximo requerido para el Gasificador experimental Totti para el arranque del proceso de gasificación, siendo posible luego de la primera etapa de calentamiento usar combustible con un 25% de humedad.



Figura 3. 9. Medida de Humedad
Fuente: Autor

El secado es un proceso endotérmico, y para alcanzar eficiencias de proceso aceptables la cantidad máxima de humedad contenida en el sólido está limitada a un 20-30% en peso. Cuanto pequeño sea este contenido mejor será el valor calorífico de esa biomasa y su proceso de inflamación, ya que al quemarse la biomasa, primero hay que evaporar el agua previamente de que el calor esté disponible (Del Peso, 2014)

Siguiendo con la secuencia indicada por el fabricante para la operación del Kit experimental de gasificación se suministra aire comprimido a la unidad conductora de gases por medio del eyector de aire comprimido. El encendido de la biomasa se lo realiza el puerto de iluminación o puerto de encendido utilizando un soplete, para esto es necesario añadir un líquido que ayude a inflamar la biomasa, en nuestro caso se usó el líquido que sirve para encender le carbón de las tradicionales parrillas.

Una vez que el reactor alcance los 100 grados centígrados se procede a cerrar el puerto de iluminación, a medida que transcurre los minutos la temperatura en la zona de reducción aumenta. La fase de calentamiento del reactor toma alrededor de 30 minutos, durante este tiempo se podrá observar un gas de color blanco.



Figura 3. 10. Gas saliente del quemador
Fuente: Autor

A medida que las temperaturas siguen incrementándose hasta llegar a valores cercanos a los 500 grados centígrados en la zona superior del reductor la tonalidad del humo cambia y se observa que el nivel de condensado a la salida del ciclón tiende a disminuir. En este momento en el que ya ha transcurrido aproximadamente una hora desde que se inició el proceso con el gasificador, ya es posible encender la llama en el quemador

Las siguientes figuras muestran medidas de temperaturas tomadas en el reactor en las zonas de combustión y reducción al momento de que ya era posible encender la llama.

El gasificador downdraft tiene dos puertos en los que se puede colocar termocuplas y poder tener acceso a realizar mediciones de temperatura en la zona de reducción. La zona de reducción está compuesta por la campana de reducción que controla la velocidad del flujo y, por lo tanto, el tiempo de residencia de los gases que pasan por la zona de combustión y reducción. La siguiente figura muestra el flujo de gases desde la zona de combustión y reducción ubicada en el reactor.

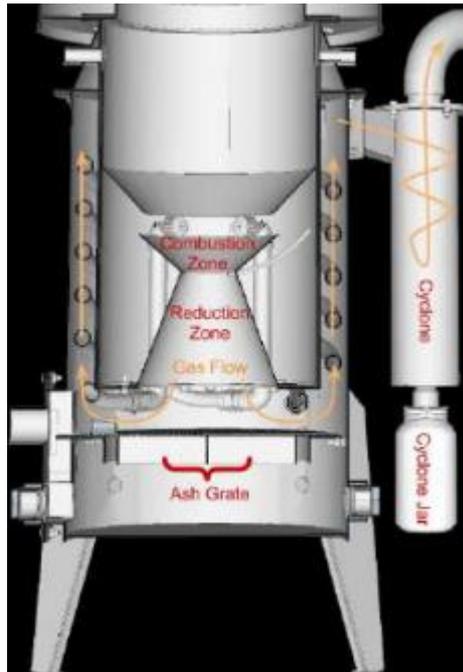


Figura 3. 11.Campana de reducción
Fuente: Autor

Para comprender el efecto de la temperatura en la capacidad de que se pueda mantener la llama de forma estable lo que aseguraba que la gasificación estaba ocurriendo se realizaron varias lecturas en la zona de reducción, las siguientes figuras muestran medidas de temperaturas tomadas en el reactor en las zonas superior e inferior de reducción al momento de que ya era posible encender la llama.



Figura 3. 12. Temperatura superior en la zona de reducción
Fuente: Autor

Realizada la medida anterior tomamos la temperatura en la parte inferior, registraremos 6 medidas a varios intervalos de 10 minutos,



Figura 3. 13. Temperatura inferior en la zona de reducción
Fuente: Autor

Luego de las mediciones se comprobó que el flujo de aire proveniente del compresor hacia el Venturi, lograba mejores resultados al momento de encender la llama en el quemador, siendo valores muy cercanos a los 2 m/s con una presión en el compresor de 20 psi y regulada la salida al eyector del Venturi mediante la válvula del eyector de la conexión de aire comprimido. La llama era también afectada en ocasiones por la velocidad del viento que actuaba en el ambiente.



Figura 3. 14. Medición del flujo del aire
Fuente: Autor

Con la llama encendida en el quemador se puede regular la válvula de pre mezcla de aire y se observa como la intensidad de la flama varía. En la noche la llama es más apreciable a la vista y por tanto las variaciones al ajustar la válvula de pre mezcla son más notorias.



Figura 3. 15. Llama en el quemador observada por la noche
Fuente: Autor

El software calculador de flujo volumétrico recomendado por All power labs para el cálculo del flujo de gas es muy importante para comprender el funcionamiento de la unidad conductora de gas y para conseguir la optimización de la operación del GEK. Para esto es necesario obtener datos de la presión diferencial que se produce en el medidor de flujo de placa de orificio.

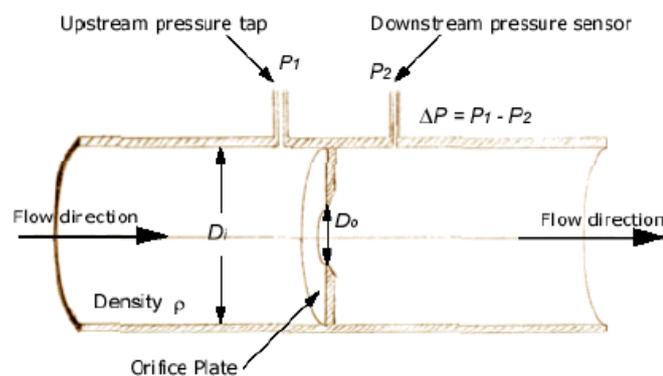


Figura 3. 16. Gasificador Downdraft GEK TOTTI
Fuente: All Power Labs

En la figura 3.17 se realiza la medición de presión diferencial en medidor de flujo de placa de orificio construido.



