

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA

TÍTULO:

**“Diseño de un Reactor para la Torrefacción de Aserrín de Pino
con fines Energéticos a Escala de Laboratorio”**

POSTULANTES:

Peña Mullo Celso Geovanny

Yánez Jácome Marco Antonio

DIRECTOR:

Msc. Luis Manuel García Rojas

Latacunga – Ecuador

2011

AUTORÍA

Este documento es de exclusiva autoría de los investigadores: Peña Mullo Celso Geovanny y Yánez Jácome Marco Antonio, quienes nos responsabilizamos por las ideas y comentarios emitidos en la elaboración de este proyecto de tesis

Peña Mullo Celso Geovanny

INVESTIGADOR

Yánez Jácome Marco Antonio

INVESTIGADOR

CERTIFICACIÓN

En cumplimiento a lo estipulado en el reglamento del curso profesional de las universidades: Universidad de Pinar del Río (Cuba) y con la aprobación de la Universidad Técnica de Cotopaxi (Ecuador), en calidad de Director del Trabajo de Diplomado con el tema **“Diseño de un Reactor para la Torrefacción de Aserrín de Pino con fines Energéticos a Escala de Laboratorio”**. Propuesto por los Egresados Peña Mullo Celso Geovanny y Yánez Jácome Marco Antonio, debo confirmar que el presente trabajo de investigación fue desarrollado de acuerdo a los planeamientos por la denuncia y construcción teórica y práctica del objeto de estudio.

La claridad y veracidad de su contenido a mas de su desempeño y dedicación puesto por sus autores en cada etapa de su realización, merece especial atención y su consideración como trabajo de calidad.

En virtud de lo antes expuesto considero que los autores del presente Trabajo de Diplomado se encuentran habilitados para presentarse al Acto de Defensa.

Msc. Luis Manuel García Rojas

DIRECTOR DE PROYECTO

PENSAMIENTOS

“La educación es el alma más poderosa que tiene el hombre para crear una ética, para crear una conciencia, para crear un sentido del deber, un sentido de la organización, de la disciplina, de la responsabilidad.”

Fidel Castro.

“El valor de una sociedad se determina por el número de hombres que han sabido ser buenos hijos, buenos hermanos, buenos padres y buenos ciudadanos.”

Confucio.

“Como en el orden moral no basta conocer, sino que es preciso obrar y uno de los principios de acción es el sentimiento, las verdades morales no solo deben ser conocidas, sino sentidas.”

J. Balmes.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis más sinceros y extensivos agradecimientos:

- A Dios por bendecirme con salud y fortaleza para seguir adelante.
- A la Universidad Técnica de Cotopaxi y docentes que influyeron en mi educación y formación social con la orientación correcta y me inculcaron la mentalidad de llevar el mensaje universitario a todos los sectores sin importar clase social ni raza, siempre en la búsqueda de la igualdad para todos.
- A la Universidad Pinar del Rio por acogerme como un estudiante más de sus aulas y proporcionar las facilidades para la estancia en la elaboración de la tesis para la obtención del título de ingeniero electromecánico.
- A mi madre por ser quien fue mi apoyo incondicional y guía en la toma de decisiones importantes en mi vida, amiga, padre y madre a la vez con amor y comprensión siempre demostrando dedicación y esfuerzo.
- A mis abuelitos quienes con su experiencia y amor me guiaron con ejemplo y cariño
- A mi familia, primos, amigos y personas que de una manera u otra han estado presentes en los momentos difíciles y han sido apoyo incondicional para darme fuerzas de seguir adelante.
- A mi amigo y compañero con el que realizamos el trabajo de diplomado para la obtención del título de Ingeniero Marco Yáñez por la confianza, sinceridad y sencillez que le caracteriza.
- Un agradecimiento especial a mi tutor Luis Manuel García por la confianza y compromiso que asumió en guiarme con profesionalismo en la metodología y desarrollo de la tesis.

Peña Geovanny.

AGRADECIMIENTOS

- Agradezco a Dios por la fe, alegría y esperanza.
- Agradezco a mis padres que nunca dejaron de confiar en mí y a mis hermanos que me han sabido apoyar.
- Agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi en la cual he pasado 5 años de mi vida, formando en mí un valor y espíritu combativo y a mis profesores que me han impartido sus conocimientos que han servido para mi formación profesional.
- Agradezco a la Universidad Hermanos Saiz Montes de Oca en Pinar del Rio en Cuba y todos los profesores por su paciencia y comprensión en el transcurso de mi trabajo de diploma.
- Agradezco a mi tutor Luis Manuel García por la gran confianza brindada y su infinita paciencia y asesorarme en todas las dudas que he tenido y lograr así culminar con mi diploma de tesis y lograr uno de mis más grandes objetivos.
- Agradezco a mi compañero y gran amigo de tesis Geovanny Peña que juntos hemos sabido trabajar por nuestra profesión y cumplir un sueño tan anhelado.
- Agradezco a mi amiga y compatriota Magy que estudia en Cuba por haberme ayudado y asesorado en grandiosa Isla de Cuba.
- Agradezco a mi novia que compartimos momentos muy felices aquí en la isla y por su comprensión.
- Agradezco a mis amigos por compartir por la confianza y amistad sincera viviendo cada experiencia de la vida.

Yánez Marco.

DEDICATORIA

Mi trabajo de diplomado dedico:

- A mi madre Rosario Mullo por ser el eje y sostén de mis logros y ambiciones que sin ella no hubiese sido posible alcanzar el sueño tan anhelado de conseguir mi título de ingeniería.
- A mi abuelita Teresa Maldonado por su abnegación, amor incondicional, y ser quien ha estado siempre guiándome por el sendero de la luz grabando en mi mente y corazón sus palabras y consejos.
- A mi abuelito Segundo Mullo quien influyo en tomar la decisión de viajar y alcanzar mi objetivo de formarme como profesional, pero por decisión de dios no está presente para presenciarlo sabiendo que desde el cielo estar velando por mi y los suyos, en su memoria dedico a él la obtención de mi título.

Peña Geovanny.

DEDICATORIA

- Mi trabajo de diploma dedico a Dios por darme salud y vida para seguir luchando por ser quien soy ahora.
- Dedico a mis padres Manuel e Hilda que han sido mi pilar fundamental en mi vida, que con sus consejos y apoyo incondicional me ha sabido guiar por el camino de la vida y a estar preparado para los retos que se presentan día a día.
- Dedico a mis hermanos Mary, Martha y Cristian que han sabido ser mis mejores amigos y que junto a mi han sabido luchar por un futuro mejor y compartir muchos momentos durante nuestra formación de hijos y hermanos.
- Dedico a mis sobrinos muy queridos Lesly, Carlitos y Samy que han sabido dar alegría y cariño en nuestro hogar y con su carisma y amor han hecho fortalecer la unión en la familia.
- Dedico a toda mi familia que me han sabido escuchar y ayudar en todo momento ya que con su voz de aliento y sus principios han formado una parte de mi crecimiento personal y profesional.

Yáñez Marco.

ÍNDICE GENERAL

PRELIMINARES	Pág.
Portada	i
Autoría	ii
Certificación	iii
Pensamientos	iv
Agradecimiento	v
Dedicatoria	vii
Índice General	viii
Resumen	xiv
Summary	xv
Certificado	xvi
Introducción	xxvii

CAPITULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS	Pág.
-----------------------------	-------------

1. Marco Teórico	1
1.1. Biomasa. Características generales	1
1.1.1. Plantaciones Energéticas	1
1.1.2. Algunas Características de la Biomasa	2
1.1.3. Posibles Empleos Energéticos de la Biomasa	3
1.2. Características Físico-química de la Biomasa	4
1.2.1. Influencia de las Características Físicas	del
Material en la Descomposición Térmica	4
1.2.2. Influencia de las Características Química	de la
Biomasa en la Descomposición	Térmica de
la Madera	4
1.2.3. Contenido de Humedad del Combustible	6
1.2.4. Contenido de Cenizas y Composición	Química de
las Cenizas	7
1.3. Torrefacción	7
1.4. La Tecnología De Torrefacción Pechiney	8
1.4.1. Evaluación del Proceso de Pechiney	10
1.4.2. Proceso de Vapor Recalentado de	Secado y
Torrefacción	10
1.4.3. Proceso de Torrefacción según la	Tecnología
ECN	12
1.4.4. Componentes del Sistema ECN	14
1.4.5. Evaluación de Tecnologías ECN	16
1.4.5.1. Objetivos y Metodología	16
1.4.5.2. Balances de Materia y Energía	16

1.5. Aplicaciones del Aire Comprimido		y de
las Máquinas Neumáticas	19	
1.5.1. Cilindros de Doble Efecto	19	
1.5.2. Válvulas y Distribuidores de		Control
Direccional	20	
1.5.3. Regulación de la Velocidad y la Fuerza	21	
1.5.4. Sistemas Electroneumáticos	23	
1.5.4.1. Control Eléctrico del		Sistemas
Neumáticos	23	
1.5.4.2. Distribuidores Electroneumáticos	24	

CAPITULO II

CÁLCULOS		Pág.
2. Materiales y Métodos		26
2.1. Características Generales del Reactor		de
Torrefacción Propuesto	26	
2.2. Metodología de Cálculo del Sistema		de
Alimentación de Aserrín	28	
2.2.1. Parámetros Imprescindibles en el		Diseño
del Tornillo Sin Fin	28	
2.2.2. Expresiones para el Cálculo de		Diferentes
Parámetros del		Transportador
Tornillo Sin Fin	31	de

2.3. Metodología de Cálculo de la Resistencia Eléctrica	34
2.4. Cálculo de Pérdidas de Calor en el Reactor	35
2.5. Metodología de Cálculo del Aislamiento Térmico	37
2.6. Metodología de Selección de los Materiales del Horno	38
2.7. Diseño del Agitador para el Movimiento de la el Interior del Reactor	39
2.8. Metodología de Selección del Motor Reductor del Agitador	39
2.9. Metodología de Selección de las Compuertas Alimentación y Descarga	40
2.10. Cálculo de la Resistencia de la Base del Horno	41
2.10.1. Caras Frontales Externas	41

CAPITULO III

CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO

	Pág.
3. Tratamiento de los Resultados	42
3.1. Características del Sistema de Alimentación Propuesta	42
3.2. Características de la Resistencia Eléctricas, del Horno y Aislamiento Térmico	43

3.2.1. Selección y Ubicación de Medición	44	Instrumentos de
3.3. Selección de Materiales del Horno	44	
3.4. Selección del Motoreductor para el Agitador	48	
3.5. Resultados del Cálculo de la Resistencia Base del Equipo	48	de la
3.6. Estimación Económica	49	
3.7. Impacto Medioambiental	50	

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

GLOSARIO DE TÉRMINOS

GLOSARIO DE SIGLAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

Pág.

Tabla 1. Comparación de los Tres Tipos de Evaluados por 150 MWT de Salida de Torrefacción	15	Reactores del Proceso
Tabla 2. El Balance Energético Global de MW del Proceso de Torrefacción	18	150
Tabla 3. Pasos de Helicoide de Tornillos Sin Fin		28
Tabla 4. Valores de los Coeficientes Ψ , A, W_0		29
Tabla 5. Valor del Coeficiente c según el ángulo de Inclinación		29
Tabla 6. Constantes C y n		36
Tabla 7. Composición Química para la Selección de Metales		45
Tabla 8. Valoración Económica en Dólares Americanos		49
Tabla 9. Accesorios y Materiales		50

FIGURAS

		Pág.
Figura 1. Balance durante la Torrefacción		8
Figura 2. Representación Esquemática Proceso Pechiney		9
Figura 3. Proceso de Mejora de la Producción de Madera (GIRARD P		Combustible de & SHAH N, 2005)
	11	
Figura 4. Diagrama General de Flujo de Torrefacción ECN	13	Proceso de
Figura 5. Ecuación del Proceso Auto Térmico de Torrefacción		14

Figura 6. Masa Neta de Flujos correspondiente a la Torrefacción a 280°C y 17.5 minutos de tiempo de Reacción (HE: Intercambiador de Calor)	16
Figura 7. Flujos Netos de Energía en (MW), correspondiente a la Torrefacción de Woodcuttings a 280°C y 17.5 minutos el Tiempo de Reacción (HE: Intercambiador de Calor)	17
Figura.8. Cilindros de Doble Efecto	20
Figura 9. Distribuidores Electroneumáticos	24

ANEXOS

ANEXOS	Pág.
Anexo 1: Coeficiente de Rozamiento de Algunas Sustancias	
Anexo 2: Tabla de Tipos de Termopares y Características Fundamentales	
Anexo 3: Partes Mecánicas, Neumáticas y Eléctricas del Horno de Torrefacción	
Anexo 4: Tornillo Sin Fin	
Anexo 5: Aislante Térmico	
Anexo 6: Agitador de Biomasa	
Anexo 7: Resistencia Eléctrica	
Anexo 8: Horno de Torrefacción Diseñado	
Anexo 9: Elementos Mecánicos y Neumáticos del Horno de Torrefacción	
Anexo 10: Interior del Horno de Torrefacción y Agitador de Biomasa	
Anexo 11: Estructura del Horno de Torrefacción	
Anexo 12: Simulación Didáctica Festo Fluid 3.6.	

