



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Mecánica Industrial

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: MANTENIMIENTO AUTÓNOMO DEL SISTEMA DE  
GASIFICACIÓN DE BIOMASA PARA LA UTILIZACIÓN EN EL PROCESO DE SECADO DE  
UNA TORRE DE DETERGENTE EN POLVO**

**Carlos Eduardo Carias Villela**

Asesorado por el Msc. Ing. Edwin Rodas

Guatemala, junio de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: MANTENIMIENTO AUTÓNOMO DEL SISTEMA DE GASIFICACIÓN DE BIOMASA PARA LA UTILIZACIÓN EN EL PROCESO DE SECADO DE UNA TORRE DE DETERGENTE EN POLVO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**CARLOS EDUARDO CARIAS VILLELA**  
ASESORADO POR EL MSC. ING. EDWIN RODAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, JUNIO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
EXAMINADOR	Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
EXAMINADORA	Inga. Mayra Rebeca García Soria
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: MANTENIMIENTO AUTÓNOMO DEL SISTEMA DE GASIFICACIÓN DE BIOMASA PARA LA UTILIZACIÓN EN EL PROCESO DE SECADO DE UNA TORRE DE DETERGENTE EN POLVO**

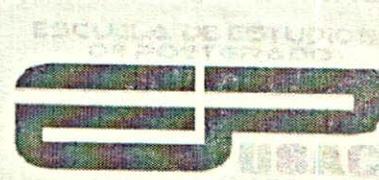
Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 20 de enero de 2014.

**Carlos Eduardo Carias Villela**



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226



AGS-MIMPP-009-2015

Guatemala, 22 de septiembre de 2016.

Director  
Juan José Peralta Dardon  
Escuela de **Ingeniería Mecánica Industrial**  
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Carlos Eduardo Carias Villela** con carné número **199713107**, quien opto la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Ingeniería en Mantenimiento**.

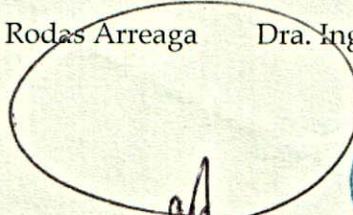
Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

"Id y Enseñad a todos"

MSc. Ing. Edwin Estuardo Rodas Arreaga  
Asesor (a)

Dra. Inga. Alba Maritza Guerrero Spinola  
Coordinadora de Área  
Gestión de Servicios



MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Requinos  
Director

Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo/la

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA

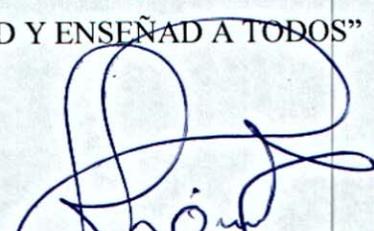


FACULTAD DE INGENIERIA

REF.DIR.EMI.065.017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación en la modalidad Estudios de Postgrado titulado **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: MANTENIMIENTO AUTÓNOMO DEL SISTEMA DE GASIFICACIÓN DE BIOMASA PARA LA UTILIZACIÓN EN EL PROCESO DE SECADO DE UNA TORRE DE DETERGENTE EN POLVO**, presentado por el estudiante universitario **Carlos Eduardo Carias Villela**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. José Francisco Gómez Rivera  
DIRECTOR a.i.

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, mayo de 2017.

/mgp

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

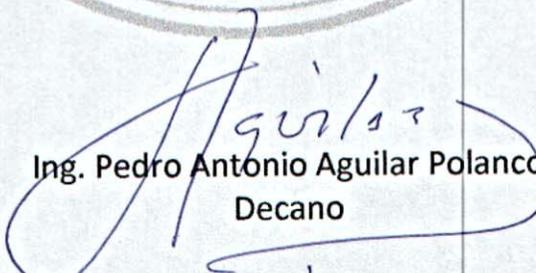


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 284.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: MANTENIMIENTO AUTÓNOMO DEL SISTEMA DE GASIFICACIÓN DE BIOMASA PARA LA UTILIZACIÓN EN EL PROCESO DE SECADO DE UNA TORRE DE DETERGENTE EN POLVO**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Eduardo Carías Villeda**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, junio de 2017

/gdech



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO .....	VII
1. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Descripción.....	1
1.2. Formulación.....	1
1.3. Delimitación.....	2
2. OBJETIVOS .....	3
2.1. General.....	3
2.2. Específicos .....	3
3. ESQUEMA DE SOLUCIÓN Y NECESIDADES A CUBRIR.....	5
4. MARCO TEÓRICO.....	7
4.1. Producción de detergente en polvo .....	7
4.1.1. Secado por atomización .....	7
4.1.2. Formulación de polvo abierta.....	8
4.1.3. Elaboración de pasta aguada .....	11
4.1.4. Impulsión .....	11
4.1.5. Atomización .....	12
4.1.6. Secado .....	12
4.1.7. Quemador.....	13
4.2. Gasificación .....	15
4.2.1. Biomasa.....	16

4.3.	Tipos de gasificadores .....	17
4.3.1.	Reactores de lecho fijo .....	18
4.3.2.	Reactores de lecho móvil .....	21
4.3.3.	Reactores de lecho fluidizado .....	22
4.4.	Mantenimiento autónomo.....	24
4.4.1.	Capacidades para descubrir anomalías .....	24
4.4.2.	Capacidades para la corrección inmediata en relación con las causas identificadas .....	25
4.4.3.	Capacidad para establecer condiciones.....	25
4.4.4.	Capacidad para controlar el mantenimiento .....	25
4.5.	Bases del mantenimiento autónomo .....	26
4.6.	Protocolo limpieza de tolvas de ciclones y toma de muestras de cenizas .....	33
4.6.1.	Procedimiento de limpieza de sonda de muestreo de alquitranes.....	34
4.7.	Protocolo de limpieza del gasificador .....	35
4.7.1.	Procedimiento de mantenimiento del tornillo de paso rápido.....	36
4.8.	Protocolo de cambio de botellas de oxígeno.....	37
4.9.	Mantenimiento eléctrico .....	37
4.10.	Implementación del programa.....	38
4.11.	Medición de progreso.....	39
5.	ÍNDICE DE CONTENIDO PROPUESTO PARA EL INFORME FINAL ...	55
6.	METODOLOGÍA .....	59
7.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	63

8.	CRONOGRAMA.....	65
9.	RECURSOS NECESARIOS.....	67
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	69

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Unidad industrial típica para el atomizador secado detergente .....	8
2.	Dibujo esquemático de un atomizador detergente el polvo .....	10
3.	Modelo de quemador de gases .....	14
4.	Tipos de gasificadores .....	17
5.	Gasificador de lecho fijo .....	21
6.	Tolva de recogida de ciclón.....	33
7.	Imagen de sonda de muestreo.....	34
8.	Detalle de atascos en línea de recogida de sólidos .....	35
9.	Detalle de unión de tornillo a motor.....	36

### TABLAS

I.	Tiempo de esquema de solución y necesidades a cubrir.....	6
II.	Ventajas y desventajas de los gasificadores de lecho fijo.....	23
III.	Cronograma de las fases .....	65
IV.	Presupuesto de proyecto. ....	67

## **GLOSARIO**

<b>Bio / masa</b>	La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química, a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica.
<b>Combustible</b>	Es cualquier material capaz de liberar energía cuando se oxida de forma violenta con desprendimiento de calor.
<b>Corrosión</b>	Se define como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno
<b>Detergente</b>	Sustancia que limpia sin producir corrosión ni desgaste.
<b>Gasificador</b>	Es un proceso termo-químico en el que la biomasa, normalmente de origen leñoso, es transformada en un gas combustible

<b>Lubricación</b>	Es el proceso o técnica empleada para reducir el rozamiento entre dos superficies que se encuentran muy próximas y en movimiento una respecto de la otra.
<b>Mantenimiento</b>	Conservación de una cosa en buen estado o en una situación determinada para evitar su degradación.
<b>Metodología</b>	Parte de la lógica que estudia los métodos.
<b>Polvo</b>	Es un nombre genérico para las partículas sólidas con un diámetro menor a los 500 micrómetros y, en forma más general, materia fina.
<b>Quemador</b>	Un quemador es un dispositivo para quemar combustible líquido, gaseoso o ambos (excepcionalmente también sólido) y producir calor generalmente mediante una llama.
<b>Secado</b>	Consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un sólido, con el fin de reducir el contenido líquido. El secado es habitualmente la etapa final de una serie de operaciones y con frecuencia, el producto que se extrae de un secador para empaquetado.
<b>VOSO</b>	Técnica de mantenimiento que significa ver, oír, sentir y oler.

# **1. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1. Descripción**

El masificador de biomasa está en el 2016 funcionado en un 70% de eficiencia, debido a la falta de disponibilidad de los equipos provocados por fallas mecánicas. Las rutinas de la gestión de mantenimiento no están definidas con un esquema autónomo; debido a que se nota falta de seguimiento continuo en las rutinas de mantenimiento, y los equipos, piezas, entre otros, se deterioran, desgastan.

Uno de los problemas que influyen en el desempeño del equipo es que los equipos están sucios, con falta de grasa, aceite, provocan ruidos extraños.

Consecuentemente, el personal operativo no cuenta con procedimiento para realizar la correcta limpieza y lubricación del equipo de acuerdo a un estándar establecido; cada operario lo realiza de manera diferente o deficiente.

Debido a que en las áreas de trabajo y mantenimiento no se cuenta con un procedimiento para mantenimiento del orden de piezas, herramienta y consumibles, además no se tienen lugares establecidos para cada tipo de piezas, herramientas y consumibles, así como falta la clasificación de consumibles. Impactan en la eficiencia de proceso de secado

## **1.2. Formulación**

- Dicho esto se plantea las preguntas

- ¿Cómo se puede garantizar que el sistema gasificador de biomasa en el proceso de secado de detergente en polvo se encuentre en condiciones óptimas y disponibles para su funcionamiento y si existe un sistema de mantenimiento que se adapte?
- ¿Cómo se debe realizar un análisis de los sistemas y procedimientos para establecer equipos críticos y rutinas de mantenimiento del sistema?
- ¿Cuál será el estado óptimo de trabajo de la máquina?
- ¿Cómo debe ser el manual de monitoreo y seguimiento de los procedimientos de mantenimiento autónomo?

### **1.3. Delimitación**

La presente investigación será en la planta de detergente, específicamente el quemador de biomasa, el tiempo de estudio será de junio de 2017 a diciembre de 2017.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. General**

Elaborar una metodología de mantenimiento autónomo al sistema gasificador de biomasa, para el proceso de secado de detergente en polvo, para mejorar la eficiencia del proceso productivo.

### **2.2. Específicos**

- Analizar el sistema de mantenimiento en base a rutinas y control (procedimientos gráfico de mantenimiento), para establecimiento del equipo y rutinas críticas en equipos de mantenimiento.
- Establecer los estados iniciales de la máquina con base al análisis de los equipo críticos y detalles del fabricante aunado a normas de seguridad.
- Establecer un manual estándares de inspecciones y monitoreo de las condiciones iniciales del equipo.



