

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **DISEÑO DE UN GASIFICADOR DE BIOMASA POR PIROLISIS**

#### **PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**DANIELA ELISA AULESTIA ESTRELLA  
SEBASTIAN AMILCAR PADILLA VELA**

**DIRECTOR: ING. FRANCISCO TERNEUS**

**CODIRECTOR: ING. OSWALDO MARIÑO**

**Sangolquí, 2012-07-20**

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

**El proyecto “DISEÑO DE UN GASIFICADOR DE BIOMASA DE 1,5KW PERTENECIENTE A LA CORPORACION DE INVESTIGACION ENERGÉTICA PARA GENERACION ELECTRICA EN ZONAS RURALES Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO EXPERIMENTAL” fue realizado en su totalidad por AULESTIA ESTRELLA DANIELA ELIZA Y PADILLA VELA SEBASTIAN AMILCAR, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.**

---

**Ing. Francisco Terneus  
Mariño  
DIRECTOR**

---

**Ing. Oswaldo  
CODIRECTOR**

**Sangolquí, 2012-07-20**

## **LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO**

**“DISEÑO DE UN GASIFICADOR DE BIOMASA DE 1,5KW PERTENECIENTE  
A LA CORPORACION DE INVESTIGACION ENERGÉTICA PARA  
GENERACION ELECTRICA EN ZONAS RURALES Y CONSTRUCCION DE  
UN PROTOTIPO EXPERIMENTAL”**

**ELABORADO POR:**

---

**DANIELA AULESTIA**

---

**SEBASTIAN PADILLA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

---

**EL DECANO**

**Sangolquí, 2012-09-07**

## DEDICATORIA

El momento en que el ser humano culmina una meta, es cuando se detiene a hacer un recuento de todas las ayudas recibidas, de las voces de aliento, de las expresiones de amor y comprensión; es por eso que nosotros dedicamos éste triunfo estudiantil a Dios por guiar nuestros pasos y ayudarnos a superar los obstáculos que se nos presentaron a lo largo del camino

A nuestros queridos padres quienes con su infinita adhesión nos han brindado todo su apoyo sin escatimar sacrificio alguno.

A nuestros hermanos, porque han sido los amigos, los compañeros fieles en el camino hasta aquí recorrido; y en general a toda nuestra familia que de una u otra manera contribuyeron para el logro de nuestra carrera.

Por último queremos dedicar este logro a todos nuestros amigos testigos de nuestros triunfos y fracasos.

Daniela Aulestia.

Sebastián Padilla.

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos este proyecto de tesis a Dios y a nuestros padres. A Dios porque ha estado con nosotros a cada paso que damos, cuidándonos y dándonos fortaleza para continuar, a nuestros padres, quienes a lo largo de nuestra vida han velado por nuestro bienestar y educación siendo nuestro apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se nos presentaba sin dudar ni un solo momento en nuestra inteligencia y capacidad. Es por ello es que somos lo que somos ahora.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### DISEÑO DE UN GASIFICADOR DE BIOMASA PARA GENERACION ELECTRICA DE 1,5KW EN ZONAS RURALES

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE DE CONTENIDOS	vi
RESUMEN	xiii
CAPITULO 1	
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 General	2
1.2.2 Específicos	2
1.3 Justificación e importancia	3
CAPITULO 2	
2 BIOMASA	4
2.1 Características de la biomasa	4
2.1.1 Composición química y física	4
2.1.2 Contenido de humedad (H.R.)	5
2.1.3 Porcentaje de cenizas	5

2.1.4	Poder calórico	5
2.1.5	Densidad aparente	5
2.1.6	Recolección, transporte y manejo	6
2.2	La biomasa como fuente de energía	6
2.3	Tipos de biomasa	8
2.3.1	Biomasa primaria	8
2.3.2	Biomasa secundaria	8
2.3.3	Biomasa terciaria	8
2.3.4	Biomasa natural	8
2.3.5	Biomasa residual	10
2.3.6	Cultivos energéticos	12
2.4	Procesos especiales antes del uso de la biomasa como Combustible.	13
2.4.1	Uso directo de la biomasa	14
2.4.2	Por fermentación alcohólica	15
2.4.3	Transformación de ácidos grasos.	16
2.4.4	Transformación anaeróbica	16
2.4.5	Gasificación por pirolisis	16
2.4.6	Elección de la biomasa: Palma africana	20
2.4.7	Ventajas e inconvenientes de la utilización de la biomasa	22
2.5	Gasificador	23

2.5.1	Gasificador de corriente ascendente	23
2.5.2	Gasificador de tiro transversal	23
2.5.3	Gasificador de tiro invertido	24
2.5.3.1	Procesos que intervienen en un gasificador de tiro invertido	25
2.6	Syngas	27
CAPITULO 3		
3	SISTEMA DE GENERACION DE ENERGIA	31
3.1	Selección del motor	32
3.1.1	Potencia requerida para el funcionamiento del motor	32
3.2	Diseño del gasificador de tiro invertido	34
3.2.1	Dimensionamiento del gasificador	37
3.2.2	Consumo de biomasa en el gasificador	38
3.2.3	Dimensionamiento	42
3.2.4	Diseño del espesor de las paredes en el gasificador	43
3.2.4.1	Diseño de paredes de la zona de depósito	43
3.2.4.2	Diseño de paredes de las Zonas de Pirolisis, Oxidación y Reducción.	46
3.2.4.3	Unión bridada entre la zona de almacenamiento y la de pirolisis.	49
3.2.4.4	Cálculo del espesor del faldón de unión entre la brida y la zona de pirolisis.	49
3.2.4.5	Diseño de la cabeza o tapa del gasificador	50



3.2.5	Entradas de Aire	51
3.2.6	Sistema de vacío por Venturi	53
3.3	Sistema de vacío por Venturi	54
3.3.1	Calculo del caudal de aire en las entradas	54
3.3.2	Velocidad de entrada del aire	56
3.3.3	Presión interna necesaria para el ingreso de aire en la cámara de combustión.	57
3.3.4	Diseño del tubo Venturi	57
3.3.4.1	Ecuación de Equilibrio de masa	59
3.3.4.2	Ecuación de Bernoulli	59
3.4	Diseño de filtros	61
3.4.1	Canastillas	61
3.4.2	Selección de tela de filtrado	61
3.5	Diseño del prototipo de gasificador	63
3.5.1	Diseño de Zona de Deposito	65
3.5.2	Diseño de Zona de Pirolisis	69
CAPITULO 4		
4	CONSTRUCCIONDEL GENERADOR	71
4.1	Fabricación del gasificador	72
4.1.1	Selección de los materiales	72
4.1.2	Procesos de manufactura	74
4.1.2.1	Proceso de corte de tubería y planchas de acero	74

4.1.2.2 Soldadura	74
4.1.2.3 Doblado de planchas de acero	75
4.1.3 Pruebas del gasificador	75
4.2 Instalación del sistema de vacío	79
4.3 Ensamblaje del generador	79
CAPITULO 5	
5 ANALISIS ECONOMICO	80
5.1 Presupuesto de construcción	80
5.1.1 Presupuesto de materiales	81
5.1.2 Presupuesto de mano de obra	82
5.2 Costo de operación	83
5.3 Costo de energía producida	84
CAPITULO 6	
6 CONCLUSIONES	88
NOMENCLATURA	91
ANEXOS 1	94
ANEXOS 2	100
ANEXOS 3	103
ANEXOS 4	104
BIBLIOGRAFIA	105



## TABLAS

Tabla 2.1	Estimación de generación de biomasa residual	11
Tabla 2.2	Estimación de generación de biomasa residual en Santo Domingo	11
Tabla 2.3	Comparación tipos de biomasa	13
Tabla 2.4	tabla comparativa de procesos de combustión	14
Tabla 2.5	Uso de biomasa en combustión directa	14
Tabla 2.6	Comparación resumen de los criterios de selección entre sistemas de vapor y sistemas de gasificación	20
Tabla 2.7	Comparación de las propiedades de la biomasa residual	20
Tabla 2.8	Poder calorífico aprovechable del Syngas	30
Tabla 2.9	Caracterización del Syngas	30
Tabla 3.1	Propiedades y producción de los principales productos de la costa ecuatoriana	35
Tabla 3.2	Dimensiones de gasificadores estándar	40
Tabla 3.3	Dimensiones del contenedor	41
Tabla 3.4	Selección de dimensiones	42
Tabla 3.5	Tabla de valores de eficiencia de las juntas soldadas	50
Tabla 3.6	Dimensiones y cantidad de agujeros	51
Tabla 3.7	Prueba MAP	58
Tabla 3.8	Características de los tipos de fibras	62
Tabla 3.9	Dimensiones del prototipo	66
Tabla 3.10	Volumen zona pirolisis	69

Tabla 4.1	Lista de Materiales que se emplearan en el proyecto	73
Tabla 4.2	Datos obtenidos	76
Tabla 4.3	Análisis de la obtención de gases	78
Tabla 5.1	Presupuesto anual de mantenimiento	84
Tabla 5.2	Consumo eléctrico a la empresa eléctrica	84
Tabla 5.3	Balance de flujos	85
Tabla 5.4	Costos comparativos del mercado para la producción de energía eléctrica (tomado de revista CIEEPI).	87

## FIGURAS

Figura 2.1	Residuo de Palma Africana	12
Figura 2.2	Tipos de procesos energéticos con biomasa	13
Figura 2.3	Gasificador de tiro invertido	25
Figura 2.4	Zonas de procesos	25
Figura 3.1	Diagrama de los bloques de un sistema de generación	31
Figura 3.2	Gasificador de Tiro Invertido La Concordia	34
Figura 3.3	Dimensiones gasificador	39
Figura 3.4	Zona de Depósito del Prototipo	43
Figura 3.5	Vista de arandelas	52
Figura 3.6	Diagrama de soldaduras	53
Figura 4.1	Sistema de generación eléctrica	71
Figura 4.2	Planta generadora de la Concordia	72
Figura 4.3	Recolector de cenizas	74
Figura 4.4	Prueba de gases contaminantes	77
Figura 4.5	Prototipo del Generador	79

## RESUMEN

Un gasificador de biomasa por pirolisis es un dispositivo que tiene como objetivo la generación de energía eléctrica para zonas rurales donde existe gran cantidad de desperdicio agrícola especialmente para el residuo de la palma africana, después de un exhaustivo análisis de investigación se llegó a la conclusión de que la empresa eléctrica tiene deficiencia en proveer de energía a zonas rurales, además el método convencional aumenta la contaminación ambiental debido al consumo de hidrocarburos como combustible de generación.

La implementación del sistema en estas zonas significara un ahorro económico para la población y la optimización del uso de sus recursos.

Considerando esta necesidad, se buscó presentar una nueva alternativa para abastecer de energía a estos sitios sin una inversión demasiado alta, realizando un diseño adecuado que se ajuste a las exigencias del sitio en donde se busca aplicar el dispositivo para beneficio de la población agrícola.

# CAPITULO 1

## 1.1 INTRODUCCION

En la actualidad la red nacional de energía eléctrica no cubre la totalidad de las necesidades de la población, especialmente en las comunidades de las zonas rurales, mientras las áreas urbanas tienen cierta ventaja económica pueden solventar los altos costos de generación de energía eléctrica o importada de los países vecinos.

Desde el punto de vista ambiental, la utilización de plantas eléctricas que funcionan con diesel o bunker tienen como consecuencia directa un alto grado de contaminación. La industria del petróleo transforma severamente el ambiente, modifica el paisaje al perforar e instalar torres de extracción, libera grandes cantidades de contaminantes en forma de gas, produce un incremento sensible de la temperatura del medio circundante y vierte gran cantidad de sustancias tóxicas al suelo y al agua.

A fin de contrarrestar los efectos nocivos, se prefiere abastecer la demanda de energía eléctrica mediante el uso de alternativas limpias, entre las cuales se encuentra la generación de energía mediante biomasa residual. Este tipo de generación de energía es importante para el país entre otras por las siguientes razones:

- No daña el ambiente, ya que la cantidad de dióxido de carbono que se emite a la atmósfera durante su combustión, se ve compensada por la misma cantidad de dióxido de carbono absorbida por las plantas durante la fotosíntesis.
- Constituye una opción rentable, ya que los precios de la biomasa son más competitivos en el mercado de los combustibles.
- El uso de biomasa incentivará el cultivo de terrenos abandonados.
- Es un sistema de bajo costo de inversión.

Sobre todo se ha evidenciado la existencia de comunidades de bajos recursos económicos en el Ecuador que no cuentan con recursos energéticos, lo que les impide tener una calidad de vida digna. Entonces las metas de este proyecto



están dirigidas a la optimización del uso de los recursos que tienen las áreas rurales y urbanas marginales.

Además los desperdicios en los campos, preferentemente en aquellos cercanos a las grandes plantaciones agrícolas no son utilizados de una manera eficiente y en este proyecto se pretende generar energía eléctrica a bajo costo para que el producto esté al alcance de los pequeños productores agrícolas.

Las áreas de influencia del proyecto estarían en la zona rural como es el caso de la Concordia, en donde existen una gran cantidad de desechos orgánicos que no han sido adecuadamente tratados y que pueden ser utilizados para la producción energética de la zona. La posible implementación de un gasificador de biomasa traerá importantes beneficios a los pueblos, a la vez que estas medidas aportarán también con la conservación del ambiente al utilizar la generación de energía con combustibles renovables, lo que aliviaría además la carga energética al Sistema Nacional Interconectado de provisión del fluido energético.

Para este proyecto se realizó una investigación de la teoría de la biomasa a fin de seleccionar la materia orgánica a ser usada como desechos del área de influencia, asegurando permanente disponibilidad. Se determina el tipo de proceso a utilizar y consecuentemente el desarrollo del diseño de gasificador.

Finalmente se presenta el estudio económico del costo del sistema de generación y de la producción energética misma.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseño de un gasificador de biomasa para generación eléctrica en zonas rurales de 1,5kw.

### **1.2.2 OBJETIVO ESPECIFICOS**

- Seleccionar la materia orgánica a ser usada correspondiente a los desechos de la zona de influencia, a fin de asegurar su permanente disponibilidad.

- Diseñar el horno de pirolisis para la biomasa
- Plantear el sistema de filtros.
- Seleccionar un motor de combustión interna para la generación de 1,5 kW
- Fabricar el modelo donde se observará el principio de funcionamiento del gasificador.
- Estudio de factibilidad y estudio económico.

### **1.3 JUSTIFICACION E IMPORTANCIA**

El Ecuador tiene un aumento del requerimiento energético (informe SENASE) del 7% anual que a largo plazo debe exigir la importación de todas las capacidades y formas de generación renovable. El estado está obligado a promover el desarrollo energético a todo nivel más en esta ocasión se trata de que adicionalmente se usen desechos que pueden ser utilizados con el fin de preservación del medio ambiente. Por lo que ha decidido contribuir con este proyecto para la optimización de los recursos que tienen las áreas rurales y urbanas marginales.

En estos momentos los desperdicios en los campos no son utilizados de una manera eficiente y en este proyecto se pretende generar energía eléctrica a bajo costo que esté al alcance de los pequeños productores agrícolas.

## **CAPITULO 2**

### **BIOMASA**

Biomasa, es abreviatura de masa biológica, es un término que hace referencia a la cantidad de toda sustancia orgánica renovable de origen tanto animal como vegetal, lo que incluye el aprovechamiento de residuos forestales, agrícolas y ganaderos. Se suele utilizar la palabra biomasa para hacer referencia al combustible energético que se obtiene de manera directa o indirecta de recursos biológicos.

Desde principios de la historia de la humanidad, la biomasa ha sido una fuente energética esencial para el hombre. Con la llegada de los combustibles fósiles, este recurso energético perdió importancia en el mundo industrial. En la actualidad los principales usos que tiene son domésticos.

Una característica que diferencia a la biomasa de otros recursos energéticos es el hecho de que es un recurso potencialmente renovable. El carbón, el gas natural, el petróleo y otros combustibles fósiles, no se consideran biomasa, aunque se deriven de un material vivo. El tiempo necesario para la formación de estos combustibles es de millones de años, lo que hace que no puedan ser considerados como renovables.

#### **2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA BIOMASA**

##### **2.1.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y FÍSICA**

Las características químicas y físicas de la biomasa determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar; por ejemplo, los desechos animales producen altas cantidades de metano, mientras que la madera puede producir el denominado "gas pobre", que es una mezcla rica en monóxido de carbono (CO). Por otro lado, las características físicas del material influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicarlo para lograr el producto energético requerido.

### **2.1.2 CONTENIDO DE HUMEDAD (H.R.)**

El contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%. Muchas veces los residuos salen del proceso productivo con un contenido de humedad muy superior, que obliga a implementar operaciones de acondicionamiento antes de ingresar al proceso de conversión de energía.

### **2.1.3 PORCENTAJE DE CENIZAS**

El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material. En los procesos que incluyen la combustión de la biomasa, es importante conocer el porcentaje de generación de ceniza y su composición, pues en algunos casos ésta puede ser utilizada; por ejemplo, la ceniza de la cascarilla de arroz es un excelente aditivo en la mezcla de concreto o para la fabricación de filtros de carbón activado.

### **2.1.4 PODER CALÓRICO**

El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa. Su poder calórico está relacionado directamente con su contenido de humedad. Un elevado porcentaje de humedad reduce la eficiencia de la combustión, debido a que una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua y no se aprovecha en la reducción química del material.

### **2.1.5 DENSIDAD APARENTE**

Esta se define como el peso por unidad de volumen del material en el estado físico que presenta bajo condiciones dadas. Combustibles con alta densidad aparente favorecen la relación de energía por unidad de volumen, requiriéndose menores tamaños de los equipos y aumentando los períodos entre cargas. Por otro lado, materiales con baja densidad aparente necesitan mayor volumen de almacenamiento, transporte y algunas veces presentan

problemas para fluir por gravedad, lo cual complica el proceso de combustión y eleva los costos del proceso.

