



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

**MONTAJE DE UNA MÁQUINA DE PRENSA DE DOS RODILLOS, PARA LA FABRICACIÓN
DE BRIQUETAS DE CENIZA DE CARBÓN RECUPERADO DE LA COMPAÑÍA ELÉCTRICA
LA LIBERTAD, SOCIEDAD ANÓNIMA**

Roger Leonel Zelada Morales

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, noviembre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MONTAJE DE UNA MÁQUINA DE PRENSA DE DOS RODILLOS, PARA LA FABRICACIÓN
DE BRIQUETAS DE CENIZA DE CARBÓN RECUPERADO DE LA COMPAÑÍA ELÉCTRICA
LA LIBERTAD, SOCIEDAD ANÓNIMA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ROGER LEONEL ZELADA MORALES

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

MONTAJE DE UNA MÁQUINA DE PRENSA DE DOS RODILLOS, PARA LA FABRICACIÓN DE BRIQUETAS DE CENIZA DE CARBÓN RECUPERADO DE LA COMPAÑÍA ELÉCTRICA LA LIBERTAD, SOCIEDAD ANÓNIMA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 17 de mayo de 2021.

Roger Leonel Zelada Morales



Guatemala, 29 de abril de 2022
REF.EPS.DOC.29.04.2022

Ingeniero
Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Argueta Hernández:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S.) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Mecánica, **ROGER LEONEL ZELADA MORALES, Registro Académico No. 201408411** procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **MONTAJE DE UNA MÁQUINA DE PRENSA DE DOS RODILLOS, PARA LA FABRICACIÓN DE BRIQUETAS DE CENIZA DE CARBÓN RECUPERADO DE LA COMPAÑÍA ELÉCTRICA LA LIBERTAD, SOCIEDAD ANÓNIMA.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica



NISZ/ns



Guatemala 29 de abril de 2022.
REF.EPS.D.29.04.22

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S.) titulado **MONTAJE DE UNA MÁQUINA DE PRENSA DE DOS RODILLOS, PARA LA FABRICACIÓN DE BRIQUETAS DE CENIZA DE CARBÓN RECUPERADO DE LA COMPAÑÍA ELÉCTRICA LA LIBERTAD, SOCIEDAD ANÓNIMA**, que fue desarrollado por el estudiante universitario, **ROGER LEONEL ZELADA MORALES** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor-Supervisor de EPS, en mi calidad de Director, apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.055.2022

El Revisor de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **MONTAJE EN UNA MÁQUINA DE PRENSA DE DOS RODILLOS, PARA LA FABRICACIÓN DE BRIQUETAS DE CENIZA DE CARBÓN RECUPERADO DE LA COMPAÑÍA ELÉCTRICA LA LIBERTAD, SOCIEDAD ANÓNIMA** del estudiante **Roger Leonel Zelada Morales, CUI 3444291640115, Reg. Académico No. 201408411** y habiendo realizado la revisión de Escuela, se autoriza para que continúe su trámite en la oficina de Lingüística, Unidad de Planificación.

"Id Y Enseñad a todos"



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Revisor – Área Complementaria
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, septiembre de 2022

/aej



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.057.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **MONTAJE EN UNA MÁQUINA DE PRENSA DE DOS RODILLOS, PARA LA FABRICACIÓN DE BRIQUETAS DE CENIZA DE CARBÓN RECUPERADO DE LA COMPAÑÍA ELÉCTRICA LA LIBERTAD, SOCIEDAD ANÓNIMA** del estudiante **Roger Leonel Zelada Morales**, CUI **3444291640115**, Reg. Académico **201408411** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"



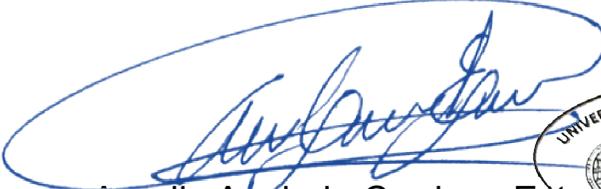
Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, septiembre de 2022
/aej

