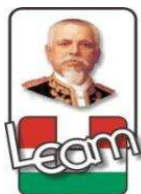


UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ



**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERIA EN MECÁNICA NAVAL**

**TRABAJO FINAL DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO EN MÉCANICA NAVAL**

TEMA

“DISEÑO, CÁLCULO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GASIFICADOR, UTILIZANDO COMO COMBUSTIBLE NEUMÁTICOS USADOS, TENIENDO COMO FINALIDAD APLICACIONES ENERGÉTICAS.”

AUTORES

FORTI SOLÓRZANO JUAN LEONARDO
MORA LIZANO JORGE DANILO

DIRECTOR

ING. ALEPH SALVADOR ACEBO ARCENTALES

MANTA - MANABÍ

2015

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Director del Trabajo Final de Titulación de la Facultad de Ingeniería Carrera de Mecánica Naval de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí certifico:

Haber dirigido y revisado el trabajo Final de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecánica Naval sobre el Tema **“DISEÑO, CÁLCULO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GASIFICADOR, UTILIZANDO COMO COMBUSTIBLE NEUMÁTICOS USADOS, TENIENDO COMO FINALIDAD APLICACIONES ENERGÉTICAS”**, de los estudiantes Forti Solórzano Juan Leonardo y Mora Lizano Jorge Danilo, considero que el mencionado trabajo investigativo cumple con los requisitos y tiene los méritos suficientes para ser sometidos a la evaluación del jurado examinador de las autoridades de la Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería en Mecánica Naval.

En honor a la verdad,

ING. ALEPH SALVADOR ACEBO ARCENTALES
Director de Trabajo Final de Titulación

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL

Lo Registrados por los Miembros del Tribunal de Grado dan la Aprobación al Trabajo Final de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecánica Naval, la misma que cumple con lo estipulado por las Reglamentos y Disposiciones que fueron Determinadas por la Facultad de Ingeniería Carrera de Mecánica Naval de la Universidad Laica Eloy Alfaro De Manabí.

Víctor Manuel Cárdenas PhD

DECANO DE FACULTAD:.....

Ing. Aleph Acebo Arcentales

DIRECTOR DE TRABAJO FINAL DE TITULACIÓN:.....

Mercedes Alemán García PhD

TRIBUNAL EXAMINADOR:.....

Ing. Paulo Macías Cedeño

TRIBUNAL EXAMINADOR:.....

Ing. Luis Aragundi Cuadros

TRIBUNAL EXAMINADOR:.....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Forti Solórzano Juan Leonardo y Mora Lizano Jorge Danilo en honor a la verdad bajo juramento de ética somos los encargados de la elaboración del Trabajo Final de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecánica Naval, la misma que se rige por Reglamentos y Normas para el proceso de su realización.

Por medio de la Presente Declaramos que el contenido es auténtico y no ha sido presentado en otro tribunal de Trabajo Final de Titulación, por lo consiguiente somos los únicos responsables.

Forti Solórzano Juan Leonardo
C.C. 1308868551

Mora Lizano Jorge Danilo
C.C. 0913790259

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a mi prestigiosa Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí por haberme dado la oportunidad de ser parte de los profesionales que constantemente forma para contribuir en el desarrollo de nuestra Patria, al Decano de la Facultad de Ingeniería por ser partícipe de este nuevo logro en mi vida.

Quiero agradecer especialmente al Ingeniero Luis Aragundi Cuadros, por su ayuda en el desarrollo de este trabajo, y las extensas jornadas de liberación de las cuales salieron valiosos aportes, los cuáles plasmaron nuestros resultados investigativos en diseños originales, atractivos y de gran realce para el éxito del proyecto y el Ingeniero Aleph Acebo por su asesoría.

A Dios, mi esposa Nataly, Madre y hermanos, y en especial, a mi hija Lia, son una fuente constante de motivación en momentos de incertidumbre.

Juan Leonardo Forti Solórzano

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y la fortaleza para luchar cada día.

A mis Padres, a Denny Vera, familiares y mi hija Kelly Nicole que han sido para mí el ejemplo más grande de superación, valentía, amor, sabiduría e inteligencia, y por el apoyo incondicional que me han brindado para culminar con éxito mi carrera profesional.

A mis Amigos, Maestros y Tutores que siempre estuvieron conmigo y me apoyaron en el desarrollo de este trabajo, con sus conocimientos y consejos.

Agradezco a la Universidad Laica "ELOY ALFARO DE MANABÍ" por haberme brindado la oportunidad de recibir una excelente educación y finalizar mis estudios superiores dentro de sus aulas, dejando inculcado el mejorar cada día en mi vida profesional para servir de mejor manera a la sociedad.

Jorge Danilo Mora Lizano.

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a las personas más importantes de mi vida. A mi madre gracias por aconsejarme, por siempre ser un ejemplo de perseverancia y enseñarnos que de esta manera se pueden lograr las metas, a mi padre gracias por los buenos recuerdos; a cada uno de mis hermanos y hermanas. A mi querida esposa gracias por siempre estar ahí ayudándome en todo, a mi hija por ser lo más importante de mi vida para seguir y triunfar.

Juan Leonardo Forti Solórzano

DEDICATORIA

A mis padres, quienes con esfuerzo, sabiduría y ejemplo me han ayudado a salir adelante en los reveses de la vida, también me han ayudado a salir adelante como persona y profesional, formándome como una persona digna y con la capacidad para enfrentar los obstáculos que se presentan a menudo.

A Denny Vera, que fue un pilar fundamental en esta etapa de mi vida, estando a mi lado en los buenos y malos momentos que me tocó vivir con ella, brindándome su apoyo, paciencia y comprensión.

A mi hija Kelly Nicole, por la inspiración que significa ella para mi vida y mi futuro.

Jorge Danilo Mora Lizano

RESUMEN

Este trabajo presenta la necesidad de utilizar los neumáticos fuera de uso como una alternativa energética, económica y beneficiosa para el medio ambiente, a través de un proceso de gasificación, por sus características de alto poder calorífico y la poca aplicación que estos tienen una vez desechados en nuestro país. En esta tesis se hace el análisis de un gasificador tipo Updraft, ya que por la potencia que produce y el tipo de combustible utilizado es el más conveniente, ya que nos permite obtener una gran cantidad de gas y muy poco alquitranes, luego se realiza el diseño de la unidad generadora de gas que comprende. También se detalla la construcción de un enfriador ciclónico, que nos permite reducir considerablemente la temperatura del gas que sale del reactor y separar los alquitranes resultantes de este proceso, todos los cálculos y materiales empleados para la fabricación del mismo, como su diseño y las consideraciones para su elección. El diseño de este equipo concluye con el intercambiador de calor, para este se adaptó un radiador de vehículo comercial en nuestro país, lo cual nos permitió reducir la temperatura de los gases hasta la temperatura ambiente y conseguir la condensación de los mismos para obtener una considerable cantidad de aceite combustible que podrá ser analizado en estudios posteriores o alcances que pueda tener esta tesis en el futuro. El costo de fabricación de este equipo, incluido los estudios y asesoría profesional, materiales y mano de obra empleada, es de \$ 11.310, 40 Usd.

Palabras claves: Gasificación; neumático; poder calorífico; gas de síntesis.

SUMMARY

This paper presents the need of using used tires as an energy, economic and environmentally beneficial alternative, through a gasification process, by virtue of their high calorific value and low application that they have once discarded in our country. In this thesis the analysis of a gasifier Updraft type is because the power produced and the type of fuel used is the most convenient because it allows us to get a lot of gas and very little TAR, then it performs design of the gas generating unit also building a cyclone cooler, which allows considerably reducing the temperature of gas leaving the reactor and removing TAR from this process, detailed calculations and all materials used for manufacture thereof, as its design and choice. The design considerations for this team concludes with the heat exchanger, for this commercial vehicle radiator in our country shifter, which allowed us to reduce the temperature of the gases to room temperature and get condensation thereof to obtain a considerable amount of fuel oil that can be analyzed in further studies or achievements that may be in the future. The thesis manufacturing cost of this equipment, including studies and professional advice , materials and laboreem ployed,is \$ 11.310, 40.

Keywords: Gasification; tire; calorific value; syngas.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	II
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL	III
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	IV
AGRADECIMIENTO	V
AGRADECIMIENTO	VI
DEDICATORIA.....	VII
DEDICATORIA.....	VIII
RESUMEN	IX
SUMMARY	X
SÍMBOLOS GRIEGOS.....	XX
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	4
1. Neumáticos fuera de uso alternativa energética.....	4
1.1. Generalidades del Neumático.	4
1.1.1. Etapas de Fabricación del neumático.....	5
1.2. Residuos generados en el proceso del neumático	11
1.3. Propiedades físicas y químicas del neumático.....	18
1.3.1. Propiedades físicas del neumático.....	19
1.3.2. Propiedades químicas del neumático.....	22
1.4. Proceso de Reutilización y reciclado de neumáticos fuera de uso.....	25
1.5. Utilidades de los neumáticos después del reciclado	30
1.6. Neumáticos convertidos en energía eléctrica	31
1.7. Tecnologías para la combustión de neumáticos usados	32
CAPÍTULO II.....	35
2. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE UN GASIFICADOR.....	35
2.1. Rasgos históricos de los gasificadores.....	35
2.2. El proceso de la Gasificación.....	37
2.3. Tipo de gasificadores	43
2.4 Ventajas y desventajas de los diferentes gasificadores.....	51
CAPÍTULO III.....	52
3. Criterio Para Selección del Gasificador	52
3.1. Modelo conceptual	52
3.1.1. Importancia de construcción del gasificador.....	54

3.1.2. Cantidad de combustible.....	57
3.1.3. Diseño constructivo del gasificador.....	58
3.1.4. Fabricación.....	59
3.1.5. Soldaduras.....	59
3.1.6. Ventajas del gasificador UpDraft en el proyecto.....	60
3.2. Criterios de la selección del gasificador.....	61
CAPÍTULO IV	63
4. Diseño energético y mecánico de la unidad de generación de gas.....	63
4.1. Partes del equipo.....	63
4.1.1 Cámara de combustible y de reacción	64
4.2. Aire requerido para el proceso de gasificación.....	65
4.3. Procedimiento para el diseño del gasificador.....	66
4.3.1. Flujo máximo de combustible.....	66
4.3.2. Balance de energía.....	67
4.3.3. Diámetro del reactor.....	67
4.3.4. Altura del reactor	68
4.3.5. Volumen del reactor.....	69
4.3.6. Tiempo de consumo del combustible.....	70
4.3.7. Cantidad de aire necesario para la gasificación.....	71
4.3.8. Velocidad superficial.....	72
4.3.9. Presión de diseño para el cuerpo del reactor.....	73
4.3.10. Presión de diseño para tapas tori esféricas	74
4.4. Consideraciones para el gas de salida.....	81
4.4.1. Cantidad de TAR.....	81
4.4.2. Contenido de partículas en la producción del gas.....	82
4.5. Soporte del gasificador.....	82
CAPÍTULO V	83
5. Diseño de la unidad de empleo de gas generado.....	83
5.1. Equipos de Limpieza y Depuración de Gases.....	83
5.1.1. Ciclones.....	83
5.1.2. Ciclón convencional.....	88
5.2. Intercambiador de Calor.....	94
5.3. Quemador.....	95
5.4. Generación de energía en base a la gasificación de neumáticos fuera de uso.....	96

5.4.1. Potencia requerida para la potencia del motor.....	97
5.4.2. Calculo del volumen del motor	99
5.4.3. Caudal volumétrico del motor.....	99
5.4.4. Volumen de gas combustible requerido.....	99
CAPITULO VI.....	101
6. COSTOS DE GASIFICADOR.....	101
6.1. Costo de Materiales.....	101
6.2. Costo de realización del proyecto.....	103
6.3. Análisis Financiero	104
CONCLUSIONES.....	105
RECOMENDACIONES	107
BIBLIOGRAFÍA.....	108

Índice de Tablas

Pág.

Tabla 1.1.- Poder calorífico de algunos combustibles.....	5
Tabla 1.2.- Objetivo de gestión de NFU 2008-2015.....	13
Tabla 1.3.- Composición Física de un neumático.....	21
Tabla 1.4.- Composición Química de un neumático.....	23
Tabla 1.5.- Análisis mineral de la ceniza de neumático. (Porcentaje de cenizas).....	24
Tabla 1.6.-Rendimientos fase gaseosa para diferentes sistemas experimentales de pirolisis.....	27
Tabla 1.7.- Energía consumida en la fabricación de neumáticos.....	28
Tabla 3.1.- Equipos eléctricos y su consumo para un hogar.....	55
Tabla 3.2.- Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de gasificadores.....	60
Tabla 3.3.- Comparación de diferentes gasificadores de lecho fijo.....	61
Tabla 3.4.- Selección del tipo de gasificador.....	62
Tabla 4.1 .- Tabla de Esfuerzos Máximos Permitidos.....	74
Tabla 4.2.- Tabla de Eficiencia de las Soldaduras.....	75
Tabla 4.3.- Tabla de Cálculo del Reactor.....	76
Tabla 5.1.- Características Del Gas Pobre.....	93
Tabla 5.2.- Dimensiones del Gasificador.....	93
Tabla 5.3.- Parámetros De Quemadores a Inyección para distintos Tipos de Combustibles.....	96
Tabla 6.1.- Costos de Suministro de Gasificador.....	101
Tabla 6.2 .-Costos de Suministro de Ciclón.....	102
Tabla 6.3.-Costo de realización de Proyecto.....	103
Tabla 6.4.- Tarifa Ingeniera Mecánica Naval Junior.....	103
Tabla 6.5.- Pruebas Realizadas.....	104

Índice de Figuras	Pág.
Figura 1.1.- Fase de mezclado.....	6
Figura 1.2.- Fase de calandrado.....	7
Figura 1.3.- Estructura de la Banda de Rodadura.....	8
Figura 1.4.- Fase de Vulcanización.....	9
Figura 1.5.- Fase de Inspección Final.....	10
Figura 1.6.- Centro de acopio de neumáticos usados.....	11
Figura 1.7.- Reciclado de neumáticos con proceso pirolítico.....	30
Figura 1.8.- Aplicación de los residuos de los neumáticos fuera de uso.....	31
Figura 2.1.- Aplicación de los Gasificadores.....	37
Figura 2.2.- Etapas del proceso de Gasificación.....	38
Figura 2.3.- Distribución de la energía en la gasificación.....	40
Figura 2.4.- Distribución de la energía en la gasificación.....	41
Figura 2.5.- Distribución de la energía en la gasificación.....	41
Figura 2.6.- Representación esquemática de la gasificación de Biomosas mediante los procesos de una y dos etapas.....	42
Figura 2.7.- Cuadro comparativo en diferentes tipos de gasificadores.....	44
Figura 2.8.- Gasificador Updraft.....	46
Figura 2.9.- Gasificador Downdraft.....	47
Figura 2.10.- Configuración de gasificadores de lecho fijo. (a) gasificador de flujo en contracorriente, (b) gasificador de flujo en paralelo, (c) gasificador de flujo cruzado.....	48
Figura 2.11.- Gasificador De lecho Fluidizado.....	48
Figura 2.12.- Gasificador De Winkler.....	49
Figura 2.13.- Gasificador De lecho de arrastre.....	50
Figura 3.1.- Mapa del delineamiento final del gasificador.....	53
Figura 3.2.- Conjunto generador.....	55
Figura 4.1.- Partes De Un Gasificador.....	63
Figura4.2.- Negro de Carbón y Tejido Metálico recuperado en el Proceso.....	65
Figura 4.3.- Cilindro del reactor.....	68
Figura 4.4.- Cuerpo y Tapa Tori Esférica del Reactor.....	69
Figura 4.5.- Velocidad Superficial Vs Caudal Producido de Gas.....	72
Figura 4.6.- Diagrama De Resistencias Térmicas.....	76
Figura 4.7.- Parámetros Principales.....	77
Figura 4.8.- Reactor y su Capa Aislante.....	77
Figura 4.9.- Montaje de la cubierta exterior.....	78
Figura4.10.- Contenido De TAR Vs Temperatura Del Reactor.....	82
Figura 5.1.- Distintos Tipos de Ciclones.....	84
Figura: 5.2 se muestra la recirculación de los gases dentro del ciclón.....	86
Figura 5.3.- Rendimiento de los Diferentes tipos de Ciclones.....	89
Figura 5.4.- Ciclón Estándar.....	90
Figura 5.5.- Diámetro de la Partícula Vs Eficiencia.....	91
Figura 5.6.- Radiador Adaptado En El Sistema De Enfriamiento.....	95
Figura 5.7.- Diagrama De Bloques De Un Sistema De Generación.....	97
Figura 5.8.- Motor Ford Esg – 642, Para Generación Eléctrica.....	98

Índice de Anexos	Pág.
Anexo 1.- Corte cuerpo del reactor.....	112
Anexo 2.- Cuerpo y tapa del reactor.....	112
Anexo 3.- Rectificado del cuerpo del reactor.....	113
Anexo 4.- Construcción de bridas.....	113
Anexo 5.- Rectificación de bridas.....	114
Anexo 6.- Acoplo de bridas al reactor.....	114
Anexo 7.- Centrado de bridas.....	115
Anexo 8.- Rectificado de bridas y cuerpo del reactor.....	115
Anexo 9.- Taladrado de bridas	116
Anexo 10.- Comprobación de Hermeticidad del reactor	116
Anexo 11.- Taladrado para tubería de descarga del gas.....	117
Anexo 12.- Tubería de salida de gas.....	117
Anexo 13.- Doblado de patas de soporte del reactor.....	118
Anexo 14.- Soporte terminado.....	118
Anexo 15.- Rolado de cilindro exterior de reactor.....	119
Anexo 16.- Acople al soporte al reactor.....	119
Anexo 17.- Reactor con soportes instalados	120
Anexo 18.- Concreto refractario	120
Anexo 19.- Preparado del concreto refractario.....	121
Anexo 20.- Vaseado del concreto en el anillo aislante.....	121
Anexo 21.- Aislamiento refractario instalado	122
Anexo 22.- Instalación del quemador	122
Anexo 23.- Junta de Hermeticidad.....	123
Anexo 24.- Aplicación de tratamiento superficial.....	123
Anexo 25.- Aplicación de pinturas epóxica.....	124
Anexo 26.- Construcción del ciclón.....	124
Anexo 27.- Ciclón terminado.....	125
Anexo 28.- Gasificador concluido.....	125
Anexo 29.- Sistema gasificador concluido en el taller.....	126
Anexo 30.- Exposición del sistema de gasificación para el Ministerio de Industria y productividad.....	126
Anexo 31.- Exposición de Leonardo Forti	127
Anexo 32.- Exposición de Jorge Mora.....	127
Anexo 33.- Foto con Ministro de Industrias y Productividad.....	128
Anexo 34.- Exposición de proyecto al Sr. Ministro de Industrias y productividad Ing.Eduardo Egas y el Sr. Decano de la Facultad de Ingeniería ULEAM Dr. Víctor Cárdenas.....	128

LISTA DE SÍMBOLOS.

A_e : Aire estequiométrico.

B: Largo del ducto de entrada al ciclón.

°C: Grado Celsius.

cm^2 : Centímetro cuadrado.

D: Diámetro del reactor.

D': Diámetro de la partícula.

E: Eficiencia de la junta.

f: Factor de corrección.

H: Altura del reactor.

h: Horas.

h_{ca} : Coeficiente convectivo del aire.

Kcal: Kilocaloría.

Kg: Kilogramo.

Km: Kilometro.

K_t : Coeficiente de conductividad térmica.

kW: Kilovatio.

L: Longitud del gasificador.

l: Litro.

MJ: Mega joule.

m_g : Masa del gas.

m^3 : Metro cúbico.

\dot{m} : Flujo másico del combustible.

N_i : Potencia indicada.

P: Presión.

PCI: Poder calorífico inferior.

P_{dc} : Presión de diseño cuerpo del reactor.

P_{dt} : Presión de diseño de tapas.

Q: Potencia de gasificación.

Q_a : Flujo de aire.

Q_t : Calor transferido.

R_{caire} : Resistencia por convección del aire.

r: Radio interno del reactor.

r_e : Radio exterior.

r_i : Radio interior.

S: Esfuerzo máximo permitido.

s: Segundo.

Sgr: Relación específica de gasificación.

T: Temperatura.

Ton: Tonelada.

Ts: Temperatura superficial.

t: Espesor de la pared.

T_e : Temperatura ambiente.

T_o : Temperatura en el interior del gasificador.

V_c : Volumen del cuerpo.

V_{com} : Volumen del combustible.

V_g : Volumen del gas producido.

V_m : Volumen indicado del motor.

V_{max} : Volumen máximo.

V_{real} : Volumen real.

v_s : Velocidad superficial del aire.

V_T : Volumen total del reactor.

V_{tapa} : Volumen de tapa.

W: Watts.

SÍMBOLOS GRIEGOS.

Δl : Desplazamiento.

ρ : Densidad de los neumáticos usados.

ρ_a : Densidad del aire.

ρ_g : Densidad del gas.

ρ_n : Densidad de neumáticos en trozos.

f : Eficiencia volumétrica.

η : Eficiencia reactor.

Φ : Relación de equivalencia.

μ : Viscosidad del gas.

μm : Micras.

INTRODUCCIÓN

El proceso de gasificación para la producción de gas pobre tiene una alta demanda en los países europeos como fuente de energía. Este proceso de la gasificación es una tecnología antigua que fue descubierto a principios de los años 1800, el uso de esta tecnología ha sido tomado en cuenta como una alternativa energética en los últimos 40 años.

Los primeros gasificadores de carbón fueron creados por Bischof en 1839. Los gasificadores fabricados por Siemens en 1861 fueron exclusivamente creados para proporcionar combustibles a hornos tanto para las industrias metalúrgicas como para las siderúrgicas pesadas. Dowson en Inglaterra en el año 1888, mostró a la sociedad el uso de hornos más pequeños a cambio del uso de gasificadores.

A principios del siglo XX se evidenció un avance significativo en los gasificadores ya que podían gasificarse cualquier tipo de residuos como semillas de aceitunas, nueces, pajas, etc., los primeros se utilizaron para el molineras o para el uso agrícola, posteriormente en el mismo siglo se crearon los gasificadores portátiles, los mismos que fueron usados para camiones, automóviles, barcos, etc.

El principal impulso a la creación de esos modernos equipos fue la crisis de la gasolina en la Segunda Guerra mundial, después de este suceso la gasolina bajo sus precios y fue así como dejaron de lados los gasificadores para el uso de automoción.

En la planta de gasificación la materia prima más utilizada son los residuos de carbón y el petróleo, los cuales están compuesto por el 70% de gas producido y 20% de gas natural.

Hoy en día la gasificación de neumáticos usados es una alternativa para proteger el medioambiente a través de la disminución de estos almacenados en vertederos, es un proceso en el que se produce una reacción que consume energía, el proceso de pirólisis tiene su lugar en el calentamiento de los neumáticos después de ser triturados, en resumen el proceso de pirólisis se basa en la materia orgánica consecutivamente materia volátil más el residuo sólido.

Del proceso de pirólisis se obtienen diferentes sustancias así como una parte gaseosa la cual está constituida por los siguientes componentes: hidrógeno, metano y otros hidrocarburos, además de óxidos de carbono, junto con cantidades menores de amoníaco, azufre, etc. Otra subdivisión es líquida compuesta de agua, alquitranes y aceite (compuestos orgánicos como tolueno o xileno). Un residuo sólido formado por carbono fijo y cenizas (metales, óxidos y materia inerte).

Ecuador desecha anualmente alrededor de 2,4 millones de neumáticos, lo que equivale a 55.000 toneladas. Un porcentaje de ellos son reutilizados para el rencauchado, principalmente en camiones, pero la gran mayoría es incinerada o depositada en basureros al aire libre, suponiendo una amenaza contra el medio ambiente.

La tecnología de gasificación de neumáticos fuera de uso, no está desarrollada aun en nuestro país, ni en países vecinos, por tal motivo, consideramos este estudio como una oportunidad tanto económica, energética y medio ambiental.

Como combustible como la cascarilla de café, brozas de algodón o cáscara de cocos, también se podría desarrollar equipos que usen varios combustibles.

Para diseñar el equipo generador de gas, se ha dividido en seis capítulos, el primero presenta las propiedades físicas, químicas y bioquímicas del combustible a usar en nuestro caso (Neumáticos fuera de uso).

El segundo trata sobre todo el principio del proceso de gasificación, además de las reacciones químicas que ocurren y las temperaturas máximas en el proceso, datos importantes para el diseño energético del equipo, también sobre los diferentes tipos de gasificadores de lecho fijo y lecho móvil.

El tercer capítulo al tener una idea del combustible y de los gasificadores se desarrolló una metodología para elegir el tipo de gasificador más eficiente para llevar a cabo nuestro proyecto, enfocándonos en la necesidad de obtener gas de síntesis y aceite combustible.

En el cuarto capítulo se calculó el tamaño, diámetro, aire necesario para la gasificación, datos importantes para el diseño mecánico y la cantidad de combustible y el tiempo que le lleva al equipo consumir este, también se desarrolla el cálculo de transferencia de calor del equipo y las diversas temperaturas en este.

El quinto capítulo se enfoca en la construcción del ciclón, el sistema de enfriamiento y de la posibilidad de emplear este gas, para generar electricidad, utilizando un motor generador de combustión interna.

El sexto capítulo contiene los costos del sistema, esto está vinculado con los planos del equipo, el sistema involucra las partes necesarias para la construcción del equipo y también los accesorios para el sistema, como las tuberías, codos, etc., además los gastos por estudios realizados.

CAPÍTULO I

1. Neumáticos fuera de uso alternativa energética.

La energía de los materiales que han alcanzado el final del ciclo de vida, en la actualidad es aprovechada en el ámbito industrial; al producir un material se consume energía por lo tanto se considera importante recuperar toda o parte de ella cuando este ya no cumple con las funciones para las que fue diseñado, esta opción ejerce un papel fundamental en el ámbito científico y tecnológico, además el aprovechamiento energético debe ser un compromiso medioambiental.

(Álvarez, Alguacil, & López, 2012)

Al recuperar la energía de neumáticos fuera de uso, se disminuirá el almacenamiento de éstos en los vertederos evitando la acumulación de roedores e insectos que producen enfermedades, contribuyendo así al cuidado del medio ambiente.

1.1. Generalidades del Neumático.

En el ámbito del mantenimiento de vehículos se utiliza materia prima para el proceso de reparación y elaboración de neumáticos; “el residuo más voluminoso del mantenimiento de vehículos, el neumático no está catalogado como peligroso, aunque si es precisa su recuperación para su regeneración y su valorización”. (Moreno, González, & Martínez, 2012).

En la siguiente tabla podemos constatar que los neumáticos contienen un alto poder calorífico en comparación a otros combustibles.