### **2.1.6 RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y MANEJO**

Las condiciones para la recolección, el transporte y el manejo en planta de la biomasa son factores determinantes en la estructura de costos de inversión y operación en todo proceso de conversión energética. La ubicación del material con respecto a la planta de procesamiento y la distancia hasta el punto de utilización de la energía convertida, deben analizarse detalladamente para lograr un nivel de operación del sistema por encima del punto de equilibrio, con relación al proceso convencional.

## **2.2 LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA**

La energía de nuestro planeta proviene mayormente de la energía que viene del sol en forma de luz y calor. La vida en la tierra está alimentada por la energía solar que absorben plantas verdes, algas y algunas bacterias mediante la fotosíntesis, que es el proceso por el cual la materia inorgánica, es decir el agua y el dióxido de carbono se transforma en materia orgánica, gracias a la energía que aporta la luz. En este proceso la energía luminosa que proviene del sol se transforma en energía química estable; la primera molécula en la que queda almacenada la energía se llama adenosín trifosfato, que está formada por una base nitrogenada unida a al carbón 1 de una azúcar tipo pentosa, la que posteriormente ayudará a sintetizar moléculas orgánicas de mayor estabilidad.

La energía química que se almacena en las plantas y en los animales (que consumen plantas), tiene el nombre de bioenergía que mediante procesos de combustión libera la energía que se ha acumulado por la fotosíntesis generalmente en forma de calor, y el carbón que se encuentra en la biomasa se oxida nuevamente para generar dióxido de carbono, que se devuelve al ambiente que fue de donde provino y no solo esa es la ventaja, sino que disminuye el consumo de combustibles fósiles que si generan emisiones. En pocas palabras el uso de la biomasa es el proceso inverso al de la fotosíntesis y se expresaría de acuerdo a la siguiente composición química:



Hidratos de carbono + oxígeno  $\longrightarrow$  Dióxido de carbono + agua + luz

Los carbohidratos, entre los que se encuentra la celulosa, constituyen los productos químicos primarios en el proceso de bio-conversión de la energía solar y al formarse aquellos, cada átomo gramo de carbono (14gr) absorbe 112kcal de energía solar, que es precisamente la que después se recupera, en parte con la combustión de la celulosa o de los combustibles obtenidos a partir de ella (gas, alcohol).

En la naturaleza, en última instancia toda la biomasa se descompone a sus moléculas elementales acompañada por la liberación de calor. Por lo tanto la liberación de energía de conversión de la biomasa en energía útil, imita procesos naturales pero en una tasa más rápida mediante procesos como combustión o gasificación u alcoholes. Entonces, la energía obtenida de la biomasa es una forma de energía renovable. De todas las fuentes renovables de energía, la biomasa se diferencia en que almacena energía solar con eficiencia. Además, es la única fuente renovable de carbón y puede ser procesada convenientemente en combustibles sólidos, líquidos y gaseosos.

La biomasa puede utilizarse directamente (por ejemplo combustión de madera para la calefacción y para cocinar) o indirectamente convirtiéndola en un combustible líquido o gaseoso (ej: etanol a partir de cosechas del azúcar o biogás de la basura animal). La energía neta disponible en la biomasa por combustión es de alrededor de 8MJ/kg para la madera verde, 20MJ/kg para la materia vegetal seca horno, 55MJ/kg para el metano; en comparación con cerca de 23 a 30MJ/kg para el carbón. La eficiencia del proceso de la conversión se determina cuánto la energía real puede ser utilizada en forma práctica.

## **2.3 TIPOS DE BIOMASA**

Existen diferentes tipos de biomasa que pueden ser utilizados como recurso energético. Se los puede describir según su punto de vista ecológico y según su origen.

### **2.3.1 BIOMASA PRIMARIA**

Es la materia orgánica formada directamente por los seres fotosintéticos (algas, plantas verdes y demás seres autótrofos). Este grupo comprende toda la biomasa vegetal, que incluye los residuos agrícolas (paja o restos de podas) y forestales (leñas).

### **2.3.2 BIOMASA SECUNDARIA**

Es la producida por los seres heterótrofos que utilizan en su nutrición la biomasa primaria. Este tipo de biomasa implica una transformación biológica de la biomasa primaria para formar un nuevo tipo de biomasa de naturaleza distinta a la inicial. Un ejemplo sería la carne o el excremento provenientes de los animales herbívoros.

### **2.3.3 BIOMASA TERCIARIA**

Es la producida por los seres que se alimentan de biomasa secundaria, como sería el caso de la carne de los animales carnívoros, que se alimentan de los herbívoros.

### **2.3.4 BIOMASA NATURAL**

La que producen los ecosistemas silvestres. El 40 % de la biomasa que se produce en la Tierra aproximadamente está en los océanos. En la explotación de esta biomasa cabe vigilar el hecho de no explotar los recursos por encima de la tasa de renovación del ecosistema, ya que si así fuese, el ecosistema se vería afectado de una forma irreversible y con él, la supervivencia de la especie en interés. Cabe tener en cuenta que la extracción de biomasa de un ecosistema natural con la finalidad de usarla como combustible, significa la liberación en la atmósfera de una cantidad de carbono equivalente que hasta

entonces permanecía confinada en el seno del ecosistema natural. Por este motivo, para la explotación de biomasa se precisa una planificación que sea sostenible, a fin de que el ecosistema incorpore nuevas fuentes, que a la vez capturarán más dióxido de carbono CO<sub>2</sub> atmosférico.

El potencial energético de bosques naturales en Ecuador según un informe de la Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL) y el Instituto Nacional de Energía (INE). Esta dado por la existencia de 11.473.000 ha de bosques naturales, de los cuales el 80% corresponde al tipo tropical húmedo, que se ubica en la Amazonía, el 13% en la costa y el 7% en la sierra. Del total de bosques naturales el 70,3% se considera como bosque productor factible de explotar que alcanza 8,07 millones de hectáreas.

Por estimaciones de técnicos del Instituto Ecuatoriano Forestal y de Áreas Naturales y Vida Silvestre (INEFAN), se considera que el 52% de este bosque productor puede ser aprovechado para explotación maderera permanente, esto significa alrededor de 4,2 millones de hectáreas y estarían ubicadas preferentemente en las provincias de Esmeraldas, Napo y Sucumbíos. Si consideramos que existe una tasa de deforestación promedio anual de 200.000 ha, el recurso forestal productor duraría solamente 20 años.

Para los bosques de la Amazonía (Napo y Sucumbíos) se ha determinado una densidad promedio entre 45 y 160 m<sup>3</sup>/ha de volumen comercial, mientras en Esmeraldas los volúmenes varían de 90 al 120 m<sup>3</sup>/ha; estos bosques son los más accesibles por lo que constituyen una zona de sobre explotación forestal.

Se considera que el 40% del volumen explotado es utilizado por la industria maderera y el 60% constituye desechos. Por tanto, el potencial explotable de madera sería de 630 millones de metros cúbicos, de los cuales 377 millones de metros cúbicos constituyen el potencial energético de los desechos forestales, equivalente a 68 millones de Tonelada Equivalente de Petróleo (TEP).

El 80% de este potencial se ubicaría en la Amazonía, en donde se ha notado en los últimos años una deforestación agresiva, el 13% se ubica en la costa de los cuales el 8%, correspondería a la zona de Esmeraldas, que por su mejor



infraestructura y accesibilidad en poco tiempo puede causar la pérdida total de recurso

### **2.3.5 BIOMASA RESIDUAL**

La que se puede extraer de los residuos agrarios, forestales y de las actividades humanas. Las actividades agrícolas, ganaderas y forestales, así como las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera, generan una serie de residuos y subproductos que son utilizables como biomasa para obtener energía. Otros materiales derivados de la biomasa aprovechables por su valor energético son los residuos biodegradables (vertidos ganaderos, vertidos de aguas residuales, cienos de depuradora, etc.).

Los datos del potencial energético en Ecuador de acuerdo a un informe de la ESPOL y la INE son:

- Las plantaciones forestales aportan con aproximadamente el 12% del requerimiento maderero. El volumen total de madera en tales plantaciones alcanza a 11,7 millones de metros cúbicos, de los cuales aproximadamente 4,7 millones serían aprovechados como madera mientras 7 millones de metros cúbicos, se consideran como potencial de desechos que equivale en términos energéticos a 1,2 millones de TEP.
- Los residuos vegetales se han evaluado en un total de desechos de 2.000.000 t, con un potencial energético de 365.000 TEP como combustión directa, donde el desecho de caña de azúcar aporta el 60%, que ya es utilizado con fines energéticos, el de banano 17% y el de palma africana el 14%.
- Para los desechos sólidos, el poder calorífico aprovechado energéticamente por combustión directa, se estima en 0,2 TEP/t. De acuerdo a datos y estudios recopilados por Fundación Natura, se estima un potencial energético de 261.300 TEP/año, siendo el sector urbano el de aporte mayoritario, para una producción anual de 1.300.000 t. Para este tipo de desechos se debería analizar con mayor profundidad la posibilidad de generar electricidad, por lo menos en las grandes ciudades.

**Tabla 2.1 Estimación de generación de biomasa residual<sup>1</sup>**

País	Aceite Crudo	Biomasa Residual total kT/año 2009			
	kT/año 2009	TOTAL	RFV	Fibra	Cuesco
Indonesia	20500	42413,27	23226,28	13128,24	6059,04
Malasia	17800	36827,13	20167,21	11399,15	5261,02
Tailandia	1240	2565,49	1404,91	794,1	366,5
Nigeria	860	1779,29	974,37	550,75	254,18
Colombia	840	1737,91	951,71	537,94	248,27
Ecuador	440	910,33	498,52	281,78	130,05
Nueva Guinea	452	935,16	512,11	289,46	133,59
Costa de Marfil	325	672,41	368,22	208,13	96,06
Otros	2413	4992,35	2733,9	1545,29	713,19

**Tabla 2.2 Estimación de generación de biomasa residual en santo domingo**

Extractorora	Ubicación	Procesamiento (ton/año)	Residuos (ton/año)	
			Fibra	Cuesco
AGROINPLA	Km. 32 Vía Sto. Domingo-Quinindé, entrando a mano izquierda Vía b Plan Piloto Quinindé Km.5, Cantón La Concordia, Recinto Plan Piloto	10625	1060	4250
TEOBROMA	Km. 35 Vía Sto. Domingo-Quinindé, Cantón Santo Domingo, Parroquia	20000	2000	8000

<sup>1</sup> CONTRATACION DE SERVICIOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA LA GENERACION DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BIOMASA BAJO ESQUEMA DE AUTOGENERACION, ENERPRO, Ing. Santiago Sánchez Miño, M.Sc., M.E.E; Ing. Jose Luis Palacios, Sto Domingo 2011

	Quinindé			
MOLSANDO Molinos Santo Domingo	Km. 37 Vía Sto. Domingo- Quinindé margen izquierdo entrando 1 Km. Cantón Santo Domingo Parroquia Valle Hermoso	25000	2500	10000



**Figura 2.1 Residuo de Palma Africana**

### **2.3.6 CULTIVOS ENERGÉTICOS**

Recibe esta denominación cualquier cultivo agrario cuya única finalidad sea proporcionar material para destinarlo a su aprovechamiento energético. Los cultivos que suelen labrar con esta finalidad se caracterizan por dos aspectos concretos. Por una parte, por su alta producción por unidad de superficie y año, y por otra, por los pocos requerimientos de mantenimiento que exige su cultivo.

La siguiente tabla muestra los diferentes tipos de residuos que se pueden encontrar en los cultivos energéticos y sus características para poder determinar la mejor opción según el uso que se requiera.

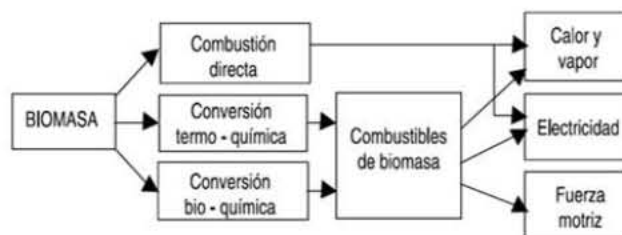
**Tabla 2.3 Comparación tipos de biomasa**

Recursos de biomasa	Tipo de residuo	Características físicas
Residuos forestales	Restos de aserrío: corteza, aserrín, astillas. Restos de ebanistería: aserrín, trozos, astillas, Restos de plantaciones: ramas, corteza, raíces.	Polvo, sólido, HR <sup>2</sup> >50% Polvo sólido, HR 30 - 45% Sólido, HR > 55%
Residuos agropecuarios	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales. Cáscara y polvo de granos secos (arroz, café), Estiércol. Residuos de cosechas: tallos y hojas, cáscaras, maíza, pastura.	Sólido, alto contenido humedad Polvo, HR < 25% Sólido, alto contenido humedad Sólido HR >55%
Residuos industriales	Pulpa y cáscara de frutas y vegetales. Residuos de procesamiento de carnes. Aguas de lavado y precocido de carnes y vegetales, Grasas y aceites vegetales.	Sólido, humedad moderada Sólido, alto contenido humedad Líquido Líquido, grasoso
Residuos urbanos	Aguas negras. Desechos domésticos orgánicos (cáscara de vegetales), Basura orgánica (madera).	Líquido Sólido, alto contenido humedad  Sólido alto contenido humedad

Fuente: <http://www.ambientum.com/enciclopedia/energia/4.36.01.html>

## 2.4 PROCESOS ESPECIALES ANTES DEL USO DE LA BIOMASA COMO COMBUSTIBLE

Procesos de conversión y formas de energía



**Figura 2.2 Tipos de procesos energéticos con biomasa**

Fuente: <http://www.mailxmail.com/curso-biomasa-energias-renovables/proceso-pirolisis>

**Tabla 2.4 tabla comparativa de procesos de combustión**

Procesos de la biomasa para uso como combustible		
Tipos de procesos	Descripción	Tiempo que tarda el proceso
Uso directo de la biomasa	Combustión	Horas
Fermentación alcohólica	Fermentación mediante levaduras	Días
Transformación de ácidos grasos	Procesos químicos	Días/Horas
Transformación anaeróbica	Bacterias que permiten la liberación de metano	Días
Gasificación por pirólisis	Descomposición fisicoquímica bajo acción del calor	Minutos

### 2.4.1 USO DIRECTO DE LA BIOMASA

La biomasa empleada sufre sólo transformaciones físicas antes de su combustión, caso de la madera o la paja. Pueden tratarse residuos de otros usos como los residuos de la industria maderera. Este tipo de biomasa se puede aprovechar en calderas y estufas para generar calor, como por ejemplo:

**Tabla 2.5 Uso de biomasa en combustión directa**

PRODUCTO	TECNOLOGÍA	CARACTERÍSTICAS
POLVOS	Quemadores de polvo	Costo de inversión elevado
ASTILLAS	Hornos y calderas	Facilita su empleo, incluyendo la escala

	en suspensión y lecho fluidizado	domestica Mejora le eficiencia y las características de la combustión
PELLETS		
BRIQUETAS	Hornos y calderas en parrilla	
LEÑOSOS	Hornos, calderas y estufas domesticas	El tamaño dificulta el empleo en dispositivos de alta eficiencia, requiere procesamiento
CARBON VEGETAL	Estufas domesticas	Disminuye la eficiencia energética total, con menos formación de humo

## 2.4.2 POR FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

Se trata del mismo proceso utilizado para producir bebidas alcohólicas. Consta de una fermentación anaeróbica liderada por levaduras, en las que una mezcla de azúcares y agua (mosto), se transforma en una mezcla de alcohol y agua con emisión de dióxido de carbono. Para obtener finalmente etanol es necesario un proceso de destilación en el que se elimine el agua de la mezcla. Al tratarse de etanol como combustible no puede emplearse aquí el método tradicional de destilación en alambique, pues se perdería más energía que la obtenida. Cuando se parte de una materia prima seca (cereales), es necesario producir primero un mosto azucarado mediante distintos procesos de triturado, hidrólisis ácida y separación de mezclas.

Proceso de fermentación alcohólica:

- Pre tratamiento de la biomasa

La fermentación de la biomasa se favorece al someterla a trituración molienda o pulverización.

- Hidrólisis

Es la transformación de las moléculas complejas en moléculas sencillas en un medio acuoso o mediante el uso de reactivos químicos.

- Fermentación alcohólica

Convierte el azúcar en etanol por la acción de microorganismos como levaduras durante un periodo de tiempo y bajo condiciones controladas es decir:

Temperatura: 27 a 32 °C

Acidez: pH= 4, 5

Nivel de azúcar < 22%

Concentración final de etanol < 14%

- Separación y purificación del etanol

La destilación sirve para obtener de la masa fermentada, etanol comercial que tiene un grado de pureza del 96%, lo que se debe a la formación de una mezcla de agua con etanol de bajo punto de ebullición.

### **2.4.3 TRANSFORMACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS**

Consiste en transformar aceites vegetales como cereales, trigo soya, maíz mediante procesos químicos para crear el biodiesel

### **2.4.4 TRANSFORMACIÓN ANAERÓBICA**

Se trata de nuevo de un proceso liderado por bacterias específicas que permite obtener metano en forma de biogás a partir de residuos orgánicos, fundamentalmente excrementos animales. A la vez se obtiene como un subproducto de abono para suelos.

### **2.4.5 GASIFICACIÓN POR PIROLISIS**

La pirolisis consiste en la descomposición físico-químico de la materia orgánica bajo la acción del calor en ausencia de un medio oxidante. Los productos de pirolisis son gases, líquidos y residuo carbonoso, cuyas cantidades relativas dependen de las propiedades de la biomasa a tratar y de los parámetros de operación del equipo.