### **3. ESQUEMA DE SOLUCIÓN Y NECESIDADES A CUBRIR**

Los alcances de la presente investigación son de tipo descriptivo, debido a que el sistema se enfoca específicamente en analizar los datos técnicos de manuales operativos e investigación enfocados al quemador actual de biomasa, ubicado en planta de producción de detergente en polvo a nivel de la torre de secado, la cual busca incentivar, en la tabla I se muestra los tiempos de cumplimiento de las siguientes tareas:

- El estudio y las aplicaciones de los procedimientos, técnicas utilizadas en el sistema de mantenimiento autónomo, teniendo controles que son variables de los equipos que se pueden medir y monitorear, para evitar el fallo inesperado.
- Desarrollar estándares de limpieza y lubricación del equipo, con el fin de que todos los operadores lo hagan de la misma forma.
- El personal de la planta aprenda a identificar las posibles fallas de los equipos ubicados en su área de trabajo.
- Establecer rutinas de mantenimiento autónomo para el control de proceso.
- Describir las variables de operación (presión, temperatura, etc.)
- Detectar todos los puntos relacionados con la lubricación en los equipos

- Involucrar al personal en los programas de mantenimiento preventivo y lubricación

Tabla I. **Tiempo de esquema de solución y necesidades a cubrir**

	Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Estudio y las aplicaciones de los procedimientos, técnicas utilizadas en el sistema de mantenimiento autónomo	■	■	■	■																				
Aprendizaje de el personal de planta a identificar las posibles fallas de los equipos ubicados en su área de trabajo					■	■	■	■																
Detectar todos los puntos relacionados con la lubricación den los equipos									■	■	■	■												
Establecer rutinas de mantenimiento autónomo para el control de proceso													■	■	■	■								
desarrollar estándares de limpieza y lubricación del equipo, con el fin de que todos los operadores lo hagan en la misma forma																	■	■	■	■				
describir las variables de operación																					■	■	■	■

Fuente: elaboración propia.

## **4. MARCO TEÓRICO**

El marco teórico que se presenta a continuación pretende mostrar los conceptos básicos de cómo funciona una planta de producción de detergente en polvo y el especial en el equipo de quemador de bio masa, además de definir y ampliar los conceptos referentes a mantenimiento autónomo.

### **4.1. Producción de detergente en polvo**

El detergente se reduce a polvo proceso, está compuesto de varias operaciones básicas, tal como atomizador, desecante, y producto terminado haciendo y siendo manejado.

#### **4.1.1. Secado por atomización**

Secado por atomización es el más importante proceso usado en la manufactura de los gránulos detergentes. Es la ruta de proceso mediante la cual el componente principal de la mayoría vasta de los productos granulares es el atomizador de secado se reducen a polvo, en la figura 1, se observa una planta típica de secado de detergente en polvo.

Figura 1. **Unidad industrial típica para el atomizador secado detergente**



Fuente: Broze (1999), Handbook ok detergents Part A. Pág. 19.

El proceso de secado atomizado habilita eficiente a contracorriente, contacto de una pasta aguada atomizada detergente con gas caliente (350C), produciendo un gránulo detergente. En la figura 2 se observa una planta típica de secado de detergente en polvo

#### **4.1.2. Formulación de polvo abierta**

Conforme a lo establecido por: Broze (1999) en Handbook ok detergents Part A. Pág. 19-22.

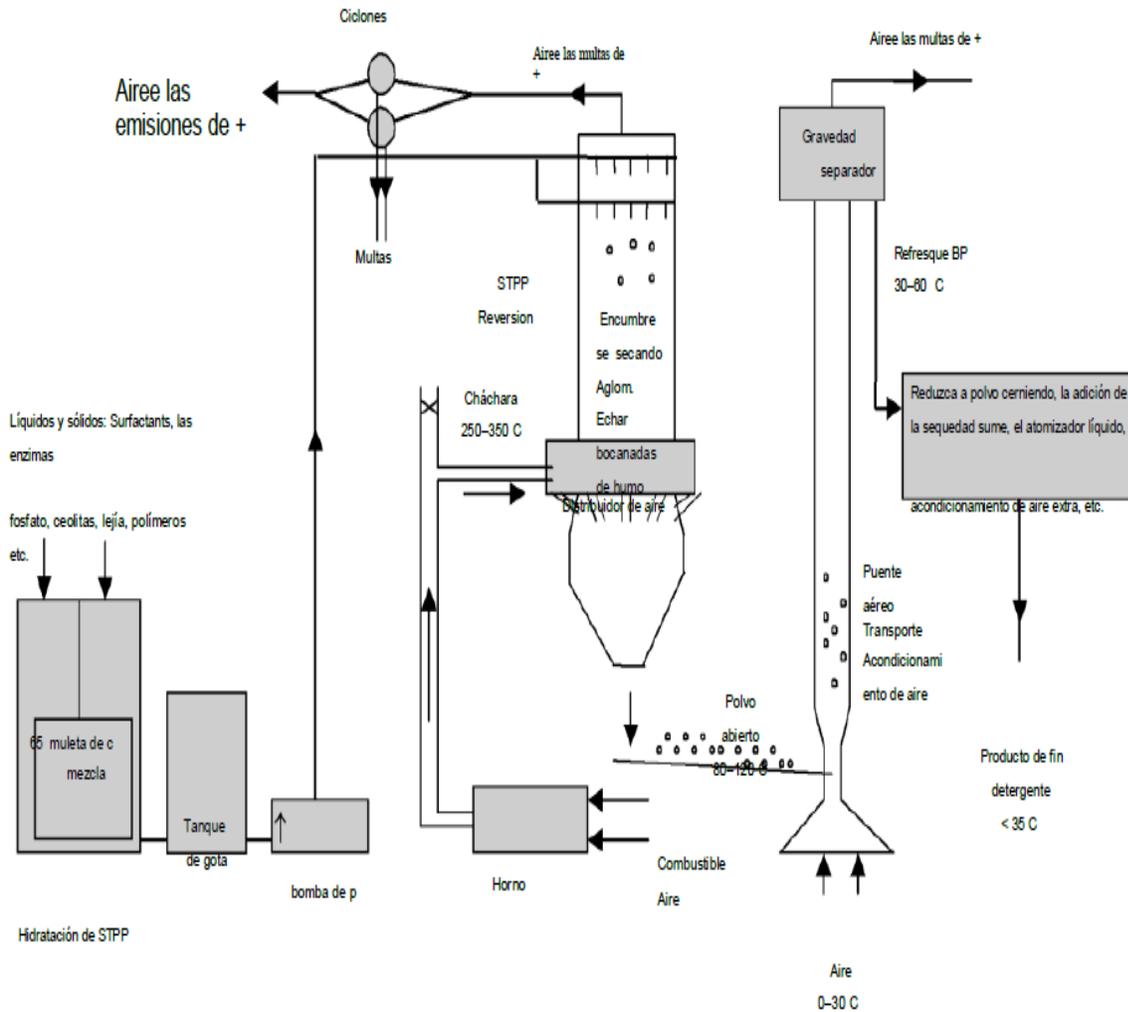
“Los gránulos secos atomizados son a menudo conocidos como el polvo abierto. La formulación detergente es muy robusta a las temperaturas de trabajo dentro dentó de la torre. La formulación típica del detergente es:

- Surfactantes (HLAS)
- Tripolifosfato de sodio (STPP)
- Sulfato de sodio
- Carbonato de sodio
- silicato de sodio
- agua

Las propiedades de la pasta aguada y el polvo abierto son dominadas por la interacción del HLAS, que forman una fase cristalina líquida con otros ingredientes dentro de la pasta aguada, las cantidades pequeñas de ciertos ingredientes menores tales como polímeros, STPP pueden tener un efecto significativo en las propiedades de pasta aguada tal como su geología, y por lo tanto, la cantidad del agua exigió en la mezcla. La estructura del polvo abierto se dicta también por la cristalización de las fases inorgánicas. Al respecto, silicato mejoran el gránulo y confiere firmeza.

El proceso desecante de atomizador eficiente, es en contracorriente, contacto de una pasta aguada atomizada detergente con aire caliente a 340C, produciendo un gránulo detergente” En la figura 2, se observa un diagrama de proceso de materiales y equipos para la fabricación de detergente en polvo.

Figura 2. Dibujo esquemático de un atomizador detergente el polvo



Fuente: Broze (1999) Handbook of detergents Part A. Pág. 22.

#### **4.1.3. Elaboración de pasta aguada**

El objetivo de este proceso es hacer una pasta aguada homogénea de composición consistente y con contenido mínimo de agua, es decir, la carga desecante posible más bajo. En el libro de E. Aullar (2001 Proceso detergente Empolvore la tecnología. Pág. 22-23 cita “El primer desafío de incorporar polvo y las materias primas líquidas son logradas por continua homogenización, conocido en la industria como una mezclador de paletas. Ambos de estos tipos de la mezcladora han sido perfeccionados por experiencia propia para ambos métodos argumentarán sus beneficios, por ejemplo, al minimizar la ventilación o en su habilidad para manejar las pastas aguadas de contenido de agua inferiores.”

La pasta aguada es transferida a un tanque de maduración de aquí, adelante mezclando ocurren y las fases de pasta aguada que permiten varias formaciones de fase y procesos de cristalización le sigue los filtros magnéticos están usados seguido por los desintegradores, que incorporan un filtro con un tamaño de orificio más pequeño que las boquillas.

#### **4.1.4. Impulsión**

A causa del contenido bajo de humedad de la pasta aguada y los tiempos de mezclar cortos, la pasta aguada puede tener los trozos inorgánicos, que bloquearía las boquillas de atomización. De acuerdo a Broze (1999) Handbook of detergents Part A. Pág. 23 “La vía típica de resolver esto es bombear la mezcla por un filtro y pasarla a través de un desintegrador para dividir cualquier agrupamiento antes de pasar a la bomba principal de pasta aguada. Para lograr los de alta presión (hasta 100 bar) requerido por atomización. En la mayor parte de los casos estos requiere que una bomba de alta presión,

típicamente una bomba de desplazamiento positivo, para mantenerles eficientemente lleno de viscosidad y airear pasta aguada”

#### **4.1.5. Atomización**

El objetivo del proceso de atomización es crear gotas bastante pequeñas para secarse en la torre desecante de atomizador. Esto se hace con varias boquillas de presión alta conocido como las boquillas de atomización.

Estas boquillas son distribuidas a unos o más niveles dentro de la torre de secado, esta tiene que ser suficientemente distante su diámetro interno pared para evitar la acumulación progresiva causada por las gotas mojadas.

#### **4.1.6. Secado**

De acuerdo a lo establecido. Con Aullar (2001) Proceso detergente Empolvore la tecnología. Pág. 22-30 “Este ocurre en la torre de sacado se atomiza la pasta húmeda que sale a través de las boquillas y se le inyecta aire caliente a 350 C a contra corriente

El diseño de torre no ha cambiado mucho a través de los años; una torre típica de secado es mostrado en la figura 3. La sección cilíndrica del diámetro está típicamente en el rango 3–10 mm. La geometría del torre alrededor de las entradas de calor es dictada por el necesite maximizar cada contacto del calor o aire caliente con el producto esta es un área importante las temperaturas de aire más altas mejoraron rendimiento térmico y llevan a los índices de producción altos. Sin embargo, si la distribución es pobre, el sobrecalentamiento del polvo ocurrir, guiando a fuegos fugitivos y subsecuentes exotérmicos potenciales en el torre. El calor o el aire caliente son generados por

un quemador y es uniformemente distribuido alrededor de la circunferencia de la torre usando un anillo de distribución de aire caliente”

#### **4.1.7. Quemador**

El tipo de quemador que se utiliza en el proceso de secado es el que se conoce como quemador de gases.

Estos quemadores se caracterizan por disponer de un sistema de alimentación forzada de aire y unos dispositivos de regulación, control y seguridad que los ponen en marcha o paran automáticamente en función de los valores de determinados parámetros.

