



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

TEMA:

“Implementacion de un sistema de instrumentación con sensores de temperatura y de flujo en cada etapa del gasificador Downdraft GEK 1.2.5 de la facultad técnica para regular la eficiencia en grupo electrógeno Otto usando gas de síntesis obtenido por biomasa”

AUTOR:

Hormaza Rodriguez, Walter Mauricio

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de:

**INGENIERO EN ELÉCTRICO MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

TUTOR:

Ing. Lopez Cañarte, Juan Carlos MSc.

Guayaquil, Ecuador

2019



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **HORMAZA RODRIGUEZ WALTER MAURICIO**, como requerimiento para la obtención de Título de **Ingeniería en Eléctrico- Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial**.

TUTOR

ING. LOPEZ CAÑARTE, JUAN CARLOS M.Sc.

DIRECTOR DE LA CARRERA

ING. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO, M.Sc.

Guayaquil, 16 de septiembre del 2019



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICA CON MENCIÓN
EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Hormaza Rodriguez Walter Mauricio

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación: **Implementación de un sistema de instrumentación con sensores de temperatura y de flujo en cada etapa del gasificador Downdraft GEK 1.2.5 de la Facultad técnica para regular la eficiencia en grupo electrógeno Otto usando gas de síntesis obtenido por biomasa**, 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. Consecutivamente 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, 16 de septiembre del 2019

EL AUTOR

HORMAZA RODRIGUEZ WALTER MAURICIO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA CON
MENCIÓN
EN GESTIÓN EMPRESARIAL.**

AUTORIZACIÓN

Yo, Hormaza Rodriguez Walter Mauricio

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del trabajo de titulación: **Implementación de un sistema de instrumentación con sensores de temperatura y de flujo en cada etapa del gasificador Downdraft GEK 1.2.5 de la Facultad técnica para regular la eficiencia en grupo electrógeno Otto usando gas de síntesis obtenido por biomasa**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

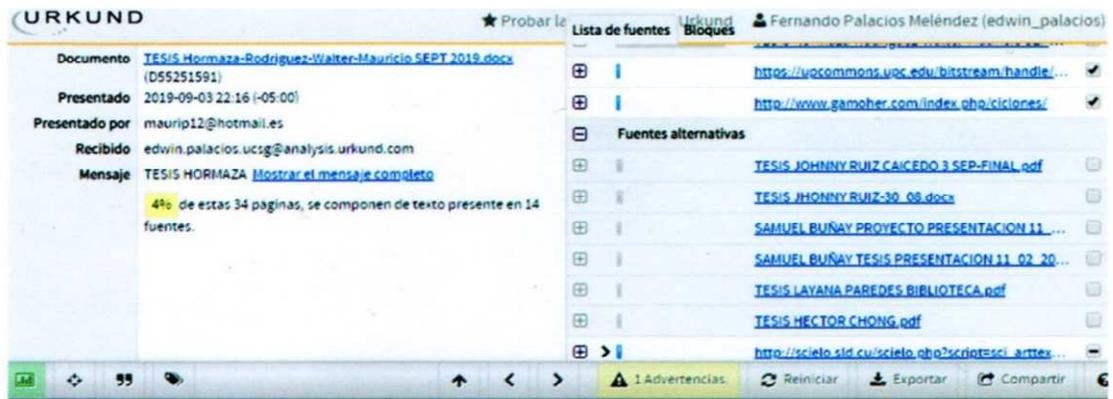
Guayaquil, 16 de septiembre del 2019

EL AUTOR

HORMAZA RODRIGUEZ WALTER MAURICIO

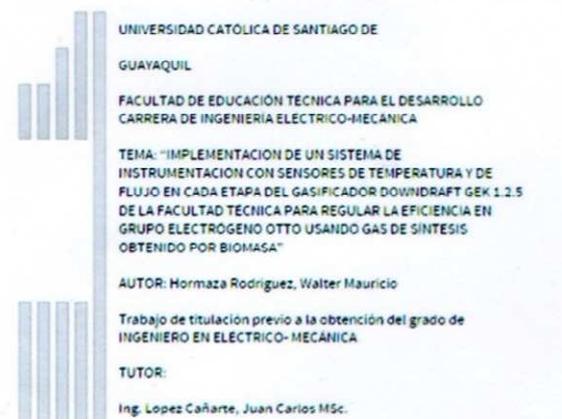
REPORTE URKUND

Informe del Trabajo de titulación de la Carrera de Ingeniería Eléctrico-Mecánica, con el **4%** de coincidencias perteneciente al estudiante, **WALTER MAURICIO HORMAZA RODRIGUEZ**.



The screenshot displays the URKUND interface. On the left, a document titled "TESIS Hormaza-Rodriguez-Walter-Mauricio SEPT 2019.docx" is shown, presented on 2019-09-03. The message indicates that 4% of the text in the document matches 14 sources. On the right, a list of sources is provided, including links to university repositories and PDF files of other theses.

Lista de fuentes	Urkund Bloques
https://uoccommons.uoc.edu/bitstream/handle/...	<input checked="" type="checkbox"/>
http://www.gamohr.com/index.php/ciclonos/	<input checked="" type="checkbox"/>
Fuentes alternativas	
TESIS JOHNNY RUIZ CAICEDO 3 SEP-FINAL.pdf	<input type="checkbox"/>
TESIS JHONNY RUIZ-30_09.docx	<input type="checkbox"/>
SAMUEL BUÑAY PROYECTO PRESENTACION 11...	<input type="checkbox"/>
SAMUEL BUÑAY TESIS PRESENTACION 11_02_20...	<input type="checkbox"/>
TESIS LAVANA PAREDES BIBLIOTECA.pdf	<input type="checkbox"/>
TESIS HECTOR CHONG.pdf	<input type="checkbox"/>
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_artes...	<input type="checkbox"/>



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERIA ELECTRICO-MECANICA
TEMA: "IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE INSTRUMENTACION CON SENSORES DE TEMPERATURA Y DE FLUJO EN CADA ETAPA DEL GASIFICADOR DOWNDRAFT GEK 1.2.5 DE LA FACULTAD TECNICA PARA REGULAR LA EFICIENCIA EN GRUPO ELECTROGENO OTTO USANDO GAS DE SINTESIS OBTENIDO POR BIOMASA"
AUTOR: Hormaza Rodriguez, Walter Mauricio
Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de INGENIERO EN ELECTRICO-MECANICA
TUTOR:
Ing. Lopez Cañarte, Juan Carlos MSc.

Atte.

M.Sc. Juan Carlos López Cañarte
TUTOR TRABAJO DE TITULACION

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a DIOS, por darme el entendimiento, sabiduría para lograr mis objetivos y por darme las fuerzas para salir adelante pese a las dificultades.

A mis padres que me han brindado su amor, comprensión y disciplina que me han llevado a practicarlo en cada aspecto de mi vida como en lo espiritual, social, estudiantil y profesional.

Al personal docente de la Facultad Técnica que han compartido sus conocimientos con el fin de prepararme para ejercer mi carrera profesional.

A mis amigos en general.

EL AUTOR
HORMAZA RODRIGUEZ WALTER MAURICIO

DEDICATORIA

Dedicado al todo poderoso que, gracias a su voluntad, estudié y me preparé para obtener mi título profesional.

A mis padres y hermanos que fueron quienes me impulsaron a realizar y cumplir esta meta, ya que su sacrificio ha sido de gran valor para mi vida.

A mis amigos que siempre me alentaron a seguir adelante, con consejos y buenos deseos.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN
GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

ING. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS, M.Sc.

DECANO

f, _____

ING. PALACIOS MELENDEZ, EDWIN FERNANDO M.Sc.

COORDINADOR DE TITULACIÓN

f. _____

ING. MARTILLO ASEFFE, JOSÉ ALFONSO, Mgs.

OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
INDICE DE TABLAS.....	XIII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
1.1. Justificación.....	3
1.2. Planteamiento del problema.....	4
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos.....	4
1.4. Tipo de investigación.....	5
1.5. Hipotesis.....	5
1.6. Metodología.....	5
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	7
Energías alternativas.....	7
2.1.1. Fuentes de energía renovable.....	7
2.2. Biomasa.....	9
2.2.1. Características de la biomasa como combustible.....	9
2.2.2. Tipos de biomasa.....	10
2.2.3. Uso de la biomasa y el medio ambiente.....	12
2.2.4. Ventajas y desventajas de la biomasa.....	13
2.2.5. Biomasa en ecuador.....	14
2.2.6. Poder calorífico de la biomasa.....	15
2.2.7. Tusa de maíz como biomasa.....	18
2.3. Gasificación.....	19
2.3.1. Proceso de la gasificación.....	20
2.4. Gasificadores.....	23
2.4.1. Tipos de gasificadores.....	23

2.4.2. Gasificador de tiro descendente o downdraft	24
2.4.3. Sistema de accionamiento de gas en gasificador downdraft ...	26
2.5. Componentes del gasificador	28
2.5.1. Ciclón	28
2.6. Enfriamiento de gases.....	29
2.6.1. Intercambiador de calor	29
Clasificación de intercambiadores de calor.....	29
2.7. Instrumentación.....	30
2.8. Instrumentación y medición	30
2.8.1. Sensores de temperatura.....	30
2.8.2. Medidores de caudal	36
2.9. Motores de combustión interna.....	37
2.9.1. Funcionamiento de un motor de combustión interna	38
2.9.2. Motores de combustión interna a gas.....	38
CAPÍTULO 3.....	41
3. Diseño y procedimiento.....	41
3.1. Proceso de gasificación/ Instrumentación y obtención de datos .	41
3.2. Puesta en marcha del gasificador downdraft	50
3.3. Resultados.....	60
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES.....	66
Bibliografía	67
ANEXOS.....	70
ANEXO 1. Presupuesto del Proyecto	70
ANEXO 2: Especificaciones y costos de gasificador Downdraft.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Generación de electricidad según las fuentes de energía	9
Figura 2. Tipos de biomasa	10
Figura 3. Esquema de la instalación de biomasa.....	13
Figura 4. Calor liberado por la combustión en la biomasa	16
Figura 5. Vapor de agua expulsada al exterior	16
Figura 6. Vapor de agua dirigido hacia la atmosfera.....	17
Figura 7. Comparación de muestras en poder calorífico superior vs poder calorífico inferior.....	17
Figura 8. Tusa de maíz como biomasa	18
Figura 9. Esquema de un gasificador de tiro descendente	25
Figura 10. Diferentes tipos de gasificadores de lecho fijo.....	26
Figura 11. Ciclón separador de partículas	28
Figura 12. Esquema de RTD	32
Figura 13. Termómetro bimetalico	34
Figura 14. Esquema de termómetro bimetalico.....	35
Figura 15. Esquema de funcionamiento de sensor bimetalico.....	36
Figura 16. Sensor de flujo.....	37
Figura 17. Funcionamiento de un MCI.....	38
Figura 18. Motor funcional a syngas	39
Figura 19. Turbina de gas.....	40
Figura 20. Desarmado de partes del gasificador	41
Figura 21. Suciedad y residuos encontrados en empaque	42
Figura 22. Suciedad acumulada en el ciclón.....	42
Figura 23. Trazado y corte para construcción de parte cónica del ciclón	43
Figura 24. Soldadura y armado del ciclón.....	43
Figura 25. Construcción de líneas de 1" ½ para la conducción de los gases	44
Figura 26 . Nuevo ciclón armado y pintado.....	44
Figura 27. Perforación para conexiones de cañerías en intercambiador de calor	45
Figura 28. Fabricación de serpentín tipo U para retención de condensación	45
Figura 29. Partes nuevas del equipo ubicadas e instaladas	46

Figura 30. Elementos del Gasificador GEK TOTTI	48
Figura 31. Termocupla tipo k	49
Figura 32. Sensor de flujo	49
Figura 33. Medicion de humedad en la biomasa	51
Figura 34. Biomasa cortada en trozos	51
Figura 35. Salida de gas en area de quemador	52
Figura 36. Termocupla en salida de intercambiador	52
Figura 37. Panel de control de temperatura.....	53
Figura 38. Muestreo de datos de temperatura	53
Figura 39. Intercambiador de calor	54
Figura 40. Retencion y depósito de condensacion con alquitranes	55
Figura 41. Estado de material filtrante	55
Figura 42. Cambio de material filtrante	56
Figura 43. Llama en quemado encendida.....	57
Figura 44. Circuito para medicion de flujo de gas y oxigeno.....	57
Figura 45. Conexion de mangera al filtro de admision.....	58
Figura 46. Medicion de flujo de gas y velocidad en rpm	59
Figura 47. Kit de gasificacion de biomasa	59
Figura 48. Medicion de temperatura en zona de reduccion superior de campana (combustion), zona inferior (reduccion) y secado en 40 min	61
Figura 49. Temperatura en gasificación.....	61
Figura 50. Temperatura en etapa de enfriamiento.....	62
Figura 51. Medicion de peso de biomasa	63

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Poder calorifico de diferentes tipos de biomasa.....	18
Tabla 2: Tipos de gasificadores	24
Tabla 3: Temperaturas standars en RTD.....	32
Tabla 4: Temperatura standar en termopares.....	33
Tabla 5. Especificaciones del gasificador	47
Tabla 6. Requerimientos de la biomasa.....	47
Tabla 7. Temperaturas en área de gasificación.....	60
Tabla 8. Temperaturas en etapa de enfriamiento de gases.....	62
Tabla 9. Alquiler y construccion	70
Tabla 10. Materiales utilizados.....	70
Tabla 11. Asesoramiento	70
Tabla 12. Gastos varios	71
Tabla 13. Costos totales del proyecto.....	71

RESUMEN

El objetivo general de este proyecto es la implementación de sensores de temperatura y flujo de caudal volumetrico para obtención de datos con la finalidad de regular la eficiencia en un grupo electrogeno alimentado con gas de síntesis obtenido por el proceso de gasificaion de biomasa en gasificador downdraft ubicado en la Facultad Técnica para el desarrollo de la Universidad Catolica de Santiago de Guayaquil. Para el cumplimiento de los objetivos propuestos se procedio a realizar un mantenimiento riguroso en cada una de las partes que conforman del gasificador downdraft GEK TOTTI de la facultad técnica y a través de la evaluación de cada componente se realizaron mejoras que ayudaran con un mejor desempeño en la producción de un gas de sistesis que contenga bajo contenido de impurezas y alquitranes mediante la gasificación del residuo organizo del maíz. Todo el proceso que se llevo a cabo fue con finalidad de implementar los sensores de temperatura y de flujo los cuales estarán conectados un panel de control donde se llevara la medición de valores en todo el proceso de gasificación la cual permitió calibrar o regular la mezcla aire/gas con la cual se regulo la eficiencia en un generador para la microgeneracion de energía. Este trabajo se realizo aplicando los conocimientos básicos aprendidos durante la carrera estudiantil y profesional, los cuales esta enfocados en la microgeneracion de energía con fuentes renovables como la biomasa.

Palabras claves: Sensores, temperatura, caudal, biomasa, gasificador, síntesis, grupo electrógeno.

ABSTRACT

The overall objective of this project is the implementation of volumetric flow and temperature sensors for data collection in order to regulate efficiency in a synthesis gas-powered electrogen group obtained by the process of biomass gasification in downdraft gasifier location in the technical faculty for the development of the Catholic University of Santiago de Guayaquil. To meet the proposed objectives, rigorous maintenance was carried out on each part of the GEK TOTTI downdraft gasifier of the technical faculty and through the evaluation of each component improvements were made to help with better performance in the production of a seesthesian gas containing low impurity and tar by gasification of the organic residue of maize. The entire process that was carried out was in order to implement the temperature and flow sensors which will be connected a control panel where the measurement of values will be carried out throughout the gasification process which allowed to calibrate or regulate the mixture air/gas with which efficiency is regulated in a generator for microgeneration of energy. This work was carried out applying the basic knowledge learned during the student and professional career, which is focused on the microgeneration of energy with renewable sources such as biomass

Keywords: Sensors, temperature, flow rate, biomass, gasifier, synthesis, generator set.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

La gasificación de biomasa es una tecnología la cual permite convertir los residuos agroindustriales en combustibles muy diversos como gas de síntesis, hidrocarburos líquidos, carbón vegetal y otros, todos estos procesos son posibles gracias a las reacciones químicas inducidas por aportes de calor sobre la biomasa los cuales se denominan procesos termoquímicos.

Los procesos industriales, principalmente los sistemas de generación de energía de sistemas no convencionales como la gasificación, carecen de una descripción de la construcción básica y detallada desde el punto de vista instrumental y de control; dado que su estudio temático se centra principalmente en los resultados físico-químicos obtenidos.

Un ejemplo es el potencial energético del gas producido y la variación que tiene en la forma de construcción de plantas de gasificación, lo que lo convierte en una estrategia casi individual para cada planta. La instrumentación para estos procesos se ha derivado de estudios de laboratorio basados en el conocimiento químico y físico del proceso de gasificación.

La instrumentación es un conjunto de dispositivos los cuales permitirán realizar mediciones con la finalidad de controlar y automatizar el proceso de gasificación en cada una de las etapas del proyecto.