LNG.DECANATO.OI.774.2022

La Decana 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, al Trabajo de Graduación titulado: **MONTAJE DE UNA MÁQUINA DE PRENSA DE DOS RODILLOS, PARA LA FABRICACIÓN DE BRIQUETAS DE CENIZA DE CARBÓN RECUPERADO DE LA COMPAÑÍA ELÉCTRICA LA LIBERTAD, SOCIEDAD ANÓNIMA**, presentado por: **Roger Leonel Zelada Morales**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, noviembre de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Eterna gratitud por la vida, la salud y por haberme permitido alcanzar la meta propuesta.
- Mis padres** Por darme la vida, su amor y apoyo para sacarme adelante en esta meta, en especial a mi madre Nora Morales.
- Mi mamita** Por su amor y apoyo incondicional en todo momento.
- Mi hermana** Josseline Zelada, por su apoyo recibido en todo momento.
- Mi familia** A toda mi familia, por ser parte importante de mi vida.
- Mis amigos** Por las convivencias que hicieron más fuertes los lazos de amistad.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Mi Alma Mater que me brindó la
oportunidad de mi formación profesional.

Facultad de Ingeniería

Por prepararme como profesional.

EPS

En especial al Ing. Carlos Chicojay por su
valioso tiempo dedicado a la asesoría de mi
proyecto.

**Compañía Eléctrica La
Libertad, S.A.**

Por darme la oportunidad de realizar mi
EPS en sus instalaciones.

**Área de Operaciones y
Mantenimiento**

Por el apoyo y compañerismo
mostrado en el desarrollo de mi proyecto.

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTADO DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. FASE DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Descripción de la empresa	1
1.1.1. Ubicación e historia	1
1.1.2. Misión	2
1.1.3. Visión.....	2
1.1.4. Valores	2
1.1.5. Organización.....	2
1.2. Descripción del problema	5
1.3. Descripción del producto	6
1.4. Descripción de la máquina briquetadora	6
1.4.1. Características técnicas de la máquina briquetadora.....	7
1.4.2. Características mecánicas de la máquina briquetadora.....	8
1.4.3. Dimensiones de la máquina briquetadora	8
1.4.4. Banda transportadora y sus componentes	9
1.4.5. Dimensiones de la banda transportadora	10
1.4.6. Mezclador de ceniza.....	11

1.4.7.	Componentes adicionales de la máquina briquetadora	12
1.4.8.	Condiciones de operación de la máquina briquetadora	12
1.5.	Proceso de montaje de máquina briquetadora.....	13
1.5.1.	Cimiento	13
1.5.2.	Tipos de cimiento	14
1.5.2.1.	Cimiento para obras civiles	14
1.5.2.2.	Cimientos para maquinaria.....	14
1.5.3.	Tipos de enclavamiento o anclaje	15
1.5.3.1.	Enclavamiento o anclaje tipo “L”	16
1.5.3.2.	Perno arponado.....	17
1.5.3.3.	Perno con cabeza	17
1.5.3.4.	Perno Hilti.....	18
1.5.4.	Tipos de unión de materiales	20
1.5.4.1.	Unión por soldadura	20
1.5.4.2.	Unión apernada.....	21
1.5.4.3.	Unión por tornillo	21
1.5.5.	Tipos de aislador de vibraciones en maquinaria	21
1.5.5.1.	Elastómeros	21
1.5.5.2.	Resortes o amortiguadores	22
1.5.6.	Instalaciones eléctricas en maquinaria.....	22
1.5.6.1.	Alimentación.....	22
1.5.6.2.	Protecciones.....	22
1.5.6.3.	Conductores	23
1.5.7.	Tipos de instalaciones eléctricas.....	24
1.5.7.1.	Según su voltaje.....	24
1.5.7.2.	Según su uso	25
1.5.8.	Instalaciones neumáticas en maquinaria.....	26