Tabla 1.1.- Poder calorífico de algunos combustibles

Combustible	PCS (MJ/kg)
Maderas	14,4 – 19,0
Turba	21,3
Lignito	28,4
Hulla	30,6
Antracita	34,3
Coque	29,3
Coque de Petróleo	34,1
Carbón de Madera	31,4
Etanol	26,8
Neumáticos Usados	34-39
Fuel –Oil	40,6
Gasóleo	42,3
Gasolina	43,9
Queroseno	43,4
Gas Natural	44,00
Butano	49,7

Fuente.- (Llorens & Miranda, 2009)

Elaborado por: Autores de Trabajo Final de Titulación

1.1.1. Etapas de Fabricación del neumático

Cada tipo de neumático tiene materiales similares pero en distintas proporciones, por esa razón el siguiente proceso consiste en las pruebas necesarias en un laboratorio para asegurar que los materiales empleados cumpla con la condiciones para el neumático deseado. A continuación se describe brevemente las etapas en que consiste el proceso de fabricación indicando los pasos que se realizan en cada etapa resaltando la importancia de controlar la cantidad de material que se requiere en cada fase. (Ferre & Checa, 2010)

“Los neumáticos fuera de uso, constituyen una fuente potencial de energía, su relativamente elevado poder calorífico es comparable e incluso superior al del carbón de buena calidad”. (Martínez, 2009, pág. 44)

a) **La primera etapa** de fabricación consiste en mezcladores primarios y secundarios, el primero consiste en la mezcla de las materias primas: los cauchos, los pigmentos, aceites plastificantes a 180°, al finalizar esta etapa se baña el caucho restante con óxido de calcio para evitar que se adhieran las capas. (González, Río, & Tena, 2011)

Figura 1.1.- Fase de mezclado



Fuente (Castro, 2008)

b) **La segunda etapa** consiste en la mezcla de la primera etapa con azufre, partículas de carbono y acelerantes, al finalizar esta mezcla se le agrega óxido de calcio por la razón descrita anteriormente. Posteriormente de la salida de los 2 mezcladores se obtiene una sustancia homogénea, sólida y elástica, se deja reposar por 8 horas ya que después de pasar por los mezcladores tienen una temperatura

elevada y como está bañado con óxido de calcio no puede ser enfriado con agua. (Domínguez & Ferrer, 2008)

c) **Prueba en Laboratorios:** Según el neumático que el fabricante desea lanzar al mercado se requieren compuestos diferentes; es por esa razón que se debe analizar en un laboratorio que los componentes que se utilizarán sean compatibles y dé como resultados el neumático que se desea, y así se procederá con la fabricación. (González, Río, & Tena, 2011)

d) **Capa:** Después del mezclador secundario se somete al caucho a una máquina llamada calandria donde se mezcla con nylon y se obtiene un material laminado y para evitar que se pega se deja reposar enrollado en tela por 4 horas. (González, Río, & Tena, 2011)

Figura 1.2.- Fase de calandrado



Fuente.- (Castro, 2008)

Banda de Rodadura: Es diferente el proceso según las llantas vallas y las radiales como se explica a continuación:

Figura 1.3.- Estructura de la Banda de Rodadura



Fuente.- (Castro, 2008)

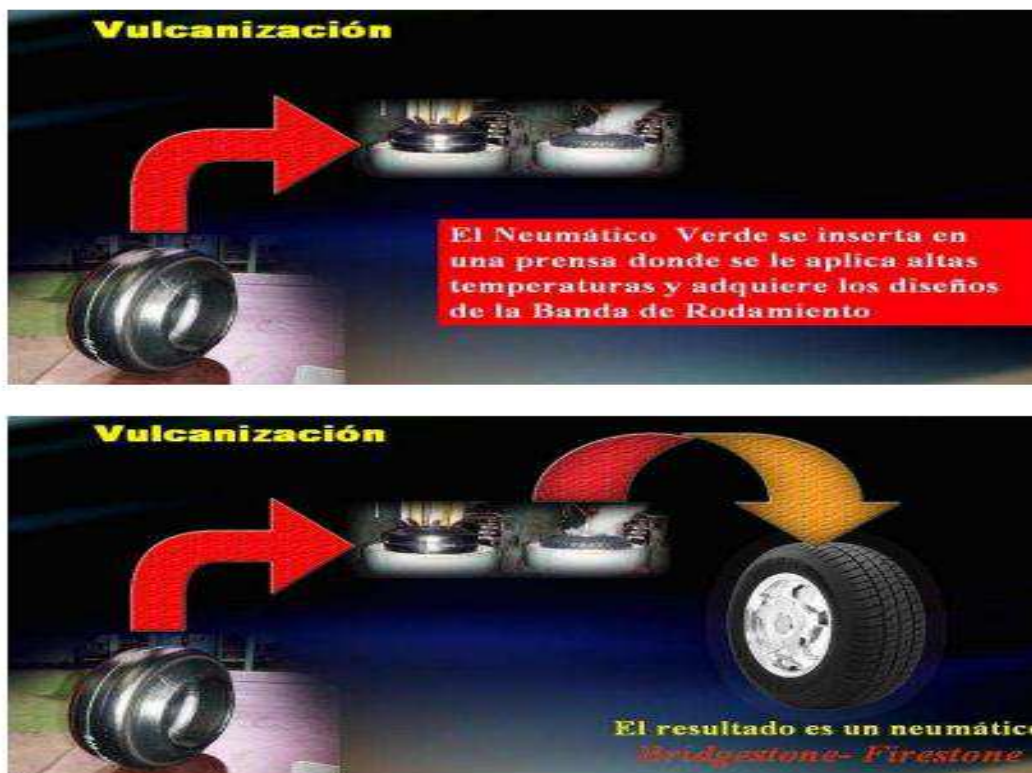
1.- Banda de rodadura para llantas vallas: Para las llantas vallas después de la calandria se introduce el material en una máquina para calentar el caucho para obtener una banda lisa, posteriormente se enfría con agua y se le registra el código del neumático a fabricar, se corta según el tamaño que el fabricante desee. La parte sobrante se almacena y será reutilizada. (González, Río, & Tena, 2011)

2.- Banda de rodadura para llantas radiales: En cambio para este tipo de llantas el caucho que resulta del anterior proceso se introduce en una máquina y se le añadirá alambre de acero logrando así un material compuesto conocido como STELL LASTIC. (González, Río, & Tena, 2011)

e) **Pestañas:** Al caucho que se obtiene del mezclador secundario antes de mezclarlo con alambre de acero en láminas delgadas se lo calienta para luego enrollarlas en círculos centrados. (González, Río, & Tena, 2011)

f) **Vulcanización:** Antes de pasar al proceso para controlar la calidad se infla la carcasa y se someten a los diferentes moldes según los modelos que tenga el fabricante, en este proceso se registra la labor, el número del aro, etc., se mantiene a una temperatura de 120 °C por 15 minutos. Posteriormente se infla para evitar que las partículas del caucho regresen a su forma inicial. (González, Río, & Tena, 2011)

Figura 1.4.- Fase de Vulcanización



Fuente.- (Castro, 2008)

g) **Control de calidad:** Después que los neumáticos han pasado consecuentemente el proceso, debe pasar por la prueba de control de calidad que consiste en las siguientes fases: (González, Río, & Tena, 2011)

h)

Figura 1.5.- Fase de Inspección Final



Fuente.- (Castro, 2008)

1.- Comprobación visual de fallas: El primer paso en el control de calidad es verificar que el neumático ni tenga ningún agujero o fisura.

2.- Balanceadora: El siguiente procedimiento es revisar que el neumático sea liso para que al rodar sea de manera equilibrada, luego pasa al último paso que es el cumplimiento de las normas de calidad.

3.- Centro De Pruebas: En este paso viene la comprobación de las normas INEN Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 011 (1R) NEUMÁTICOS. Este reglamento técnico establece los requisitos del producto y de rotulado que deben cumplir los neumáticos destinados al uso en vehículos, con el fin de proteger la vida e integridad de las personas y el medio ambiente, así como evitar prácticas que puedan inducir a error y provocar perjuicios a los usuarios finales. La prueba consiste en colocar simulando su rodaje en un simulador de carretera aplicándole varias cargas por un intervalo de tiempo en condiciones normales y severas para evaluar el rodaje y la resistencia del neumático. (González, Río, & Tena, 2011)

1.2. Residuos generados en el proceso del neumático

En los últimos años, alrededor del mundo uno de los grandes problemas medioambientales que se enfrenta se debe al gran volumen de fabricación de neumáticos y lo difícil que resulta deshacerse de ellos una vez usados, además al no aplicar un buen plan de reciclaje genera gran contaminación ambiental. (Gere & Goodno, 2009)

Del volumen total de neumáticos fuera de uso, un porcentaje se deposita en los vertederos controlados sin ninguna aplicación, otro mínimo porcentaje se le aplica una valoración energética y la mayor parte de estos no se controla su depósito final. Muchas veces se procede a quemarlos para su desaparición, provocando contaminación, por las partículas nocivas en la emisión de estos gases. (Tron, 2012)

Figura 1.6.- Centro de acopio de neumáticos usados



Fuente.- (Sánchez & Guzmán, 2011)

Las montañas de neumáticos forman arrecifes donde la proliferación de roedores, insectos y otros animales dañinos constituye un problema ambiental, la acumulación de estos en los vertederos provocan problemas de salud siendo esta una preocupación puesto que son estos donde se acumulan los insectos productores de enfermedades.

Un ejemplo que se evidencia es la reproducción de ciertos mosquitos, que transmiten por picadura fiebres y encefalitis, llega a ser 4.000 veces mayor en el agua estancada de un neumático que en la naturaleza. (Moreno, González, & Martínez, 2012)

Otro problema que estos presentan es que por el volumen que ocupan y por tratarse de residuos de generación masiva, los neumáticos deben considerarse como residuos especiales, y por esta razón los vertederos de residuos urbanos no acostumbran recibir neumáticos enteros debido al gran volumen que ocupan y a su lenta degradación natural, la misma que supera los 100 años. (Moreno, González, & Martínez, 2012)

Mediante estudios realizados en laboratorios con la disolución de los componentes de los neumáticos, se ha concluido que estos no presentan características de peligrosidad para el medio ambiente, sin embargo el almacenamiento de los neumáticos usados en el terreno o en vertederos representa riesgos para la salud y el medio ambiente. (Moreno, González, & Martínez, 2012)

Es importante citar como ejemplo que la lluvia que se estanca en los neumáticos provocan enfermedades como el dengue el riesgo se ve acentuado en las zonas de clima sub-tropical y tropical. La problemática de los residuos de neumáticos se ha incrementado según el aumento de la población, en países como España se ha gestionado para que los residuos sean reutilizados no sólo por el material invertido sino por el consumo de energía que estos conllevan. (Martínez, 2009)

Los NFU (Neumáticos Fuera de Uso) tienen un exceso de poder calorífico de 37 MJ/Kg, por lo tanto son fuente potencial de energía. El neumático usado genera un combustible interesante y las industrias lo aprovechan en grandes volúmenes. En la actualidad diferentes países incluido EE.UU. y en Japón, el 50% de los neumáticos se valorizan recuperando energía. (Moreno, González, & Martínez, 2012)

En el año 2014 en Estados Unidos se registraron más de 200 millones de neumáticos fuera de uso de los cuales el 50% de los neumáticos fueron destinados al almacenamiento en vertederos, el otro 50 % distribuido al uso de energía, reencauchaje molindas para artefacto y para la aplicación de asfalto.

Tabla 1.2.- Objetivo de gestión de NFU 2008-2015

OBJETIVOS	AÑO		
	2008	2012	2015
PREVENCIÓN			
REDUCCIÓN			8
RECAUCHUTADO		15	20
VALORIZACIÓN	98	98	98
RECICLAJE	50% (40% del caucho en mezclas bituminosas)	52% (42% del caucho en mezclas bituminosas)	55% (45% del caucho en mezclas bituminosas)
	Acero: 100%	Acero: 100%	Acero: 100%
VALORIZACIÓN ENERGÉTICA	30 %	25 %	30 %

Fuente: (Castro, 2008)

Elaborado por: Autores de Trabajo Final de Titulación

Es importante considerar que la recuperación de energía a partir de neumáticos usados es una opción favorable para la conservación del medio ambiente, es necesario que antes de la entrada al horno al que debe someterse la materia obtenida en el proceso de trituración para lograr una alternativa segura ya que facilitará la combustión.

Otra referencia de los neumáticos usados se resume en una revista Italiana que es editada en Argentina en la que se registra que en el siglo XX, se recuperaron 300.000 Toneladas de neumáticos desechados en la mencionada revista además menciona que el consorcio ARGO ha creado estrategias para producir materia prima a partir de un sistema de recuperación de neumáticos, que consiste en tres etapas: la trituración, granulación y pulverización.

“Las energías renovables contribuyen, por su carácter autóctono, a la reducción de las tasas de dependencia energética, bien sea por su utilización alternativa a los combustibles fósiles para generar energía eléctrica o para consumo final”. (Martínez, 2009, pág. 46)

Haciendo un recuento del uso que se le da a los neumáticos usados en América se analizará de forma breve algunos países del continente antes mencionado y los principales usos que se le dan a los NFU. En EE.UU el uso que se da en la valorización de energía consiste en utilizar los NFU como combustibles, introduciendo los neumáticos en hornos de cemento, papeleras y centrales térmicas.

Es así como la aplicación de estos equipos logran un gran porcentaje de valorización energética de NFU, siendo el país que la tecnología para obtener combustible u otros derivados de los neumáticos fuera de uso es más actualizada, rescatando que la industria de reciclaje en Estados Unidos es la más amplia del mundo. (Boada, 2012)

En el 2010 el mayor porcentaje de los NFU enfocó su aplicación en el combustible obtenido de los neumáticos siendo este el 44,7%; el resto de su aplicación se distribuye en pequeñas proporciones como el 19,4% en proyectos de Ingeniería, el 9,3% depósito en Vertederos, el 7,8% caucho molido, el 77 % reencauchados, el 4 3% en asfaltos, el 31 % lo exportan como neumáticos usados, el 2% en productos de sellados, el 1,7 % en el uso agrícola. (Boada, 2012)

En el año 2012 en Canadá en la Asociación Canadiense de Agencias de reciclaje de Neumáticos se reporta de forma estructurada los diferentes usos que se le dan a los neumáticos usados; el 33% es aplicado en productos moldeados, el 2% en productos embalados, el 11% en troquelado, el 17% en productos rallados, el 24% en miga y el 13% es aplicado como combustible. (Boada, 2012)

En México el 91% de los neumáticos usados son abandonados en vertederos, y en mínimas cantidades le dan a los NFU otras aplicaciones, el 5% se recauchan, el 2% para industrias y un 2% se aplican para la generación energética que es el propósito de la presente investigación. (Boada, 2012)

Actualmente en América central cuenta con un proyecto en el que se pretende recuperar el 100% de lo NFU mediante la técnica de trituración y molido, reduciéndolos a su mínima expresión esto según datos proporcionados por (Boada, 2012) que se detalla a continuación.

En Puerto Rico según la Ley 171 de 1996; anuncia la prohibición de neumáticos en vertederos por tal motivo se busca otras alternativas de aplicación. Según la Comisión Nacional de Desechos Sólidos CONADES; se registran diariamente cantidades elevadas de neumáticos usados distribuyéndolos de la siguiente forma: el 70% de los neumáticos se depositan en vertederos aun no siendo autorizada esta opción por la CONADES, el 15% son reencauchados y el 12% son reciclados para diferentes usos.

En Guatemala el Ministerio del Medio Ambiente o municipio no controlan exhaustivamente el destino final de los NFU, sin embargo la utilización de este como energía alternativa es permitida por motivo de su alto poder calorífico y quemarlas podría ser penalizado por la Ley debido que las Instituciones internacionales velan por la protección del medio ambiente.

En Sudamérica el uso que se le da a los neumáticos en desuso se resume a continuación según su aplicación en diferentes países, como lo indica (Boada, 2012) y se detalla a continuación.

En Honduras en el 2006 se registra que en el mencionado país no aplican la incineración por lo tanto no es utilizada la valoración energética; por lo tanto el uso que se le da a los NFU es el reencachado, construcción de obras civiles y para uso ornamental.

En el 2010 se registra en un artículo de Wilder Pérez denominado “reciclar no requiere grandes inversiones”; menciona que en Nicaragua no existe planta alguna de reciclaje por lo que se depositan los NFU en acopiadores para su posterior uso según se requieran. (Boada, 2012)

En Panamá en cambio los NFU en conjunto con el ministerio de salud los neumáticos deben ser sometidos a un tratamiento a través de los diferentes procesos se les atribuye diferentes usos en especial por el poder calorífico que estos contienen generan energía a través de hornos de industrias cementeras, producción de polvo de hule, pavimento asfáltico o cualquier proceso aprobado por el Ministerio de Salud.

En los últimos años en Venezuela las autoridades se han preocupado por la utilización de los NFU por lo cual se ha generado aportes en ciencias e investigaciones en el que se considera la reutilización o reciclaje como una alternativa para dar una solución a esta problemática, a pesar de ello no existen leyes de disposición final en Venezuela.

En Colombia anualmente se registran un total de 200.000 neumático de esa cantidad el 70% son quemados para de esto obtener el acero generando contaminación y produciendo agentes metaquímicos y cancerígenos. Los sistemas de gestión ambiental aseguran la gestión ambiental del 20% de los neumáticos usados gestionando de tal manera que en años posteriores se incremente el reciclaje de desechos neumáticos.

En Perú no existen registros de estadísticas de la cantidad anual de los neumáticos en desuso ni un programa final de neumáticos, por lo tanto no existen leyes que amparen esta problemática.

En Paraguay en el año 2012 se registraron 600.000 neumáticos distribuidos en diferentes lugares del país, el ministerio de salud se han preocupado por hacer campañas para proteger a la comunidad del dengue, por esta razón hoy en día contemplan la posibilidad de aprovechar los NFU como alternativa energética en cementeras.

En Uruguay la recolección de los neumáticos se realiza de forma informal, la utilización de los neumáticos fuera de uso comúnmente se utilizan para la utilización de combustibles se ha detectado su uso en ladrilleras y en productoras de caña de azúcar, otra parte son incineradas sin ninguna protección de los gases provocando así una contaminación atmosférica.

En Chile en el 2009; 3.000 toneladas de NFU son destinados para la generación combustibles alternativos, 1.500 para rellenos sanitarios y un 90% el destino es desconocido, se registra en las leyes la prohibición de la importación de neumáticos.

En Argentina supera las 100.000 toneladas de neumáticos aunque no existen leyes que amparen el destino de ellos, se registra la prohibición de la importación de los neumáticos que venía desde China y así se pretende disminuir la problemática.

En Ecuador cada año se generan grandes cantidades de neumáticos fuera de uso, se desecha anualmente alrededor de 2,4 millones de neumáticos, lo que equivale a 55.000 toneladas. Un porcentaje de ellos son reutilizados para el rencauchado, principalmente en camiones, pero la gran mayoría es incinerada o depositada en basureros al aire libre,

suponiendo una amenaza contra el medio ambiente. (Diario El Tiempo 2011-12-08 00:00).

El caucho que cuenta con propiedades mecánicas, el metal considerado como el acero de alta calidad y fibra que contiene el mayor porcentaje de calor calorífico. Las propiedades de los neumáticos en cualquier estado según el Sistema Integrado de Gestión de Neumáticos Usados SIGNUS es la capacidad de absorción, poco peso, capacidad de drenaje, un gran porcentaje de poder calorífico.

Las características nombradas son las que permiten dar diferente utilidad a los neumáticos fuera de uso.

a) Los neumáticos al ser sometidos en el proceso de granulado es utilizado para el mantenimiento de campos de césped artificial, para el suelo de parques infantiles.

b) Los neumáticos enteros son usados como adornos o en obras civiles.

c) La importancia de reutilizar los neumáticos fuera de uso se debe a su alto poder calorífico de 7.500 Kcal/kg que permite su uso en grandes empresas industriales como por ejemplo la industria cementera.

1.3. Propiedades físicas y químicas del neumático

Toda empresa dedicada a la fabricación de neumáticos puede variar en las propiedades químicas según la función prevista; por ejemplo, los neumáticos de carreras deben resistir mejor el calor que los neumáticos de turismo, es decir las empresas utilizan un mayor porcentaje de fibras sintéticas y productos químicos en estos neumáticos, es decir se debe considerar el uso que se le designe.

1.3.1. Propiedades físicas del neumático

Todo proceso que recurra al aprovechamiento de los recursos del neumático en cualquiera de sus presentaciones se encuentra con los siguientes materiales.

El caucho tiene múltiples y muy buenas propiedades mecánicas permitiendo la absorción de impactos, vibraciones y amortiguación del ruido.

Metal: El neumático está comprendido por una parte de acero de muy buena calidad utilizado en grandes industrias.

Fibra: Esta contiene un gran poder calorífico, es aquí donde surge el poder energético que se reutiliza en el proceso de aprovechamiento.

Por lo tanto el neumático tiene características muy valiosas que en la actualidad son aprovechadas en las industrias para múltiples aplicaciones.

- Dimensiones variadas y forma redonda.
- Muy baja densidad 0,125-0,2 Ton/m³.
- Capacidad de soporte debido a su estructura.
- Bajo contenido de humedad respecto a otro tipo de combustible, por lo que no es necesario un sistema de secado previo a la entrada del horno.

Aunque la mayor parte del neumático está formado por caucho y corresponde a la mitad de su peso, este tiene otras estructuras complejas que sirven de refuerzo para cumplir con las funciones que tienen encomendadas el neumático en uso activo, otros materiales que son utilizados en la fabricación del neumático tenemos: azufre, plastificantes,

antioxidantes, entre otros, como se muestra en la composición química y física de los neumáticos. El neumático consta de propiedades físicas por su flexibilidad como lo indica a continuación. (Vásquez, 2009)

Flexibilidad transversal: Estos mantienen su fuerza en los vientos y esfuerzos laterales.

Flexibilidad longitudinal: Tiene su efecto en la aceleración y el frenado, puesto que en las dos acciones el eje de la rueda avanza en la dirección de la marcha respecto al neumático y produce la deformación del mismo, evitando el deslizamiento.

Adherencia: Es el contacto del neumático al suelo; no depende sólo de las fuerzas de rozamiento en la que solo intervienen la carga aplicada y el coeficiente de rozamiento. Mientras mayor es el contacto entre el suelo y el neumático, mayor será probabilidad que el neumático se deforme.

Por el caucho bruto las propiedades físicas varían según la temperatura, es decir si la temperatura es baja el caucho se torna rígido, y cuando se congela a lo máximo se adquiere estructura fibrosa. Si se calienta a más de 100 °C se consigue un caucho blando y con múltiples cambios, considerando que debido a la naturaleza plástica del caucho bruto adquiere deformación permanente.

Cuando ha sido cambiada la estructura del caucho bruto durante un tiempo, no puede recuperar su estado original. Al calentarse el caucho, la recuperación es mayor que a la temperatura ordinaria, a este fenómeno se denomina deformación residual; el caucho bruto absorbe agua, cuando se prepara el caucho el látex afectan al grado de absorción de agua; usando ácido clorhídrico, sulfúrico o alumbre se obtienen cauchos con poder de absorción relativamente elevado. (Sterling, Rodríguez, & Mora, 2012)

“El poder de absorción de agua del caucho purificado es muy bajo. Gran variedad de sustancias son solubles o pueden dispersarse en caucho bruto, tales como el azufre, colorantes, ácido estárico, N-fenil-2-naftilamina, mercaptobenzitiazol, pigmentos, aceites, resinas, ceras, negro de carbono y otras”. (Castro, 2008, pág. 18)

En una discusión de algunos problemas encontrados con mercaderías de caucho en 1826, Hancock comenzó en su "Narrativa personal del origen y progreso del Caucho de la India enfatizando su interés en el múltiple uso que se le otorga a este material. (Castells & García, 2012)

Tabla 1.3.- Composición Física de un neumático

Composición	Caucho 45-47%
	Negro de Carbono 21,5-22%
	Acero 16,5-25%
	Textil 5,5% (solo para autos)
	Óxido de cinc 1-2%
	Azufre 1%
	Aditivos 5-7,5%
Metales pesados presentes	Cantidades trazas de cobre, cadmio y plomo
Alto poder calorífico	32-34 MJ/Kg (1 Ton es equivalente a 0,7 Ton Fuel oil)
Temperatura de auto- ignición	400°C
Peso	Entre 6,5-11 kg (vehículos livianos)
	Entre 50-80 Kg (camiones)

Fuente.- (Cambra & Mar, 2009)

Elaborado por: Autores de Trabajo Final de Titulación

Los fabricantes de neumáticos varían el diseño y de tamaño de estos; sin embargo los materiales empleados y su composición son muy similar, ya que independientemente de su diseño físico se considera la función de estos; es así como en la anterior tabla se resume los principales materiales empleados para la fabricación de los neumáticos, siendo estos considerados las propiedades físicas.

1.3.2. Propiedades químicas del neumático

El neumático en su mayor parte lo conforma el caucho, está compuesto de un hidrocarburo blanco o incoloro.

Uno de los compuestos más simple de caucho es el isopreno y como segundo compuesto más utilizado es el metilbutadieno, cuya fórmula química es "C₅H₈, a la temperatura del aire líquido, alrededor de -195 °C, el caucho puro es un sólido duro y transparente de 0 a 10 °C es frágil y opaco, y por encima de 20 °C se vuelve blando, flexible y translúcido. Al amasarlo mecánicamente, o al calentarlo por encima de 50 °C, el caucho adquiere una textura de plástico pegajoso. A temperaturas de 200 °C o superiores se descompone".

El caucho puro es insoluble en agua, con agentes oxidantes químicos se oxida rápidamente, pero con el oxígeno de la atmósfera lo hace lentamente. (Cuéllar, Rodríguez, & Mora, 2011)

1) Uno de los pasos obligatorios a seguir es el análisis de la composición química de la ceniza del carbón aplicado para la fabricación de neumáticos, la ceniza se obtiene por procedimientos realizados en el proceso de fabricación, determinándose la fracción en peso de los principales óxidos formados: SiO₂ , Al₂O₃ , Fe₂O₃ , CaO, MgO, Na₂O, K₂O y TiO₂ . (Cuéllar, Rodríguez, & Mora, 2011).

En la siguiente tabla refleja los componentes químicos aplicados en el proceso de fabricación de neumáticos y el peso en porcentaje de cada sustancia química aplicada.