A lo largo del tiempo se han creado sistemas de gasificación los cuales están destinados a obtener mediante el uso de la biomasa un gas pobre o gas de síntesis a través de un proceso termoquímico, este proceso se ha realizado convencionalmente de manera que no se sabe a ciencia exacta cada una de las variaciones o fenómenos que se van demostrando en cada etapa de la gasificación los cuales son necesarios para realizar estudios los cuales permitan obtener los datos estequiométricos para la eficiente mezcla entre gas y aire.

Por lo tanto la implementación de un sistema instrumentación en el gasificador downdraft aportará significativamente en el proceso para la medición de las variaciones de temperatura y flujo de gas/aire en cada una de las etapas de la gasificación para el obtención de datos directos los cuales aportaran en la calibración de la mezcla gas y aire que es necesaria para la obtención de un gas que cumpla los parámetros necesarios para para una eficiente generación de energía en motores de combustión interna.

1.1. Justificación

El presente proyecto de tesis se justifica por cuanto en el aspecto científico aporta con un modelo de instrumentacion que conlleva a la obtención de información relevante como son los diferentes datos relacionales a la variacion de temperatura y flujo volumetrico de gas/aire que es necesaria en la estequeometria del gas producido. El desarrollo de la presente tesis permitirá obtener el correcto control del proceso de gasificación el cual beneficiará el correcto funcionamiento de un motor de combustión interna para la generación de energía eléctrica para el consumo personal.

Por lo tanto, esta investigacion e implentacion aportará al conocimiento de los estudiantes de la carrera de ingeniería electromecánica ya que se emplea técnicas propias de contenidos estudiados, pero no en actividades puntuales como la generación de energías alternativas con biomasa y el control de procesos mediante instrumentación electrónica.

La Facultad técnica para el desarrollo de la Universidad Católica Santiago de Guayquil estará promoviendo a través de sus estudiantes la generación de energías alternativas, en la cual su base fundamental es la reducción del impacto ambiental producido por la quema de los desechos orgánicos (Biomasa) en los procesos agroindustriales.

Los costos en la obtención del gas natural el cual se utiliza para producir electricidad y/o energía térmica en la industria son altos y se prevee que a través de la implementación de nuevas plantas de gasificación de biomasa esta inversión sea menor con un menor impacto económico y ambiental.

Finalmente, con la implementación de instrumentación se obtendrá los resultados que servirán como base de análisis para futuras investigaciones de nuevos métodos de instrumentación y control en el proceso de gasificación con la utilización de nuevos tipos de biomasa.

1.2. Planteamiento del problema

En la Facultad técnica para el desarrollo de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil uno de los principales problemas en el gasificador Downdraft es que no cuenta con un sistema de instrumentación y obtención de datos que permita conocer la estequiometría de gases, para lo cual se plantea la siguiente interrogante: ¿De qué manera se puede obtener un control en la medición de temperatura y caudal de gases tanto a la entrada (aire) como a la salida (syngas) para regular la eficiencia en un motor de combustión interna?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Implementar un sistema de instrumentación con sensores de temperatura y de flujo en cada etapa del gasificador Downdraft GEK 1.2.5 de la facultad técnica para regular la eficiencia en grupo electrógeno Otto usando gas de síntesis obtenido por biomasa.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Inspeccionar el equipo gasificador downdraft GEK 1.2.5 con herramientas de mantenimiento y limpieza para obtener datos respecto de su funcionamiento.
- Solucionar novedades encontradas con equipos apropiados de mantenimiento y reparación para su funcionamiento final.
- Implementar sistema de instrumentación con los sensores de temperatura y flujo para el funcionamiento del panel de control.
- Evaluar el funcionamiento del grupo electrógeno Lifan 5500 a través de los resultados obtenidos para verificar que la mezcla de aire y gas sea la correcta.

1.4. Tipo de investigación

Para el presente trabajo se hará uso de una investigación de campo ya que se realizarán inspecciones in situ a los componentes de Gasificador downdraft GEK 1.2.5.

1.5. Hipotesis

La implementación de un sistema de instrumentación a través de los sensores de temperatura y caudal de gas permite obtener datos numéricos en grados centígrados, rpm y flujo volumétrico en litros representados en controladores y displays ubicados en un panel de control con los cuales se realiza la estequiometría de gases para la alimentación de motores de combustión interna.

1.6. Metodología

La metodología a emplearse es de tipo documental o teorica, descriptiva, entrevista, observación, experimental y cuantitativa. A continuación se detalla y se explica como se empleo cada método en esta investigación:

Bibliografica, en la cual se considera todo tipo de fuente documental y datos digitales en los cuales se compongan de papers, artículos científicos o tesis relacionada a los gasificadores y el uso de instrumentación y control para calibración de la mezcla gas/aire cuyo fin es ser acondicionado a un grupo electrógeno

Descriptiva, porque se caracterizará las partes que conforman el sistema de gasificación downdraft. Además, se detalla la propuesta del acondicionamiento de un sistema de instrumentación con sensores de temperatura y flujo en cada etapa del gasificador como método de obtención de datos para su respectiva calibración.

Entrevista, en esta técnica se entrevistará a tesisistas y docentes los cuales han trabajado con este tipo de sistemas para de esta forma recopilar información que servirá para el desarrollo de esta investigación

Observacion, en esta técnica se observará de manera cuidadosa cada fenómeno o evento que surga, para de esta manera obtener información y poder registrarla para relacionarla con la hipótesis planteada.

Experimental, en esta técnica se experimentará mediante la observación lo que está sucediendo mediante el tiempo en el proceso de gasificación y por lo consiguiente sabremos si el proceso se maneja de forma correcta o necesitará un reajuste o calibración.

Cuantitativa, en esta técnica se dará un seguimiento a cada uno de los datos que obtendremos mediante la medición con cada uno de los instrumentos implementados en el sistema, para así llegar a cada uno de los objetivos planteados.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

Energías alternativas

En esta época de la humanidad podemos generar electricidad de dos maneras, con fuentes de energía renovables y no renovables.

2.1.1. Fuentes de energía renovable

La energía renovable es la energía producida a partir de fuentes que no se agotan o pueden reponerse dentro de la vida de un ser humano. Los ejemplos más comunes incluyen energía eólica, solar, geotérmica, biomasa e hidroeléctrica. Esto contrasta con las fuentes no renovables como los combustibles fósiles.

La mayoría de las energías renovables se derivan directa o indirectamente del sol. La luz solar se puede capturar directamente utilizando tecnologías solares. “El calor del sol impulsa los vientos, cuya energía se captura con turbinas. Las plantas también dependen del sol para crecer y su energía almacenada se puede utilizar para la bioenergía”.

Según (Roldan Vilorio, 2013) Hoy en día se habla mucho de las energías alternativas, sin embargo, a corto plazo no son una solución final a la fuerte demanda. La energía nuclear para producir electricidad tiene algunos detractores, y con buena razón, cuando es una buena alternativa, ya que ha mejorado mucho en la seguridad de las instalaciones y se ha reducido la vida de sus residuos. (p.26)

“Las energías renovables representan el 13,5% del suministro total de energía del mundo y el 22% de la electricidad mundial”(Frewin, 2018). Los sistemas de energía renovable son un tema importante cuando se discute el futuro energético del mundo por dos razones principales:

- Los sistemas de energía renovable proporcionan energías de fuentes que nunca se agotarán.

- Los sistemas de energía renovable producen menos emisiones de gases de efecto invernadero que los sistemas de energía de combustibles fósiles.

Si bien es cierto, los sistemas de energía renovable son mejores para el medio ambiente y producen menos emisiones que las fuentes de energía convencionales, muchas de estas fuentes aún enfrentan dificultades para implementarse a gran escala, incluidas, entre otras, barreras tecnológicas, altos costos de capital inicial y desafíos de intermitencia.

Es importante tener en cuenta que los términos 'energía renovable', 'energía verde' y 'energía limpia' no son intercambiables en todos los casos; Por ejemplo, una planta de carbón 'limpia' es simplemente una planta de carbón con tecnología de reducción de emisiones. La planta de carbón en sí misma todavía no es una fuente de "energía renovable". La 'energía verde' es un subconjunto de energía renovable, que cuenta con bajas o cero emisiones y bajos impactos ambientales en sistemas como la tierra y el agua.(Eugenio & Mario, 2013)

“Como se ha dicho, cada vez se necesita más y más energía. Los países emergentes están aumentando de forma considerable la demanda de materias primas y de energía” (Frewin, 2018)

El petróleo es derivado de los combustibles fosiles y este es una fuente de energia muy poderosa al igual que la energia nuclear pero estas energias son limitadas porque el petróleo como el uraneo no se renueva de forma natural y una vez que se agoten las reservas llegara a su fin.(Eugenio & Mario, 2013)

A pesar de que estas tecnologías ya tienen un tiempo existiendo aún se consideran tecnologías emergentes que requieren de mejoras constantes y en el caso de los biocombustibles se requieren de muchos estudios para encontrar las alternativas que menos impactan el ambiente.

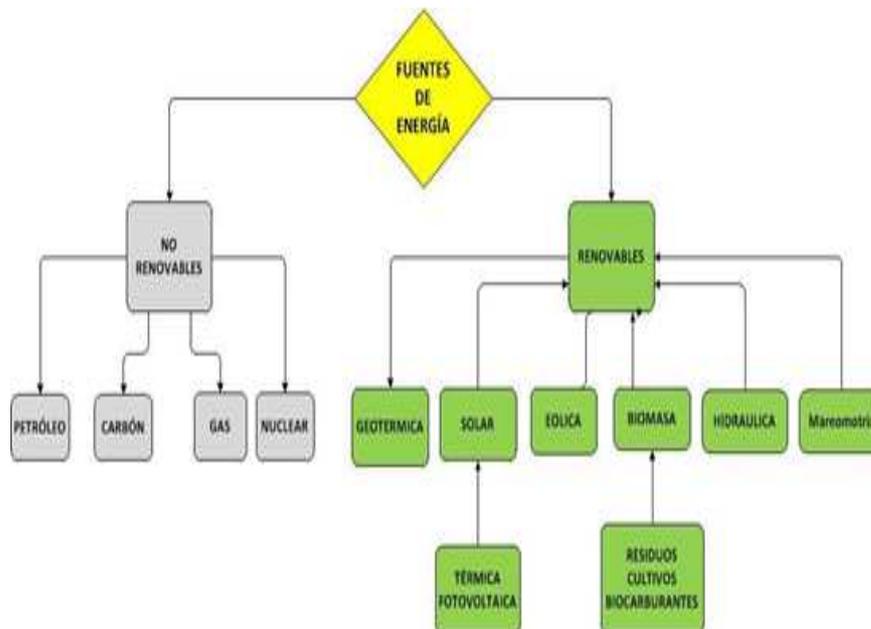


Figura 1. Generación de electricidad según las fuentes de energía
Fuente: Buñay Guacho 2019

2.2. Biomasa

2.2.1. Características de la biomasa como combustible

La biomasa es un tipo de energía con gran un gran potencial el cual no esta siendo explotado de la manera que se debe, se considera como la energía de la naturaleza. Es una fuente de energía renovable la cual aprovecha lo que la naturaleza ofrece, se encuentra a nuestro alrededor y puede ser de origen netamente orgánico ya sea animal o vegetal la cual su uso se da para fines energéticos.

Las fuentes de biomasa son tan diversas como lo puedan ser el aserrín de aserradero, las ramillas obtenidas en una poda de pino, el cañote de maíz, el hueso de melocotón obtenido en una industria conservera o la masa granulada que queda tras el prensado de la oliva y la extracción química del resto del aceite (orujillo).(Sebastian Nogués, Abrego Garrués, Reseau, & García-Galindo, 2010, p. 66)

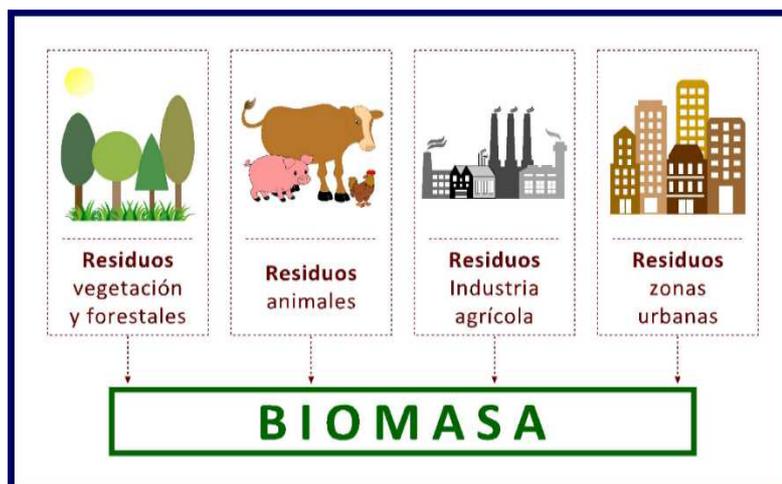


Figura 2. Tipos de biomasa
Fuente: Ostargi energías alternativas 2018

2.2.2. Tipos de biomasa

Hoy en día se utiliza cuatro tipos de biomasa:

➤ **Madera y biomasa agrícola**

La mayor parte de la biomasa utilizada en la actualidad es la energía cultivada en casa. Los troncos de madera, las astillas, la corteza y el aserrín representan aproximadamente el 79 por ciento de la energía de la biomasa. Pero cualquier materia orgánica puede producir energía de biomasa. Otras fuentes de biomasa incluyen los productos de desecho agrícola como las frutas y las mazorcas de maíz. (ISA, 2017)

➤ **Residuo sólido**

No hay nada nuevo en las personas que queman basura. Lo nuevo es quemar basura para generar electricidad. Esto convierte los desechos en una forma de energía utilizable. Una tonelada (2,000 libras) de basura contiene tanta energía calorífica como libras de carbón.

Las centrales eléctricas que queman basura para obtener energía se denominan plantas de conversión de residuos en energía. Estas plantas generan electricidad de manera muy similar a las plantas que funcionan con carbón, excepto que la basura, no el carbón, es el combustible utilizado para encender una caldera industrial.

Producir electricidad a partir de basura cuesta más que hacerlo a partir de carbón y otras fuentes de energía. La principal ventaja de quemar desechos sólidos es que reduce la cantidad de basura que se vierte en los vertederos en un 60 a 90 por ciento, y reduce el costo de la eliminación de los vertederos.

➤ **Gas de vertedero**

Las bacterias y los hongos no son quisquillosos. Se alimentan de plantas y animales muertos, lo que hace que se pudran o pudran. Aunque este proceso natural se ralentiza en el entorno artificial de un vertedero, una sustancia llamada gas metano todavía se produce a medida que los desechos se descomponen.(ISA, 2017)

Las nuevas regulaciones requieren que los rellenos sanitarios recojan gas metano por razones de seguridad y ambientales. El gas metano es incoloro e inodoro, pero es muy ofensivo. El gas puede causar incendios o explosiones si se filtra en las casas cercanas y se enciende.(ISA, 2017)

Los vertederos de depositos pueden recolectar el gas metano, purificarlo y luego usarlo como fuente de energía. El metano, que es lo mismo que el gas natural, es una buena fuente de energía. La mayoría de los hornos de gas y estufas de gas utilizan metano suministrado por empresas de servicios públicos de gas natural.

Hoy en día, solo una pequeña porción de gas de vertedero se utiliza para proporcionar energía. La mayoría se quema en el vertedero. ¿Por qué? Con los bajos precios actuales del gas natural, este "biogás" de mayor precio tiene dificultades para competir.

➤ **Combustibles de alcohol**

El trigo, el maíz y otros cultivos se pueden convertir en una variedad de combustibles líquidos que incluyen etanol y metanol. Usar etanol como combustible de motor no es nada nuevo. Su uso es casi tan antiguo como el automóvil. A principios del siglo XX, el pionero del automóvil Henry Ford abogó

por el uso de gasohol, una mezcla de etanol y gasolina, para manejar sus automóviles.

Hoy el etanol es un combustible de alto costo y su uso se ha convertido en un tema controvertido. Se estima que un barril de petróleo tendrá que duplicar su precio antes de que el etanol pueda competir con la gasolina como combustible de transporte.(ISA, 2017)

Como el etanol es costoso y los motores de los automóviles deben modificarse para funcionar con etanol puro, el etanol generalmente se mezcla con gasolina para producir gasohol. (Los automóviles pueden funcionar con gasohol sin ajustes).

Gasohol es 10 por ciento de etanol y 90 por ciento de gasolina. En 1994, el 12 por ciento del combustible para motores en Estados Unidos consistía en esta mezcla de etanol y gasolina. Sin embargo, en algunos estados productores de maíz, el uso de gasohol es tan alto como 50 por ciento.(ISA, 2017)

El Gasohol tiene algunas ventajas sobre la gasolina. Tiene una clasificación de octanaje más alta que la gasolina (le brinda a su automóvil más potencia), y es de combustión más limpia que la gasolina sin plomo, con un tercio menos de emisiones de monóxido de carbono.(ISA, 2017)

2.2.3. Uso de la biomasa y el medio ambiente

El 79 % de la biomasa que usamos hoy proviene de la quema de madera y restos de madera. El resto de la biomasa proviene de cultivos, basura, gas de vertedero y combustibles de alcohol. ¿Quién usa energía de biomasa? La industria es el mayor usuario de biomasa. El setenta y siete por ciento de la biomasa es utilizada por la industria. Los hogares son los siguientes usuarios más grandes de energía de biomasa. (ISA, 2017)

Las empresas eléctricas también utilizan energía de biomasa para producir electricidad. El uno por ciento de la biomasa se usa para producir

electricidad. Aún así, la biomasa produce solo una pequeña cantidad de la electricidad que usamos. Ambientalmente, la biomasa tiene algunas ventajas sobre los combustibles fósiles como el carbón y el petróleo. La biomasa contiene poco azufre y nitrógeno, por lo que no produce los contaminantes que causan la lluvia ácida.