Figura 3. 17. Medición de presión diferencial
Fuente: Autor

Para medir la presión diferencial se utilizó un manómetro diferencial con una escala en pulgadas de agua que se ajusta a las bajas presiones que se obtiene en el flujo del gas de síntesis. El manómetro en este caso formaba parte de una de caja de evaluación de motor con número de parte Caterpillar 1U5470



Figura 3. 18. Manómetro Diferencial
Fuente: Autor

El valor de presión diferencial obtenido cuando la llama era estable en el quemador fue de entre 1.5 y 2 pulgadas de agua, típicamente encontramos para nuestras pruebas valores en este rango.



Figura 3. 19. Valor presión diferencial
Fuente: Autor

El valor obtenido en la prueba de presión diferencial es usado en el programa Pipe Flow software para el cálculo de caudal volumétrico

Para que el flujo de gas sea constante es necesario que la alimentación de la biomasa sea constante. La alimentación del material se lo puede realizar en forma automática utilizando el interruptor de nivel de combustible que se encuentra instalado en la parte superior del Pyrocoil , con el que se puede activar el motor DC que acciona el sinfín de alimentación de la biomasa, cuando el nivel de combustible el interruptor permite la alimentación de voltaje DC al motor del sinfín una vez que el combustible en este caso la biomasa vuelve a accionar la paleta del interruptor des energiza al motor DC .

Cada vez que se inicie un nuevo ciclo de encendido del gasificador se debe empezar por realizar la limpieza del reactor por medio del puerto de ceniza para retirar todos los residuos resultantes del trabajo anterior.



Figura 3. 20. Ceniza removida desde el puerto de ceniza del gasificador
Fuente: Autor

Algo muy importante a tener en cuenta es el tamaño de los fragmentos que conforman la biomasa, al introducir residuos de mazorca enteros se produjo residuos grandes que presentaban obstáculo para el descenso de la ceniza a la zona inferior del reductor.

Una etapa muy importante es la de filtrado del gas, el gasificador GEK TOTTI contiene el ciclón y el filtro de lecho que conforman las etapas de filtrado de gases. El ciclón retiene las partículas más grandes que pueden estar en el flujo de gas, el condensado y las partículas se depositan en la trampa inferior.

El filtro de lecho empacado tiene una capacidad de 16 galones y puede ser llenado principalmente por carbón aunque también puede ser combinado con aserrín y como etapa superior se puede añadir un filtro adicional de esponja, trapo u otros que no generen desprendimiento de material por la temperatura de gases.



Figura 3. 21. Preparación del material filtrante con carbón y aserrín.
Fuente: Autor

Se añadió en la parte superior del contenedor del filtro de lecho con residuos de vapor de agua y alquitrán producto de la retención de las impurezas que se mantiene en el flujo de gas. La condensación del vapor de agua que conforman el gas es crítico para la eficiencia del combustible y buen funcionamiento del motor por lo que es muy importante la fase de filtrado y también la de enfriamiento del gas. Se busca la mejor manera de filtrar el gas para retener impurezas que puedan causar daño en el grupo electrógeno. La figura 3.22 muestra el filtro de tela de la parte superior bastante húmedo



Figura 3. 22. Estado de los filtrantes luego de pruebas en el filtro de lecho
Fuente: Autor

El gas para ser suministrado al motor debe cumplir con ser un gas limpio y que su temperatura sea la adecuada para favorecer un buen funcionamiento del motor, además no debe ingresar el vapor de agua que se encuentra en el gas. Para reducir la condensación en los filtros, se procedió a instalar un radiador vehicular tipo tubular de flujo descendente como prueba para revisar los resultados.

Al instalar el radiador que se muestra en la figura 3.23, se cumplió con una etapa muy importante del acondicionamiento que consiste en la etapa de enfriamiento del gas para ser usado como combustible para el grupo electrógeno. El gas es enfriado al circular por los tubos y además se puede retener vapor de agua condensado ayudando de esta manera a la durabilidad de los filtros.



Figura 3. 23. Medición de temperatura en la salida del gas del radiador.
Fuente: Autor

De las lecturas tomadas, observamos que el gas experimentó una disminución de entre 7 a 9 grados centígrados en su temperatura al culminar su paso por radiador. Esta etapa ayudó también a retirar una buena parte del vapor de agua condensada antes de que llegue al filtro de lecho.

Las temperaturas desde la salida del gas en el ciclón hasta la unidad conductora de gases previo a la entrada del filtro de aire del motor sufrieron considerables reducciones lo cual puede ser revisado en la tabla 3.8, aunque en principio esta reducción de temperatura puede contribuir al incremento de la condensación es sin embargo necesaria para no afectar el desempeño del motor de combustión interna

Con los acondicionamientos realizados en el filtrado y en el enfriamiento del gas se procedió a culminar con el acondicionamiento de conexiones físicas entre el grupo electrógeno y el gasificador .El motor generador gasolina que se acopló al gasificador fue 5500 Llfan 5,5 kW Máximo de potencia y una tensión de salida monofásica de 110/220 V. La conducción del gas hacia el motor desde el gasificador es de forma directa desde la unidad conductora hacia el filtro de admisión del motor.



Figura 3. 24. Grupo Electrónico LIFAN 5500
Fuente: Autor

El ingreso de gas al motor se realiza por aspiración natural por medio de una manguera que se encuentra acondicionada en la caja del filtro de aire del motor y lo conecta con el gasificador, tal como se muestra en la figura 3.24. La regulación de suministro de aire y gas es controlada manualmente por medio de dos válvulas, una de las cuales redirige el gas que era suministrado al quemador hacia el motor.

La combinación de estas dos válvulas representa un modelo básico de carburador que es recomendado por All power labs para fines experimentales y en la medida de los resultados puede ser una implementación definitiva para la mezcla de aire y gas que ingrese al del motor



Figura 3. 25. Conexión desde la unidad conductora de gas hasta la admisión del motor
Fuente: Autor

En esta etapa se procede a revisar parámetros de funcionamiento en el generador como frecuencia y voltaje de salida. El grupo arranca con gasolina y luego de 5 minutos se realiza el cambio a gas. Se puede notar una gran diferencia al momento de realizar el cambio de suministro de combustible, el equipo empieza a experimentar una gran inestabilidad y es muy susceptible a los cambios a las regulaciones de las válvulas de paso de gas y aire.

Pese a la inestabilidad del motor al funcionar con gas mencionado en el párrafo anterior, se pudo obtener los voltajes de salida de 110 y 220 VAC que son los que debe suministrar el grupo electrógeno y su frecuencia permaneció en un gran porcentaje del tiempo que permaneció en marcha en un rango de entre 59y 60 HZ medidos con el multímetro.

Cuando la temperatura medida en la parte superior de la zona de reducción es inferior a los 500 grados centígrados se puede observar una excesiva inestabilidad en el voltaje de salida del generador y se escucha una disminución en la velocidad del motor hasta el punto de llegar a detener su marcha.