Los quemadores de automáticos con aire presurizado están constituidos generalmente por los siguientes componentes:

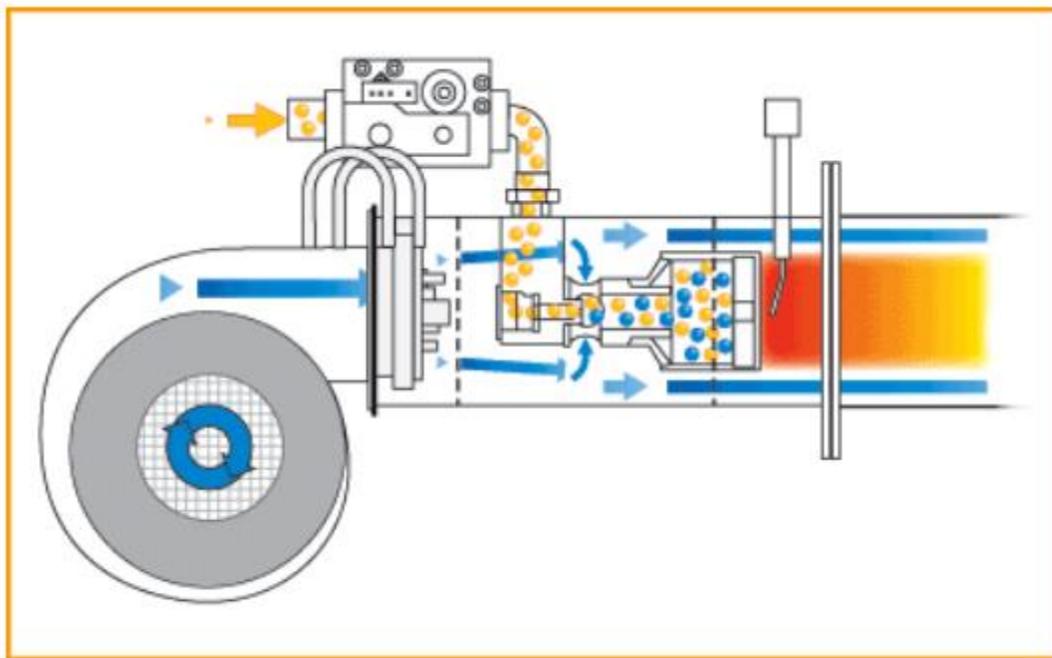
- Las conducciones de aire y de gas y una cabeza de combustión provista de dispositivos favoreciendo la mezcla de los flujos de aire y gas, alimentados separadamente.
- Un ventilador de tipo centrífugo que proporciona el aire necesario para la combustión.
- Un sistema de ignición compuesto por un transformador de alta tensión y uno o dos electrodos de encendido. Algunos quemadores disponen de un piloto de encendido.

En estos quemadores está formada por una lanza que penetran en el interior de la caja de fuegos del generador. Esta lanza puede ser única o múltiple disponiéndose en este caso de manera anular. La admisión de aire se produce a través de orificios practicados en la caja de fuegos, gracias a la

presión que le comunican los ventiladores de tiro forzado, ajenos al quemador. La ignición puede darse a través de una llama piloto o por la energía de activación en forma de chispa comunicada por electrodos.

Estos quemadores disponen, también, de mirillas o ventanas de inspección y sondas que permiten examinar la salud de la llama. En la imagen, se observa un disco con orificios que es el encargado de generar el remolino y las zonas de llama, el estabilizador de llama. En la figura 3, se aprecia un diagrama de un secador de gases típicamente utilizado para el secado del detergente en polvo

Figura 3. **Modelo de quemador de gases**



Fuente: E. Aullar (2001) Proceso detergente Empolvore la tecnología. Pág. 22-23 y 34.

## 4.2. Gasificación

Es la conversión termoquímica de la biomasa en una mezcla de gas combustible por medio de reacciones químicas propiciadas por la adición de calor y la exposición a agentes de reacción. Conforme a: Provenza (2010), en su estudio *Thermodynamic study and downdraft gasifier dimensioning for cogeneration compact system in isolated localities*, pág.2 “El proceso se lleva a cabo a temperaturas de alrededor de 800 a 1000 °C durante la gasificación se consigue la transformación de un sólido en un gas, susceptible de ser aprovechado como combustible o como materia prima para la producción de otros compuestos químicos.

Segun a la publication de Solar Energy Research Institute, U.S. Department of Energy (2002), *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine System*, pág. 25.

“Este proceso de gasificación puede ser dividido en dos etapas, las cuales se pueden realizar de forma continua en un solo gasificador o se pueden realizar de forma separada cada una en un equipo; la primera etapa es la degradación de la biomasa (pirolisis), la segunda etapa es la conversión termoquímica del carbonizado obtenido de la primera etapa bajo la influencia de agentes de reacción. Cabe destacar que al emplear el producto de la primera etapa como materia prima en la segunda etapa, las variables consideradas en la primera etapa tendrán influencia en los productos obtenidos en la segunda etapa.”

De acuerdo al agente de reacción empleado, puede establecerse una primera clasificación de los procesos de gasificación, con aire la reacción de gasificación da lugar a una reacción exotérmica, donde se obtiene un gas de

bajo poder calorífico. Con oxígeno se produce un gas de poder calorífico medio, el cual tiene aplicaciones de carácter energético y puede utilizarse como gas de síntesis para la obtención de metanol. Con vapor de agua se produce un gas enriquecido en H<sub>2</sub> y CO que se puede utilizar como gas de síntesis para diversos compuestos como amoníaco, metanol, gasolinas, etc. Con hidrógeno se produce un gas de alto contenido energético que por tener altos porcentajes de metano, puede utilizarse como sustituto del gas natural.”

#### **4.2.1. Biomasa**

Provenza (2010), en su estudio *Thermodynamic study and downdraft gasifier dimensioning for cogeneration compact system in isolated localities*, pág. 2 “La biomasa es un tipo de energía renovable que puede reemplazar el uso de algunos combustibles fósiles como el carbón mineral y el gas natural.

Biomasa es principalmente compuesta de carbón, oxígeno, hidrógeno y pequeñas fracciones de elementos minerales como potasio, fósforo, sulfuro y otras. Los componentes principales son normalmente conocidos como celulosa y hemicelulosa.

Cuando la biomasa es quemada, el carbono reacciona con el oxígeno produciendo bióxido de carbono, agua y calor. Agua y bióxido de carbono en la atmósfera más energía solar y algunos compuestos inorgánicos, estos son absorbidos por las plantas verdes procesándolos, produciendo carbohidratos que posteriormente son convertidos en madera y tejido vegetal; en otras palabras, nueva biomasa es creada según la pública. Esto implica que la combustión de biomasa posee una producción de CO<sub>2</sub> neutra. Actualmente, la contribución de la biomasa en la producción total de energía del mundo es aproximadamente el 12 %”.

### 4.3. Tipos de gasificadores

Conforme a Solar Energy Research Institute, U.S. Department of Energy (2002), Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems, pág. 23.

“Existen diferentes configuraciones de reactores que definen distintos modos de contacto entre la biomasa y el agente de reacción, lo cual se ve reflejado en la distribución de productos obtenidos de cada equipo. De acuerdo a la disposición del equipo existen diversos tipos de gasificadores principalmente de lecho fijo, lecho móvil y lecho fluidizado. De la misma forma de acuerdo al tipo de calentamiento del equipo se puede clasificar en equipos de calentamiento directo e indirecto”. En la figura 4, se observa los diferentes tipos de gasificadores.

Figura 4. Tipos de gasificadores



Fuente: Estrada, C. (2004). Gasificación de biomasa para generación de potencia, pág. 2.

#### **4.3.1. Reactores de lecho fijo**

De acuerdo al estudio de: Pérez (2009). Biomass gasification process: theoretical and experimental studies a review. Pág. 3 “Son de construcción simple, apropiados para pequeña escala y generalmente operan con alta conversión de carbono, largos tiempos de residencia, baja velocidad del gas y bajo transporte de cenizas Asimismo, los gasificadores de lecho fijo pueden operar satisfactoriamente con biomasa que tenga un tamaño uniforme en sus partículas y un contenido de humedad y cenizas de menos de 20% y 5% respectivamente respecto al sentido de flujo del gas y del sólido a gasificar, estos equipos se clasifican en dos grandes grupos: gasificadores en contracorriente (normalmente llamados updraft) y gasificadores en corriente paralela (normalmente llamados downdraft).”

Conforme a García (2001). Obtención de gas combustible a partir de la gasificación de biomasa en un reactor de lecho fijo. “En el gasificador en contracorriente (updraft), la alimentación de la biomasa se hace desde la parte superior del equipo. La alimentación del agente de reacción se hace por la parte inferior del equipo. Esto implica que el sólido y el gas se mueven en el sentido opuesto. El gas obtenido del proceso se evacua por la parte superior del reactor. Se pueden identificar tres zonas (ver figura 6), las cuales ocurren de forma secuencial.”

Según García (2001). Obtención de gas combustible, a partir de la gasificación de biomasa en un reactor de lecho fijo, pág. 22. “La primera zona es denominada zona de secado, en donde se produce la eliminación de la humedad contenida en la biomasa, debido a la disposición del equipo el agua liberada sale del sistema sin oportunidad de reaccionar.

La segunda zona es la zona de pirolisis, en la cual se inicia la descomposición térmica de la biomasa a temperaturas inferiores a 550 °C, las reacciones de descomposición de la biomasa no son lo bastante rápidas como para alcanzar condiciones de equilibrio, es decir, en el gas pueden existir moléculas orgánicas producidas por fractura de otras mayores, que reaccionan con otros componentes del gas a temperaturas superiores o simplemente se fragmentan nuevamente, en el tiempo de permanencia en la zona, estas moléculas no sufren grados de transformación notable y salen a la zona de secado e incluso al exterior sin sufrir mayores transformaciones.”

Según Giraldo G. (2000). Planta de cogeneración mediante gasificación debió masa residual, pág. 18 “Estos compuestos son los denominados alquitranes, los cuales son una mezcla de compuestos orgánicos, se han identificado alrededor de 230 compuestos.

Conforme a García (2001). Obtención de gas combustible a partir de la gasificación de biomasa en un reactor de lecho fijo, pág. 24.

“La tercera zona es la zona de gasificación, la cual se encuentra a una temperatura superior a 600 °C. En esta zona se producen, las reacciones de oxidación entre la fase solida proveniente de la pirolisis (carbonizado) y el oxígeno contenido en el agente de reacción (aire, oxígeno puro, vapor de agua o mezcla de gases), las cuales son de naturaleza exotérmica; asimismo se producen las reacciones de reducción entre los alquitranes y gases presentes.”

Como el autor García (2001). Obtención de gas combustible a partir de la gasificación de biomasa en un reactor de lecho fijo, pág. 26 “En el gasificadores de corrientes paralelas (downdraft), la alimentación de la biomasa se hace desde la parte superior del equipo, esto implica que el sólido y el gas se

mueven en el mismo sentido, normalmente de forma descendente. La alimentación del agente de reacción se hace por la parte superior del equipo o directamente en la zona de gasificación, evacuándose el gas obtenido por la parte inferior del reactor.

Se pueden idéntica tres zonas: secado, pirolisis y gasificación (ver figura-6), las cuales ocurren de forma secuencial.

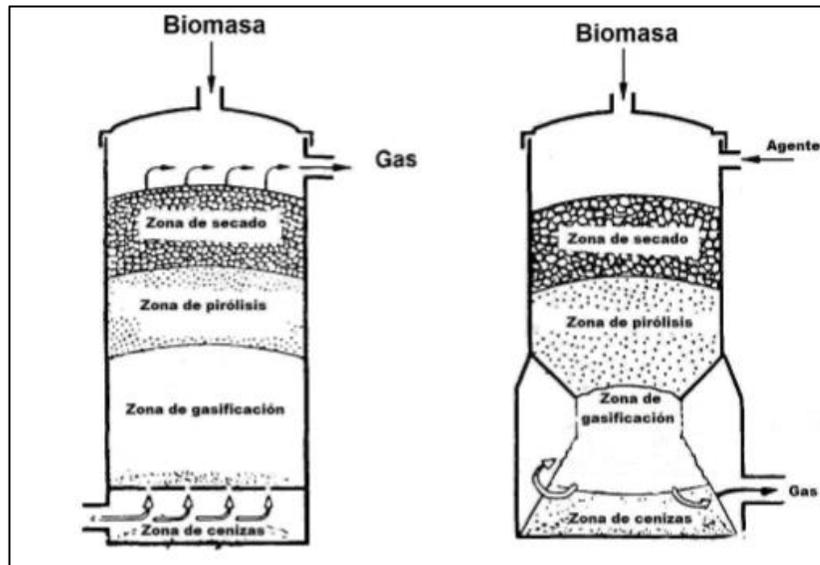
La gran diferencia conceptual respecto al gasificador en contracorriente, es que en corriente paralela los gases liberados en la etapa de pirolisis han de pasar necesariamente, por la zona de alta temperatura (zona de gasificación), lo que propicia las reacciones de descomposición de los alquitranes.”