El cultivo de plantas para su uso como combustibles de biomasa también puede ayudar a controlar el calentamiento global. Esto se debe a que las plantas eliminan el dióxido de carbono, uno de los gases de efecto invernadero, de la atmósfera cuando crecen.(Biomass, s. f.)

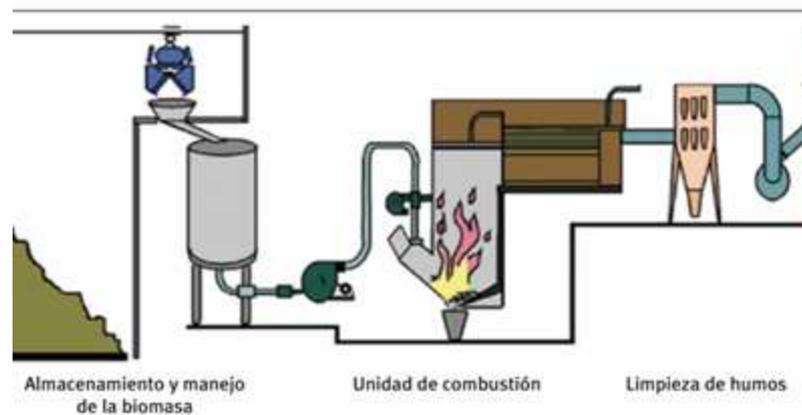


Figura 3. Esquema de la instalación de biomasa
Fuente: Instituto para la diversificación y ahorro de la energía, 2008

2.2.4. Ventajas y desventajas de la biomasa

Ventajas de la biomasa son:

- Se la considera energía renovable porque es encontrada en abundancia ya que su producción se basa en los residuos generados por la naturaleza y estos se pueden transformar en biocombustibles con un ritmo de conversión de varios meses. (Ventajas y desventajas de la energía biomasa, 2019)

- Su aprovechamiento energético es de bajo costo en comparación con el carbón o el petróleo, ya que producirla solo equivale a un tercio de la inversión para producir combustibles fósiles. (Ventajas y desventajas de la energía biomasa, 2019)

- En los hogares que utilizan la biomasa como un sistema de calefacción que funciones con biocombustibles obtenidos por la biomasa existe un gran ahorro económico.
- La biomasa es producida todo el tiempo, es decir que es una fuente casi inagotable de energías renovables si se le da el cuidado adecuado.

Las desventajas de la biomasa son:

- Producirla es costosa por que, se necesita grandes infraestructuras y maquinaria.
- Tiene un bajo grado de poder calorífico comparado a los combustibles fósiles.
- La biomasa necesita ser almacenada, es decir, si no se tiene un espacio donde tratarla, será un inconveniente.
- Una gran desventaja es la deforestación y la destrucción de zonas forestales y selváticas, esto lleva a que el ecosistema se vea afectado si no realizan labores de regeneración.

2.2.5. Biomasa en Ecuador

“Actualmente en el Ecuador, el bagazo de la caña de azúcar es el único tipo de biomasa que se utiliza para generar electricidad” (CIE, 2018).

Según (CIE, 2018) En nuestro país, el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca ha realizado un levantamiento detallado de los diferentes cultivos a lo largo y ancho del territorio nacional.

Esta base de datos contiene información de producción por hectárea en cada sitio con lo cual se puede determinar los sitios de mayor y menor producción. Se cuenta con cifras sobre biomasa residual de los diferentes cultivos y de bosques. (CIE, 2018)

2.2.6. Poder calorífico de la biomasa

La combustión de biomasa sólida como la de cualquier otro combustible libera calor. Definimos el poder calorífico de un cierto tipo de biomasa como el calor liberado por unidad de masa de combustible, esta definición parece simple pero no lo es tanto, como veremos dependiendo de cómo se lleva a cabo la combustión hay que distinguir entre poder calorífico superior e inferior.

$$PC = \frac{Q}{m} \begin{cases} \text{Poder calorífico superior, PCS} \\ \text{Poder calorífico inferior, PCI} \end{cases}$$

Poder calorífico superior

El poder calorífico se mide en ensayos estándar de laboratorio, la muestra cuyo poder calorífico se desea determinar, se encierra en un recinto en el que se permite el aporte de oxígeno en abundancia y en el que se dispone de una salida para los gases liberados durante la combustión.

En estas condiciones en cuanto se aplica una chispa la combustión de la muestra progresa fácilmente, aparte se utiliza un segundo recinto que rodea al anterior por el que se hace circular agua de agua, conocido el caudal de agua en la temperatura la entrada y la temperatura a la salida, es muy fácil determinar la cantidad de calor liberada por la biomasa.(Universidad de burgos, 2018)

Visto en más detalle de lo que ocurre durante este proceso, cualquier muestra de biomasa tiene cierta proporción de humedad, es decir de agua líquida en su interior, una parte del calor liberado por la combustión se invierte en forma de calor latente en vaporizar la humedad.

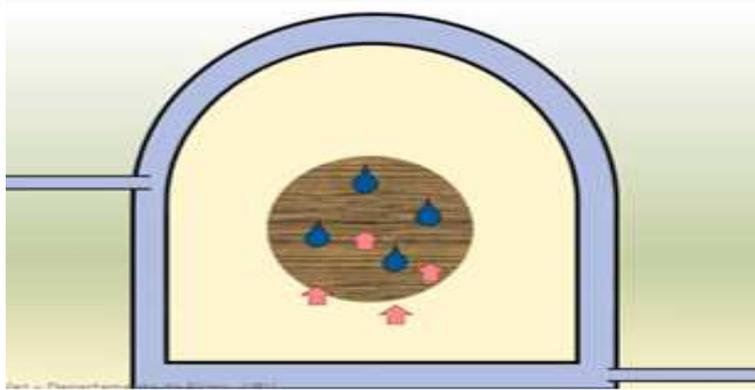


Figura 4. Calor liberado por la combustión en la biomasa
Fuente: Departamento de física - Universidad de Burgos

El vapor de agua así formado se dispersa y al tocar las paredes relativamente frías del recinto se condensa sobre ellas en forma de pequeñas gotitas de agua líquida y devolviendo la misma cantidad de calor latente que acaba siendo transferida al agua del exterior.

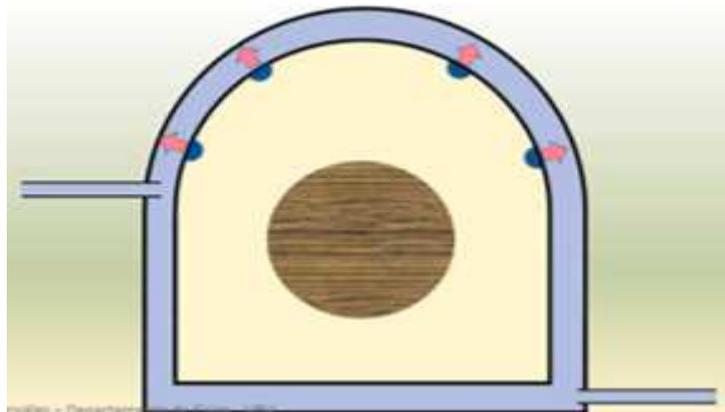


Figura 5. Vapor de agua expulsada al exterior
Fuente: Departamento de física - Universidad de Burgos

Poder calorífico inferior

Si un usuario digamos doméstico, quema el mismo tipo de biomasa en una caldera o chimenea ordinarias, la unidad de combustibles es vaporizada a expensas de parte del calor liberado por la combustión, en este caso la mayor parte del vapor de agua escapa la atmósfera porque no encuentra su pasó un lugar frío donde condensarse.(Universidad de burgos, 2018)

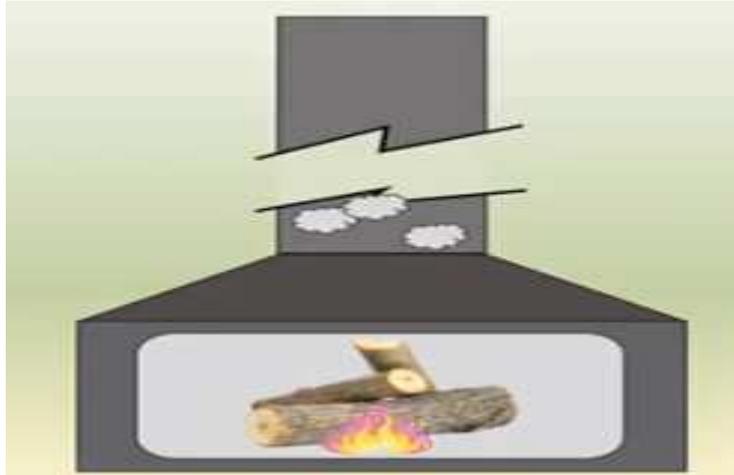


Figura 6. Vapor de agua dirigido hacia la atmosfera
Fuente: Departamento de física - Universidad de Burgos

Con toda probabilidad el vapor de agua acaba condensándose y devolviendo calor latente, pero lo hace en el exterior de la vivienda sin contribuir a caldear el interior.

El poder calorífico útil que calienta una vivienda es inferior al que se mide en un ensayo de laboratorio, porque en este último se recupera el calor de condensación de la humedad presente en el combustible y así dos muestras de biomasa con distinto grado de humedad, pero idénticas en todo lo demás tendrán el mismo poder calorífico superior en cambio el poder calorífico inferior o útil será mayor para la muestra más seca.

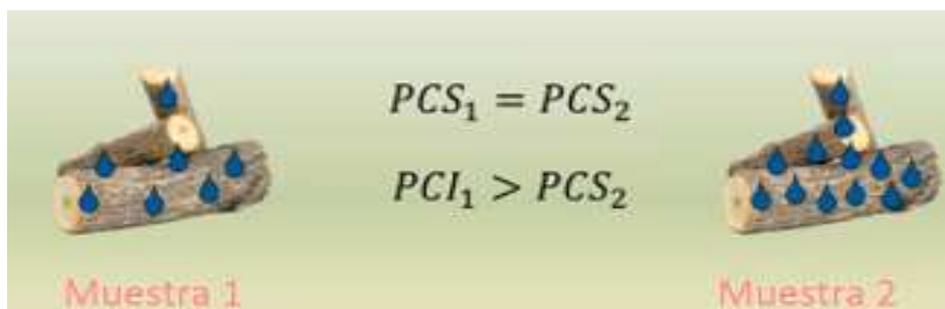


Figura 7. Comparación de muestras en poder calorífico superior vs poder calorífico inferior.
Fuente: Departamento de física - Universidad de Burgos

A continuación se muestra una tabla detallando el poder calorífico de diferentes tipos de biomasa:

Tabla 1: Poder calorífico de diferentes tipos de biomasa**Fuente: Ventilación industrial, sistema de valorización de biomasa (2018)**

Tipo de producto	Humedad (%)	Poder calorífico inferior (kJ/kg)	Poder calorífico inferior (kCal/kg)	Sector productivo del cual deriva el producto
Cáscaras de nuez	10 - 20	19020	4542	Agricultura
Madera de álamo	40 - 50	18190	4344	
Estiercol de bovino	70	718	171	Criadero de bovino
Cáscaras de arroz	10 - 15	15270	3647	Agricultura
Estiércol de ave "mixto"	22 - 29	9215	2200	Criadero de pollos de engorde
Estiércol de ave "puro"	20	10437	2492	Criadero de gallinas reproductoras
Residuos de poda de vid	45 - 55	17840	4261	
Alperujo secado	10 - 15	15500	3702	Producción de aceite de oliva
Tallos de maíz	50 - 60	16520	3945	Agricultura
Olotes de maíz	40 - 50	17580	4198	Agricultura

2.2.7. Tusa de maíz como biomasa

“Considerada una de las principales fuentes de alimento desde la época prehispánica, y con usos que van desde lo medicinal hasta lo artesanal, los grupos de investigación Optimización de procesos y uso racional de la energía y la biomasa”(Sandoval, 2013)

**Figura 8. Tusa de maíz como biomasa****Fuente: Revista científica, Tusa de maíz una fuente de energía (2013)**

El maíz es una planta de la familia gramínea que es originaria de América, es considerada como el cereal con mayor volumen de producción a nivel mundial, alimento que se ha mantenido por años en la historia de nuestro continente la cual tiene muchos usos, sus residuos hoy en día son considerados una alternativa de combustible que es amigable con el

ecosistema y que favorece a la situación en cuestión energética del país. (Eugenio & Mario, 2013)

Humedad

La humedad en la biomasa es la cantidad de agua que se encuentra dentro de la misma y de esto depende mucho poder calorífico al momento de obtener gases que sean utilizables.

“El contenido de humedad se determina con los protocolos dados en la norma ASTM D-871-82 para maderas y ASTM D 1348-94 para celulosa, ASTM D 1762-84 para biocarbón, y E- 949-84 para el contenido total de humedad” (Arbeláez et al., 2013)

Composición química

Existen muchas alternativas para caracterizar biomásas según su composición química, una de ellas puede ser partir del contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, también pueden ser clasificadas como combustibles si se conoce su relación C/O y/o su análisis próximo, con ayuda de diagramas temarios para representar los principales productos generados en la transformación térmica de biomásas. (Arbeláez et al., 2013)

Para determinar las proporciones de estos elementos en las biomásas es necesario realizar los análisis próximos y últimos; estos son importantes para estimar la capacidad energética de las biomásas, determinar rendimientos de los procesos y, realizar los balances de masa y energía. El análisis próximo presenta la composición química de la biomasa en términos de componentes globales como la humedad, materia volátil total, contenido de cenizas y carbono fijo. (Arbeláez et al., 2013)

2.3. Gasificación

Según IDAE & Besel (2007) “La gasificación de biomasa es la degradación termoquímica la cual se produce en un ambiente escaso de

oxígeno y como resultado se obtiene el desprendimiento de gases que sirven como combustible”.

El agente gasificante es una mezcla de gases, que aporta a las reacciones con los gases de la biomasa. La gasificación no es una tecnología que se haya desarrollado de forma reciente, sino que ha sido un recurso que ha sido de utilidad en periodos de carencia o escasez de combustibles fósiles, este nos permite convertir sólidos (carbón, biomasa) en gases de combustión pobre que pueden ser de utilidad en motores de combustión interna, calderas y turbinas. (IDAE & Besel, 2007)

“El rendimiento del proceso de gasificación varía dependiendo de la tecnología, el combustible y el agente gasificante que se utilice, en el rango de 70-80%” (IDAE & Besel, 2007)

2.3.1. Proceso de la gasificación

La gasificación es definida como la conversión térmica de la biomasa en un gas a través de una serie de reacciones químicas que ocurren a altas temperaturas en condiciones sub-estequiométricas. Este proceso sucede en cuatro etapas: secado, pirólisis, reducción (gasificación) y oxidación, distribuidas por zonas en el caso de los gasificadores de lecho fijo. (Martillo Aseffe et al., 2019)

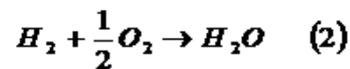
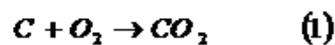
Según Martillo Aseffe (2019) La etapa de secado ocurre aproximadamente 100-200°C y en ella el contenido de humedad de la biomasa es típicamente reducido a valores menores al 5%.

Previo a esta etapa la biomasa se tritura y se inyecta en un recinto denominado reactor sin aportar oxígeno se calienta hasta una temperatura de 1500 grados centígrados las micromoléculas de la cual está hecha la biomasa; tales como, celulosa o almidones contienen principalmente carbono, hidrógeno y oxígeno.

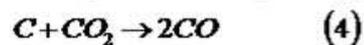
“La pirólisis es la degradación térmica de la biomasa. En ella la biomasa es calentada en ausencia de aire hasta aproximadamente 350° C, obteniéndose fundamentalmente carbón, gases y alquitrán”(Martillo Aseffe et al., 2019)

Por acción del calor se descomponen en sustancias de menor peso molecular que son gaseosas a la temperatura del reactor, esta sustancia se llevan casi todo el hidrógeno y el oxígeno que contenía originariamente la biomasa, la parte que queda en fase sólida acaba siendo carbono casi puro, decimos entonces que la biomasa sera carbonizada, es decir se ha convertido en carbón vegetal.

La combustión es la reacción química exotérmica entre biomasa carbonizada sólida y oxígeno presente en el aire, lo que resulta en la formación de CO₂ (Ec. 1). El Hidrógeno presente en la biomasa también se oxida para generar agua (Ec. 2).



Según (Martillo Aseffe et al., 2019) “En ausencia de oxígeno, ocurren varias reacciones de gasificación en el rango de temperatura de 800-1000 0C”. Estas reacciones son endotérmicas y las de mayor relevancia son representadas por las siguientes ecuaciones.