Cuando las temperatura es superior a los 550 grados centígrados y está muy cercana a los 600 grados se pudo arrancar el motor sin necesidad de gasolina y únicamente con el gas proveniente del gasificador, el grupo electrógeno mantiene su marcha a medida que la alimentación de biomasa sea constante y que las temperatura medida en la parte superior de la zona de reducción se mantenga con valores entre los 550 a 600 grados centígrados aunque con un cambio notorio en el sonido de funcionamiento del motor.

3.3 Resultados

Una vez registradas la temperaturas descritas en el procedimiento las tabulamos y realizamos el grafico respectivo, donde se puede apreciar el aumento de temperatura, en la práctica por medio del humo constatamos q a los 30 min empezaba la gasificación de la biomasa

Tabla 3. 3. Temperatura etapa gasificación

Tiempo(min)	T1 °C	T2 °C
0	28	28
10	144	56
20	450	170
30	526	273
40	580	300
50	612	419

Fuente: Autor

T1 = Temperatura zona de reducción (parte Superior)

T2 = Temperatura zona de reducción (parte Inferior)

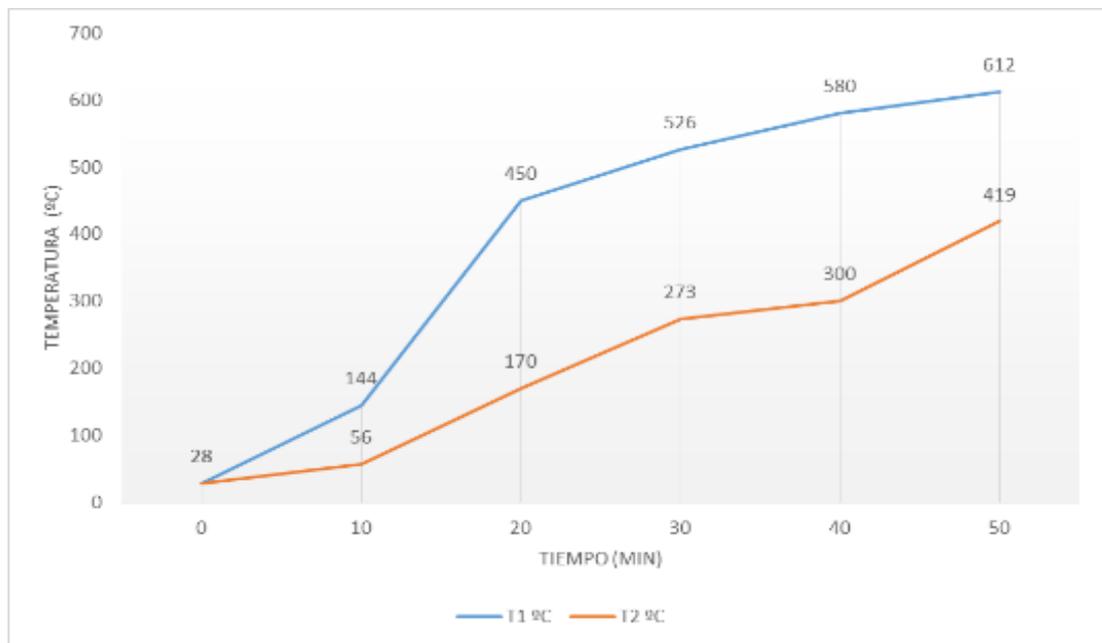


Figura 3. 26. Temperatura Etapa Gasificación

Fuente: Autor

La siguiente tabla muestra la tabulación y su respectivo gráfico, de la diferente temperatura de la etapa del enfriamiento, temperatura medida desde que empezó la gasificación, observando que funciona dicha etapa ya que se logró enfriar considerablemente el gas para de este modo poder utilizarlo en el grupo electrógeno, una vez el gas que entro en el motor generador arranco.

Tabla 3. 4. Temperatura etapa Enfriamiento

Tiempo (min)	Temperatura Ciclón (°C)	Temperatura entrada radiador (°C)	Temperatura salida radiador (°C)	Temperatura Filtro de Lecho (°C)	Temperatura salida conductor de gases (°C)
30	125	50	46	40	38
40	128	52	48	41	39
50	139	57	50,3	43	39

Fuente: Autor

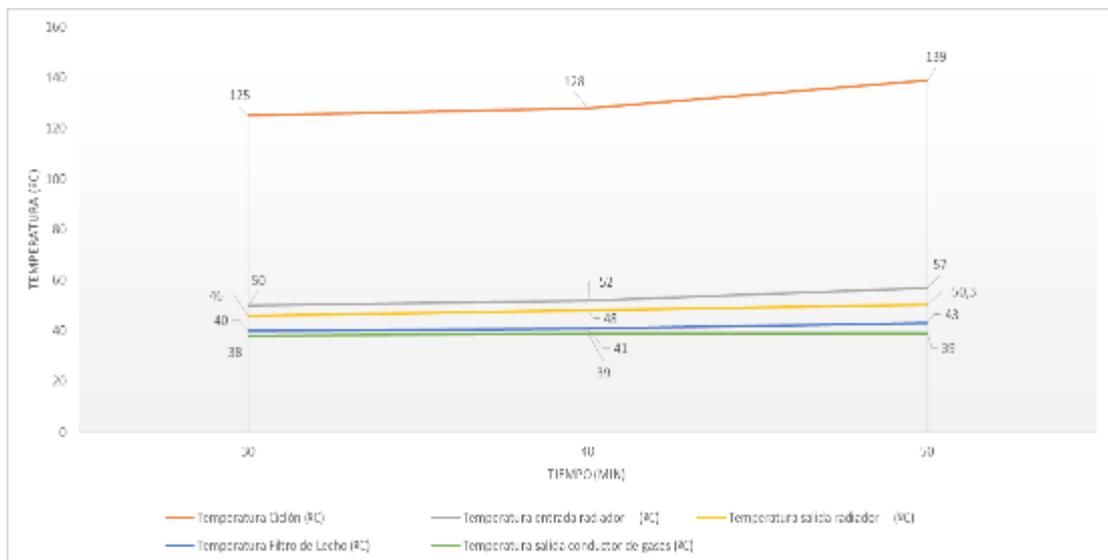


Figura 3. 27. Temperatura etapa enfriamiento

Fuente: Autor

En la hipótesis planteada:

Existe relación positiva entre el uso de gas de síntesis de gasificadores como combustible y el arranque de un grupo electrógeno Otto acondicionado como un sistema de microgeneración eléctrica, tenemos:

Variable Independiente: Gas de Síntesis.