De Acuerdo a Solar Energy Research Institute, U.S. Department of Energy (2002), Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems, pág. 28.

La consecuencia global es que los gases tienden a salir del sistema a menor temperatura, pero con una composición tal que su poder calórico es superior, debido a la fracción adicional de gases combustibles obtenidos como producto de la descomposición de los alquitranes.

En la figura 6, se ilustran las diferentes zonas presentes en un reactor de lecho fijo, así como la disposición presente para la alimentación del agente de reacción y la evacuación del gas obtenido para los equipos en contracorriente (updraft) y en corriente directa (downdraft). De la misma, en la tabla II se ilustran las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de gasificadores de lecho fijo” esto se observa en la figura 5.

Figura 5. Gasificador de lecho fijo



Fuente: Biomass gasification process: theoretical and experimental studies a review.

#### 4.3.2. Reactores de lecho móvil

Como el estudio publicado de Giraldo G. (2000). Planta de cogeneración mediante gasificación de biomasa residual. Pág. 37 “Los reactores de lecho móvil, como el horno rotatorio, ofrecen algunas ventajas como tiempos cortos para el procesamiento en comparación con los reactores de lecho fijo y el procesamiento de materias primas con un rango amplio de propiedades físico-químicas.

El funcionamiento de este tipo de reactor presenta similitudes con los gasificadores de lecho móvil, sobre todo por lo que respecta a la parte mecánica que facilita el desplazamiento de los sólidos lo que hace más fácil la operación en continuo del sistema.

Cabe destacar que en un horno rotatorio el gas puede circular en corrientes opuestas o en corrientes paralelas con el sólido, teniendo cada caso ventajas y desventajas similares a las presentadas por los reactores de lecho fijo, tal y como se enuncia en la tabla I.”

### **4.3.3. Reactores de lecho fluidizado**

Según Izaguirre y Erazo (2005). Aspectos importantes en La distribución de temperatura en el lecho, pág. 68 “Los reactores de lecho fluidizado presentan elevadas velocidades de reacción y buenas condiciones de contacto entre el agente de reacción y el material carbonizado, lo cual hace que los perfiles de temperatura y concentración sean uniformes a lo largo del reactor, permitiendo un control muy preciso de las condiciones de operación; las velocidades de calentamiento de la materia prima en este tipo de reactores son altas, lo que incentiva la formación de la fase volátil es expuesto se mantiene en niveles casi constantes. Algunas mediciones técnicas como la recirculación del material sólido ayudan a mejorar los grados de gasificación del carbonizado. En general, no se puede distinguir zonas más o menos diferenciadas en las que se lleven a cabo los distintos procesos de secado, pirolisis y gasificación; cada partícula es sometida de forma instantánea a estos procesos en cualquier punto del gasificadores tras su entrada en él, lo cual origina que las cenizas sean arrastradas por el gas obtenido.

La complejidad de los equipos se incrementa, produciéndose mayor desgaste, debido a las mayores velocidades de los sólidos, aunque el uso de estos equipos reduce la tendencia de las partículas a aglomerarse permitiendo adicionar reactantes gaseosos a diferentes niveles”.

Conforme a Giraldo G. (2000) Planta de cogeneración mediante gasificación de biomasa residual. Pág. 70 “Es de destacar que el buen contacto solido-gas, la alta capacidad especifica y el buen control de las condiciones de operación, se ven reflejados en un contenido medio de alquitranes en el gas obtenido y como principal desventaja se presenta un importante arrastre de sólidos según lo expuesto “ .

La información de ventajas y desventajas se consolida en la tabla II.

Tabla II. **Ventajas y desventajas de los gasificadores de lecho fijo**

Tipo de gasificador	Ventaja	Desventaja
Corrientes opuestas	Pequeña caída de presión	Sensibilidad a los alquitranes y contenido de humedad de la biomasa
	Alta eficiencia de conversión	Alta producción de alquitranes
	Bajos niveles de partículas en el gas	Potencial formación de canales
	Alta eficiencia térmica	Potencial formación de puentes
Corrientes paralelas	Bajo contenido de alquitranes en el gas obtenido	Sensibilidad al contenido de ceniza de la biomasa
	Adaptación flexible de producción de gas al tipo de biomasa	Potencial formación de puentes
	Baja sensibilidad a los alquitranes	

Fuente; del val gento, (2000) Planta de cogeneración mediante gasificación de biomasa residual.

#### **4.4. Mantenimiento autónomo**

De acuerdo a mantenimiento autónomo (2016) Texto recuperado de [www.ceroaverias.com/centroTPM/.../mantenimientoautonomotpm.htm](http://www.ceroaverias.com/centroTPM/.../mantenimientoautonomotpm.htm) “El Mantenimiento autónomo está compuesto por un conjunto de actividades que se realizan diariamente por todos los trabajadores en los equipos que operan, incluyendo inspección, lubricación, limpieza, intervenciones menores, cambio de herramientas y piezas, estudiando posibles mejoras, analizando y solucionando problemas del equipo y acciones que conduzcan a mantener el equipo en las mejores condiciones de funcionamiento. Estas actividades se deben realizar siguiendo estándares previamente preparados con la colaboración de los propios operarios. Los operarios deben ser entrenados y deben contar con los conocimientos necesarios para dominar el equipo que opera.”

Una de las principales características del(TPM) es el involucramiento y participación directa de la función de producción en actividades de mantenimiento.

##### **4.4.1. Capacidades para descubrir anomalías**

Como el autor Navarro (2010), Implementación del mantenimiento autónomo en la planta de tratamiento de aguas residuales, pág 15 “Se crea una visión exacta para descubrir las anomalías. No se pretende que el operario solamente detecte paradas del equipo o problemas con la calidad del producto. Es necesario desarrollar verdaderas competencias para descubrir tempranamente las posibles causas de un problema en el proceso. Se trata de crear una capacidad para prevenir anomalías futuras.

#### **4.4.2. Capacidades para la corrección inmediata en relación con las causas identificadas**

Con estas correcciones el equipo puede llevarse a las condiciones de funcionamiento original o normal. Por lo tanto, el operario debe conocer y contar con las habilidades para tomar decisiones adecuadas, informando a los niveles superiores o a otros departamentos involucrados en la prevención del problema

#### **4.4.3. Capacidad para establecer condiciones**

Saber definir cuantitativamente el criterio para juzgar una situación normal de una anormal. Cuando se desarrolla la capacidad para descubrir anomalías, estas dependen de las condiciones y situaciones específicas, por lo tanto, el operario debe tener la capacidad o contar con criterios para juzgar el equipo para considerar si hay algo anormal o normal. No se puede contar con un trabajo exacto medido en cantidades exactas para decidir la situación del equipo. Es necesario crear habilidades para juzgar hasta donde se puede llegar a producir fallos potenciales en el equipo.

#### **4.4.4. Capacidad para controlar el mantenimiento**

Se trata de que el operario pueda cumplir en forma exacta las reglas establecidas. No solamente detectar los fallos, corregirlos o prevenirlos. Se trata de respetar rigurosamente las reglas para conservar impecable el equipo.

Creación de un lugar de trabajo grato y estimulante.

El mantenimiento autónomo permite que el trabajo se realice en ambientes seguros, libres de ruido, contaminación y con los elementos de trabajo necesarios. El orden en el área, la ubicación adecuada de las herramientas, medios de seguridad y materiales de trabajo, traen como consecuencia la eliminación de esfuerzos in-necesarios por parte del operario, menores desplazamientos con cargas pesadas, reducir los riesgos potenciales de accidente y una mayor comprensión sobre las causas potenciales de accidentes y averías en los equipos.

El mantenimiento autónomo estimula el empleo de estándares, hojas de verificación y evaluaciones permanentes sobre el estado del sitio de trabajo. Estas prácticas de trabajo crean en el personal operativo una actitud de respeto hacia los procedimientos, ya que ellos comprenden su utilidad y la necesidad de utilizarlos y mejorarlos. Estos beneficios son apreciados por el operario y estos deben hacer un esfuerzo para su conservación.

El contenido humano del mantenimiento autónomo lo convierte en una estrategia poderosa de transformación continua de empresa. Sirve para adaptar permanentemente a la organización hacia las nuevas exigencias del mercado y para crear capacidades competitivas centradas en el conocimiento que las personas poseen sobre sus procesos. Otro aspecto a destacar es la creación de un trabajo disciplinado y respetuoso de las normas y procedimientos”

#### **4.5. Bases del mantenimiento autónomo**

El mantenimiento autónomo se implementa en tres fases:

- Primera fase
  - Reunir al departamento de producción y de mantenimiento para seguir una meta común.
  
- Segunda fase
  - Ayudar a los operadores a conocer el equipo, siendo este capaz de:
    - Detectar fallas y realizar mejoras.
    - lubricación correcta y su importancia
    - limpieza adecuada
    - Restaurar los fallos
  
- Tercera fase, los pasos a seguir para establecer el mantenimiento autónomo son:
  - Limpieza inicial de equipo
  - Eliminar fuentes de contaminación y áreas inaccesibles.
  - Creación de estándares de limpieza y lubricación
  - Inspección general.
  - Inspección autónoma
  - Organización y orden del lugar de trabajo.
  - Programa de mantenimiento totalmente implantado.

Conforme a Navarro (2010), Implementación del mantenimiento autónomo en la planta de tratamiento de aguas residuales, pág 20. Los siete pasos del mantenimiento autónomo son los siguientes:

- Llevar a cabo una limpieza e inspección inicial.
- Eliminar las fuentes de contaminación y áreas inaccesibles.
- Establecer estándares provisionales de limpieza, inspección, lubricación

- Ajustes.
- Realizar un entrenamiento en inspección y desarrollar procedimientos de inspección general.
- Conducir inspecciones generales regularmente y mejorar los procedimientos de inspección.
- Mejorar la administración y el control del lugar de trabajo.
- Participar en actividades avanzadas de mejora.
  
- Pasó 1: Realizar limpieza inicial

En este primer paso, los grupos ponen en práctica el lema "limpieza es inspección" y lo confirman con su propia experiencia.

- La limpieza inicial ayuda a descubrir anomalías
- Buscar la fuente de contaminación.
  
- Pasó 2: Eliminar fuentes de contaminación y áreas inaccesibles
  - En este paso, se hacen mejoras para eliminar la contaminación y fugas de lubricante, aire o aceite.
    - Determinar las fuentes de contaminación.
    - Mejorar las áreas inaccesibles para la limpieza e inspección.
    - Satisfacción y confianza por lo conseguido.
  
- Puntos de mejora
  - En la siguiente lista aparecen los puntos clave de la mejora:
    - Facilitar la limpieza del equipo.
    - Minimizar la dispersión de suciedad, óxido y polvo.

- Eliminar la contaminación en la fuente.
  - Minimizar la dispersión de aceite de corte y desechos.
  - Acelerar el flujo de aceite de corte, para evitar la acumulación de recortes.
  