RESUMEN

En el Diseño del reactor propuesto para la torrefacción de aserrín de pino con fines energéticos a escala de laboratorio se tuvo en cuenta la selección del sistema de alimentación de aserrín considerando viable para ello un transportador de tornillo sin fin. Para el calentamiento de esta biomasa se calculo la resistencia eléctrica capaz de calentarla hasta 250 °C teniendo en cuenta a su vez las pérdidas de calor al exterior en función del aislamiento térmico seleccionado. De la misma forma se seleccionó un agitador que garantice el movimiento a 30 rpm de la biomasa en el interior del reactor. El material seleccionado para todas las paredes del horno fue acero inoxidable. En el diseño se muestra además la selección de las compuertas de alimentación y descarga accionadas por cilindros neumáticos y por último se seleccionó y calculó la base del equipo. Para una ejecución óptima del proceso se propone una automatización del mismo a partir de PLC.

SUMMARY

In the reactor design by torrefaction pine's sawdust with goals energy to laboratory scale we have had account the sawdust's feeding system selection taking account the realible screw's transport without ending. For biomass heating we calculate the electric resistance able to heat it up to 250 °C taking accounts the lost warm to the outside function of thermal isolation selected. Of the same way we selected an agitator guarantees movement to 30 rpm of reactor biomass inside. The selected material by oven's wall was stainless steel. In this design shows the feeding floodgates and discharge doors by pneumatic cylinders and finally it was selected and calculated the equipment base. For good maintenance and carrying out we will propose the some automation when starting from PLC.

CERTIFICADO

Por el presente tengo a bien certificar que, la traducción del idioma inglés del resumen de la Tesis **“DISEÑO DE UN REACTOR PARA LA TORREFACCIÓN DE ASERRÍN DE PINO CON FINES ENERGÉTICOS A ESCALA DE LABORATORIO”**. De los señores egresados: Peña Mullo Celso Geovanny y Yánez Jácome Marco Antonio, lo realizaron bajo mi supervisión y se encuentra correctamente traducido bajo la estructura del lenguaje inglés.

Es todo cuanto puedo decir con honor a la verdad. Los interesados pueden hacer uso de este certificado como mejor convenga a sus intereses.

Atentamente

.....
Lic. Lidia Rebeca Yugla Lema.
C.I. 050265234-0.

INTRODUCCIÓN

Producto a la crisis energética actual fundamentalmente de los combustibles fósiles, dados por su agotamiento y desfavorable impacto medioambiental por la contaminación del medio ambiente ha conducido a una creciente demanda en la

utilización de fuentes de energía renovables. En este sentido la biomasa toma una opción especialmente prometedora. El aprovechamiento energético de la biomasa puede ir dirigido hacia la producción de electricidad, la producción de energía térmica o la combinación de ellas (cogeneración)

El empleo de energía renovable está igualmente estimulado por organizaciones internacionales, quienes fomentan su potenciación entre otras vías, por el pago de primas en función de las toneladas de gases de efecto invernadero dejados de emitir, así como los potenciales altos de reducción de emisiones.

La provincia de Pinar del Río es una de las más boscosas del país, cuenta con una superficie Patrimonio Forestal de 491 000,48 ha, de ellas corresponde el 39% a la superficie cubierta de bosques, encontrándose por encima de la media nacional. Del total de la superficie cubierta de bosques 72 143,21 ha pertenecen al P. caribaea Morelet var. caribaea y 19 362,0 ha a especies de eucaliptos (MINAGRI provincial, 2007)

En el territorio pinareño se encuentran situados 13 aserraderos con una capacidad instalada de 71 000 m³ de madera serrada por año.

Los diferentes aserraderos, en función de sus capacidades de producción, tienen su correspondiente producción de aserrín, lo que está en dependencia, a su vez, de las dimensiones de la madera aserrada obtenida (Fernando Egas, A., 1998); de lo que se deduce fácilmente, que en la Provincia de Pinar del Río, se generan volúmenes importantes de aserrín que pueden tener prominentes aplicaciones energéticas.

La necesidad de desarrollar tecnologías para favorecer la disminución de la contaminación, originada por la deposición de los desechos agroforestales; de disminuir el empleo de combustibles fósiles en la generación de electricidad, en

comunidades aisladas del sistema de distribución de energía eléctrica, reduciendo así la emisión a la atmósfera de los gases causantes de calentamiento global;, dio lugar a la problemática que se aborda en el presente trabajo.

A partir de los elementos anteriores se puede decir que la torrefacción de biomasa, se convierte en un tema de actualidad, pues permite transformar esta biomasa. Durante la torrefacción ocurren cambios en las propiedades físicas y químicas de la biomasa. El contenido de carbono fijo y la densidad energética aumentan con el tiempo y la temperatura, mientras que el rendimiento en peso del producto sólido disminuye.

La biomasa torrada tiene propiedades hidrofóbicas, de manera que no absorbe humedad del aire durante su almacenamiento. Después de un tiempo de almacenamiento de 15 días según investigaciones de **D. Tito Ferro** el contenido de humedad en las muestras torradas es de 2 % para las muestras de bagazo, 1.2 % para las de alfalfa y 1 % para pino, pellets de aserrín y pellets de paja de trigo. El contenido de humedad en el producto torrado es muy inferior al contenido de humedad en la biomasa de origen (aproximadamente 6 %).

Ante la necesidad de mejorar las propiedades del aserrín como combustible que permitan emplearlo energéticamente hemos propuesto el siguiente diseño de la investigación:

CAPITULO 1

1. MARCO TEÓRICO

1.1 BIOMASA. CARACTERÍSTICAS GENERALES

Por biomasa entenderemos toda materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía (DRAE 2008). Las fuentes de biomasa que pueden ser usadas para la producción de energía cubren un amplio rango de materiales, como los residuos de la industria forestal y la agricultura, los desechos urbanos y las plantaciones energéticas. Se emplean, generalmente, como materia prima en procesos de conversión para la generación de energía enfocados hacia la sustitución de combustibles fósiles.

1.1.1. Plantaciones Energéticas.

Estas son grandes plantaciones de árboles o plantas cultivadas con el fin específico de producir energía. Para ello se seleccionan árboles o plantas de crecimiento rápido y pocos recursos para su atención, las cuales usualmente se cultivan en tierras de bajo

valor productivo. También se utilizan arbustos que pueden ser podados varias veces durante su crecimiento, para extender la capacidad de cosecha de la plantación.

1.1.2. Algunas Características de la Biomasa.

Para evaluar la factibilidad técnica y económica de un proceso de conversión de biomasa en otro portador energético, es necesario considerar ciertos parámetros y condiciones que la caracterizan (Cordero, T.1989)(Márquez, F.2001).

- *Tipo de biomasa:* Los recursos biomásicos presentan diferentes características físicas que determinan la factibilidad técnica y económica de los procesos de conversión energética que pueden aplicarse a cada tipo en particular.
- *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) (R. Bilbao, J. Arauzo 2001).
- *Contenido de humedad:* 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 termoconversión energética es factible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%.
- *Porcentaje de cenizas:* El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material.

- *Poder calórico:* El contenido energético por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa.
- *Densidad aparente:* Se define como el peso por unidad de volumen del material en el estado físico que presenta, bajo condiciones dadas.

Madera: La mayoría de las especies de madera tienen contenidos de ceniza inferiores al dos por ciento, siendo, por lo tanto, combustibles apropiados para los gasificadores de lecho fijo. Debido al alto contenido de sustancias de la madera, los sistemas de gasificación con reactores de corriente ascendente (*updraft*) producen gas que contiene un alto contenido de alquitranes, apropiado sobre todo para combustión directa.

Serrín: La mayoría de los gasificadores de corriente ascendente (*updraft*) disponibles no son apropiados para serrín que no esté densificado. Los problemas que se presentan son: producción excesiva de alquitrán, caída inadmisibles de presión y falta de circulación en el depósito de combustible.

1.1.3. Posibles Empleos Energéticos de la Biomasa

Aplicando los diferentes procesos de conversión, la biomasa se puede transformar en diferentes portadores energéticos:

- ***Calor y vapor:*** Es posible generar calor y vapor mediante la combustión de biomasa o biogás. El calor puede ser el producto principal para aplicaciones en calefacción y cocción, o puede ser un subproducto de la generación de electricidad en ciclos combinados de electricidad y vapor.

- **Combustible gaseoso:** Existen varios combustibles gaseosos, entre ellos el biogás producido en procesos de digestión anaeróbica o gasificación , que puede ser usado en motores de combustión interna para generación eléctrica, para calefacción y acondicionamiento en el sector doméstico, comercial e institucional y en vehículos modificados.
- **Biocombustibles:** La producción de biocombustibles como el etanol y el biodiesel tiene el potencial para reemplazar cantidades significativas de combustibles fósiles en muchas aplicaciones de transporte.
- **Electricidad:** La electricidad generada a partir de los recursos biomásicos puede ser comercializada como “energía verde”, pues no contribuye al efecto invernadero, por ser nulo el balance de emisiones de dióxido de carbono (CO₂).

1.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICA DE LA BIOMASA.

1.2.1. Influencia de las Características Físicas del Material en la Descomposición Térmica.

- a) **Humedad:** El contenido óptimo de humedad en la biomasa está en función del proceso de termoconversión a emplear. Es un factor importante ya que un aumento de humedad por encima de la humedad óptima, significa también un aumento en el consumo de calor para vaporizar el agua, con lo que disminuye la eficiencia del proceso.
- b) **Tamaño de partícula:** Influye en la velocidad de carbonización ya que cuanto mayor es la partícula del sólido peor es la transmisión de calor. Esta se

produce más rápidamente en sentido longitudinal que transversal, siendo por tanto más importante el espesor del sólido que su longitud (R. Bilbao, M.B Murillo 1999).

1.2.2. Influencia de las Características Química de la Biomasa en la Descomposición Térmica de la Madera.

Entre los principales constituyentes químicos de la madera el que mantiene la influencia más grande en las características físicas y química es sin una duda, la lignina. Brito y Barrichelo, (1997) encontraron las correlaciones positivas significantes entre el porcentaje de lignina de varias especies del eucalipto con el rendimiento gravimétrico y con el porcentaje de carbono fijo y, por consiguiente, correlaciones negativas con los porcentajes de materias volátiles y de ceniza en el carbón. Intentando justificar los resultados obtenidos, ellos señalaron que el porcentaje más alto de carbono fijo está vinculado con las muestras que poseían los porcentajes de ligninas mayores, que se atribuyen al hecho de ser la lignina el más resistente a la descomposición térmica cuando se compara con la celulosa y el hemicelulosa, debido, a su estructura sumamente compleja. De la misma manera, los porcentajes más grandes de carbono se encuentran en el carbón vegetal, comparado con los líquidos piroleñosos y los gases, esto está motivado por que la lignina posee un 65% de carbono elemental aproximadamente y es esta la que más aporta al carbón vegetal.

Según Bilbao y Murillo (1999), el valor porcentual de lignina en estudios realizados se encuentra en las coníferas entre 24 y 34% y, en las latifolias tropicales, entre 25 y 33% (De Almeida 1998).

Puede afirmarse que la cantidad de carbono fijo generado por unidad de madera en el carbón vegetal, principalmente depende del porcentaje de lignina de la madera. (Rompo y Barrichelo 1997) (De Almeida, 1998). Ellos comentaron que la presencia de un porcentaje alto de compuestos de naturaleza aromática, como extractivo y lignina, da como consecuencia un carbón con la densidad más grande y más resistente en lo que se refiere a las propiedades físico-mecánico. Por consiguiente, se evidencia la importancia de la lignina en la producción de insumos energéticos de la madera.

La lignina empieza a degradar a temperaturas relativamente bajas, contrario de la celulosa y del hemicelulosa, su descomposición es lenta, continúa perdiendo peso a temperaturas superiores a 500 °C, pasado el periodo normal de carbonización, la pérdida de peso presentada por la lignina es significativamente más pequeña que aquéllas experimentadas por la celulosa y la hemicelulosa, permaneciendo, todavía, aproximadamente el 40% de su masa original. La degradación de la celulosa ocurre rápidamente de 300 a 350 °C, se degrada aproximadamente el 80% de su masa. La hemicelulosa empieza a perder el peso en las temperaturas próximas a 225 °C, siendo el componente menos estable. Alrededor de los 500 °C, su degradación térmica es casi completa, aunque puede continuar perdiéndose masa hasta valores próximos a los 700 y 800 °C, ó superiores en dependencia de la biomasa original. (Márquez, F, 1998) (Aguiar, L. y Col, 2008) Por consiguiente, todo indica que la resistencia térmica de los constituyentes químicos de la madera está íntimamente relacionada a sus respectivas estructuras. Así, cuando más complejo, más rígido, más inaccesible,

más cerrado y más cristalino sea la estructura, más estable desde el punto de vista térmico será la correspondiente composición química (Shebani, A.N. y col, 2008).

1.2.3. Contenido de Humedad del Combustible.

El valor calorífico del gas producido por cualquier tipo de gasificador depende, al menos en parte, del contenido de humedad del combustible.

El contenido de humedad se puede determinar sobre base seca o sobre base húmeda. En este trabajo se empleará el contenido de humedad (C.H.) sobre base seca.