Variable Dependiente: Arranque Grupo electrógeno.

Dado la metodología de observación, los datos registrados y su respectivo estudio llegamos que si existe una relación directa y positiva entre el gas de síntesis de biomasa con el arranque de un grupo electrógeno Otto.

CONCLUSIONES

El sistema gasificador GEK TOTTI representa un refinador de combustible que toma residuos vegetales como combustible crudo y lo refina a un gas que luego de procesos de filtrados y de enfriamiento puede ser utilizado en motores de combustión interna. Por lo tanto es muy importante que la biomasa utilizada cumpla con los requerimientos mínimos de humedad, tipo, dimensiones solicitados para el buen funcionamiento con el fin de evitar atascamientos en el flujo de alimentación al reactor y de reacciones químicas que podrían afectar a la vida útil del equipo.

Elevados porcentajes de humedad en el combustible que en nuestro caso es el zuro del maíz, afecta el proceso de gasificación incrementando el vapor de agua ocasionando mayor condensación que llega a ser apreciable en el quemador de torbellino dificultando el encendido de la flama. Según varios autores, la mayor concentración de humedad presente en la biomasa disminuye el poder calorífico. De nuestras observaciones podemos indicar que con una humedad del 35% en la biomasa medido con el medidor digital MD812 fue muy difícil lograr que la llama en el quemador se encienda.

Durante las pruebas realizadas en la etapa de acondicionamiento y puesta en marcha del grupo electrógeno utilizando el gas de síntesis como combustible, se pudo observar una gran variación de la frecuencia y voltaje de salida del generador. Esto puede ser ocasionado por la relación de equivalencia ER que deberá ser analizada en futuras investigaciones.

Con los resultados y conocimientos adquiridos en el presente proyecto de tesis, podemos concluir que se cumplió con el objetivo principal de arrancar el grupo electrógeno mediante el uso de gas de síntesis del gasificador downdraft acondicionados como un sistema de micro generación eléctrica para fines didácticos, habiendo cumplido también con los objetivos específicos.

RECOMENDACIONES.

Acondicionar el área en donde se encuentra ubicado el proyecto mediante el mejoramiento de infraestructura que cubra los componentes, que se disponga un espacio apropiado para anclar los equipos y que permita mayor movilidad de los participantes de tal manera que se puedan realizar pruebas e investigaciones durante todas las épocas del año.

Considerar para futuras investigaciones un grupo electrógeno cuya velocidad nominal sea menor de 3600 rpm, esto ayudará a comprobar en la práctica la funcionalidad de los motores de combustión interna al trabajar con el mismo tipo de gas pero con distintas velocidades nominales y a la vez se podrá revisar e identificar las diferencias que en la parte generatriz presentan generadores con distintas velocidades de giro y con un mismo voltaje de salida.

Realizar pruebas con otros tipos de residuos agrícolas que funcionen aplicando la selección de biomasa recomendada por All Power Labs y con los datos que se puedan llegar a obtener realizar comparaciones de funcionalidad del grupo electrógeno

Continuar con las investigaciones de las energías renovables usando el presente proyecto, realizando las mejoras en la infraestructura y en el acondicionamiento de las instalaciones entre grupo electrógeno y gasificador para la optimización de su funcionamiento que en conjunto representan un sistema de micro generación

BIBLIOGRAFÍA

- Acebes, S. S. (2017). *El motor de combustión interna (Motores)*. Editorial Editex. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=XVwpDwAAQBAJ>
- Agencia Sostenibilidad Energética de Chile. (2018). *Cogeneración Eficiente [Cogeneración]*. Recuperado 9 de enero de 2019, de <https://www.cogeneracioneficiente.cl/tecnologia/>
- All Power Labs. (2012). *Introducing the GEK Gasifier Systems_rev3*. Recuperado 10 de enero de 2019, de http://wiki.gekgasifier.com/w/file/fetch/58755403/Introducing%20the%20GEK%20Gasifier%20Systems_rev3.pdf
- Alvarado, D. E. S. (2016). Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Mecánica, 131.
- Álvarez, C. A. M. (2016). *Metodología de la Investigación Cuantitativa y Cualitativa Guía didáctica*, 217
- Arango Gómez, J. E., Sierra Vargas, F. E., & Silva Leal, V. (2014a). Análisis exploratorio de investigaciones sobre los motores de combustión interna que trabajan con biogás. *Tecnura*, 18(39), 152-164.
- Arpi, J., & Calderón, C. (2014). *Diseño de una máquina pelletizadora en base a la disponibilidad de residuos madereros de la ciudad de Cuenca para su aprovechamiento energético* (Facultad de Ingeniería Mecánica). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/832>
- Arroyo Vinuesa, J. S., & Reina Guzmán, W. S. (2018). Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, (16), 20-29.
- Arteaga, L., Casas, Y., Cabrera, J., & Rodríguez, L. (2015). Gasificación de biomasa para la producción sostenible de energía. Revisión de las tecnologías y barreras para su aplicación. *Revista de química teórica y aplicada*, 145.
- Balcombe, P. (2014). *Energy from microgeneration: sustainability and perceptions in the UK*. The University of Manchester, London.
- Barajas, P. A. S., Anaya, N. A. T., Hernández, H. E., & Cardozo, C. A. V. (2009). Aprovechamiento Energético de la biomasa residual del sector agrícola, 11.
- Bravo, C. G., Ruiz, J. A., & Jaramillo, C. P. (2016). Biorrefinería a partir de banano de rechazo: un sistema integrado para la co-producción de etanol, proteína unicelular, biogás y compost. *Ingresar a la revista*, 14(1), 78-86. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)78-86](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)78-86)