1.5.9.	Mantenimiento de maquinaria.....	26
1.5.9.1.	Tipos de mantenimiento	27
1.5.10.	Características de la materia prima carbón	29
2.	FASE TÉCNICO PROFESIONAL	31
2.1.	Instalación de la máquina briquetadora	31
2.1.1.	Ubicación propuesta	31
2.1.2.	Plano de ubicación	32
2.2.	Planificación del montaje de la máquina briquetadora	32
2.2.1.	Equipo y materiales utilizados en el montaje	33
2.2.2.	Cimiento construido	34
2.2.3.	Instalaciones eléctricas.....	36
2.2.3.1.	Listado de componentes eléctricos utilizados.....	37
2.2.3.2.	Panel de control y arrancadores de motores.....	38
2.2.4.	Instalaciones neumáticas	41
2.2.4.1.	Componentes de las instalaciones neumáticas.	41
2.2.5.	Estructura metálica	42
2.2.6.	Mezclador de ceniza y tubería de descarga	45
2.2.7.	Banda transportadora de briquetas	48
2.2.8.	Máquina briquetadora.....	49
2.3.	Puesta en marcha de la máquina briquetadora	53
2.3.1.	Listado de puntos básicos de verificación	53
2.3.2.	Prueba o ensayo en vacío	54
2.3.3.	Prueba o ensayo con carga.....	55
2.3.4.	Procedimiento de operación	56
2.3.5.	Inicio de operaciones.....	56

2.4.	Mantenimiento de la máquina briquetadora	57
3.	FASE DE DOCENCIA.....	59
3.1.	Desarrollo del plan de capacitación	59
3.1.1.	Objetivos	59
3.1.2.	Meta	60
3.1.3.	Estrategia aplicada en el proceso de capacitación	60
3.1.4.	Alcances del plan de capacitación	61
3.1.5.	Matriz capacitación.....	61
	CONCLUSIONES.....	63
	RECOMENDACIONES	65
	BIBLIOGRAFÍA.....	67
	APÉNDICES.....	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama general de la compañía eléctrica	3
2.	Organigrama de la planta de operaciones	4
3.	Máquina briquetadora	9
4.	Banda transportadora.....	10
5.	Mezclador de ceniza	11
6.	Anclaje tipo "I"	16
7.	Perno arponado.....	17
8.	Perno con cabeza	18
9.	Perno hilti.....	19
10.	Ubicación del montaje de la máquina briquetadora.....	32
11.	Cronograma de actividades para el montaje de la máquina	33
12.	Preparación del suelo.....	36
13.	<i>Breaker</i> de seguridad	39
14.	Arrancador de motor	40
15.	Válvulas del sistema neumático	42
16.	Diseño de platina para soporte	43
17.	Colocación de columnas	44
18.	Montaje de vigas	44
19.	Vista general de la estructura del mezclador	45
20.	Ducto de descarga de ceniza.....	46
21.	Guillotina neumática de descarga	47
22.	Mezclador instalado en la estructura.....	47
23.	Estructura de la banda transportadora	48

24.	Banda de caucho	49
25.	Ubicación de la máquina briquetadora bajo la estructura	50
26.	Posicionamiento de la máquina briquetadora	51
27.	Plano final del montaje de la máquina briquetadora	52
28.	Montaje en planta de la máquina briquetadora	52
29.	Briquetas terminadas en la banda transportadora	56

TABLAS

I.	Condiciones de operación de la máquina briquetadora	12
II.	Corte y tensión permisible en pernos.....	20
III.	Intensidad de corriente permisible en conductores.....	23
IV.	Matriz de capacitación para personal operario y de supervisión	62

LISTADO DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AMM	Administrador del Mercado Mayorista
AMP	Amperios
AC	Corriente alterna
DC	Corriente directa
EPS	Ejercicio Profesional Supervisado
H	Horas
HH	Horas hombre
I	Intensidad de Corriente
Kg	Kilogramo
Kv	Kilovoltio
Psi	Libra por pulgada cuadrada
MW	Megavatios
M	Metros
MM	Milímetros
RPM	Revoluciones por minuto
Ton	Tonelada
TON/H	Tonelada por hora

GLOSARIO

Aglutinante	Material con propiedades adhesivas, que, amasados con agua, fraguan (compactan materiales), primero y endurecen después.
<i>Bach</i>	Lote o carga de la mezcla del conjunto de elementos.
Briquetas	Bloque sólido combustible (biocombustible) útil para generar calor, generalmente utilizados en estufas, chimeneas, hornos y calderas.
Carbón	Roca sedimentaria organógena de color negro, utilizada como combustible fósil.
Ceniza	Residuo resultante de la combustión, aparece cuando el carbón se quema durante la generación de energía.
<i>Check list</i>	Listado de control.
Estator	Componente fijo de una máquina rotativa y uno de los elementos fundamentales para la transmisión de corriente eléctrica.
Mantenimiento	Son todas las acciones que tienen como objetivo preservar o restaurar un equipo.