El contenido de humedad se define del modo siguiente:

$$CH_{seco} = \frac{\text{masa Muestra Húmeda} - \text{masa Muestra Seca}}{\text{masa Muestra Seca}} * 100(\%)$$

Por otra parte, el contenido de humedad sobre base húmeda se define del modo siguiente:

$$CH_{humedo} = \frac{\text{masa Muestra Húmeda} - \text{masa Muestra Seca}}{\text{masa Muestra Humeda}} * 100(\%)$$

1.2.4. Contenido de Cenizas y Composición Química de las Cenizas.

Las cenizas pueden causar diversos problemas, sobre todo en los gasificadores de tiro directo o de tiro invertido. Si no se adoptan medidas especiales, la acumulación de escoria puede ocasionar la formación excesiva de alquitrán y el bloqueo total del reactor. En general, no se observa formación de escoria con combustibles que poseen

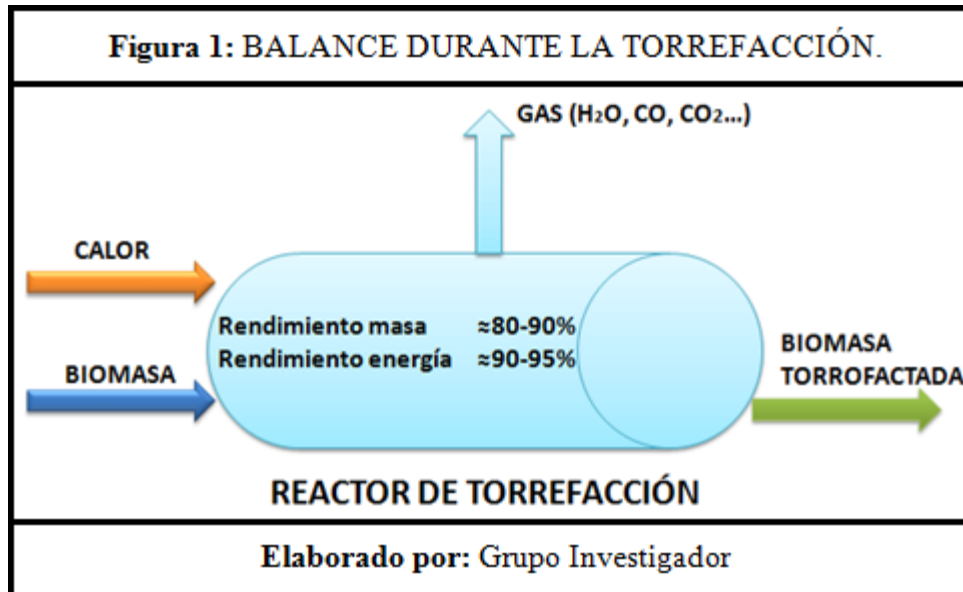
un contenido de cenizas inferior al 5 ó 6 %. Cabe esperar una importante formación de escoria en el caso de combustibles que posean un contenido de cenizas del 12 % y más.

En lo que se refiere al contenido de cenizas, la madera en bruto y los carbones de madera rara vez presentan problemas, siendo su contenido de cenizas normalmente del 0,72 al 2,5 por ciento (Márquez et al, 2001).

1.3. TORREFACCIÓN.

Torrefacción es un proceso termoquímico de secado y pirolisis parcial en la cual la biomasa es calentada lentamente hasta una temperatura de 250-300°C en un ambiente libre de oxígeno y manteniendo esta temperatura durante 10-40 min.

Los productos torrefactados durante la combustión son menos contaminantes y la combustión es relativamente rápida (figura 1).

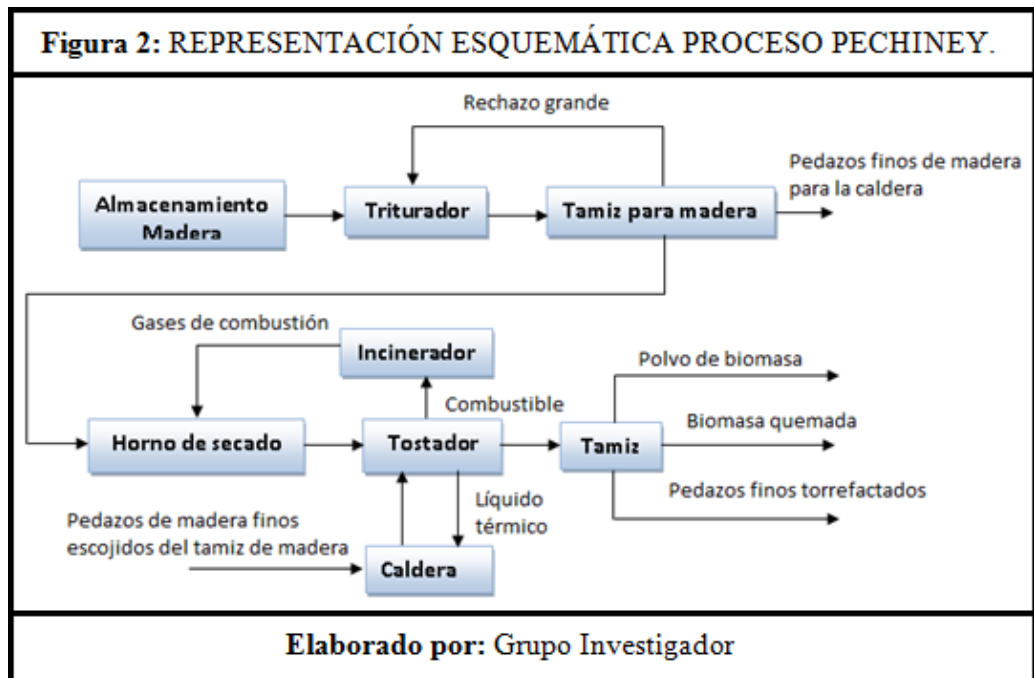


1.4. LA TECNOLOGÍA DE TORREFACCIÓN PECHINEY.

PECHINEY construyó la primera unidad de demostración de un proceso de torrefacción que estaba en funcionamiento desde principios de 1987, con una capacidad de 12000 t / año de madera torrefactada como agente de reducción de silicio metálico (Girard P & Shah N, 2005). Dado que este es el único proceso comercial construido, que es aceptada como el estado de la técnica del sistema. Sin embargo, no hay que olvidar que las condiciones del proceso aplicadas eran diferentes de lo que debería ser para producir un producto que puede ser convertida en energía en una etapa posterior.

El proceso aplicado en Pechiney consistía básicamente en una picadora de molienda, donde se llevaba a cabo, un horno de secado, y un reactor de torrefacción (tostador)

(figura 2). La madera recibida era cortada en astillas de 50 a 80 mm de largo y 15 mm de espesor a razón de 20 t/h. Las piezas de más de 80 mm eran retiradas a la salida de la pantalla para ser reciclados y los pedazos que eran menos de 15 mm eran enviados a la caldera para su combustión. Tras esta operación las virutas de madera eran transportadas a un horno de túnel para el secado. Las astillas, secadas hasta un 10 % de humedad, eran transportadas al tostador (reactor de torrefacción), que era un dispositivo de mezcla en caliente con una capa doble y un eje de rotación con las secciones del disco perpendicular a la línea central de los ejes. El reactor se calentaba por conducción usando aceite térmico como fluido de transferencia de calor. Este líquido se reciclaba entre la caldera y el reactor. Los gases generados en el tostador se quemaban y el humo era retornado al horno. La temperatura al final del tostador era reducido. Bergman (P.C.A, july 2005). El proceso de Pechiney destinados a un producto que tiene un contenido de carbono fijo con contenido de humedad homogenizada. La temperatura de operación fue en el rango de 240 °C a 280 °C con un tiempo de residencia de 60 a 90 minutos. Cuando se consideró a grandes escalas el diseño de este reactor, surgieron varios problemas. El área de intercambio de calor en este reactor era un factor limitante. El contenido de humedad de alimentación se limitaba al 15 % mientras que el reactor fue limitado a 2 t/h, lo que implicaría un mayor contenido de humedad pasando a través del reactor.



La eficiencia energética de Pechiney se calculó como 65-75 %. La baja eficiencia del proceso, se debió principalmente a las pérdidas de materia prima durante el astillado y paso del tamizado.

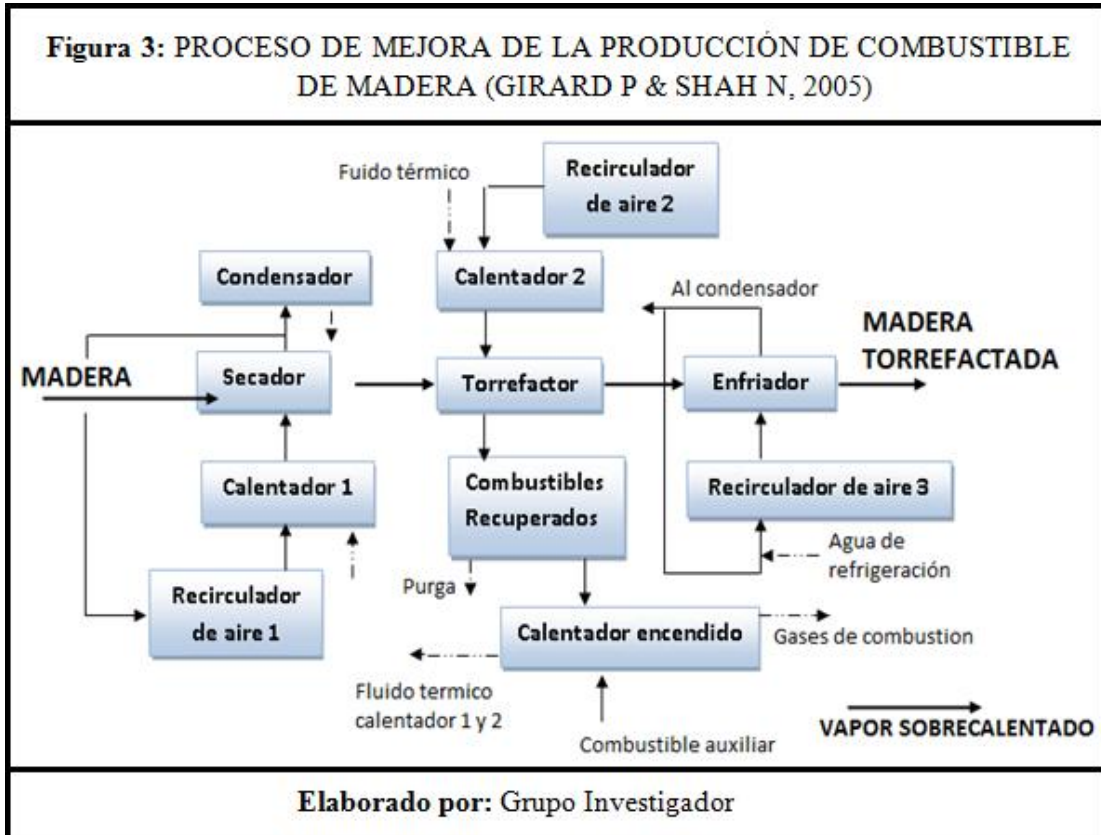
1.4.1. Evaluación del Proceso de Pechiney.

El coste de inversión del proceso de Pechiney fue aproximadamente 2,9 M € en 1985 con una inversión específica de 25 € / t de producto. Más del 80 % del coste de inversión total fue de derivados del reactor. La producción de madera torrefactada fue de aproximadamente 100 € / t cuando los costes de materia prima fueron excluidos. Cuando los costes de materia de prima eran incluidos, el coste de producción sería de alrededor de unos 150-180 € / t. la ampliación de proceso podrían reducir los costes de

producción. Sin embargo, el reactor utilizado en el proceso de Pechiney fue pobre en la ampliación de las propiedades y caro. Estas propiedades implican la necesidad de seguir buscando una mejor tecnología de proceso. De hecho, un proceso de torrefacción, con una capacidad de 150 MW, está diseñado por ECN.

1.4.2. Proceso de Vapor Recalentado de Secado y Torrefacción.

El agua puede desempeñar un papel significativo en la torrefacción, los efectos de vapor sobrecalentado utilizado en la figura 3 donde se muestra un proceso esquemático generalizado. la Biomasa lignocelulósica en bruto es de pre ‘secado a menos del 10 % de humedad con vapor sobrecalentado (SHS). El SHS tiene una capacidad de calor mucho más alto que el aire caliente o el nitrógeno. El vapor también proporciona un ambiente sin aire de secado que reduce las pérdidas de rendimiento de la oxidación. Ambos lotes y reactores continuos se han utilizado para producir madera torrefactada. Es preferible un reactor continuo con vapor sobrecalentado a presión atmosférica que se seque y torrefacte la alimentación de la madera. Torrefacción es, en general, endotérmica y las descargas de agua, ácido acético, dióxido de carbono, monóxido de carbono y otros volátiles. Este efecto de enfriamiento local debe ser contrarrestado. La temperatura de reacción está estrechamente vigilada y controlada. Para evitar posibles condiciones exotérmicas de escape la reacción de temperatura de torrefacción no podrá superar los 280 °C.



La recirculación de la atmósfera de vapor sobrecalentado en el secadero se obtiene de la humedad que se elimina de la madera mediante el secado. El calor latente en el vapor con ventilación de la secadora se puede recuperar mediante el uso del aire o un condensador refrigerado por agua para producir aire caliente para la pre-secado de la madera o el agua caliente para calefacción de locales.