- Britz, P. (2016). El motor de 4 tiempos. Funcionamiento y partes principales. Recuperado 9 de enero de 2019, de <https://www.calameo.com/read/00092128251551cbbacd3>
- Castro, S. (2015). *Instalacion y arranque de un prototipo de gasificacion*. México D.C.: Editorial Editex.
- Del Peso. (2014). *Biomasa, Biocombustible Y Sostenibilidad*. Madrid: Graficolor. Recuperado de <https://docplayer.es/12647437-Biomasa-biocombustibles-y-sostenibilidad.html>
- Del Val Gento. (2009). Planta de cogeneración mediante gasificación de biomasa residual. Escuela técnica Superior de Ingenieros Industriales. Valladolid. Recuperado 22 de noviembre de 2018, de http://www.eis.uva.es/energias-renovables/trabajos_07/Cogeneracion-Biomasa.pdf
- Delgado. (2016). Agenda Nacional de Energía, 2016-2040, Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos del Ecuador. Recuperado 11 de noviembre de 2018, de www.sectoresestrategicos.gob.ec
- Díaz, R. (2008). *Termodinámica Automotriz*. Riobamba, Ecuador: Ecopycenter.
- El Comercio. (2018a). La biomasa, una fuente poco explotada. Recuperado 26 de diciembre de 2018, de <https://www.elcomercio.com/actualidad/biomasa-fuente-explotada.html>
- El Comercio. (2018b). La producción de maíz en el 2019 será de 1,3 millones de toneladas. Recuperado 27 de diciembre de 2018, de <https://www.elcomercio.com/actualidad/produccion-maiz-agricultores-ministerio-guayas.html>
- El Telégrafo. (2016). Ecuador produce más energía limpia. Recuperado 17 de noviembre de 2018, de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/4/ecuador-produce-mas-energia-limpia>
- Energía renovable. (2018). Recuperado 22 de noviembre de 2018, de <https://solar-energia.net/energias-renovables>
- Espinoza, César. (2015). Determinación de las características energéticas de la tusa de maíz, 132.
- FAO. (2016). Parámetros y unidades Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. Recuperado 16 de diciembre de 2018, de <http://www.fao.org/docrep/008/j0926s/J0926s06.htm>
- Flores, L. (2015). Eficiencia en motores. Recuperado de http://www.academia.edu/4886271/Eficiencia_en_motores

- Fonseca, N. (2003). Estado del arte del uso del gas de gasificación termoquímica de biomasa (GG) en motores de combustión interna alternativos. Recuperado 12 de enero de 2018, de https://www.researchgate.net/publication/279380649_Estado_del_Arte_del_Uso_del_Gas_de_Gasificacion_Termoquimica_de_BiomasaGG_en_Motore_s_de_Combustion_Interna_Alternativos
- Food and Agriculture Organization for de United Nation. (1998). Secado de granos y secadoras. Obtenido de Direccion de Sistemas de Apoyo a la Agricultura: <http://www.fao.org/3/a-x5028s/X5028S04.htm>
- Fonseca, S. D., Rodríguez, H. A., & Camargo, G. (2017). CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE MAÍZ DEL MUNICIPIO DE VENTAQUEMADA, COLOMBIA. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 9.
- Forero, A. F. M. (2016). *Factibilidad de Implementación de un sistema de generación de potencias descentralizadas basado en recursos renovables en la universidad libre sede bosque popular*. Bogota. Recuperado de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/8894/FACTIBILIDAD%20DE%20IMPLEMENTACI%C3%93N%20DE%20UN%20SISTEMA%20DE%20GENERACI%C3%93N%20DE%20POTENCIA%20DESCENTRALIZADO%20BASADO%20EN%20.pdf?sequence=1>
- Funes, R. (2015a). Introducción Energía Renovable y No renovable. Recuperado 26 de diciembre de 2018, de <https://www.calameo.com/read/001787600471365beadad>
- Funes, R. (2015b). Introducción Energía Renovable y No renovable. Recuperado 26 de diciembre de 2018, de <https://www.calameo.com/read/001787600471365beadad>
- García, A., Cendales, E., & Sarmiento, A. (2016). Motores de combustión interna (MCI) operando con mezclas de etanol gasolina: revisión. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 26(1), 75-96. <https://doi.org/10.18359/rcin.1626>
- García, S., & Fraile, D. (2008). *Cogeneración: Diseño, operación y mantenimiento de plantas de cogeneración* (Díaz de Santos). Ediciones Díaz de Santos.
- Gasca, C. A. E. (2013). Transición energética, energías renovables y energía solar de potencia, 59.
- Giacosa, D. (2011). *Motor de combustión interna* (Segunda). Mexico: Hoepli.
- González, J. (2012). *Energías renovables*. Barcelona: REVERTÉ. Recuperado de https://books.google.com/books/about/Energ%C3%ADas_renovables.html?hl=es&id=bl6L8E_9t1kC

- González, J. F., Martín, F. G., González, P. D. R., Alfaro, G. S. M., Ruiz, A. B., Hervas, J. M. S., ... Mira, J. A. (2015). *Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética*. Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=k9ISCgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=procesos+empleado+para+obtener+energia+a+partir+de+la+biomasa&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjQ9a76sefeAhViQt8KHVVDBTWQ6AEIJzAA#v=onepage&q=procesos%20empleado%20para%20obtener%20energia%20a%20partir%20de%20la%20biomasa&f=false>
- Hernández, C. (2014a). Utilización de Biogás para uso en Motores de Combustión Interna, Seriede documento técnicos. *Información tecnológica*, 27(3), 179-188. <https://doi.org/10.4067/S0718-05832016000300017>
- Hernández, C. (2014b). Utilización de Biogás para uso en Motores de Combustión Interna, Seriede documento técnicos. *Información tecnológica*, 27(3), 179-188. <https://doi.org/10.4067/S0718-05832016000300017>
- Hesamzadeh, M. (2014). *The Economics of Electricity*. eBook Hilfe.
- HM Government. (2004). Energy Act. London: Recuperado 9 de diciembre de 2018, de
- Huamán, L. (2013). Historia del automóvil. Recuperado 27 de diciembre de 2018, de <https://docplayer.es/68382130-Historia-del-automovil.html>
- IEA. (2018). Modern bioenergy leads the growth of all renewables to 2023, according to latest. Recuperado 15 de noviembre de 2018, de <https://www.iea.org/newsroom/news/2018/october/modern-bioenergy-leads-the-growth-of-all-renewables-to-2023-according-to-latest-.html>
- INER. (2017). Biomasa – Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables. Recuperado 14 de noviembre de 2018, de <https://www.iner.gob.ec/biomasa/>
- INIAP. (2014). Maíz duro. Recuperado 26 de diciembre de 2018, de <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcereal/rmaizd>
- Lacoste, J., Colicigno, S., & Corti, E. (2011). *GRUPOS ELECTROGENOS*. Recuperado de https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:U0pxM6sXI4sJ:https://www.ing.unlp.edu.ar/catedras/M0639/descargar.php%3Fsecc%3D0%26id%3DM0639%26id_inc%3D2915+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec
- León, J. (2014). Energía De La Biomasa. Recuperado 14 de noviembre de 2018, de <http://www.eumed.net/tesis-doctorales/2014/jalv/biomasa.htm>
- Lesme-Jaén, R., Garcia-Faure, L., Oliva-Ruiz, L., Pajarín-Rodríguez, J., & Revilla-Suarez, D. (2016). Gasificación de biomasa para la generación de electricidad