La pirolisis es una técnica muy antigua utilizada para la optimización de la energía que proviene de la biomasa, como es el caso del carbón vegetal. En la actualidad se han realizado avances muy grandes en esta tecnología, mejorando su eficacia y produciendo gas con un gran poder calorífico y con un mínimo porcentaje de cenizas. Usualmente el gas que se produce a partir de la gasificación por pirolisis de la biomasa, se ha utilizado en motores de combustión interna para disminuir la utilización de combustibles fósiles.

La pirolisis tiene las siguientes ventajas principales sobre las tecnologías de combustión convencionales:

La producción combinada de calor y generación de energía a través de las técnicas de gasificación de la biomasa relacionada con motores de gas o turbinas de gas, pueden alcanzar de manera significativa una mayor eficiencia eléctrica (22% a 37%), en comparación con las tecnologías de combustión de biomasa con generación de vapor en turbinas (15% a 18%). El uso de gas producido en las células de combustible para la generación de energía, puede lograr una mayor eficiencia eléctrica global en el rango de 25% a 50%, incluso en pequeñas plantas de pirolisis de biomasa y durante una operación de carga parcial.

La conversión de energía a través de la pirolisis hace obtener más energía de la misma cantidad de biomasa, con la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. La formación de compuestos de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) también se ven muy reducidos y la eliminación de contaminantes en general en la mayoría de los casos.

La pirolisis de la biomasa genera tres diferentes productos energéticos en cantidades diferentes: coque, gas y los aceites.

La pirolisis "flash" proporciona un alto rendimiento de aceite, pero los esfuerzos técnicos necesarios para procesar aceites pirolíticos nos da la pauta de que este sistema de generación de energía no parece muy prometedor en el estado actual de desarrollo. Sin embargo, la pirolisis como un primer escenario en una



planta de gasificación de dos etapas para materias primas agrícolas y deshecho merece consideración.

En el proceso de gasificación de biomasa típica, el aire se utiliza como agente de gasificación y por lo tanto el gas tiene un valor calorífico bajo ( $3,05 \text{ MJ/ m}^3$ ). Después de la limpieza de este gas por medio de un sistema de filtros ecológicos, se lo puede utilizar en motores o turbinas a gas.

La combustión incompleta de la biomasa genera un poder calorífico mayor y más favorable para la utilización en turbinas que es de por lo menos  $12 \text{ MJ/m}^3$ . El uso de la inyección de vapor en turbinas de gas en la cámara de combustión necesita por lo menos un poder calorífico del gas producido por combustión incompleta. La producción de hidrógeno o metanol a partir de la gasificación de la biomasa o el uso de gas pobre en moléculas de combustible de baja temperatura también requieren gasificadores que funcionan con oxígeno altamente enriquecido y de vapor, o indirectamente con la calefacción como gasificador para generar el medio necesario de poder calorífico en gas pobre con alto contenido de hidrógeno.

Hoy es común la gasificación de la madera, residuos de tipo madera y residuos en lecho fijo o gasificadores de lecho fluidizado con la combustión del gas para la producción de calor. Existen problemas técnicos que plantean la gasificación de la paja y otros materiales sólidos agrícolas, que generalmente tienen concentraciones altas de cloro, nitrógeno, azufre y álcalis.

La gasificación de la biomasa verde se encuentra todavía en una fase temprana de desarrollo. El fortalecimiento de los esfuerzos de desarrollo en tecnologías de gasificación de biomasa de materiales verdes es esencial, ya que la oferta de este tipo de combustible es relativamente grande. El problema con la gasificación de biomasa verde, es el alto porcentaje de humedad que es mayor al 30% de HR, lo que significa un mayor periodo de tiempo para la combustión de la materia prima que se utiliza, además de que el proceso tiende a ser menos eficiente por la pérdida de calor que se tiene al intentar quemar por completo la biomasa húmeda

La limpieza eficiente del gas y la adaptación correcta de los productos de la gasificación de biomasa para los requisitos específicos de los sistemas de gas de combustión, son requisitos previos para el uso del combustible en motores, turbinas de gas y pilas de combustible. Compuestos de alquitrán pueden ser eliminados eficazmente por el aumento en la temperatura del gas o grietas catalíticas sobre el níquel. Sin embargo, incluso para los gasificadores de madera todavía no hay una solución económicamente viable para el problema del alquitrán. Ninguno de los tipos de generación de gas disponibles en la actualidad ha sido exitosamente probado en relación con los motores a gas, en la operación a largo plazo en el trabajo de producción combinada de calor y centrales eléctricas.

La gasificación a presión permite una mayor eficiencia, pero con mayores recursos técnicos para alimentar de biomasa al gasificador, además de la limpieza de los gases.

El uso de los gasificadores de biomasa está dirigido a las zonas en donde se encuentra la generación de los residuos. El funcionamiento de centrales eléctricas con capacidades grandes se ve limitada por el transporte de la materia orgánica, es decir los residuos, debido a que se necesita una gran cantidad de biomasa para generar la energía. El transporte sería un costo adicional para las centrales eléctricas de gran tamaño y por lo tanto son proyectos no viables.

Las ventajas más importantes son la mejora de la flexibilidad en las respuestas a las fluctuaciones anuales y estacionales en la disponibilidad de biomasa y de los costos de inversión que son más bajos.

**Tabla 2.6 Comparación resumen de los criterios de selección entre sistemas de vapor y sistemas de gasificación<sup>2</sup>**

Parámetros de selección	Equipo			
	Caldera + Máquina a vapor	Caldera + Turbina a vapor	Gasificador + Motor Otto	Gasificador + Motor a diesel
Potencia (kVA)	40 – 250	250 – 150.000	1 – 25	25 – 500
Eficiencia (%)	9 – 15	13 – 25	20 – 30	25 – 35
Madurez tecnológica	si	si	no	no
Costo de inversión R\$/kW	2.700	2.400 (< 1MW) 2.800 (> 1MW)	5.000	6.000
Costo de operación y mantenimiento R\$/kWh	140	150	500	500
Suministro irregular	si	no	si	si
Flexibilidad variación de carga	si	bajo	bajo	si
Mantenimiento	frecuente	bajo	bajo	frecuente

#### 2.4.6 ELECCIÓN DE LA BIOMASA: PALMA AFRICANA

Mediante la práctica de laboratorio del ANEXO 1 se determino el poder calorífico de la palma africana.

**Tabla 2.7 Comparación de las propiedades de la biomasa residual.<sup>3</sup>**

Muestra	Análisis		Resultado
1.- Tronco Plátano	Análisis Próximo	Humedad (%)	91,5
		Volátiles (%)	98,7
		Cenizas (%)	1,1
		Carbón Fijo (%)	0,2
	Poder Calórico	P.C. (KJ/kg)	sin combustionarse

<sup>2</sup> MANUAL PARA ELABORACIÓN DE PROYECTOS DE CENTRALES TERMOELÉCTRICAS CON BIOMASA VEGETAL PARA COMUNIDADES AISLADAS DE LA AMAZONÍA, André Augusto Azevedo Montenegro Duarte

<sup>3</sup> CONTRATACION DE SERVICIOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA LA GENERACION DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BIOMASA BAJO ESQUEMA DE AUTOGENERACION, ENERPRO, Ing. Santiago Sánchez Miño, M.Sc., M.E.E; Ing. José Luis Palacios, Sto. Domingo 2011

2.- Tronco Palmito	Análisis Próximo	Humedad (%)	85,3
		Volátiles (%)	98,3
		Cenizas (%)	0,8
		Carbón Fijo (%)	0,9
	Poder Calórico	P.C. (KJ/kg)	sin combustionarse
3.- Fruto Palma (racimos)	Análisis Próximo	Humedad (%)	15,6
		Volátiles (%)	76,4
		Cenizas (%)	7,4
		Carbón Fijo (%)	16,2
	Poder Calórico	P.C. (KJ/kg)	7758,6
4.- Fruto de Palma seca	Análisis Próximo	Humedad (%)	19,9
		Volátiles (%)	84,5
		Cenizas (%)	2,2
		Carbón Fijo (%)	13,3
	Poder Calórico	P.C. (KJ/kg)	17220
5.- Hoja de Palmito	Análisis Próximo	Humedad (%)	63,1
		Volátiles (%)	93,9
		Cenizas (%)	1,5
		Carbón Fijo (%)	4,6
	Poder Calórico	P.C. (KJ/kg)	6954,5
6.- Cuesco de Palma	Análisis Próximo	Humedad (%)	80,3
		Volátiles (%)	81,8
		Cenizas (%)	0,9
		Carbón Fijo (%)	17,3

	Poder Calórico	P.C. (KJ/kg)	18983,7
7.- Caña Guadua	Análisis Próximo	Humedad (%)	58,9
		Volátiles (%)	9,79
		Cenizas (%)	1,2
		Carbón Fijo (%)	0,9
	Poder Calórico	P.C. (KJ/kg)	8100,4

#### 2.4.7 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA UTILIZACIÓN DE LA BIOMASA

##### Ventajas

- Controla la producción de los residuos en las industrias agrícolas, evitando la contaminación del ambiente
- Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles,
- Su uso disminuye el consumo de energías provenientes de combustibles fósiles.
- Disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>

Aunque para el aprovechamiento energético de esta fuente renovable tengamos que proceder a una combustión, y el resultado de la misma sea agua y CO<sub>2</sub>, la cantidad de este último gas causante del efecto invernadero, se puede considerar que es la misma cantidad que fue captada por las plantas durante su crecimiento. Es decir, que no supone un incremento de este gas a la atmósfera

##### Inconvenientes

- Abuso de la utilización de los recursos vegetales para obtención de energía, lo que produciría la tala indiscriminada de áreas forestales.

- Rendimiento energético menor comparado con el rendimiento energético de los combustibles fósiles.
- Necesidad de acondicionamiento o transformación para su utilización.

## **2.5 GASIFICADOR**

La selección de un gasificador apropiado depende directamente de sus características y del tipo de biomasa que se usará como combustible en el gasificador; características que son químicas, físicas y morfológicas que tienden a expresarse de diferente manera, además de tener aplicaciones diferentes para el combustible producido, de manera que tenemos también diferentes tecnologías de gasificadores, como los que siguen:

### **2.5.1 GASIFICADOR DE CORRIENTE ASCENDENTE**

Este tipo de gasificador es el más sencillo de todos y el que presenta una eficiencia relativamente alta comparada con otros tipos de gasificadores. La combustión comienza con el acceso de aire que se encuentra en el fondo del gasificador haciendo que los gases de combustión sean liberados por la parte superior de éste; en el fondo se encuentra la rejilla para las cenizas y donde se produce el inicio de la gasificación, inmediatamente por medio de transferencia de calor se produce la combustión del resto de la biomasa a pocos milímetros de la parrilla. Al tener el desfogue de los gases de combustión en la parte superior del gasificador, la corriente de gas se mezcla con alquitranes y productos volátiles que son un problema para la utilización en motores de combustión interna, ya que estos alquitranes dañaran el motor, por lo tanto este gasificador está dirigido a usos en otras calderas o turbinas de gas.

### **2.5.2 GASIFICADOR DE TIRO TRANSVERSAL**

La tecnología que se encuentra en un gasificador de tiro transversal se ve más bien dirigido a la gasificación de carbón, siempre y cuando su producto no sea utilizado en motores ya que tienen una alta transformación de alquitranes y elementos volátiles, lo cual nos lleva a que el carbón que se utilice en este gasificador pase por un control de calidad garantizando que tenga bajos niveles de estos productos indeseables. Una ventaja de este tipo de gasificador es su

producción en pequeñas escalas lo que facilita su adquisición para usos domésticos. La estructura de este gasificador nos indica que el ingreso de aire se realiza en una parte intermedia del gasificador y sale a la misma altura por el lado contrario.

### **2.5.3 GASIFICADOR DE TIRO INVERTIDO**

Esta tecnología de gasificador se ha tomado como una medida de eliminación de alquitranes en el gas, cuya estructura viene dada de tal manera que la alimentación de biomasa al gasificador se la hace por la parte superior del gasificador; en un punto intermedio del gasificador se tienen toberas para el ingreso de aire hacia la zona de combustión de la biomasa. El resultado es que los gases de combustión por medio de un sistema “ventury” extrae el gas, debido a que la salida de los gases es por la parte inferior, estos se ven obligados a atravesar la zona de combustión en donde se encuentra el material a una temperatura de 800°C, en donde los alquitranes y gases volátiles se ven obligados a transformarse en gases como son Hidrógeno, Dióxido de Carbono, Monóxido de Carbono y Metano, lo cual hace que el uso del gas proveniente de este gasificador sea apta para un motor de combustión interna.

Existe un problema con respecto a la utilización de biomasa con baja densidad, como por ejemplo la cascarilla de arroz que ocasiona que se formen cavidades en el área previa a la combustión lo que ocasiona que la combustión cese, por lo que se debe tomar medidas alternativas al modelo de gasificador de tiro invertido estándar, añadiéndole un motor que produzca vibraciones y no permita la formación de dichas cavidades, además de que al ser materiales de baja densidad, la combustión se realiza muy rápidamente, por lo que en ese caso se debe adjuntar un sistema de alimentación para el material y por lo tanto esta abertura hará que las toberas se deban cerrar para que aun se tenga cierto grado de control de la cantidad de flujo de aire que ingrese al gasificador.

El siguiente es un esquema del gasificador de tiro invertido:

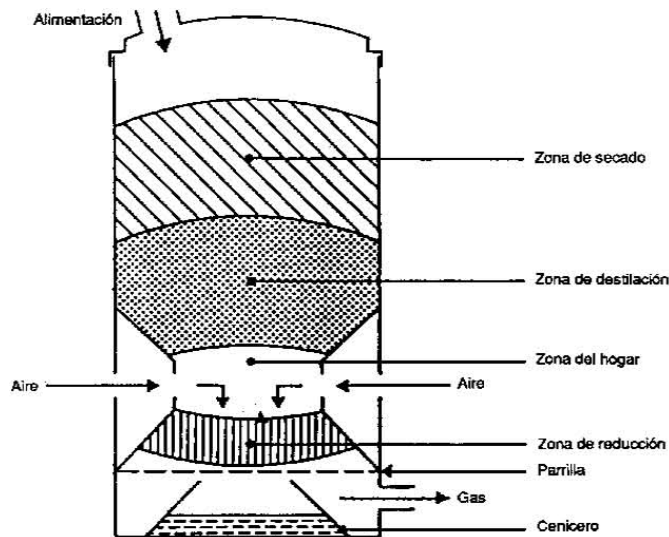


Figura 2.3 Gasificador de tiro invertido<sup>4</sup>

### 2.5.3.1 Procesos que intervienen en un gasificador de tiro invertido

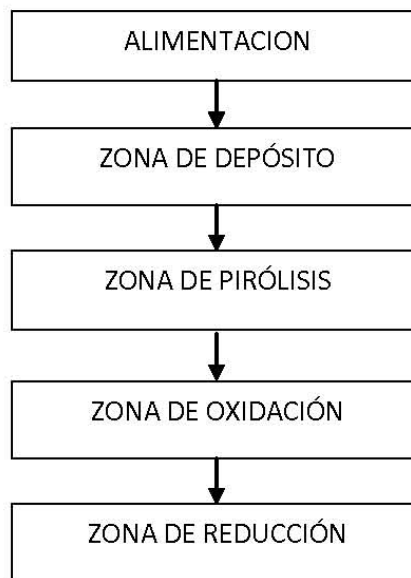


Figura 2.4 Zonas de procesos

#### - Alimentación

El suministro de la biomasa al gasificador tiene lugar en la parte superior de éste. La zona de ingreso de la materia prima se sella herméticamente mediante una tapa que no permitirá el ingreso de aire adicional en el proceso de

<sup>4</sup> Wood gas as engine fuel, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION ON THE UNITED NATIONS, ROME 1986, página 29



gasificación. En este proceso puede haber un cambio dependiendo de la materia prima que ingrese en el gasificador.

- Zona de depósito de la biomasa

En el diseño de la zona de depósito de la biomasa se debe tomar en cuenta la cantidad de flujo de biomasa que se tendrá para el periodo de tiempo mínimo de funcionamiento continuo. En la zona de depósito se realizará un secado previo antes de que la materia entre en combustión. Por medio de transferencia de calor cierta cantidad de humedad se retirará de la biomasa para que este en mejores condiciones a fin de que se produzca la combustión. No nos debemos preocupar de los vapores que salgan en este proceso, ya que el flujo de aire descendente mezclará el vapor con los gases de combustión en el proceso de oxidación que se produce y saldrá del gasificador para que luego, mediante filtros el vapor de agua, sea absorbido.

- Zona de pirolisis

En esta zona es donde comienza el proceso de combustión de la biomasa a una temperatura de por lo menos 250°C, con lo que las grandes moléculas existentes en la biomasa se descomponen, por lo tanto es muy importante que el tiempo que la biomasa este en el área de pirolisis sea la adecuada para que grandes o medianas partículas no continúen en el proceso sin descomponerse, ya que esto produce formaciones de alquitranes que serán un gran inconveniente en el momento de ingresar en el motor de combustión interna. Los productos que provienen de la pirolisis continúan su proceso cayendo a la zona de oxidación, en donde las moléculas resultantes se descompondrán en moléculas más pequeñas.

- Zona de oxidación

La zona de oxidación es precisamente la zona en donde mediante la inyección controlada de oxígeno o aire se produce la combustión de la biomasa. En el proceso de oxidación se desprende mucho calor y se obtienen temperaturas que van de 800°C hasta 1200°C. La zona de oxidación aparte de ser la zona en donde se genera el calor es de gran importancia ya que en esta zona es en

donde se obtiene la descomposición de las moléculas en partículas de hidrógeno, metano o monóxido de carbono.