Vapor y gases generados por la torrefacción de la madera se recirculan a través del calentador indirecto y la cámara de torrefacción. El exceso de vapor se condensa y los gases combustibles pueden ser utilizados para producir calor para el proceso o para el tratamiento de residuos y eliminación de los propósitos.

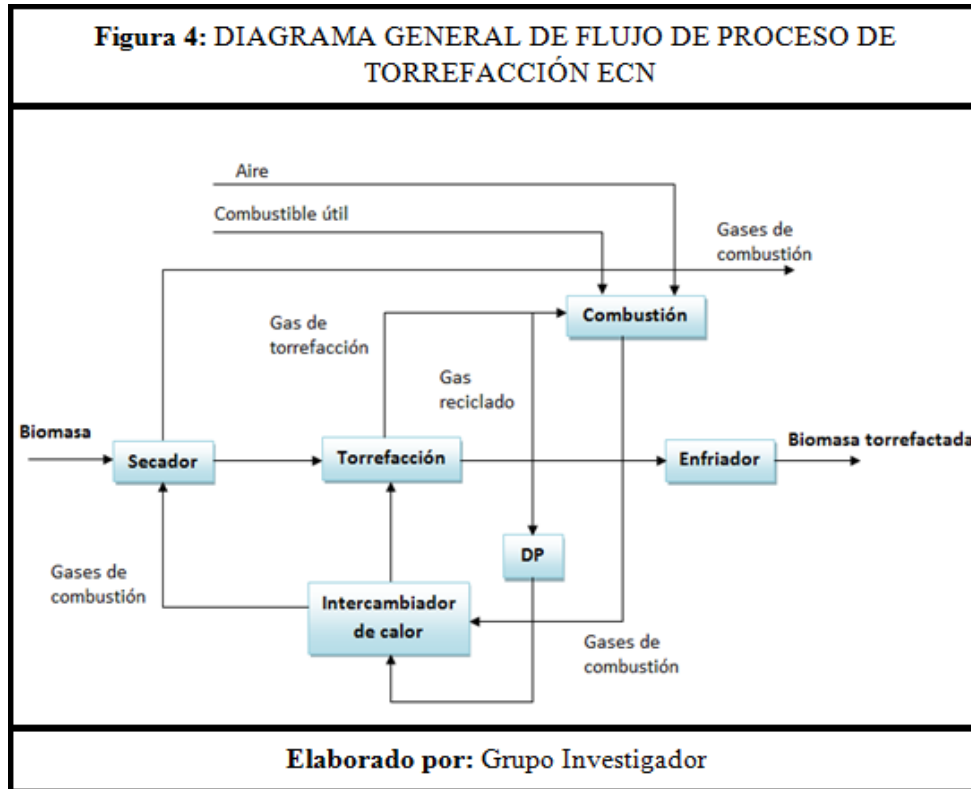
Para evitar la auto-ignición al contacto con el aire ambiente, la madera tostada se enfría a una temperatura fija descargada por recirculación de vapor sobrecalentado mantiene a unos 110 °C. Las propiedades específicas del producto biomasa torrefactos final puede variar dependiendo del procedimiento de enfriamiento debido a que la biomasa tostadas calientes contiene radicales libre. (Shafezadeh, F., **1985**, p.183-217).

1.4.3. Proceso de Torrefacción según la Tecnología ECN .

El proceso de torrefacción ECN (Energy Research Center of the Netherlands) se basa en el calentamiento directo de la biomasa durante la torrefacción utilizando el gas caliente que se recicla. El gas de torrefacción regresa a presión y se calienta antes de que se recicle al reactor. El calor necesario para el secado y la torrefacción es producido por la combustión de gas de torrefacción que se libera. De hecho, el contenido energético de los gases de torrefacción desempeña un papel significativo en el suministro de energía a la secadora y el reactor. Cuando la energía obtenida de los gases de torrefacción es igual a la demanda de energía de la secadora y el reactor, el sistema funciona auto térmico. Por otra parte, cuando el contenido energético del gas no es suficiente, la energía de servicios públicos debe ser utilizada. El contenido de humedad de la materia prima es muy importante ya que la propia materia prima determina la demanda de calor requerido. La relación entre el contenido de humedad como materia prima y producción de energía en ECN se puede resumir, el más húmedo de la materia prima de la biomasa en el más bajo es el rendimiento

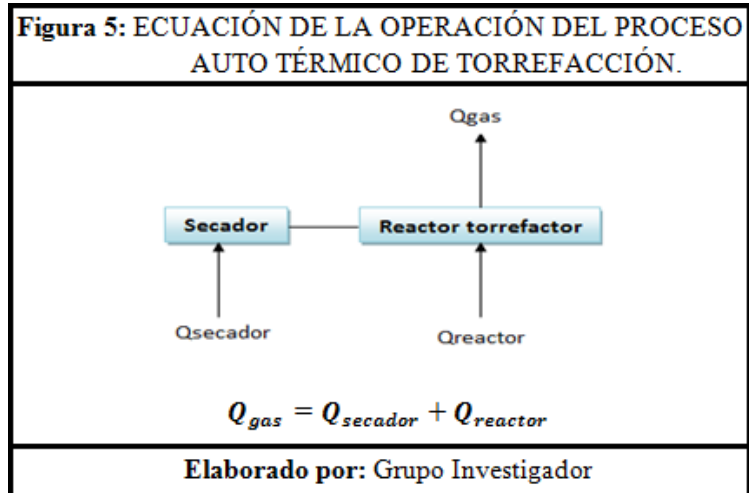
energético que se permitirán en la torrefacción con el fin de realizar la operación auto térmico.

El contenido energético de los gases de la torrefacción entra directamente relacionado con el sólido y el rendimiento energético de la torrefacción. Por lo tanto, cuando se opera en la torrefacción una condición diferente que produce menos producción de energía, no habla excedente de energía en forma de gas de torrefacción, por el contrario, cuando el rendimiento energético del proceso es mayor que las condiciones optimizadas en esta ocasión la energía producida a partir del gas no será suficiente para cumplir con la secadora y la demanda del reactor. Este fenómeno se explica en la **figura 4** donde el proceso de torrefacción ECN consiste en secadora, reactores, intercambiadores de calor, combustión y enfriamiento.



Posdata.- caída de presión del gas de recuperación

En este diseño el gas de torrefacción se espera que se quemara de manera que la demanda de energía de la secadora se puede conseguir sin o con un consumo de servicios públicos poco combustible. Por lo tanto, esto resultaría en un auto de apoyo, el sistema de alta eficiencia. El valor calórico de los rangos de gas de 5,3 a 16,2 MJ/Nm³ a las temperaturas de 265 °C y 290 °C, respectivamente.



1.4.4. Componentes del Sistema ECN.

Secadora: El calentado es directamente del tambor de rotación y la tecnología fue seleccionada para secar la biomasa del 50 % de humedad a la deseada del 15 %. Secador de diseño se basa en re-circulación de gases de combustión y modelado por ECN.

Reactor: Durante el proceso de diseño en el ECN, son considerados tres tipos de reactores diferentes.

1. Reactor Tornillo: Utilizado en el proceso de Pechiney.
2. Tambor giratorio: El tambor calienta directamente y la tecnología encuentra aplicaciones como secador.
3. Lecho móvil: El lecho es calentado directamente en movimiento. (porcentaje de llenado alta), sencillez en la construcción, las altas tasas de transferencia de calor y el requisito de tamaño pequeño reactor. Otra ventaja del reactor de

lecho móvil es que no hay requisito de una forma específica como materia prima. Puede manejar los materiales que fluyen no-libres. De hecho, los estudios de diseño en ECN, resulto a favor del reactor de lecho móvil como la tecnología más prometedora. La comparación del reactores tres se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 1: COMPARACIÓN DE LOS TRES TIPOS DE REACTORES EVALUADOS POR 150 MWT DEL PROCESO DE SALIDA DE TORREFACCIÓN.

	Coefficiente de transferencia de calor	Tiempo total de residencia	Fill	Alimentación	Costo
	$W/m^2^{\circ}C$	Min	%		
Reactor de tornillo	30	34	60-70	Libre	Elevado
Tambor rotatorio	41	55	10-15	Libre	Medio
Lecho móvil	200	20	100	Flexible	Barato

Elaborado por: Grupo Investigador

El Coeficiente estimado de transferencia de calor está relacionado al área de intercambio en m^2 para el reactor de tornillo, el volumen de reactor m^3 para el tambor giratorio y el m^2 de superficie de la partícula para el lecho móvil.

El Costes de adquisición de equipos comparando unas con otras; el reactor de lecho móvil es aproximadamente 6 veces más barato que el reactor de tornillo.

Enfriador: La biomasa torrefactada era enfriada a 50 °C. Por una forma indirecta de rotación del tambor empleando agua como refrigerante.

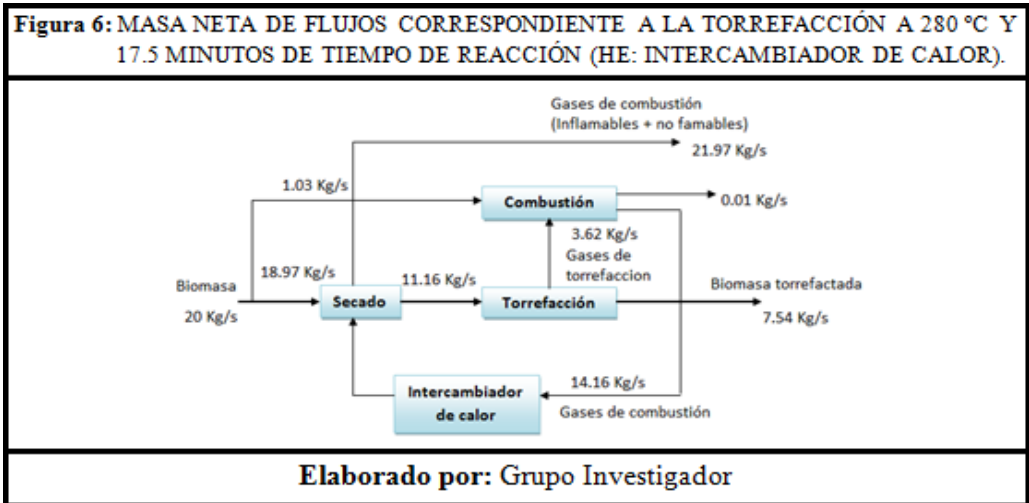
1.4.5. Evaluación de Tecnologías ECN

1.4.5.1. Objetivos y Metodología

La viabilidad técnica del proceso de torrefacción como una nueva tecnología emergente fue realizada por (Uslu, Ayla. 2005). En el análisis se utilizaron los datos obtenidos en el paquete de simulación de flujo ASPEN , que se creó en el Centro de investigación de Energía de los Países Bajos (ECN). La Masa total y los balances energéticos derivados de dichos estudios se utilizan para calcular el rendimiento general del sistema. Las condiciones del proceso se supone que son las mismas ECN.

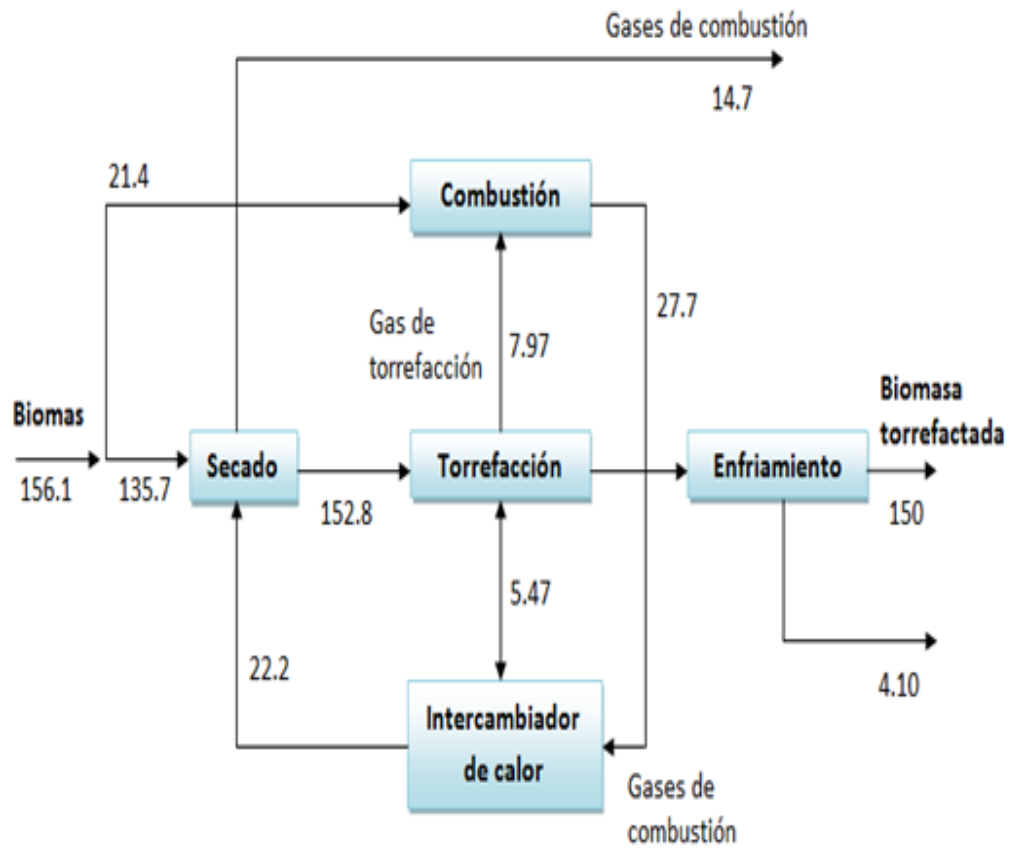
1.4.5.2. Balances de Materia y Energía

Según a el estudio del ECN hace bajo 280 °C de temperatura y las condiciones de reacción 17,5 min. De tiempo, la reacción de la torrefacción de rendimiento de peso fue determinada como alrededor de 70% (figura 6) mientras que el rendimiento en masa de secado fue alrededor del 60%. Este número corresponde a la pérdida de humedad. De hecho el contenido de humedad de entrada de biomasa fue del 50% y el contenido de humedad de la biomasa de salir del secador fue del 15%.