Máquina Briquetadora	Máquina que fabrica briquetas.
Maquinaria Industrial	Conjunto de máquinas utilizado para un fin.
Montaje de equipo	Proceso mediante el cual se instala cada equipo o componente en su posición definitiva, lista para conformar la unidad para el proceso productivo.
Prensa	Mecanismo conformado por varios comunicantes impulsados por pistones de diferentes áreas para obtener mayor fuerza sobre un material o área.
Rodillo	Es un componente esencial de una banda, que cumple funciones de desempeño en toda línea de producción.
Rotor	Componente giratorio de una máquina de turbina.
Stoker	Dispositivo de alimentación de carbón de una máquina de vapor.

RESUMEN

El proyecto realizado se denomina Montaje de una máquina de prensa de dos rodillos, para la fabricación de briquetas de ceniza de carbón recuperado de la compañía eléctrica La Libertad, Sociedad Anónima, este se llevó a cabo específicamente en el área de Generación. Esta área de trabajo tiene estrecha relación con los siguientes departamentos: departamento químico, que provee tratamiento a las aguas utilizadas en la caldera; departamento eléctrico, éste suministra mantenimiento a los motores, a las instalaciones eléctricas y neumáticas; el departamento mecánico, es el que facilita mantenimiento a las bombas de alimentación de la caldera y a los equipos que realizan traslados de materia prima para el proceso de producción; y, finalmente, el departamento de Operaciones, que se encarga del proceso de combustión y operación.

El trabajo realizado consistió en el montaje de una máquina, de dos rodillos, cuya función es la fabricación de briquetas (óvalos), de ceniza de carbón recuperado, que se convierten para la compañía eléctrica en otra alternativa de materia prima para la generación de energía eléctrica.

Durante el desarrollo del proyecto, además del montaje de la máquina, también se llevó a cabo su puesta en marcha, posteriormente se hicieron pruebas de funcionamiento, mismas que fueron exitosas por los resultados obtenidos.

A la fecha, la máquina instalada se encuentra en pleno proceso de operación, con la capacidad de procesar la ceniza no quemada, que constituye la materia prima para la producción de briquetas.

La compañía, para cubrir la demanda de energía de 19 MWH, utiliza 240 toneladas de carbón en bruto, de las cuales se procesan ocho (8) toneladas de ceniza al día, mismas que luego se convierten en ocho (8) toneladas de briquetas para ser utilizadas en el proceso de combustión.

Como parte del proyecto, además del montaje, se elaboró una guía para la fabricación de briquetas; también se elaboró propuesta de un Manual de operación y mantenimiento del equipo, así como propuesta de un Plan de Capacitación al personal operativo, ésta última acompañada por tres jornadas de capacitación.

OBJETIVOS

General

Llevar a cabo el montaje y puesta en marcha, en las instalaciones de la Compañía Eléctrica La Libertad, Sociedad Anónima, de una máquina de dos rodillos para la fabricación de briquetas con ceniza residual de carbón, extraída del proceso de combustión del hogar de la caldera.

Específicos

1. Montar y poner en marcha una máquina de dos rodillos, para la fabricación de briquetas, según cronograma.
2. Elaborar guía del proceso de fabricación de briquetas.
3. Proponer un manual de operación y mantenimiento.
4. Diseñar una propuesta de Plan de Capacitación, para el personal operativo y de mantenimiento.