- Reducir el área a través de la cual fluye el lubricante de corte.
  - Facilitar la inspección del equipo.
  - Instalar ventanas de inspección.
  - Apretar las partes sueltas del equipo.
  - Eliminar la necesidad de bandejas de aceite.
  - Instalar más indicadores de aceite.
  - Cambiar la localización de las válvulas (entradas) de lubricación.
  - Cambiar los métodos de lubricación.
  - Racionalizar la distribución de cables.
  - Cambiar la distribución de tubos.
  - Facilitar el cambio de partes del equipo.
  
- Pasó 3: Creación y mantenimiento (provisional) de los estándares de limpieza y lubricación.

En este paso, los miembros del grupo usan sus experiencias en los dos primeros pasos para determinar las condiciones óptimas de limpieza y lubricación del equipo y esbozan provisionalmente las tareas estándar para su mantenimiento. Los estándares especifican qué se debe hacer, dónde, la razón, procedimientos, cuándo y tiempos empleados. Para hacer todo esto, se debe decidir qué partes del equipo necesitan limpieza diaria, qué procedimientos hay que utilizar, cómo inspeccionar el equipo, cómo juzgar anomalías, etc. Con

estos estándares se ayuda a los grupos a realizar las tareas de limpieza con mayor confianza y habilidad.

- Los miembros del grupo deben crear sus propios estándares.
- Puntos clave para la creación de estándares de lubricación
- Pasó 4: Inspección general del equipo

Los operarios que comprenden su equipo deben ser instruidos en los aspectos comunes de los diferentes equipos, así como en las peculiaridades de cada uno.

- Comprensión de la tecnología básica.
- Procedimiento para el paso 4.
- Llevar a cabo el pasó 4 tal como se indica:
  - Entrenamiento básico (clases para líderes).
  - Formación práctica (los líderes enseñan a los miembros del grupo).
  - Los operarios ponen en práctica lo aprendido para encontrar anomalías.
  - Promover el control visual.
- Pasó 5: Realizar inspecciones generales de los procesos
  - En el paso 5 son dos los objetivos básicos:
    - Actualizar los estándares realizados en los pasos 3 y 4, y realizar las mejoras necesarias para que dichos estándares

se puedan realizar en el tiempo definido como objetivo o meta (por ejemplo, no más de 10 diarias y 20 semanales).

- Dominar la instalación de forma que se consiga mejorar la calidad del producto. Algunos llaman al paso 5 mantenimientos de calidad.
- En este paso las actividades son las siguientes:
- Revisar el concepto, método y tiempos estándares para limpieza, inspección y lubricación.
- Consultar con el departamento de mantenimiento sobre los puntos de inspección y dejar bien especificada la asignación de tareas para evitar omisiones.
- Ver si las tareas de inspección pueden o no ser realizadas dentro del horario de trabajo, realizar mejoras que ahorren tiempo si es necesario.
- Ver si puede elevarse el nivel de los conocimientos necesarios de los operarios para la inspección.
- Asegurarse de que la inspección autónoma se lleva a cabo correctamente por todos los operarios.

Como conclusión, no importa lo bien que se hagan las mejoras individuales y que se establezcan las condiciones para cero averías y cero defectos, si no se lleva a cabo un programa diario de verificación, lubricación e inspecciones de precisión, las averías y defectos volverán a aparecer. En otras palabras, la permanencia de las mejoras está determinada por el grado de cumplimiento de la inspección autónoma. Es por esto que no se puede permitir el incumplimiento de la inspección autónoma y especialmente el incumplimiento de la necesidad de formar operarios que entiendan su equipo.

- Pasó 6: Organización y orden del lugar de trabajo

Trabajadores y empresa pueden lograr las condiciones adecuadas, relativas al ambiente de trabajo, para producir con calidad los resultados de dicho trabajo (productos o servicios que suplen).

El ambiente de trabajo es responsabilidad de la empresa, que debe facilitar los medios para lograr espacios laborales seguros y confortables, pero también lo es de los empleados, quienes con sus hábitos pueden hacer la diferencia en un ambiente de trabajo en apariencia favorable y uno realmente óptimo que haga posible obtener, al mismo tiempo, satisfacción personal y productos o servicios de excelente calidad para los clientes.

- Pasó 7: Programa de mantenimiento autónomo totalmente implantado

Analizar sistemáticamente los datos para mejorar los equipos, y elevar la fiabilidad, seguridad, mantenibilidad, calidad y operatividad de los procesos.

Priorizar las mejoras de los equipos: ampliar su período de vida y los intervalos de revisión, usando datos firmes para identificar sus habilidades.”

- Mantenimiento Autónomo de planta de gasificación

De acuerdo al estudio de Fernández, (2004) el autor considera que dentro del mantenimiento de la planta se incluirán los siguientes apartados:

- Protocolo Limpieza de tolvas de ciclones y toma de muestras de cenizas
- Procedimiento de limpieza de sonda de muestreo de alquitranes
- Protocolo de limpieza del gasificador

- Procedimiento de mantenimiento del tornillo de paso rápido
- Protocolo de cambio de botellas de oxígeno
- Mantenimiento eléctrico de la planta

#### **4.6. Protocolo limpieza de tolvas de ciclones y toma de muestras de cenizas**

Una vez la prueba de gasificación haya finalizado Suzuki, (1995) TPM en Industrias de Proceso, pág. 58. “y la temperatura de la tolva de los ciclones es la adecuada para poder trabajar sobre ellas, se lleva a cabo un procedimiento de limpieza de ciclones y toma de muestras de las cenizas recogidas en dichas tolvas “ en la figura 6 se observa una tolva de ciclón de bio masa.

Figura 6. Tolva de recogida de ciclón



Fuente: Fernández, (2004) Operación de plantas Industriales de Biomasa

Según Fernández, (2004) Operación de plantas Industriales de Biomasa “considera que los pasos a seguir son los siguientes:

- Colocación de un elemento protector de las cenizas volantes en torno a la brida ciega que cierra el paso de las cenizas en la tolva.
- Proceder al desenroscado de los tornillos de la brida
- Recogida de cenizas

#### **4.6.1. Procedimiento de limpieza de sonda de muestreo de alquitranes**

Tras la operación de muestreo y parada la planta se procesó a la limpieza de la línea de muestreo de alquitranes. Las partes que quedan más afectadas tras la operación son la propia sonda de muestro” en la figura 7 se observa un sonda del muestreo de cenizas

Figura 7. **Imagen de sonda de muestreo**



Fuente: Fernández, (2004) Operación de plantas Industriales de Biomasa.

#### **4.7. Protocolo de limpieza del gasificador**

En conformidad a Revuelta, (2005), Biomasa y gasificación, recuperado de la base de datos “él considera lo siguiente. Tras la finalización de cada corrida habrá que proceder a la limpieza y puesta a punto del gasificador para sucesivas operaciones. Para ello es necesario que la temperatura del gasificador alcance su temperatura normal en estado de parada”. Se aprecia en la figura 8 los atascos típicos de la recogida de sólidos.

Figura 8. **Detalle de atascos en línea de recogida de sólidos**



Fuente: Fernández, (2004) Operación de plantas Industriales de Biomasa.

Según Fonseca. (2003). Estado del arte del uso del gas en gasificación termoquímica de biomasa “No obstante, la condensación de alquitranes en el interior de los conductos de la instalación, provoca el aumento de la pérdida de carga este aumento de presión.

Desde el punto de vista operacional, resulta para el operario bastante complejo el proceso de desatracamiento de las líneas de operación sin conocer exactamente el punto de origen desatasco. De esta manera resulta más sencillo la forma de encontrar el punto de obstrucción.

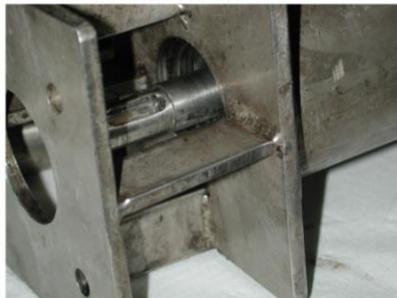
#### **4.7.1. Procedimiento de mantenimiento del tornillo de paso rápido**

El tornillo de paso rápido pueden ser unos de los equipos de la instalación amenazados por uno de los problemas más comunes de la instalación: la estanqueidad.

Cada cierto tiempo es aconsejable el desmontaje del tornillo de paso rápido para satisfacer su mantenimiento. Entre las zonas del tornillo más afectadas destacan la junta polimérica de estanqueidad y el propio tornillo. Este último se vería afectado por el desgaste que provoca el rozamiento con la biomasa”.

Se puede apreciar en la figura 9 una unión de tornillo motor.

Figura 9. **Detalle de unión de tornillo a motor**



Fuente: Fernández, (2004) Operación de plantas Industriales de Biomasa.

#### **4.8. Protocolo de cambio de botellas de oxígeno**

De acuerdo Tabares, (1998) Procesos termoquímicos para la obtención de energía a partir de la biomasa residual Operación de plantas Industriales de Biomasa “Para proceder al cambio de botellas de oxígeno se deben llevar a cabo los siguientes pasos:

- Marcar las botellas vacías y tirar de la palanca de inversión
- Dejar la válvula de salida abierta, con el fin de asegurar la continuidad del suministro de gas
- Cerrar las válvulas de uso válvula de gas y los grifos de las botellas
- Abrir la válvula de purga y después volver a cerrar
- Desmontar los flexibles del lado de las botellas y controlar el estado de racores, juntas, así como evitar la presencia de grasas y aceites
- Reemplazar las botellas, fijar las cadenas de retención.
- Volver a montar las botellas después de haber cambiado las juntas

#### **4.9. Mantenimiento eléctrico**

Para el correcto funcionamiento es indispensable una fuente de alimentación segura de tensión y el mantenimiento de la misma.

Como medidas preventivas para llevar a cabo este mantenimiento se sugiere:

- Comprobación de conexión de PLC
  - Una mala lectura puede ocasionar
  - Lectura errónea de datos
  - Mal funcionamiento

- Mal funcionamiento de controles de P&D
- Comprobación de correcto cableado de instrumentos: termopares, indicadores de presión, caudalímetros, etc.
- Comprobación de conexión al cuadro eléctrico y protección mecánica del mismo
- Correcta conexión de disyuntor magnéticos
- Conexión adecuada de las bornas de motores de la planta
- Revisión de enclavamientos de instalación
- Revisión de la correcta instalación del variador de frecuencia”

#### **4.10. Implementación del Programa**

Según Pérez, (2010), Thermodynamic study and downdraft gasifier dimensioning for cogeneration compact system in isolated localities pag 1-7 “Deberá establecerse y documentarse un proceso de etapas acertadas para apoyar al equipo basado en la línea a mantener y continuamente mejorar las condiciones del equipo y del lugar de trabajo. El proceso deberá incluir lo siguiente:

- Identificación de equipos de trabajo naturales

Los equipos naturales son pequeños grupos compuestos de operadores y mecánicos responsables de la operación y el mantenimiento de una línea en particular, un grupo de líneas o una tecnología común.

Los equipos de trabajo basados en el equipo (maquinaria) están compuestos por operadores y mecánicos con habilidades especiales a través de las diferentes líneas. Cumplen con orientar los problemas que surgen en el

área de tecnología que ellos manejan (p.e. equipo de la llenadora, equipos de las etiquetadoras, etc.). Los equipos basados en el equipo deberán instalarse cuando la maquinaria existe a través de muchas líneas.”