El rendimiento térmico de todo el proceso fue calculado como el 96 %, mientras que la eficiencia neta fue de aproximadamente el 92% (incluye el consumo de servicios públicos) (figura 7 y tabla 2). El rendimiento térmico de todo el proceso está determinado principalmente por la eficiencia del secado. El flujo de energía aumenta en el secador de 135,7 a 152,8 MW. La alta eficiencia de la torrefacción es producto a la operación auto térmica donde el gas torrefactado producido se quema y suple la demanda de energía de la secadora y el reactor.

Figura 7: FLUJOS NETOS DE ENERGÍA (EN MW), CORRESPONDIENTE A LA TORREFACCIÓN DE WOODCUTTINGS A 280 °C Y 17,5 MINUTOS EL TIEMPO DE REACCIÓN (HE: INTERCAMBIADOR DE CALOR).



Elaborado por: Grupo Investigador

Tabla 2: EL BALANCE ENERGÉTICO GLOBAL DE 150 MW DEL PROCESO DE TORREFACCIÓN

<i>Utility</i>	<i>Unit</i>	<i>Value</i>
Energía térmica de salida	MW _{th}	150
Energía térmica de entrada	MW _{th}	156
<i>Electricidad consumida</i>		
Secador	MW _{th}	
Reactor	MW _{th}	
Quemador/Intercambiador de calor	MW _{th}	
Ventilador axial	MW _e	1.28
Enfriador	MW _e	1
Soplador	MW _e	0.4
Electricidad demandada	MW _e	2.68
Equivalencia térmica	MW _{th}	6.7
<i>Eficiencia térmica</i>	%	0.96
<i>Eficiencia Neta</i>	%	0.92

Elaborado por: Grupo Investigador

1.5. APLICACIONES DEL AIRE COMPRIMIDO Y DE LAS MÁQUINAS NEUMÁTICAS.

El aire comprimido se puede controlar totalmente con la ayuda de diversos aparatos reguladores. Los cilindros de aire obedecen a los mandos en lo que se refiere a fuerza, velocidad, movimiento y parada, ofreciendo así numerosas posibilidades para la mecanización (Van Dijen, 1980).

El aire comprimido, como fuente de energía, se obtiene a través de compresores, que la envían por tuberías a uno o más cilindros neumáticos, que hacen la función de actuadores mediante un simple movimiento rectilíneo.

Estos sistemas encuentran aplicaciones en casi todas las ramas de la industria, procesos como:

- Alimentación de maquinas.
- Maquinas transportadoras o clasificadoras.
- Apertura y cierre de puertas y ventanas.
- Instalaciones para elevadores de carga.
- Aparatos vibradores y agitadores.
- Accionamiento de válvulas de cierre, etc.

1.5.1. Cilindros de Doble Efecto.

El cilindro neumático es la herramienta principal de la mecanización neumática. A veces a este se le ha denominado como “motor de vástago deslizante”.

El campo de acción de los cilindros de doble efecto es mucho más extenso que el de los cilindros de simple efecto.

Al decir doble efecto se requiere significar que tanto el movimiento de salida del vástago como el de entrada son debidos al aire comprimido.



1.5.2. Válvulas y Distribuidores de Control Direccional.

Una característica de todas las válvulas y distribuidores es que para accionarlas solo se requiere una pequeña fuerza actuando sobre una distancia muy corta. Esta provoca la contracción y de esta manera el aire a presión entra en el cilindro.

Los distribuidores de control, según su uso pueden dividirse en los siguientes grupos:

a) De potencia o principales.

Su función es la de suministrar aire directamente al cilindro y permitir igualmente el escape.

b) De fin de carrera.

Abren o cierran pasos al aire cuya función no será la de ir directamente al cilindro, sino que se usa solamente para el pilotaje o accionamiento de otros mecanismos de control, tales como los distribuidores de potencia o principales.

c) Auxiliares.

Son distribuidores utilizados en los circuitos y que en conjunción con válvulas de fin de carrera y de potencia, se usan para dirigir convenientemente las señales de presión de aire.

Para ahorrar aire comprimido y respecto a la localización de válvulas o distribuidores en maquinas o mecanismos, deben tenerse en cuenta los puntos siguientes:

- Los distribuidores principales deben montarse lo más próximo posible a los cilindros.
- La situación de las válvulas o distribuidores fin de carrera viene fijada por el punto donde y la manera como, han de ser controlados.
- La colocación de los distribuidores auxiliares es independiente, teniendo cuidado, sin embargo, de evitar las longitudes innecesarias de tubería.

La división en grupos que se ha hecho anteriormente no depende del tipo de distribuidor sino de la función que realiza.

1.5.3. Regulación de la Velocidad y la Fuerza.

La velocidad máxima permisible para el émbolo de un cilindro depende de el valor máximo para el cual el material puede deformarse cuando el émbolo en sus posiciones extremas golpea las cabezas anterior y posterior, así como del calor máximo permisible desarrollado por el roce entre las juntas y las superficies metálicas.

Una forma de limitar esta velocidad, es limitar el tamaño de las vías de entrada en relación con el área del émbolo; la dimensión de las vías determina la capacidad de flujo y por tanto, la velocidad que el émbolo alcanza en el interior del cilindro.

En los cilindros en los que el émbolo golpean las cabezas, la capacidad de flujo debe ser la suficientemente baja como para que el émbolo no alcance una velocidad excesiva.

En los cilindros neumáticos se usa normalmente amortiguación y con ella se puede aumentar la capacidad de flujo permisible de las vías.

Puede decirse que en los cilindros normales, con una longitud de amortiguación adecuada, y según la carga arrastrada, la velocidad máxima puede estar, posiblemente, entre 1,2 y 1,4 m/s. Las dimensiones de las vías y por tanto, la capacidad de flujo, se diseñan para estas velocidades típicas.

En la elección de un cilindro neumático, lo más importante es conocer la fuerza que ha de ser capaz de desarrollar el cilindro.

Teniendo en cuenta esta fuerza, se escoge un cilindro de un diámetro apropiado a la presión de aire disponible, considerando para ella la más baja que exista en la red de aire comprimido.

Normalmente este valor es la presión de ajuste y en el momento en que se alcanza se vuelve a poner en marcha el compresor que opera hasta la presión máxima ajustada.

El elemento que regula la velocidad del émbolo se llama restrictor de flujo, y con él se varía la capacidad de flujo de las vías del cilindro. Debe cumplir las siguientes condiciones:

- a) El restrictor de flujo debe permitir el paso a través de él, del aire de entrada y de salida.
- b) El flujo de escape ha de poder ser regulado, mientras que el de entrada debe atravesarlo sin ninguna restricción.
- c) La variación de la carga modifica transitoriamente la velocidad del émbolo y la regulación en el escape por medio de una válvula restrictora de flujo asegura una presión de frenado menor o mayor, que obliga al émbolo a recuperar su velocidad primitiva.

Si se precisa que un cilindro de aire tenga una velocidad constante, hay que tener una presión de frenado en la cámara de escape de al menos 2,2 bar; ello significa que de la fuerza que teóricamente puede realizar el cilindro, parte de ella se emplea en vencer la presión existente en la cámara de salida.

Sería una gran coincidencia que hubiese un cilindro de un diámetro exacto al calcularlo, por lo que si no coincide entonces se escoge el inmediatamente superior, el cual podrá desarrollar una fuerza ligeramente mayor, exceso que puede ser eliminado ajustando la válvula reguladora de presión a un valor inferior. A menudo, este exceso de capacidad de esfuerzo es desarrollable, pues téngase en cuenta que con frecuencia la carga sólo se conoce aproximadamente y que puede ser mayor de lo previsto, además, en la carga existe rozamiento de los elementos conducidos, y cuyo valor pocas veces es conocido; factores que deben tenerse en consideración.

1.5.4. Sistemas Electroneumáticos.

Las combinaciones de electricidad y neumática se usan frecuentemente en maquinas e instalaciones y pueden dividirse en:

- Control eléctrico de sistemas neumáticos.
- Control neumático de sistemas eléctricos.

Los elementos que enlazan estas dos técnicas son:

- Distribuidores electro neumáticos.
- Presostatos.

1.5.4.1. Control Eléctrico de Sistemas Neumáticos.

La principal aplicación de los sistemas electroneumáticos se encuentra en aquellos casos en los que el aire comprimido se usa como fuente de energía con la ayuda de cilindros, mientras que los distribuidores son pilotados eléctricamente.

Son argumentos para el mando eléctrico:

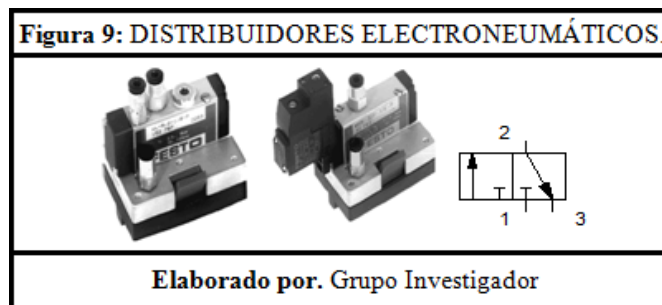
- a) Gran velocidad de transmisión de las señales (300.000 Km/s) .En una línea eléctrica, la distancia no tiene consecuencias en el tiempo de respuesta. En una neumática en cambio si las tiene.
- b) Reducción de energía. La electricidad resulta más barata que el aire, pues debido al bajo rendimiento de los compresores, solamente se transforma en energía neumática una parte no muy grande de la energía eléctrica.
- c) Aumento del mismo número de posibilidades de control debido al constante incremento de elementos de control disponibles en las técnicas eléctrica y electrónica.

- d) Los elementos eléctricos y electrónicos son más baratos a causa de su producción masiva.
- e) Estos elementos son a menudo muy pequeños, ocupan poco espacio y son fáciles de montar.

1.5.4.2. Distribuidores Electroneumáticos.

El distribuidor electro neumático es el elemento en el que un impulso eléctrico se transforma en una señal neumática.

En general el distribuidor electro neumático es un distribuidor 3/2 que, en principio, consta de un cuerpo con tres vías, con un electroimán. En el interior de este hay un núcleo que actúa como una válvula doble que cierra una vía al final de cada uno de sus movimientos (www.ascojoucomatic.com, 2009).



El distribuidor electro neumático tiene todas las ventajas de una válvula de asiento plano. Un pequeño movimiento del núcleo proporciona un paso de aire completo. La máxima intensidad del campo magnético se da en las inmediaciones del núcleo. El corto movimiento de este asegura que la apertura (en las normalmente abiertas), tiene lugar en el espacio en que el campo magnético es más intenso. Esto hace posible que un suministro eléctrico de baja potencia, actúa sobre el núcleo para vencer en ambos

sentidos una diferencia de presiones de 10 bar en una carrera de 3 mm para cerrar el asiento apropiado.

Estos distribuidores pueden obtenerse con una subbase, que permite interconectar a un cierto número de ellos usando un suministro común. Esta disposición facilita una conexión de aire fácil, sin piezas en “T”, todo ello en una unidad compacta.

CAPITULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL REACTOR DE TORREFACCIÓN PROPUESTO.

El horno como se muestra en el anexo 3 se diseña con 3 esclusas, 1 arriba y 2 abajo para la entrada de la biomasa y posterior salida de la misma una vez torrefactada, La capacidad del horno que se propone está en el orden de los 0.125 m^3 con una alimentación de 60 kg/h de aserrín. Para poder garantizar que el proceso transcurra con la calidad esperada la atmósfera en el interior del reactor debe tener la menor cantidad posible de oxígeno para que no combustione solo se torrefacte, de manera tal que se logre eliminar la humedad de la biomasa y se garanticen las propiedades hidrofóbicas, además garantiza la eliminación de los bordes filosos de la biomasa a la hora de triturarlo, lo que justifica el empleo del aserrín.

Esta biomasa al unísono con el calentamiento que va recibiendo a partir de una resistencia eléctrica próxima a los 250 °C, se va a estar moviendo en el interior del equipo a 30 rpm a través de un agitador que está acoplado a un sistema motor reductor.

2.2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE ASERRÍN.

A continuación se resaltan las características de los fundamentos teóricos empleados para el diseño de un transportador de tornillo sin fin capaz de lograr la alimentación del Reactor de torrefacción de aserrín de pino.