Tabla 1.4.- Composición Química de un neumático

Elemento	Porcentaje
Carbono	70
Hidrogeno	7
Azufre	1..3
Cloro	0,2...0,6
Fierro	15
Oxido e Zinc	2
Dióxido de Silicio	5
Cromo	97-ppm
Níquel	77-ppm
Plomo	60-760ppm
Cadmio	5-10ppm
Talio	0,2-0,3 ppm

Fuente.- (Cambra & Mar, 2009)

Elaborado por: Autores de Trabajo Final de Titulación

2) Dada la naturaleza de los fenómenos de escorificación, un buen parámetro caracterizador puede ser la temperatura de fusión de las cenizas. La fusión de la ceniza depende de 2 parámetros del carácter oxidante o reductor de la atmosfera en que se encuentra debido al estado de oxidación ferroso o férrico del hierro.

“Las temperaturas de fusión son menores en ausencia de oxígeno, por lo que el ensayo se realiza en aire y en una mezcla de CO₂ y CO, considerándose preferentemente como predictores los resultados obtenidos en atmósfera reductora. (Castells & García, 2012)

Parece evidente que a menores temperaturas de fusión la tendencia a la escorificación será mayor, lo que proporciona un criterio comparativo”. Siendo este método el más utilizado por las fábricas de neumáticos. Hay estudios en los que se intenta analizar las temperaturas de fusión a partir de la composición en óxidos de la ceniza y otros óxidos. (Castells & García, 2012)

3) Viscosidad de las cenizas. Otro elemento a considerar para conocer el grado de escorificación es la densidad de las cenizas que es establecida en las características de fusión, establecida en los parámetros de viscosidad-temperatura. Se han realizado estudios en laboratorios sobre la ceniza considerando sus condiciones oxidantes y reductoras en la que se determina valores bajos de viscosidad. (Calvo, 2011, pág. 113)

4) El inicio de la fase sólida está dada por un punto de inflexión de la curva en la temperatura de viscosidad. Los métodos experimentales son muy costosos es por eso que hay numerosos estudios en la fase líquida en la que se intenta relacionar “la curva viscosidad-temperatura o alguno de sus puntos con los ensayos de fusión, la composición de cenizas o índices derivados”. (Calvo, 2011, pág. 113)

Tabla 1.5.- Análisis mineral de la ceniza de neumático. (Porcentaje de cenizas).

COMPUESTO	%
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	22.00
Dióxido de Aluminio (AL ₂ O ₃)	9.09
Óxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	1.45
Óxido de Calcio (CaO)	10.61
Dióxido de Titanio (tiO ₂)	2.57
Óxido de magnesio (MgO)	1.35
Óxido de Sodio (Na ₂ O)	1.10
Óxido de Potasio (K ₂ O)	0.92
Azufre en (SO ₃)	15.68
Fósforo en (P ₂ O ₅)	1.03
Óxido de Azufre (ZnO)	34.50

Fuente.- (Moreno, González, & Martínez, 2012, pág. 84)

Elaborado por: Autores de Trabajo Final de Titulación

5) Índices empíricos. El uso principal que se le da al porcentaje de óxidos severidad en cenizas está dada por los índices numéricos para determinar la esperada en los fenómenos, siendo esta la forma más conocida para conocer la acción de la materia prima.

1.4. Proceso de Reutilización y reciclado de neumáticos fuera de uso

Se cataloga como un problema masivo el reciclado de los neumáticos fuera de uso ya que genera una condición de riesgo ambiental debido a las enfermedades que podrían generarse al momento de su almacenamiento en los vertederos, siendo este uno de los problemas medioambientales de los últimos años en todo el mundo; sin embargo es muy importante saber que la fabricación de un neumático necesita grandes cantidades de energía, además el material utilizado como por ejemplo el petróleo crudo podría provocar contaminación ambiental, generalmente, de vertederos incontrolados.

Hay un gran porcentaje de neumáticos que se encuentra en vertederos y no son tratados, otro gran porcentaje se deposita después de ser triturado, y otra parte no está controlada. De forma equivocada para eliminar estos residuos en muchas ocasiones se recurre a la quema de neumáticos lo cual es dañino porque contienen partículas perjudiciales para el entorno.

Aunque no existe el apoyo por parte de las autoridades para disipar esta problemática implementando industrias para recuperar o eliminar dichos residuos, existen métodos para conseguir un reciclado coherente de estos productos. (Chumpitaz, Rodriguez, & Carvalho, 2012)

Hay que considerar también que el almacenamiento de los neumáticos es similar de perjudicial debido a la degradación de estos y las sustancias que estos producen son dañinas para la seguridad de los vertederos. Uno de los problemas más graves en los vertederos son las montañas de neumáticos que se forman, es ahí donde la reproducción de roedores, insectos y otros animales es inevitable causando así enfermedades como infecciones, encefalitis, dengue, etc.

Hoy en día se aplican varios métodos para la reutilización de los residuos de los neumáticos y la destrucción de sus componentes peligrosos. Entre esos métodos tenemos la reutilización, recauchutado y reciclado de neumáticos usados proporcionando así fuentes de trabajos ya que ofertaría la creación de nuevas industrias; a continuación se explica en que consiste cada uno de estos métodos como lo menciona (Moreno, González, & Martínez, 2012):

1: Reutilización: Los neumáticos pueden ser utilizados aún fuera del uso en los automóviles por ejemplo los neumáticos enteros en parques, en jardines, o darle uso en partes como sus flancos, banda de rodamiento, así mismo el material descompuesto empleado para su fabricación.

2: Recauchutado: En este proceso la carcasa del neumático usado se puede reutilizar, colocando una banda de rodadura, teniendo en cuenta que las condiciones de uso sean las adecuadas.

3: Re-esculturado: Este proceso se refiere a los de vehículos industriales, “permiten aprovechar al máximo el potencial del neumático, tanto del nuevo como del recauchutado, a la vez que se restituye la seguridad, y se disminuye el consumo de combustible”.

4: Reciclado: Para dar uso del caucho siendo la mayor parte del neumático, tenemos algunos procesos que pueden aplicarse como:

a) Regeneración.- Consiste en romper las cadenas químicas y obtener una materia prima que podría volver a vulcanizarse y fabricar de nuevo el caucho, que podría ser utilizado en la fabricación de neumáticos.

b) Incineración.- Este proceso se produce con la combustión de los materiales orgánicos del neumático en hornos con materiales refractarios de alta calidad. Es muy costoso, es contaminante y además las diferentes velocidades de combustión de los diferentes componentes no es fácil de

controlar. Como este proceso genera calor puede ser usado como energía, la desventaja de este proceso es que produce agentes tóxicos que son perjudiciales para la salud humana.

Son varias las investigaciones que han analizado las propiedades del neumático, es así que es considerado una materia prima óptima enfatizando la importancia en el bajo contenido de humedad, y al gran contenido de sustancias volátiles que hacen posible el proceso de pirólisis; además se observa un contenido similar de carbón, así como contenidos pequeños de nitrógeno y azufre y un gran porcentaje de nitrógeno, la materia volátil de la biomasa es ligeramente superior a la de los neumáticos y el PCS (Poder calorífico superior) de éstos casi duplica el correspondiente a los materiales biomásicos.

El proceso de pirólisis inicia cuando alcanza una temperatura de 250 a 350°C y la distribución de los productos depende de la materia inicial y las condiciones de operación; considerando que entre mayor es la temperatura, mayor es el rendimiento del gas; pese a eso los componentes de los productos es muy compleja resultando difícil su selectividad. (Flores, 2012)

Tabla 1.6.- Rendimientos fase gaseosa para diferentes sistemas experimentales de pirólisis

Autores	Rendimiento Fase Gas %	Temperatura °C	Sistema Experimental
Conesa et al., 2000	6-37	600-800	Reactor lecho Fluidizado
Chang, 1996	30-53	200-600	
Williams et al., 1990	10	300-720	Reactor Batch
Laresgoiti et al., 2000	7-9	400-700	Reactor Auclave
Bouvier et al., 1987	6	372-525	Reactor retorta
Lucchesi y Mashuo, 1983	15-30	400-700	Bench scale moving bed
Mastral y Murillo, 2002	5-12	450-950	Reactor lecho fijo
Cunliffe y Willians, 1998	5-9	450-600	Reactor Batch
Leung y Wang 1998.	5-23	500-1000	Reactor tubular (alta velocidad de calentamiento)

Fuente.- (Castells & García, 2012, pág. 92)

Elaborado por: Autores de Trabajo Final de Titulación

c) Trituración Criogénica.- La dificultad de separar el caucho y el metal; así como la purificación hacen que este proceso sea costoso y poco rentable, además las instalaciones son muy complejas por ende el mantenimiento de la maquinaria es difícil.

d) Trituración mecánica.- Es exclusivamente mecánico por esta razón el producto obtenido es de calidad ya que toda la maquinaria empleada posee su debido mantenimiento.

Los Residuos son utilizados para asfalto, superficies de parques, etc; los neumáticos fuera de uso no son reutilizados por las fábricas ya que resulta más económico comprar la materia prima, es por esta razón que es recomendable utilizar dichos residuos para reutilizar la energía invertida.

Hoy en día se aplican técnicas para la valorización energética, con distinto grado de desarrollo tecnológico, se pueden utilizar diversos métodos para la recuperación de neumáticos y la destrucción de sus componentes peligrosos. Las operaciones de reutilización, recauchutado y reciclado de neumáticos usados representan una importante oportunidad para la creación de industria y tecnología, así como un importante yacimiento de nuevos empleos. (Castells & García, 2012)

Tabla 1.7.- Energí­a consumida en la fabricaci3n de neumáticos

Material para fabricar un Neumático de 11,35 Kg	Composici3n del neumático) %	Intensidad Energética (MJ/Kg)	Energía (MJ/Kg. Neumático)
Caucho Natural	14	9,3	1,3
Caucho Sintético	27	119,8	32,3
Carb3n Black	28	126,5	35,4
Acero	15	25	3,8
Plastificantes	5	42	2,1
Textiles	11	43,49	4,8
Peso:11,3 Kg	Total Materiales Neumático		903,7
Energía Proceso			132,7
Total (MJ/ Neumático)			1036,4=28,75 L

Fuente.- (Gere & Goodno, 2009, pág. 93)

Elaborado por: Autores de Trabajo Final de Titulaci3n

En la actualidad los recursos renovables han aumentado y de esta forma ha surgido los procesos de valorización de los desechos; es por eso que el aumento de vehículos y consecuentemente el incremento de neumáticos usados ya no es un problema ya que el crecimiento de residuos ha abierto campo a la tecnología, en el caso de aprovechar la energía de los neumáticos usados a través de la pirólisis.

Hoy en día la pirólisis es una alternativa para proteger el medioambiente a través de la disminución de los neumáticos almacenados en vertederos, es un proceso en el que se produce una reacción que consume energía, el proceso de pirólisis tiene su lugar en el calentamiento de los neumáticos después de ser triturados, en resumen el proceso de pirólisis se basa en la materia orgánica consecutivamente materia volátil más el residuo sólido. (Castells & García, 2012)

Del proceso de pirólisis se obtienen diferentes sustancias así como una parte gaseosa la cual está constituida por los siguientes componentes: hidrógeno, metano y otros hidrocarburos, además de óxidos de carbono, junto con cantidades menores de amoníaco, azufre, etc. Otra subdivisión es líquida compuesta de agua, alquitranes y aceite (compuestos orgánicos como tolueno o xileno). (Castells & García, 2012)

Se cita un ejemplo de los materiales que se obtiene junto a sus cantidades en un proceso de pirólisis usando 1000 kg de neumáticos:

- 500 m³ de syngas (gas de pirólisis) similar al propano de usos industriales. De esta cantidad se utiliza en el proceso el 30%, es decir que quedarían libres 350 m³.
- 400 litros de aceite de pirólisis de neumáticos que se refina para utilizarlo como diesel.
- 300 kg de carbón negro destinado a la industria del caucho.
- 150 kg de acero. (Aránguiz, 2012)

Figura 1.7.- Reciclado de neumáticos con proceso pirolítico



Fuente.- (Castro, 2008)

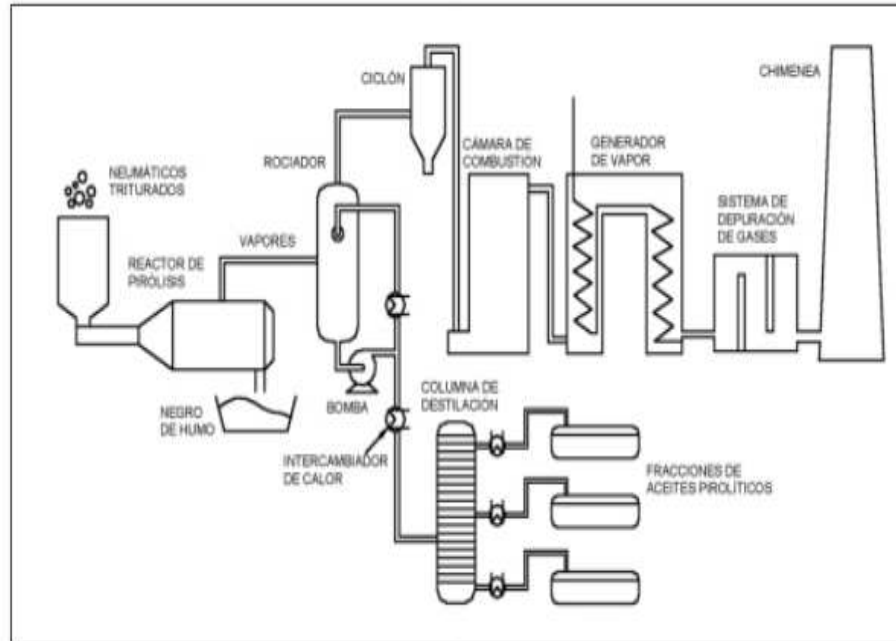
1.5. Utilidades de los neumáticos después del reciclado

Después del tratamiento exhaustivo que se realiza a los residuos de los neumáticos y separados los materiales que será reutilizado para la fabricación de nuevos neumáticos, los materiales que se obtienen pueden ser utilizados en las industrias para los diferentes usos:

- El caucho tratado y granulado se aplica en los asfaltos siendo las carreteras que usan estos mejores y más seguras.
- Suelos de canchas de fútbol, espacios deportivos como pistas de atletismo, pistas de bicicleta, etc.
- Alfombras, aislantes de vehículos.

- Materiales para fabricar el tejido.

Figura 1.8.- Aplicación de los residuos de los neumáticos fuera de uso



Fuente.- (Castells & García, 2012, pág. 1065)

1.6. Neumáticos convertidos en energía eléctrica

Es muy importante tener en consideración que los residuos de neumáticos después de ser tratados pueden ser aplicables como energía eléctrica. Al introducir los residuos en una caldera se realiza su combustión, luego el calor liberado hace que el agua de la caldera se convierta en vapor de muy alta temperatura, en el proceso de expansión se mueve la turbina y el generador de esta produce la electricidad.

Por motivo del material que compone el neumático se considera que este tiene un poder calorífico elevado, esta característica permite obtener energía en su combustión, como se ha mencionado anteriormente los neumáticos contienen un alto compuesto en goma la misma que está compuesto de carbono el cual contiene alto poder calorífico, este proceso

se realiza mediante la combustión controlada la misma que se realiza en combustores especiales para una combustión energética.

No se debe utilizar mezclas dañinas que podrían ser perjudiciales para el medio ambiente, la materia prima que se obtiene es aplicable a los procesos de pavimentos de instalaciones deportivas, parques, asfaltos, productos de goma, además es aplicado como materia prima de algunas industrias para usos diferentes.

1.7. Tecnologías para la combustión de neumáticos usados

Para realizar el proceso de pirólisis utilizando neumáticos fuera de uso, y obtener una energía alternativa se debe conocer los diferentes tipos de horno que se utilizan para llevar a cabo dicha actividad. A continuación se describen de una forma breve los diferentes tipos de horno. (Matamoros, Mirasol, & Cordero, 2011)

Hornos de parrilla móvil.- En estos hornos los neumáticos se sostienen en una parrilla móvil, la misma que al avanzar se produce un aire de combustión, los gases que se obtienen contienen partículas y posteriormente se recogen las cenizas en una cinta transportadora para luego ser recogidas en un depósito. (Matamoros, Mirasol, & Cordero, 2011)

En este tipo de hornos se obtienen las siguientes ventajas:

- Facilidad del control del tiempo de la velocidad de la rejilla.
- La tensión en este tipo de tecnología es menor que en otros.

Las desventajas de este tipo de hornos encontramos:

- Necesidad de una cámara de postcombustión.
- Al momento de la disolución de la parte metálica de los neumáticos surgen problemas en la obstaculización de las rejillas.
- Es viable en grandes instalaciones debido a su costo elevado.

Hornos rotatorios: Estos hornos son de forma cilíndrica de metal, constan de un motor que lo hace girar. El material obtenido de los neumáticos pueden ser introducidos por la parte superior o inferior del hornos, los gases de combustión que se obtienen pasan a través de intercambiadores de calor, es aquí donde se produce la recuperación de energía. (Matamoros, Mirasol, & Cordero, 2011)

Las ventajas sobresalientes de este tipo de tecnología tenemos:

- Bajo costo de este tipo de tecnología.
- Es flexible a la hora de realizar procesar cualquier residuo.
- Esta tecnología es recomendada.
- La ceniza es extraída continuamente.

Entre las desventajas que encontramos con este tipo de horno son:

- Al igual que los hornos de parrilla móvil necesitan de una cámara de postcombustión.
- No cuenta con un sistema de control de gases.

Hornos de lecho fluidizado: Estos hornos a diferencia de los tipos antes mencionados consiste en una cámara de postcombustión, donde se ubican los neumáticos triturados; debido a que el aire se introduce por el plato difusor se introducen los neumáticos manteniéndose en suspensión. (Matamoros, Mirasol, & Cordero, 2011)

Entre las ventajas que encontramos en estos hornos tenemos:

- Los niveles contaminantes son muy bajos.
- Cuentan con un alto porcentaje de eficiencia en la combustión.
- Alta flexibilidad de operación.

Entre las desventajas de este tipo de horno tenemos:

- Antes de introducir los neumáticos en el horno deben ser triturados.
- Los costos de operación son altos y no hay datos comerciales.

Hornos ciclónicos: La cámara de estos hornos es un cilindro de acero formado por una salida superior de los gases producidos por la combustión, en la parte inferior recogen cenizas. (Matamoros, Mirasol, & Cordero, 2011)

Entre las ventajas de estos hornos tenemos:

- No es necesario que los neumáticos sean sometidos a la trituración.
- La eficiencia de combustión es elevada.
- Se utiliza para diferentes residuos.

Entre las desventajas tenemos:

- Se necesitan ventiladores potentes para un correcto funcionamiento, por esos sus costos son altos.
- Necesidad de un sistema de control de gases en el proceso.

“Los neumáticos desechados; poseen alto contenido volátil, mayor contenido de cenizas y un valor calórico mayor que el carbón y biomasa tradicional. Siendo por esto ideal para pirólisis y combustión, así como para gasificación”. (Chumpitaz, Rodriguez, & Carvalho, 2012)

CAPÍTULO II

2. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE UN GASIFICADOR

El principio de funcionamiento de un gasificador nos permite una valoración energética de residuo por medio de un proceso de transformación termoquímica en el cual un material sólido es transformado en corriente gaseosa oxidante o también como un agente de reacción a altas temperaturas.

2.1. Rasgos históricos de los gasificadores

Los creadores de los primeros gasificadores de carbón fueron Bischof en 1839. Los gasificadores fabricados por Siemens en 1861 fueron exclusivamente creados para proporcionar combustibles a hornos tanto para las industrias metalúrgicas como para las siderúrgicas pesadas. Dowson en Inglaterra en el año 1888, mostró a la sociedad el uso de hornos más pequeños a cambio del uso de gasificadores. (Castells & García, 2012)

A principios del siglo XX se evidenció un avance significativo en los gasificadores ya que podían gasificarse cualquier tipo de residuos como semillas de aceitunas, nueces, pajas, etc., los primeros se utilizaron para el molineras o para el uso agrícola, posteriormente en el mismo siglo se crearon los gasificadores portátiles, los mismos que fueron usados para camiones, automóviles, barcos, etc.

El principal impulso a la creación de esos modernos equipos fue la crisis de la gasolina en la Segunda Guerra mundial, después de este suceso la gasolina bajo sus precios y fue así como dejaron de lados los gasificadores para el uso de automoción.

En la planta de gasificación la materia prima más utilizada son los residuos de carbón y el petróleo, los cuales están compuesto por el 70% de gas producido y 20% de gas natural. (Castells & García, 2012)

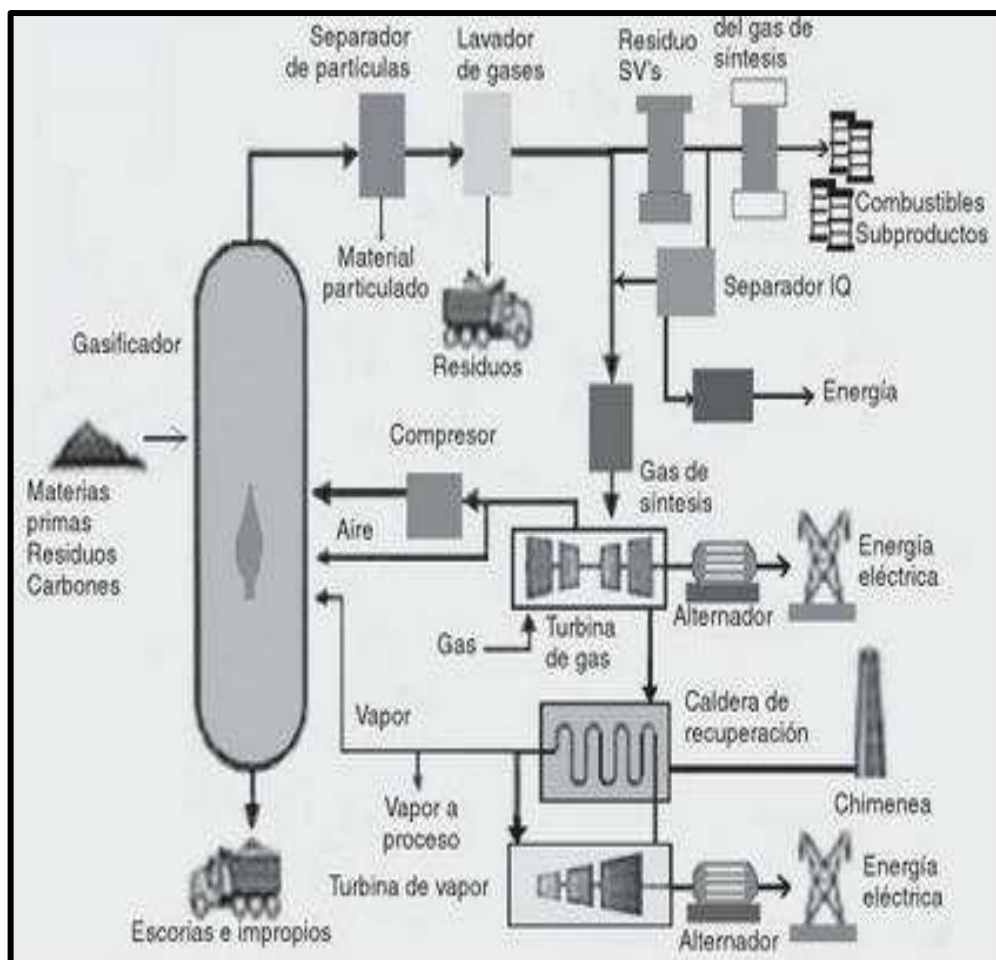
La gasificación de carbón, sólidos de carbono y materiales líquidos es la tecnología más antigua aplicada para la producción de gas a principios de los siglos XIX y XX, aunque la modalidad de esta tecnología ha ido modificándose, la gasificación juega un papel muy importante en las industrias, puesto que se han utilizado nuevas sustancias las cuales son más eficientes térmicamente, económicas y no afecta el medio ambiente.

“La gasificación es un proceso de transformación termoquímica en el que un material sólido orgánico es puesto en contacto con una corriente gaseosa oxidante o agente de reacción a altas temperaturas”. (Sonia Rincón, 2011, pág. 12)

Otra definición de gasificación que se cita para entender con mas claridad este término es de (Castells & García, 2012, pág. 414) que dice “La gasificación es un proceso en el que se convierte, mediante oxidación parcial a la temperatura elevada, una materia prima (generalmente sólida) en un gas con un moderado poder calorífico. Normalmente, se trabaja con un 25-30% del oxígeno necesario para la oxigenación completa”.

En comparación a todas las tecnologías de conversión energética la gasificación contiene varias particularidades que la hacen ver como una gran oportunidad por ser la única tecnología con la flexibilidad de transformar en un gas combustible con bajo poder calorífico a todas las materias primas que contienen carbono incluyendo los residuos peligrosos, por esta razón es la más adecuada para utilizar en los procesos industriales, a continuación podemos observar a través del gráficos las diversas utilidades de un gasificador. (Tecnología de gasificación por plasma de Westinghouse, 2013)

Figura 2.1.- Aplicación de los Gasificadores

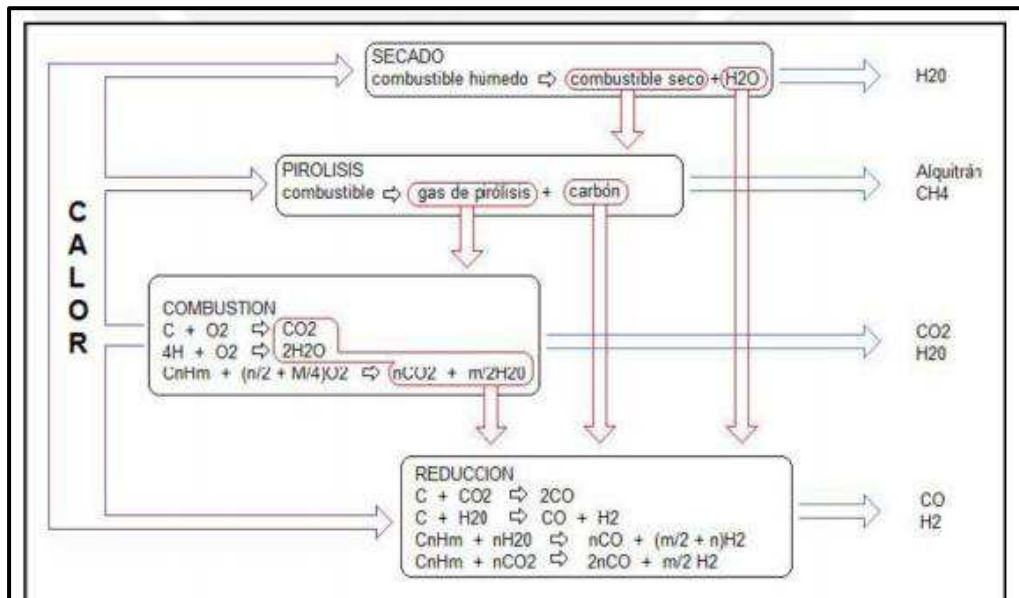


Fuente.- (Castells & García, 2012, pág. 418)

2.2. El proceso de la Gasificación

“Tanto los procesos físicos como químicos que se aplican en un sistema reactivo se describen mediante ecuaciones de balance, una ecuación de balance expresa que en un elemento de volumen del reactor el cambio de la cantidad a estudiar con respecto al tiempo (acumulación) se debe a la diferencia entre sus flujos de entrada y salida (transporte) y a su generación o consumo (fuentes)”. (Castells & García, 2012)

Figura 2.2.- Etapas del proceso de Gasificación



Fuente.- (Castells & García, 2012, pág. 420)

En el proceso de gasificación se consideran 3 fases importantes como se muestra en la figura anterior el secado que consiste en la evaporación de la humedad de lo sólido, pirólisis que consiste en la descomposición de calor en ausencia del oxígeno y la gasificación oxidación de los productos que se obtienen da la pirólisis.