La composición y las propiedades del gas producto de la gasificación dependen de factores como el tipo de gasificador, parámetros del proceso, agente de gasificación y tipo de biomasa.

Temperatura

La temperatura es considerada el principal parámetro para evaluar el comportamiento del gasificador. Un aumento de la temperatura conduce a un aumento en la producción de gas, una disminución del contenido de alquitrán en el gas (mayor calidad) y del carbón en el gasificador (mayor conversión del carbono en gas). (Martillo Aseffe et al., 2019).

Un aumento de la temperatura en un gasificador aumenta la formación de gases combustibles y disminuye el fondo de carácter y líquidos.

Retencion de humedad

El carbón vegetal constituye el producto sólido de la pirólisis, su masa es sustancialmente inferior a la de la biomasa original, pero su poder calorífico es claramente superior. Los vapores formados en el reactor los cuales se hacen pasar por un intercambiador de calor para que se enfríen y luego estos permanecen en estado gaseoso incluso a temperatura ambiente y son recogidos en un depósito, en este grupo se encuentran el monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano, etano y etileno.

Principalmente los mejores de mayor masa molecular son líquidos a temperatura ambiente, por tanto, a su paso por el intercambiador se condensan y forman una especie de chapopote que contiene compuestos fenólicos e hidrocarburos pesados y alquitranes. Finalmente, las fases líquida y gaseosa se someten a procesos adicionales de refinado puestos que no son combustibles esto incrementa la proporción de combustibles convencionales y aumentan el poder calorífico de los productos, en resumen, la pirólisis permite convertir biomasa en una mezcla de combustibles sólidos

Relación de equivalencia

Según Martillo Aseffe (2019) “La relación de equivalencia (ER) es el parámetro de mayor influencia en el proceso de gasificación, con un impacto significativo en la composición y producción de gas”. Ella es determinada por la siguiente relación:

$$ER = \frac{V_a}{V_a^o} = \frac{R_{A/B \text{ actual}}}{R_{A/B st}} \quad (7)$$

Donde:

- V_a . Volumen de aire suministrado al gasificador (Nm^3/h).
- V_a^o . Volumen de aire necesario para la combustión completa (Nm^3/h)
- $R_{A/B \text{ actual}}$. Relación aire combustible real, Nm^3/kg de biomasa.
- $R_{A/B \text{ st}}$. Relación aire combustible estequiométrica, Nm^3/kg de biomasa, se calcula a partir de los elementos químicos del combustible (Ec.8)

$$R_{A/B st} = 0.0889(C + 0.375.S) + 0.265.H - 0.333.O \quad (8)$$

La equivalencia se define como la relación entre aire-combustible real y la relación aire-combustible estequiométrica. Los gasificadores de corriente descendente que se enfrente a una relación de equivalencia 0,25. Se ha que observado el bajo valor de la relación de equivalencia condujo a una baja formación de caracteres. La alta relación equivalencia de más de 0,4 tiende a producir gases de combustión que se de componen de CO_2 y H_2O en lugar del CO y H_2 deseables. La alta relación de equivalencia de la tasa de producción de syngas, mientras que las relaciones más bajas conducen a un menor contenido de energía y más producción de alquitrán.

2.4. Gasificadores

2.4.1. Tipos de gasificadores

Los diferentes tipos de gasificadores, se pueden clasificar en:

- Lecho fijo; tenemos dos tipos Updraft y Downdraft.
- Lecho fluidizado; tenemos tres tipos burbujeante, circulante y arrastrado.

- Rotatorios.
- Reactores paralelos o dobles.

A continuación, se muestra la tabla donde se resume el modo de contacto de los diferentes tipos de gasificadores con el sólido.

Tabla 2: Tipos de gasificadores
Fuente: Arroyo & Guillermo (2011)

Tipo	Modo de contacto
Gasificador de lecho fijo (Downdraft).	El sólido y el gas circulan en la misma dirección, que es descendente.
Gasificador de lecho fijo (Updraft).	El sólido y el gas circulan en dirección contraria. El sólido circula en dirección descendente y el gas circula en dirección ascendente.
Gasificador de lecho fluidizado (burbujeante).	La velocidad del gas es relativamente baja. Los sólidos inertes permanecen en el reactor. Un sólido inerte puede ser la arena.
Gasificador de lecho fluidizado (circulante).	Ocurre separación de sólidos en la corriente gaseosa. Los sólidos inertes son arrastrados, separados y recirculados al reactor.
Gasificador de lecho fluidizado (arrastrado).	La velocidad del gas es alta. Normalmente no existen sólidos inertes, la alta velocidad del gas genera elevadas velocidades de transformación.
Gasificadores paralelos o dobles.	La gasificación se produce con vapor en el primer reactor y el carbón producido es transportado hacia el segundo reactor, donde ocurre la combustión para calentar el medio fluidizante de recirculación.
Gasificadores rotatorios	Nos proporcionan un buen contacto sólido-gas.

2.4.2. Gasificador de tiro descendente o downdraft

Un gasificador de tiro descendente es un reactor de gasificación con cuatro zonas distintas:

- zona de secado superior
- sección de pirólisis superior-media
- zona de oxidación media-baja
- zona de reducción inferior.

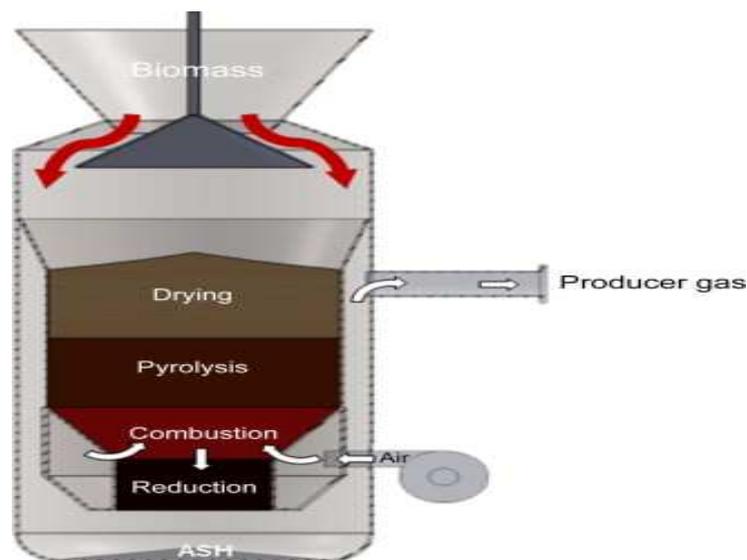


Figura 9. Esquema de un gasificador de tiro descendente
Fuente: Ashok, Thallada, Michael, & Rajeev (2015)

El gasificador de tiro descendente presenta un flujo de aire en corriente necesaria para la gasificación, donde los gases y sólidos del producto fluyen hacia abajo.

La biomasa alimentada se seca en la sección superior. La biomasa seca se mueve hacia abajo a la zona media-alta, permitiendo que ocurran las reacciones de conversión de alquitrán y pirólisis. Los alquitranes y gases no convertidos evolucionan hacia la zona de oxidación, donde la combustión tiene lugar a 1000-1400 ° C. (Ashok et al., 2015). Las especies químicas como formados finalmente mueven a través de una zona de reducción, donde los H₂ contenidos y CO se enriquecen.

El gas producto contiene una baja cantidad de partículas y alquitranes (~ 1 g / Nm³) porque la mayoría de los alquitranes se queman en la zona de oxidación. El gasificador de tiro descendente está particularmente bien adaptado cuando se requiere un gas de gas de síntesis limpio con un bajo contenido de alquitrán y partículas.

En este sistema, el gas que se obtiene es bastante limpio, el cual es adecuado para motores de combustión interna y turbinas para la generación

de electricidad; sin embargo, debido a que el gas sale del gasificador a una temperatura relativamente alta, debe enfriarse antes de la aplicación en motores de combustión interna. (Ashok et al., 2015)

“Sin embargo, las desventajas de este tipo de gasificador están relacionadas con dificultades en el manejo de biomasa con altos rangos de humedad”(Ashok et al., 2015)

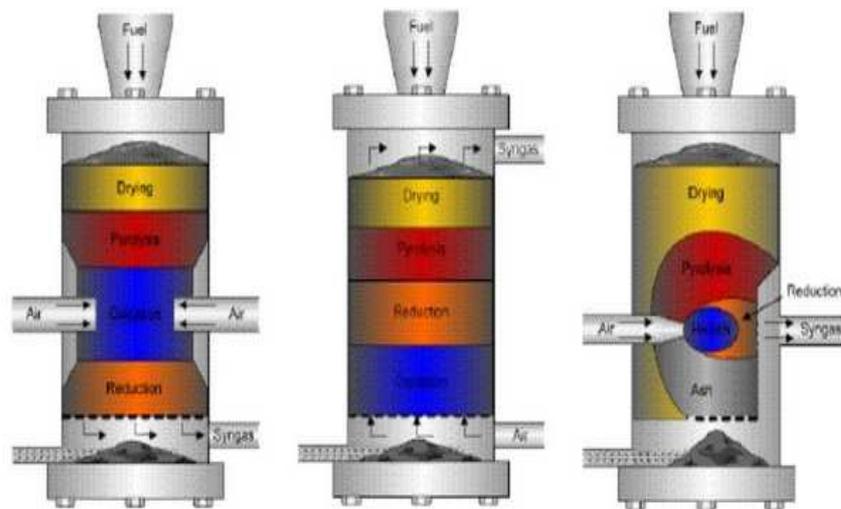


Figura 10. Diferentes tipos de gasificadores de lecho fijo
Fuente: Ostargi energias alternativas 2018

En este sistema la presión de flujo de aire y gas debe de ser constante, de tal forma que a través del Venturi absorba todo el gas producido en el reactor y lo expulse hacia afuera.

2.4.3. Sistema de accionamiento de gas en gasificador downdraft

El sistema de impulsión de gas se utiliza para motivar el flujo a través del sistema durante el arranque. Como flujo aumenta, aumenta la temperatura. Cuando las temperaturas del reactor alcanzan el objetivo mínimo temperatura de 750C, (> 800C idealmente), el contenido de alquitrán en la corriente de gas puede ser lo suficientemente bajo como para usar en motores Para modos de calor completo, los sistemas de impulsión de gas que operan el sistema a flujos que son dentro de los límites del rango de

temperatura de los gasificadores para la materia prima dada se prefieren.(ALL power labs, 2012)

Para los kits GEK: un sistema de impulsión de gas venturi eyector crea succión en el sistema y mezcla aire en el gas para el quemador de antorcha. El eyector venturi funciona proporcionando aire comprimido a ~ 100 psi para 6-8 CFM a la boquilla del eyector. La proporción de aire comprimido y gas motriz es solo alrededor del 25% de la proporción aire / gas necesario para la llamarada.

Se proporciona una válvula manual de premezcla de aire justo antes de eyector venturi que permite el aire necesario para la relación aire / combustible para el quemador. Mientras el eyector venturi puede operar en una amplia gama de caudales sin moverse partes, este sistema de accionamiento tiene una mayor demanda de potencia para un flujo dado y puede que no sea apropiado para aplicaciones fuera de la red para el sistema para esta versión.(ALL power labs, 2012)

Para los PowerPallets Dos sopladores de jaula de ardilla en serie se controlan junto con una una sola perilla en el panel de control y se utilizan para aspirar el sistema. El dual el diseño del soplador permite el caudal volumétrico máximo de gas necesario para el arranque alimentado únicamente por el sistema autónomo de 12 V CC a bordo.

Un tercer ventilador está acostumbrado a introduzca aire en el quemador de llamarada. Para el sistema de soplador, el gas pasa por alto el empaquetado filtro de cama y va directo a la bengala. Esto prolonga la vida útil del filtro de lecho empacado ya que filtra el gas para usarlo en el motor.

Los sopladores son reparables y se pueden desmontar. y se limpia fácilmente usando alcohol isopropílico o similar. Combustión completa en la llamarada se asegura ajustando los sopladores de gas y aire a la proporción correcta para llevar la combustión en la pila de bengalas hasta la parte más inferior de la pila de bengalas.

Los sopladores tienen una baja demanda de energía y son apropiados para la puesta en marcha de sistemas autónomos fuera de la red, pero solo puede funcionar en el extremo inferior de la capacidad de flujo de gas del gasificador que proporciona menos calor del que el gasificador es capaz en modo de calor completo. (ALL power labs, 2012)

2.5. Componentes del gasificador

2.5.1. Ciclón

“El ciclón es un equipo el cual se utiliza para la retención retener partículas sólidas suspendidas en un flujo de aire sin el uso de un filtro” (Gamohar, 2016)

La función de un ciclón consiste en generar una fuerza centrífuga la cual hace que las partículas desciendan en forma de remolino a través de su forma cónica y esta con la inercia que genera hace que las partículas se adhieran a las paredes del ciclón y así las partículas sin fuerza caeran en un recipiente donde serán depositadas y a su vez el aire o gas que circula comienza a fluir de forma ascendente, pero limpio de impurezas.



Figura 11. Ciclón separador de partículas
Fuente: Gamohar (2016)

2.6. Enfriamiento de gases

2.6.1. Intercambiador de calor

“Los intercambiadores de calor son dispositivos cuya función es transferir el calor de un fluido a otro de menor temperatura” (Marino, 2018).

Clasificación de intercambiadores de calor

Transferir de calor desde un fluido a otro es una operación importante para la mayoría de la sustancia química industrias. La aplicación más común de transferencia de calor es en el diseño de calor transferirequipo para el intercambio de calor desde un fluido a otro fluido. Tales dispositivos para la transferencia eficiente de calor son generalmente llamados intercambiador de calor.

Los intercambiadores de calor son normalmente clasificados dependiendo del proceso de transferencia que ocurren en ellos. Entre de todo tipo de intercambiadores, de carcasa y tubos intercambiadores se utilizan más comúnmente calor equipos de intercambio. los tipos comunes de shell y intercambiadores de tubo son:

- **Fijo intercambiador-placa de tubos (haz de tubos no extraíble):** La más sencilla y económica tipode cáscara y el intercambiador de tubo es con diseño de hoja de tubo fijo. En este tipo de intercambiadores de la placa de tubos está soldado a la carcasa y no hay movimiento relativo entre la cáscara y haz de tubos es posible.
- **Desmontable Haz de tubos:** haz de tubos puede ser retirado para facilitar la limpieza y reemplazo. Intercambiadores de haces de tubos amovible adicional se pueden categorizar en flotante cabeza y intercambiador de tubo en U.
- **Cabeza flotante de intercambiador de calor:** Consiste en una placa de tubos de papelería que se sujeta con la brida shell. En el extremo opuesto del haz, los tubos pueden expandirse en una placa de tubos

libremente montar-cabeza flotante o flotante. Una cubierta de cabezal flotante está atornillado a la placa de tubos y todo el paquete puede ser remoto para la limpieza y la inspección del interior.

- **Intercambiador Tubo en u:** Este tipo de intercambiadores consta de tubos que están dobladas en la forma de una "U" y laminado de nuevo en la placa de tubos. Esto significa que va a omitir algunos tubos en el centro del haz de tubos.

2.7. Instrumentacion

“Es el conjunto de ciencias y tecnologías mediante las cuales se miden cantidades físicas o químicas con el objeto de obtener información para su archivo, evaluación o actuación sobre los sistemas de control automático” (Iturralde, 2017).

2.8. Instrumentacion y medición

2.8.1. Sensores de temperatura

Para la medición industrial de la temperatura se emplean frecuentemente alguno de los sensores de los cuales se mencionan de forma breve.

Tipos de sensores de temperatura

La detección de temperatura es la base de todas las formas avanzadas de control y compensación de temperatura. El circuito de detección de temperatura mismo monitorea la temperatura ambiente. Luego puede notificar al sistema sobre la temperatura real o, si el circuito de detección es más inteligente, cuando ocurre un evento de control de temperatura. Cuando se excede un umbral específico de alta temperatura, el sistema puede tomar medidas preventivas para bajar la temperatura. Un ejemplo de esto es encender un ventilador.

Del mismo modo, un circuito de detección de temperatura puede servir como núcleo de una función de compensación de temperatura. Considere un

sistema como un equipo de medición de líquidos. La temperatura, en este caso, afecta directamente el volumen medido. Al tener en cuenta la temperatura, el sistema puede compensar los factores ambientales cambiantes, lo que le permite operar de manera confiable y consistente. Hay cuatro tipos de sensores de temperatura de uso común:

➤ **Termistor de coeficiente de temperatura negativo (NTC)**

Un termistor es una resistencia térmicamente sensible que exhibe un cambio grande, predecible y preciso en la resistencia correlacionado con las variaciones de temperatura. Un termistor NTC proporciona una resistencia muy alta a bajas temperaturas. A medida que aumenta la temperatura, la resistencia cae rápidamente. Debido a que un termistor NTC experimenta un cambio tan grande en la resistencia por ° C, los pequeños cambios en la temperatura se reflejan muy rápido y con alta precisión (0.05 a 1.5 ° C). Debido a su naturaleza exponencial, la salida de un termistor NTC requiere linealización. El rango operativo efectivo es de -50 a 250 ° C para termistores de vidrio encapsulados o 150 ° C para el estándar.(Ametherm, 2015)

➤ **Detector de temperatura de resistencia (RTD)**

Un RTD, también conocido como termómetro de resistencia, mide la temperatura correlacionando la resistencia del elemento RTD con la temperatura. Un RTD consiste en una película o, para mayor precisión, un cable envuelto alrededor de un núcleo de cerámica o vidrio. Los RTD más precisos se hacen con platino, pero los RTD de menor costo se pueden hacer de níquel o cobre. Sin embargo, el níquel y el cobre no son tan estables o repetibles. Los RTD de platino ofrecen una salida bastante lineal que es altamente precisa (0.1 a 1 ° C) a través de -200 a 600 ° C. Si bien proporcionan la mayor precisión, los RTD también tienden a ser los sensores de temperatura más caros.