2.2.1. *Parámetros Imprescindibles en el Diseño del Tornillo Sin Fin.*

Para la alimentación de la biomasa se empleará un transportador de tornillo sin fin y la capacidad de este depende del diámetro del helicoide (metros), el paso del filete(s) en metros, la velocidad (n) en rpm y la eficiencia de llenado de la sección transversal del helicoide. (**Tabla 3**)

La eficiencia de llenado ψ suele ser relativamente baja con el fin de evitar el “embotellamiento” en las zonas de las chumaceras intermedias. Los mayores valores se dan para la manipulación de materiales fluidos y no muy abrasivos como se muestran en la (**tabla 4**). Las series del diámetro del helicoide y su paso tienen los siguientes valores (mm).

Tabla 3: PASOS DE HELICOIDE DE TORNILLOS SIN FIN.										
Diámetro del tornillo	100	125	160	200	225	320	400	500	650	800
Pasos del tornillo	100	125	160	200	250	320	400	500	650	800
	80	100	125	160	200	250	320	400	500	650
Elaborado por: Grupo Investigador										

Tabla 4: VALORES DE LOS COEFICIENTES Ψ, A, W_0.				
GRUPOS DE MATERIALES	EJEMPLO DE MATERIALES	COEFICIENTES		
		Ψ	A	W_0
Ligeros y no abrasivos	Polvo de carbón, granos, harinas, grafito en polvo, aserrín, ceniza, etc.	0.4	65	1.2
Ligeros y poco abrasivos	Tiza, polvo de carbón, arcilla seca, arena de fundición.	0.32	50	1.6
Pesados y poco abrasivos	Sal, carbón en pedazos, arcilla seca, arena de fundición.	0.25	45	2.5
Pesados y abrasivos	Cemento, sales arena, arcilla húmeda, mineral triturado, escoria	0.125	30	4.0

Elaborado por: Grupo Investigador

En los conductores de sinfín inclinados con movimientos ascendentes de la carga, la eficiencia de llenado es mucho menor por lo que la capacidad del equipo disminuye con el aumento del ángulo de inclinación, en particular cuando en estos existen, chumaceras o cojinetes intermedios. Esto es tomado en cuenta por el factor (c) y su valor en función del ángulo de inclinación β se da en la (**tabla 5**).

Tabla 5: Valor del coeficiente c según el ángulo de inclinación.					
Angulo de inclinación β	0°	5°	10°	15°	20°
Coeficiente (c)	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6

Elaborado por: Grupo Investigador

El número de revoluciones (n) del tornillo o helicoide se selecciona en función de la carga a transportar y del diámetro del conductor; disminuye con el aumento del peso volumétrico del material y con el diámetro del helicoide.

La resistencia total del movimiento en un transportador de tornillo sinfín se compone de; fricción del material contra el canal; fricción del material contra la superficie del helicoide, fricción en los cojinetes intermedios, terminar y de empuje axial; así como el trabajo de elevación de las cargas en el conductor si es inclinado la magnitud de estas resistencias, si se conoce los coeficientes de fricción correspondientes, pueden determinarse mediante el cálculo. Sin embargo, en el movimiento del conductor surgen otras resistencias complementarias muy difíciles de calcular, como son:

- a) Resistencia debido al “embotellamiento” del material (en los cojinetes intermedios).
- b) Resistencia debido a la introducción de partículas de material entre el borde del helicoide y el fondo de la artesa, formando una costra entre las paredes de ésta.
- c) Resistencia debido al amasado y mezclado del material.

Por ello, para la determinación de la potencia del motor necesaria, resulta más cómodo emplear un coeficiente, o factor de resistencia W_0 , obtenido experimentalmente **tabla 4**.

2.2.2. Expresiones para el Cálculo de Diferentes Parámetros del Transportador de Tornillo Sin Fin.

- Capacidad del transportador (Q) está determinada por la siguiente expresión:

Ecuaciones:

$$Q = 3600 * F * \gamma * v \quad (KN/h)$$

Donde:

F: El área de la sección de la vena de material que se mueve a lo largo de la artesa.

γ : Peso específico del material a transportar (kN/m^3).

v: Velocidad de traslación del material a transportar

- a) El área de la sección de la vena de material que se mueve a lo largo de la artesa, se expresa:

$$F = \Psi * \frac{\pi * D^2}{4} * c \quad (m^2)$$

D: Diámetro del tornillo sin fin.

c: Factor que toma en cuenta la inclinación del tornillo sin fin (**Tabla 5**).

- b) La velocidad de traslación de la carga será igual a:

$$V = \frac{s * n}{60} \quad (m/s)$$

s: Paso del tornillo sin fin (m).

n: Números de revoluciones del tornillo sin fin (r.p.m).

- El máximo valor permisible de revoluciones del tornillo o helicoide se determina por la siguiente expresión:

$$\eta_{max} = \frac{A}{\sqrt{D}} \text{ (rev/min)}$$

A: Coeficiente que toma en cuenta las características del material (**tabla 4**).

D: Diámetro exterior del helicoide (m)

- El diámetro (D) se comprueba con el valor de la partícula más representativa; por la expresión:

$$D \geq (10 - 12)\dot{a}$$

ā: Dimensión de las partículas clasificadas (homogéneas) de material a granel.

- La expresión para calcular la potencia necesaria del motor es:

$$N = N_{efec} + N_{fricc} \text{ KW}$$

$$N_{efec} = \frac{Q \cdot H}{3600}$$

$$N_{fricc} = \frac{Q \cdot L \cdot W_0}{3600}$$

H: Fuerza con que se mueve una porción de material con una velocidad (v), cuando el helicoide es igual a un paso (s).

L: Longitud del tornillo sin fin (m).

W₀: Coeficiente empírico de resistencia al movimiento que depende del tipo de carga a trasportar (**Tabla 4**).

- El momento o torque necesario para vencer las resistencias que actúan sobre el eje será:

$$M_0 = \frac{1 \cdot D \cdot 20}{W} N_0 = \frac{1020 \cdot 60 \cdot N_0}{2\pi \cdot n} = \frac{9750 \cdot N_0}{n} \quad (Nm)$$

N_0 : Potencia (Kw)

W : Velocidad angular

n : Numero de rpm

$$N_0 = N \cdot \eta \frac{Q}{3600} (L \cdot W_0 + / - H) = \frac{Q \cdot L}{3600} (W_0 + / - \text{sen}\beta) \quad (KW)$$

El valor de W_0 se da en la (**tabla 4**) y depende del tipo de material. El signo de (-) corresponde a los conductores inclinado con descenso de la carga.

β : Ángulo de inclinación del tornillo.

$$H = \frac{M_0}{r}$$

$$r = (0.7 - 0.8) \frac{D}{2}$$

r : Radio al punto donde la fuerza axial (P) es aplicada en (m).

➤ Valor de la fuerza axial (P)

$$P = \frac{M_0}{r \cdot \text{tg}(\varphi + \alpha)} \quad (N)$$

Cuando el helicoides es igual a un paso (s), se mueve una porción de material mediante la acción de la fuerza (H), con una velocidad (V), el coeficiente de carga f es:

$$f = \text{tg}(\varphi + \alpha)$$

φ : Ángulo de fricción reducido del material contra la superficie del helicoides.

Para tornillo sin fin pequeño se recomienda:

$$\varphi = \arctg 0.125 = 7.12^\circ$$

α : Angulo de inclinación de la hélice relativa al eje del tornillo

$$\alpha = 14^\circ \text{ Para } s = 0.8D$$

El eje del helicoides puede considerarse para el cálculo como eje partido en diferentes tramos y simplemente apoyado con una distancia entre chumaceras intermedias igual a "L" y sometidas a un estado tensional compuesto por un torque o momento torsor M_0 , una carga axial a tracción (P), un momento flector distribuido a lo largo del tramo "L" igual a ($M = P * r$) y un flector distribuido debido al peso propio del helicoides. [Según <http://www.sinfinesfas.com.ar>, Marzo, 25, 2008].

2.3. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA.

Para seleccionar la potencia demandada por la resistencia eléctrica inicialmente se calcula el calor absorbido por la madera a través de la expresión:

$$Q_{\text{calentamiento}} = m * cp * (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}) \quad (KW)$$

Donde:

m : Flujo de aserrín (kg/h).

cp : Calor específico (kJ/kg°C).

$(t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})$: Diferencial de temperatura (°C)

El resultado de la sustitución de estos valores se le suma las pérdidas por aislamiento y el valor obtenido es la potencia que debe vencer la resistencia.

2.4. CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CALOR EN EL REACTOR.

Este reactor trabaja a elevadas temperaturas, para su correcto funcionamiento es necesario mantener el perfil de temperatura en el interior del mismo, teniendo en cuenta las pérdidas de calor, donde predominan las pérdidas por transferencia a través de las paredes del mismo.

El Flujo de calor que se pierde al exterior se determina como:

$$Q_{perdida} = h * a * (t_{pared} - t_{fluido})$$

Donde:

La temperatura de la superficie exterior del aislamiento es T_{pared}

La temperatura del aire circundante es de T_{ext}

El coeficiente pelicular de transferencia de calor aire oscila entre 3 y 9 W/m² °K tabla 4.5 pag199 Pavlov, para su cálculo se emplea la expresión:

$$h = Nu * \frac{\lambda}{a}$$

Donde:

a : Es la dimensión de referencia (m)

Nu : Es el número adimensional nusselt y para el caso de la convección libre se calcula como:

$$N_u = C * (G_r P_r)_f^n$$

Según E. A. Krasnoschiokov, (1977). Las constantes C y n dependen del régimen del movimiento libre y de las condiciones del contorno de la superficie. Estas son funciones de $(G_r P_r)_f$ y se determinan por la siguiente tabla.

Tabla 6: CONSTANTES C Y N			
$(G_r P_r)_f$	C	N	Condiciones de movimiento
$1.10^3-1.10^9$	0.75	0.25	A lo largo de la pared vertical
$\geq 6.10^{10}$	0.15	1/3	
$1.10^3-1.10^9$	0.50	0.25	En el tubo horizontal

Elaborado por: Grupo Investigador

El producto de los números adimensionales Grashof y Prandtl se calcula como:

$$(G_r P_r)_f = \frac{g * \beta_f * \Delta_t * d^3}{V_f^2}$$

Estos valores se obtienen en la Tabla 9 Propiedades físicas del aire seco, pág. 304 del libro Problemas de termotransferencia E. A. Krasnoschiokov, A.S. Sukomiel.

Tomando en cuenta una media aritmética entre los valores de temperaturas 30 y 40.

$$P_{r_f} = 0,7$$

$$V_f^2 = 16.48^2 \times 10^{-6}$$

$$\beta_f = \frac{1}{t_f + 273}$$

El Flujo de calor que se pierde al exterior se debe multiplicar por 6 tomando en cuenta todas las caras de la instalación. Finalmente la potencia que debe tener la resistencia eléctrica se determina como:

$$Q_{resistencia} = Q_{calentamiento} + Q_{perdida}$$

2.5. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DEL AISLAMIENTO TÉRMICO.

Para fijar la temperatura de contacto entre las superficies se debe conocer:

- La temperatura de contacto entre la chapa metálica y el aislamiento térmico se fija en $T_{int} = 260 \text{ }^{\circ}\text{C}$ al situarse la resistencia eléctrica entre las 2 superficies.
- La conductividad térmica del acero inoxidable $\lambda = 23.3 \text{ W/m }^{\circ}\text{K}$
- El espesor de la chapa de aislamiento 2 mm.

Considerando que luego de tener el valor de las temperaturas se procede al cálculo del espesor del aislamiento.

Se conoce que:

q Es la pérdida de calor en el reactor.

A partir de la selección de la Lana de vidrio como aislamiento térmico seleccionamos el valor de la conductividad térmica $\lambda = 0.056 \text{ W/m }^{\circ}\text{K}$.

Para poder determinar el espesor del aislamiento, lo despejamos de la siguiente ecuación, conociendo la pérdida de calor en el reactor, cuya expresión fue vista anteriormente.

$$q = \frac{(T_3 - T_5)}{\frac{\delta_{aisl}}{\lambda_{aisl}} + \frac{\delta_{alum}}{\lambda_{alum}}}$$

Donde:

δ Es el espesor del aislamiento en m.

2.6. METODOLOGÍA DE SELECCIÓN DE LOS MATERIALES DEL HORNO.

El horno está compuesto por 6 chapas metálicas de acero inoxidable cuyas dimensiones son de (0.5 x 0.5) m de área con un espesor de 0.02 m que forma un cubo las cuales van a estar revestidas de lana de vidrio, que servirá como aislante térmico para mantener la eficiencia del proceso de torrefacción dentro del reactor y a una temperatura de 250 °C. La estructura está compuesta por ángulos T y L de 2 pulg. Por 0.02 m de espesor para el revestimiento del reactor, para la estructura de soporte que consta de 6 puntos de apoyo en los cuales se usaran tubos cuadrados de 2 pulg por 0.02 m de espesor y platinas de 2 pulg por 0.08 m de espesor.

Se utilizara 4 resistencias eléctricas que darán la transferencia de calor necesaria, y termocuplas para controlar la temperatura tomando en cuenta el rango que vamos a manejar de variaciones de +/- 20 °C una chimenea de 1 m de altura para el desahogo de vapores y gases que se crearan debido al proceso de torrefacción de aserrín de pino.