La gasificación es el proceso en el cual la biomasa se convierte, mediante oxidación parcial a temperatura elevada, en un gas pobre con un moderado calor específico, normalmente se trabaja con el 25 a 30% del aire necesario para la oxidación completa.

En el proceso de gasificación de biomazas hay tres tipos de procesos térmicos importantes los cuales depende de las condiciones de operación, del combustible (residuos agrícolas, madera, carbón, etc.) y del agente gasificante (oxígeno puro, o vapor de agua o aire) que se usará.

Los tres procesos térmicos importantes en la gasificación son la pirólisis, oxidación o combustión y reducción o gasificación, también existe un proceso de secado del combustible, a continuación se detallará cada uno de estos procesos.

Zona de secado del combustible: se introduce el combustible en la parte superior del gasificador y se tolera una pequeña cantidad de fuga de aire en este espacio.

Como resultado de la transferencia de calor desde las partes más bajas de la gasificación, el secado de la biomasa de combustible se produce en esta sección donde el agua contenido en el material combustible es removido a una temperatura superior a los 100°C.

Pirólisis o descomposición térmica: es la etapa en el cual hay un rompimiento del material por medio de un calor intenso en ausencia de aire (aproximadamente 350°C). El combustible se descompone en una mezcla de sólido, líquido y gas. La parte sólida es un residuo carbonoso o también llamado char y a los líquidos, debido a la presencia de alquitranes y vapores condensables se le denomina TAR.

Oxidación o combustión: tiene lugar cuando el agente gasificante es un oxidante lo cual implica reacción de oxidación, los cuales son exotérmicas, Aquí se genera el calor necesario para que el proceso se mantenga.

Reducción o gasificación: en este proceso, el oxígeno del aire quema parcialmente el residuo carbonoso procedente de la pirólisis (proceso simultáneo al de gasificación), aquí se generan reacciones endotérmicas.

Agentes Gasificantes

Se conoce como agentes gasificante a un gas, o mezcla de ellos, que aporta calor para iniciar las reacciones, en el proceso de gasificación se pueden utilizar diferentes agentes gasificantes como aire oxígeno, o vapor de agua, entre otros.

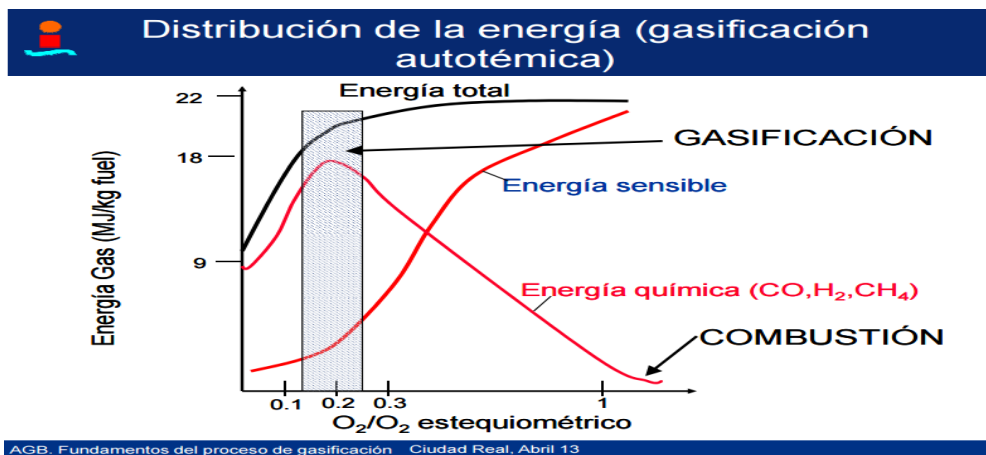
Con aire: Al utilizar aire, se disuelve el nitrógeno provocando así un poder calorífico bajo. Este gas puede ser empleado como combustibles en quemadores de calderas, turbinas de gas y combustible de motor.

Con oxígeno: En este proceso el gas no se encuentra diluido con el nitrógeno, el poder calorífico suele ser mayor que con aire además que la aplicación que se obtiene con este son las mismas que las que se dan utilizando aire y a este se le suma el beneficio que se puede obtener Metanol.

Factores determinantes en el modo de gasificación

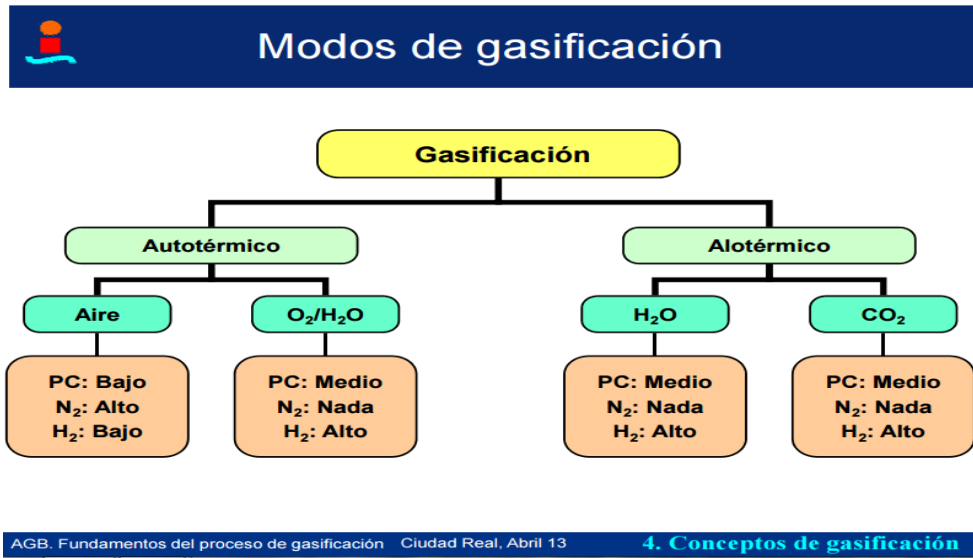
Considerando que la gasificación tiene diversas características así como el agente gasificador, existen diversos factores los cuales determinan la forma de realizar la gasificación.

Figura 2.3.- Distribución de la energía en la gasificación



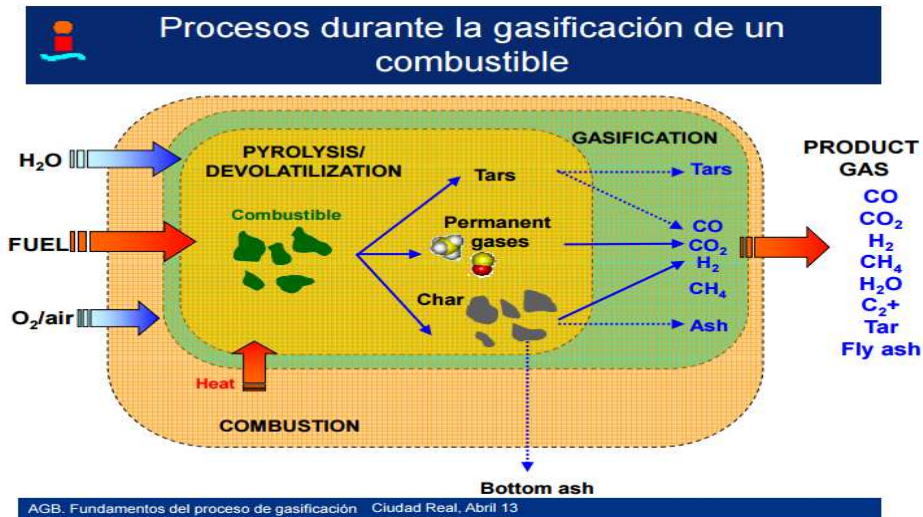
Fuente (Soriano & Ruiz, 2008, pág. 87)

Figura 2.4.- Distribución de la energía en la gasificación



Fuente (Soriano & Ruiz, 2008, pág. 89)

Figura 2.5.- Distribución de la energía en la gasificación



Fuente (Soriano & Ruiz, 2008, pág. 90)

Suministro de energía: Este factor proviene de 2 procesos autotérmicos y alotérmicos en el primero el aporte del calor es necesario para el proceso se realiza directamente mediante la combustión suministrando una cantidad considerable de oxígeno, en el proceso alotérmico el calor

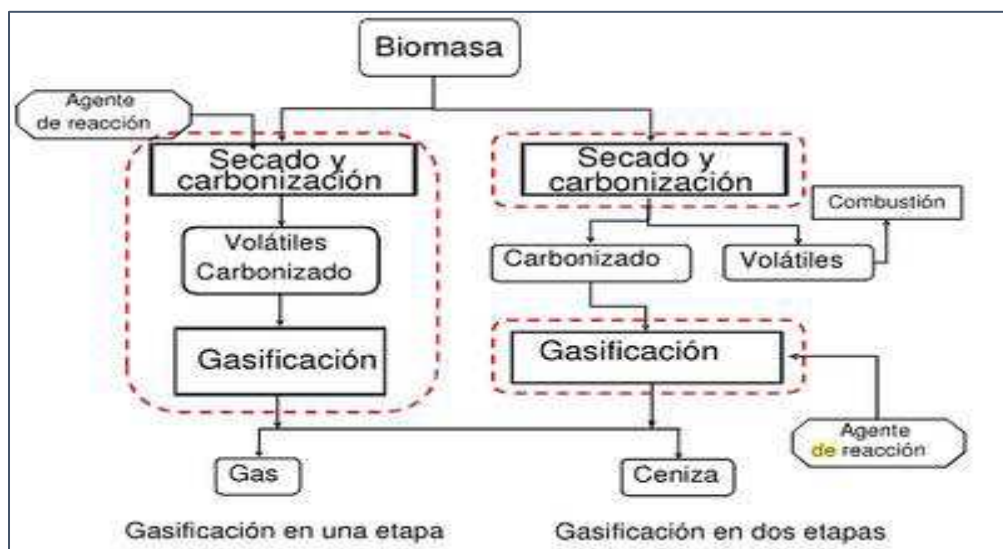
se genera independientemente al propio proceso y se transfiere a este a través de varios medios portadores.

La presión de operación: La gasificación en este proceso se refiere a un reactor de menor tamaño y más eficiente, pero a la vez su mantenimiento es muy costoso debido a la complejidad de su moderna tecnología por lo que podría ser utilizada en procesos de gran escala.

La presencia de catalizador: Esta es una opción moderna que permite obtener un gas muy limpio esto según las condiciones de la operación que se realice.

La energía de la masa de un reactante generado o consumidos durante una reacción química se la considera fuentes. En los procesos donde la velocidad del flujo son constantes o variables no es necesario calcular el balance de impulso.

Figura 2.6.- Representación esquemática de la gasificación de Biomasa mediante los procesos de una y dos etapas.



Fuente.- (Soriano & Ruiz, 2008, pág. 82)

En el proceso de una etapa la biomasa es introducida en un reactor en el cual vamos a obtener gases volátiles y carbono que reaccionan con la finalidad de formar una mezcla de gas combustible. El gas obtenido en el proceso de primera etapa se utiliza como combustible.

En el proceso de dos etapas en cambio los procesos de calentado y carbonización se realizan en primera instancia en un reactor inicial, posteriormente el carbonizado obtenido producto de la reacción de oxidación es la que genera el gas de gasificación

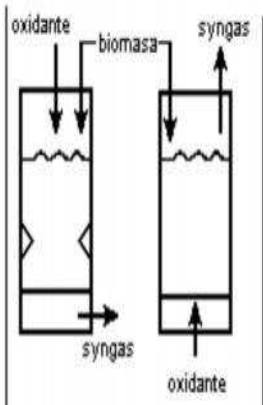
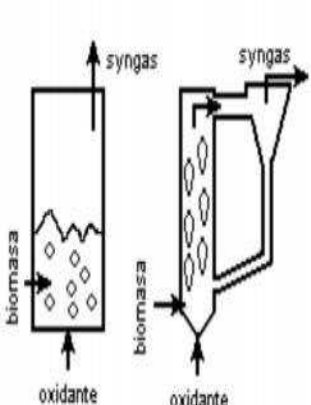
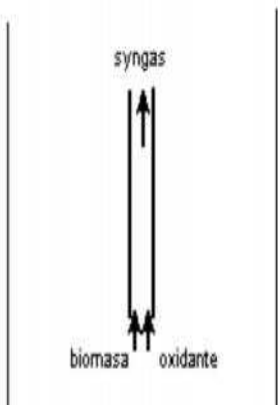
2.3. Tipo de gasificadores

Se puede clasificar en tres grupos fundamentales, está clasificación se da en función a cómo sale el gas del gasificador (en caso de los lechos fijos) y los demás en función al proceso que se le da para obtener el gas, a continuación se detallará cada grupo. (Castells & García, 2012)

- De lecho fijo: en donde el combustible permanece estático dentro del gasificador, un lecho de partículas de combustible sólido a través del cual pasa aire y el gas ya sea hacia arriba o hacia abajo; son el tipo más simple de gasificadores y son las únicas aptas para la aplicación en baja escala. Estos gasificadores se subdividen, según el sentido del flujo del agente gasificante en: Gasificador de cama fija en contracorriente (updraft), gasificador de cama fija en corriente paralela (downdraft) y gasificador de tiro cruzado (crossdraft). (Castells & García, 2012)
- De cama fluidizada: en donde el combustible viaja dentro del gasificador junto con el agente de oxidación, el cual reacciona con las partículas de biomasa mientras se encuentran en suspensión, el aire se eleva a través de una reja a una velocidad lo suficientemente alta como para hacer evitar las partículas por encima de la rejilla, formando así un "lecho fluidizado".

- De flujo arrastrado: en donde el combustible es pulverizado para lograr una densa nube de combustible, forzando al agente gasificante a fluir a través de él, reaccionando al pasar.

Figura 2.7.- Cuadro comparativo en diferentes tipos de gasificadores

					
	1) De cama fija	2) De cama fluidizada	3) Flujo arrastrado		
	corriente paralela	contra corriente	densa	circulante	
T°C	700-1200	700-900	<900	<900	1500
Breas	baja	muy alta	intermedia	intermedia	ausente
Control	fácil	muy fácil	intermedio	intermedio	muy complejo
Potencia	<5MW	<20MW	10<MW<100	>20 MW	>100 MW
Combustible	muy crítico	crítico	poco crítico	poco crítico	partículas muy finas

Fuente.- (Sonia Rincón, 2011)

Gasificadores de lecho fijo: Está compuesta por una serie de partículas sólidas mediante las que se introduce el agente de gasificación, en este tipo de gasificadores la fase sólida tiene movimientos lentos hacia la parte baja del reactor, esto ocurre mientras se descompone la biomasa. Son

fáciles de operar ya que contiene una tecnología simple, según la dirección de desplazamiento de agente reactor y su relación con la dirección del movimiento sólido. (Soriano & Ruiz, 2008)

Gasificadores de lecho fijo en Updraft.

El gas producido en este gasificador Updraft se entrega en la parte superior del gasificador a temperaturas muy bajas menor a 300°C, lo cual produce que el equipo sea eficiente térmicamente, los alquitranes que se producen durante la pirólisis no logran descomponerse debido a que no pasan por la zona más caliente del reactor es así como no puede obtenerse un considerable número de alquitranes en el gas producido.

Es el tipo de gasificador más simple y consiste en un lecho fijo de combustible el cual el agente gasificante (aire) fluye en dirección opuesta al flujo del combustible. La ceniza es removida como polvo o como escoria, por la parte inferior del gasificador.

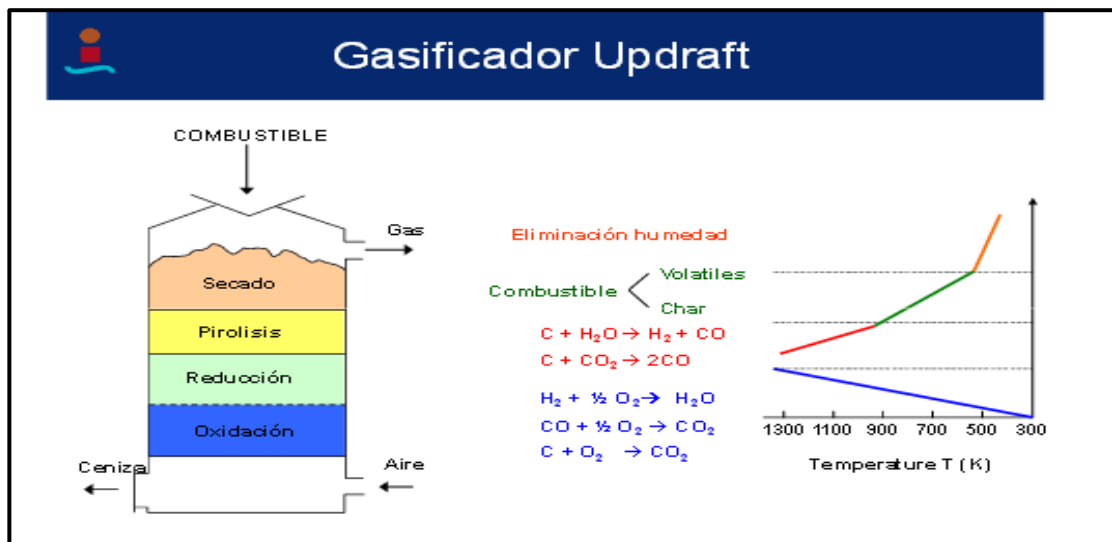
En la zona superior se produce el secado del combustible que es un proceso endotérmico con consumo de unas 600 kcal/kg de agua evaporada aproximadamente. La segunda zona es la de pirólisis el cual el combustible en ausencia de aire o casi sin aire, se descompone generando el gas de pirólisis, carbón, alquitrán.

En la tercera zona se considera que se entra a la zona de gasificación, en la primera franja a 600°C se produce la reducción de los gases como CO_2 , H_2O para formar CO y H_2 , consumiendo energía térmica y enfriando los gases ascendentes. (Soriano & Ruiz, 2008)

En la última zona, cerca de la parrilla o rejilla, se produce el contacto de los gases de alimentación (aire) con la fase final del proceso, en dicha

zona se produce el calentamiento de los gases y las reacciones de oxidación de los residuos de combustible con el oxígeno de la alimentación generando reacciones exotérmicas de formación CO y CO_2 .

Figura 2.8.- Gasificador Updraft



Fuente.- (Soriano & Ruiz, 2008, pág. 87)

Gasificadores de flujo paralelo (Downdraft)

El funcionamiento de este gasificador es parecido al de contra corriente (Updraft), pero el orden de las reacciones son algo diferentes. El agente de gasificación fluye en la misma dirección del combustible, el gas producido sale por la parte inferior del gasificador a alta temperatura.

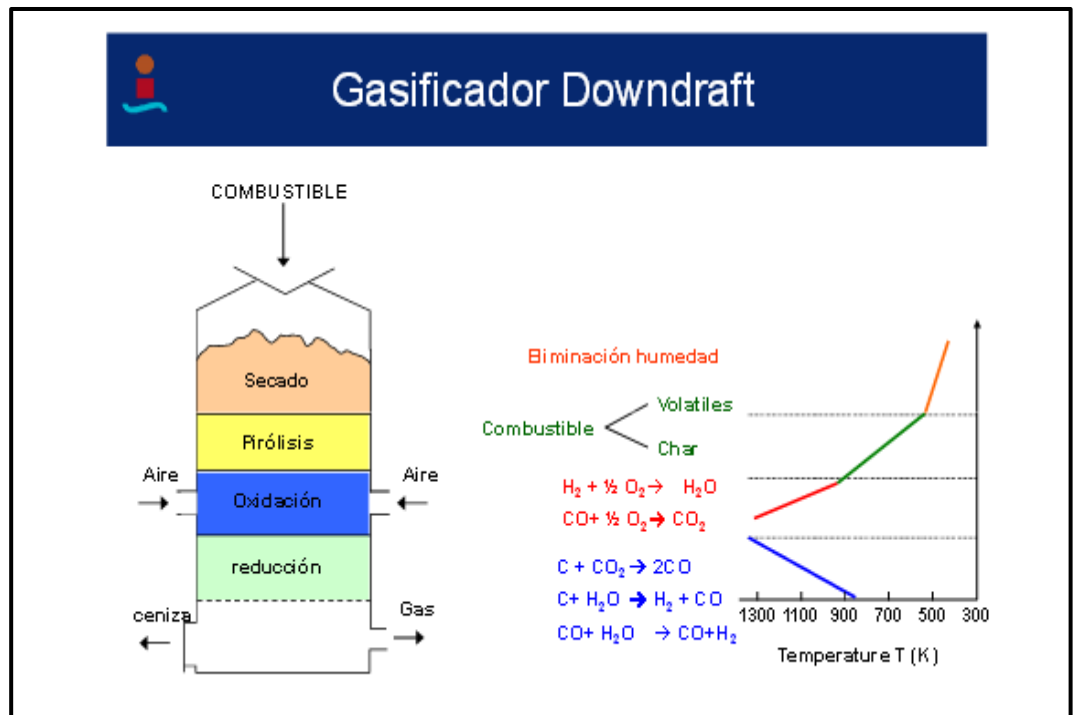
La diferencia entre un gasificador de corriente paralela (Downdraft) y el de contracorriente (Updraft). está en que el de corriente paralela (Downdraft) los gases liberados en las etapas de pirólisis y la zona de reducción, pasan necesariamente por la zona de alta temperatura en la parte de la oxidación, mientras que en los gasificadores de corriente paralela (Downdraft) los gases liberados de la pirólisis pasan primero a la zona de combustión y después a la zona de reducción, esto hace que los gases de pirólisis sean bien quemados y que los alquitranes formados tiendan a desaparecer al pasar por el frente de la gasificación.

Gasificadores de flujo cruzado.

El principio de funcionamiento de este gasificador es el mismo que el de downdraft, con la diferencia fundamental que los flujos de combustibles y agente oxidante entran al gasificador en forma perpendicular entre sí, estos se unen en la zona de combustión, reaccionando y debido al tiro producido por la diferencia de presiones entre la entrada y la salida del reactor, el gas producido sale por el lado opuesto al que entra el agente gasificante.

(a) En estos gasificadores el agente reactor se introduce en la parte superior del equipo, como estos pasan en la zona de gasificación el gas obtenido se descompone obteniendo baja cantidad de alquitranes, el gas sale del reactor entre 800 y 1000°C produciendo una eficiencia térmica baja.

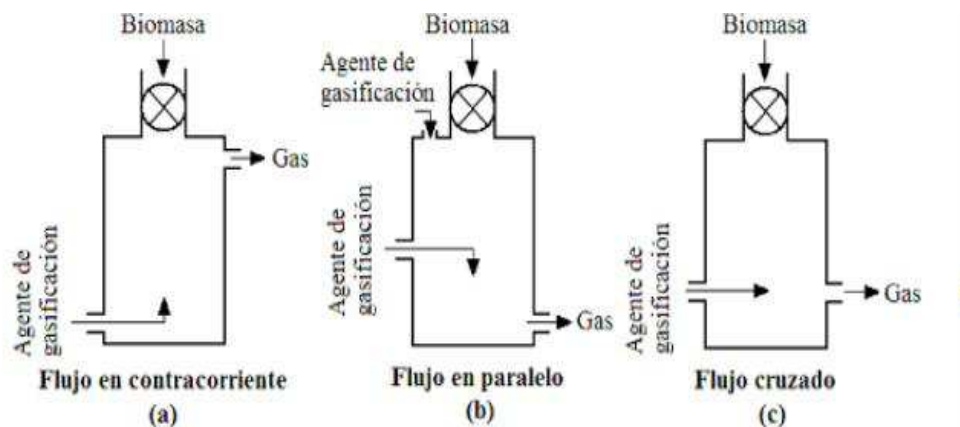
Figura 2.9 .-Gasificador Downdraft



Fuente.- (Soriano & Ruiz, 2008, pág. 87)

(b) Los gasificadores de lecho cruzado presentan un alto contenido de alquitranes debido a su descomposición al pasar por la zona de gasificación produciendo altas temperaturas y logrando eficiencia térmica elevada.

Figura 2.10.- Configuración de gasificadores de lecho fijo. (a) gasificador de flujo en contracorriente, (b) gasificador de flujo en paralelo, (c) gasificador de flujo cruzado.