Los detectores desistivos de temperatura o RTD a diferencia del termopar tiene alambres pero son del mismo material, básicamente es una bobina, pero en este caso la resistencia eléctrica es la que cambia conforme la temperatura, su construcción normalmente es de platino llamada pt100 y es

la más común pero también tenemos platino 500, platino 1000 y de otros materiales principalmente cobre y níquel en esta la siguiente figura tenemos la configuración de los alambres pueden ser de dos, tres y cuatro hilos.

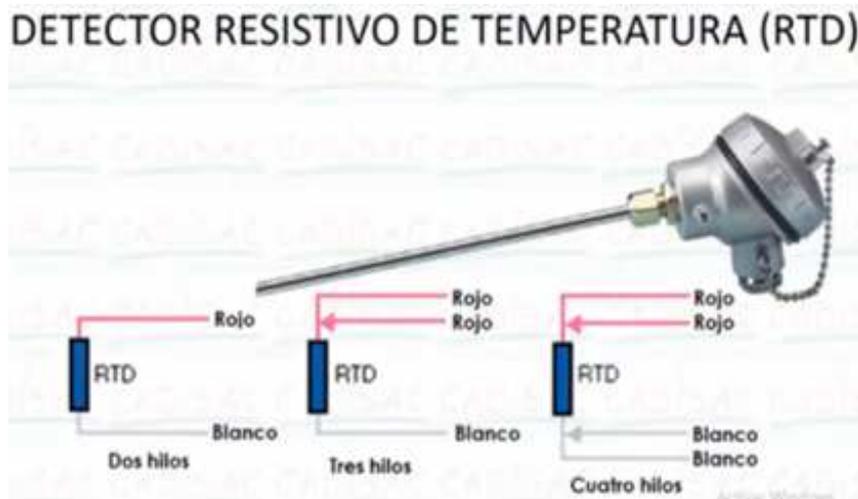


Figura 12. Esquema de RTD
Fuente: Pyromation (2016)

Para obtener mejores resultados en la medición de temperatura la mejor opción es la rtd de 4 hijos, ya que en esta no se ve afectada por la resistencia del conductor, ni por la temperatura ambiental de los conductores.

Al igual que los termopares se puede ver en la siguiente tabla, donde se relaciona la temperatura contra la señal eléctrica resistiva de la rtd.

Tabla 3: Temperaturas standars en RTD
Fuente: (Pyromation, s. f.)

TEMPERATURA (°C)	RESISTENCIA (Ω)
-200	17.08
-100	59.54
-50	79.95
0	100.00
100	139.20
200	177.23
300	214.08
400	249.76
500	284.26
660	337.03

➤ Termopar o termocupla

Este tipo de sensor de temperatura consta de dos cables de diferentes metales conectados en dos puntos. El voltaje variable entre estos dos puntos refleja cambios proporcionales en la temperatura. Los termopares no son lineales, requieren conversión cuando se usan para el control de temperatura y compensación, generalmente se logran usando una tabla de búsqueda. La precisión es baja, de 0.5 ° C a 5 ° C. Sin embargo, operan en el rango de temperatura más amplio, de -200 ° C a 1750 ° C.

Existen tablas las cuales ya están standardizadas en la siguiente tabla se muestra una sección de tabla de un termómetro tipo k de la compañía pyromation.

**Tabla 4: Temperatura standar en termopares
Fuente: Pyromation (2016)**

TEMPERATURA (°C)	VOLTAJE (mV)
-270	-6.458
-200	-5.891
-100	-3.554
0	0.000
100	4.096
200	8.138
300	12.209
400	16.397
500	20.644
1370	54.819

Como se puede apreciar en la tabla el voltaje o mini voltaje sube de intensidad conforme la temperatura aumenta.

Los termopares J y K son los más comunes y los de uso más frecuentes, se pueden adquirir en cualquiera de estas modalidades: la punta del sensor y el cable, la punta del sensor y una conexión rápida o la punta del sensor que viene equipada con una caja de conexiones o cabeza de terminales.

➤ **Sensores basados en semiconductores**

Se coloca un sensor de temperatura basado en semiconductores en los circuitos integrados (IC). Estos sensores son efectivamente dos diodos idénticos con voltaje sensible a la temperatura frente a características de corriente que se pueden usar para monitorear los cambios de temperatura. Ofrecen una respuesta lineal, pero tienen la precisión más baja de los tipos de sensores básicos de 1 ° C a 5 ° C. También tienen la capacidad de respuesta más lenta (5 sa 60 s) en el rango de temperatura más estrecho (-70 ° C a 150 ° DO).

➤ **Termómetro bimetalico**

En una industria, siempre existe la necesidad de medir y controlar la temperatura de un lugar, campo o localidad en particular. Los nombres industriales dados a tales sensores de temperatura son Indicadores de temperatura (TI) o Indicadores de temperatura (TG). Todos estos medidores de temperatura pertenecen a la clase de instrumentos que se conocen como sensores bimetalicos.

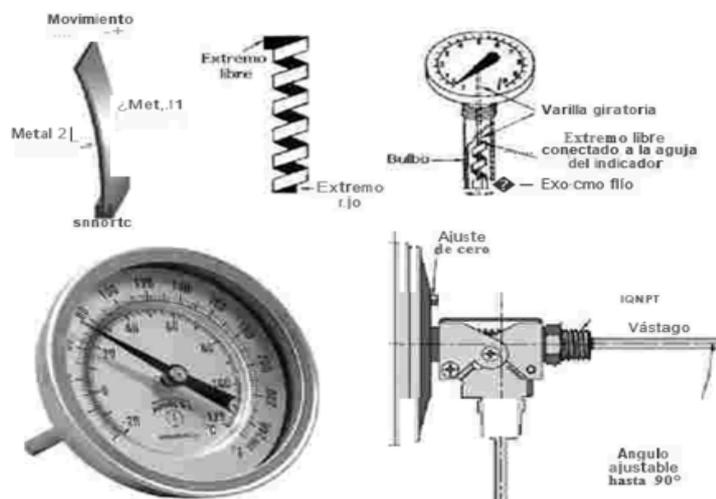


Figura 13. Termómetro bimetalico
Fuente: Antonio (2010)

Se deben seguir dos principios básicos de funcionamiento en el caso de un sensor bimetalico son:

- Un metal tiende a sufrir un cambio dimensional volumétrico (expansión / contracción), de acuerdo con el cambio de temperatura.
- Diferentes metales tienen diferentes coeficientes de temperatura. La tasa de cambio volumétrico depende de este coeficiente de temperatura.

Trabajando el dispositivo consiste en una tira bimetálica de dos metales diferentes y se unen para formar una espiral o una hélice retorcida. Ambos metales se unen en un extremo mediante soldadura o remachado. Está unido tan fuerte que no habrá ningún movimiento relativo entre los dos. La imagen de una tira bimetálica se muestra a continuación.

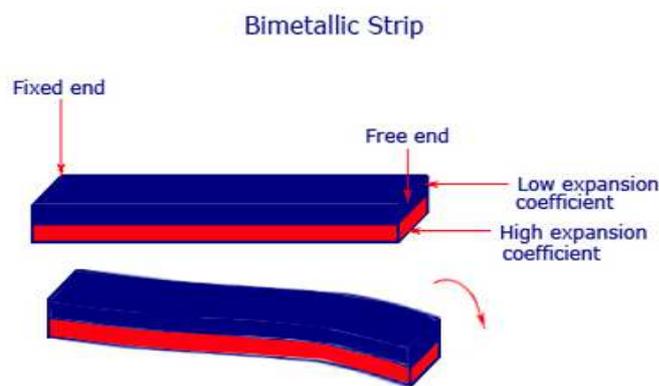


Figura 14. esquema de termómetro bimetálico
Fuente: Temperature Sensors,Types,Bimetallic (2011)

Un cambio en la temperatura hace que el extremo libre de la tira se expanda o contraiga debido a los diferentes coeficientes de expansión de los dos metales. Este movimiento es lineal al cambio de temperatura y la desviación del extremo libre se puede leer al colocarle un puntero. Esta lectura indicará el valor de la temperatura. Las tiras bimetálicas están disponibles en diferentes formas, como tipo de hélice, voladizo, espiral y también tipo plano.

La siguiente figura muestra el funcionamiento de un sensor bimetálico. Dos metales, azul y rojo están remachados juntos. Si se usa en un horno, el metal rojo se expandiría más rápido que el azul. Si se usa en un refrigerador, un aumento de temperatura hace que el metal azul se expanda más rápido

que el rojo. Como resultado, la tira se doblará hacia arriba y se cortocircuitará con un metal desgastado para que la corriente comience a fluir. Si se ajusta el tamaño del espacio entre la tira y el cable, puede controlar la temperatura.

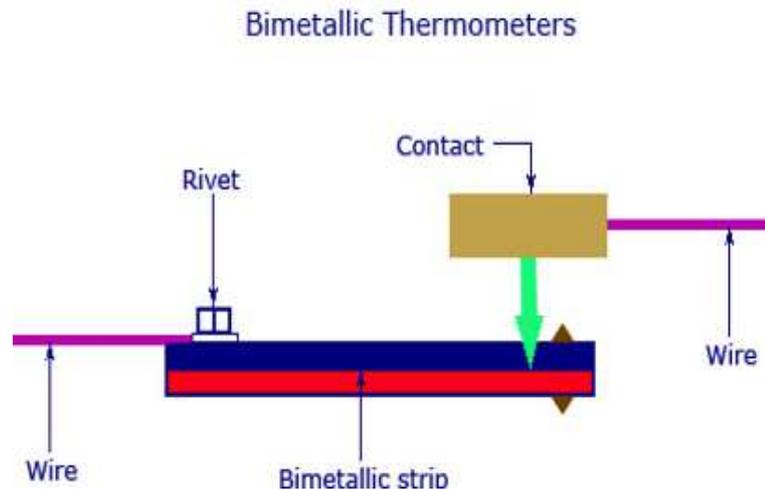


Figura 15. Esquema de funcionamiento de sensor bimetalico
Fuente: Temperature Measurement (2011)

2.8.2. Medidores de caudal

Generalmente tienen propiedades completamente distintas por lo tanto se requieren distintos principios para su medición, uno de los métodos de medición se basa en el principio de presión diferencial. Hace unos 300 años un físico y matemático suizo llamado bernoulli descubrió la relación directa entre la presión y la velocidad de un fluido que circula a través de una tubería, el físico italiano Venturi también desarrollo experimentos con fluidos, en 1797 construyó el primer caudalímetro para tuberías cerradas ahora es conocido como tubo de Venturi.

Los caudalímetros por presión diferencial, tienen una reflexión artificial integrada al tubo de medición, un ejemplo de esta restricción es la placa orificio, en las paredes de la tubería hay dos orificios ubicado antes y después de la colisión dos tubos por separado conectan los orificios con el sensor de presión diferencial a través de dos cámaras separadas por un diafragma.

Con este tipo de caudalímetro es posible medir presiones diferenciales muy pequeñas cuando no circula la presión antes y después de la placa, es

básicamente la misma a medida que el tubo, cuando comienza a circular la velocidad en las cercanías de la placa, esta presión comienza a crecer significativamente debido a la reducción de área transversal, al mismo tiempo la presión estática en este punto comienza a disminuir, entonces se detectan distintos valores de presión en la cámara del sensor a una alta presión antes de la placa y una baja presión después de la placa, esta diferencia de presión es una medida directa de la velocidad del fluido y por lo tanto del caudal másico y volumétrico a través de la tubería.

Caudalímetros con efecto hall

El sensor de Flujo sirve para medir el flujo o cualquier fluido que pase a travez de el, este tipo de caudalímetro tiene un efecto hall el cual a travez el paso del gas o fluido gira creando un pulso eléctrico que manda una señal analógica la cual medira el volumen masico y volumetrico que pase a travez de el.



Figura 16. Sensor de flujo
Fuente: Alejandro (2014)

2.9. Motores de combustión interna

Un motor es un dispositivo que transforma la energía química de un combustible en energía térmica y utiliza esta energía térmica para producir trabajo mecánico.

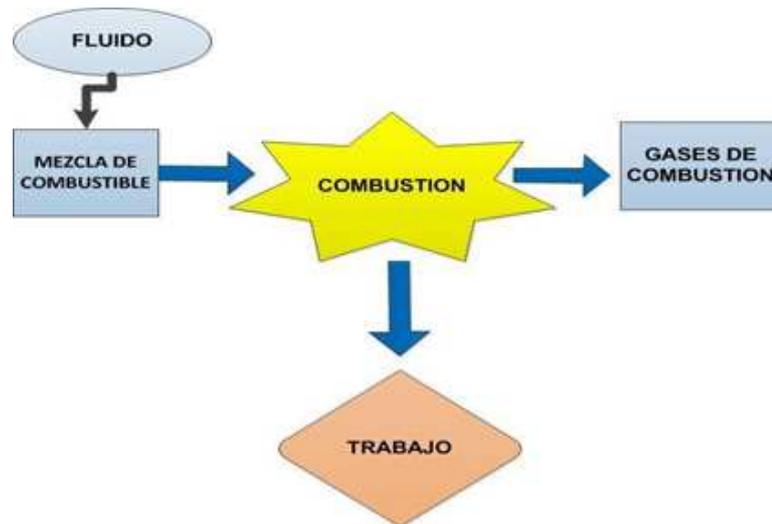


Figura 17. Funcionamiento de un MCI
 Fuente: Buñay Guacho (2019)

2.9.1. Funcionamiento de un motor de combustión interna

El pistón funciona en cuatro tiempos o periodos:

El primer tiempo se lo llama de admisión y es en ese proceso donde la válvula de admisión se abre mientras que el pistón desciende llenando el cilindro de gasolina y también de aire.

El segundo tiempo es la compresión, mientras este segundo tiempo la válvula de admisión se cierra y el pistón sube comprimiendo la mezcla de gasolina y aire, en este proceso el aire y combustible tiene menos espacio y procede a generarse una explosión, en este caso sería el tercer tiempo porque la válvula admisión y también la de escape están cerrada entonces se genera una combustión por esta mezcla y la chispa que es emitida la bujía, a causa de esta explosión el embolo es expulsado hacia abajo.

El cuarto periodo es el de expulsión en donde la válvula escape se abre y el pistón sube botando el humo al aire que es producido por la explosión y este ciclo sucede una y otra vez a gran velocidad.

2.9.2. Motores de combustión interna a gas

➤ Motores de gas

El motor de gas es un motor de combustión interna, que funciona con combustible de gas. Por lo general, se puede utilizar una amplia gama de gases con motores de gas, pero dependiendo de la composición del gas, puede producirse un retroceso del motor. Debido al creciente uso de tecnologías de gasificación, empresas como Clarck Energy producen turbinas de gas adecuadas específicamente para syngas. Empresas como General Electric (GE) siguen la misma tendencia y están trabajando en colaboración con empresas como Clarck Energy. Un ejemplo de un motor de syngas es el motor Lenbacker Type-2 de GE. Puede producir una salida eléctrica de hasta 330 Kilovatios-eléctrico (KW). (Sharma, 2015)



Figura 18. Motor funcional a syngas
Fuente: Sharma (2015)

➤ **Turbina de gas**

Una turbina de gas expande los gases calientes que se producen mediante la quema de combustible. En este caso el combustible es syngas. Estos gases también pueden trabajar con gas natural y pueden producir hasta 510 MW de electricidad. Un ejemplo de esta una turbina de gas es la turbina de clase E de GE.



Figura 19. Turbina de gas
Fuente: Sharma (2015)

Los motores de combustión interna (IC) son los más adecuados para las syngas que contienen una gran cantidad de alquitrán.

CAPÍTULO 3

3. Diseño y procedimiento

3.1. Proceso de gasificación/ Instrumentacion y obtención de datos

La razón principal en el acondicionamiento de este sistema de gasificación downdraft GEK de la Facultad Tecnica para el desarrollo es la obtención de un gas pobre con un bajo contenido de humedad y alquitranes la cual mediante la aplicación de sensores de temperatura y flujo se prevee monitoriar el estado de la gasificación de biomasa la cual nos servirá como combustible gaseoso alimentado a un motor de combustión interna el otto Lifan 5500 con el cual produciremos electricidad.

En primera instancia se procedio a desarmar cada una de las partes del el gasificador downdraf ubicado en la facultad técnica para el desarrollo de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, posteriormente se procedio a realizar uan limpieza total de todas las impurezas que quedaron en el proceso de gasificacion anterior.