- con motores de combustión interna. Eficiencia del proceso. *Tecnología Química*, 36(2), 133-144.
- López, M. V. (2011). *Ingeniería de la energía eólica* (Primera). Barcelona: Marcombo.
- Lozano, C. (2016). Energías Renovables Y No Renovables. Recuperado 26 de diciembre de 2018, de <https://www.calameo.com/read/0046789022961029b1134>
- Lozano, W. (2013). Energías Renovables ES. Recuperado de http://www.academia.edu/18537327/130726_DS_Energias_Renovables_ES
- Lucas, A. (2012). Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad.pdf. Recuperado 16 de diciembre de 2018, de <http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>
- Merme. (2017). Biomasa en el Ecuador. Recuperado 14 de noviembre de 2018, de <http://www.eoi.es/blogs/merme/biomasa-en-el-ecuador/>
- Nogués, S., & García, D. (2010). *Energía de la Biomasa (volumen I)* (Primera). Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- Pachano, A. M. (2017). La investigación y desarrollo de energías renovables en el Ecuador. Análisis crítico., 8.
- Peláez, M., & Espinoza, J. (2015). Estado de uso de la biomasa para la producción de bioenergía, biocombustibles y bioproductos en Ecuador. Recuperado 27 de diciembre de 2018, de https://www.researchgate.net/publication/286756139_Estado_de_uso_de_la_biomasa_para_la_produccion_de_bioenergia_biocombustibles_y_bioproductos_en_Ecuador
- Pérez Bayer, J. F., Díaz Ibarra, Ó. H., Obando Enriquez, R. C., & Molina Ochoa, A. (2009). Diseño conceptual de un gasificador de biomasa de lecho fijo en equicorriente a escala piloto. *Tecno Lógicas*, (22). Recuperado de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=344234314008>
- Pérez, & García. (2014). *Energía alterna y biocombustibles: innovación e investigación para un desarrollo sustentable* (1a ed.). Montecillo, Texcoco: Colegio de Postgraduados.
- Pérez, J., Borge, D., & Agudelo, J. (2010). Biomass gasification process: theoretical and experimental studies a review, 13.
- Petromercado. (2016). Poder calorífico inferior y superior. Recuperado 16 de diciembre de 2018, de <http://petromercado.com/blog/37-articulos/105-poder-calorifico-inferior-y-superior.html>

- PNUD. (2016). REVISTA ENERGIA VERDE PARA GALAPAGOS, INAGOTABLE, LIMPIA Y SEGURA, (250), 56.
- Raja, A. (2006). *Power Plant Engineering, New Age International* (ProQuest Ebook Central,). Reverte. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/ucsgec-ebooks/detail.action?docID=330884>. Created from ucsgec-ebooks on 2018-12-08 01:55:30.
- Retamal, & Marchant. (2012). *Cogeneradores para Aplicaciones Agroindustriales y Agropecuarias*. Santiago de Chile: BIOTAMN S.A. Recuperado de https://books.google.com/books/about/Energ%C3%ADas_renovables.html?hl=es&id=bl6L8E_9t1kC
- REVE. (2016). Ecuador produce más energías renovables. Recuperado 17 de noviembre de 2018, de <https://www.evwind.com/?s=renovable+ecuador>
- Robilliard, C. (2009). Generación de electricidad a partir de energía geotérmica. Recuperado de <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=337428493011>
- Rodríguez, M. M., Roy, J. F. M., & Gómez, F. M. (1999). *Motores alternativos de combustión interna*. Universidad de Zaragoza. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=234826>
- Ruiz, S. (2015). El motor térmico. Clasificación y elementos constructivos, 27.
- Sardón, J. M. de J. (2013). *Energías renovables para el desarrollo*. Editorial Paraninfo.
- SolergyEcuador. (2018). La Energía Renovable. Recuperado de <https://solergyecuador.com.ec/energy-efficiency/2016-to-become-a-breakthrough-year-for-fuel-cell-electric-vehicles-3/>
- Soltec. (2016). Libro Energía Solano. Recuperado 26 de diciembre de 2018, de <https://www.calameo.com/read/0048912696c4771e4cbc7>
- Souza, R. (2015). *Performance of a motogenerator adapted for biogas* (1.^a ed., Vol. 34). Brasilia: LAVRAS. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=XVwpDwAAQBAJ>
- Tavera, C. (2016). Energía de la biomasa. Recuperado 27 de diciembre de 2018, de <https://www.calameo.com/read/0009608094eaa9f9867a0>
- Tonda, J. (2015). V. LA ENERGÍA DEL CARBÓN: 300 Millones de años. Recuperado 26 de diciembre de 2018, de http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/119/htm/sec_11.htm
- UBA. (2016). *Aplicaciones del Biogas* (Facultad de Ingeniería - UBA). Recuperado de <https://docplayer.es/10696441-Aplicaciones-del-biogas.html>

- Unión Europea. (2016, junio 16). Energía - Europa [Text]. Recuperado 16 de diciembre de 2018, de https://europa.eu/european-union/topics/energy_es
- Valdés, R. P. G., López, Y. R., & Taín, Y. G. (2010). Consumo de combustible de los motores de combustión interna, *19*(1), 7.
- Velasco, J. G. (2009). *Energías renovables*. Reverte.
- Zubiaurre, L. (2012). *Electricista de mantenimiento*,. Cano Pina. Recuperado <http://ebookcentral.proquest.com/lib/ucsgsp/detail.action?docID=3227014>.

ANEXOS

ANEXO 1. Presupuesto del Proyecto

Tabla 3. 5 Adquisición de materiales

Cantidad	Descripción	Costo unitario	Total (dólares)
1	Moto – generador Liffan 5500	\$503.00	\$503.00
1	Compresor de 2 hp	Alquiler diario: \$10.00	\$60.00
2	Válvulas esféricas de pvc de 1 ½"	\$15.00	\$30.00
1	Válvula check de bronce de ¾"	\$15.00	\$15.00
10	Neplos de ¼"	\$4.00	\$40.00
5	Neplos perdidos de 1 ½"	\$30.00	\$30.00
1	Manguera lisa de 1 ½"	\$15.00	\$45.00
3	Válvulas esféricas de ¼"	\$5.00	\$15.00
1	Válvula de pvc de ¾"	\$5.00	\$5.00
1	Radiador	\$70.00	\$70.00
2	Medidor de flujo de aire	\$35.00	\$70.00
1	Medidor de humedad de biomasa	\$50.00	\$50.00
	Subtotal		\$933.00