2.7. DISEÑO DEL AGITADOR PARA EL MOVIMIENTO DE LA BIOMASA EN EL INTERIOR DEL REACTOR.

Se empleará un agitador similar al de una concreteira, el cual consta de tres palas de acero inoxidable de 0.48 m, soldadas a una platina circular de 2 mm de espesor mediante ángulos tipo L con una separación de 120° entre ellos.

El diseño final implica que exista un juego entre el elemento mecánico y las paredes del horno de 10 mm garantizando que se mueva la mayor parte de aserrín en el proceso de torrefacción y también asegure que no exista roce ni desgaste por fricción y así evitar que se atasque o remuerda el motor.

El eje que genera el movimiento está anclado a la estructura del horno mediante 2 chumaceras a la salida del moto reductor y la entrada de este las cuales ayudaran a que no exista desalineamiento y también consta de un rodamiento que está ubicado en la pared del horno el cual será el apoyo principal del elemento mecánico y eje central del mismo.

2.8. METODOLOGÍA DE SELECCIÓN DEL MOTOR Y REDUCTOR DEL AGITADOR.

Para la selección del motoreductor es necesario que el mecanismo sea capaz de entregar 30 rpm y vencer la potencia que necesita el agitador para asegurar que se mueva la mayor cantidad de biomasa y que no existan partes que no se torrefacten.

Para determinar la potencia se emplea la expresión:

$$N_a = 2 * \pi * f * \tau$$

Donde

N_a : Potencia del agitador (W)

f : Frecuencia (rps) = (0.5)

τ : Torque (N.m) y se determina por la expresión

$$\tau = F * b$$

Donde:

b : Es el brazo (m) equivalente a 0.20 m.

F : Es la fuerza tangencial (N) y se determina como:

$$F: N * \mu$$

Donde:

N : Es el peso del aserrín 294.3 N

μ : Coeficiente de fricción entre el aserrín y el acero de 0,4 (**anexo 1**).

2.9. METODOLOGÍA DE SELECCIÓN DE LAS COMPUERTAS DE ALIMENTACIÓN Y DESCARGA.

La alimentación y descarga de la biomasa en este caso aserrín de pino será en base de un sistema neumático que asegura la secuencia necesaria para la apertura y cierre de las diferentes compuertas que tiene el proceso mediante 3 cilindros neumáticos de doble efecto, 3 Electroválvulas 5/2, 6 conectores, 5 m de mangueras plásticas de 0.05 m, 3 finales de carrera que serán los elementos lógicos que nos ayudaran para la recepción de señal en el circuito de mando.

2.10. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE LA BASE DEL HORNO.

Para el cálculo de resistencia del soporte del reactor se necesita conocer el peso total del mismo y el de la estructura, el soporte tendrá 6 patas de tubo cuadrado de 4.5x4.5x0.2 mm. Pero considerando que el peso mayoritario esta en las cuatro patas no se toma en cuenta para los cálculos las otras dos patas porque estas sirven para asegurar la fijación del reactor.

El cual está conformado por planchas de acero inoxidable y se procede al cálculo de los volúmenes de cada una de las caras internas y externas:

2.10.1. *Caras Frontales Externas.*

$$V = \text{area} * \text{espesor}$$

Volumen de las partes del Reactor de Torrefacción	
Chapa interna frontal cm ³	2540
Chapa interna lateral cm ³	2740
Chapa exterior cm ³	3340
Tubo cuadrado de estructura cm ³	11040
Ángulos en L de la estructura cm ³	3240
Compuertas del reactor cm ³	8640
Total cm³	31540

$$\rho_{acer\ inox}=7.86\ Kg/dm^3$$

El volumen del reactor se calcula por la siguiente expresión:

El valor del volumen transformado a dm^3 es 31.54.

$$m = V * \rho$$

$$m = 31.54 * 7.86$$

$$\omega = m * g$$

$$\omega = 248\ Kg * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$\omega = 2430.4\ N$$

Al peso total del reactor y su estructura se le suma el peso de la biomasa, tornillo sin fin, motores, cilindros y el agitador de biomasa.

Para el cálculo de la resistencia de soporte de la base del reactor de torrefacción se toma en cuenta que tiene que ser menor o igual que el peso admisible.

$$\frac{P}{A} \leq \sigma_{adm} \qquad \mathbf{150 \leq 208}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_y}{n}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{520}{2.5}$$

$$\sigma_{adm} = 208$$

$$\frac{607.6}{4.05} \leq \sigma_{adm}$$

CAPITULO III

3. TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS

3.1. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PROPUESTA.

Sustituyendo en las expresiones del capítulo 2, se obtiene que:

- El transportador es capaz de garantizar una capacidad $Q = 90,47 \text{ Kg/h}$
- La velocidad de traslación de la carga $V = 0,04 \text{ m/s}$.
- El máximo valor permisible de revoluciones del tornillo o helicoide

$$\text{➤ } n_{\text{máx.}} = 650 \text{ r.p.m}$$

- El valor de la partícula más representativa.

$$\text{➤ } D \geq 0,06 \text{ m}$$

- El momento o torque necesario para vencer las resistencias que actúan sobre el eje $M_0 = 0,98 \text{ N*m}$.

El eje del helicoide puede considerarse para el cálculo como eje partido en diferentes tramos y simplemente apoyado con una distancia entre chumaceras intermedias igual a "L" y sometidas a un estado tensional compuesto por un torque o momento torsor M_0 , una carga axial a tracción (P), un momento flector distribuido a lo largo del tramo "L" igual a $(M = P * r)$ y un flector distribuido debido al peso propio del helicoide.

Los conductores con helicoide del tipo cinta, paleta y de estrella, comparados con el de superficie continua, tienen menos capacidad (con el resto de los parámetros iguales) y con un mayor consumo de energía debido al intenso amasado del material.

- La potencia necesaria para el motor será de $N = 0,62 \text{ kW}$

3.1.1. Selección del Accionamiento Necesario.

Con la finalidad de simplificar el mismo se propone la utilización de un motoreductor.

En catálogo de reductores BONFIGLIOLI, se selecciona el reductor por tornillo sinfín de un escalón modelo **W86_46 P80 BN80B4**

$N = 0,75 \text{ kW}$, $M2 = 172 \text{ Nm}$, $n_2 = 30 \text{ min}^{-1}$

3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICAS, MATERIALES DEL HORNO Y AISLAMIENTO TÉRMICO.

A partir de la metodología empleada en el epígrafe 2.3 se obtiene que el mecanismo de calentamiento a emplear a partir de resistencia eléctrica para lograr el calentamiento del aserrín hasta los 250 °C posea las siguientes características:

- Para calentar un caudal másico de $8,33 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ desde 30 °C hasta 250 °C se necesitan $Q=5.21 \text{ kW}$.
- Las pérdidas de calor a través de las superficies del reactor de 0.0408 kW

- La potencia eléctrica de la resistencia es la suma de los 2 valores anteriores y su valor es de 5,25 kW empleando un voltaje de 220 V con un consumo de 24 A.

Para la disminución de las pérdidas de calor a través de las paredes se seleccionó la lana de vidrio como aislante y un espesor de 0.16 m por cada una de las 4 caras del reactor.

3.2.1. Selección y Ubicación de Instrumentos de Medición.

Para el control de la temperatura en las distintas zonas del reactor, se colocarán 1 termopares del tipo K (anexo 2) y un regulador de temperatura para el control del proceso.

3.3. SELECCIÓN DE MATERIALES DEL HORNO.

Como resultado de la introducción en el acero de las cantidades correspondiente de cromo, aluminio o silicio, que tienen más afinidad con el oxígeno que con el hierro, durante el proceso de oxidación, se forman en la superficie óxidos densos de cromo, aluminio y silicio (Cr_2O_3 , Al_2O_3 o SiO), a través de la cual la difusión se efectúa con dificultad. La tenue película de estos óxidos que se forman entorpece la continuación del proceso de oxidación. Cuanto más elevado es el contenido de cromo, aluminio, o silicio que hay en el acero, tanto es menor la formación de cascarilla y tanto más elevada puede ser la temperatura.

En la Tabla 7 se muestra la composición química de algunos aceros.

Tabla 7. COMPOSICIÓN QUÍMICA PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES.

Marca de acero	Resistencia a la formación de cascarilla ° C	C	SI	Mn	Cr	Ni	Otros	Formas de suministro
X1218H9	850	0.12	0.8	2.0	17-19	8-10	-----	Chapas, barras
X12CrNi18-8.	900	0.15	1	2	18	8	-----	Chapas, barras
15x25T	1050	0.15	1.0	0.8	24-27	----	Ti5*C990	Chapas, Tubos, Barras
H32T	1100	0.05	0.7	0.7	19-22	30-34	0.25-0.60	Chapas, Tubos Barras

Elaborado por: Grupo Investigador

Analizadas las características de estos aceros se selecciona una chapa de 1x2 m de acero inoxidable 18-8, es decir 18 % de cromo, 8 % de níquel y de 0,15 a 0,18 % de carbono tiene una resistencia de 60-66 Kg/mm², límite elástico 21-28 Kg/mm², alargamiento 60 % y resiliencia 32 a 35 Kgs/cm². Es muy dúctil y apto para la embutición. Tras el laminado en frío se obtiene una resistencia de 160 Kg/mm², una de las variantes del Acero inoxidable 18-8 con contenido de 0,08 % de carbono son empleado para la fabricaciones soldadas y piezas de trabajo a temperaturas de 500 a 900⁰C

Normas del Acero a utilizar:

URSS (Gost) 12CH18N9, USA (AISI/SAE) 302, Alemania (DIN) X12CrNi18-8.

Composición Química del Acero a utilizar:

Según DIN el acero X12CrNi18-8 C 0,12% Mn 2% Si 1% Cr 18% Ni 9%.

Selección de los electrodos.

Teniendo en cuenta que en la construcción del reactor se realizarán varias operaciones de soldadura se selecciona el electrodo que cumple con los requerimientos para este proceso.

Electrodos para Soldaduras de Acero Inoxidable

Norma

AWS/ ASME: SFA-

Clasificación 5.4 E 308-16

Posiciones: Todas.

Corriente: Alterna o Continua Polo Positivo (+)

Aplicaciones:

Indicado para la soldadura de los aceros inoxidable austeníticos laminados o forjados de los tipos AISI: 301, 302,302B, 304, 305,308 y de los aceros fundidos de composición similar tales como ASTM: A351 Gr.CF8, CF8A, CF8C; A297 Gr.HF. Soldadura de los aceros inoxidable austeníticos al Cr-Mn-Ni tipos AISI: 201, 202,205 y ASTM: A240 tipo XM17.

Soldadura de tuberías y accesorios en las siguientes presentaciones ASTM: A182 Gr. F304, F304H; A240 Gr.302, 304, 304H; A249 Gr.TP201, TP202, TP304, TP305; A268 Gr.TP405, TP409, TP410; A358 Gr. 304; A376 Gr.TP304, TP304H; A403 Gr. WP304, WP304H; A409 Gr. TP304; A430 Gr. FP304, FP304H; A451 Gr. CPF8, CPF8C y similares. Unión de aceros inoxidable AISI 430 entre sí o con otros aceros inoxidable AISI 3XX.

Su campo de aplicación abarca temperaturas de trabajo desde 120°C hasta 900°C.

Descripción:

Electrodo de revestimiento rutilico, que presenta arco estable de fácil encendido y reencendido, con escasa salpicadura. Sus depósitos presentan superficie lisa de excelente apariencia, escoria muy fácil de remover y resistencia a la corrosión en general.

Modo de operación:

Se prepara cuidadosamente la zona de la soldadura, mantenga el arco corto con avance constante y suave, evitando la oscilación excesiva del electrodo. En posición vertical llevar la progresión ascendente con electrodos de diámetro menor o igual a 3,25 mm, para posiciones plana y horizontal pueden usarse diámetros mayores. Se recomienda soldar con el mínimo amperaje posible, eliminar completamente la escoria entre pases y usar electrodos secos. En caso de que los electrodos hayan estado expuestos excesivamente a la intemperie deben resecarse a 350 °C durante 2 horas.

Composición química: C: 0.05 % Mn: 0.80 % Si: 0.70 % Cr: 19.0 % Ni: 10.0 %

Resistencia a la tracción: 650 N/mm²

Alargamiento (L= 5d): 35 %

Resistencia al impacto: 60 N.m a + 20 °C.

3.4 SELECCIÓN DEL MOTOREDUCTOR PARA EL AGITADOR

Para poder mover el agitador a 30 rpm según la metodología del epígrafe 2.6 y poder seleccionar el motoreductor adecuado es necesario saber:

- Fuerza tangencial al movimiento de la biomasa de 117,72 N.
- El torque de 23.54 N.m.
- La potencia necesaria de 74 W , para mover el aserrín .

El moto-reductor seleccionado tiene las siguientes características:

- Marca BONFIGLIOLI
- Serie VF49_45P63BN63B4
- Potencia 0.18 KW
- Torque 38 Nm
- RPM 29,3
- Factor de seguridad (S) 1.2
- Carga capaz de soportar el eje 2750 N

3.5 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE LA BASE DEL EQUIPO.