Fuente.- (Soriano & Ruiz, 2008, pág. 82)

Gasificador lecho fluidizado “el sólido fluidizado se comporta como un líquido en ebullición. Las partículas que escapan con la corriente gaseosa se separan en un ciclón y son generalmente recirculadas en el lecho”. (González, Río, & Tena, 2011)

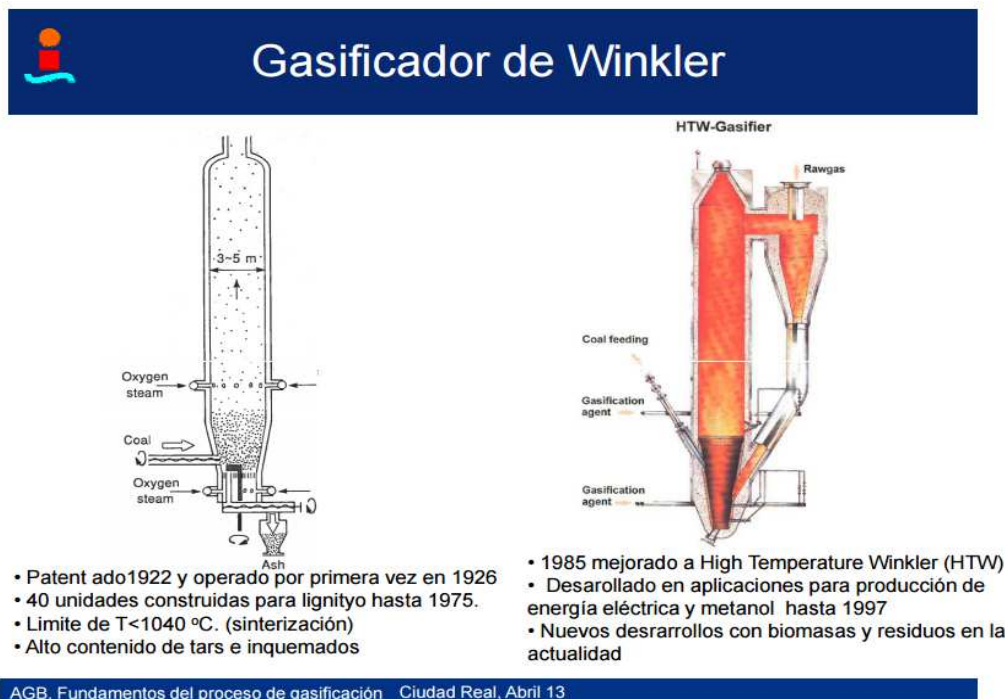
Figura 2.11 .- Gasificador De lecho Fluidizado



Fuente.- (Soriano & Ruiz, 2008, pág. 85)

Gasificador de Lecho Fluidizado Burbujeante: Estos gasificadores son más sencillos que los de lecho fijo. Debido a su orificio la inyección es más pequeña para introducir el agente gasificante por la parte inferior del sólido cuando este es suspendido da lugar a la reacción, lo que facilita el contacto en las fases. Pertenecen a este tipo de gasificadores los siguientes: Winkler, CO_2 Acceptor, Hygas, Synthane, Cogas, Eron, Batelle Unión Carbide, Westinghouse, UGas, etc. (Soriano & Ruiz, 2008)

Figura 2.12 .- Gasificador De Winkler



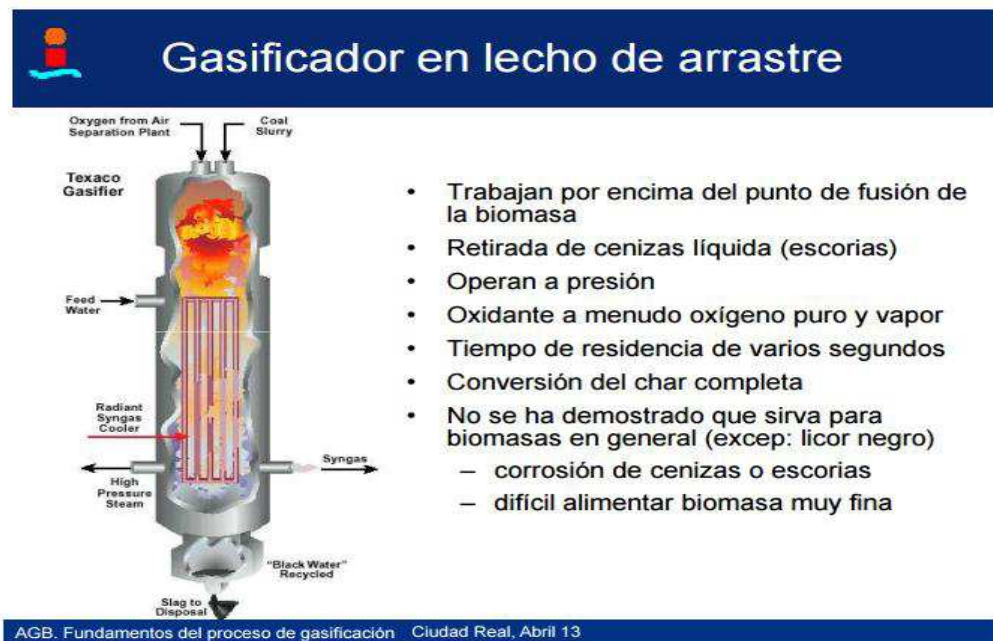
Fuente: (Soriano & Ruiz, 2008, pág. 89)

Gasificador de Flujo de arrastre: “Los gasificadores de flujo de arrastre consisten en un reactor vertical a través de cual cae la biomasa (o el carbonizado) por acción de la gravedad. En su paso por el reactor la materia prima reacciona con el agente de reacción que generalmente se introduce en contracorriente”. Se obtiene la ceniza en forma de escoria ya que estos reactores trabajan a temperaturas por encima de la temperatura de fusión de la ceniza. (Soriano & Ruiz, 2008)

Gracias a la temperatura del proceso, los alquitranes reaccionan casi completamente dentro del reactor, de tal manera que el gas producido este libre de alquitranes.

El sólido entra por la parte superior, experimentando sucesivamente los procesos de secado y pirólisis al ser sometido a un aumento de temperatura”. Dicho aumento se debe a que al conducir el calor se origina desde la parte inferior donde se genera el calor mediante combustión en parte del combustible. Los materiales que intervienen en el proceso de gasificación llegan a la zona de oxidación quemándose con el oxígeno introducido, manteniendo térmicamente el proceso y disminuyendo la calidad del gas a través de la energía generada, el gas se obtiene por la parte inferior del gas.

Figura 2.13 .- Gasificador De lecho de arrastre



Fuente: (Soriano & Ruiz, 2008, pág. 90)

Gasificador de Lecho fijo móvil: El carbón entra arriba, ceniza sale al fondo. Gas sube a través de los espacios entre las partículas de carbón.

Temperatura baja: se produce alquitrán. A continuación se muestra ventajas y desventajas de los diferentes tipos de gasificadores.

2.4 Ventajas y desventajas de los diferentes gasificadores.

Los gasificadores de Lecho fijo tienen las siguientes ventajas:

- Los gasificadores de lecho fijo son fáciles de operar.
- Su utilidad es para la producción de energía pequeña.

Entre las desventajas más predominantes en este tipo de gasificadores encontramos que:

- Detección de altos gradientes de temperatura en la parte interna de éste.
- Falta de uniformidad del flujo de la parte sólida.
- Adherencia del material.
- La presión se baja significativamente mediante la cama de material sólido.

Los reactores de lecho móvil, tienen las siguientes ventajas:

- Tiempos cortos de procesamiento.
- Utiliza materias primas con propiedades físicas y químicas.

La desventaja es que su construcción y operación es más compleja.

Las ventajas de los reactores fluidizado se mencionan a continuación:

- Presenta elevadas velocidades de reacción.
- Buenas condiciones de contacto entre el reactor y el material carbonizado.
- Presentan pérdida de fluidez debido a la sintetización del lecho, la cual depende en alto grado de las propiedades térmicas de la ceniza. (Sonia Rincón, 2011)

CAPÍTULO III

3. Criterio para Selección del Gasificador

En este capítulo desarrollaremos una metodología para seleccionar el tipo de gasificador más adecuado, entre los citados anteriormente, que cumpla con las especificaciones necesarias para llevar a cabo esta tesis, utilizando como combustible neumáticos fuera de uso (NFU), generando gas de síntesis de moderado poder calorífico.

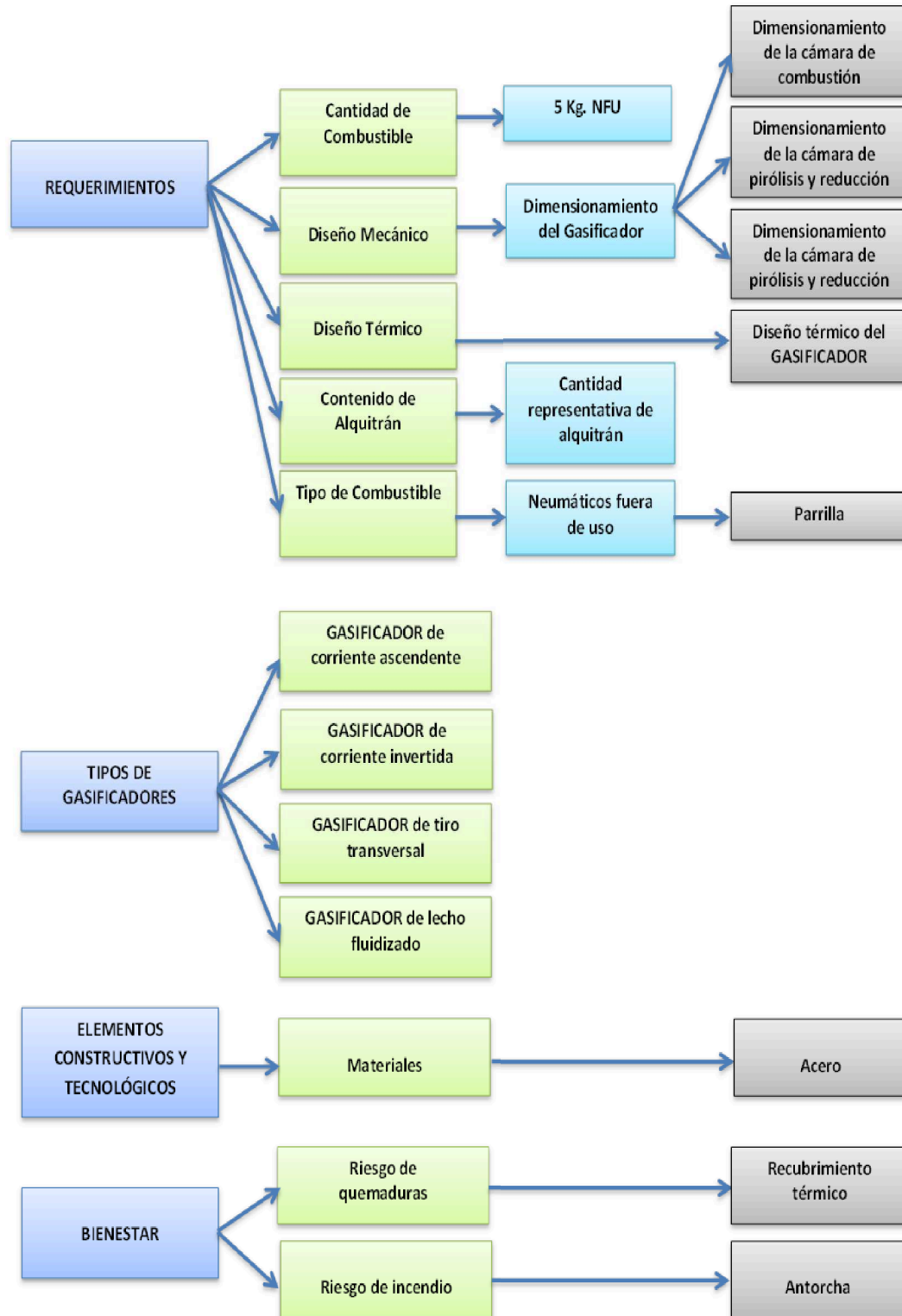
También se deberá analizar que los componentes de este gasificador, tales como el hogar, el sistema de alimentación, el ciclón, el sistema de enfriamiento de gases, entre otros, estén acordes a las necesidades que tenemos. Para ello se deberá tener en cuenta que el combustible a utilizar en este caso será neumáticos fuera de uso, analizaremos las ventajas y desventajas de utilizar estos como combustible y los cuidados que deben tener las personas que operen este gasificador.

Por último, tenemos que considerar que tanto los materiales como la tecnología a emplear estén disponibles en nuestro país, y de esta manera posteriormente, facilitar la construcción del mismo.

3.1. Modelo conceptual.

Lo que se ha propuesto es diseñar un equipo generador de gas de síntesis, para utilizar en aplicaciones energéticas, para lo cual se ha considerado la integridad del operador del equipo y los aspectos técnicos en su construcción.

Figura 3.1.- Mapa del delineamiento final del gasificador



Fuente: (Rivadeneira, 2014)

3.1.1. Importancia de construcción del gasificador.

La finalidad que va a tener este gasificador es la producción de gas de síntesis a partir de Neumáticos fuera de uso, para posteriores aplicaciones energéticas. La construcción de un gasificador que utilice neumáticos fuera de uso como combustible, desde un punto de vista medioambiental, es la opción menos agresiva, si se toma en cuenta que el gasificador que estamos diseñando es de tipo hermético y produce la gasificación de los neumático usados sin llegar a la combustión de estos .

Con este proyecto lo que se desea es contribuir a la eliminación de montañas de neumáticos usados que existen en nuestras ciudades, que por motivo de no contar con una manera adecuada para su revaloración energética ocasiona contaminación ambiental y focos de reproducción de insectos que producen diversas enfermedades a los habitantes.

La gasificación es un proceso termoquímico de descomposición de la materia orgánica en un ambiente caracterizado por el déficit de aire. Este es un proceso a 600°C donde el combustible sólido reacciona con un agente gasificante (aire, oxígeno o vapor de agua).

En la gasificación de neumáticos fuera de uso (NFU) se obtienen 2 fases, una sólida (CHAR) mezcla del negro de carbono 25% y 12% del peso total del combustible usado en la alimentación del gasificador y una fase gaseosa que representa el 63%.

Los componentes de la fase sólida se separan fácilmente, mediante el tamizado. El gas de síntesis que se genera en la gasificación, contiene una fase gaseosa no condensable o gas de síntesis de alto poder calorífico, que puede ser utilizado en aplicaciones energéticas, lo cual es el objeto de nuestro estudio y representa el 33% del peso total de neumáticos procesados.

La fase gaseosa condensable o fase líquida de la gasificación (TAR) constituida por alquitranes y aceites, constituye el restante 25%, estos aceites se emplean en las industrias con aplicaciones específicas.

Si suponemos de una manera comparativa, que el gas de síntesis generado, se va a emplear para satisfacer las necesidades de energía de un hogar al cual se le considera un consumo promedio 2370 watts, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3.1.- Equipos eléctricos y su consumo para un hogar.

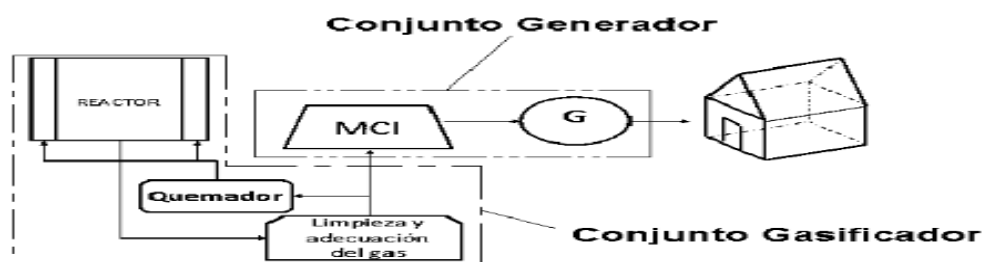
EQUIPO	CANTIDAD	CONSUMO (w)	CONSUMO ARRANQUE (w)
BOMBILLOS 60 W C/U	6	360	360
TELEVISOR A COLOR 180 W C/U	2	360	360
EQUIPO DE SONIDO	1	150	150
NEVERA	1	210	1000
VENTILADOR 100 W C/U	2	200	200
MAQUINA DE COSER	1	100	100
OTROS (RADIO COMPUTADORA, ETC)		200	200
TOTAL			2370

Fuente.- (Rivadeneira, 2014)

Elaborado por: Autores de Trabajo Final de Titulación

El sistema de generación de energía en este caso consta del conjunto generador y el conjunto gasificador.

Figura 3.2.- Conjunto generador



Fuente: (Rivadeneira, 2014)

Si bien conocemos que un conjunto de generación consta de un motor de combustión interna que se encuentra acoplado a un generador eléctrico que es el que provee la energía necesaria a los equipos, también tenemos claro que es en esta etapa donde se producen las mayores pérdidas de potencia, ocasionadas por la baja eficiencia de sus componentes.

En el generador eléctrico se considera una eficiencia del 90%, entonces la potencia entregada por el motor al generador debe ser 2,63kW. El motor de combustión interna se considera una eficiencia del 65%, entonces la potencia entregada al motor debe ser de 4,05 kW, también debemos considerar los efectos de la altitud sobre el nivel del mar, de la presión atmosférica y temperaturas, la concentración de oxígeno en el aire, esta variación se determina a partir de la siguiente ecuación. (Alcivar & Farias, 2007)

$$N_{io}f = N_{io} \left(\frac{P}{P_0}\right)^a \left(\frac{T}{T_0}\right)^b \quad \text{Ecuación (3-1)}$$

Dónde:

N_{io} = potencia indicada en condiciones de referencia (o msnm) kW.

N_i = Potencia indicada. kW.

F = Factor de corrección.

P = Presión en el lugar de operación (Manta 1,007Bar).

T = Temperatura en el lugar de operación (Manta 306K)

Los exponentes a y b son valores determinados experimentalmente, $a= 1$ y $b= -0,5$ son aceptados para presión y temperatura estándar de

$P_0 = 1,0135$ bar y $T_0=293$ K. (García L. , 2011)

Para nuestras condiciones el factor de corrección f es de 0,97 para lo cual se obtiene un valor de 4,17 KW para la entrada del motor. El conjunto gasificador está compuesto de quemador, alimentador, reactor y sistema de enfriamiento, la eficiencia que muchos autores atribuyen a un conjunto

hermético es del 85%, para lo cual la potencia total deberá ser de 4,90KW o 6,57Hp.

3.1.2. Cantidad de combustible.

El gasificador que se está desarrollando tiene una capacidad de operación de 5Kg/h de neumáticos fuera de uso como combustible.

Mediante sencillas transformaciones una vez que conocemos el poder calorífico medio de los neumáticos usados, podemos calcular la potencia que este gasificador está en condiciones de generar, el poder calorífico de los neumáticos usados tomado en la tabla 1.1 va desde 34 a 39 MJ/Kg, tomando el valor promedio establecemos que el PCM (Poder calorífico medio) es de 36,5 MJ/Kg o 8718 Kcal/Kg. (CONSORCIO ENERGÉTICO CORPOEMA , 2010)

Ahora, nuestro flujo másico es de 5Kg/h, entonces:

$$5 \frac{Kg}{h} \times \frac{1 h}{3600s} \times 8718 \frac{KJ}{Kg} \times \frac{4,184Kj}{1Kcal} = 50,66 \frac{Kj}{s} = 50,66 KW = 68 Hp.$$

De esta manera podemos concluir que desarrollando un sistema eficiente de almacenamiento del gas de síntesis, producido de la gasificación de 5Kg/h neumáticos fuera de uso, estaríamos en condiciones de proveer de energía a 10 hogares con los mismos gastos de energía como el citado anteriormente.

La producción de energía obtenida en la gasificación de neumáticos como lo podemos comprobar de una forma explicativa es considerablemente alta y permitiría a las sociedades aprovechar recursos que se los consideraban como desperdicios y sin ninguna aplicación.

3.1.3. Diseño constructivo del gasificador.

Este gasificador se considera un sistema generador de energía, cuyo principal propósito sería proveer de gas de síntesis combustible obtenido del proceso de gasificación para un uso directo en un conjunto generador, para lo cual debe cumplir con ciertos parámetros en su construcción.

Debido a las altas temperaturas del proceso se deberá utilizar materiales resistentes a las temperaturas de operación y a la corrosión, será necesario la fabricación de un sistema recolector de cenizas a medida de que éstas se generen, el gas que se condensa deberá ser almacenado para su posterior uso, los condensados producidos en este proceso son derivados de petróleo y tienen gran utilización en las industrias, el sistema de enfriamiento de gases debe funcionar a la perfección para proveer de gas a la temperatura ambiente.

Para la fabricación del gasificador se deberá prestar atención a las tecnologías y los materiales existentes en nuestro país, en lo referente al acero se buscara uno de alta resistencia, para ello se considera el A- 36.

ASTM A36. Este tipo de acero es aplicable a una gran variedad de perfiles estructurales laminados en caliente y a placas de la misma calidad que en la actualidad están disponibles en el mercado. Tiene un esfuerzo de fluencia de $2530\text{Kg}/\text{cm}^2$ y un esfuerzo mínimo de ruptura en tensión de $5620\text{ Kg}/\text{cm}^2$, y su soldabilidad es adecuada.

Se desarrolló en USA para la fabricación de estructuras remachadas, atornilladas y soldadas, mejorando el contenido de carbono de los aceros disponibles en aquella época, como el ASTM A7. Con la innovación de este tipo de acero, las uniones soldadas empezaron a desplazar a las remachadas. (CHAPULA, 2014)

3.1.4. Fabricación.

- En la fabricación deberemos basarnos en planos a partir de diseños ya realizados.
- Las tapas tanto superior e inferior del reactor deberán ser esféricas para soportar mejor la presión y contribuir a la transferencia de calor del quemador.
- Las soldaduras longitudinales deben permanecer perfectamente visibles, sin poros y sin afectar placas de refuerzos, apoyos, etc.
- Los cordones de soldadura circunferenciales serán pulidos a ras de la chapa y examinadas mediante tintas penetrantes previo a la colocación de refuerzos.
- Se evitará al máximo las uniones roscadas en los cabezales, fuere cual fuese su espesor.

3.1.5. Soldaduras.

Se deberá tomar en cuenta las normas AWS (American Welding Society) en la utilización de aportes utilizados y en lo referente a los métodos de soldadura se tomara en cuenta las normas ASME.

Todas las uniones en el reactor como en las tuberías y construcción del ciclón, deberán ser biseladas y se deberá verificar la perfecta penetración del material de aporte utilizado con procedimientos S.M.A.W. utilizando electrodos 7018.

3.1.6. Ventajas del gasificador UpDraft en el proyecto.

Tabla 3.2.-Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de gasificadores.

Tipo de gasificador	Ventajas	Desventajas
Contra corriente (updraft)	Simplicidad en la construcción y uso Baja temperatura del gas producto Alta eficiencia en la gasificación Puede Utilizarse combustible con alta humedad	Gran cantidad de brea y alquitrán.
Corriente paralela (downdraft)	Alto rango de potencias desde 80 Kw hasta 500 Kw o más. La producción de un gas tiene un bajo contenido de TAR.	Grandes Cantidades de cenizas y partículas de polvos. El combustible debe ser preparado. Altas temperaturas en la salida de gases. El contenido de humedad debe ser menor al 25% (en base humedad)
Tipo cruzado (crossdraft)	Puede operarse en pequeñas escalas.	Alta Cantidad de Cenizas en los gases de combustión. El combustible debe ser previamente preparado. Alta temperatura de los gases producidos. Baja eficiencia térmica en la gasificación Debe utilizarse Biomasa seca.
Cama fluidizada	Rendimientos mayores a los gasificadores de tipo cama fijo. Puede trabajar con combustibles altamente corrosivos.	Debe utilizarse un combustible altamente reactivo. La ceniza generada generalmente es altamente corrosiva.
Gasificador de flujo arrastrado	Alcance de altos desempeños Las altas temperaturas garantizan la ausencia de breas y alquitranes. Eliminación de las cenizas en forma de escoria Utilización a gran escala.	Mayor consumo de aire primario. La pulverización o atomización del combustible Mayores necesidades energéticas.

Fuente: (Huaraz, 2013, pág. 90)

Elaborado por: Autores de Trabajo Final de Titulación

Tabla 3.3.- Comparación de diferentes gasificadores de lecho fijo.

Parámetros	Updraft	Downdraft	Crossdraft
Combustible específico	Moderado, puede aceptar otro tipo de combustible	El combustibles tiene que ser específico.	Moderado, puede aceptar otro tipo de combustible.
Tamaño del combustible	Muy Bueno	Bueno	Bueno
Contenido de cenizas	Es muy sensible al contenido de cenizas	Es muy sensible al contenido de cenizas	Es muy sensible al contenido de cenizas
Temperatura de reacción	1000° C	1000°C	900°C
Temperatura del gas de salida	250°C	800°C	900°
TAR (líquido producido en la pirólisis) en el gas generado)	El contenido de TAR es muy alto	El contenido de TAR es muy bajo	El contenido de TAR es muy alto
Eficiencia Térmica	Tiene una excelente eficiencia térmica	Tiene muy buena eficiencia térmica	Tiene una buena eficiencia térmica

Fuente: (Huaraz, 2013, pág. 94)

Elaborado por: Autores de Trabajo Final de Titulación

3.2. Criterios de la selección del gasificador.

Para la selección del gasificador más eficiente para este proyecto, debe tomarse en cuenta los criterios de montaje, facilidad de construcción y también tener en consideración los factores ambientales, con la ayuda de la tabla 3.4 que nos detalla lo que se desea obtener del equipo.

En la tabla 3.4 se asignara puntajes del 1 al 10 considerando las ventajas del tipo de gasificador en nuestro proyecto, tener en cuenta que 10 es el puntaje más alto.

Tabla 3.4.- Selección del tipo de gasificador.

	Downdraft	Updraft	Crossdraft
Aplicación	5	5	1
Fabricación y montaje	8	10	6
Retiro de Cenizas	8	8	8
Mantenimiento	10	10	7
Operatividad	10	8	7
Forma de alimentación	7	8	8
Transporte	8	8	10
Combustible	8	10	6
Cantidad de humedad del combustible	6	8	8
Contenido de Alquitrán	4	10	2
Contenido de Cenizas	8	8	8
Tecnología	8	8	5
Total	90	101	76

Fuente: (Huaraz, 2013, pág. 95).

Elaborado por: Autores de Trabajo Final de Titulación

Al concluir con el análisis de la tabla se llega a la conclusión que el gasificador más recomendable para llevar a cabo nuestro proyecto es el de tiro fijo Updraft.

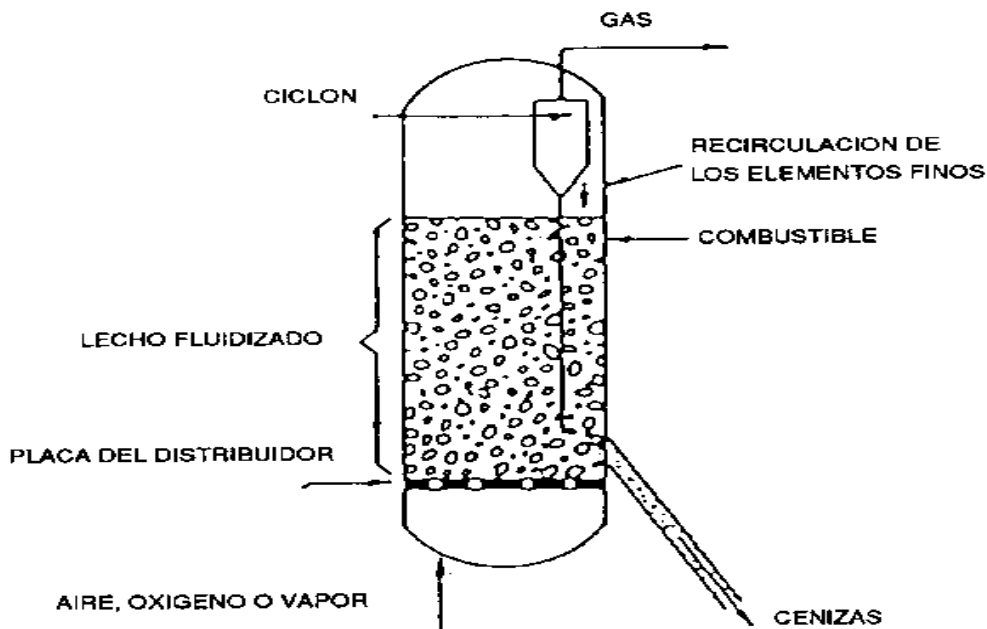
CAPÍTULO IV

4. Diseño energético y mecánico de la unidad de generación de gas.

En este capítulo se desarrolla el diseño del equipo de generación de gas, este debe almacenar combustible necesario para la generación del gas para procesos energéticos, este componente se divide en tres partes, cámara de combustible, cámara de reacción y un sistema de enfriamiento del gas, además este equipo debe resistir las temperaturas de reacciones químicas que ocurren en el proceso de generación del gas, para llegar al diseño se debe tener en consideración las impurezas del gas a producir.