Tabla 3. 7 Costos indirectos - Asesoramiento técnico

Posición	Total
Ingeniería	\$300.00
Subtotal	\$300.00

Tabla 3. 9 Gastos de investigaciones

Descripción	Total
Compra de manuales	\$ 20.00
Internet	\$ 40.00
Utilización de ordenador	\$ 25.00
Suministros de apuntes	\$ 10.00
Viáticos	\$ 120.00
Otros gastos	\$ 50.00
Subtotales	\$ 265.00

Tabla 3. 11 Costo total

Costo total de insumos del proyecto	
Adquisición de materiales	\$ 933.00
Asesoramiento técnico	\$ 300.00
Gastos de investigación	\$ 265.00
Costo total	\$ 1498.00

ANEXO 2 Análisis de tipo de combustible para gasificador propuesto

Tabla 3. 13 Análisis de tipo de combustible para gasificador propuesto

Tipo de Combustible	Funciona	Nivel de funcionamiento	COMENTARIOS
Virutas de Madera Dura	Si	Excelente	0.5" a 1.5" (10mm – 50mm) virutas
Virutas de Madera Suave	Si	Excelente	0.5" a 1.5" (10mm – 50mm) virutas
Cáscaras de nueces	Si	Excelente	Necesita menos preparación
Cáscaras de coco	Si	Excelente	Roto en trozos
Granos de café	Si	Normal	Granulado
Aserrín	Si	Normal	Granulado
Mazorcas de maíz	Si	Normal	Roto en trozos
Estiércol	Si	Normal	Secado al 30% de humedad
Cáscaras de Arroz	No		En desarrollo
Paja	No		En desarrollo
Bagazo de caña de azúcar	No		En desarrollo
Rastrojo de maíz	No		En desarrollo
Hojasasca	No		En desarrollo

Tomado: de All Power Labs, 2018

ANEXO 3 Materia Prima adecuada para el Gasificador Gek

6/22/2019

Feedstock Support - ALL Power Labs

Combustibles adecuados

Descarga Manual de materia prima

Para su gasificador funcione correctamente, debe utilizar los combustibles de biomasa correctas que se han preparado y tamizados correctamente.

De combustible de materia prima debe estar seco, de la forma y tamaño a fluir a través del reactor correcta, y libre de polvo, arena y contaminantes:



- Tamaño de partícula: 1 cm - 4 cm (0,5 en - 1,5 in.)
- Contenido de humedad (% en peso seco): 5% - 30%
- El contenido de cenizas <5%

La siguiente Tabla de materiales de alimentación muestra los más comunes que se han probado y se sabe que funcionan, cuáles son conocidos por ser inservible, y cuáles necesitan más pruebas. Para obtener más información sobre la preparación de combustible, en contacto con APL. Para obtener más información sobre la preparación de combustible, el contacto [APL](#).

Versión imprimible de esta tabla

Verde	Conocido para trabajar con operaciones estándar y esfuerzo de mantenimiento
Amarillo	Sabe que funciona con un aumento de las operaciones y el esfuerzo de mantenimiento
gris	No es suficiente prueba para aprobar en este momento. la garantía de uso de los huecos
rojo	Sabe que no funciona. la garantía de uso de los huecos
materia prima	notas
Pedazos de madera por ejemplo: roble, de goma, Pino	Utilice sólo los chips; trozos o fragmentos largos pueden unirse barrena o puente en el reactor
Cáscaras de frutos secos , por ejemplo: de coco, nuez, avellana	No todos los proyectiles van a trabajar, por favor en contacto con nosotros para hablar de su materia prima en particular
Mazorcas de maíz	Debe ser roto a tamaño y no debe incluir cáscaras. Aumento de la posibilidad de formación de escoria
Cáscaras de almendra de palma	Riesgo de altas temperaturas. Puede ser necesario para ser mezclado o de otras medidas adoptadas para temperaturas más bajas
Cáscaras de nuez de macadamia	Excelente forma, no es suficiente la prueba
Los depósitos anacardo	toxicidad conocida, no es suficiente la prueba
Los pellets de madera	Puede funcionar dependiendo del tamaño y el maquillaje, los pellets con tendencia a descomponerse
Granos de café	Demasiado fino, no es compatible físicamente, peletización puede permitir el

<http://www.allpowerlabs.com/support/support-feedstock>

1/2

	uso
aserrín	Demasiado fino, no es compatible físicamente, peletización puede permitir el uso
rastrojo de maíz	El alto contenido de ceniza; contenido de sílice conduce a la escoria
Cáscara de arroz	El alto contenido de sílice conduce a la formación de escoria
Bambú	Difícil de preparar para corregir el tamaño y la forma
Gramíneas: Switchgrass, Miscanthus, etc.	Alta sílice y baja densidad aparente.
Papel, bagazo de caña de azúcar, la cáscara del coco	Formas que no sean compatibles física
Residuos sólidos urbanos / Papelera	riesgo de escoria; metales pesados; contenido de plástico no es adecuado
Carbón	Quemaduras demasiado caliente, libera azufre y metales pesados
Plástica	Derrite y faltas barrena / reactor
Estiércol - vaca, cerdo, pollo, etc.	De escoria elevadas, baja densidad de energía
Llantas	No es compatible químicamente

Tomado: de All Power Labs, 2018

ANEXO 4 Especificaciones del Grupo electrógeno LIFAN 5500

II. SPECIFICATONS		5500/5500E	6500/6500E	8000/8000E	9000/9000E
Model		182F/182FD	188F/188FD	190F/190FD	192F/192FD
Engine model		4-storke OHC single-cylinder gasoline engine with forced air-cooled			
Type		337	389	420	370
Displacement (cm ³)					
Maximum power output (kW/rpm)		6.4/3600	7.2/3600	8.5/3600	8.8/3600
Ignition system		Non-contact transistor			
Start system		Hand-operated & electric			
Engine					
Fuel tank capacity (L)		25	25	25	25
Fuel consumption (L/hr)		2.45	2.7	3	3.6
Duration of runs (h)		10	9	8	7
Engine oil capacity (L)		1.1	1.1	1.1	1.1
Noise (7 meters away) (dB)		≤72	≤74	≤75	≤78
Generator					
Rated voltage (V)		120/240	120/240	120/240	120/240
Rated frequency (Hz)		60	60	60	60
Rated power (KVA)		5.0	6.0	7.0	7.5
Max. power (KVA)		5.5	6.5	7.5	8.0
Generating set					
Overall length (mm)		680			
Overall length (mm)		510			
Overall length (mm)		540			
Dry mass (kg)		77/80	80/82	85/88	87/90

Tomado: de Lifan

ANEXO 5. Equipos de mediciones:

Medidor digital de Humedad MD812

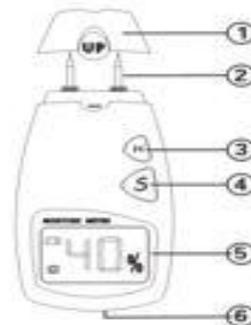


FEATURES:

- * Digital large size LCD display
- * Range: 5% to 40%
- * Resolution: 1%
- * High resolution and response quickly
- * Date hold
- * Symbol and unit display can read the value conveniently
- * Low battery symbol "  "
- * Power: one 9V battery
- * Dimension: 129×63×32mm
- * Weight: approx. 116g (including battery)
- * Operation temperature: 0 C to 40 C
(32 F to 104 F) 0 to 70%RH

FRONT PANEL DESCRIPTIONS

1. Probe shield
2. Measure probe
3. Date-hold button
4. Power button
5. LCD display
6. Battery cover



Tomado: de drmeter proveedores de materiales

Medidor de velocidad de flujo del aire PROSTER



A. Air velocity				
Unit	Range	Resolution	Threshold	Accuracy
M/s	0-30	0.1	0.1	±5%
Ft/min	0-5860	19	39	
Knots	0-55	0.2	0.1	
Km/hr	0-90	0.3	0.3	
Mph	0-65	0.2	0.2	
B. Temperature				
Unit	Range	Resolution	Accuracy	
°C	-10°C~+45°C	0.2	±2°C	
°F	14°F~113°F	0.36	±3.6°F	
Battery		CR2032 3.0V (Included)		
Thermometer		NTC thermometer		
Operating temperature		-10°C~+45°C (14°F~113°F)		
Operating humidity		Less than 90%RH		
Store temperature		-40°C~+60°C (-40°F~140°F)		
Current consumption		Approx. 3mA		
Weight		52g		
Dimension		40x18x105mm		

Fuente: www.pce-instruments.com

Caja de medición de presiones de motor CAT 1U5470



Tomado: de CATERPILLAR SISWEB proveedores de materiales

Engine Pressure Group (Continued)



Item	Description
Not shown	Form SEES5677 Conversion Chart
Not shown	Form NEEG2187 Title Decal

Part Number	Description	Use	Used with
102-6496	Adapter, 1/8"-27 NPTF to 1/8"-28 BSPTM	Allows 1U-5470 Engine Pressure Group to be connected to the oil pressure switch port on the listed engines. Adapter requires the removal of the oil pressure switch on these engines in order for oil pressure readings to be taken.	C0.5, C0.7, C1.1, C1.5, C1.7, C2.2, C3.4

DO NOT use any acids or other highly corrosive liquids in the gauges.

Item	Part Number	Description
—	1U-5470	Engine Pressure Group
Optional 8T-0840 Pressure Gauge		
Parts List		
1	8T-8941	Case
2	8T-8839	Differential Pressure Gauge
3	8T-8946	Pressure Gauge
4	1U-5489	Pressure Gauge
5	8T-8948	Gauge GP — Pressure (S)
6	4C-3874	Fitting — Union Bulkhead (R)
7	8T-8821	Tubing, 16 m (52.5 ft)
8	4C-3873	Fitting — Connector (male) (R)
9	4C-3872	Fitting — Male Elbow (Swivel) (R)
10	4C-3871	Union (S)
11	6V-6132	Cable Tie (H)
12	6V-6845	Case — Plastic Form SEES5575 Accessories Label
13	6V-6115	Pecking Set Base

Tomado: de Multímetro digital automotriz UD88

UD88

CARACTERÍSTICAS ESPECIALES UD88



Rango del ciclo de actividad (duty cycle)

Duración de pulso

Lectura directa de Dwell

Medición de RPM

Selección de rango automático o manual

Captura de máximos y mínimos

Captura de datos

Frecuencia

Barra análoga

Pantalla retroiluminada

Rango 10A protegido por fusible

Capacitancia

RMS verdaderos

Temperatura

Indicador de batería baja

Comunicación RS-232C

Retención de datos

Pantalla LCD grande

(67x32mm)

Modo relativo

Prueba de diodos

Certificado CE

Tono bip de continuidad

Polaridad automática

Funda Protectora

Caja plástica

Tomado: de urea

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Buñay Guacho, Samuel** , con C.C:**0603081951** # autor/a del trabajo de titulación: **Arranque de un grupo electrógeno Otto usando el gas de síntesis del gasificador Downdraft acondicionados como un sistema de micro generación eléctrica para fines didácticos** previo a la obtención del título de **Ingeniero en Eléctrico-Mecánica** 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, 21 de marzo del 2019

f. _____
Nombre: Buñay Guacho, Samuel
C.C: 0603081951

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Arranque de un grupo electrógeno Otto usando el gas de síntesis del gasificador Downdraft acondicionados como un sistema de micro generación eléctrica para fines didácticos.		
AUTOR(ES)	Buñay Guacho, Samuel		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Martillo Aseffe José Alfonso, Mgs.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de educación técnica para el desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Eléctrico-Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Eléctrico-Mecánica		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	21 de marzo del 2019	No. DE PÁGINAS:	118
ÁREAS TEMÁTICAS:	Energías Renovables, Micro generación de electricidad, Gasificación		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Energía Renovable, Biomasa, gasificador, gas de síntesis, grupo electrógeno, micro generación.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras): El objetivo general de este proyecto es el de arrancar un grupo electrógeno Otto usando el gas de síntesis del gasificador downdraft acondicionados como un sistema de micro generación eléctrica para fines educativos en la Facultad Técnica de la universidad católica Santiago de Guayaquil. Para lograr los objetivos se procedió a realizar el montaje del sistema empleando el gasificador de flujo descendente o Downdraft GEK TOTTI de dicha Facultad, cuyo propósito será producir gas de síntesis con bajo contenido de alquitranes e impurezas mediante el proceso de conversión termoquímica, tomando como biomasa residuo orgánico del maíz. El proceso de armar componentes pendientes y acondicionamiento para el objetivo final que consistía en la adaptación para el funcionamiento del grupo electrógenos fue llevado en varias etapas siendo principalmente el armado de los filtros, conexión de ductos de gases, armado del Venturi para la conducción de gases y funcionamiento del quemador. Este trabajo deja las bases y la ingeniería básica de cada uno de los elementos que componen al equipo, y de esta manera sirva para un mejor entendimiento de a los estudiantes, sobre la micro generación de electricidad, usando distinto tipos de biomasa.			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593996138934	E-mail: sbunay_guacho@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Philco Asqui Luis Orlando		
	Teléfono: +593980960875		
	E-mail: luis.philco@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			