*“Una función importante de la zona de oxidación, aparte de la generación de calor, es transformar y oxidar prácticamente todos los productos condensables procedentes de la zona de pirólisis. A fin de evitar puntos fríos en la zona de oxidación, hay que elegir bien las velocidades de admisión de aire y la geometría del reactor.”*

Generalmente se emplean dos métodos para obtener una distribución uniforme de la temperatura:

- Reducción de la superficie de la sección transversal a una cierta altura del reactor (concepto "garganta"),
- Distribución de las toberas de entrada de aire a lo largo de la circunferencia de la superficie transversal reducida, o utilización alternativa de una entrada central de aire, con un dispositivo apropiado de pulverización.”

- Zona de reducción

En esta zona el calor que se tiene ya en los gases y el carbón en su mayor parte se transforma en energía en forma de gas pobre, que luego entrará en un proceso de filtros diferentes para la extracción de agua y alquitranes, además de refrigerar el combustible para que pueda ser inyectado en un motor de combustión interna y transformado en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica.

## **2.6 SYNGAS**

Syngas es la abreviatura de gas de síntesis. Esta es una mezcla gaseosa que comprende monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrógeno. El gas de síntesis se produce debido a la gasificación de carbón que contiene el combustible a un producto gaseoso que tiene algún valor calorífico, para

aprovechar la energía almacenada en los enlaces químicos de los residuos agrícolas, residuos forestales o cualquier otro de la abundancia de hidratos de carbono que contiene los restos que puedan servir como materia prima a las energías renovables.

Algunos de los ejemplos del gas de síntesis son los siguientes: la gasificación del carbón, la gasificación de residuos a la energía, y el reformado con vapor de gas natural para generar hidrógeno.

El nombre gas de síntesis se deriva de la utilización como intermediario en la generación de gas natural sintético y la creación de amoníaco o metanol. Gas de síntesis es también un producto intermedio en la creación de petróleo sintético para uso como lubricante o combustible y el metanol previamente para procesar gasolina y generar energía.

El gas de síntesis tiene un 50% la densidad de energía de gas natural, que puede ser quemado, y se utiliza como fuente de combustible. El otro uso es como un intermediario para producir otras sustancias químicas. El uso de gas de síntesis como combustible se lleva a cabo en la gasificación de residuos de carbón. En estas reacciones, el carbono se combina con el agua o el oxígeno para dar lugar a dióxido de carbono. Este dióxido de carbono se combina con el carbono para producir monóxido de carbono.

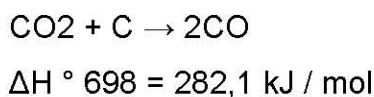
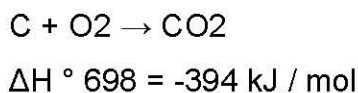
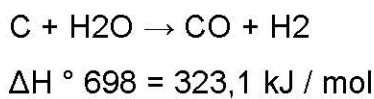
Además del gas de síntesis que puede ser utilizado como combustible independiente o de utilizar para la fabricación de productos directamente, a través de diversos procesos químicos y los métodos de absorción, cada componente individual de gas de síntesis se puede aislar o purificar para otros usos así:

- El hidrógeno - la generación de electricidad y el transporte de combustibles
- Nitrógeno - fertilizantes, presionando a los agentes
- El amoníaco-fertilizantes
- Monóxido de carbono - materia prima de la industria química y de los combustibles

- El dióxido de carbono - se inyecta en los pozos de absorción
- El vapor - los conductores de la turbina para la generación de electricidad
- Los minerales y los sólidos - la escoria de las capas de balasto
- EL azufre - azufre elemental para la industria química.

Como lo demuestra esta lista, el gas de síntesis es un producto muy diverso, con muchos usos de gran alcance y potencial.

El gas de síntesis para su uso como combustible es por la pirolisis de coque o de la biomasa y su combinación química sería:



El syngas sale del reactor a una temperatura promedio de 500°C, llevando con él partículas más ligeras del residuo carbonoso (<150 micrón) y las cenizas contenidas en la biomasa. El syngas debe ser enfriado y lavado.

Un gasificador promedio puede trabajar las 24 horas del día durante 8000 horas al año, éste transforma la biomasa en syngas con un poder calorífico medio de 1200 Kcal/Kg.

Valor calorífico del gas<sup>5</sup>

En la siguiente tabla se observa el valor calorífico de los gases que se encuentran a la salida del proceso de gasificación de biomasa:

---

<sup>5</sup> Wood gas as engine fuel, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION ON THE UNITED NATIONS, ROME 1986, página 11

**Tabla 2.8 Poder calorífico aprovechable del Syngas**

GAS	VALOR CALORÍFICO (kJ/m <sup>3</sup> )
Monóxido de Carbono	12655
Hidrógeno	10770
Metano	35825

**Tabla 2.9 Caracterización del Syngas<sup>6</sup>**

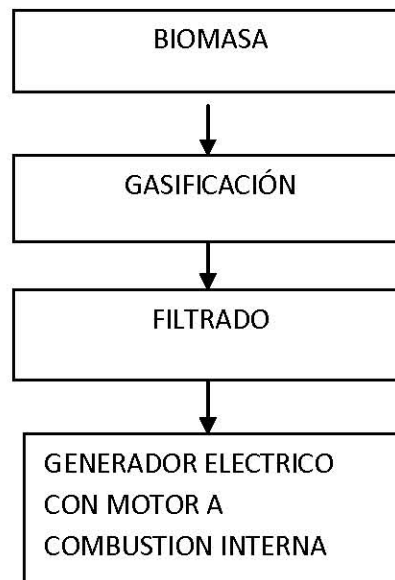
Composición	Bio-Gas
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	18.0%
Monóxido de Carbono (CO)	24.0%
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	6.0%
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	4%
Metano(CH <sub>4</sub> )	3.0%
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	48.6%
Etano (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	--

<sup>6</sup> <http://www.treepower.org/fuels/biomasssyngas.html> **Chemical Composition of Biomass Syngas, Coal Syngas, and Natural Gas**

## CAPITULO 3

### SISTEMA DE GENERACION DE ENERGIA EN BASE A LA COMBUSTION DE BIOMASA

El proceso de generación de energía eléctrica comienza por la recolección de biomasa seca de la palma africana que es introducida al tanque gasificador, en donde se llevará a cabo el proceso de combustión incompleta para producir la gasificación del metano y otros gases. En este proceso el gas producido tiene un alto contenido de alquitranes, agua y pequeñas partículas de ceniza por lo que se somete a un tratamiento de filtrado y reducción de temperatura a fin de lograr que este en óptimas condiciones para ser combustionado dentro del motor del generador, Este proceso se ve sintetizado en el siguiente diagrama de bloques:



**Figura 3.1 Diagrama de los bloques de un sistema de generación**

Al comenzar con el desarrollo del diseño de generación del gas combustible, encontraremos la cantidad de energía que se requiere producir para escoger la capacidad del motor generador y sus dimensiones.

### 3.1 SELECCIÓN DEL MOTOR

Al seleccionar la cantidad de energía a generar tomamos como referencia la energía consumida en un hogar promedio por hora:

Consumo = [Unidades 10] x [consumo 25 watts] /hora

Horno Micro onda

Consumo = 1400 watts x [Horas de uso], consumo normal diario de un Microonda es de 30 min

Refrigerador Tamaño 5 pies No-frost,

Consumo promedio por día 365 watts/ 24 horas= 15,2 watts /hora

TV de Plasma de 32"

Consumo = 234 watts /hora

Computador de mesa con monitor LCD de 19", impresora y MODEM.

Consumo promedio = 160 watts /hora

Entonces, en total el consumo mínimo promedio en una casa es de 1359,2 w/h en caso de que se necesite una cantidad extra de energía le añadimos el 10%, por lo tanto la energía que se necesita generar por cada hora será de 1500 w.

#### 3.1.1 POTENCIA REQUERIDA PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR

El motor de combustión interna que se usara en el actual proyecto será adquirido en Pintulac. Será el motor BN 2500 por el análisis antes mencionado y sus especificaciones que a continuación están dadas por el fabricante.

##### - ESPECIFICACIONES DEL MOTOR

Potencia requerida: 1500W

MOTOR:

Desplazamiento ( $\Delta r$  L): 0,163 L

RPM: 3000

Recorrido del cilindro (L):0,0 45 m

Diámetro del cilindro (D): 0,068 m

- Volumen calculado del motor ( $V_c$ ):

$$V_c = \frac{1}{4} \pi \times D^2 \times L = 0,00016 \text{ m}^3 \quad [2.1]$$

- CALCULO DEL CAUDAL VOLUMÉTRICO DEL MOTOR

Volumen máximo de la mezcla Aire/Combustible  $V_{m\acute{a}x}$  ( $\text{m}^3/\text{seg}$ )

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{1/2 \times RPM \times \Delta r \text{ m}^3}{60 \times 1000} \quad [2.2]$$

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{1/2 \times 3000 \frac{rev}{min} \times 0,163 \text{ l}}{60 \frac{seg}{min} \times 1000 \text{ l/m}^3}$$

$$V_{m\acute{a}x} = 0,004075 \text{ m}^3/\text{seg}$$

En donde:

$V_{m\acute{a}x}$  ( $\text{m}^3/\text{seg}$ ): Caudal volumétrico máximo de la mezcla aire-combustible

RPM (revoluciones/min): Revoluciones por minuto del motor

D (l): Desplazamiento del cilindro.

La relación en la dosificación de aire-combustible en el motor es de 1,1:1, con lo que tenemos que el volumen de combustible ( $V_{com}$ ) está dado por la siguiente fórmula:

$$V_{com} = \frac{1}{2,1} \times V_{m\acute{a}x} \quad [2.3]$$

$$V_{com} = \frac{1}{2,1} \times 0,004075$$

$$V_{com} = 0,001940 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Se debe tener en cuenta la eficiencia volumétrica del motor  $f$  (%) la cual esta dada para motores de combustión interna del 80%

$$f(\%) = 80\% \quad [2.4]$$



Por lo tanto el valor real de la inyección de gas por segundo  $V_{real}$  ( $m^3/seg$ ) es de:

$$V_{real} = f \times V_{com}(m^3) \quad [2.5]$$

$$V_{real} = 0,8 \times 0,002098(m^3/seg) = 0,001679 m^3/seg$$

### 3.2 DISEÑO DEL GASIFICADOR DE TIRO INVERTIDO



**Figura 3.2 Gasificador de Tiro Invertido La Concordia**

El gasificador de este proyecto está dirigido al proceso de gasificación de los residuos de palma africana, en donde se ha tomado en cuenta que la densidad de la materia prima es lo suficientemente alta para no generar los problemas antes descritos dentro del gasificador.

Un factor realmente importante y determinante en el uso de esta técnica, así como en el ámbito económico, es la eficiencia mecánica del uso de este gasificador, por lo cual tomamos la siguiente fórmula que relaciona la cantidad de poder calórico, por unidad de caudal, en kilogramos por cada segundo de

entrada, con respecto al poder calórico por unidad de caudal en metros cúbicos por segundo.

Valor calorífico de la biomasa: <sup>7</sup>

**Tabla 3.1 Propiedades y producción de los principales productos de la costa ecuatoriana**

RESUMEN PROVINCIAL – LOS RÍOS / EL ORO / PICHINCHA								
Producto	% Humedad Muestra	Residuo Seco T.M. / año			kcal/kg	Kcal x 10 <sup>9</sup>		
		Los Ríos	El Oro	Pichincha		Los Ríos	El Oro	Pichincha
Fibra de Palmiste de Palma Africana	77,6	5351,6	*	73	4368	23,4	*	0,32
Cascarilla de la Nuez de Palma	12,8	41666	*	*	3890	162,1	*	*
Concha de Macadamia	6,8	1,3	*	26,1	6593	0,01	*	0,17
Pulpa y Cascarilla de Café	31	17,5	192	*	4781	83,8	0,9	*
Cascarilla de Arroz	30,3	103862	1113	106	3294	342,1	3,7	0,35
Fibra de Pulpa de	23,3	54973,6	*	15039	4100	225,4	*	62

<sup>7</sup> Proyecto de Investigación de Biomasa para la Producción de Energía, CORPORACION PARA LA INVESTIGACIÓN ENERGÉTICA

Palma Africana								
Raquis de Banano	90,8	47084	29930	56	3779	177,9	113,1	0,21
Raquis de Palma Africana	16,6	66418	*	33366	4522	300,3	*	151
Tusa de Maíz Duro	8	67508	832	*	5433	366,8	4,5	*
Caña de Azúcar	30	10982	18955	*	4500	49,4	85,3	*
Raquis de Plátano	90,8	*	136	162	3779	*	0,5	0,61
Concha Almendra de Palma Africana	12,8	*	*	974	3890	*	*	3,8
Caña de Azúcar	90	*	*	36451	4500	*	*	164
Cascarilla de Café	31	*	*	24	4781	*	*	0,11
Tuza de Maíz Duro Seco	8	*	*	112	5433	*	*	0,61
Residuos de Caña guadúa	60	*	*	624	5735	*	*	3,58
TOTAL		397864	51158	87013,1		1731,21	208	386,77

Con el poder calórico de la biomasa (desecho seco de la palma africana) obtenido en el Capítulo I, podemos obtener el potencia del gas ( $P_{cv}$ ) o del combustible en función del volumen. Usamos la siguiente fórmula:

$$P_{cv} = V_{real} \times \rho \times P_c = 0,001679 \frac{m^3}{seg} \times 363,63 \frac{Kg}{m^3} \times \frac{4100Kcal}{Kg}$$

$$P_{cv} = 6,884 \text{ KW}$$

$P_{cv}$  (KW): Poder calorífico del gas en función del volumen.

$\rho$  ( $\frac{Kg}{m^3}$ ): Densidad del desecho seco de la palma africana.

$P_c$  (Kcal/Kg): Poder calórico del combustible.

La eficiencia del motor ( $\eta$ ) depende particularmente de su radio compresión.

Para un radio de compresión de 8,5:1 tenemos que:

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{(\gamma)-1}} \quad [ 2.6]$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{8,5^{(0,38)} - 1}$$

$$\eta = 0,2237$$

Conociendo la eficiencia del motor, tenemos que la energía que genera el motor es:

$$P_{m\acute{a}x} = 6,884 \times 0,2237$$

$$P_{m\acute{a}x} = 1,45 \text{ KW}$$

### 3.2.1 DIMENSIONAMIENTO DEL GASIFICADOR

En el dimensionamiento del gasificador tomamos en cuenta la carga en el gasificador en función de la cantidad de gas que se debe producir por hora, es decir la velocidad de producción del gas a través de la zona más estrecha del gasificador. Para el cálculo de la cantidad de gas que se deberá producir, se debe tomar en cuenta primero la cantidad de gas que necesita el motor a fin de que opere de manera óptima.

Tomamos el valor real de la inyección  $V_{real}$  de gas en el motor obtenida en la sección 3.1. Selección del motor; esta cantidad la usamos para obtener el

poder calorífico del gas en función del peso de la biomasa; entonces tenemos que:

$$P_{cv} = V_{real}(m^3) \times \rho \times P_c \left( \frac{Kcal}{Kg} \right) \quad [2.7]$$

$$P_{cv} = 0,0016(m^3) \times 363,63 \frac{Kg}{m^3} \times 4100 \left( \frac{Kcal}{Kg} \right)$$

$$P_{cv} = 6,5 \text{ KW}$$

En donde:

$P_{cv}$  (KW): poder calorífico del gas en función del volumen

$\rho \left( \frac{Kg}{m^3} \right)$ : Densidad del desecho seco de la palma africana.

$P_c$  (kcal/kg): poder calorífico del combustible.

### 3.2.2 CONSUMO DE BIOMASA EN EL GASIFICADOR

La eficiencia térmica del gasificador se considera de aproximadamente el  $\eta=70\%$ ; con esta eficiencia la generación de energía en el gasificador deberá ser de:

$$P_{gen} = \frac{P_{cv}}{\eta_g} \quad [2.8]$$

En donde:

$P_{gen}$  (KW): Potencia que se necesita genere el gasificador

$\eta_g$ : Eficiencia del gasificador

$P_{cv}$  (KW): poder calorífico del gas en función del volumen

Reemplazando los valores obtenidos anteriormente tenemos que:

$$P_{gen} = \frac{6,5 \text{ KW}}{0,7}$$

$$P_{gen} = 9,285 \text{ KW}$$

La materia prima en el gasificador por pirolisis es la fibra de pulpa de palma africana, que con un contenido de 23,3% de humedad para la zona de La Concordia tiene un valor calórico de 4100Kcal/Kg, que multiplicado por el factor de conversión 4,18 KJ, nos da la cantidad de energía por cada kilogramo de biomasa:

$$VC = 4100 \times 4,18 = 17138 \text{ KJ/Kg}$$

Por lo tanto el consumo de biomasa ( $m$ ) en el gasificador es de:

$$m = \frac{P_{gen}}{VC} \quad [2.9]$$

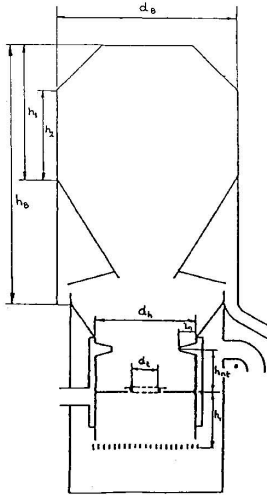
$$m = \frac{9,285 \text{ (KW)}}{17138 \text{ (KJ/Kg)}}$$

$$m = 0,000541 \text{ Kg/seg}$$

Y la cantidad de consumo de biomasa en Kg/ hora es:

$$M = 1,95 \text{ Kg/hora}$$

Una vez obtenida la cantidad de biomasa que se utilizará en el proceso de pirolisis, podemos empezar con el dimensionamiento del gasificador. La siguiente tabla nos muestra las principales dimensiones de un gasificador de biomasa estándar para biomasa de baja densidad. El uso de la siguiente tabla se lo hace mediante el valor de la cantidad de biomasa a quemarse en Kg/h. Con este dato entramos a la tabla y obtenemos las principales dimensiones de un gasificador.