Figura 20. Desarmado de partes del gasificador

Luego de esto con respecto a los resultados que se obtuvieron anteriormente en otros procesos de gasificación realizados por los estudiantes que implementaron este gasificador se realizo una evaluación en la cual se

vio la necesidad de modificar e implementar ciertas partes del gasificador para de esta forma mejorar su funcionamiento

Después del desmontaje del ciclon conectado al reactor se pudo constatar que había suciedad y residuos acumulados los cuales fueron retirados para luego rearmar las piezas.



Figura 21. Suciedad y residuos encontrados en empaque
Fuente: Autor

Después de revisar cada una de las partes desmanteladas se observó que el área del ciclon se encontraba muy sucia y que este debía ser mejorado para así poder reducir con más eficiencia las cenizas que entraban al radiador el cual cumplía la función de un intercambiador de calor en el cual la humedad que había en la biomasa aplicada venía en forma de vapor y esta condensación era atrapada y retirada previa a la entrada del filtro.



Figura 22. Suciedad acumulada en el ciclon

Como resultado de esta evaluación se procedió con la construcción de un nuevo ciclón con una mayor capacidad, para que así este cumpliera con más eficacia la función de centrifugar cenizas e impurezas hacia un recipiente y obtener la mayor cantidad de gas limpio que por lo consiguiente se dirigirá a el área de intercambiador de calor.

Este ciclón fue construido aplicando las bases en cálculo y geometría tal como vemos en la figura 23, donde se muestra el trazado para la construcción de la parte cónica del ciclón.



Figura 23. Trazado y corte para construcción de parte cónica del ciclón

Luego se procedió a armar el cuerpo del ciclón y de esta manera se procede a realizar la soldadura respectiva de cada una de las partes, en la figura 24 podemos observar el nuevo ciclón.



Figura 24. Soldadura y armado del ciclón

Con la finalidad de que este sistema sea rígido se construyeron las líneas de tubería que estarán conectadas desde el ciclón, pasando por un serpentín tipo u y terminando su ruta conectándose al tanque filtro previa la obtención del gas.



Figura 25. Construcción de líneas de 1" ½ para la conducción de los gases



Figura 26 . Nuevo ciclón armado y pintado

Con la verificación y modificación en esta parte del gasificador downdraf se evaluó que es necesario que exista una condensación donde se pueda eliminar la mayor cantidad de humedad posible para de esta manera poder obtener un gas seco el cual pueda hacer combustión el momento de hacer las pruebas de encendido de la llama.

La construcción del serpentín se la realizo con dos tubos de 3" en donde se conectarán 5 entradas con tubos de cañería de media pulgada como se puede apreciar en la figura.



Figura 27. Perforacion para conexiones de cañerías en intercambiador de calor

La finalidad de implementar al sistema este tipo de enfriador tipo u, es para que mediante el paso del gas por las tuberías, haya una caída de temperatura y por ende un aumento en su densidad y volumen masico de gas, de esta forma se quedara la mayor parte de condensación en este proceso y esto nos permitirá obtener una mayor eficiencia en la combustión de este gas y asi mismo una buena relación en la generación de energía en un motor de combustión interna ya que de no ser asi el vapor de agua afectaría al funcionamiento del mismo.



Figura 28. Fabricacion de serpentín tipo u para retencion de condensación

El serpentín o enfriador tipo u, se elaboro con este diseño para que así tenga un flujo ascendente para que la condensación se valla quedando mediante el paso por las tuberías y se almacene en los dos tubos de 3", el que se encuentra a la entrada y a la salida, estos tienen una salida con cañería de $\frac{1}{4}$ para así de esta forma eliminar la condensación almacenada, esto como lo mencionamos anteriormente, permitirá que el gas que circule a través del tanque con el material filtrante sea más limpio y con menos cantidad de alquitran y de esta forma se lograra la obtención de un gas seco y limpio.

Cabe recalcar que se hizo pruebas directas, donde no se aplico el sistema de enfriamiento para gas y esto nos dio como resultado menos restricciones del flujo del gas, pero todo el vapor de agua que se encuentra en la biomasa salía de forma directa y esto llevo a que el material filtrante se mojara rápidamente y en la salida del quemador no se pudo encender la llama por el algo grado de vapor que emergía del proceso.

Previo al montaje de las partes construidas se realizo un mantenimiento para la corrosión de los accesorios, utilizando una pintura resistente al calor y la corrosión para que con el tiempo no se vean afectadas por el oxido, de esta manera el equipo tendra una presentación agradable a la vista.



Figura 29. Partes nuevas del equipo ubicadas e instaladas

El gasificador GEK TOTT es un gasificador de flujo descendente el cual esta diseñado para alimentar motores para la producción de electricidad. El

fabricante del sistema GEK TOTTI es ofrece a travez de este sistema una mejor combustión y una mayor temperatura para la conversión de alquitrán en gases combustibles, así como una mayor eficiencia del gasificador.(Buñay Guacho, 2019)

En la siguiente tabla veremos las especificaciones del gasificador downdraft de la facultad técnica.

Tabla 5. Especificaciones del gasificador

Fuente: ALL power labs (2012)

Rango de capacidad eléctrica (KW)	2 a 4
Rango de flujo de gas (m ² /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

Este gasificador esta diseñado por la empresa all power labs la cual tiene requerimientos con respecto a la materia prima en el cual se pide que se utilice en el proceso de gasificación.

En la siguiente tabla se muestra los requerimientos con respecto a la biomasa que se desea gasificar.

Tabla 6. Requerimientos de la biomasa

Fuente: ALL power labs (2012)

Tamaño de particula (in)	0.5 – 1.5
Contenido de Humedad (% por peso seco)	< 25
Relación fija volatil	> 0.25
Contenido de cenizas (%)	> 5

El gasificador downdraft esta acondicionado para trabajar con la biomasa que en este caso será la tusa o zuro de maíz la cual según los analisis tiene un buen poder calorifico siempre y cuando cumpla con una humedad igual o menor al 15%.

En la figura que se presenta a continuación se verá cada parte del gasificador según el fabricante.



Figura 30. Elementos del Gasificador GEK TOTTI
Fuente: ALL power labs (2012)

Para comenzar el proceso de gasificación de la biomasa, siempre se debe revisar el equipo y de esta manera asegurarse de que se encuentre limpio, sin cenizas, sin condensación y alquitranes en la zona de filtrado del gas.

Se debe tener en cuenta, que la biomasa debe cumplir con un requerimiento muy importante, ya que de esta forma se llevará un proceso el cual pueda cumplir con eficacia la gasificación de la biomasa que se este utilizando, la biomasa debe estar cortada en trozos pequeños no mas de 5 cm de largo y 3 de ancho, en nuestro caso seguirá estas especificaciones porque la biomasa utilizada sera la tuza de maíz.

Una vez la biomasa este en el reactor se la enciende de forma natural y se tapa el tanque, posterior a esto se enciende el compresor el cual esta conectado al Venturi el cual ejercera a través de la presión de aire que se introduzca un efecto el cual absorbera el gas emitido por la biomasa en el reactor, en ese momento empieza la combustión de la biomasa y todo el gas

saldrá expulsado al quemador donde se realizaran las pruebas para saber si estamos gasificado o no.

Se instalaron sensores de temperatura, en este caso termopares o también llamados termocuplas las cuales serán tipo k, estas termocuplas se ubicaron en las distintas etapas del gasificador desde la zona de secado hasta la salida del filtro y de esta forma se obtuvieron los datos de temperatura los cuales son necesarios para llevar un control del proceso de gasificación.



Figura 31. Termocupla tipo k
Fuente: www.electropro.com

También se instalaron sensores de flujo o caudal que es donde verificaremos las entradas de aire y salida del flujo de gas producido a través del proceso de gasificación, de esta forma se realizara la estequiometria de los gases que no es mas que la mezcla aire/gas necesario para la alimentacion en un motor de combustión interna.



Figura 32. Sensor de flujo

Todo este proceso se llevo a cabo en la facultad técnica que es donde se encuentra ubicado el gasificador downdraft. En este gasificador ya se

encontraba ubicado un motor de combustion interna de ciclo OTTO marca Liffan 5500 W, el cual fue utilizado para efectos de prueba con las nuevas modificaciones y sensores implementados.

3.2. Puesta en marcha del gasificador downdraft

El gasificador previamente ya había sido utilizado, entonces en base a esa información y habiendo implementado las mejoras que constituyen al sistema de remoción de partículas, enfriamiento de gas, sensores de flujo de gas y temperatura se llevo a cabo el proceso en dos fases:

- Prueba de gasificación de biomasa y encendido de gas producido en la salida de quemador tipo torbellino.

- Puesta en marcha de generador alimentado con gas de síntesis obtenido de la gasificación de la biomasa

El gasificador downdraft de la facultad técnica esta diseñado bajo las normas del fabricante All power labs, tiene como finalidad generar gas de síntesis y así mismo su diseño nos permite operarla de dos maneras: modo flame o modo motor.

Para la gasificación de biomasa es muy importante que la biomasa que se este utilizando en este caso zuro de maíz, contenga la menor cantidad de humedad posible ya que para que este sistema funcione, su nivel de humedad debe cumplir con al menos un máximo de 15%.



Figura 33. Medicion de humedad en la biomasa

Algo que se debe tomar mucho en cuenta es que la biomasa que se introduzca en el reactor esté cortada en pedazos pequeños para que cuando se accione el tornillo sinfín que alimenta de biomasa a el reactor no haya estancamientos, funcione con normalidad y también para que la gasificación se realice de manera eficiente.



Figura 34. Biomasa cortada en trozos

Una vez que todos los parámetros con respecto a la biomasa fueron revisados, se procede a encender la biomasa que se encuentra dentro del reactor, en este caso se utilizo diesel para generar la llama.

A continuación, con la ayuda de un compresor de aire, se inyectoro aire a precion a través del Venturi y de esta forma comenzó a crear la fuerza de arrastre y por lo consiguiente el proceso de gasificación.

En la figura 35 podemos observar que a través del quemador esta siendo expulsado un humo color blanco.



Figura 35. Salida de gas en area de quemador

Las termocuplas que se instalaron en cada punto donde se desea observar las temperaturas se conectaron a un panel en la cual están ubicados 7 controladores de temperatura.



Figura 36. Termocupla en salida de intercambiador



Figura 37. Panel de control de temperatura

Mediante el tiempo transcurre se puede apreciar que las termocuplas cumplen la función deseada, la cual es medir en cada etapa de la gasificación los cambios de temperatura que se van dando.



Figura 38. Muestreo de datos de temperatura

Tal como se muestra en la figura las temperaturas en el proceso de gasificación, hubo un punto donde la temperatura ascendió hasta un máximo de 1000° C aproximadamente, según los estudios sabemos que a partir de que alcanzamos una temperatura de 600°C en adelante estamos gasificando, es decir obteniendo un gas syntec o gas podre es cual podemos utilizar como combustible para uso domestico como calentadores de agua, para cocinar o también para uso en la generación de energía como combustible en motores de combustión interna.

Mediante el gas pasa por el sistema, en la etapa donde se diseño, contruyo e instalo un serpentín tipo U el cual cumple con la función de generar una caída de temperatura mediante el paso del gas por las tuberías dando como resultado una eficiente reducción aproximada de 22° C, el cual mejoro con respecto al radiador que se encontraba ubicado anteriormente, de esta manera se gana mas densidad de gas concentrado el cual es necesario para operar en motores de combustión interna.



Figura 39. Intercambiador de calor

Con la reducción de temperatura también se logro algo que es de mucha importancia en la gasificación, sabemos que la biomasa contiene humedad y esta debe ser retenida antes de salir al quemador o a la entrada de alimentación a un MCI.

Se genero condensación de vapor y esta se deposito en los tubos de 3" donde se unen las cañerías del intercambiador de calor, posteriormente esta condensación fue eliminada a través de un desfogue el cual esta conectado a un deposito donde caerá la consensacion localizada con un alto porcentaje de alquitranes, este intercambiador además de reducir la temperatura del gas sirve como primer filtro previa a la entrada del tanque filtro que es donde se limpiara el gas y obtendremos un gas limpio y seco.



Figura 40. Retencion y depósito de condensacion con alquitranes

Al realizar el mantenimiento del equipo se noto que en el área del tanque filtro se encontraba lleno de humedad y con el material filtrante desgastado, así que se procedió a realizar una limpieza total del filtro y ubicar el nuevo material filtrante el cual nos servirá para la retencion de humedad y alquitranes los cuales no son deseados ya que si se desea accionar un MCI esto podría reducir su vida útil.



Figura 41. Estado de material filtrante

Es necesario que en cada proceso de gasificación se realice un mantenimiento del material filtrante ya que según la biomasa utilizada se deteriorara por la cantidad de humedad y alquitranes que el filtro retiene.

El material filtrante que se usa es fácil de conseguir y económico, esto no genera gastos que sean de consideración, ya que el material filtrante utilizado solo es aserrín de madera y lana de vidrio, los cuales cumplen con eficacia su función.



Figura 42. Cambio de material filtrante

Un dato muy importante es que si queremos tener un flujo de gas constante es necesario una alimentación constante de biomasa en el gasificador, por eso este sistema tiene una tolva en la cual se puede almacenar una gran cantidad de biomasa y esta se va depositando en el reactor de manera automática mediante un tornillo sinfín que se accionara cuando el nivel de biomasa se valla gasificando y reduciendo a cenizas.

Una vez veamos que hemos alcanzado la temperatura deseada para la gasificación se procedió hacer la prueba en el quemador y esta encendio al instante, mostrándose una llama color azul, y así podemos demostrar que hemos obtenido un gas que se encuentra en buenas condiciones de secado, pero, no obstante, es necesario realizar análisis cromatologicos del gas obtenido para asi llevar un control mas eficiente en la gasificación de tusa de maíz.



Figura 43. Llama en quemado encendida

Para la medición del flujo de gas se utilizo sensores de caudal el cual tiene rotor interno tipo Hall, este caudalímetro muestra una señal digital, para lo cual se armo un circuito utilizando Arduino 1 conectado a un display para el muestreo de datos, este circuito llevara una programación donde se pondrán las variables que deseamos medir, en este caso será el flujo en rpm de gas y oxigeno que esta fluyendo y el volumen en litros / hora de gas.



Figura 44. Circuito para medicion de flujo de gas y oxigeno

Una vez habiendo hecho la prueba de gasificación en la salida del quemador procedemos a realizar el cambio de las salidas de gas del sistema, en esta etapa se procedió a bajar el flujo de aire inyectado en el Venturi y se procede a encender el generador.

Al inicio el generador se lo encendio para que funcione normalmente con gasolina, el grupo electrogeno tiene una conexión la cual se acopla mediante una manguera que va directamente al filtro de admisión del motor.



Figura 45. Conexión de manguera al filtro de admisión

Para aplicar el gas emitido por la gasificación al motor se lo conecta de forma directa y el motor por aspiración natural comienza a extraer el gas de síntesis, para que el motor funcione de manera eficiente es necesaria una estequiometría de gases que no es más que la mezcla gas/aire correcto que sirve para la combustión en un MCI.

Una vez ubicados los sensores de caudal en esos se mide cual es la cantidad exacta en la entrada de oxígeno y salida de gas de síntesis, esto es regulado a través del juego de válvulas, ya que esta combinación es necesaria para que el MCI funcione de manera correcta.



Figura 46. Medicion de flujo de gas y velocidad en rpm



Figura 47. Kit de gasificacion de biomasa

El motor funciona de manera regular utilizando gasolina, una vez hechas las conexiones se procede a calibrar la mezcla de aire y se va cerrando de a poco la llave de paso de combustible a gasolina para que comience a funcionar con la entrada de gas de síntesis. En el momento de hacer el cambio de combustible se puede notar una gran diferencia en el funcionamiento del motor, ya que se genera una inestabilidad y un notorio cambio del sonido porque si no se realiza bien la mezcla el motor sufre una perdida en su eficiencia.

Se logro calibrar la mezcla gas/aire y el motor se estabilizo funcionando de manera regular, pero aun con ligero cambio en la estabilidad comparada al ser alimentada con gasolina.

Se debe tener en cuenta que según la temperatura en el gasificador va a depender mucho el funcionamiento del generador, ya que se debe mantener una temperatura promedio de 600° C para que este funcione de manera correcta, de no ser así el motor sufrirá una inestabilidad hasta el punto de apagarse.

3.3. Resultados

El equipo cuenta con dos lecturas diferentes de temperatura, una ubicada en la parte superior del reactor y la segunda en la parte inferior.

- La temperatura de la parte superior de reducción de campana mide la temperatura de la zona combustión en 3/8", dentro de la restricción de la campana de la reducción.
- La temperatura de la parte inferior de la reducción de campana mide la temperatura de la zona de reducción a 1", dentro de la abertura inferior de la campana Reducción.

Después de haber realizado las pruebas de funcionamiento del gasificador con los sensores de temperatura, podemos decir que se llevó un control más detallado de los valores de temperatura en tiempo real, según esto se pudo notar que desde que inicia el proceso hasta obtener el gas de síntesis transcurrieron aproximadamente 40 min.