4.1. Partes del equipo.

Figura 4.1.- Partes de un Gasificador.



Fuente.- (Castells & García, 2012)

Las partes más relevantes de un gasificador son: el depósito del material combustible, reactor, el ciclón, filtro y el sistema de enfriamiento y condensación de gases, como se mostró en la figura anterior.

El dimensionado del gasificador no es una tarea fácil ya que no existe mucha información ni bibliografía variada disponible. Los diseños que se han hecho hasta el momento han sido en su mayoría diseños sencillos sin la implementación de nuevas mejoras y con materiales simples. Sin embargo, es posible tener una idea del dimensionado del gasificador si conocemos la potencia que este puede entregar, en el capítulo anterior se estableció que con una carga de 5 Kg/h, este podría entregar una potencia de aproximadamente 50 KW, con estos datos podemos iniciar los cálculos de nuestro gasificador.

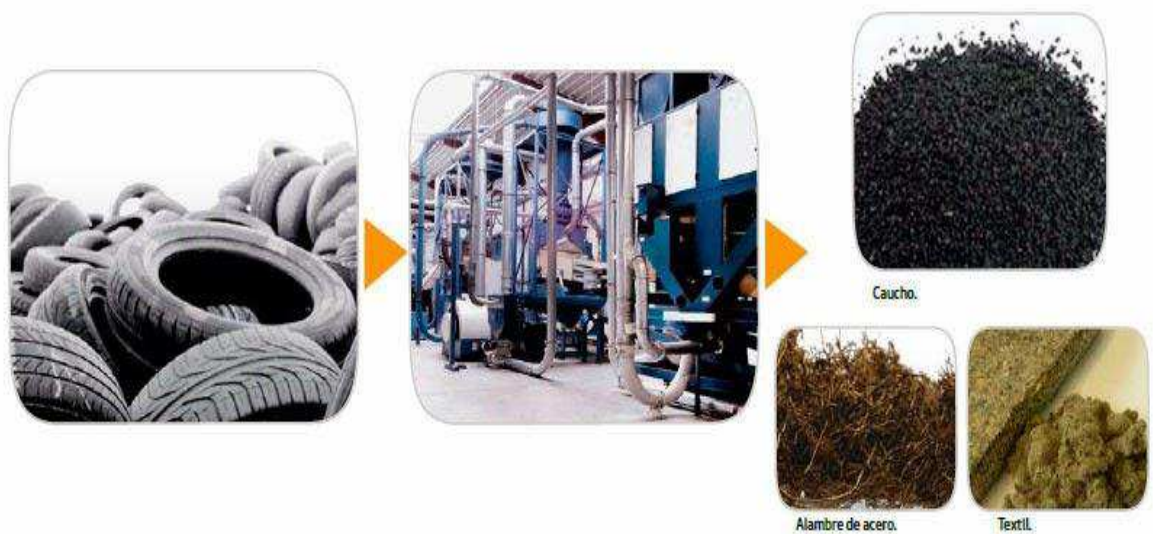
4.1.1 Cámara de combustible y de reacción.

La cámara de reacción o reactor representa el corazón del equipo, ya que ahí es donde el gas producido es obtenido y posteriormente llevado al enfriador, para que luego se dirija a los quemadores, donde ocurre la combustión.

En este equipo, la cámara de combustible es el mismo reactor, el cual al iniciar el proceso recibe poca temperatura lo que facilita el secado del combustible, para luego de ello empezar la pirolisis hasta concluir con la gasificación del combustible, que para este sistema son neumáticos fuera de uso, este reactor se diseña con dos tapa elipsoidales que permiten soportar mayores presiones de operación, la tapa inferior se encuentra directamente soldada al cuerpo del reactor, en cuanto la tapa superior será desmontable y ajustada por pernos, lo que nos permite realizar la recarga de combustible, además esta junta llevara un empaque lo que evitará la fuga de gases al exterior del reactor.

En el interior del reactor, por efecto de la temperatura que se irá incrementando poco a poco durante el proceso , hasta llegar a su máxima de 500°C, es donde se realiza todas las etapas del proceso, quedando al final de este, depositado en el fondo el negro de carbón y el metal recuperado del proceso.

Figura 4.2. Negro de Carbón y Tejido Metálico recuperado en el Proceso.



Fuente.- (López & A.LópezDelgado, 2013)

4.2. Aire requerido para el proceso de gasificación.

En los gasificadores de biomasa este dato es muy importante, porque permite proporcionar el oxígeno necesario para la oxidación completa de los elementos oxidables del combustible, por ello para obtener este valor es necesario hallar primero la relación estequiométrica, pero este no es nuestro caso, debido a que el reactor diseñado es hermético y el ingreso de oxígeno en el interior de este, provocaría una gran cantidad de humo sulfuroso y contaminación del ambiente, por ello todo el calor y aire que reciba el reactor será exterior. (CHAPULA, 2014)

4.3. Procedimiento para el diseño del gasificador.

A continuación se presentan algunos parámetros importantes que deben ser en cuenta para determinar el tamaño del gasificador y otros componentes, teniendo en cuenta la potencia de salida deseada. Los siguientes parámetros y sus ecuaciones que se mostrarán a continuación sirven como requisito básico en el diseño.

4.3.1. Flujo máximo de combustible.

Esta es la cantidad de combustible en nuestro caso NFU, que se consume en el funcionamiento del gasificador. Esto se determina con la siguiente ecuación.

$$\dot{m} = \frac{3060,1 \times Q}{P_{ci} \times \eta} \quad \text{Ecuación (4-1)}$$

Dónde:

\dot{m} : Flujo másico del combustible NFU (Kg/h).

Q: Potencia del gasificador KW.

P_{ci} : Poder calorífico inferior del combustible NFU (KJ/Kg).

η : Eficiencia del reactor.

Se había establecido en el capítulo anterior, que la potencia entregada por este gasificador, sería 50,66 KW, que el poder calorífico inferior de los neumáticos es de 36500KJ/Kg y que algunos autores consideran la eficiencia de un reactor hermético en el 85%, con estos datos realizamos nuestros cálculos, obteniendo:

$$\dot{m} = 5 \text{ Kg/h de combustible NFU.}$$

4.3.2. Balance de energía.

Es la capacidad de la materia para producir energía, pudiendo adoptar distintas formas, todas ellas inter convertibles directa o indirectamente una de otra.

El balance de energía viene de la “Ley de la conservación de la energía” (Primera Ley de la Termodinámica), es decir “La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma”. Este balance es aplicado para determinar la cantidad de energía que es intercambiada y acumulada dentro del sistema.

Para realizar el balance de energía, utilizaremos la siguiente ecuación:

$$Q = \dot{m} \cdot PCI \quad \text{Ecuación (4-2)}$$

Dónde:

\dot{m} : Flujo másico del combustible NFU (Kg/s).

Para este gasificador \dot{m} : 5Kg/h o 0,001388Kg/s.

Entonces:

$$Q = 50,66 \text{ KW}$$

Igual a lo que se demostró en el capítulo anterior.

4.3.3. Diámetro del reactor.

Este valor lo hallaremos con la siguiente ecuación:

$$D = \left(\frac{1,27 \times \dot{m}}{S_{gr}} \right)^{0,5} \quad \text{Ecuación (4-3)}$$

D: Diámetro del reactor (m).

\dot{m} : Flujo másico (kg/h).

S_{gr} : Relación específica de gasificación de los neumáticos usados (130-150 Kg/m².h). Utilizamos el valor medio 140 Kg/m² .h.

D= 0,21 m o 21cm.

Figura 4.3.-Cilindro del reactor



Fuente.- (Andreu, 2014)

4.3.4. Altura del reactor

Esto se refiere a la distancia total, desde la parte superior hasta el extremo inferior del reactor. Esto determina con la siguiente ecuación:

$$H = \frac{S_{gr} \times T}{\rho} \quad \text{Ecuación (4-4)}$$

H: Altura del reactor (m).

T: tiempo requerido para el consumo del combustible (h).

ρ : Densidad de los neumáticos usados en trozos (Kg/m^3).

Dónde:

El tiempo requerido para el proceso de gasificación es de aproximadamente 1 hora y la densidad de los NFU en trozos es de $350\text{Kg}/\text{m}^3$, con esto obtenemos, la altura de nuestro reactor.

$$H = 0,4\text{m o } 40 \text{ cm.}$$

4.3.5. Volumen del reactor.

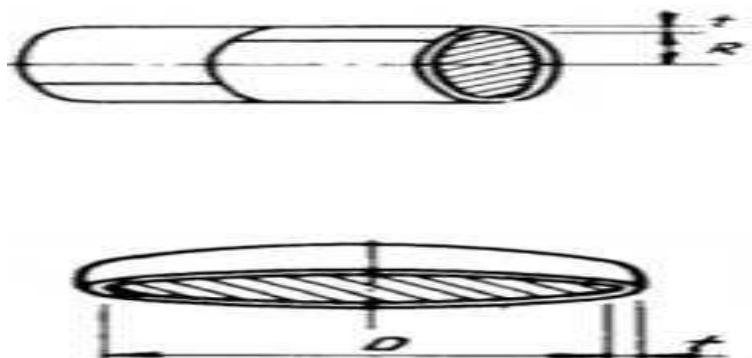
Para calcular el volumen de nuestro reactor empleamos la siguiente fórmula:

$$V_t = V_c + 2V_{tapa} \quad \text{Ecuación (4-5)}$$

V_c = Volumen del cuerpo del reactor (m^3).

V_{tapa} = Volumen de tapa tori esférica (m^3).

Figura 4.4.- Cuerpo y Tapa Tori Esférica del Reactor.



Fuente.- (Megyesy, 2012)

Para calcular el volumen del cuerpo del reactor empleamos la siguiente ecuación.

$$V_c = \pi \cdot r^2 \cdot H \quad \text{Ecuación (4-6)}$$

r^2 : Radio interno del reactor (m).

De los cálculos realizados en el punto 4.3.3 obtuvimos que el diámetro era de 0,21 m, por lo tanto el radio interior para este reactor es de 0,105 m y en el punto 4.3.4 se obtuvo la altura para este reactor de 0,40 m con estos datos el volumen del cuerpo del reactor es de:

$$V_c = 0,0069 \text{ m}^3$$

Ahora para encontrar el volumen de las tapas nos valemos de la siguiente ecuación:

$$V_{tapas} = \frac{2}{3} \pi \cdot r^2 \cdot H \quad \text{Ecuación (4-7)}$$

El volumen de las 2 tapas nos da el siguiente resultado:

$$V_{tapas} = 0,00588 \text{ m}^3.$$

Para lo cual el volumen total de nuestro reactor será:

$$V_t = 0,012 \text{ m}^3.$$

4.3.6. Tiempo de consumo del combustible.

Esto se refiere al tiempo total requerido para gasificar completamente el combustible (neumáticos fuera de uso en trozos) dentro del reactor.

Esto incluye el tiempo para encender el combustible y el tiempo de generación de gas, más el tiempo para quemar todo el combustible en el reactor. Esto se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$T = \frac{\rho \cdot V_t}{\dot{m}} \quad \text{Ecuación (4-8)}$$

Entonces:

$$T = 0,86 \text{ Horas.}$$

4.3.7. Cantidad de aire necesario para la gasificación.

Es en punto nos referimos a la proporción de flujo de aire necesario para gasificar. Es muy importante para determinar el tamaño del ventilador necesario para gasificar NFU. Esto se calcula mediante la siguiente ecuación. (EMERSON CLIMATE, 2013)

$$Q_a = \frac{\phi \cdot \dot{m} \cdot A_e}{\rho_a} \quad \text{Ecuación (4-9)}$$

Q_a : Flujo de aire (m^3/h).

Φ : Relación de equivalencia (se recomienda que sea 0,3). (Huaraz, 2013)

A_e : Aire estequiometrico (5,96 Kg de aire/ Kg de combustible).

ρ_a : Densidad del aire ($1,23 \text{ Kg}/m^3$ a nivel del mar).a 1 atmosfera y 30°C .

Con estos datos obtenemos:

$$Q_a = 7,27 \text{ m}^3/\text{h.}$$

4.3.8. Velocidad superficial.

Esta es la velocidad del aire necesario fuera reactor para realizar una buena combustión. Esto se refiere a la velocidad del aire en la cama de combustible, esto hace que se formen canales en el lecho, que pueden afectar en gran medida la gasificación. Esto se halla con la siguiente ecuación.

$$V_s = \frac{4 \cdot Q_a}{\pi \cdot D^2} \quad \text{Ecuación (4-10)}$$

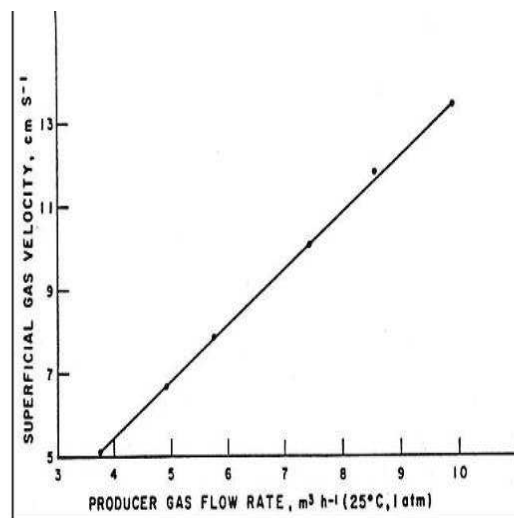
V_s : Velocidad superficial del aire (m/s).

Obtenemos que:

$$V_s = 0,06 \text{ m/s.}$$

Con este dato se puede entrar a la figura 4.5 para conocer la producción de gas (m^3/h).

Figura 4.5.- Velocidad Superficial Vs Caudal Producido de Gas.



Fuente.- (Huaraz, 2013)

4.3.9. Presión de diseño para el cuerpo del reactor.

Para calcular la presión de diseño se utilizará el procedimiento de la norma

ASME Sec. VIII Div. 1 – Pressure Vessels, como se tiene una junta de soldadura longitudinal se usará la siguiente fórmula:

$$P_{dc} = \frac{S \cdot E \cdot t}{r + 0,6t} \quad \text{Ecuación (4-11)}$$

P_{dc} : Presión de diseño cuerpo del reactor (kPa).

S: Esfuerzo máximo permitido (kPa).

E: Eficiencia de la junta.

t: Espesor de la pared (m).

r: Radio interior del reactor (m).

El radio interno del reactor es de 0,10 m, el esfuerzo máximo permitido se halla en la tabla (4.6) donde se obtiene para el material SA 36 a una temperatura de operación de 482°C, este valor es de 44230 kPa y por último, la eficiencia de la soldadura se la obtiene en la figura (4.7), como el reactor será una plancha metálica estructural rodada la soldadura será a tope unión simple sin solera de respaldo, se elige una eficiencia de la soldadura de 0.6. También se debe resaltar que la plancha que se utilizó para la construcción de este reactor es de 8×10^3 m lo que corresponde a 0,3125 pulgadas.

Con lo anterior tenemos: $P_{dc} = 2000 \text{ kPa}$.

4.3.10. Presión de diseño para tapas tori esféricas.

Para encontrar la presión de diseño de las tapas, utilizaremos la siguiente ecuación:

$$P_{dt} = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t}{D + 0,2 \cdot t} \quad \text{Ecuación (4-12)}$$

P_{dt} = Presión de diseño de las tapas (kPa).

D: diámetro interior del reactor (m) 0,20 m.

Tenemos:

$$P_{dt} = 2080 \text{ kPa.}$$

Tabla 4.1.- Tabla de Esfuerzos Máximos Permitidos.







PROPIEDADES DE LOS MATERIALES: ACERO AL CARBONO Y DE BAJO CONTENIDO DE ELEMENTOS DE ALEACION											
Valores máximos de esfuerzo permitido a tensión 1000 lb/pulg ² *											
Especificación		Para temperatura del metal no mayor de, grados F									
Número	Grado	- 20 °	50	100	150	200	250	300	350	400	450
SA-283	C	12.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SA-285	C	13.8	13.3	12.1	10.2	8.4	6.5	-	-	-	-
SA-515	55	13.8	13.3	12.1	10.2	8.4	6.5	4.5	2.5	-	-
SA-515	60	15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	-	-
SA-515	65	16.3	15.5	13.9	11.4	9.0	6.5	4.5	2.5	-	-
SA-515	70	17.5	16.6	14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	-	-
SA-516	55	13.8	13.3	12.1	10.2	8.4	6.5	4.5	2.5	-	-
SA-516	60	15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	-	-
SA-516	65	16.3	15.5	13.9	11.4	9.0	6.5	4.5	2.5	-	-
SA-516	70	17.5	16.6	14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	-	-
SA-105		17.5	16.6	14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	-	-
SA-181	I	15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	-	-
SA-350	LF1	15.0	14.4	13.0	10.8	7.8	5.0	3.0	1.5	-	-
	LF2	17.5	16.6	14.8	12.0	7.8	5.0	3.0	1.5	-	-
SA-53	B	15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	-	-	-	-
SA-106	B	15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	-	-
SA-193	B7 ½ 295"	25.0	25.0	23.6	21.0	17.0	12.5	8.5	4.5	-	-
SA-194	2H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SA-307	B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Los valores de esfuerzo de esta tabla pueden interpolarse para determinar los valores para temperaturas intermedias.

Fuente.- (Megyesy, 2012)

A continuación detallamos una tabla con los valores obtenidos hasta el momento.

Tabla 4.2.- Tabla de Eficiencia de las Soldaduras.

TIPOS DE UNIONES NORMA UW-12		EFICIENCIA DE LA UNION CUANDO LA JUNTA ESTA RADIOGRAFIADA		
		AL 100 %	POR PUNTOS	SIN
	SOLDADURA A TOPE UNIDA CON SOLDADURA POR AMBOS LADOS, O BIEN POR OTRO METODO CON LO CUAL SE OBTENGA LA MISMA CALIDAD DEL METAL DE APORTE EN AMBOS LADOS DE LA SUPERFICIE SOLDADA. SI SE USA LA SOLERA DE RESPALDO, DEBERA QUITARSE DESPUES DE APLICAR LA SOLDADURA Y ANTES DE RADIOGRAFIAR.	1,00	0,85	0,70
	SOLDADURA SIMPLE A TOPE CON SOLERA DE RESPALDO LA CUAL PERMANECERA EN EL INTERIOR DEL RECIPIENTE.	0,90	0,80	0,65
	UNION SIMPLE POR UN SOLO LADO SIN SOLERA DE RESPALDO	---	---	0,60
	UNION TRASLAPADA CON DOBLE FILETE	---	---	0,55
	UNION TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO Y TAPON DE SOLDADURA	---	---	0,50
	UNION TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO SIN TAPON DE SOLDADURA	---	---	0,45

Fuente.- (Megyesy, 2012)

Tabla 4.3.- Tabla de Cálculo del Reactor.

TABLA DE VALORES OBTENIDA EN EL CÁLCULO DEL REACTOR.		
Propiedad	Unidad	Valor
Flujo másico del combustible	Kg/h	5
Potencia del gasificador	KW	50,66
Diámetro del reactor	m	0,21
Altura del reactor	m	0,4
Volumen del reactor	m ³	0,012
tiempo de consumo del combustible	hora	0,86
Flujo de aire para la combustión	m ³ /h	7,27
Velocidad superficial del aire	m/s	0,06
Espesor paredes del reactor	m	0,008
Presión de diseño para el cuerpo del reactor	kPa	2000
Presión de diseño para la tapa del reactor	kPa	2080

Fuente.- (Andreu, 2014)

Elaborado por: Autores de Trabajo Final de Titulación

4.3.11. Transferencia de calor en el gasificador

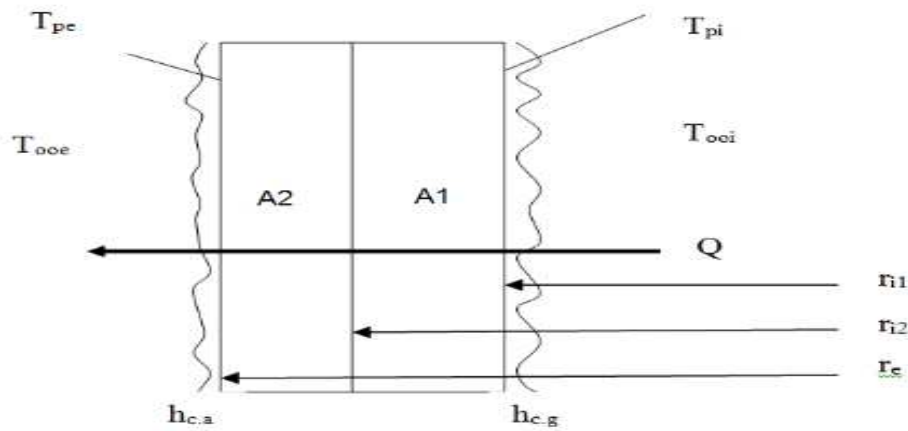
En el interior del gasificador ocurre la formación del gas pobre, en este proceso ocurren reacciones químicas, y la temperatura media de reacción es aproximadamente 600°C, los procesos de transferencia de calor que ocurren serían las de radiación por las paredes, radiación por gases, convección interna por el gas y externa por el aire, y conducción por el refractario y plancha metálica.

Figura: 4.6.- Diagrama De Resistencias Térmicas.



Fuente.- (Domínguez & Ferrer, 2008)

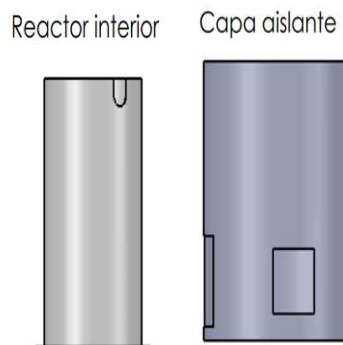
Figura 4.7 .- Parámetros Principales.



Fuente.- (Domínguez & Ferrer, 2008)

Este gasificador se diseñó de la siguiente manera, para aislar la superficie exterior que estará en contacto con el operador del equipo, el reactor que es que recibe la mayor temperatura se encuentra aislado por una cámara de aire de 1,5 cm de espesor, esta se encuentra entre la pared exterior del reactor y un cilindro metálico de 2mm de espesor, luego se fundió una capa aislante de 4,6cm con cemento refractario, que se encuentra con la carcasa exterior del gasificador la cual tiene 2mm de espesor. (Haro & Yarad, 2013)

Figura: 4.8.- Reactor y su Capa Aislante.



Fuente.- (Domínguez & Ferrer, 2008)

Para encontrar el calor transferido por conducción y por convección, para lo cual se emplea la siguiente fórmula.

$$Q_t = \frac{T_o - T_e}{R_{\text{reactor}} + R_{\text{aire}} + R_{\text{plancha1}} + R_{\text{cemento}} + R_{\text{plancha2}} + R_{\text{aire}}} \quad \text{Ecuación (4-13)}$$

Q_t = Calor transferido (W).

T_o = Temperatura en el interior del gasificador (600°C). 873K.

T_e = temperatura ambiente (32°C). 305K.

R_{reactor} = Resistencia del reactor (K/W).

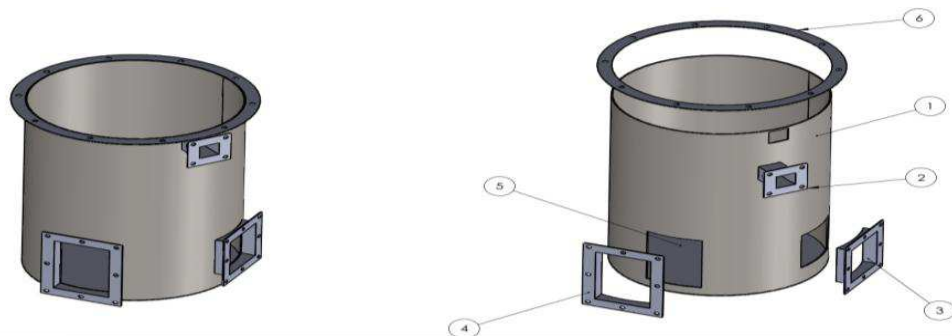
R_{aire} = Resistencia del aire.

$R_{\text{plancha1-2}}$ = Resistencia plancha metálica.

R_{cemento} = resistencia del cemento.

R_{aire} = Resistencia por convección del aire.

Figura 4.9 .- Montaje de la cubierta exterior.



Fuente.- (Megyesy, 2012)

Para hallar las resistencias por conducción se utiliza la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\ln \frac{r_e}{r_i}}{2 \cdot \pi \cdot K_t \cdot L} \quad \text{Ecuación (4-14)}$$

r_e = Radio exterior (m).

r_i = Radio interior (m).

K_t = Coeficiente de conductividad térmica (W/mK).

L = longitud del gasificador (m).

Todas las resistencias por conducción se aplicaran la misma ecuación, entonces para el reactor:

La conductividad térmica del acero es 52,5 W/mK, los radios exterior e interior son 10,96cm y 10,16 cm respectivamente y la longitud será de 40 cm.

$$\mathbf{R_{reactor} = 0,000574K/W.}$$

La resistencia por conducción del aire, con $K_t = 0,026$ W/mK y los radios 12,46 y 10,96 cm respectivamente.

$$\mathbf{R_{aire} = 1,96 K/W.}$$

Para la resistencia de la plancha1 los radios son 12,66 y 12,46 cm respectivamente.

$$\mathbf{R_{plancha 1} = 0,00804 K/W.}$$

La resistencia para el cemento, tiene una conductividad térmica de 0,024 w/mK y los radios son 17,26 y 12,66 cm respectivamente.

$$\mathbf{R_{cemento} = 5,14 K/W.}$$

Para la lámina exterior del equipo los radios son 17,46 y 17,26 cm.

$$\mathbf{R \text{ plancha 2} = 0,00804 \text{ K/W.}}$$

Para hallar la resistencia por convección se utiliza la siguiente ecuación:

$$R_{c \text{ aire}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_e \cdot h_{ca} \cdot L} \quad \text{Ecuación (4-15)}$$

$R_{c \text{ aire}}$ = Resistencia por convección del aire (K/W).

r_e = Radio exterior (m).

h_{ca} = Coeficiente convectivo del aire (W/m^2K).