**Figura 3.3**      **Dimensiones gasificador**

TIPO DE GASIFICADOR	PRINCIPALES DIMENSIONES DE EL CORAZON Y ZONA DE REDUCCION DEL GASIFICADOR							PRODUCCION DE GAS m3/h		CONSUMO DE BIOMASA EN CARGA MAXIMA Kg/h
	Dh	dt	hnt	Hr	N	Dn	In	Máy	Min	
F-3	310	60	115	175	6	7	50	25	4	12
60-120	310	80	125	165	6	8	50	50	6	25
F-300	310	100	135	155	6	9,5	40	80	8	35
60/120	310	120	145	145	6	11,5	40	115	12	50
F-5	370	80	125	205	7	9	60	60	7	25
80-150	370	100	135	195	7	10	60	80	10	35
F-500	370	125	145	185	7	11	50	120	13	55
80/150	370	150	155	175	7	12	50	165	18	75
F-7	430	110	140	275	9	9,5	70	105	13	50
110-180	430	130	150	265	9	10,5	70	135	17	60
F-700	430	155	160	255	9	12	50	170	22	80
110/180	430	180	170	245	9	14	50	220	28	100

**Tabla 3.2<sup>8</sup> Dimensiones de gasificadores estándar**

<sup>8</sup> Wood gas as engine fuel, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION ON THE UNITED NATIONS, ROME 1986, página 11  
BIOMASS GASIFICATION AND PYROLYSIS, Praib Basu, Burlington, MA, USA, 2010



DIMENSIONES DEL CONTENEDOR DE COMBUSTIBLE (mm)				
dB	627	627	627	720
hB	790	930	1270	1450
h1	340	480	820	900
h2	220	360	700	610

VOLUMEN TOTAL m <sup>3</sup>	0,155	0,199	0,304	0,401
------------------------------	-------	-------	-------	-------

Tipo F-3

Tipo F5

Tipo F7

**Tabla 3.3** <sup>9</sup> Dimensiones del contenedor

#### Gasificadores tipo F3

El gasificador de biomasa de tiro invertido de tipo F3, está configurado para que la biomasa como materia prima no tenga ningún tipo de proceso previo a su utilización, es decir que este tipo de gasificadores están diseñados para biomasa seca de pequeñas dimensiones, como paja y desechos secos triturados.

#### Gasificadores tipo F5 – F7

En este tipo de gasificador F5 – F7, la biomasa tiene que tener un proceso de aglutinamiento para formar briquetas de la materia prima o es usado para biomasa de gran tamaño como bloques de madera.

#### Selección de alternativas

Elegimos el F3 porque tenemos el cuesco y fibra de palma africana que esta constituido en pequeñas dimensiones cuyo ingreso al gasificador no necesita de preparación previo de la materia prima.

<sup>9</sup> Wood gas as engine fuel, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION ON THE UNITED NATIONS, ROME 1986, página 11

### 3.2.3 DIMENSIONAMIENTO

Tomamos las dimensiones principales del gasificador, teniendo en cuenta la cantidad de biomasa que se requiere para generar la cantidad de gas combustible durante el óptimo funcionamiento de un motor a combustión interna que genere 1,5KW/h de potencia, es decir, que para la generación de 1,5KW y con una eficiencia de funcionamiento del gasificador igual a 0,7, necesitamos 1,95 Kg de pulpa de fibra de palma africana por cada hora. Aproximamos este valor a uno de los valores estandarizados en la tabla 8 y se especifica que la biomasa entra en la categoría para gasificadores de tipo F3. Entonces tenemos que las dimensiones serán las siguientes:

**Tabla 3.4 Selección de dimensiones**

TIPO DE GASIFICADOR	PRINCIPALES DIMENCIONES DE EL CORAZON Y ZONA DE REDUCCION DEL GASIFICADOR							PRODUCCION DE GAS m3/h		CONSUMO DE BIOMASA EN CARGA MAXIMA Kg/h
	dh	dt	hnt	hr	N	Dn	ln	Máy	Min	
F-3 60-120 F-300 60/120	310	60	115	175	6	7	50	25	4	12

### 3.2.4 DISEÑO DEL ESPESOR DE LAS PAREDES EN EL GASIFICADOR

#### 3.2.4.1 Diseño de paredes de la zona de depósito



**Figura 3.4 Zona de Depósito del Prototipo**

Para el cálculo del espesor de la pared refractaria hemos tomado como referencia la pérdida de calor que se tiene al final del proceso, es decir tomamos como referencia la eficiencia del gasificador que es de 0,7.

Pérdida de calor ( $Q_p$ ):

$$Q_p = P_{gen} \times 0,3 \quad [2.10]$$

$$Q_p = 9,285 \times 0,3$$

$$Q_p = 2,785 \text{ KW}$$

En donde  $P_{gen}$  (KW) es la energía generada por el gasificador.

Tomamos el caso de transferencia de calor a través de un material sólido para lo que utilizaremos la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{kA}{L} (T_2 - T_1) \quad [2.11]$$

En donde:

k: Coeficiente de transferencia de calor del ladrillo refractario

A (m<sup>2</sup>): Área de la zona de almacenamiento.

L(m): Espesor de la pared de ladrillo refractario

T2 (°C): Temperatura del exterior del ladrillo

T1 (°C): Temperatura de secado

El área total de la pared de la zona de depósito se calcula mediante la ecuación del área de un cilindro conico, en donde  $Hb$ <sup>10</sup> (m) es la altura del tanque de la zona de depósito y  $R$  (db/2)<sup>11</sup> su radio.

$$Af = \pi \times R \times HB \quad [2.12]$$

$$A = \pi \times 0,3134m \times 0,79$$

$$A = 1,555 \text{ m}^2$$

En el momento de operación del gasificador llegaremos a temperaturas considerablemente altas, las cuales son un riesgo para el personal que opera el gasificador, al igual que para las personas que por cualquier motivo estén cercanas a la máquina. Con esta consideración necesitamos un nivel de aislamiento en todas las zonas del gasificador. Teniendo en cuenta que una temperatura tolerable al operador será de 50 °C

Remplazando en la ecuación [2.11] tenemos que:

$$2,7855 \text{ KW} = \frac{0,47 \times 1,555m}{L} \times (250^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C})$$

$$L = \frac{0,47 \times 1,555m}{2,7855\text{KW}} \times (250^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C})$$

$$L = 0,052 \text{ mm}$$

---

<sup>10</sup> TABLA 2.5

<sup>11</sup> TABLA 2.5

Al tener un diámetro de la zona de depósito de 24,68 plg = 62,7 cm, se puede considerar como tubería predeterminada en el manual de Diseño Mecánico.

Siguiendo el código de tuberías B31.3-1999, para tuberías con fluidos corrosivos, incluidos sólidos fluidizados para todo tipo de servicios. Para el espesor de la pared de la zona de depósito se tiene la siguiente ecuación con dimensiones internas:

$$t = \frac{Pd}{2[SE - P(1 - Y)]} + CA \quad [2.13]$$

En donde:

T (plg): Espesor de la pared

P (Psi): Presión de trabajo de la pared

D (plg): Diámetro interno

S: Esfuerzo a tensión del material

E: Coeficiente de soldadura

Y: coeficiente de diseño mecánico en función de la temperatura de operación del tanque

CA: Corrosión admisible

Reemplazando los valores tenemos que:

P: 1atm= 14,7 Psi

d: 24,68 plg

Material SA 36: S=16600 Psi

E=1

Y<sup>12</sup> = 0,4 a una temperatura de hasta 250°C

$$t = \left[ \frac{14,7 \text{ Psi} \times (24,68 \text{ plg} + 2,05931 \text{ plg})}{2[(16600 \times 1) - 14,7(1 - 0,4)]} + (1/8) \right] \times 0,0254$$

$$t = 0,0032 \text{ m}$$

<sup>12</sup> Table: VALUES OF Y & y, PRESSURE VESSEL HANDBOOK, página 209

$$t = 1/8 \text{ "}$$

Especificación de la tubería:

Tubería 27" SCH 10

### 3.2.4.2 Diseño de paredes de las Zonas de Pirolisis, Oxidación y Reducción

- Cálculo del espesor de la pared aislante de ladrillo refractario:

- Área interna de la zona de pirolisis:

Dimensiones:

Altura de la zona de pirolisis:

$$H = hr + hnt \quad [2.14]$$

$$H = 0,175 + 0,115$$

$$H = 0,29 \text{ m}$$

Área:

$$A = 2\pi r \times H$$

$$A = 2\pi \times 0,155 \times 0,29$$

$$A = 0,282 \text{ m}^2$$

Para el cálculo del espesor de la pared refractaria, hemos tomado como referencia la pérdida de calor que se tiene al final del proceso de pirolisis, es decir tomamos como referencia la eficiencia del gasificador que es de 0,7.

Pérdida de calor:

$$Qp = Qgen \times 0,3$$

$$Qp = 9,285 \times 0,3$$

$$Q_p = 2,785 \text{ KW}$$

Tomamos el caso de transferencia de calor a través de un material sólido para lo que utilizaremos la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{kA}{L} (T_2 - T_1) \quad [2.15]$$

En donde:

k: Coeficiente de transferencia de calor del ladrillo refractario

A (m<sup>2</sup>): Área de la zona de pirolisis.

L (m): Espesor de la pared de ladrillo refractario

T2 (°C): Temperatura del exterior del ladrillo

T1 (°C): Temperatura de pirolisis

Reemplazando tenemos que:

$$2,7855 \text{ KW} = \frac{0,47 \times 0,282 \text{ m}}{L} \times (1500^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C})$$

Despejando L:

$$L = \frac{0,47 \times 0,282 \text{ m}}{2785,5 \text{ KW}} \times (1500^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C})$$

$$L = 0,069 \text{ m}$$

$$L = 7 \text{ cm}$$

El diámetro de las zonas de pirolisis, oxidación y reducción viene dado por el valor de  $d_h = 310 \text{ mm} + 6 = 12,44 \text{ plg}$  que se considera como tubería predeterminada en el manual de Diseño Mecánico

Para el espesor de la pared de estas zonas se tiene la siguiente ecuación con dimensiones internas:

$$t = \frac{Pd}{2[SE-P(1-Y)]} + CA \quad [2.16]$$

En donde:

T (plg): Espesor de la pared

P (Psi): Presión de trabajo de la pared

D (plg): Diámetro interno

S: Esfuerzo a tensión del material

E: Coeficiente de soldadura

Y: coeficiente de diseño mecánico en función de la temperatura de operación del tanque

Reemplazando los valores tenemos que:

P: 1atm= 14,7 Psi

d: 12,44plg

Material SA 36: S=16600 Psi

E=1

Y = 0,4 a una temperatura de hasta 1500°C

$$t = \left[ \frac{14,7Psi \times 13plg}{2[(16600 \times 1) - 14,7(1 - 0,4)]} + \left(\frac{1}{8}\right) \right] \times 0,0254$$

$$t = 0,00322m$$

$$t = \frac{1}{8} \text{ "}$$

### 3.2.4.3 Unión bridada entre la zona de almacenamiento y la de pirolisis.

La unión de la zona de pirolisis y la de almacenamiento se la logrará mediante una brida que tiene un espesor igual a  $\frac{1}{8}$ ", se utilizaran 12 pernos M8 y la brida deberá tener 400 mm de diámetro externo.



### 3.2.4.4 Cálculo del espesor del faldón de unión entre la brida y la zona de pirolisis

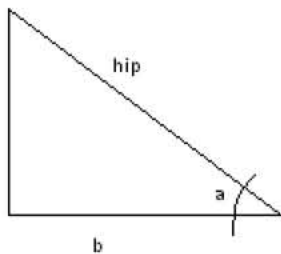
El faldón será la unión que servirá como reducción entre la zona de almacenamiento con un diámetro de 0,61m, a la zona de pirolisis con un diámetro de 0,355m.

$$\Phi_1 = d_B = 0,61\text{m}$$

$$\Phi_2 = d_h - 2l_n = 0,355 - 0,1 = 0,255$$

$$\alpha = 15^\circ$$

Área del Faldón:



$$b = 0,75 \times 158,5$$

$$b = 118,87 \text{ m}$$

$$\cos \alpha = \frac{b}{hip}$$

$$hip = \frac{b}{\cos \alpha}$$

$$hip = \frac{118,875}{\cos 15^\circ} = 123,06 \text{ mm}$$

Área total del faldón:

Utilizamos la ecuación del área de un cono truncado y tenemos que:

$$A_f = \pi \times b \times hip \quad [2.17]$$

$$A_f = \pi \times (0,610 + 0,255) \times 0,12306 = 0,3344 \text{ m}^2$$

Al tener espesores iguales entre las paredes de las zonas de almacenamiento y pirolisis, el espesor del faldón tendrá de igual manera un espesor de  $\frac{1}{8}$ .

### 3.2.4.5 Diseño de la cabeza o tapa del gasificador

La selección del tipo de tapa o cabeza del gasificador se la realizó tomando en cuenta la facilidad de su manufactura y la capacidad de soportar mayores presiones en el caso que se presenten imprevistos, en cuanto a algún daño posterior en el funcionamiento por mal manejo del gasificador.

$\Phi$ : 0,36 m

R=0,153 m

Material A - 36

S: Esfuerzo a tensión del material= 16600

**Tabla 3.5** Tabla de valores de eficiencia de las juntas soldadas.<sup>13</sup>

E/Rx		
1	FULL	TOTAL
0,85	SPOT	POR PUNTOS
0,7	NONE	NO

E: 0,7

Po: 1 atm= 14,7 psi

La presión que tomamos en la tapa para diseño será la presión de operación sumado un 10% debido a posibles fallas.

$$Pd = Po \times 1,1 = 16,7psi$$

Cálculo del espesor de la cabeza:

$$t = \frac{PD \times (R + CA)}{2SE - 0,2P} + CA \quad [2.18]$$

$$t = \left[ \frac{16,7 \times (12 + \frac{1}{8})}{2 \times 16600 \times 0,7 - 0,2 \times 16,7} + \frac{1}{8} \right] \times 0,0254$$

<sup>13</sup> Tabla Eficiencia de la Junta, CODIGO ASME, SECCION VIII DIVISIÓN 1, DISEÑO DE RECIPIENTES.

$$t = 0,003 \quad m$$

$$t = \frac{1}{8} \quad plg$$

### 3.2.5 ENTRADAS DE AIRE

El número de las entradas de aire están tabuladas de acuerdo a la capacidad de carga del gasificador y de acuerdo a sus dimensiones. Como se muestra en la tabla 7 en donde consta el número óptimo de entradas de aire y sus diámetros, para un consumo máximo de 12Kg por hora de biomasa en el gasificador necesitamos:

**Tabla 3.6 Dimensiones y cantidad de agujeros**

TIPO DE GASIFICADOR	Número de entradas de aire		CONSUMO DE BIOMASA EN CARGA MAXIMA Kg/h
	N	Dn	
F-3	6	7	12
60-120			
F-300			
60/120			

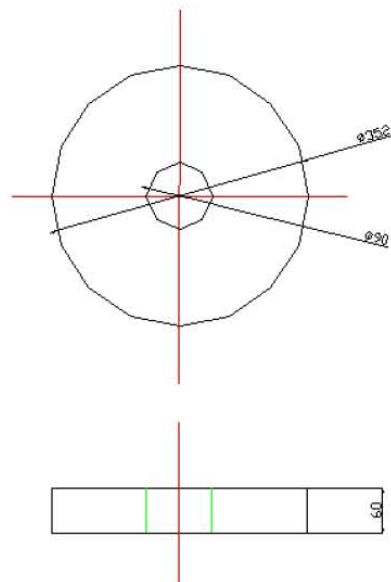
Se deberá colocar por cada una de las entradas de aire un refuerzo para unir la tubería de las entradas de aire con el cuerpo del gasificador. Para calcular el espesor de la arandela de refuerzo para la tubería de entrada de aire, utilizamos el siguiente criterio:

Estimamos la proyección de la tubería de entrada de aire hacia el interior del gasificador:

$$h = \text{proyección interna de la boca} = 3''$$

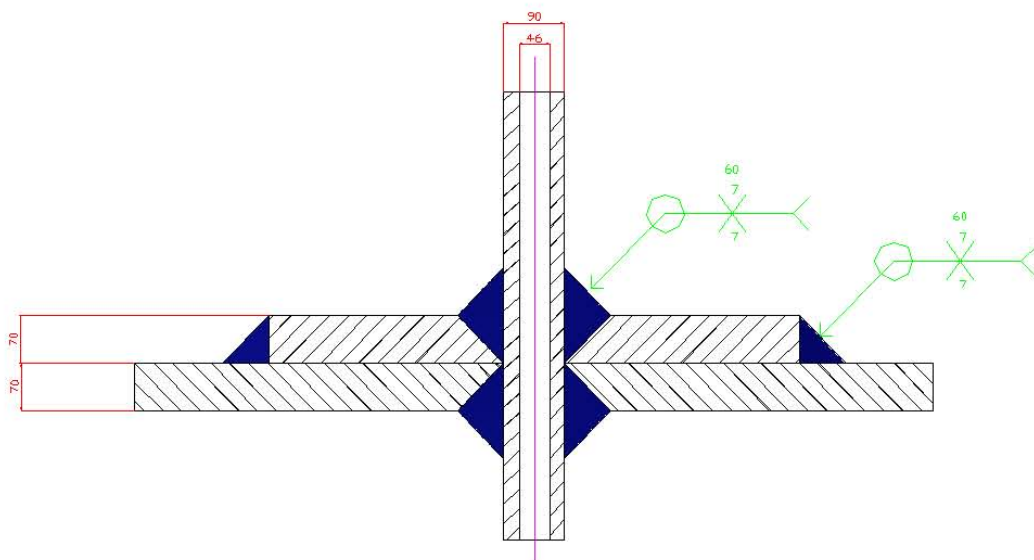
El diámetro de la arandela de refuerzo deberá ser de 5 veces el diámetro de la tubería de la entrada de aire y con una abertura central igual al diámetro de la tubería.