Tabla 7. Temperaturas en área de gasificación

Tiempo	Secado T1	Zona de combustión T2	Zona de reducción T3
10 min	31	120	89
20 min	38	467	137
30 min	50	589	213
40 min	64	789	512
50 min	78	923	602

Elaborado por: Walter Hormaza

- T1 = Temperatura zona de secado.
- T2 = Temperatura zona de combustion
- T3 = Temperatura zona de reducci3n.



Figura 48. Medicion de temperatura en zona de reduccion superior de campana (combustion), zona inferior (reduccion) y secado en 40 min

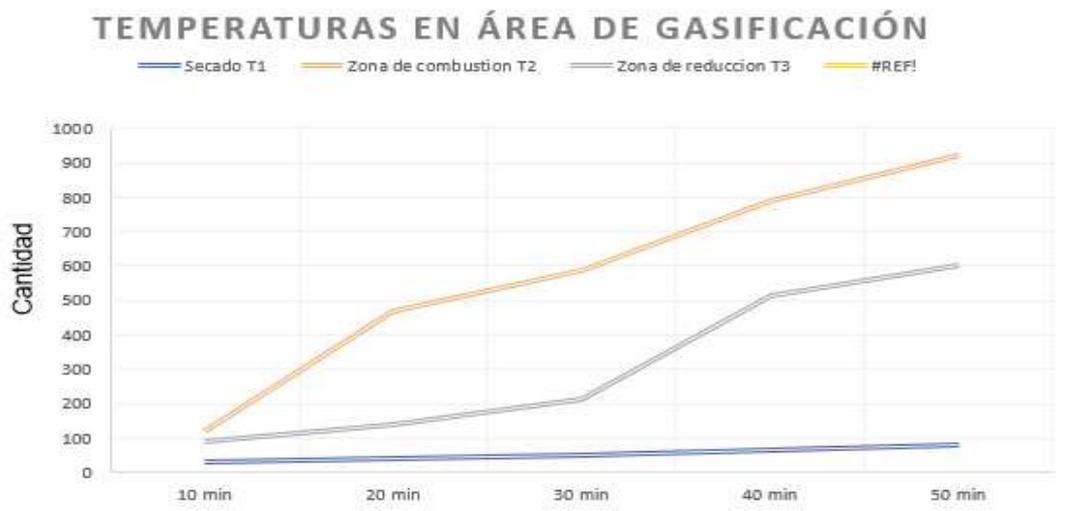


Figura 49. Temperatura en gasificaci3n

En siguiente tabla se detallar3n las temperaturas obtenidas desde la salida del gasificador, pasando por el cicl3n, intercambiador de calor y tanque filtro, de esta manera se puede observar que hay una gran reducci3n de temperatura desde la entrada del intercambiador a la salida del mismo, obteniendo valores de reducci3n de temperatura de aproximados a los 22° C lo cual es bastante bueno ya que al alimentar la salida del gas a la entrada del generador, este funcionara de manera correcta porque se logr3 tener la temperatura deseada para la alimentaci3n de gas al motor que var3a entre un 28° C a 35° C.

Tabla 8. Temperaturas en etapa de enfriamiento de gases

Tiempo	Entrada de ciclón T4	Entrada de intercambiador T5	Salida de intercambiador T6	Salida de gas T7
10 min	31	27	26	24
20 min	56	42	30	26
30 min	67	54	32	26
40 min	88	57	36	28
50 min	98	59	34	31

Elaborado por: Walter Hormaza

T4: Temperatura entrada a ciclón.

T5: Temperatura entrada intercambiador.

T6: Temperatura salida de intercambiador.

T7: Temperatura salida de gas.

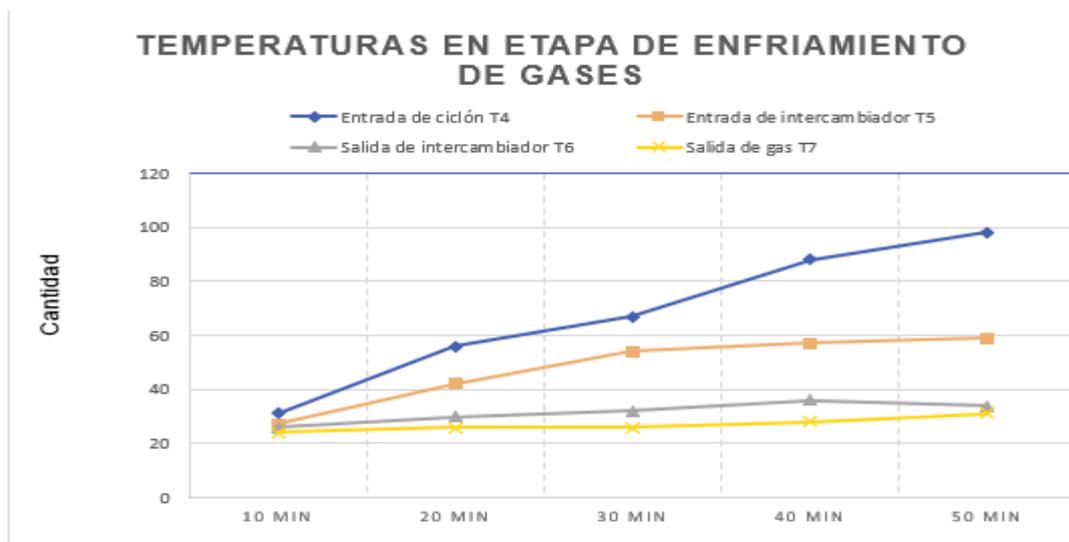


Figura 50. Temperatura en etapa de enfriamiento

Cantidad de biomasa utilizada para la gasificación

Se comprobó que la biomasa que entra en la zona del reactor es aproximadamente 10 Libras y esta se consumía en 12 min entonces tenemos que:

$$\frac{10 \text{ libras} \times 60 \text{ min}}{12 \text{ min}} = 50 \text{ Libras} / 2.2 \text{ Kg} = 22.72 \text{ Kg/h}$$



Figura 51. Medicion de peso de biomasa

Tenemos que para generar energía en 1 hora de trabajo debemos utilizar 22.72 kg/h de biomasa.

Hipótesis planteada:

La instrumentación a través de sensores de temperatura y caudal de gas permiten obtener datos numéricos en grados centígrados, rpm y flujo volumétrico en litros representados en controladores y displays ubicados en un panel de control con los cuales se realiza la estequiometria de gases para la alimentación de motores de combustión interna, tenemos:

Variable dependiente: Estequiometria de gases

Variable independiente: Instrumentación

Habiendo aplicado la metodología de observación y cualitativa, se observó mediante los datos obtenidos, que la medición en tiempo real de las temperaturas y flujo de gas nos lleva a un manejo y calibración eficaz en la alimentación de gas combustible para la generación de energía con un grupo electrógeno OTTO.

CONCLUSIONES

El gasificador downdraft es un sistema que a través de un proceso termoquímico nos permite obtener un gas combustible con la utilización de biomasa, todo esto cumpliendo con algunas fases tales como secado, enfriamiento de gases, eliminación de humedad y limpieza del gas, para así de esta forma obtener un gas que cumpla las condiciones para el uso en motores de combustión interna.

La inspección y mantenimiento preventivo del gasificador permitió evaluar y verificar el funcionamiento del mismo en donde se localizaron fallas las cuales fueron corregidas para así poder mejorar el proceso en la obtención de un gas combustible, uno de ellos fue el ciclón el cual permitió que haya una mejoría en la retención de partículas a través de la fuerza centrífuga que este ejerce, en la cual se confirmó que ya no existen estancamientos por la suciedad y alquitranes adheridas a las paredes del ciclón, de esta manera funcionara de una manera más eficiente y se obtendrán mejores resultados.

Es muy importante obtener un gas que cumpla con los requerimientos básicos para ser utilizado en motores de combustión interna, uno de ellos es la obtención de un gas limpio y seco, anteriormente se había utilizado un radiador el cual ayudaba a retener parte de la condensación emitida por la humedad que tiene la biomasa, por ello la construcción de un intercambiador de calor tipo U con mejores dimensiones el cual tiene menos restricciones de paso de gas, permitió llegar a dos objetivos muy importantes los cuales son la reducción de la temperatura en un aproximado de 22° C lo cual fue muy bueno para la temperatura final deseada y de esta forma se logró reducir y eliminar la mayor cantidad de condensación del vapor y alquitranes no deseados.

La implementación de un sistema de instrumentación con sensores de temperatura que estuvieron conectados a un panel de control con controladores PID de temperatura permitió obtener datos en tiempo real de las variaciones de temperatura en cada etapa de la gasificación, de esta forma se llevó un

proceso ordenado y mejoro considerablemente el funcionamiento del gasificador.

Para la utilización del gas de síntesis en un motor de combustión interna se debía realizar una estequiometria de gases la cual ayudara con el buen funcionamiento del motor, por ello se utilizo sensores de flujo tipo HALL los cuales midieron el caudad volumetrico y el caudal de oxigeno con el cual se realizo la mezcla gas/aire, finalmente con la obtención de estos valores se realizo la mezcla de forma manual con el juego de válvulas ubicadas en el gasificador.

Habiendo obtenido los datos pertinentes y haciendo la evaluación de ellos podemos concluir que se lograron cada uno de los objetivos propuestos, de esta manera dar arranque y llevar un control en la calibración para regular el funcionamiento del grupo electrogeno Otto para la microgeneracion de energía.

RECOMENDACIONES

Acondicionar el área donde se encuentra el gasificador, instalando una infraestructura que pueda cubrir y dar seguridad a los equipos que se encuentran instalados, mejorando el área, para así tener mayor movilidad y trabajar en futuras investigaciones como pruebas académicas para los estudiantes.

Considerar para futuras investigaciones la utilización de un grupo electrógeno el cual se maneje a una velocidad nominal de 1500 rpm, esto ayudará a comprobar en la practica si se obendran mejores resultados utilizando motores con el mismo voltaje de salida, pero con diferente velocidad nominal.

Considerar la instalación de nuevos tipos de sensores de flujo y temperatura que sean de mejor calidad y que estos estén conectados a un panel el cual se ubique en el lugar de forma permanente para así llevar el proceso de gasificación de forma automatizada.

Realizar análisis del gas producido para asi determinar la composición química del gas según el tipo de biomasa que se este utilizando, de esta forma se obtendrá mejores resultados al momento de utilizarlo en MCI.

Realizar estudios para la utilización de otros tipos de biomasa y de esta manera realizar las comparaciones necesarias para saber que biomasa utilizando este equipo de gasificación obtiene mejores resultados.

Promover la construcción o compra de nuevo equipos de gasificación para el estudio de la generación de energía limpia obtenida por biomasa.

Bibliografía

- Alejandro. (2014, mayo 20). Sensor de Flujo YF-S201 para agua con Arduino—HETPRO/TUTORIALES. Recuperado 29 de agosto de 2019, de <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/sensor-de-flujo/>
- ALL power labs. (2012). *Introducing the GEK Gasifier Systems*. Recuperado de http://wiki.gekgasifier.com/w/file/fetch/58755403/Introducing%20the%20GEK%20Gasifier%20Systems_rev3.pdf
- Ametherm. (2015, diciembre 16). Types of Temperature Sensor. Recuperado 29 de agosto de 2019, de Ametherm website: <https://www.ametherm.com/blog/thermistors/temperature-sensor-types>
- Antonio, C. (2010). *Instrumentación Industrial*. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=RnMBQ-E6JK4C&printsec=frontcover&dq=sensores+de+temperatura+en+instrumentacion&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjhiueFjs_jAhUBtlkKHbAUAY0Q6AEIKDAA#v=onepage&q=sensores%20de%20temperatura%20en%20instrumentacion&f=false
- Arbeláez, J. I. M., Janna, F. C., Gutiérrez, C. A. G., Rentería, C. F. V., Velasco, J. O., Blanco, L. A., ... Safra, N. M. (2013). *Pirólisis rápida de biomasa*. Universidad Nacional de Colombia.
- Arroyo, C., & Guillermo, C. (2011). *Piloto de gasificador downdraft operado con biomasa*. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/11591>
- Ashok, P., Thallada, B., Michael, S., & Rajeev, S. (2015). *Recent Advances in Thermochemical Conversion of Biomass*. Recuperado de https://www.iberlibro.com/servlet/BookDetailsPL?bi=22765689089&searchurl=isbn%3D9780444632890%26sortby%3D17%26x%3D71%26y%3D9&cm_sp=snippet-_-srp1-_-title1
- Biomass. (s. f.). Recuperado 29 de agosto de 2019, de <http://lsa.colorado.edu/essence/texts/biomass.html>
- Buñay Guacho, S. (2019). *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*. Recuperado de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/12702>

- CIE. (2018). Energía Biomasa [Blog]. Recuperado 28 de agosto de 2019, de Bioenergía website: <http://energia.org.ec/cie/energia-biomasa/>
- Eugenio, M. C., & Mario, G. R. (2013). *INGENIERÍA QUÍMICA*. Recuperado de <https://edoc.pub/ingenieria-quimicapdf-3-pdf-free.html>
- Frewin, C. (2018). Renewable Energy | Student Energy. Recuperado 30 de agosto de 2019, de <https://www.studentenergy.org/topics/renewable-energy>
- Gamoher. (2016). Ciclones. Recuperado 29 de agosto de 2019, de GAMOHER website: <http://www.gamoher.com/index.php/ciclones/>
- IDAE, & Besel. (2007). *Biomasa*. Madrid: IDAE.
- ISA. (2017). Biomass. Recuperado 9 de septiembre de 2019, de <http://isa.colorado.edu/essence/texts/biomass.html>
- Iturralde, I. S. (2017). *FUNDAMENTOS BASICOS DE INSTRUMENTACION Y CONTROL*. 137.
- Marino, I. (2018, junio 24). Intercambiadores de Calor. Recuperado 29 de agosto de 2019, de Ingeniero Marino website: <https://ingenieromarino.com/intercambiadores-de-calor/>
- Martillo Aseffe, J. A., Lesme Jaén, R., Martínez González, A., Oliva Ruiz, L. O., Orozco Cantos, L. S., Martillo Aseffe, J. A., ... Orozco Cantos, L. S. (2019). Estudios paramétricos de la gasificación de la tusa de maíz en gasificadores downdraft. *Tecnología Química*, 39(2), 455-470. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-61852019000200455&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Pyromation. (2016). Thermocouple, RTD & Thermowell Temperature Sensor Manufacturer. Recuperado 29 de agosto de 2019, de <https://www.pyromation.com/>
- Roldan Vilorio, J. (2013). *ENERGIAS RENOVABLES: LO QUE HAY QUE SABER*. Recuperado de <https://www.casadellibro.com/libro-energias-renovables-lo-que-hay-que-saber/9788428329682/2244629>
- Sandoval, J. D. F. (2013). Tusa del maíz: Una fuente de energía renovable. *Universitas Científica*, 16(2), 62-65. Recuperado de <https://revistas.upb.edu.co/index.php/universitas/article/view/2202>

- Sebastian Nogués, F., Abrego Garrués, J., Reseau, A., & García-Galindo, D. (2010). *Energía de la biomasa. (Volumen I)*. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Sharma, T. (2015). *Gasification and combustion of corn kernels in a pilot scale system*. 74.
- Temperature Measurement. (2011, agosto 18). Recuperado 29 de agosto de 2019, de Instrumentation-Electronics website: <http://www.instrumentationtoday.com/temperature-sensors/2011/08/>
- Universidad de burgos. (2018, octubre 26). *Energia de la biomasa- poder Calorífico*. Recuperado de <https://www.ubu.es/departamento-de.fisica>
- Ventajas y desventajas de la energía biomasa. (2019). Recuperado 28 de agosto de 2019, de <https://ventajasde.online/ventajas-y-desventajas-de-la-energia-biomasa/>

ANEXOS

ANEXO 1. Presupuesto del Proyecto

Tabla 9. Alquiler y construccion

Cantidad	Descripción	Costo unitario	Total (dólares)
1	Compresor de 2 hp	Alquiler diario: \$10.00	\$60.00
	Alquiler de herramientas basicas	Alquiler diario: 10	\$60.00
1	Construccion de ciclon	\$100.00	\$100.00
1	Contruccion de intercambiador de calor	\$200.00	\$200.00
	Construcción de líneas de tuberías de 1" 1/2	\$50.00	\$50.00
Subtotal			\$ 470.00

Tabla 10. Materiales utilizados

Cantidad	Descripción	Costo unitario	Total (dólares)
6	Termocuplas tipo k	\$15.00	\$90.00
2	Medidor de flujo caudal	\$30.00	\$60.00
1	Arduino 1	\$20.00	\$20.00
	Elementos para armado de circuito	\$15.00	\$15.00
1	display	\$20.00	\$20.00
1	Gallon de pintura para alta temperatura	\$90.00	\$90.00
4	Universal de hierro 1" 1/2	\$20.00	\$80.00
Subtotal			\$ 275.00

Tabla 11. Asesoramiento

Posicion	Total
Ingenieria	\$ 250.00
Subtotal	\$ 250.00

Tabla 12. Gastos varios

Descripcion	Total
Transporte	\$ 100.00
Viáticos	\$ 80.00
Otros gastos	\$ 50.00
Suministros de apuntes	\$ 10.00
Subtotal	\$ 240.00