Como lo expone Aullar y Smith, (2000). Proceso detergente Empolvore la tecnología, 117 (2001), pág. 3–39 “Durante las inspecciones y actividades del mantenimiento planeado, utilice las etiquetas de problemas para identificar y corregir partes y componentes defectuosos. Las etiquetas de problemas primero se introducen durante la limpieza inicial y se usan progresivamente en el momento en el que se identifica algún problema durante una inspección. Si un miembro del equipo identifica un problema, deberá fijarse una etiqueta en el equipo. Las etiquetas de problemas describen lo siguiente:

- Deberá establecerse la prioridad de las acciones correctivas, con base en el impacto en el negocio y darles seguimiento al cierre, utilizando una lista de problemas y defectos del equipo, en cada paso.

La lista de problemas y defectos del equipo ayuda a que el equipo identifique y actúe en los problemas del equipo. Agrupa problemas y defectos en cuatro clasificaciones: áreas de defecto, preguntas, fuentes de contaminación y áreas inaccesibles. Deberá completarse y actualizarse continuamente una lista de problemas y defectos del equipo por cada pieza del equipo.”

#### **4.11. Medición de progreso**

El progreso se mediará de acuerdo a Fernández, (2004) Operación de plantas Industriales de Biomasa, pág 10-15.

- “El progreso del mantenimiento autónomo deberá monitorearse a nivel de planta, a través autoevaluaciones del área de trabajo y el seguimiento del KPI del mantenimiento autónomo.

Según el estándar, deberá darse seguimiento a los siguientes KPIs. (Véase en el estándar la lista de indicadores del AM).

- Adherencia al programa de las juntas de grupos pequeños (%)
  - Líneas con trabajo estándar (limpieza, inspección y lubricación) (%)
  - Número de etiquetas de problemas generadas (#)
  - Etiquetas de problemas resueltas (%)
  - Etiquetas de problemas resueltas por operadores (%)”
- 
- Etapa 1: establecer la condición básica del equipo

Según mantenimiento autónomo, Texto recuperado de [www.ceroaverias.com/centroTPM/.../mantenimientoautonomotpm.htm](http://www.ceroaverias.com/centroTPM/.../mantenimientoautonomotpm.htm) en 2016. “Antes de iniciar el entrenamiento del operador en el mantenimiento autónomo, los operadores deberán:

- Ser capaces de operar su equipo específico, como se resumió en el estándar de habilidades del personal.
- Estar entrenados en técnicas de resolución de problemas básicos, como se resumió en el estándar de mejora continua (los 5 porqués, diagrama de espina de pescado, etc.).

- Completar la limpieza profunda inicial (Paso 1):
  - Entrene a los operadores para asegurarse que comprenden su rol en la mejora de la condición básica del equipo.

El entrenamiento (limpieza inicial y en curso) es el primer paso para asegurar que los operadores comprenden su rol para mejorar la condición básica del equipo. Las mejoras se identifican y los problemas se anticipan, a través de la limpieza e inspección.

La limpieza inicial es la “primera” vez que un equipo de trabajo limpia un equipo/una línea. La limpieza no es de la superficie. Es limpiar el equipo de forma detallada, que permita a los miembros inspeccionar a detalle el equipo y sus partes. Cuando se haya terminado este entrenamiento, los miembros del equipo deberán ser capaces de distinguir rápidamente una operación anormal (p.e. olor a quemado, ruido, vibración y temperatura excesivas).

Deberá introducirse el concepto de limpieza e inspección, revisando los problemas y defectos del equipo comúnmente encontrados para cada parte del mismo. También deberá explicarse el impacto de negocio del problema o defecto.

Una vez que se hayan revisado los problemas y defectos, se deberá introducir a los equipos naturales a las etiquetas de problemas y la lista de problemas y defectos del equipo, descritas con anterioridad.

- Limpie el equipo en forma detallada que permita a los miembros del equipo inspeccionarlo de cerca, así como sus partes.”

- Condición del equipo (limpieza inicial)
- La limpieza inicial deberá llevarse a cabo para todo el equipo. Esto incluye al equipo principal, equipo auxiliar, sistemas de lubricación y fuentes de entrada de energía. La evidencia de la limpieza inicial puede observarse a nivel de piso de la planta, y específicamente:
  - No se ve polvo, suciedad y lubricantes ni en la superficie ni debajo del equipo.
  - Todas las cubiertas y protecciones están en su lugar y firmemente aseguradas.
  - No se observa la falta de partes o algunas flojas (pernos, cubiertas, protecciones, tubos, etc.).
  - No hay orificios descubiertos o espacios en placas y componentes.
  - No hay cables expuestos o partes móviles que provoquen operaciones inseguras o defectuosas.
  - No se observan componentes de productos, partes de máquinas, herramientas o suministros de limpieza entre las partes o componentes del equipo.
  - El sistema de lubricación está adherido con seguridad al equipo/componente.
  - Los niveles de lubricante son correctos y no hay partes agrietadas.
  - Los indicadores funcionan.
  - No hay tubos o cables colgantes.
  - Los sistemas de tuberías entrantes de electricidad, agua, vapor, aire comprimido y otros sistemas están libres de polvo, residuos y otros materiales.
  - Las tuberías están firmemente aseguradas, siguiendo las prácticas industriales estándar.

- No existen parches provisionales para detener fugas o emisiones (p.e. cinta para ductos) o cuerdas para to atar tubos y tuberías al equipo, u otros componentes principales fijos.
- No hay cables expuestos, conductos abiertos o a medio abrir, aisladores aplastados, tubos doblados u otros defectos evidentes que conducen a una operación insegura, pérdidas de energía, etc.
- Eliminar las fuentes contaminantes y las áreas inaccesibles (Paso 2):
  - Los miembros del equipo deberán identificar y eliminar las fuentes de contaminación (p.e. polvo, aceite, fugas).
  - Los miembros del equipo deberán identificar y eliminar las áreas inaccesibles y establecer las prioridades para las acciones correctivas con base en el impacto en el negocio.
  - Es necesaria la eliminación de contaminantes y de áreas inaccesibles para sostener el nivel de limpieza logrado a través de la profunda limpieza inicial.

A continuación, se resumen algunas sugerencias para la eliminación de contaminantes y de áreas inaccesibles:

- Los miembros del equipo deberán identificar las fuentes de contaminación (materia extraña) originadas por partes defectuosas o de diseño deficiente. Las partes defectuosas que tiene fuga son llamadas fuentes de contaminación, para los propósitos del AM. Por ejemplo, una línea hidráulica que está filtrando aceite, es una fuente de contaminación, mientras que una línea hidráulica que está bloqueada, es un área defectuosa. Establezca prioridades de las acciones correctivas para los defectos, con base en el impacto de negocio.

- Los miembros del equipo deberán identificar las áreas inaccesibles que son difíciles de alcanzar o de lograr acceso a ellas. Son áreas o partes del equipo donde los operadores y/o los mecánicos tienen dificultad cuando llevan a cabo tareas de rutina (arranques-paros, ajustes, liberación de atascos, limpieza, inspección y lubricación).
- Usar las mismas estrategias de identificación y solución de problemas resumidas en el paso 1.
- Condición del equipo (Fuentes contaminantes y áreas inaccesibles)
- Deben eliminarse las fuentes contaminantes y las áreas inaccesible (p.e. polvo, fugas de aceite, áreas inaccesibles). Esto incluye el equipo principal, equipo auxiliar, los sistemas de lubricación y las fuentes de entrada de energía. La evidencia de la limpieza inicial puede observarse a nivel de piso de la planta, y específicamente:
  - El equipo está limpio; los problemas del paso 1 se han resuelto.
  - Las partes rotas o flojas, los orificios o espacios no tienen fuga o salpican.
  - No se observa que algún producto esté cayéndose dentro del equipo.
  - El sobreflujo del equipo están contenidos.
  - Se cuenta con el equipo de recolección de polvo, para el caso de que no pueda eliminarse el polvo.
  - No se utiliza aire comprimido para la limpieza.
  - Los paneles de control y las paradas de emergencia son fácilmente accesibles y no están obstruidos.
  - En el equipo se utilizan paneles transparentes para facilitar la inspección.

- El equipo principal, el equipo auxiliar, los sistemas de lubricación y las fuentes de energía están diseñados para su fácil acceso durante el mantenimiento.
  - El equipo principal está diseñado para su fácil acceso durante el cambio.
  - Los puntos de lubricación son accesibles, fáciles de limpiar/dar mantenimiento y se encuentran en la línea de visión.
  - La basura se desecha correctamente.
  - El equipo principal no contamina al auxiliar, a la lubricación ni a las fuentes de energía (y viceversa).
  - Los accesorios son herméticos y libres de fugas.
  - Los indicadores no han sido ensuciados por fuentes de contaminación.
  - Los lubricantes están libres de contaminantes.
- Estandarizar los procedimientos de limpieza, inspección y lubricación utilizando los procedimientos de operación estándar (SOPs) y las instrucciones de trabajo estándar (SWIs) (p.e. Lecciones de un punto, PPMs) (Paso 3):
  - Los procedimientos de operación estándar de limpieza, inspección y lubricación (SOPs) proporcionan una guía en las actividades principales requeridas para realizar y completar una serie de tareas, mientras que las instrucciones de trabajo estándar de limpieza, inspección y lubricación (SWIs) señalan breves instrucciones de cómo ejecutar las tareas específicas.
  - Los equipos deberán diseñar las instrucciones de trabajo estándar para la limpieza, inspección y lubricación.

En este paso, los equipos diseñan los procedimientos estándar que minimizar el tiempo y esfuerzo requeridos para mantener la planta a los niveles acordados para la limpieza, inspección y lubricación. Los procedimientos estándar captan las formas “correctas” de hacer las cosas.

- Los procedimientos estándar deberán capturarse de manera consistente, usando los SOPs, las lecciones de un punto y los PPMs. Para información adicional de cómo crear los SOPs, las lecciones de un punto y los PPMs, véanse las guías de habilidades del personal y de sistemas de administración.
  
- En este punto del proceso, los equipos deberán haber identificado mejoras como las resumidas a continuación:
  - Con menos esfuerzo, se puede llegar al pulsante, antes difícil de alcanzar.
  - El cinturón ya no está tocando el chasis; el olor a caucho quemado ha desaparecido, así como el ruido.
  - La polea ya no es una amenaza; se instaló la cubierta de protección.
  - El indicador tiene controles visuales para señalar una presión estable.
  - El escalón resbaloso usado para alcanzar la rampa, ya no representa un riesgo.
  - Ese accesorio suelto se ha apretado, eliminando fugas y su consiguiente riesgo de seguridad.

- A continuación, se resumen algunas sugerencias para diseñar los procedimientos estándar para la limpieza, inspección y lubricación:
  - Identifique el equipo a limpiar, inspeccionar y lubricar.
  - Todos los procedimientos deberán ser claros y fáciles de seguir, y deberán resumir el orden en que las tareas deben realizarse, la frecuencia de repetición, el tiempo requerido para su terminación, las herramientas a utilizar y la persona responsable.
  - Los procedimientos de lubricación deberán identificar los puntos de lubricación, cantidad y tipo de lubricación.
  - Los procedimientos de inspección deberán resumir los items a revisar (p.e. temperatura, presión, rpm, ruido).
  
- Deberán crearse ayudas visuales y colocarse en lugares adecuados en las áreas de trabajo, para comunicar los procedimientos acordados.

Las ayudas visuales relacionadas con los procedimientos estándar son parte del programa del lugar de trabajo visual de la planta:

- Coloque los controles visuales cerca del punto de acción – deberá utilizarse un dibujo de la máquina o la pieza del equipo, para ayudar a que los equipos reconozcan las desviaciones de los estándares de trabajo (p.e. recipiente con rangos de nivel para operación normal).
- Establezca una línea de base para completar las tareas de limpieza, inspección y lubricación.
- Identifique y analice las oportunidades de mejora para continuamente mejorar los procedimientos (p.e. menos tiempo, fácil de limpiar, inspeccionar y lubricar).