Debido a que la carga es muy pequeña no hay riesgo de que se produzca el fallo de los elementos que soportan la estructura, así mismo tampoco hay posibilidades de que esta se deforme por falta de rigidez, por lo que se considera que no es necesario evaluar las sollicitaciones en función de esta condición, igualmente a la estabilidad. Por todo esto el equipo ha sido dimensionado en función de los requerimientos geométricos, y su capacidad portante es muy superior de la que se especifica.

3.6 ESTIMACIÓN ECONÓMICA.

En la valoración económica se ha tomado en cuenta precios en dólares americanos

Tabla 8. VALORACIÓN ECONÓMICA EN DÓLARES AMERICANOS

EQUIPOS MECÁNICOS	CANT.	PRECIO UNITARIO (S)	COSTO TOTAL (S)
Agitador	1	50	50
Cilindros neumáticos	3	200	600
Electroválvulas 5/2	5	75	375
Finales de carrera	6	4	24
Conectores	6	0,4	2,4
Silenciadores	6	3	18
Conectores T	3	0,5	1,5
Mangueras plásticas de 8 mm	10	1,5	15
PLC	1	350	350
Pulsadores	5	5	25
Luces piloto	3	3	9
Contactores	3	15	45
Contactores auxiliares	3	10	30
Relés térmicos	2	30	60
Fusibles	3	2	6
Motor de 0.75 KW	1	80	80
Motor de 0.18 KW	1	60	60
		TOTAL	1750,9

Elaborado por: Grupo Investigador

Tabla 9. ACCESORIOS Y MATERIALES			
ACCESORIOS Y MATERIALES	CANT.	PRECIO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Tomillo M10 Acero Inoxidable	15	0,35	5,25
Tuerca M10 Acero Inoxidable	15	0,1	1,5
Arandelas	15	0,05	0,75
Plancha de Aluminio para recubrimiento externo	1	60	60
Plancha de Acero Inoxidable para interno del reactor	1	170	170
Ángulos en L de 1½ pulg X 6 metros	3	28	84
Ángulos en U de 1½ pulg X 6 metros	1	35	35
Tubo de Acero de 1½ pulg., cuadrado	4	40	160
Caja de electrodos 4 mm	1	8	8
Lana de vidrio	1	30	30
		TOTAL	554,5
Elaborado por: Grupo Investigador			

3.7 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL.

Como resultado del trabajo se diseña el sistema de alimentación de un reactor de torrefacción de aserrín. A partir del mejoramiento energético de esta biomasa se puede valorar su aporte energético y la posibilidad de escalado para aprovechar los residuos maderables de una manera renovable, por lo que se disminuyen las cantidades de estos residuos y se elimina la contaminación que pueden provocar al ser arrojados al ambiente. Estos residuos al no ser evacuados con prontitud en pocos días pueden estrangular la producción y por otro lado su acumulación provoca efectos ambientales negativos.

Dados por la incidencia del sol y las altas temperaturas de nuestro país se provoca en las grandes montañas de aserrín una pirolisis a baja temperatura, producto de lo cual se emiten gases contaminantes al medio. Por otro lado, esta combustión aumenta la temperatura en la zona, provocando un efecto invernadero, lo cual ocurre fundamentalmente en la parte externa, por lo que estas partículas, al quedar con muy poco peso, son arrastradas por el aire.

Estos residuos constituyen un medio ideal para la generación de plagas y enfermedades. Por lo tanto, transformar estos desechos en productos de uso social se traduce también como aplicación de tecnología para el saneamiento ambiental.

CONCLUSIONES:

1. Para lograr Diseñar un reactor a escala de laboratorio para la torrefacción de 30 kg/h de aserrín de pino a una temperatura de 250 °C para fines energéticos, con un calentamiento a partir de una resistencia eléctricas se necesita:

- Un transportador de tornillo sin fin para la alimentación del horno que garantice una capacidad $Q = 60 \text{ Kg/h}$ a una velocidad de traslación de la carga de $0,04 \text{ m/s}$, con un máximo valor permisible de revoluciones del tornillo o helicoides de 650 r.p.m y una potencia necesaria para el motor de $N = 0,62 \text{ kW}$ para lo cual precisa de un moto reductor **Modelo W86_ 46 P80 BN80B4 de $N = 0,75 \text{ kW}$, $M2 = 172 \text{ Nm}$ y $n_2 = 30 \text{ min}^{-1}$**
- Cuatro resistencia eléctrica de $1,31 \text{ kW}$, conectadas en serie, paralelas a las chapas interiores de acero inoxidable.
- Un aislamiento térmico de lana de vidrio con un espesor de $0,16 \text{ m}$.
- Para poder vencer la potencia requerida en el agitador a una velocidad de 30 rpm y mover el aserrín se necesita un motoreductor con las siguientes características:

Moto-reductor BONFIGLIOLI , Serie VF49_45P63BN63B4,
Potencia $0,18 \text{ kW}$ y $29,3 \text{ rpm}$.

2. La posible construcción del reactor permitiría mejorar el valor calórico inferior de la biomasa en $4,27 \text{ MJ/kg}$ a un costo de **\$2305,4**.

RECOMENDACIONES:

- La universidad de Pinar del Río debe encontrar vía de financiamiento que le permitan la construcción del reactor de biomasa a escala de laboratorio con el fin que sirva como una herramienta de estudio.
- Utilizar en el proceso un secador de Biomasa que reduzca la humedad a un 30% y así obtener una mejor eficiencia en la torrefacción.
- Para evitar que haya combustión de la biomasa dentro del reactor, procurar que entre la menor cantidad de oxígeno posible.
- Se recomienda automatizar todo el proceso del horno de torrefacción.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA REFERENCIADA

1. Bergman P.C.A, “Combined torrefaction and pelletization – The TOP process”, ECN Report, The Netherlands, July **2005**
2. BRITO, J. O. & BARRICHELO, L. E. G. Correlación entre las características físicas y químicas de la madera y la producción de carbón vegetal: Densidad y porcentaje de lignina de la madera de eucalipto. Piracicaba, SP, IPEF, (14): 9-20, Jul./1977.
3. Catálogo de reductores BONFIGLIOLI.
4. E. A. Krasnoschiokov, A. S. Sukomiel. (1977). Problemas de termotransferencia, 173–174.
5. Ernesto Gonzales., 2009. Diseño del sistema de alimentación de biomasa para un reactor de gasificación de corriente ascendente (UPDRAFT), para el laboratorio de Energía de la Universidad de Pinar del Río.
6. García, L.; Salvador, M.L.; Bilbao, R.; Arauzo, J. (1998). Influence of Calcination and Reduction Conditions on the Catalyst Performance in the Pyrolysis Process of Biomass. *Energy & Fuels*, 12, 139-143.
7. Gea, G., Puértolas R., Murillo M.B., Bilbao R., Arauzo J. (2001) Pyrolysis and Gasification of Black Liquors from Alkaline Pulping of Straw in a Fixed Bed Reactor. *Progress in Thermochemical Biomass Conversion*. 252-264. Edts A.V. Bridgwater, 1. ISBN 0-632-05533-2
8. Girard P & Shah N, “Developments on torrefied wood- an alternative to charcoal for reducing deforestation”, FAO paper, Centre Technique

- Forestier Troical, France, **2005.**
http://www.techtp.com/tw%20papers/fao_paper.htm.
9. <http://www.ascojouromatic.com>, 2009
10. <http://www.sinfinesfas.com.ar>, Marzo, 25, 2008.
11. Girard P & Shah N, “Developments on torrefied wood- an alternative to charcoal for reducing deforestation”, FAO paper, Centre Technique Forestier Troical, France, **2005.**
http://www.techtp.com/tw%20papers/fao_paper.htm.
12. <http://www.modo de alimentación de biomasa>
13. Márquez F., Cordero T., Rodríguez-Mirasol J. y Rodríguez J.J., Estudio del potencial energético de biomasa *Pinus caribaea Morelet var. Caribaea (Pc)* y *Pinus tropicalis Morelet (Pt)*; *Eucaliptus saligna Smith (Es)*, *Eucalyptus citriodora Hook (Ec)* y *Eucalyptus pellita F. Muell (Ep)*, de la provincia e Pinar del Río, Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, Vol. VII Núm 1- 2001.
14. Shafezadeh, F., in Fundamentals of Thermochemical Biomass Conversion. Ed. by Overend, Elsevier, New York, **1985**, p.183-217.
15. Shebani A.N, van Reenen A.J, Meincken M. *The effect of wood extractives on the thermal stability of different wood species*. Thermo chemical Acta 471 (2008) 43–50.
16. Uslu, Ayla. “Pre-treatment technologies and their effects on the international bioenergy supply chain logistics”. Report: NWS-I-2005-27. Utrecht University, the Netherlands. **2005**
17. Van Dijen, 1980

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Actuadores: Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica y gaseosa.

Aire comprimido: Aire sometido a una presión superior a la atmosférica por medio de un compresor.

Aire de escape: Aire comprimido que fluye a la atmosfera procedente de cilindros y sistemas de mando una vez que ha cedido su energía.

Amortiguación: Disminución de la velocidad del pistón de un cilindro antes del final de la carrera por desplazamiento de un volumen de aire o aceite a través de un punto de estrangulación que es casi siempre ajustable.

Antideflagrante: No existe ningún riesgo de explosión ni incendio.

Automatización: Planificación y construcción de aparatos, equipos y sistemas de organización para el desarrollo automático de procesos de trabajo determinados en una secuencia establecida sin la intervención del hombre.

Bobina Magnética: Bobina giratoria generalmente recambiable de un electroimán.

Caída de presión: Pérdida de presión.

Carrera: Trayecto recorrido por el embolo entre dos posiciones.

Cilindro de simple efecto: Cilindro en que el aire comprimido solo actúa sobre una cara del pistón y la carrera de retroceso es debida a la acción de un muelle.

Cilindro doble efecto: Cilindro cuyo pistón es impulsado por las dos carreras con aire comprimido. Son necesarias dos tomas de aire.

Cilindro: Aparato neumático para transformar la energía del aire comprimido en energía de movimiento.

Compresión: Disminución del volumen del aire por la acción de la presión.

Compresor: Máquina de trabajo para la extracción y compresión de medios gaseosos.

Estrangulación: Contracción constante o variable en una tubería.

Fuerza del Pistón: Fuerza en Kp, que cede un pistón impulsado con una fuerza de compresión.

Longitud de la Carrera: Medida en mm. De la carrera del pistón.

Mandar: Acción sobre una función o una magnitud.

Mando de Seguridad: Disposición de mando para evitar el accionamiento involuntario o para la protección contra sobrecargas.

Mando Directo: Modalidad de mando de válvulas neumáticas; la fuerza de accionamiento actúa directamente sobre el mecanismo de inversión de la válvula.

Mando Electroneumático: Mando combinado que contiene elementos neumáticos y eléctricos.

Mando Indirecto: Modalidad de mando de válvula neumática llamadas válvulas de mando previo. La señal de accionamiento actúa sobre un elemento intermedio que a su vez provoca la inversión de la válvula (relés, finales de carrera).

Mando Secuencial: Modalidad de mando en que la próxima fase de trabajo es producida por la anterior.

Muelle: Es un objeto elástico que almacena energía al ser sometido a un esfuerzo y se desprenden de ella sin deformarse cuando el esfuerzo concluye.

Pistón: Parte móvil en el cilindro que forma un cierre hermético contra la pared interna del tubo del cilindro. Transforma fuerzas de compresión en fuerzas de movimiento (energía estática en energía mecánica).

Presión Atmosférica: Presión de aire medida al nivel del mar, igual a 1.033 Kp/cm².

Presión: Acción y efecto de apretar o comprimir. Magnitud física que expresa la fuerza ejercida por un cuerpo sobre la unidad de superficie. Su unidad en el Sistema Internacional es el pascal. Fuerza o coacción que se hace sobre una persona o colectividad.

Presostáto: Es un dispositivo que permite determinar si el extractor de aire está eliminando correctamente los gases que emite el calefón.

Purga: Escape al exterior del aire comprimido de los elementos neumáticos.

Red: Denominación dada a las tuberías de alimentación del aire comprimido.

Sensor: Dan la señal necesaria para que el PLC pueda tomar decisiones.

Silenciador: Aparato para disminuir el ruido producido por el escape exterior del aire comprimido.

Símbolos: Representación gráfica simplificada de elementos neumáticos y de otro tipo con inclusión de las funciones.

Torrefacción: Acción y efecto de tostar al fuego.

Vástago del Pistón: Órgano de transmisión de forma generalmente cilíndrica y solidario del pistón, para transmitir hacia el exterior la fuerza del pistón del cilindro.

GLOSARIO DE SIGLAS

CD: Control Doble.

CDE: Cilindro de Doble Efecto

CPU: Unidad Central de Procesamiento.

CSE: Cilindro de Simple Efecto.

NA: Normalmente Abierto.

NC: Normalmente Cerrado.

PC/PPI: Protocolo de comunicación/interface punto a punto.

PB: Válvula de accionamiento.

PLC: Controlador Lógico Programable.

V 2/2: Válvula de dos vías y dos posiciones.

V 3/2: Válvula de tres vías y dos posiciones.

V 4/2: Válvula de cuatro vías y dos posiciones.

V 5/2: Válvula de cinco vías y dos posiciones.