Tabla 13. Costos totales del proyecto

Costos totales del proyecto	Valor
Alquiler y construccion	\$ 470.00
Materiales utilizados	\$ 275.00
Asesoramiento	\$ 250.00
Gastos varios	\$ 240.00
COSTO TOTAL	\$ 1235,00

ANEXO 2: Especificaciones y costos de gasificador Downdraft

MODELO PP20 POWER PALLETS



PP20 - Basic Configuration

Rendimiento	
Clasificación de potencia continua:	15 kW-50 Hz/18 kW-60 Hz
Nivel de sonido a 30 pies:	85 dB(A)
Consumo de biomasa:	1,2 kg/kWh, 2,5 lbs/kWh
Tiempo de funcionamiento por llenado de hopper: densidad de combustible aproximada de 250 kg/m ³	<ul style="list-style-type: none"> • 5 kW: 10 hrs • kW: 5 horas • 15 kW: 3 hrs
máximo. Funcionamiento continuo:	>12 horas
Hora de inicio:	10-20 min

Condiciones de funcionamiento	
Temperatura ambiente:	5-40C/40-100F
Humedad:	5-95% RH
Huella instalada: sin recipiente de ceniza o rejilla	<ul style="list-style-type: none"> • 1,36 x 1,36 m • 53.5 x 53.5 pulgadas
Requisitos del sitio:	Bien ventilado protegido de la lluvia y el sol directo

Biomasa de materias primas	
Tamaño	12-40 mm/0.5-1.5 in.
Contenido de humedad:	5-30% de base seca
Aprobado y probado w/ procedimientos de funcionamiento normales	<ul style="list-style-type: none"> • Cáscaras de tuerca (por ejemplo, nogal, avellana) • Chips de madera blanda (por ejemplo, abeto, pino) • Chips de madera dura (por ejemplo, roble, ceniza)
Aprobado y probado w/ aumento del esfuerzo operativo	<ul style="list-style-type: none"> • Mazorcas de maíz • Conchas de coco • Conchas de núcleo de palma
No aprobado garantía peligrosa y anulada	<ul style="list-style-type: none"> • Carbón • Neumáticos • Plástico • Residuos Sólidos Municipales

Envío	
Dimensiones: PP20 – Crated Hopper - Crated	<ul style="list-style-type: none"> • 145 x 145 x 140 cm/57 x 57 x 54 in. • 83 x 83 x 114 cm/33 x 33 x 45 in
Peso: PP20 - Crated Hopper - Crated	<ul style="list-style-type: none"> • 700 kg/1550 lbs. • 91 kg/200 lbs

Comparación de los costos de combustible (varía según la región)	
Combustible	RANGO DE PRECIOS
Diesel/LPG	<ul style="list-style-type: none"> • 0.40 - \$0.75/kWh
Gasolina	<ul style="list-style-type: none"> • 0.50 - \$1.00/kWh
Biomasa Gasificada	<ul style="list-style-type: none"> • 0.00 - \$0.20/kWh

Gasificador	
Tipo:	APL v5 Patentado Corriente descendente térmicamente integrada
Materiales:	<ul style="list-style-type: none"> • 304 SS/310 SS/ • 321 SS/acero suave
Hogar:	Cerámica recubierta
Eliminación de ceniza:	Automatizado Buque por lotes de 12 horas
Alimentación de combustible:	Automatizado
Capacidad de la tolva:	0.33 m3 /88 galones
Relleno de tolva:	Lote - recarga durante el funcionamiento
Ciclo de mantenimiento mínimo:	12 horas
Sistema de control:	Automatización integrada

Motor	
Tipo	GM Vortec
Desplazamiento:	3.0 litro
Relación de compresión:	10.25:1
Rpm:	1500-50 Hz 1800-60 Hz
Configuración de la válvula:	Overhead, Pushrod
Bloque del motor/Cyl. Cabeza:	Hierro fundido con exh. insertos de válvulas
Ignición:	Distribuidor de Solidstate
Tiempo de chispa:	Fijo
Capacidad de aceite lubricante:	5 cuartos - incluyendo filtro
Capacidad del refrigerante:	11.4 L, 12 qts - incl. radiador
Apagado automático:	Baja presión de aceite Alta temperatura del refrigerante
Arrancador:	Engranaje de reducción PG-260L
Sistema de carga:	Delco-Remy 7-SI (70 A)
Voltaje del sistema:	12 V CC
Batería recomendada:	75Ah, 880 CCA Marine
Huella de la batería:	250 x 300 mm/10 x 12 in.
Control de velocidad:	Gobernador Electrónico Woodward Serie L
Sensor de oxígeno:	Bosch Wide Band

Generador	
Tipo:	Mecc Alte NPE32-E/4 12 cable
Avr:	Mecc Alte DSR
Voltajes disponibles:	190-277, 380-480 V AC
Topologías disponibles:	Serie Delta/Star, Delta Paralelo
Distorsión armónica total:	<5%
Inicio del grupo de genitales:	Entrega manual
Carga máxima de pasos:	50% de la potencia nominal

El nuevo kit GEK Gasifier es un sistema completo de producción de gas: desde la alimentación de combustible hasta el filtro, todo controlado por nuestro sistema de automatización y mezcla completo de Power Pallet. O considerado desde la otra dirección, el nuevo kit GEK Gasifier es el Power Pallet completo menos el motor, el genhead, el regulador del motor y varios accesorios relacionados con el motor. El nuevo kit viene completamente ensamblado, deslizado y comisionado, no como partes en bruto para que puedas armar un rompecabezas.

Fijación de precios:

El PP20 Power Pallet cuesta entre \$ 28- \$ 40,000, dependiendo de las características y los mercados específicos.

PP20Motor GM: \$ **24.995**, más envío y opciones (por ejemplo, instalación, entrenamiento) etc.

PLATAFORMA ELÉCTRICA PP20 rejilla-Tie, Motor GM- **\$34.990**, más envío; precio incluye Instalación y entrenamiento in situ.

Apoyo

Todos los laboratorios Power proporcionan un amplio apoyo al cliente antes y después de una venta, en línea y en persona, para ayudarte a poner en marcha tu proyecto. Esto incluye:

- La documentación del producto de la PLATAFORMA ELÉCTRICA
- Consultoría preventiva enLas ventas en allpowerlabs.com
- Puesta en servicio y entrenamiento in situ por una tarifa nominal

Pesos y dimensiones

Los patines se construyen en el factor de forma común de 48 " x 48 " , para permitir el envío a través de los servicios típicos de transporte de paletas. Una vez embalados, los pesos y dimensiones de envío son:

Caja 1 de 2 (unidad principal):

Peso: 1527/693 kg

Dimensiones: 57" x57" x 54"

Clase de carga: 70

B Horario: 8502,20

HTS/TARRIFF códigos: 8502.20.0070

Caja 2 de 2 (tolva):

Peso: 200 lbs/91 kgs

Dimensiones: 33" L x 33" H x 45" H

Clase de carga: 85

HTS/TARRIFF códigos: 7326.90.8588

Los cargos de flete en el extranjero suelen estar en el rango de **\$1800-2500**, pero investigan detalles.

CONDICIONES GENERALES DE LA SIMULACIÓN DE CRÉDITO			
Segmento Crédito	Microcrédito	Subsegmento de Crédito	Microcrédito De Acumulación Ampliada
Sistema de Amortización	Francesa		
Producto	Activo Fijo (Otros Hasta 180 meses)		
DATOS DE FINANCIAMIENTO			
Monto Capital Solicitado	\$38,000.00 dólares	Monto de crédito solicitado por el cliente	
Monto de Capital a Desembolsar	\$38,000.00 dólares	Monto de crédito a ser desembolsado	
Plazo	60 meses	Plazo solicitado del préstamo	
Periodicidad de Pago	Mensual		
Tasa de Interés Nominal	13%	Es la tasa básica que se nombra o declara en la operación; es decir, tipo de interés que se causa sobre el valor nominal de una transacción financiera.	
Tasa de Interés Efectiva	13.8%	Es la tasa de interés que se obtiene como resultado del período de capitalización (mensual, trimestral o semestral) que se calcula para el pago de la cuota a lo largo del plazo de vigencia del préstamo.	
Valor de Cuota	\$864.62	Es el valor a cancelar de acuerdo a la periodicidad de capital e intereses.	
Número de Cuotas	60	Número de cuotas a cancelar en el transcurso del crédito.	
Suma de Cuotas	\$51,877.01	Es el valor total del capital e intereses por la vigencia por la vigencia del crédito.	
Carga Financiera	\$13,877.01	Es el valor correspondiente a los intereses generados en el transcurso del crédito.	
Relación Valor Total/Monto Solicitado de Capital	1.37	Es la relación entre el valor total (capital e intereses) y el monto solicitado.	

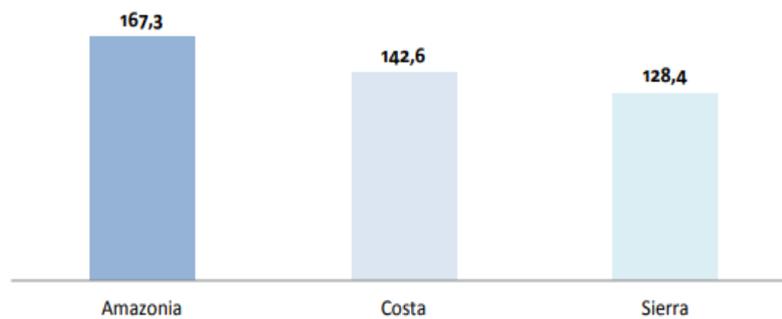
Numero_Cuota	Fecha	Saldo_Capital	Capital	Interes	Valor_Cuota
0	16/09/2019	38,000.00			
1	16/10/2019	37,547.05	452.95	411.67	864.62
2	15/11/2019	37,089.19	457.86	406.76	864.62
3	15/12/2019	36,626.38	462.82	401.80	864.62
4	14/01/2020	36,158.54	467.83	396.79	864.62
5	13/02/2020	35,685.65	472.90	391.72	864.62
6	14/03/2020	35,207.62	478.02	386.59	864.62
7	13/04/2020	34,724.42	483.20	381.42	864.62
8	13/05/2020	34,235.99	488.44	376.18	864.62
9	12/06/2020	33,742.26	493.73	370.89	864.62
10	12/07/2020	33,243.18	499.08	365.54	864.62
11	11/08/2020	32,738.70	504.48	360.13	864.62
12	10/09/2020	32,228.75	509.95	354.67	864.62
13	10/10/2020	31,713.28	515.47	349.14	864.62
14	09/11/2020	31,192.23	521.06	343.56	864.62
15	09/12/2020	30,665.53	526.70	337.92	864.62
16	08/01/2021	30,133.12	532.41	332.21	864.62
17	07/02/2021	29,594.94	538.17	326.44	864.62
18	09/03/2021	29,050.94	544.00	320.61	864.62
19	08/04/2021	28,501.04	549.90	314.72	864.62
20	08/05/2021	27,945.18	555.86	308.76	864.62
21	07/06/2021	27,383.31	561.88	302.74	864.62
22	07/07/2021	26,815.34	567.96	296.65	864.62
23	06/08/2021	26,241.23	574.12	290.50	864.62
24	05/09/2021	25,660.89	580.34	284.28	864.62
25	05/10/2021	25,074.27	586.62	277.99	864.62
26	04/11/2021	24,481.29	592.98	271.64	864.62
27	04/12/2021	23,881.88	599.40	265.21	864.62
28	03/01/2022	23,275.99	605.90	258.72	864.62
29	02/02/2022	22,663.53	612.46	252.16	864.62
30	04/03/2022	22,044.43	619.10	245.52	864.62

30	04/03/2022	22,044.43	619.10	245.52	864.62
31	03/04/2022	21,418.63	625.80	238.81	864.62
32	03/05/2022	20,786.05	632.58	232.04	864.62
33	02/06/2022	20,146.61	639.43	225.18	864.62
34	02/07/2022	19,500.25	646.36	218.25	864.62
35	01/08/2022	18,846.89	653.36	211.25	864.62
36	31/08/2022	18,186.45	660.44	204.17	864.62
37	30/09/2022	17,518.85	667.60	197.02	864.62
38	30/10/2022	16,844.02	674.83	189.79	864.62
39	29/11/2022	16,161.88	682.14	182.48	864.62
40	29/12/2022	15,472.35	689.53	175.09	864.62
41	28/01/2023	14,775.35	697.00	167.62	864.62
42	27/02/2023	14,070.80	704.55	160.07	864.62
43	29/03/2023	13,358.62	712.18	152.43	864.62
44	28/04/2023	12,638.72	719.90	144.72	864.62
45	28/05/2023	11,911.02	727.70	136.92	864.62
46	27/06/2023	11,175.44	735.58	129.04	864.62
47	27/07/2023	10,431.89	743.55	121.07	864.62
48	26/08/2023	9,680.29	751.60	113.01	864.62
49	25/09/2023	8,920.54	759.75	104.87	864.62
50	25/10/2023	8,152.56	767.98	96.64	864.62
51	24/11/2023	7,376.26	776.30	88.32	864.62
52	24/12/2023	6,591.56	784.71	79.91	864.62
53	23/01/2024	5,798.35	793.21	71.41	864.62
54	22/02/2024	4,996.55	801.80	62.82	864.62
55	23/03/2024	4,186.06	810.49	54.13	864.62
56	22/04/2024	3,366.79	819.27	45.35	864.62
57	22/05/2024	2,538.65	828.14	36.47	864.62
58	21/06/2024	1,701.53	837.11	27.50	864.62
59	21/07/2024	855.35	846.18	18.43	864.62
60	20/08/2024	0.00	855.35	9.27	864.62
	TOTAL:		38,000.00	13,877.01	51,877.01

Consumo mensual de energía eléctrica por regiones

La región Amazónica registra el consumo más alto de energía por hogar con 167,32 Kw/h.

Consumo de Energía Eléctrica (Kw) por hogar a nivel de regiones naturales



Nacional: 138,34 Kw

Fuente: Modulo de Información Ambiental 2012 ENEMDU - Diciembre.

Gasto mensual de energía eléctrica por regiones

La región de la Costa es la que más paga mensualmente por energía eléctrica con 18,78 dólares mensuales, mientras que la sierra gasta 16,09 dólares.



Para el financiamiento de un equipo de gasificación de biomasa aproximadamente es necesaria la cantidad de 38.000,00\$ dólares, simulando un préstamo con la CFN al 13,8% de interés se obtiene un valor de pago total de 51.877.01 dolares pagable en cuotas de 864.62 durante 60 meses



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Hormaza Rodriguez, Walter Mauricio** con C.C:**0950504589** autor del Trabajo de Titulación: **Implementacion de un sistema de instrumentación con sensores de temperatura y de flujo en cada etapa del gasificador Downdraft GEK 1.2.5 de la Facultad técnica para regular la eficiencia en grupo electrógeno Otto usando gas de síntesis obtenido por biomasa**, previo a la obtención del título de **Ingeniero 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, 16 de septiembre del 2019

Hormaza Rodriguez, Walter Mauricio

C.C: 0950504589



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Implementacion de un sistema de instrumentación con sensores de temperatura y de flujo en cada etapa del gasificador Downdraft GEK 1.2.5 de la Facultad técnica para regular la eficiencia en grupo electrógeno Otto usando gas de síntesis obtenido por biomasa.		
AUTOR(ES)	Hormaza Rodriguez, Walter Mauricio		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Juan Carlos Lopez Cañarte		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Eléctrico-Mecánica		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero Eléctrico-Mecánico		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	16 de septiembre del 2019	No. DE PÁGINAS:	94
ÁREAS TEMÁTICAS:	Energías renovables, microgeneracion de energía, instrumentación		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Sensores, temperatura, caudal, biomasa, gasificador, síntesis, grupo electrógeno.		
RESUMEN:	<p>El objetivo general de este proyecto es la implementacion de sensores de temperatura y flujo de caudal volumetrico para obtención de datos con la finalidad de regular la eficiencia en un grupo electrogeno alimentado con gas de síntesis obtenido por el proceso de gasificaion de biomasa en gasificador downdraft ubicación en la Facultad Técnica para el desarrollo de la Universidad Catolica de Santiago de Guayaquil. Para el cumplimiento de los objetivos propuestos se procedio a realizar un mantenimiento riguroso en cada una de las partes que conforman del gasificador downdraft GEK TOTTI de la facultad técnica y a través de la evaluación de cada componente se realizaron mejoras que ayudaran con un mejor desempeño en la producción de un gas de sistesis que contenga bajo contenido de impurezas y alquitranes mediante la gasificación del residuo organico del maíz. Todo el proceso que se llevo a cabo fue con finalidad de implementar los sensores de temperatura y de flujo los cuales estarán conectados un panel de control donde se llevara la medición de valores en todo el proceso de gasificación la cual permitió calibrar o regular la mezcla aire/gas con la cual se regulo la eficiencia en un generador para la microgeneracion de energía. Este trabajo se realizo aplicando los conocimientos básicos aprendidos durante la carrera estudiantil y profesional, los cuales esta enfocados en la microgeneracion de energía con fuentes renovables como la biomasa.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593968847961	E-mail: maurip12@hotmail.es	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Ing. Orlando philco Asqui		
COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Teléfono: +593-9-80960875		
	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):			