El radio exterior de la carcasa del gasificador es de 0,1746m y el coeficiente de convección ($11W/m^2K$).

Entonces:

$$\mathbf{R_{c \text{ aire}} = 0,207 \text{ K/W.}}$$

Se regresa a la ecuación (4.13) y hallamos el calor total transferido.

$$\mathbf{Q_t = 77,56 \text{ W.}}$$

Se verifica que la temperatura de la pared exterior del reactor, no sea peligrosa para el operador del equipo, para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$Q_t = \frac{T_o - T_s}{R_{reactor} + R_{aire} + R_{plancha1} + R_{cemento} + R_{plancha2}} \quad \text{Ecuación (4-16)}$$

T_s = temperatura en la superficie (K).

De este se obtiene que la temperatura en la pared externa (plancha metálica) es de **80°C**.

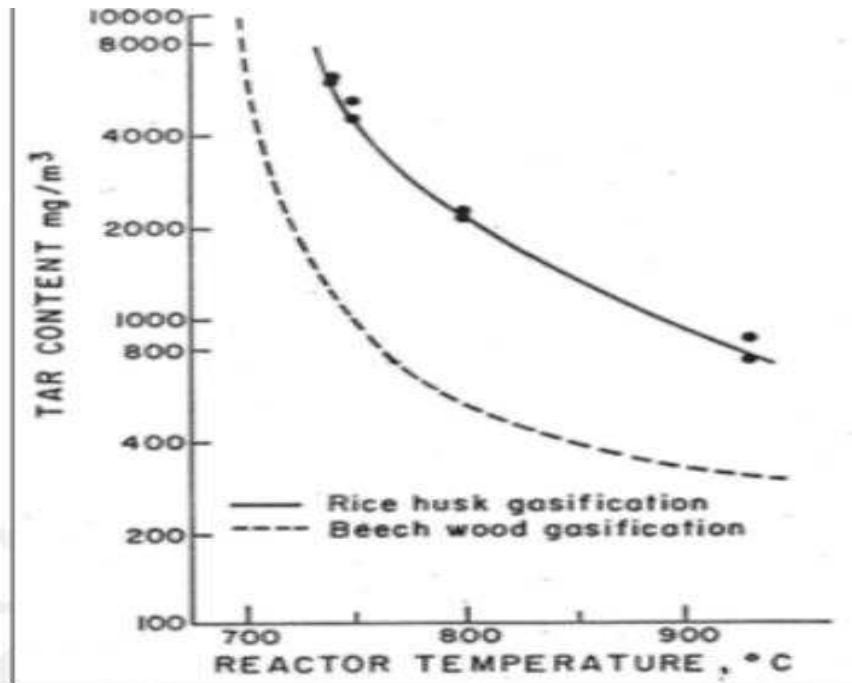
4.4. Consideraciones para el gas de salida

Uno de los problemas más importantes para usar el gas pobre es la obstrucción por las impurezas que se encuentran en el gas. En general, estas impurezas pueden causar serios problemas en la operación o manipulación y están dadas por la cantidad de TAR (alquitranes) y el diámetro de la partícula de carbón. Por eso, para brindar una mejor calidad del gas es necesario calcular el diámetro de la partícula, la cantidad de polvo y el contenido de TAR.

4.4.1. Cantidad de TAR.

El TAR es un líquido producido en el proceso de pirólisis, y contiene alquitranes y vapores condensables, este líquido se va eliminado con el aumento de la temperatura, en los gasificadores tipo updraft existen mayores dificultades con este, con los downdraft existe una menor dificultad, pero igual podría causar problemas, no existe una fórmula para hallar la cantidad de TAR, esto se realiza mediante experimentos, se muestra a continuación en la gráfica como varía la cantidad de TAR con el aumento de la temperatura, como la temperatura del reactor es aproximadamente entre 600°C, se tiene un contenido aproximado de TAR de 1 000 mg/m³ a 400 mg/m³. Por esta razón y por el tamaño de la partícula es necesario tener un depurador de gases. (Huaraz, 2013)

Figura 4.10.- Contenido De TAR Vs Temperatura Del Reactor.



Fuente: (Huaraz, 2013)

4.4.2. Contenido de partículas en la producción del gas.

No existen datos exactos sobre el contenido de partículas, sin embargo existe especificaciones que dependiendo de la aplicación existen un mínimo, pero estas especificaciones solo son para aplicaciones industriales, como por ejemplo en uso de motores el máximo permitido es de 10 mg/Nm³ de polvo, para aplicaciones comerciales se tiene que el contenido de polvo es moderado en los gasificadores de tipo downdraft. (Huaraz, 2013)

4.5. Soporte del gasificador.

El soporte del gasificador tiene la función de dar estabilidad al equipo, evitando el volteo, este está compuesto por platinas metálicas dobladas en u de 2" x ¼", suspendido al equipo a 30 cm del piso, también en los soportes se fijó la base del quemador. (Huaraz, 2013)

CAPÍTULO V

5. Diseño de la unidad de empleo de gas generado.

Este capítulo nos enfocaremos en los usos apropiados que le daremos al gas generado para aplicaciones energéticas, por lo observado en el capítulo anterior el gas generado es sucio y caliente, por tal razón se podrá observar los sistemas de limpieza y enfriamiento del gas a utilizarse, luego se abarcará el tema sobre el empleo de este gas para utilizarlo como combustible de un motor generador eléctrico, con lo cual se podría generar energía eléctrica para que pueda ser entregada a sectores necesitados.

5.1. Equipos de Limpieza y Depuración de Gases.

Como se mencionó en el capítulo anterior cuando el gas sale del gasificador se debe tener en cuenta la cantidad de TAR y el tamaño de la partícula, para obtener un gas de mejor calidad se debe usar un sistema separador de partículas que sea sencillo, por eso a continuación se detallará sobre los ciclones.

5.1.1. Ciclones.

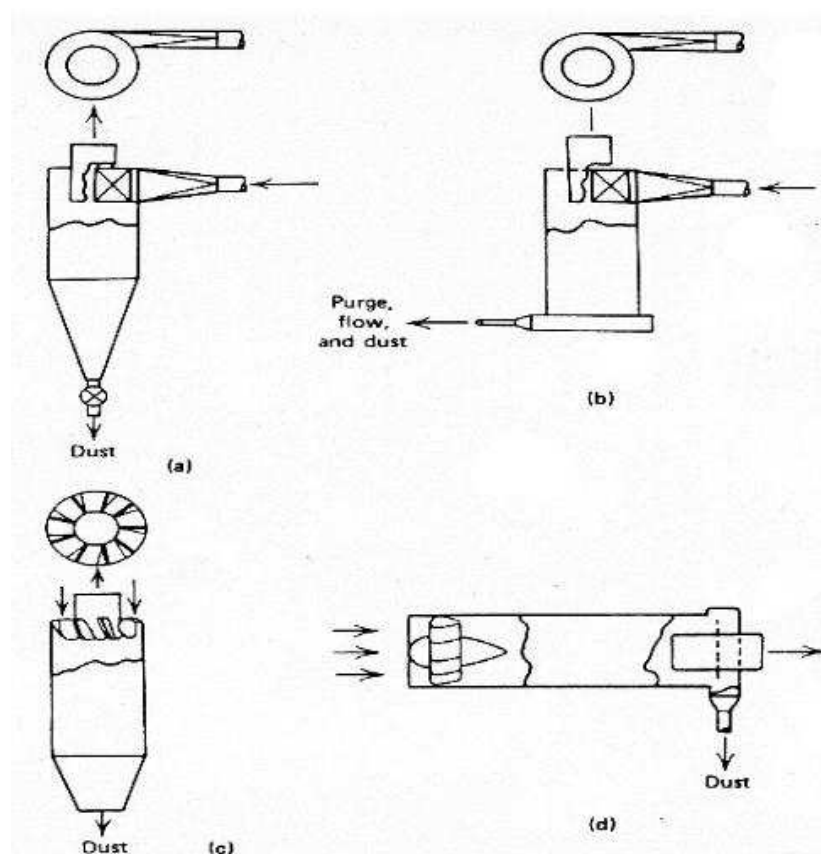
Son los equipos depuradores de partículas más sencillos de alta eficiencia de los que se dispone y los de más bajo costo. La temperatura de trabajo solo está limitada por los materiales de construcción. Los ciclones son el único tipo relevante de separadores de partículas a alta temperatura (hasta 1 000°C).

Se trata de equipos depuradores sin partes internas móviles en las cuales se consigue que tanto el gas como las partículas

contenidas en él cambian su velocidad de entrada generándose un movimiento circular.

Un separador ciclónico está compuesto básicamente por un cilindro vertical con fondo cónico, dotado de una entrada tangencial normalmente rectangular. La corriente del gas se encuentra cargada con las partículas sólidas las cuales se introducen tangencialmente en el recipiente cilíndrico a velocidades de aproximadamente entre 15m/s a 30m/s, saliendo el gas limpio a través de una abertura central situada en la parte superior.

Figura 5.1.- Distintos Tipos de Ciclones.



Fuente.- (Megyesy, 2012)

Los más usados son los ciclones de entrada de gas tangencial y salida del sólido axial (ciclones estándar), por lo cual nos limitaremos al estudio de estos, las longitudes características son referidas al diámetro del barril.

El gas ingresa por el conducto de entrada del ciclón a una velocidad V_i (velocidad de entrada al ciclón). Este conducto se halla ubicado en forma tangencial al barril o cuerpo del ciclón. Entra al barril y comienza el movimiento en espiral descendente. El cambio de dirección genera un campo centrífugo equivalente a cientos de veces el campo gravitacional terrestre. (Cientos de g). Las partículas transportadas por el gas debido a su inercia, se mueven alejándose del centro de rotación o “eje del ciclón”, por acción de las líneas de fuerza del campo centrífugo, alcanzando las paredes internas del barril del ciclón, donde pierden cantidad de movimiento y se deslizan por la pared del barril hacia el cono y desde allí a la pierna del ciclón. (Restrepo & Jaramillo, 2014)

El gas en su movimiento descendente va despojándose de las partículas sólidas y al llegar a la base del cono, invierte el flujo, siguiendo una espiral ascendente ya libre prácticamente de partículas (“gas limpio”). El movimiento del gas en el interior del ciclón consiste en una trayectoria de doble hélice.

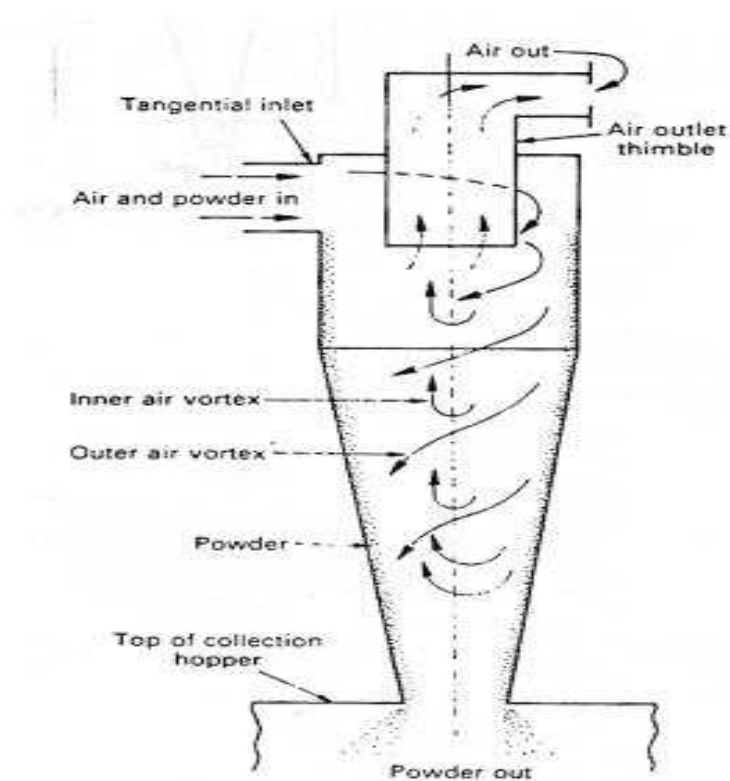
Inicialmente realiza una espiral hacia abajo, acercándose gradualmente a la parte central del separador, y a continuación se eleva y lo abandona a través de una salida central situada en la parte superior. Esta doble espiral es la que se denomina flujo ciclónico. Las partículas más grandes y más densas son forzadas hacia las paredes del ciclón, dejando atrás las partículas.

Una vez que el gas penetra tangencialmente en el equipo se distinguen dos zonas de características distintas de movimiento:

En la zona próxima a la entrada del gas y en aquella más exterior del cilindro predomina la velocidad tangencial, la velocidad radial es centrípeta y la axial de sentido descendente. La presión es relativamente alta.

En la zona más interior del cilindro, correspondiente al núcleo del ciclón y con un diámetro aproximadamente igual a 0,4 veces el del conducto de salida del gas, el flujo es altamente turbulento y la presión baja. Estas dos zonas se encuentran separadas por el llamado cilindro ideal de Stairmand. (Restrepo & Jaramillo, 2014)

Figura 5.2.- Se muestra la recirculación de los gases dentro del ciclón.



Fuente.- (Restrepo & Jaramillo, 2014)

Campo de Utilización.

Los separadores ciclónicos, se emplean para:

- Eliminar o reducir partículas sólidas de corrientes de aire cargadas de polvo.

Si se quieren obtener altas eficiencias de limpieza, se tendrá en cuenta que:

- Los ciclones son adecuados para eliminar partículas de tamaño superiores a 10 μm .
- Los multiciclones son adecuados para eliminar partículas $> 5 \mu\text{m}$ o para limpiezas grandes flujos o caudales de aire contaminado. (Huaraz, 2013)

La pérdida de carga del ciclón depende de la velocidad de entrada al ciclón. Es en realidad la suma de varios términos:

- 1) Pérdida de presión a la entrada del ciclón.
- 2) Pérdida debida a la aceleración de los sólidos.
- 3) Pérdidas en el barril.
- 4) Pérdidas por el flujo reverso (cuando cambia hacia la espiral ascendente.
- 5) Pérdidas por contracción en el conducto de salida.

Ventajas del uso de ciclones:

- bajo costo de inversión.
- costo de mantenimiento bajo (no tiene partes móviles).
- permite la separación en condiciones drásticas de temperatura y presión.
- Caída de presión constante.
- Puede ser construido de variados materiales (cerámica, aleaciones, aceros, hierro fundido, aluminio, plásticos).
- Puede separar tanto partículas sólidas como líquidas, a veces ambas a la vez, dependiendo del diseño propio del ciclón.

Desventajas del ciclón:

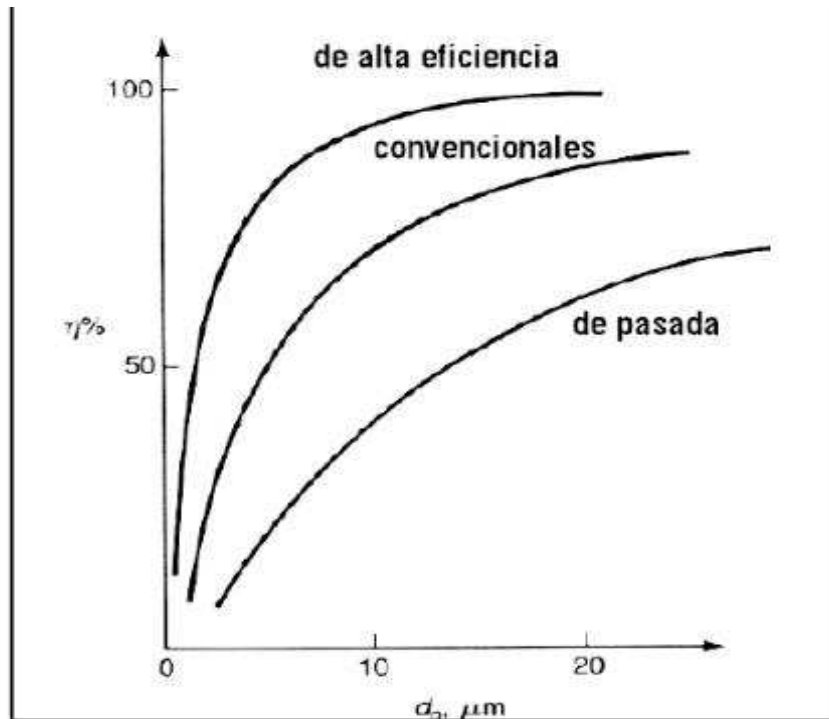
- Baja eficiencia para partículas de tamaño menor que el diámetro de corte, cuando operan en condiciones de bajas cargas de sólido.
- Usualmente la caída de presión es mayor que otros tipos de separadores (por ejemplo que el filtro de cartucho (bag)).
- Sujeto a erosión o ensuciamiento, si los sólidos procesados son abrasivos. (Restrepo & Jaramillo, 2014)

5.1.2. Ciclón convencional.

Existen tres categorías de ciclones, los cuales se pueden clasificar dependiendo de su eficiencia de separación: de alta eficiencia, convencionales y de pasada. La figura 5-3 muestra las curvas

generalizadas de eficiencia versus tamaño de particulado, para las distintas categorías de ciclones.

Figura 5.3.- Rendimiento de los Diferentes tipos de Ciclones.



Fuente.- (Huaraz, 2013)

Por razones de aplicación y costo se seleccionará un ciclón convencional, a continuación se hace un pequeño dimensionamiento de los ciclones convencionales.

Las principales medidas que hay que tomar en consideración para el diseño de un ciclón estándar son las que se indican a continuación:

D_c: Diámetro del ciclón.

D_e: Diámetro del conducto de salida del gas limpio, es la mitad del diámetro del ciclón.

L_c: Longitud del barril.

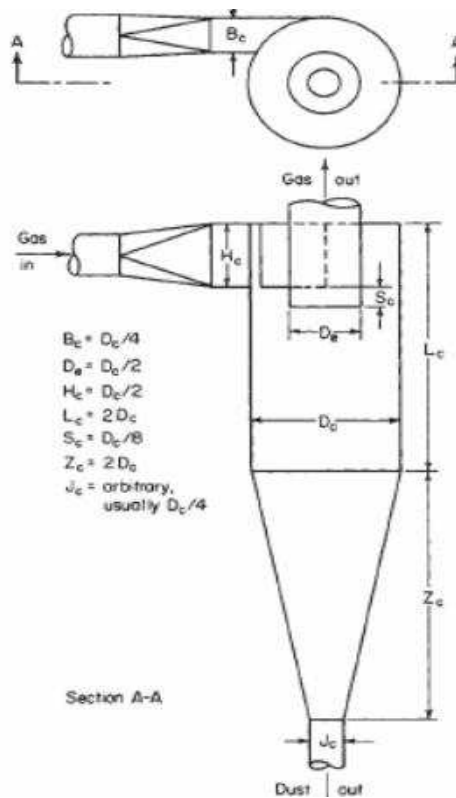
Zc: Longitud del cono del ciclón.

Hc: Altura del conducto de entrada rectangular.

Lw: Ancho del conducto de entrada tangencial.

Jc: Diámetro de la pierna del ciclón.

Figura 5.4.- Ciclón Estándar



Fuente.- (Restrepo & Jaramillo, 2014)

A continuación se muestra los parámetros necesarios que se emplearon para la construcción del ciclón:

$$L_c = 2D_c.$$

$$Z_c = 2D_c.$$

$$D_e = D_c/2.$$

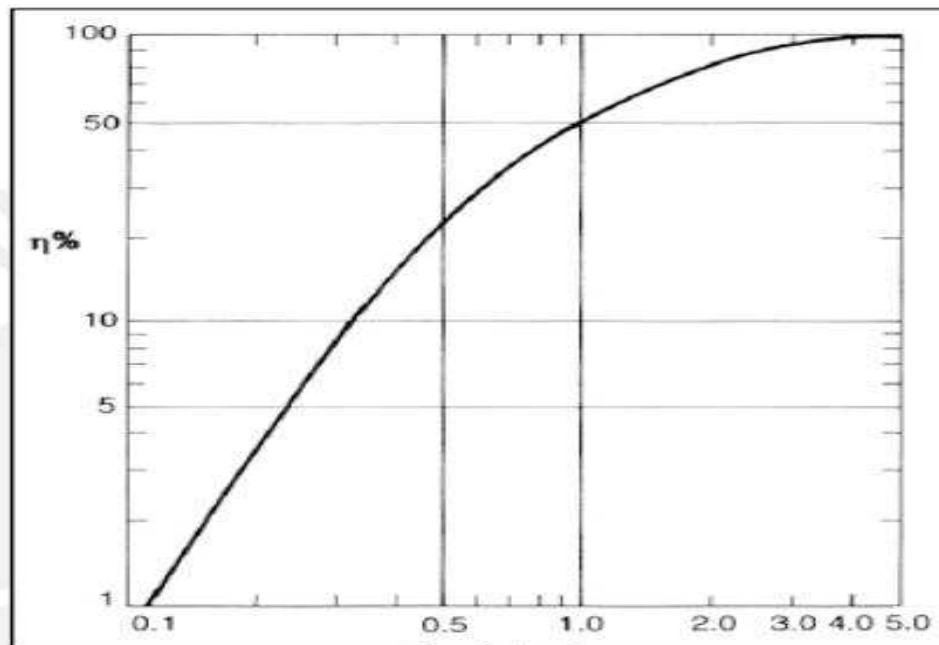
$$J_c = D_c/4.$$

$$L_w = D_c/4.$$

$$H_c = D_c/2.$$

El gas de síntesis que ingresa al ciclón, experimenta un aumento en su velocidad tangencial, medida que disminuye el radio, esto se podrá observar mejor en la figura: 5-5, en la cual se muestra la eficiencia de recolección de partículas versus el cociente entre el diámetro real de las partículas y su diámetro máximo, en cuyo caso su eficiencia de captación es de un 50% (D/D').

Figura 5.5 .- Diámetro de la Partícula Vs Eficiencia.



Fuente.- (Restrepo & Jaramillo, 2014)

Para hallar el término D' (diámetro de la partícula), se utiliza la relación empírica de Rossin, Rammler e Intelmann que plantea la siguiente ecuación:

$$D' = \sqrt{\frac{9\mu B}{2\pi N v(\rho_g - \rho_n)}} \quad \text{Ecuación (5-1)}$$

B = Largo del ducto de entrada al ciclón, en.m.

N = Numero de vueltas dadas por el gas en el interior del ciclón (igual a 5).

v = Velocidad de entrada del gas al ciclón basada en un área $B \times H$ (se recomienda usar 15 [m/s]).

μ = Viscosidad del gas, en kg/ (m. s).

ρ_g = Densidad del gas, en kg/m³.

ρ_n = Densidad de los neumáticos, en kg/m³.

Se proyecta un ciclón que capte particulado con un tamaño de 25 μm y con una eficiencia del 100%. Con la figura anterior se puede calcular D'

- $\eta=100\%$
- $D/D' = 5$
- $D' = 4 \mu\text{m}$

Ahora se procede a calcular D_c suponiendo un número de vueltas dadas por el gas de 5 ($N=5$).

Procedemos a calcular el diámetro del ciclón (D_c), suponiendo que el gas da 5 vueltas ($N = 5$).

$B = D_c/4$.

Si lo anterior concuerda, se tiene:

$$D' = 13,96 \times \frac{v(\rho_n - \rho_g) D r^2}{\mu} \quad \text{Ecuación (5-2)}$$

Utilizando parámetros del ciclón, supondremos la velocidad de entrada del gas en un rango de 15 – 30 m/s.

Tabla 5.1.- Características Del Gas Pobre.

Parámetros	Unidades	valor
Densidad de gases ρ_g	Kg/m ³	0,33
Densidad de neumáticos ρ_n	Kg/m ³	350
Viscosidad del gas μ	Kg/m.s	500 x 10 ⁻⁷

Fuente.- (Restrepo & Jaramillo, 2014)

Elaborado por: Autores de Trabajo Final de Titulación

Dimensiones del ciclón de eficiencia 100 % para partículas 30 μm son:

Tabla 5.2.- Dimensiones del Gasificador.

DIMENSION	UNIDADES	VALOR
DC	m	0,09
LC	m	0,18
DS	m	0,05
J	m	0,05
B	m	0,05
H	m	0,025
ZC	m	0,18

Fuente.- (Restrepo & Jaramillo, 2014)

Elaborado por: Autores de Trabajo Final de Titulación

5.2. Intercambiador de Calor.

El sistema de enfriamiento es el encargado de acondicionar el gas obtenido para la realización de las actividades posteriores con el gas, como la alimentación al sistema de calentamiento y la toma de muestras para el análisis de la composición del mismo. Al realizar la reducción en la temperatura del gas obtenido, se logra la condensación de los productos no deseados en el gas, tales como el agua y los alquitranes remanentes en caso de existir.

Una de las dificultades del gas pobre, es la temperatura que alcanza al salir del reactor, esta puede alcanzar los 400°C, aunque al circular por la tubería que lo conduce al ciclón, este sede parte del calor a la atmosfera, también hay que resaltar que en ciclón, por causas de la turbulencia su temperatura se reduce considerablemente, hasta llegar a unos 100°C aproximadamente. (El Repositorio Institucional UN se encuentra en mantenimiento.)

Pero es necesario adaptar en el sistema un intercambiador de calor con el podremos alcanzar temperaturas de 35°C, lo cual nos permite poder trabajar de mejor manera con este gas pobre.

Al mismo tiempo al reducir la temperatura, este gas también se condensa, por ello logramos captar una mayor cantidad de líquido combustible.

En el sistema existen dos zonas en las cuales podemos recolectar aceite combustible, en el cuello del ciclón y en el intercambiador de calor, producto de la condensación de los gases.

En nuestro caso al sistema le adaptamos un radiador pequeño, fabricado por la Chevrolet, con lo cual alcanzamos lo deseado, disminuir

la temperatura del gas y recolectar aceite combustible, producto de la condensación del gas de pirólisis.

Figura 5.6.- Radiador Adaptado en el Sistema de Enfriamiento.



Fuente.- (Megyesy, 2012)

5.3 Quemador.

Los quemadores son los equipos donde se realiza la combustión, por tanto deben contener los tres vértices del triángulo de combustión, es decir que deben lograr la mezcla íntima del combustible con el aire y además proporcionar la energía de activación.

Debe ser diseñado para asegurar una alimentación adecuada para la llama, el gas y el aire, tanto para alcanzar la potencia térmica especificado con baja producción de contaminantes (especialmente de CO y NOx), y distribuir la zona de reacción llama) y el movimiento de productos de

combustión de forma que el calor se transfiera a la carga de manera eficiente. (Huaraz, 2013)

Según sea el combustible utilizado, los quemadores se clasifican en quemadores de gas, de combustibles líquidos y de combustibles sólidos. En el caso de estos últimos, si la aportación del sólido es neumáticamente (carbón pulverizado, por ejemplo) existe cierta homogeneidad con respecto al equipo utilizado para los otros combustibles.