- Vuelva a establecer la línea de base de los procedimientos revisados, para terminar las tareas.
- Condición del equipo (Procedimientos estándar y ayudas visuales).
- Deberán desarrollarse procedimientos estándar para el equipo principal, el equipo auxiliar, los sistemas de lubricación y las fuentes de entrada de energía. La evidencia de procedimientos efectivos y su implementación puede observarse a nivel de piso de la planta, y específicamente:
  - Deberán resolverse los problemas de la lista de verificación del avance de los pasos 1 y 2.
  - Las estrategias de identificación y solución de los problemas resumidos en el paso 1 permanecen en uso.
  - Los procedimientos se capturan de manera consistente.
  - Todos los procedimientos deberán ser fáciles de seguir, y deberán resumir el orden en que las tareas deben realizarse, la frecuencia, el tiempo requerido para su terminación, las herramientas a utilizar y la persona responsable.
  - Donde los procedimientos requieran el uso de listas de verificación, revíselas para asegurar una realización oportuna y precisa de las actividades.
  - Los procedimientos de limpieza, inspección y lubricación están colocados cerca del equipo, para su uso por parte de operadores y mecánicos.
  - Las herramientas para la limpieza y lubricación están almacenadas por equipo y se conservan, según el estándar de las 5s y el lugar visual.
  - Los procedimientos de lubricación identifican los puntos de lubricación, y la cantidad y tipo de lubricación.

- Las ayudas visuales deberán comunicar los procedimientos acordados.
  - Los despliegues visuales comunican los puntos de lubricación en el equipo.
  - Los despliegues visuales para interconexiones de FRLs (filtros, reguladores y lubricadores) señalan la dirección de flujo.
  - Los controles visuales para el equipo principal y auxiliar comunican los rangos de operación para medidores, interruptores de límite, indicadores, longitud de carrera del actuador, dirección de rotación, etc.
  - Los controles visuales para los recipientes de lubricación indican los límites alto y bajo.
  - Los despliegues visuales para las fuentes de energía comunican el tipo de instalación y están marcados para su fácil inspección (p.e. 440 voltios, vapor @ 100 psig, aire comprimido 150 PSI, agua corriente, agua de proceso, etc.).
  - Los procedimientos de inspección identifican los items a verificar (p.e. temperatura, presión, rpm, ruido).
  - Los procedimientos deberán revisarse periódicamente para mejorarlos continuamente (menos tiempo, fácil de limpiar, inspeccionar y lubricar).
- Etapa 2: Realizar una inspección diaria y un mantenimiento básico
    - Los operadores están entrenados para llevar a cabo una Inspección diaria y un mantenimiento básico (Paso 4):
      - Entrene a los operadores en el mantenimiento básico como lubricación, elementos de la máquina, sistemas neumáticos, hidráulicos, eléctricos y transmisión de potencia.

- Los operadores deberán comprender cómo funciona el equipo; el rol del mantenimiento es proporcionar un entrenamiento directo, mientras los ingenieros refuerzan el diseño del equipo y los criterios de funcionalidad.
  - En el paso 4, los operadores están entrenados para llevar a cabo diariamente la inspección y el mantenimiento básico. Por ejemplo, un operador escucha un ruido y es capaz de relacionarlo rápidamente con un elemento de la máquina que está defectuoso. Si el problema es corregible por medio de mantenimiento básico, el operador tendrá las habilidades y capacidades para implementar la acción correctiva.
- 
- Condición del equipo (Inspección diaria y mantenimiento básico)
  - La evidencia de los procedimientos efectivos y su implementación puede observarse a nivel de piso de la planta. Las “condiciones del equipo” que deberán observarse a nivel de piso de la planta se detallan en el Anexo 4, en la lista de verificación de avance por pasos del mantenimiento autónomo para el equipo principal, equipo auxiliar, los sistemas de lubricación y los sistemas eléctricos.
- 
- Los operadores tienen la responsabilidad de limpiar, inspeccionar y lubricar, así como de llevar a cabo el mantenimiento básico en todo el equipo, de conformidad con lo establecido.
  - Seleccione las áreas de mantenimiento que deberán reasignarse del mantenimiento a las operaciones.

- Etapa 3: Impulsar la mejora continua y la calidad
  
- Los operadores toman la pertenencia de responsabilidades adicionales relacionadas con sus áreas de trabajo, incluyendo, de manera no limitativa, la administración de las partes de repuesto, la ejecución y mejora del cambio, el lugar visual, el mantenimiento de procedimientos estándar, la calidad en-línea y las notificaciones de mantenimiento (paso 6):
  - El entrenamiento de la operación deberá realizarse antes de la toma de cualquier nueva responsabilidad.
  
  - Las Instrucciones de trabajo estándar deberán desarrollarse para cualquier nueva responsabilidad.
  
  - El tiempo debe presupuestarse para el equipo de trabajo del equipo natural, para completar nuevas responsabilidades. Deberá establecerse y seguirse un programa formal de juntas. Pueden requerirse equipos multidisciplinarios y otros recursos, para sustentar la nueva implementación de nuevas responsabilidades, incluyendo de manera no limitativa, las siguientes:
    - Administración de partes de repuesto: los operadores son totalmente responsables de garantizar que las partes de repuesto consumibles estén disponibles en la línea. Los operadores deberán ser entrenados en la administración básica de partes de repuesto y en el proceso de reposición de mercancía.

- Las “5S” y el lugar visual: los operadores han avanzado a través de las 5S y son responsables de identificar e implementar las mejoras del lugar visual. Previamente debe haberse completado el entrenamiento en el lugar visual.
  
- Mantener los procedimientos estándar: los operadores toman total pertenencia para actualizar, mantener y asegurar que los procedimientos estándar (SOPs, PPMs y lecciones de un punto) se implementen correctamente en su área de trabajo. Asimismo, tienen acceso a los recursos necesarios para completar este trabajo (tiempo para las juntas, estación de trabajo con computadoras, software, guía de funciones de soporte, etc.).
  
- Calidad en la línea: los operadores realizan las verificaciones de defectos en la línea, y son responsables de tomar la acción para eliminar los defectos. Deben entrenarse para reconocer los defectos de calidad en la línea, registrarlos y reaccionar ante ellos. Igualmente, son responsables de seguir los pasos para restaurar el equipo y/o ajustarlo para producir calidad, según la especificación del producto.
  
- Los operadores se encargan de la pertenencia de responsabilidades adicionales relacionadas con sus áreas de trabajo, incluyendo, de manera no limitativa, la participación en los proyectos de mejora continua, el mantenimiento menor, la mejora de los planes de mantenimiento y el rediseño/diseño del equipo (Paso 7):
  - El tiempo debe presupuestarse para los equipos de trabajo del equipo natural, para completar nuevas responsabilidades. Deberá establecerse y seguirse un programa formal de juntas. Pueden

requerirse equipos multidisciplinarios y otros recursos, para sustentar la nueva implementación de nuevas responsabilidades, incluyendo de manera no limitativa, las siguientes:

- Participar en proyectos de mejora continua: los operadores estarán comprometidos en proyectos de mejora continua. Recopilan datos, proporcionan retroalimentación y participan en el análisis. Ayudan en la identificación de las razones de los tiempos de paros no planeados, retrasos en la recepción de materias primas, en la falta de disponibilidad de partes de repuesto, en la falta o insuficiencia de equipo para movimiento de material, etc. Se les anima para que aporten sugerencias para la mejora.
- Mantenimiento menor: los operadores son capaces de completar todas las tareas de mantenimiento asignadas durante el paso 5 y continuar encargándose de tareas adicionales conforme van desarrollando sus habilidades.
- Mejora de los planes de mantenimiento: los operadores participan en la validación de las mejoras de los planes de mantenimiento. La valoración incluye, pero no está limitada, a la duración de tareas, frecuencia, recursos y la mejor manera conocida de realizar las tareas.
- Rediseño/diseño del equipo: los operadores son parte de los equipos de trabajo que recaban datos acerca de las mejoras hechas en los equipos (maquinaria) actuales que potencialmente se incorporarán a equipos nuevos. Las

juntas de grupos pequeños deberán utilizarse para abordar las pérdidas principales del equipo (descomposturas, pérdidas en el arranque, pérdidas de configuración, paradas menores, paros, reducción de velocidad y desechos).

## **5. ÍNDICE DE CONTENIDO PROPUESTO PARA EL INFORME FINAL**

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

### **1. PRODUCCIÓN DE DETERGENTE EN POLVO**

#### **1.1 Proceso de producción detergente en polvo**

1.1.1. Secado por atomización

1.1.2. Formulación de polvo abierta

1.1.3. Elaboración de pasta aguada

1.1.4. Impulsión

1.1.5. Atomización

1.1.6. Secado

1.1.7. Quemador

#### **1.2. Gasificación**

1.2.1. Biomasa

#### **1.3. Tipos de gasificadores**

- 1.3.1. Reactores de lecho fijo
- 1.3.2. Reactores de lecho móvil
- 1.3.3. Reactores de lecho fluidizado
  
- 1.4. Mantenimiento autónomo
  - 1.4.1. Capacidades para descubrir anomalías.
  - 1.4.2. Capacidades para la corrección inmediata en relación con las causas identificadas.
  - 1.4.3. Capacidad para establecer condiciones
  - 1.4.4. Capacidad para controlar el mantenimiento
  - 1.4.5. Bases del mantenimiento autónomo
  
- 2. Mantenimiento autónomo de planta de gasificación
  - 2.1. Protocolo limpieza de tolvas de ciclones y toma de muestras de cenizas
    - 2.1.1. Procedimiento de limpieza de sonda de muestreo de alquitranes
  - 2.2. Protocolo de limpieza del gasificador
    - 2.2.1. Procedimiento de mantenimiento del tornillo de paso rápido
  - 2.3. Protocolo de cambio de botellas de oxígeno
  - 2.4. Mantenimiento de eléctrico
  - 2.5. Implementación del programa
  - 2.6. Medición de progreso
  
- 3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
  
- 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS



## 6. METODOLOGÍA

En la investigación de enfoque experimental el investigador manipula una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas. Dicho de otra forma, un experimento consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente). Esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular. Los métodos experimentales son los adecuados para poner a prueba hipótesis de relaciones causales.

Expuesto lo anterior el contenido general del presente trabajo obedece a una investigación de tipo cuantitativo de tipo experimental, se concentra en el mantenimiento autónomo del sistema de gasificación de biomasa para la utilización en proceso de secado de detergente en polvo de las variables evaluadas análisis de los valores numéricos obtenidos de las variables monitoreadas en los diferentes puntos de lubricación y limpieza , y normalizar la limpieza como la lubricación y con esta información hacer comparaciones con los datos de paro de equipo vrs. Los datos de paros con el nuevo sistema de mantenimiento autónomo.

Producto de la aplicación de la metodología del mantenimiento autónomo lograremos reducir el número de paros que garantice la confiabilidad y disponibilidad del equipo.

El tipo de estudio es de correlación y que tiene el propósito de medir el grado de relación que exista entre lubricación. Limpieza vrs confiabilidad de equipo, en la práctica esta medida está dada en el tiempo medio entre dos fallas consecutivas (TMEF).

En el siguiente cuadro, se puede ver de manera sintetizada las diferencias entre la metodología experimental y la metodología no experimental:

metodología experimental	metodología no experimental.
Se provocan (manipulan) los efectos.	Los efectos ya se han producido.
Se modifica la variable independiente y observamos los cambios (efectos) en la variable dependiente	No se modifican, sólo se seleccionan y observan
orientación hacia el futuro	orientación hacia el pasado
aleatorización de grupos naturales ya formados	

- Fase 1. Análisis y muestreo de las condiciones de trabajo normal

En esta parte se recolectarán y analizarán los datos que son necesarios para evaluar la confiabilidad del sistema actual, para así realizar el cálculo disponibilidad actual. De igual forma las variables de operación que afectan el proceso como cantidad de que producto secado, humedad y tipo de producto.