Por código el espesor de las arandelas de refuerzo, deberá ser igual al espesor de la pared a la que se unirá la tubería.



**Figura 3.5 Vista de arandelas**

Soldadura de las entradas de aire mediante esta condición:



### **Figura 3.6 Diagrama de soldaduras**

#### **ENTRADAS DE AIRE:**

Las entradas de aire están constituidas por tuberías de 7 milímetros de espesor, en cuyo interior debe implementarse válvulas check para evitar que el aire que ingrese pueda salir.

#### **3.2.6 SISTEMA DE VACÍO POR VENTURI**

Para crear el vacío dentro del gasificador, necesitamos en primera instancia encontrar la cantidad de aire que se necesita ingresar a la cámara de combustión, ya que por el hecho de que las presiones dentro y fuera del gasificador son las mismas, no existe un ingreso de aire continuo en la cámara.

Se debe tener mucho cuidado en la cantidad de aire que se va a proporcionar al interior del gasificador, ya que se debe obtener una combustión incompleta de la biomasa. Esto se logra con una restricción de oxígeno en la reacción para obtener las características de ambiente, pues se debe ingresar solamente un 25% de oxígeno mediante vacío a la cámara de combustión del gasificador.

### **3.3 SISTEMA DE VACÍO POR VENTURI**

#### **3.3.1 CALCULO DEL CAUDAL DE AIRE EN LAS ENTRADAS**

El cálculo del área de ingreso de aire se debe realizar tomando en cuenta el total de número de entradas de aire en el sistema, por lo tanto tenemos 6 entradas de un diámetro de 7mm cada una.

Área de ingreso de aire:

$$A_i = \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right) \times 6 \quad [2.19]$$

$$A_i = \left( \frac{1}{4} \pi 0,007^2 \right) \times 6$$

$$A_i = 0,00023 \text{m}^2$$

#### Caudal volumétrico

Los procesos de combustión y de oxidación tienen algo en común: la unión de una sustancia con el oxígeno. La única diferencia es la velocidad con que el proceso tiene lugar. Así, cuando el proceso de unión con el oxígeno es lo bastante lento como para que el calor desprendido durante el mismo se disipe en el ambiente sin calentar apreciablemente el cuerpo, se habla de oxidación. Si el proceso es rápido y va acompañado de un gran aumento de temperatura y en ocasiones de emisión de luz (llama), recibe el nombre de combustión.

Ésta última consiste en una combinación química con el oxígeno de la atmósfera para dar dióxido de carbono y agua. Se obtiene una gran cantidad de energía que se utiliza con fines industriales y domésticos.

Cuando el aire utilizado en la combustión contiene mayor cantidad de oxígeno que la necesaria, el rendimiento disminuye, al utilizar parte de su calor para elevar la temperatura de una masa superior de aire que no contribuye en nada a la energía liberada.

Para el cálculo de la cantidad de oxígeno necesaria para una combustión incompleta de la biomasa, hacemos referencia a la siguiente ecuación química:



El peso por hora requerido de biomasa es de 1,95kg/hora a lo que le extraemos el 23,3% de humedad y así obtenemos la cantidad de agua que tiene la biomasa:

$$\text{Biomasa seca} = 1950 \text{g} \times 0,767 = 1495,65$$

Análisis estequiométrico de la ecuación:

CH<sub>2</sub>O

C: 12

H<sub>2</sub>: 2

$$n = \frac{1495,65 \text{ g}}{30 \text{ g/mol}} = 49,855 \text{ moles}$$

O: 16

TOTAL: 30

H<sub>2</sub>O:

H<sub>2</sub>: 2

O: 16

$$n = \frac{(1950 - 1495,65) \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 25,24 \text{ moles}$$

TOTAL: 18

O<sub>2</sub>

O<sub>2</sub>: 16 x 2

TOTAL: 32

Entonces tenemos que el flujo másico de oxígeno es de:

$$1495 \text{ g} \left| \frac{1 \text{ mol de bagazo}}{30 \text{ g}} \right| \left| \frac{1 \text{ mol O}_2}{1 \text{ mol de bagazo}} \right| \left| \frac{32 \text{ g O}_2}{1 \text{ mol O}_2} \right| = 1594,66 \text{ g de O}_2/\text{hora}$$

En la composición del aire tenemos que el 21,1% de éste es oxígeno y con una densidad de aire a presión igual a una atmosfera y temperatura de 25°C de 1,184 kg/m<sup>3</sup>.

$$\rho_{\text{aire}} = \frac{m}{V}$$

Despejamos el caudal y tenemos que:

$$V = \frac{m}{\rho_{\text{aire}}} \quad [2.20]$$

$$V = \frac{1594,66 \text{ g/h}}{1184 \text{ g/m}^3} = 1,3468 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V = 3,741 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg}$$

La cantidad de oxígeno a la que se debe reducir para obtener una combustión incompleta es del 75% por lo tanto:

$$V = (3,741 \times 10 - 4) \frac{m^3}{seg} \times 0,25 = 9,353 \text{ € } -5 \text{ m}^3/seg$$

### 3.3.2 VELOCIDAD DE ENTRADA DEL AIRE

$$V = A1 \times v1 \quad [2.21]$$

Despejamos v1:

$$v1 = \frac{A1}{V}$$

$$v1 = \frac{0,00023m^2}{9,353 \text{ € } -5 \text{ m}^3/seg} = 2,45 \text{ m/seg}$$

En donde:

V: caudal volumétrico del fluido

A: es el área de las entradas de aire

V: velocidad antes de ingreso de aire en m/s

### 3.3.3 PRESIÓN INTERNA NECESARIA PARA EL INGRESO DE AIRE EN LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN

Utilizando la ecuación de Bernoulli

$$\frac{P1}{\rho g} + \frac{V0^2}{2g} = \frac{PG}{\rho g} + \frac{V1^2}{2g} \quad [2.22]$$

En donde:

P1 (Pa): presión inicial



P (Pa): densidad del fluido (aire) =1184 g/m<sup>3</sup>

Vo: velocidad inicial

PG: presión dentro del gasificador

V1: velocidad de entrada del aire al gasificador

G: gravedad

En donde la velocidad inicial Vo es igual a cero, P1 es igual a la presión atmosférica y PG es la presión necesaria en el interior de la cámara.

Despejamos P2 y tenemos que:

$$PG = \rho \left( \frac{P1}{\rho} - \frac{v1^2}{2} \right) \quad [2.23]$$

$$PG = 1,184 \text{ kg/m}^3 \left( \frac{101325 \text{ kg m/seg}^2}{1,184 \text{ kg/m}^3} - \frac{(2,45)^2 \text{ m/seg}^2}{2} \right)$$

$$PG = 101323,54 \text{ Pa}$$

### 3.3.4 DISEÑO DEL TUBO VENTURI

El tubo Venturi se caracteriza por la restricción de la sección del flujo en una sección de la tubería, en donde se puede observar una caída de presión debido al aumento de la velocidad en el sitio de la restricción. La caída de presión entre dos puntos, punto 1 (P1) antes de la restricción y punto 2 (P2) después de la restricción, se puede medir mediante un transductor diferencial o manómetro.

El tubo Venturi deberá cumplir la función de absorber el gas y sacarlo del gasificador durante el arranque, después el motor se encarga de esta tarea. Por lo tanto el vacío que produce el motor en el gasificador deberá ser la misma que ejerza el Venturi en el arranque.

Para conocer el vacío que produce el motor tenemos la prueba de presión en el múltiple de admisión MAP:

#### Tabla 3.7 Prueba MAP

## PRESION

(bar)          RPM

1,2	0
0,8	1523,8
0,6	2285,71
0,4	3047,61

## CALCULO DEL VACIO EN EL GASIFICADOR

$P_m = \text{Presión MAP} = \text{Presión } 0,4 \text{ bar} \times 14.5004 \text{ (psi/bar)} = 7,25 \text{ psi}$

Peso específico de syngas ( $P_{sg}$ ) = 0,042 psi

Peso específico del aire ( $P_{aire}$ ) = 0,077 psi

Altura del gasificador ( $h_g$ ) = 3 psi

$$P_g = (P_m - d(\rho_{sg}) \times P_{sg} - h_g \times P_{aire}) 703,07 \text{ Kg/m}^2 \quad [2.24]$$

$$P_g = (7,25 - 32,8 \times 0,042 - 3 \times 0,077) 703,07$$

$$P_g = 6227,86 \text{ kgf/m}^2$$

$$P_g = 6227,86 \times 0,0000968 = 0,603 \text{ atm} = 61996,5 \text{ Pa}$$

### 3.3.4.1 Ecuación de Equilibrio de masa

$$V = A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2 \quad [2.25]$$

En donde:

V: caudal volumétrico del fluido

A1: es el área de la tubería antes de la restricción

V1: es la velocidad antes de la restricción

A2: es el área de la tubería después de la restricción

V2: es la velocidad después de la restricción.

### 3.3.4.2 Ecuación de Bernoulli

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} \quad [2.26]$$

$$\frac{101325 \text{ Pa}}{1000} + \frac{V_1^2}{2} = \frac{61997,5}{1000} + \frac{V_2^2}{2}$$

$$40,32 + \frac{V_1^2}{2} = \frac{V_2^2}{2}$$

$$V_2^2 - V_1^2 = (40,32 \text{ Pa}) \times 2 \text{ m/seg}^2$$

$$V_1^2 - V_2^2 = (80,65) \text{ m}^2/\text{seg}^2$$

$$V_1^2 - V_2^2 = (V/A_1)^2 - (V/A_2)^2 \quad [2.27]$$

En donde V es el caudal volumétrico

$$80,97 \text{ m}^2/\text{seg}^2 = (V/A_1)^2 - (V/A_2)^2$$

$$\sqrt{(80,98 \frac{\text{m}^2}{\text{seg}^2})} = \sqrt{((\frac{V}{A_1})^2 - (\frac{V}{A_2})^2)}$$

Con la relación anterior podemos darle valores a las incógnitas con lo que tenemos

$$8,98 \frac{\text{m}}{\text{seg}} = \sqrt{60 \text{m}^2/\text{seg}^2 - 20,98 \text{ m}^2/\text{seg}^2}$$

Por lo tanto

Dando un valor de 0,0166 m<sup>3</sup>/seg de caudal y según la bomba tenemos:

$$V_1 = \frac{\sqrt{60 \text{m}^2}}{\text{seg}^2} = 7,74 \text{m/seg}$$

$$V1 = \frac{V}{A1}$$

$$A1 = \frac{0,0166 \text{ m}^3/\text{seg}}{7,74 \text{ m}/\text{seg}}$$

$$A1 = 0,002\text{m}^2$$

$$R1 = \sqrt{\frac{A1 \times 4}{\pi}} \quad [2.28]$$

$$R1 = \sqrt{\frac{0,002 \times 4}{\pi}}$$

$$R1 = 0,05\text{m} = 2\text{plg}$$

Calculo del A2

$$V2 = \frac{\sqrt{20,98\text{m}^2}}{\text{seg}^2} = 4,58\text{m}/\text{seg}$$

$$V2 = \frac{V}{A2}$$

$$A2 = \frac{0,016 \text{ m}^3/\text{seg}}{4,58\text{m}/\text{seg}}$$

$$A2 = 0,0034\text{m}^2$$

$$R2 = \sqrt{\frac{A2 \times 4}{\pi}}$$

$$R2 = \sqrt{\frac{0,0034 \times 4}{\pi}}$$

$$R2 = 0,06\text{m} = 2\frac{5}{8}\text{plg}$$

Durante el proceso de gasificación de biomasa por pirolisis nos encontramos con varias etapas, en las que la materia se transforma hasta conseguir gases como CO, CO<sub>2</sub>, vapor de agua y metano, que es el agente combustible en el gas. Al final del proceso tenemos la mezcla de gases que pueden ser usados directamente, como por ejemplo en el uso de hornos, pero en el caso de los motores, ya sea para vehículos o para generación eléctrica, se deberá seguir un proceso de filtrado para eliminar la humedad, cenizas y alquitranes que interfieren en su uso en motores de combustión interna (MCI).

### **3.4 DISEÑO DE FILTROS**

#### **3.4.1 CANASTILLAS**

Las canastillas son una especie de alambrado de material resistente a la corrosión, de forma cilíndrica, en donde se colocan las mangas de tela para que en los periodos de filtración o limpieza, las mangas filtrantes no pierdan su forma o colapsen.

Por lo general, para mangas con diámetros menores a 160mm, la cantidad de varillas verticales estará entre 8 y 12; mientras que para mangas con diámetros mayores a 200mm, serán desde 16 hasta 20 varillas la cual se utilizara.

#### **3.4.2 SELECCIÓN DE TELA DE FILTRADO**

En la selección de las mangas de los filtros podemos optar por dos tipos de textiles que son los tejidos y los no tejidos. La diferencia está en que los tejidos tienen una porosidad constante y conocida, ya que sigue un patrón de tejido, mientras que los textiles no tejidos tienen un porosidad infinita por lo que su velocidad de filtración es muy alta y este material está expuesto a mucha tención el momento de filtrar cuando limpiamos los filtros.

La selección del textil que se utilizará en el filtro es un aspecto muy importante al momento de operar, por lo que el material está expuesto a diferentes factores como son:

- Temperatura del fluido
- Composición química de la mezcla de gases

Además, el medio filtrante debe satisfacer las siguientes condiciones:

- Gran capacidad para soportar esfuerzos
- Estabilidad térmica a temperatura de operación
- Estabilidad dimensional

**Tabla 3.8 Características de los tipos de fibras<sup>14</sup>**

Variables	Poliéster	Acrílico	Fibra de Vidrio*	Nomex*	Ryton*	P84*
Temperatura	275°F	285°F	500°F	375°F	375°F	500°F
Máxima de Oper.	(134°C)	(140°C)	(259°C)	(190°C)	(190°C)	(259°C)
Abrasión	Excelente	Bueno	Regular	Excelente	Bueno	Regular
Absorción de Energía	Excelente	Bueno	Regular	Bueno	Bueno	Bueno
Propiedades de Filtración	Excelente	Bueno	Regular	Excelente	Muy Bueno	Excelente
Calor Húmedo	Pobre	Excelente	Excelente	Bueno	Excelente	Bueno
Hidrólisis						
Alcalinos	Regular	Regular	Regular	Bueno	Excelente	Regular
Acidos Minerales	Regular	Bueno	Pobre**	Regular	Excelente	Bueno
Oxígeno (15%+)	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Pobre	Excelente
Coste Relativo	X	XX	XXX	XXXX	XXXXXX	XXXXXXX

Por lo tanto el factor más crítico en el filtrado del gas es la temperatura y la humedad llegando así a la utilización de un textil acrílico.

### 3.5 DISEÑO DEL PROTOTIPO DE GASIFICADOR

El diseño del prototipo se basa en el criterio de la cantidad de biomasa que se quemara durante una hora. Es decir el prototipo estará en capacidad de funcionar durante una hora brindando gas de síntesis para su posterior uso.

<sup>14</sup>Consideraciones para el diseño de sistemas colectores de mangas  
[www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/.../17%20CAPITULO%203.doc](http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/.../17%20CAPITULO%203.doc)

La ventaja en este prototipo es que no se tomará en cuenta la eficiencia del motor es decir la totalidad de energía se combustionara. Por lo que el diseño del depósito deberá tener la capacidad de almacenar biomasa suficiente para al menos una hora de uso.