Tabla 5.3.- Parámetros de Quemadores a Inyección para distintos Tipos de Combustibles.

Combustible	Temperatura Teórica llama ° C	Potencia esp. Frente llama (KW cm ²)	O ² teórico m ³ /KW.h (PCI)
Gas natural	2740	3,8	0,201
Propano	2820	5,4	0,191
Tetreno	2895	5,6	0,188
Acetileno	3300	23	0,159

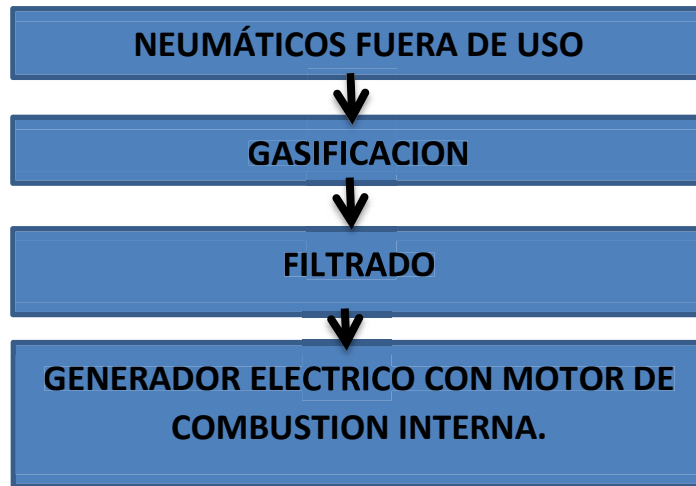
Fuente.- (Matamoros, Mirasol, & Cordero, 2011)

Elaborado por: Autores de Trabajo Final de Titulación

5.4. Generación de energía en base a la gasificación de neumáticos fuera de uso.

El proceso de generación eléctrica comienza con la recolección de los neumáticos fuera de uso que se introduce en el gasificador, en donde se llevara a cabo el proceso de combustión para producir la gasificación del metano y otros gases. En este proceso el gas producido tiene un alto contenido de alquitranes y pequeñas partículas de ceniza, por lo que se somete a un proceso 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 sintetiza en el siguiente gráfico.

Figura 5.7.- Diagrama de Bloques de un Sistema de Generación.



Fuente.- (Matamoros, Mirasol, & Cordero, 2011)

Si nuestro objetivo estuviera centrado en la generación de energía eléctrica, el primer paso, sería encontrar la cantidad de energía que se requiere producir, para escoger la capacidad del motor generador y sus dimensiones, en el capítulo 3, analizamos la cantidad de potencia que entrega este gasificador, que fue de 50,66KW, con lo cual preveríamos de energía eléctrica a 10 hogares.

5.4.1. Potencia requerida para la potencia del motor.

El motor generador de combustión interna que debería ser usado, podría ser un motor Ford serie ESG- 642 de 6 cilindros y 50 KW de potencia, por el análisis mencionado en el capítulo 3, las especificaciones del fabricante se dan a continuación:

Especificaciones del motor.

Potencia requerida: 50KW.

Motor: Ford ESG- 642.

Desplazamiento (ΔrL): 4,2L.

RPM: 1800.

Recorrido del cilindro (L): 96,8 mm.

Diámetro del cilindro (D): 95 mm.

De cilindros: 6.

Figura 5.8.- Motor Ford Esg – 642, Para Generación Eléctrica.



Fuente.- (Soriano & Ruiz, PCPI - Mecánica del vehículo, 2008)

5.4.2. Calculo del volumen del motor.

Para encontrar el volumen indicado del motor, empleamos la siguiente ecuación:

$$V_M = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \cdot L \cdot N \quad \text{Ecuación (5-3)}$$

V_M : Volumen indicado del motor (litros).

$$V_M = 0,00412 \text{ m}^3 = 4,12 \text{ Litros.}$$

5.4.3. Caudal volumétrico del motor.

El volumen máximo de la mezcla aire combustible, la hallamos con la ecuación siguiente:

$$V_{max} = \frac{1/4 \cdot RPM \cdot \Delta r L}{60 \text{ seg}/\text{min} \times 1000 \text{ l}/\text{m}^3} \quad \text{Ecuación (5-4)}$$

$$V_{max} = 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$$

5.4.4. Volumen de gas combustible requerido.

El cálculo del volumen de gas requerido se detalla con la ecuación siguiente:

$$V_{com} = \frac{1}{2,1} V_{max} \quad \text{Ecuación (5-5)}$$

V_{com} : Volumen de gas combustible requerido.

$$V_{com} = 0,0285 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se debe tener en cuenta la eficiencia volumétrica del motor (f), la cual para motores de combustión interna está dada en un 80%.

f : Eficiencia volumétrica del motor (80%).

Por lo tanto el valor real de la inyección de gas por segundo es de:

$$V_{real} = f \cdot V_{com} \quad \text{Ecuación (5-6)}$$

V_{real} : Volumen real de inyección.

$$V_{real} = 0,0208 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ahora, para tener una idea clara, si se considera que la gasificación de 5 Kg/h de neumáticos usados, produce un 7% de gas de síntesis, es decir 0,35 Kg y que la densidad del gas resultante es de 2,49 Kg/m³, podemos calcular el volumen de gas producido por hora de trabajo del gasificador.

Para este cálculo empleamos la siguiente ecuación:

$$\rho_g = \frac{m_g}{V_g} \quad \text{Ecuación (5-7)}$$

Dónde:

ρ_g : Densidad del gas (2,49 Kg/m³).

m_g : Masa del gas (0,35 Kg).

V_g : Volumen del gas producido (m³).

Despejando la ecuación (5-7) para V_g , tenemos:

$$V_g = \frac{m_g}{\rho_g} \quad \text{Ecuación (5-8)}$$

$$V_g = 0,14 \text{ m}^3$$

Para concluir hay que señalar que esta es la producción de gas por cada vez que se carga el gasificador con 5 Kg.

CAPITULO VI

6. COSTOS DE GASIFICADOR

Este capítulo trata sobre el presupuesto de la construcción del gasificador, se realizó un análisis económico presentando un desglose de todos los suministros que se han utilizado para la fabricación del reactor y además las horas dedicadas a su fabricación y la puesta en marcha.

6.1. Costo de Materiales

Tabla 6.1.- Costos de Suministro de Gasificador

Materiales	Cantidad	Costo UniTARio	Costo Total (USD)
TUBO DE 8" X 1 METRO DE CED 40	0.40 cm	67.20	67.20
TAPONES CED. 40 8" MATRIZ	2	16.80	33.60
PLANCHA CALIENTE DE 8ML	1	30.95	30.95
SERVICIO DE RECORTE CON PANTOGRAFO	2	14.50	29.00
PLANCHA DE 2ML	1/2	20.50	20.50
DISCO ESMR. NORTON 5 X 3/4" G 60	1	7.43	7.43
ACOPLE P/PIEDRA ESMERIL 1 1/4" X 3/4"	1	0.76	0.76
PERNOS UNC 7/16**1.1/4", TUERCA UNC. 7/16"	12	0.49	5.88
ANILLOS			
SOLDAR CRISOL Y 10 PERFORACIONES	1	44.00	44.00
BRIDAS			
RECTIFICAR BRIDA	1	20.00	20.00
QUEMADOR INDUSTRIAL	1	33.00	33.00
PULMON INDUSTRIAL	1	12.50	12.50
MANGUERA INDUSTRIAL	2m	2.00	4.00
PLATINA NEGRA 1X1/4"	3m	1.73	5.18
PLATINA NEGRA 2X1/4"	6m	3.29	19.74
CONCRETOS REFRACTERIOS CONCRAX 1700	25 kg	20.00	20.00
NEPLO HIERRO GALVANIZADO 2" X 7"	1	11.20	11.20
CODO HIERRO GALVANIZADO REFORZADO 2" X 90°	1	8.10	8.10
EMPAQUE DE ASBESTO COMPRIMIDO	1	10.00	10.00
NUDO HIERRO NEGRO 1 1/ 4" 150LB	1	9.00	9.00
ROSCADO AERO AL CARBON 1 1/4"	2	2.50	5.00
TUBO ACERO AL CARBON 1 1/4" CD40	1.20m	6.00	7.20
TUBO RED NEGRO 2X 1.50	1.50m	4.50	4.50
			408.74

Fuente: (Huaraz, 2013, pág. 95).

Elaborado por: Autores de Trabajo Final de Titulación

Elaboración de un listado de los materiales que se utilizaron en la construcción del gasificador en este se diferencian cada uno de los elementos que se adhieren en el sistema, ejemplo. Ciclón, intercambiador de calor y tanque de almacenamiento de gas, teniendo en cuenta los accesorios que fueron necesarios para su funcionamiento.

Tabla 6.2.- Costos de Suministro de Ciclón

Materiales	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total (USD)
TUBO NEGRO ISO II 4"	0.50 cm	8.80	8.80
SERVICIO DE RECORTE CON PANTOGRAFO	2	14.50	29.00
PLANCHA DE 2ML	1/4	5.50	5.50
DISCO ESMR. NORTON 5 X 3/4" G 60	1	7.43	7.43
ACOPLE P/PIEDRA ESMERIL 1 1/4" X 3/4"	1	0.76	0.76
PERNOS UNC 7/16"*1.1/4", ANILLOS	6	0.49	5.88
SOLDAR SICLON Y 6 PERFORACIONES BRIDAS	1	14.00	14.00
RECTIFICAR BRIDA	1	20.00	20.00
EMPAQUE ASBESTO COMPRIMIDO	1	12.50	12.50
VAVULA DE COMPUERTA	1	30.00	30.00
CODO DE PVC 90° 1/2"	2	0.80	1.60
UNION DE PVC 1/2"	2	0.80	1.60
NEPLO DE PVC 1/2"	2	0.90	1.80
TUBO ACERO AL CARBON 1 1/4" CD40	0.60	6.00	3.60
MANGUERA PLASTICA TRANSPARENTE 3/4"	0.50cm	2.00	2.00
ABRAZADERA METALICA 1"	2	1.00	2.00
			146.47

Materiales	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total (USD)
INTERCAMBIADOR DE CALOR ALUMINIO	1	120.00	120.00
MANGUERA PLASTICA TRANSPARENTE 1 1/4"	0.50cm	2.20	2.20
REDUCTOR 1 1/4" – 1/4" ACERO AL CARBON	1	7.43	7.43
ABRAZADERA METALICA 2"	2	0.76	0.76
MANGUERA DE NYLON	2	6.00	12.00
ABRAZADERA METALICA 1"	4	1.00	4.00
NEPLO HIERRO GALVANIZADO 1/2" X 8"	2	3.50	7.00
CODO HIERRO GALVANIZADO 1/2" 90°	1	0.80	0.80
			154.19

Fuente: (Huaraz, 2013, pág. 100)).

Elaborado por: Autores de Trabajo Final de Titulación

TOTAL COSTO DE INVERSIÓN \$ 709.40 USD

6.2. Costo de realización del proyecto.

El presupuesto necesario para la realización del estudio de ingeniería es:

Tabla 6.3.-Costo de realización de Proyecto

COSTE DE INGENIERÍA	
TARIFA INGENIERA MECÁNICA NAVAL JÚNIOR (1ª FASE)	\$ 4,00 usd
Nº MESES	6 meses
DÍAS/MES	20 días/mes
HORAS/DÍA	6h/día
TOTAL HORAS DEDICADAS	720h
HONORARIOS INGENIERÍA BÁSICA	\$2.880,00 usd

Fuente: (Huaraz, 2013, pág. 95)).

Elaborado por: Autores de Trabajo Final de Titulación

Tabla 6.4.- Tarifa Ingeniera Mecánica Naval Junior

TARIFA INGENIERA MECÁNICA NAVAL JÚNIOR (1ª FASE)	\$ 4,00 usd
Nº MESES	6 meses
DÍAS/MES	20 días/mes
HORAS/DÍA	6h/día
TOTAL HORAS DEDICADAS	720h
HONORARIOS INGENIERÍA DE DETALLE	\$2.880,00 usd

Fuente: (Huaraz, 2013, pág. 95)).

Elaborado por: Autores de Trabajo Final de Titulación

Adicionalmente a los honorarios profesionales, en concepto de gastos e imprevistos se cargará un 10%. Esto supondrá \$ 576,00 usd adicionales.

PRESUPUESTO TOTAL: \$ 6.336,00 usd.

6.3. Análisis Financiero

Los costos de inversión fueron calculados en las fases del proyecto, con un valor de inversión de 709.40 dólares

Tabla 6.5.- Pruebas Realizadas

PRUEBAS REALIZADAS		
<i>ANÁLISIS ELEMENTAL</i>	\$ 150,00 usd x 2	\$ 300,00 us
<i>ANÁLISIS INMEDIATO</i>	\$ 130,00 usd x 2	\$ 260,00 usd
<i>CINÉTICA A LA PIROLISIS</i>	\$ 130,00 usd x 2	\$ 260,00 usd
<i>DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO</i>	\$ 160,00 usd x 2	\$ 320,00 usd
<i>ESTUDIO HIDRODINÁMICO</i>	\$ 140,00 usd x 2	\$ 240,00 usd
<i>TOTAL PRUEBAS</i>		\$ 1.380,00 usd

Fuente: (Huaraz, 2013, pág. 95)

Elaborado por: Autores de Trabajo Final de Titulación

Por cuanto a la instrumentación necesaria para el óptimo desempeño del gasificador se calcula un costo de \$1.000,00 usd.

Costo total del gasificador = \$ 9.425,40 usd.

Adicionalmente a los costos de construcción, en concepto de gastos e imprevistos se cargará un 20%. Esto supondrá \$ 1.885,00 usd. Adicionales.

Costo Total = \$ 11.310,40 usd.

NOTA.

Todos los costos y gastos para la construcción de un gasificador serán relativo a la escala en que este se realiza.

CONCLUSIONES.

- Los neumáticos fuera de uso (NFU), reúnen las características necesarias para su utilización en la producción de energía mediante el proceso de gasificación, debido al bajo porcentaje de nitrógeno, y altos contenidos en materia volátil; además en el año 2014 se generó 55.000 Ton de neumáticos usados en nuestro país, esto equivale aproximadamente 23.650 TEP (tonelada equivalente de petróleo) de energía que está disponible, también el costo del combustible es casi nulo, ya que por el momento se los puede encontrar abandonados en los vertederos.
- El gasificador tipo Updraft fue seleccionado por su simplicidad en la construcción, a la baja temperatura del gas producido, alta eficiencia y porque nos permite generar bajas potencias y es aplicable para distintos materiales combustibles
- Las características del gasificador son las siguientes: 50,66 kW de potencia, una eficiencia del 85% para un gasificador hermetico, temperatura máxima dentro del reactor de 600°C y temperatura externa de 80°C., altura de 0,40 m, diámetro de 0,21 m y 0,012 m³ de capacidad de almacenamiento de neumáticos fuera de uso en trozos, además utiliza 5kg de NFU por parada, por las dimensiones el gasificador no ocupa demasiado espacio en el área de trabajo y es de fácil manejo y seguro para el operador.
- El gas generado contiene una cantidad moderada de TAR y polvo, el motivo se debe al combustible utilizado, para disminuir la cantidad de TAR es necesario el uso de un sistema de enfriamiento, y para reducir la cantidad de polvo es necesario un sistema de captación de polvo.

- Para utilizar neumáticos fuera de uso (NFU) como combustible para la generación de energía eléctrica y calorífica a gran escala, es necesario un ciclón para la limpieza del contenido de partículas que contiene el gas, las características del ciclón son: de 0,36 m de altura y 0,09 m de diámetro y tendrá una eficiencia del 100% para partículas de 4 μm .
- Los quemadores comerciales de Gas Licuado de Petróleo o Gas Natural usados en el Ecuador no deberían tener dificultades cuando operen con el gas generado, pero al no tener algún equipo de similares características (potencia, tipo de combustible utilizado), podría haber dificultades de obstrucción, por tal razón se sugiere fabricar un quemador simple y sencillo, que evite estas dificultades.
- Para la fabricación del equipo sólo se necesita de un taller con trabajo en chapa (dobladora, rolado, etc.), y el costo del sistema es bajo. De este monto, el porcentaje que representa el equipo generador de gas es del 52%, el intercambiador del 16% y el ciclón del 27%, los accesorios representan el 5%. El costo es de materiales, equipos, mano de obra y costo de ingeniería.
- Existen varias posibilidades de seguir desarrollando esta tesis, para alumnos de esta facultad y de otras facultades, por ejemplo, desarrollar un sistema eficiente de acumulación del gas producido, desarrollar una mini planta de electricidad y hacer el estudio del refinamiento del combustible líquido obtenido.
- Al procesar los neumáticos fuera de uso de esta manera, estamos solucionando un problema medio ambiental y estamos en capacidad de sacar provecho a todos los productos obtenidos (negro de carbón, tejido metálico, aceite combustible y gas de síntesis).

RECOMENDACIONES

- La instalación correcta del concreto refractario adentro de la unidad generadora de gas es esencial, debido a que con él se evita una pérdida significativa de calor.
- En aplicaciones donde la unidad generadora de gas debe operar por períodos prolongados de tiempo se recomienda la ampliación de la cámara de combustible para permitir una mayor cantidad de combustible, y por consiguiente evitar múltiples recargas.
- Se sugiere un estudio más profundo sobre el diseño del quemador, especialmente en la regulación del aire primario para lograr una eficiente conducción del calor a todos los puntos del reactor, que permita adaptarse a diferentes necesidades de operación, tales como intensidad y tamaño de la llama.
- Reducir los diámetros interiores de las tuberías del gas para aumentar la presión y obtener una mayor cantidad del gas combustible y disminuir la condensación.
- Existen varias posibilidades de seguir desarrollando esta tesis, para alumnos de esta facultad y de otras facultades, por ejemplo, desarrollar un sistema eficiente de acumulación del gas producido, desarrollar una mini planta de electricidad y hacer el estudio del refinamiento del combustible líquido obtenido.

BIBLIOGRAFÍA

1. Tecnología de gasificación por plasma de Westinghouse. (2013). Obtenido de http://www.westinghouse-plasma.com/wp-content/uploads/2013/09/WPC-SoQ-August-2013-NDA-Not-Required-Final_Spanish.pdf
2. Alcivar, B., & Farias, C. (2007). Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2050/15/UPS-GT000019.pdf>
3. Álvarez, T., Alguacil, F., & López, F. (2012). Aprovechamiento energético de residuos: el caso de los neumáticos fuera de uso. España: Fundación Española para la Ciencia Y tecnología.
4. Andreu, S. (2014). Diseño de un gasificador de pequeña potencia eléctrica. Obtenido de <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/25026>
5. Aránguiz, V. (s.f.). <http://cavitation-t.com/PIROLISIS%20DE%20NEUMATICOS%20-%20boton%203.pdf>. Obtenido de Ingeniería de proyectos de energías del futuro .
6. Boada, P. (2012). Elaboración de un proyecto para la creación de una planta de reciclado de neumático en la Ciudad de Quito. Quito.
7. Calvo, J. (2011). Pinturas y recubrimientos.: Introducción a su tecnología. Madrid: Díaz de Santos.
8. Cambra, P., & Mar, M. d. (2009). Construcción sostenible de espacio público. España: Reverté.
9. Castells, X. E., & García, E. V. (2012). La gasificación: Tratamiento y valorización energética de residuos. Madrid: Díaz de Santos.
10. Castells, X. E., & García, E. V. (2012). La pirolisis: Tratamiento y valorización energética de residuos. Madrid.
11. Castro, G. (2008). Materiales y compuestos para la industria del neumático.
12. CHAPULA, S. (2014). Procedimiento constructivo con estructuras metálicas. México.
13. Chumpitaz, G. R., Rodríguez, C. J., & Carvalho, J. A. (2012). Utilización de neumáticos de desecho como alternativa energética en la industria Brasileña.
14. CONSORCIO ENERGÉTICO CORPOEMA . (2010). Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE) . Bogotá.
15. Cuéllar, A. S., Rodríguez, ., & Mora, D. (2011). Nuevos Clones de Caucho Natural para la Amazonia. Bogotá: Instituto Amazónica de investigaciones científicas.
16. Domínguez, E., & Ferrer, . (2008). PCPI - Mecánica del vehículo. Malaga: Editex.

17. El Repositorio Institucional UN se encuentra en mantenimiento. (s.f.). Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/>
18. EMERSON CLIMATE. (2013). Manual técnico de Refrigeración y aire acondicionado.
19. Ferre, J., & Checa, . (2010). Mantenimiento mecánico preventivo del vehículo. Editex.
20. García, L. C., Fraile, M. U., & Serrano, E. C. (junio de 2008). CIRCULO DE INNOVACION EN MATERIALES TECNOLOGÍA.
21. Gere, J., & Goodno, . (2009). Mecánica de Materiales. Cengage Learning Latin America.
22. González, T., Río, G. d., & Tena, . (2011). Circuitos de fluidos. Suspensión y dirección:. Editex.
23. Haro, C., & Yarad, Y. (2013). Diseño y construcción de un sistema de generación de combustible alternativo a través de biomasa controlado electrónicamente para su aplicación en un JEEP WILLYS 1974. Sangolquí.
24. Huaraz, Y. (2013). Diseño de un gasificador de 25 kW para aplicaciones domésticas usando como combustible cascarilla de arroz. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Mención : Ingeniería Mecánica.
25. Llorens, M., & Miranda, A. (2009). Ingeniería Térmica. Barcelona: marcombo.
26. López, F., & A.LópezDelgado. (2013). Situación actual del tratamiento de neumáticos fuera de uso y posibilidades de obtención de negro de humo de alta pureza. Madrid.
27. Martín, J. d. (7 de abril de 2010). Propiedades y usos de los neumáticos fuera de uso tratados por valorización. Recuperado el 15 de Junio de 2015, de <http://www.consumoteca.com/motor/neumaticos/propiedades-y-usos-de-los-neumaticos-fuera-de-uso-tratados-por-valorizacion/>
28. Martínez, O. (2009). Valoración energética de neumáticos fuera de uso. Madrid.
29. Matamoros, J. B., Mirasol, J. R., & Cordero, T. (s.f.). Reciclado y reutilización de neumáticos usados (I) .Recuperación de energía. Obtenido de INGENIERIA QUIMICA: <http://www.inese.es/html/files/pdf/amb/iq/409/14ARTICULOEN.pdf>
30. Megyesy, E. F. (2012). Manual de. Recipientes a presión Diseño y cálculo. Madrid.
31. Moreno, J., González, Z., & Martínez, C. (2012). Prevención de riesgos laborales y medioambientales en mantenimiento de vehículos. Málaga: IC.
32. Murillo, A. U. (2010). Tecnología de suelos: estudio de casos. Mérida: Universidad de Lleida.

33. Restrepo, J. M., & Jaramillo, J. M. (2014). Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Contribuciones de la capacitación en el área de materiales.
34. Rivadeneira, D. (2014). Ingeniería conceptual, Básica, detalle y simulación para el sistema de aprovechamiento de alquitrán en el proceso de gasificación Updraft. Sangolquin.
35. Sánchez, M., & Guzmán, . (2011). Análisis de la Eficiencia Medioambiental del Recauchutado de . Madrid.
36. Sonia Rincón, S. R. (2011). Gasificación de biomasa residual de procesamiento agroindustrial. Colombia.
37. Soriano, E. J., & Ruiz, J. F. (2008). PCPI - Mecánica del vehículo. Editex.
38. Sterling, A., Rodríguez, ., & Mora, D. (2012). Nuevos Clones de Caucho Natural para la Amazonia . Fondo de Cultura Económica.
39. Tron, F. (2012). Los residuos sólidos urbanos en Tokio, París, Madrid y México: Comparación de gestión de residuos en megaciudades. Madrid: EAE.
40. Vargas, C. (2012). Estudio comparativo de la utilización de las tecnologías de gasificación downdraft y lecho fluido burbujeante para la generación de energía eléctrica en aplicaciones de baja potencia.
41. Vargas, C. (sf). Factibilidad del aprovechamiento energético de neumáticos usados en la gran minería del cobre mediante pirólisis. Santiago.
42. Vásquez, J. (2009). Diseño de un sistema electrónico de control de presión para la optimización del uso de neumáticos de RIN 20 y 22,5. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.

ANEXOS

Anexo 1.- Corte cuerpo del reactor



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo
Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 2.- Cuerpo y tapa del reactor



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo
Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 3.- Rectificado del cuerpo del reactor



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo

Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 4.- Construcción de bridas



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo

Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 5.- Rectificación de bridas



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo

Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 6.- Acoplo de bridas al reactor



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo

Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 7.- Centrado de bridas



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo

Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 8.- Rectificado de bridas y cuerpo del reactor



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo

Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 9.- Taladrado de bridas



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo

Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 10.- Comprobación de Hermeticidad del reactor



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo

Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 11.- Taladrado para tubería de descarga del gas



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo
Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 12.- Tubería de salida de gas



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo
Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 13.- Doblado de patas de soporte del reactor



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo
Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 14.- Soporte terminado



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo
Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 15.- Rolado de cilindro exterior de reactor



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo

Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación

Anexo 16.- Acople al soporte al reactor



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo

Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación

Anexo 17.- Reactor con soportes instalados



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo
Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 18.- Concreto refractario



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo
Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 19.- Preparado del concreto refractario



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo
Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 20.- Vaseado del concreto en el anillo aislante



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo
Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 21 .- Aislamiento refractario instalado



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo

Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 22.- Instalación del quemador



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo

Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 23.- Junta de Hermeticidad



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo
Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 24.- Aplicación de tratamiento superficial



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo
Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación

Anexo 25.- Aplicación de pinturas epóxica



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo
Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 26.- Construcción del ciclón



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo
Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 27.- *Ciclón terminado*



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo
Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 28.- *Gasificador concluido*



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo
Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 29.- Sistema gasificador concluido en el taller



Fuente: Taller Aragundi de Portoviejo

Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 30.- Exposición del sistema de gasificación para el Ministerio de Industria y productividad



Fuente: Salón de Eventos Plaza Forum Manta

Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 31.- Exposición de Leonardo Forti



Fuente: Salón de Eventos Plaza Forum Manta.
Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 32.- Exposición de Jorge Mora



Fuente: Salón de Eventos Plaza Forum Manta.
Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación.

Anexo 33.- Foto con Ministro de Industrias y Productividad



Fuente: Salón de Eventos Plaza Forum Manta.
Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación

Anexo 34.- Exposición de proyecto al Sr. Ministro de Industrias y productividad Ing. Eduardo Egas y el Sr. Decano de la Facultad de Ingeniería ULEAM Dr. Víctor Cárdenas



Fuente: Salón de Eventos Plaza Forum Manta.
Elaborado por: Autores de Trabajo final de titulación