- Fase 2. Cálculo de eficiencia del sistema actual

Ya con los datos requeridos, se procederá al cálculo de la eficiencia del sistema, por medio de fórmulas matemáticas, considerando que el tipo producto, la cantidad a secar y la humedad.

- Fase 3. Creación de protocolos, secuencias, lapso y estándares de lubricación y limpieza del equipo.

En esta fase se crean los estándares, los miembros del grupo usan su experiencia para determinar las condiciones óptimas de limpieza y lubricación del equipo y esbozan las tareas estándar para su mantenimiento. Los estándares especifican qué se debe hacer, dónde, la razón, procedimientos, cuándo y tiempos empleados. Para hacer todo esto, se debe decidir qué partes del equipo necesitan limpieza diaria, qué procedimientos hay que utilizar, cómo inspeccionar el equipo, cómo juzgar anomalías, etc. Con estos estándares se ayuda a los grupos a realizar las tareas de limpieza con mayor confianza y habilidad.

- Fase 4. Implementación o puesta en marcha

Es arrancar con el programa de mantenimiento autónomo es clasificar las actividades en tareas requiriendo dos tipos de actividades para incrementar la afectividad en el equipo:

- Actividades de limpieza
- Actividades de lubricación

Las actividades de mantenimiento se deben llevar a cabo en forma simultánea en tres áreas de deterioro: prevención, medición y rehabilitación. Las metas de mantenimiento no se pueden alcanzar si cualquiera de estas áreas se descuida

Aún cuando la prevención del deterioro es la actividad básica del mantenimiento frecuente se descuida a favor de la inspección periódica y las pruebas de precisión

- Fase 5 control.

Es necesaria para el buen control del mantenimiento autónomo. Cada etapa debe evaluarse y controlarse para verificar si el plan se está cumpliendo en tiempo y a resultados esperados, se deben hacer también auditorias estas deben asumirse como un paso donde se realiza una reflexión profunda y en donde se recoge el conocimiento adquirido para su divulgación a otras áreas.

## 7. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Los datos de control cálculo del consumo de combustible, y costo de mantenimiento serán recolectados por medio de la observación de campo efectuada por los colaboradores y del ingeniero de campo, se hará diariamente con base en una lista de cotejo en proceso, donde la información recolectada es: tipo de producto, cantidad de producto secado y humedad, cantidad de paros del equipo datos propiamente de productividad y confiabilidad Con base en dicha información de carácter cuantitativo se pueden alimentar hojas electrónicas para encontrar si aplicando un mantenimiento autónomo mejora las condiciones, tanto de aspecto como de desempeño .

Para medir la mejora siguientes indicadores:

- Adherencia al programa de juntas de grupos pequeños (%)

$$= \frac{\text{Juntas programadas y completadas}}{\text{Total de juntas planeadas}}$$

- Número de líneas con trabajo estándar (%)

$$= \frac{\text{Líneas con procedimientos estandarizados para inspección, limpieza y lubricación}}{\text{Total de líneas}} \times 100$$

- Número de notificaciones/órdenes de trabajo generadas por operadores (#)

= # de Notificaciones resultantes de Inspecciones del operador  
Total del # de órdenes de trabajo (WO) de mantenimiento

- Número de mejoras como resultado de actividades de AM (#)

= Mejora relacionada con el equipo por equipo/línea, resultante de actividades de mantenimiento autónomo

- Funcionamiento del mantenimiento

La confiabilidad o fiabilidad es la probabilidad que algo funcione adecuadamente durante cierto tiempo bajo condiciones controladas o específicas.

En la práctica esta medida está dada en el tiempo medio entre dos fallas consecutivas (TMEF).

Este indicador mide el tiempo promedio en que una línea o una pieza del equipo fallan, debido a una descompostura, paradas menores, etc., durante un período determinado de funcionamiento del equipo.

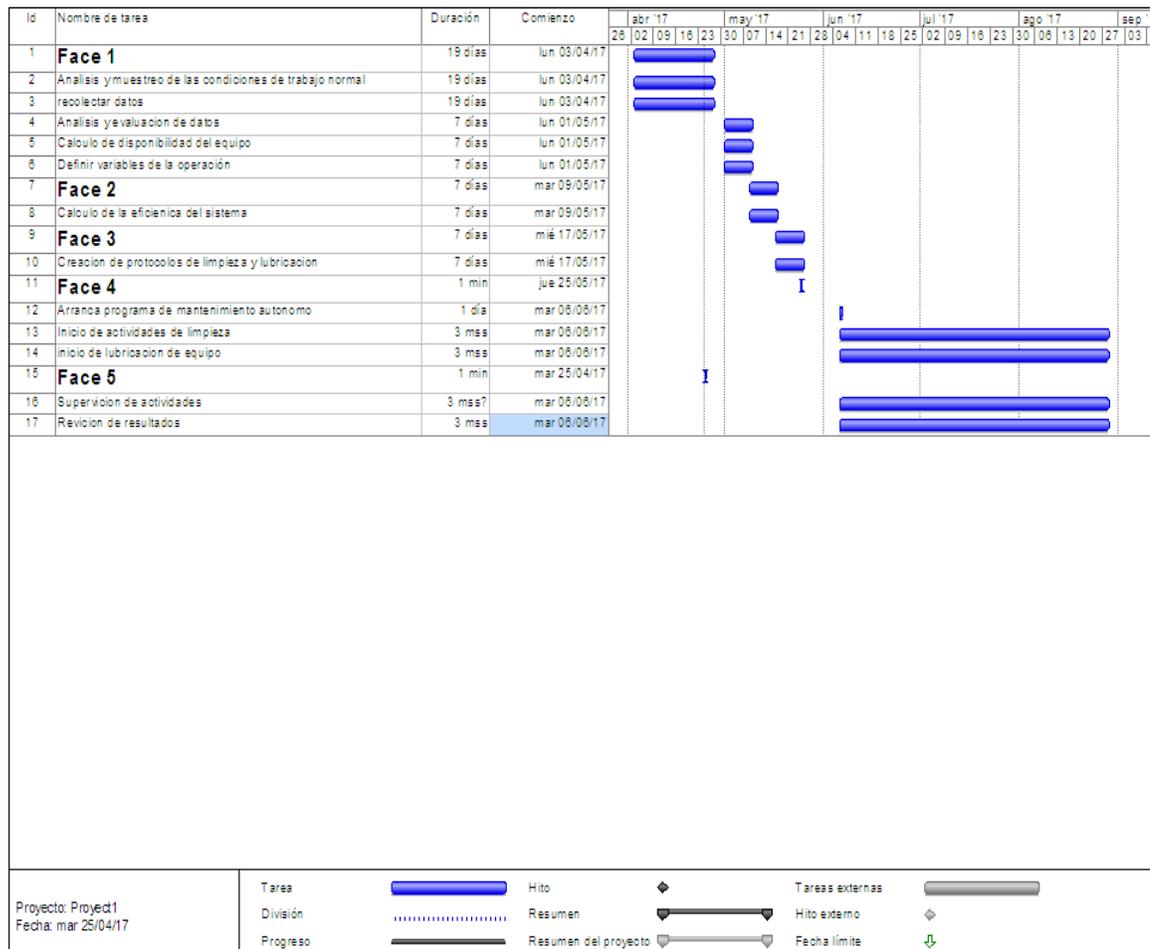
TMEF=

Tiempo de producción disponible (Hrs.)  
Número de fallas (órdenes de trabajo no planeadas)

Como no se tienen datos históricos se plante sacar mensual mente este indicador, cuando se tenga un histórico de 3 meses, se procederá a sacar una media, con este dato ya se puede dar una meta mensual.

## 8. CRONOGRAMA

Tabla III. Cronograma de las fases



Fuente: elaboración propia.



## 9. RECURSOS NECESARIOS

Los recursos necesarios serán utilizados de mayor porcentaje en la visita a la planta productora de detergente en polvo, en la torre de secado, para corroborar los datos obtenidos y evaluarlos.

Tabla IV. Presupuesto de proyecto

VISITA A PLANTA	COSTO POR VISITA	COSTO TOTAL
Depreciación del vehículo	208	Q 208,00
Combustible	53,15	Q 540,00
Peaje	30,50	Q 350,00
Asesor	2500	Q 2 500,00
Alimentación	25,00	Q 250,00
Imprevistos	50,00	Q 500,00
Total de visitas		Q 6 220, 00

Fuente: elaboración propia.

- Depreciación vehículo

Se tienen planeado viajar a departamento de Escuintla en vehículo propio el total de visitas es de 10 visitas a un costo de 2 quetzales por km recorrido y es un total de 104 km.

- Combustible:

Son 104 km a una eficiencia de 45 km por galón y 10 visitas

- Peaje

Q15,25 por 10 visitas

- Asesor

Costo simbólico de Q 2 500,00

- Alimentación

Q 250

- Imprevistos

Q 500

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aullar, E. D.J. Smith, Nigel S.Roberts, David W.York, y S.Capeci, (2000). Proceso detergente Empolvore la tecnología, 117 (2001), 3–39.
2. Giraldo, G. (2000). Planta de cogeneración mediante gasificación de biomasa residual. Escuela técnica superior de ingenieros Industriales.
3. Estrada, C. (2004). Gasificación de biomasa para generación de potencia y calor recuperado de <http://mitglied.lycos.de/cturare/bio.htm> 2015.
4. El gas de madera como combustible para motores, texto recuperado de [www.fao.org/docrep/T0512s/t0512s00.htm#Contents](http://www.fao.org/docrep/T0512s/t0512s00.htm#Contents) 2015.
5. Fernández, M, (2004) Operación de plantas Industriales de Biomasa Editorial Managing factory.
6. Fonseca N. (2003). Estado del arte del uso del gas en gasificación termoquímica de biomasa. Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes (Bogotá Colombia).
7. García Fernández, L. (2001). Obtención de gas combustible a partir de la gasificación de biomasa en un reactor de lecho fijo, Universidad Nacional de Colombia, Tesis de Grado, 2001.

8. Izaguirre C, Erazo D, (2005) Aspectos importantes en el proceso de gasificación, recuperado de [www.scielo.org.cl](http://www.scielo.org.cl). 2015.
9. Mantenimiento Autónomo Texto recuperado de [www.ceroaverias.com/centroTPM/.../mantenimientoautonomotpm.htm](http://www.ceroaverias.com/centroTPM/.../mantenimientoautonomotpm.htm) en 2016.
10. Mondaca, C. (2002). Estudio de fallas comunes en rodamientos rígidos de una hilera de bolas mediante análisis en el dominio del tiempo y de la frecuencia. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
11. Navarro López, C, (2010), Implementación del mantenimiento autónomo En la planta de tratamiento de aguas residuales.
12. Revuelta Pereiro J, (2005), Biomasa y gasificación, recuperado de la base de datos [www.cubasolar.org](http://www.cubasolar.org) 2015.
13. Solar Energy Research Institute, U.S. Department of Energy (2002), Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems.
14. Suzuki, Tokutarō; TPM en Industrias de Proceso, Ed. TGP – HOSHIN, Madrid-España, 1995.
15. Pérez J, Borge D, Agudelo J (2009). Biomass gasification process: theoretical and experimental studies a review, recuperado de la base de datos [www.cubasolar.org](http://www.cubasolar.org) 2015.
16. Provenza Pérez N, Cala Aiello R (2010), Thermodynamic study and downdraft gasifier dimensioning for cogeneration compact system

in isolated localities recuperado de la base de datos  
www.Scielo.org 2015.

17. Tabares, J. (1998) Procesos termoquímicos para la obtención de energía a partir de la biomasa residual, Capítulo 9, Editorial Limusa.