$\Phi$ : Diámetro de la tubería que ingresa a la hornilla

H: Altura que se requiere que esté lleno durante el funcionamiento de la hornilla

Reemplazando los datos tenemos que:

$\Phi$ : 25,4 mm= 0,0254 m

H: 100 mm= 0,07 m

Aplicamos la fórmula del caudal volumétrico de un cilindro y tendremos la cantidad de gas.

$$V_{max} = \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times H \quad [3.5.1]$$

$$V_{max} = \frac{1}{4} \times \pi \times 0,0254^2 m^2 \times 0,1 m/seg$$

$$V_{max} = 0,000118 m^3/seg$$

Por lo tanto el poder calórico que se obtiene por cada segundo es:

$$P_{cv} = V_{m\acute{a}x} \times P_{cb} \quad [3.5.2]$$

En donde:

$V_{m\acute{a}x}$ : caudal volumétrico del gas

$P_{cb}$ : poder calórico de la biomasa

$P_{cv}$ : Poder calórico del gas por segundo

Reemplazamos los datos y tenemos que:

$$P_{cv} = 0,0000518 \frac{m^3}{seg} \times 4100 \frac{Kcal}{kg}$$

$$P_{cv} = 0,222 \text{ KW}$$

La eficiencia del gasificador es de 0,7 entonces tenemos que la cantidad de energía que debe generar el gasificador es la siguiente:

$$P_t = \frac{P_{cv}}{\eta} \quad [3.5.3]$$

En donde:

Pt: Potencia máxima

Pcv: Poder calórico del gas por segundo

D: eficiencia del gasificador

Remplazamos los valores en la formula [3.5.3]

$$P_t = \frac{0,222}{0,7} \text{ KW}$$

$$P_t = 0,15 \text{ KW} = 1,244 \text{ KJ}$$

La cantidad de energía que se genera por cada kg de biomasa es:

$$V_c = 4100 \text{ kcal} \times 4,18 = 17138 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \quad [3.5.4]$$

El total de biomasa que se necesita que ingrese en el gasificador será:

$$m = \frac{P_t \text{ KJ}}{C_e \text{ KJ}} \quad [3.5.5]$$

$$m = \frac{1,244}{17138 \text{ KJ}} = 0,0000726 \text{ Kg/seg}$$

Biomasa necesaria en una hora:

$$m = 0,0000726 \frac{\text{Kg}}{\text{seg}} \times 3600 \text{ seg} = 0,2614 \text{ kg/h} \quad [3.5.6]$$

Con la muestra de residuo de palma africana obtuvimos los siguientes datos:

Peso de la muestra en gramos (g) = 25 g

Volumen de la muestra: 60 ml = 6 E-5



Calculo de la densidad:

El cálculo de la densidad del residuo de la palma africana :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [3.5.7]$$

En donde:

m: es el peso de la muestra de palma africana

V: es el volumen de la muestra

Por lo tanto tenemos que:

$$\rho = \frac{0,02 \text{ Kg}}{0,000055 \text{ m}^3} = 363,63 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

### 3.5.1 DISEÑO DE ZONA DE DEPÓSITO

El tanque de almacenamiento deberá sustentar una hora de trabajo del gasificador por lo que tenemos que:

m 1: Peso de biomasa necesario para el funcionamiento:  $0,008 \text{ kg/h}$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Despejamos V y tenemos:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

Reemplazamos el peso de la biomasa m1 y la densidad  $\rho$  y tenemos que:

$$V = \frac{0,2614 \text{ kg/h}}{363,63 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V = 0,01 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Para el tanque de almacenamiento tomamos en cuenta que la zona de almacenamiento debe ser lo más vertical posible para que al realizar la combustión incompleta podamos utilizar la gravedad para que ayude a la

biomasa a entrar en la zona de pirolisis sin tener que añadir ningún dispositivo que la ayude con este propósito.

Por lo tanto utilizando la fórmula para el cálculo del volumen del cilindro calculamos la primera parte de la zona de almacenamiento:

$$V = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times H \quad [3.5.8]$$

Y para la segunda etapa utilizamos la fórmula del volumen del cono truncado:

$$V2 = \frac{H}{3} (A1 + A2 + \sqrt{A1 \times A2}) \quad [3.5.9]$$

**Tabla 3.9 Dimensiones del prototipo**

1era etapa de almacenamiento			2da etapa cono truncado							Volumen total de almacenamiento
Diametro D(m)	Altura H (m)	V(m³)	Diametro D(m)	diametro d(m)	Altura H (m)	Area1	Area2	√A1x A2	V(m³)	
0,120	0,150	0,002	0,120	0,050	0,140	0,011	0,002	0,005	0,001	0,003
0,140	0,170	0,003	0,140	0,070	0,160	0,015	0,004	0,008	0,001	0,004
0,160	0,190	0,004	0,160	0,090	0,180	0,020	0,006	0,011	0,002	0,006
0,180	0,210	0,005	0,180	0,110	0,200	0,025	0,010	0,016	0,003	0,009
0,200	0,230	0,007	0,200	0,130	0,220	0,031	0,013	0,020	0,005	0,012
0,220	0,200	0,008	0,220	0,150	0,130	0,038	0,018	0,026	0,004	0,011
0,240	0,270	0,012	0,240	0,170	0,260	0,045	0,023	0,032	0,009	0,021
0,260	0,290	0,015	0,260	0,190	0,280	0,053	0,028	0,039	0,011	0,027
0,280	0,310	0,019	0,280	0,210	0,300	0,062	0,035	0,046	0,014	0,033

Espesor de la pared:

El área total de la pared de la zona de depósito se calcula mediante la ecuación del área de un cilindro y el área del cono truncado

Área del cilindro

$$A1 = \pi \times D \times H \quad [3.5.10]$$

$$A1 = \pi \times 0,22 \times 0,2 = 0,14 \text{ m}^2$$

Área del cono truncado:

Cálculo de la generatriz:

$$s^2 = (r1 - r2)^2 + h^2 \quad [3.5.11]$$

$$s^2 = \left( \frac{0,22}{2} - \frac{0,15}{2} \right)^2 + 0,13^2 = 0,165 \text{ m}^2$$

$$s = 0,406 \text{ m}$$

Area lateral:

$$A_2 = \frac{2\pi r_1 + 2\pi r_2}{2} \times s \quad [3.5.12]$$

$$A_2 = \frac{2\pi 0,11 + 2\pi 0,075}{2} \times 0,406$$

$$A_2 = 0,236 \text{ m}^2$$

Área total:

$$A_t = A_1 + A_2 = 0,14 + 0,236 = 0,376 \text{ m}^2$$

Espesor de la pared:

$$Q = \frac{kA}{L} (T_2 - T_1) \quad [3.5.13]$$

En donde:

k: Coeficiente de transferencia de calor del ladrillo refractario

A (m<sup>2</sup>): Área de la zona de almacenamiento.

L (m): Espesor de la pared de ladrillo refractario

T<sub>2</sub> (°C): Temperatura del exterior del ladrillo

T<sub>1</sub> (°C): Temperatura de secado

Reemplazando tenemos que:

$$622 \text{ W} = \frac{0,47 \times 0,376 \text{ m}^2}{L} \times (200^\circ\text{C} - 150^\circ\text{C})$$

$$L = 0,014 \text{ m} = 14 \text{ mm}$$

Siguiendo el código de tuberías B31.3-1999, para tuberías con fluidos corrosivos, incluidos sólidos fluidizados para todo tipo de servicios. Para el

espesor de la pared de la zona de depósito se tiene la siguiente ecuación con dimensiones internas:

$$t = \frac{Pd}{2[SE - P(1 - Y)]} + CA \quad [3.5.14]$$

En donde:

T (plg): Espesor de la pared

P (Psi): Presión de trabajo de la pared

D (plg): Diámetro interno

S: Esfuerzo a tensión del material

E: Coeficiente de soldadura

Y: coeficiente de diseño mecánico en función de la temperatura de operación del tanque

Reemplazando los valores tenemos que:

P: 1atm= 14,7 Psi

d: 12 plg

Material SA 36: S=16600 Psi

E=1

Y<sup>15</sup> = 0,4 a una temperatura de hasta 250°C

$$t = \left[ \frac{14,7 \text{Psi} \times (12 \text{ plg} + 1,2 \text{ plg})}{2[(16600 \times 1) - 14,7(1 - 0,4)]} + (1/8) \right] \times 0,0254$$

$$t = 0,0032 \text{ m}$$

$$t = 1/8 \text{ "}$$

### 3.5.2 DISEÑO DE ZONA DE PIROLISIS

<sup>15</sup> Table: VALUES OF Y & y, PRESSURE VESSEL HANDBOOK, página 209

Con la cantidad de biomasa que se debe quemar cada segundo, calculamos las medidas de la zona de pirolisis se basa en la cantidad de biomasa que debe quemarse cada segundo por lo tanto tenemos que:

La cantidad de biomasa por segundo  $\dot{m}=0,0000726 \text{ Kg/seg}$

Con la densidad de la biomasa obtenemos el volumen de biomasa que se debe quemar por segundo y tenemos que:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = \frac{0,0000726 \text{ Kg}}{363,63 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V = 0,0000002 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Volumen de la zona de pirolisis:

$$V = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times H \quad [3.5.15]$$

**Tabla 3.10      Volumen zona pirolisis**

Diámetro D(m)	Altura H (m)	V(m <sup>3</sup> )
2,00E-02	2,00E-04	6,28E-08
2,20E-02	2,20E-04	8,36E-08
2,40E-02	2,40E-04	1,09E-07
2,60E-02	2,60E-04	1,38E-07
2,80E-02	2,80E-04	1,72E-07
3,00E-02	3,00E-04	2,12E-07
3,20E-02	3,20E-04	2,57E-07
3,40E-02	3,40E-04	3,09E-07
3,60E-02	3,60E-04	3,66E-07

Por lo tanto tenemos que la garganta de la zona de pirolisis deberá ser de 3 cm y la combustión solamente se dará en una fina capa de esta abertura, donde después caerá en la zona de recolección de ceniza.

## CAPITULO 4

### CONSTRUCCION DEL GENERADOR

Los componentes que comprenden el sistema de generación a biomasa consta del gasificador el cual es el punto central de la tesis en diseño y fabricación y la adaptación a un motor de combustión interna de ciclo Otto existente mediante tubería de acero resistente a altas temperaturas a través de filtros de acrílico mediante la adaptación de un sistema por Venturi tal como se indica en la siguiente figura [4.1].

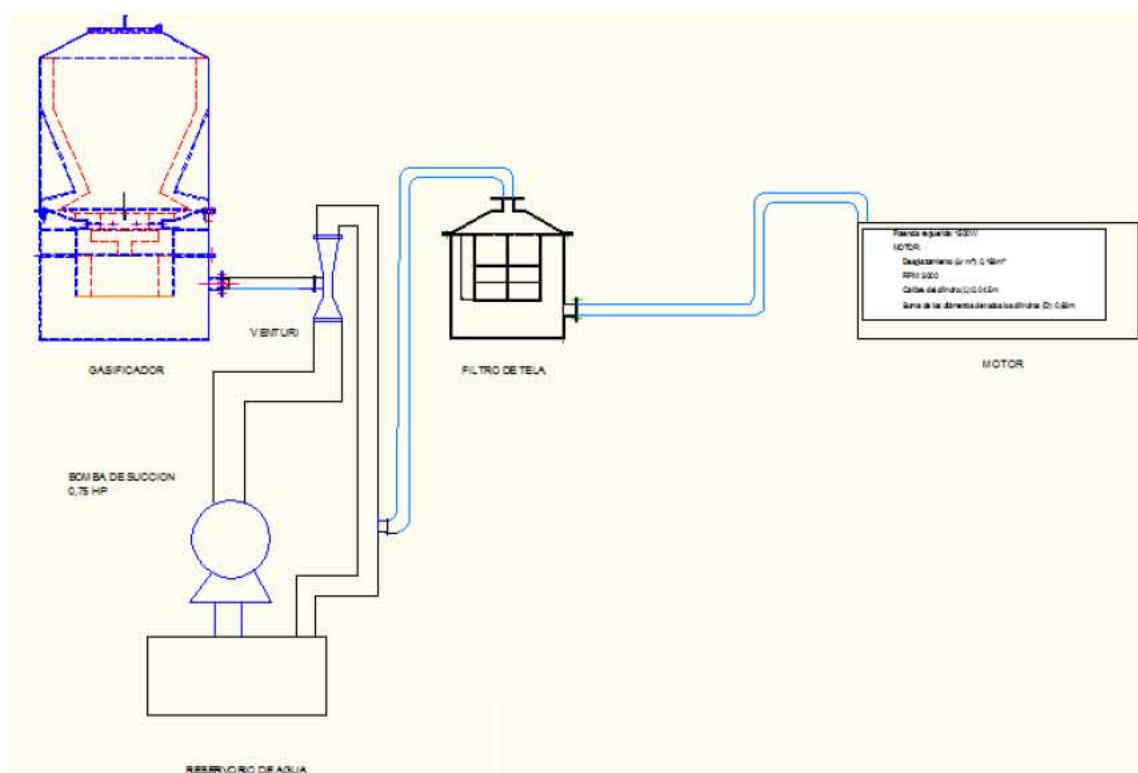


Figura 4.1 Sistema de generación eléctrica



**Figura 4.2** Planta generadora de la Concordia

## **4.1 FABRICACIÓN DEL GASIFICADOR**

### **4.1.1 SELECCIÓN DE MATERIALES**

Los metales que se utilizaran deberán soportar altas temperaturas. Por esta razón, todo el tanque se cubrirá con una capa de cemento refractario cuyo espesor se tomara acorde con la temperatura más alta en el proceso.

Para darle mayor facilidad a la construcción del gasificador hemos tenido en cuenta que las dimensiones del tanque tengan de preferencia diámetros de tuberías de fabricación estándar, a fin de evitar soldaduras verticales a lo largo del gasificador.



Los materiales requeridos para la construcción del gasificador serán:

**Tabla 4.1 Lista de Materiales que se emplearan en el proyecto**

MATERIAL	CARACTERÍSTICA	OBSERVACIONES
TUBERÍA A36 DIAMETRO 25" SCH 10	Rango de temperatura de (1100 a 1250)°C	Temperatura de gasificación (800-1200) °C, temperatura de seguridad de operación 50°
CEMENTO REFRACTARIO	Temperatura de operación: 1500°	Resistente a la corrosión, bajo costo, bajo coeficiente de transferencia de calor k: 0,47
PLANCHA DE ACERO A36	Rango de temperatura de (1100 a 1250)°C	Facilidad de trabajo de manufactura
TUBERÍA A36 DIAMETRO 1" SCH 40	Rango de temperatura de (1100 a 1250)°C	Temperatura de operación 150° a la salida del gas
ELECTRODO 7018	resistencia a la fluencia de 70000psi	Apta para requerimientos de operación de a grandes temperaturas
PERNOS M12x25	resistencia a la fluencia de 90 KSI	
VARILLA DE ACERO INOXIDABLE 4mm	Es estable a altas temperaturas	



**Figura 4.3 Recolector de cenizas**

## **4.1.2 PROCESOS DE MANUFACTURA**

### **4.1.2.1 Proceso de corte de tubería y planchas de acero**

El proceso de corte consiste en el movimiento entre la herramienta de corte y la pieza de trabajo controlando los parámetros de velocidad y avance para la remoción de material.

Al tener una tubería de 25" de diámetro evitamos el proceso de darle forma cilíndrica a una plancha del mismo espesor, por lo cual solamente se deberá efectuar el corte de tramos, que los separamos de acuerdo con la zona en la que se hallen a fin de facilitar el proceso de soldaduras para las diferentes etapas del gasificador.

El corte de las planchas se las realizara de modo que cumplan con las diferentes aberturas que tiene el proceso de pirolisis para posteriormente soldar a la tubería que soporta toda la estructura interna del gasificador.

### **4.1.2.2 Soldaduras**

La soldadura se la realizara con acero 7018, con penetración completa en todo el contorno y con filetes de 7 milímetros que es igual al espesor de las placas.

Tipo de soldadura:

Este tipo de electrodo se ha escogido debido a la menor velocidad de corrosión en el material de aporte, tanto en la raíz como en la superficie de la soldadura. El material de aporte del electrodo 7018 presenta menos cantidad de inclusiones no metálicas, que son centros activos para que se inicie la corrosión en los materiales de aporte, debido a la diferencia en la composición química entre el acero formado en el material.

El utilizar un electrodo 7018, que es el más usado en aceros al carbón ideales para tanques a presión, tuberías y calderas, nos asegura en mayor grado tener una resistencia a la fluencia de 70000psi, apta para requerimientos de operación de grandes temperaturas, capaz de poderse soldar en cualquier posición de soldadura con corriente continua (CC) ó corriente alterna (CA).

#### **4.1.2.3 Doblado de planchas de acero**

Para la formación de los conos internos del gasificador se utiliza una maquina llamada roladora.

La roladora es apta por que mediante 3 rodillos, un superior que es fijo y 2 inferiores ajustables de acuerdo a la curvatura que se requiera dar a la forma a la plancha de acero. El primer paso es realizar un pre-doblado para que la plancha no acumule muchos esfuerzos y evitar la formación de posibles grietas en el material.

#### **4.1.3 PRUEBAS DEL GASIFICADOR**

La gasificación es un proceso termoquímico en el que un residuo orgánico es transformado en un gas combustible, mediante una serie de reacciones que ocurren a cierta temperatura en presencia de un agente gasificante (aire, aire enriquecido, oxígeno, hidrógeno, vapor de agua).

Es necesario tomar en cuenta el tamaño del residuo y el tipo de aplicación para poder dimensionar el equipamiento.

Durante el proceso de gasificación en el prototipo, se ha encontrado ciertos inconvenientes para el buen funcionamiento del equipo. Durante el proceso de combustión se obtiene una temperatura menores de 600°C con lo que no

obtenemos el óptimo funcionamiento y transformación de un residuo orgánico a un gas combustible.

Dimensiones y características del prototipo de gasificador:

Energía generada: 0,22 kW

Consumo de biomasa (residuos de palma africana): 450 g/h

Volumen de la zona de almacenamiento: 0,01 m<sup>3</sup>

Db: 0,22 m

Hb: 0,35 m

Dh: 0,15 m

Dt: 0,03 m

Hnt: 0,03 m

Entradas de aire: 6 tomas de 7 mm de diámetro

Características del residuo:

% humedad: 23,3 %

% cenizas: 20 %

Poder calórico: 4100 kcal/kg

**Tabla 4.2 Datos obtenidos**

<b>PARAMETROS DE EMISION</b>	<b>FUENTE FIJA</b>
Monóxido de Carbono (CO) ppm	1437
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> ) ppm	48
Oxidos de Nitrógeno (Nox) ppm	116
Oxígeno %	14,6
Dióxido de Carbono %	6
Temperatura del gas °C	60,7
Tiempo de muestreo minutos	16



**Figura 4.4 Prueba de gases contaminantes**

Caudal volumétrico

Velocidad del aire:  $V_a$  (m/seg)= 1,06 m/seg

Diámetro de la tubería:  $D_t$  (m) = 0,05 m

Área de la tubería  $A_t$  ( $m^2$ ):

$$A_t = \frac{1}{4} \pi \times D_t^2$$

$$A_t = \frac{1}{4} \pi \times 0,0508^2$$

$$A_t = 0,000506 \text{ m}^2$$

Caudal volumétrico  $C$  ( $m^3$ /seg):

$$C = V_a \times A_t$$

$$C = 1 \text{ m/seg} \times 0,000506(m^2)$$

$$C = 0,0005 \text{ m}^3/\text{seg}$$

**Tabla 4.3 análisis de la obtención de gases**

PARAMETROS	TEORICO	EXPERIEMENTAL
Monóxido de Carbono (CO)	24.0%	14.37 %
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	6.0%	6.0%
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	4%	14.6%
CAUDAL MASICO	0,0001 m <sup>3</sup> /seg	0,0005 m <sup>3</sup> /seg

Debido a la relación entre el diámetro de la zona de pre-secado y el tamaño de la biomasa, ésta después de combustiones inicialmente llega a un límite de temperatura y la biomasa forma una especie de caverna en donde no permite que se siga combustionando la materia orgánica de manera continua, originando una baja de presión en esa zona y por consecuencia se reduce la temperatura en el gasificador a 400°C, lo que ocasiona que no se genere una cantidad considerable de Syngas y tenemos una producción excesiva de alquitranes.

Se analizó el flujo ocasionado por el ventilador el cual produce un exceso de caudal volumétrico de gas, lo que en el análisis de gases se demuestra con la cantidad de oxígeno resultante que excede de 4% a 14,6% de oxígeno

A pesar de los inconvenientes, el análisis del gas verifica una alta presencia de CO en éste. Como se muestra en la tabla de poder calórico del syngas del Capítulo 3 el CO también tiene un poder calórico considerable, con lo que podemos garantizar que si obtenemos la combustión incompleta de la biomasa, pero aun así es mucho menor a la que se obtiene en una combustión incompleta a 600°C que es del 24% .

Por el tamaño de los ingresos de aire no se recomienda utilizar una biomasa de menor tamaño, debido a que tapaná las entradas de aire y podríamos tener un problema de falta de oxígeno, por lo pronto podemos concluir que se podría optar por un sistema de vibración continua para evitar la formación de dichas cavernas que producen explosiones esporádicas.

## 4.2 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE VACÍO

El sistema de vacío del gasificador se conectará al tanque de gasificación mediante una tubería soldada que unirá al Venturi, donde tendremos un caudal de agua originado por medio de una bomba centrífuga de succión de 0.75 HP con entrada y salida de 2”.

## 4.3 ENSAMBLAJE DEL GENERADOR



**Figura 4.5** Prototipo del Generador

Ensamblaje en campo de acuerdo con el diagrama [4.1]

## CAPITULO 5

### ANALISIS ECONOMICO

#### 5.1 PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN

RESUMEN DE PRESUPUESTO SISTEMA GASIFICADOR			
RUBROS :			<i>Fecha: 12-01-2012</i>
			HOJA
CARACTERISTICAS GENERALES.			1 DE 3
RUBRO: Generador Eléctrico		PROYECTO: INVESTIGACION ENERGETICA	
UBICACIÓN DE PROYECTO: INIAP		PROMOTOR / CONTRATANTE: CIE	
CONSTRUCTOR: Aulestia, Padilla			
A.- PROVISION DE MATERIALES:			
A.- SEGÚN DESGLOCE ADJUNTO		1,861.52	
37.85%		Subtotal material	\$1,861.52
B- PROVISION DE MANO DE OBRA:			
B.- SEGÚN DESGLOCE ADJUNTO		2,350.00	
47.78%		Subtotal mano de obra	\$2,350.00
C.- VARIOS: MOVILIZACION E INSUMOS DE OFICINA			
A.-TRANSPORTE		60.00	
B.- INSUMOS DE OFICINA		50.00	
C.- Movilización y transporte de material		150.00	



	5.29%	Subtotal varios	\$260.00
D.- OTROS:			
		D,- INPREVISTOS	10% 447.15
	90.91%	SUBTOTAL PLANILLA	\$4,918.67
		I.V.A. 12%	\$590.24
		TOTAL FACTURA	\$5,508.91

### 5.1.1 PRESUPUESTO DE MATERIALES

DESGLOCE DE MATERIAL PARA FABRICACION E INSTALACION DEL SISTEMA DEL GASIFICADOR DE BIOMASA						
						HOJA: 2 DE 3
A.- <i>Generador Eléctrico</i>						
ITEM	DESCRIPCION	CAN T.	CAN T.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	PRECIO ACTIVIDAD
1	GASIFICADOR	Glb.				
	LAMINAS DE ACERO A36 DE 2/8" 1.22x2.44 m <sup>2</sup>		2	198.23	\$ 396.4	\$ 740
	BOMBA CENTRIFUGA TRUPER 0,5HP		1	89.85	\$ 89.85	
	VALVULAS CHECK FV 1/2" NIQUEL		2	12.63	\$ 25.26	
	CEMENTO REFRACTARIO		4	53.55	\$ 214.2	
	MANOMETRO 100 PSI		1	4.25	\$ 4.25	
	PERNOS ACERO 2"X1/4"		25	0.4	\$ 10	

2	FILTROS	Glb.				\$ 30
	MANOMETRO 100 PSI		2	4.25	\$ 8.50	
	VARILLAS DE ACERO 1/4" 1m		5	2.3	\$ 11.5	
	PERNOS ACERO 2"X1/4"		25		\$ 10	
3	GENERADOR	Glb.				\$ 792
GENERADOR 1,5KW MOTOR HONDA		1	792	\$ 792		
4	TUBERIAS	Glb.				\$ 100
	TUBERÍAS A53 Gr.B		5	20.01	\$ 100	
					SUBTOTAL MATERIAL	\$ 1,662.0
					SUBTOTAL MATERIAL +IVA	\$ 1,861.5

### 5.1.2 PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA

DESGLOCE DE MANO DE OBRA POR CONSTRUCCION						
						HOJA: 3 DE 3

B.- Generador Eléctrico						
ITEM	DESCRIPCION	CANT	CANT	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	PRECIO ACTIVIDAD
1	Soldador		1	\$ 300.00	\$ 300.00	\$ 300.00
2	Ayudante de soldador		2	\$ 200.00	\$ 400.00	\$ 400.00
3	Cortador		1	\$ 250.00	\$ 250.00	\$ 250.00

					\$	\$
5	Instalador		2	\$ 600.00	1,200.00	1,200.00
6	Ayudante instalador		1	\$ 200.00	\$ 200.00	\$ 200.00
			SUBTOTAL - B -			\$ 2,350.00
						\$
TOTAL DE MANO DE OBRA						2,350.00

## 5.2 COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Para la operación son necesarios dos elementos:

La biomasa obtenida de desechos agrícolas esta valorizada en un costo de 10 dólares la tonelada dando un gasto de 360 dólares a lo largo de la vida útil. Forma parte del proceso de la cosecha y más bien se trata de darle uso práctico mediante el aprovechamiento energético. Lo único a considerar es que la biomasa obtenida se debe mantener seca, por lo que se requiere un deposito de almacenaje. Además para la ignición del gasificador son necesarias pequeñas cantidades de diesel.

El mantenimiento se lo realiza de tres formas: el preventivo o limpieza, lo cual se puede realizar con un cepillo metálico al menos una vez por semana; el predictivo que se debe realizar mediante el remplazo de los empaques de sellado del gasificador cada 6 meses y el correctivo que se debe realizar cada 4 años a lo largo de la vida útil de 12 años que se ha considerado para el equipo.

**Tabla 5.1 Presupuesto anual de mantenimiento**

Plan de mantenimiento:				
Gastos	Mantenimiento			Total mensual
	Preventivo	Predictivo	Correctivo	
Ene	5	2.5	4	11.5
Feb	5	2.5	4	11.5
Mar	5	2.5	4	11.5
Abr	5	2.5	4	11.5
May	5	2.5	4	11.5
Jun	5	2.5	4	11.5
Jul	5	2.5	4	11.5
Ago	5	2.5	4	11.5
Sep	5	2.5	4	11.5
Oct	5	2.5	4	11.5
Nov	5	2.5	4	11.5
Dic	5	2.5	4	11.5
Total anual	60	30	48	138

### 5.3 COSTO DE ENERGÍA PRODUCIDA

Asumiendo el gasto promedio de energía de un pequeño productor agrícola, se puede establecer un consumo de 830 kW por mes y considerando el subsidio del estado y sin impuestos, tenemos un gasto a la empresa eléctrica de 67 dólares por mes, el cual se evitaría en el caso hipotético de que se substituya por la generación a biomasa. El gasto y energía al año se expresaría así:

**Tabla 5.2 Consumo eléctrico a la empresa eléctrica**

Meses	Consumo	
	USD	Consumo kWh
Ene	67	830
Feb	67	830
Mar	67	830

Abr	67	830
May	67	830
Jun	67	830
Jul	67	830
Ago	67	830
Sep	67	830
Oct	67	830
Nov	67	830
Dic	67	830
Total	804	9960

Total de bioenergía a producirse durante la vida útil del equipo:  $9960 \times 12 = 119.529$  kwh.

El costo del kwh de acuerdo a la actual regulación de facturación de la Empresa Eléctrica Quito sería de US \$ 0,0807 por cada kwh.

Realizamos un balance de flujos directos para determinar la recuperación de la inversión.

**Tabla 5.3 Balance de flujos**

Flujo de fondos:				
Año	Costos Op.	Costos M.	Ahorro pago EE	Balance
1	30	138	804	636
2	30	138	804	636
3	30	138	804	636
4	30	138	804	636
5	30	138	804	636
6	30	138	804	636
7	30	138	804	636
8	30	138	804	636
9	30	138	804	636

10	30	138	804	636
11	30	138	804	636
12	30	138	804	636

CEE=804\*12=9648 US\$

CB=5509+1656+360=7525

$$\text{Costo de kilovatio hora del proyecto} = \frac{7525 \text{ US\$}}{119520 \text{ kWh}} = 0,0629 \frac{\text{US\$}}{\text{kWh}}$$

Por lo tanto conseguimos un valor de 0.0629 US\$/kWh en los 119529 kWh promedio consumidos a lo largo de la vida útil del gasificador.

El valor del consumo a la empresa eléctrica (CEE) a lo largo de los 12 años es de 9648 US\$ y el gasto total en los mismos 12 años por la producción de energía mediante la biomasa (CB) es de 7525 US

Resultados:

Para el análisis de resultados nos figuramos obtener un ahorro de 67 US\$ mensuales o de US \$ 804 anuales, mientras usamos la bioenergía que nos cuesta US\$ 168 al año. Entonces calculamos un flujo positivo y anual durante los doce años de US\$ 636. Tomando como valor de inversión inicial el señalado en el numeral 4.1 y aproximándolo a US \$ 5509, asumiendo un interés preferencial para proyectos de desarrollo social de 5,4 % , obtenemos un Valor Presente Neto (NPV) del proyecto de US \$ 3 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 5,4.

Comentarios:

Los costos de los proyectos de energías alternativas pueden variar significativamente de acuerdo al tipo de energía por los costos de equipamiento y condiciones de mantenimiento. A pesar de estas condiciones variables, se sabe que los costos de US\$/kWh tienen rangos por tipo de energía, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 5.4 Costos comparativos del mercado para la producción de energía eléctrica (tomado de revista CIEEPI).**

Tecnología	Rango de costos en US\$/kWh
Biomasa	0.05 a 0.09
Hidroeléctrica	0.05 a 0.1
Electricidad solar	0.12 a 0.15
Electricidad fotovoltaica	0.30 a 0.80
Electricidad geotérmica	0.05 a 0.09
Electricidad eólica	0.03 a 0.08

1.- El costo de bioenergía para el presente proyecto se encuentra en el rango técnico aconsejado por los precios internacionales

2.- Los valores positivos del NPV y del TIR aseguran la rentabilidad del uso del generador a biomasa en la vida útil del equipo construido, a pesar de que su diseño no es para comercializar la energía si no para generación alterna y uso de desechos orgánicos, los que se perderían al no ser utilizados.

## CAPITULO 6

### CONCLUSIONES

1. De acuerdo con una investigación acerca del diseño de un gasificador llegamos a las fórmulas que se presentan en el capítulo 2 en las que se incluye diseño térmico y mecánico con lo que aseguramos un óptimo funcionamiento del gasificador, además de tener un funcionamiento seguro para los operarios y personas que se encuentren cerca.
2. Como consecuencia del capítulo de diseño se pudo realizar una selección óptima de los materiales que usaremos en la construcción del gasificador así como sus partes externas como son filtros y tuberías, certificando una disposición del montaje sencilla y práctica sin dejar de lado su funcionalidad.
3. Se determinó usar la palma africana por su disponibilidad y los resultados que contiene del poder calorífico, en el cual nos garantiza una eficiencia óptima en el proceso de pirolisis, tomando en cuenta también la humedad relativa igual al 30% que es un valor óptimo para cualquier proceso de gasificación. Además del porcentaje de cenizas que nos prueba que se tendrá un rendimiento aceptable de la biomasa para obtener la máxima eficiencia en el proceso.
4. Se eligió el gasificador de tiro invertido debido a la facilidad en manufactura y operatividad, teniendo como beneficios además evitar el procesamiento previo de la biomasa a ser utilizada ya sea haciendo briquetas o carbón de ésta y rangos de escalas muy variables en su construcción.
5. Se comprobó que el costo energético de la biomasa es más económico que del consumo nacional proveniente de termo eléctricas e hidroeléctricas del país.
6. Encontramos gran producción de biomasa en desecho residual en el sector de Santo Domingo, encontrando grandes industrias productoras y procesadoras de palma africana especialmente en el sector de la Concordia, este residuo no tiene un proceso de utilización. Por lo tanto al tener estas grandes cantidades de residuo de palma se dará un uso



práctico al desecho que traerá beneficios en el área energética de la zona siendo amigable con el ambiente

7. Teniendo en cuenta que el gas de síntesis que se produce en el gasificador contiene humedad y alquitranes que dañan el motor, proponemos un filtro que lograra limpiar el gas. Buscamos materiales filtrantes en la que tomamos en cuenta temperatura, humedad, composición química del gas y durabilidad del material concluimos que el material óptimo para el filtro sea tela acrílica ya que cumple con los requerimientos a un costo relativamente bajo.
8. Los datos obtenidos de la composición del gas durante la prueba nos da como resultado puntos altos y bajos de la combustión incompleta en el interior del gasificador, debido a las pequeñas grietas o cavernas que se forman en la biomasa, deriva en picos altos de contenido de CO en la ruptura de las cavernas y forma picos bajos de producción de CO durante la formación de estas. Para evitar este tipo de grietas en el interior del gasificador se recomienda incorporar al gasificador un sistema con motor para hacer vibrar el gasificador durante el período de trabajo del gasificador.
9. Los resultados del análisis de gases nos dan como conclusión un exceso de aire en el prototipo de gasificador, por lo que recomendamos un ventilador o un sistema Venturi que se adapte a las condiciones requeridas.
10. En este caso la cantidad de gas que se genera en el prototipo de gasificador no cumple con el volumen que se necesita para poner en marcha un motor de combustión interna, por lo que se podría dar un uso diferente al gas de un prototipo tan pequeño, ya sea en uso semi-industrial o doméstico.
11. La utilización de este dispositivo constituye una opción rentable, ya que los precios de la biomasa son competitivos en el mercado de los combustibles.
12. La utilización de biomasa entre sus ventajas fomenta el uso de terrenos abandonados y el costo de inversión para producirla es menor en relación a la construcción de las plantas convencionales.

13. Se puede señalar como desventaja, la realización de este proyecto cuando las centrales en las que se quiera usar la biomasa como sistema de energía sean de gran extensión y la materia prima no se encuentre al alcance, con lo cual se vean en la necesidad de utilizar medios de transporte que involucrarían un costo adicional y convertirían al proyecto en no viable.
14. El funcionamiento del gasificador permite controlar la producción de los residuos en las industrias agrícolas con lo cual aporta para disminuir la contaminación del ambiente.

## BIBLIOGRAFÍA

Referencia: <http://usuarios.multimania.es/biodieseltr/hobbies0.html>

CONTRATACION DE SERVICIOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA LA GENERACION DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BIOMASA BAJO ESQUEMA DE AUTOGENERACION, ENERPRO, Ing. Santiago Sánchez Miño, M.Sc., M.E.E; Ing. José Luis Palacios, Sto. Domingo

2011 <http://www.mailxmail.com/curso-biomasa-energias-renovables/proceso-pirolisis>

MANUAL PARA ELABORACIÓN DE PROYECTOS DE CENTRALES TERMOELÉTRICAS CON BIOMASA VEGETAL PARA COMUNIDADES AISLADAS DE LA AMAZONÍA, André Augusto Azevedo Montenegro Duarte

Wood gas as engine fuel, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION ON THE UNITED NATIONS, ROME 1986

<http://www.treepower.org/fuels/biomasssyngas.html> Chemical Composition of Biomass Syngas, Coal Syngas, and Natural Gas

Proyecto de Investigación de Biomasa para la Producción de Energía, CORPORACION PARA LA INVESTIGACIÓN ENERGÉTICA

BIOMASS GASIFICATION AND PYROLYSIS, Praib Basu, Burlington, MA, USA, 2010

TRANSFERENCIA DE CALOR DE CENGEL YUNUS

VALUES OF  $Y$  &  $y$ , PRESSURE VESSEL HANDBOOK

CODIGO ASME, SECCION VIII DIVISIÓN 1, DISEÑO DE RECIPIENTES

Consideraciones para el diseño de sistemas colectores de mangas

[www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/.../17%20CAPÍTULO%203.doc](http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/.../17%20CAPÍTULO%203.doc)