INTRODUCCIÓN

La Facultad de Ingeniería, específicamente la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por medio del Ejercicio Profesional Supervisado –EPS-, asigna a los estudiantes con pensum cerrado la realización de una práctica, que consiste en la elaboración de un proyecto, que en el presente caso se denomina Montaje de una máquina de presa de dos rodillos, para la fabricación de briquetas de ceniza de carbón, ubicada en el municipio de Villa Nueva, departamento de Guatemala.

Como parte de los antecedentes del estudio, la compañía fue fundada en el año 2006, en el municipio de Villa Nueva, con el objetivo de producir y comercializar energía eléctrica, cuyo proceso de generación comienza a partir de la quema de materias primarias no renovables, como lo son el carbón y el agua; estos materiales son indispensables para producir vapor, los que a su vez mueven una turbina y ésta a un generador, convirtiendo la energía mecánica en energía eléctrica.

Según la compañía, previo a la adquisición de la nueva maquinaria, reportaba pérdidas económicas en carbón no quemado, que fue comprobado en la ceniza extraída de la caldera, en el área de Scrubber (sistema de extracción de ceniza). Al momento de hacer el análisis de laboratorio, se estableció que solo el 20 % del carbón se quemaba en el proceso y el restante 80 % no se aprovechaba.

La solución al problema, encontrada por la compañía, fue utilizar la ceniza del carbón sin quemar para convertirla como briquetas (óvalos), razón por la que fue necesario adquirir nueva maquinaria para ese fin.

El presente Informe Final está integrado de la siguiente manera: una fase de investigación, una fase de servicio técnico-profesional y una fase de docencia con conclusiones, recomendaciones, bibliografía consultada y apéndices.

En la fase de investigación, se efectuaron los planteamientos relativos al objetivo general y específico, también se plantearon las acciones para llevar a cabo el montaje y su puesta en marcha, se establecieron los medios de verificación de las acciones, tales como los reportes e informes, entre otros.

En la fase de servicio técnico-profesional, se plantearon los objetivos de intervención y las acciones para el montaje de la máquina para la fabricación de briquetas y su puesta en marcha, para realizar las pruebas de funcionamiento y eficiencia de la misma.

En cuanto a la fase de docencia, además del planteamiento de los objetivos generales y específicos, se procedió a capacitar al personal del área de Producción sobre la operación y mantenimiento del equipo para la fabricación de briquetas, que constituye la materia prima para la generación de la energía eléctrica, iniciando con la comprensión del proceso de fabricación hasta concluir con la evaluación de los resultados de la capacitación.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la empresa

Básicamente se presenta la descripción de la empresa donde se realizó el proyecto.

1.1.1. Ubicación e historia

La Compañía Eléctrica La Libertad, S.A., es una empresa privada que fue creada en el año 2006, con el objetivo de generar y comercializar energía eléctrica en Guatemala, y se ha desarrollado a través del tiempo.

Inició operaciones con 50 empleados, a la presente fecha cuenta con 64 empleados en sus diferentes áreas; estos tienen el firme compromiso de alcanzar la calidad total del servicio, la mejora continua de los procesos, la optimización de los recursos disponibles y alcanzar altos niveles de productividad para contribuir al crecimiento de esta, y proveer buen servicio a sus clientes. La capacidad de generación inicial fue de 10 MWH, donde se utilizaban 120 toneladas de carbón por día. Actualmente se generan 19 MWH y utiliza 240 toneladas de carbón por día.

El centro de operaciones de Compañía Eléctrica La Libertad, S.A., se encuentra localizada en el kilómetro 18.5 carretera Mayan Golf, en Villa Nueva, departamento de Guatemala, a 18 kilómetros de la Ciudad Capital.

1.1.2. Misión

“Ser una empresa líder y competitiva en el área de generación eléctrica, reconocida por su alta eficiencia en el mercado de centrales térmicas a nivel regional”.¹

1.1.3. Visión

“Generar y comercializar energía eléctrica, comprometidos con el medio ambiente. Aportando al desarrollo económico y social a nivel regional, valorando nuestro recurso humano y llenando las expectativas nuestros clientes”.²

1.1.4. Valores

Respeto, compromiso, trabajo en equipo, actitud íntegra y solidaria, compromiso con el medio ambiente, pro-actividad en el trabajo y cuidado a la integridad del personal.

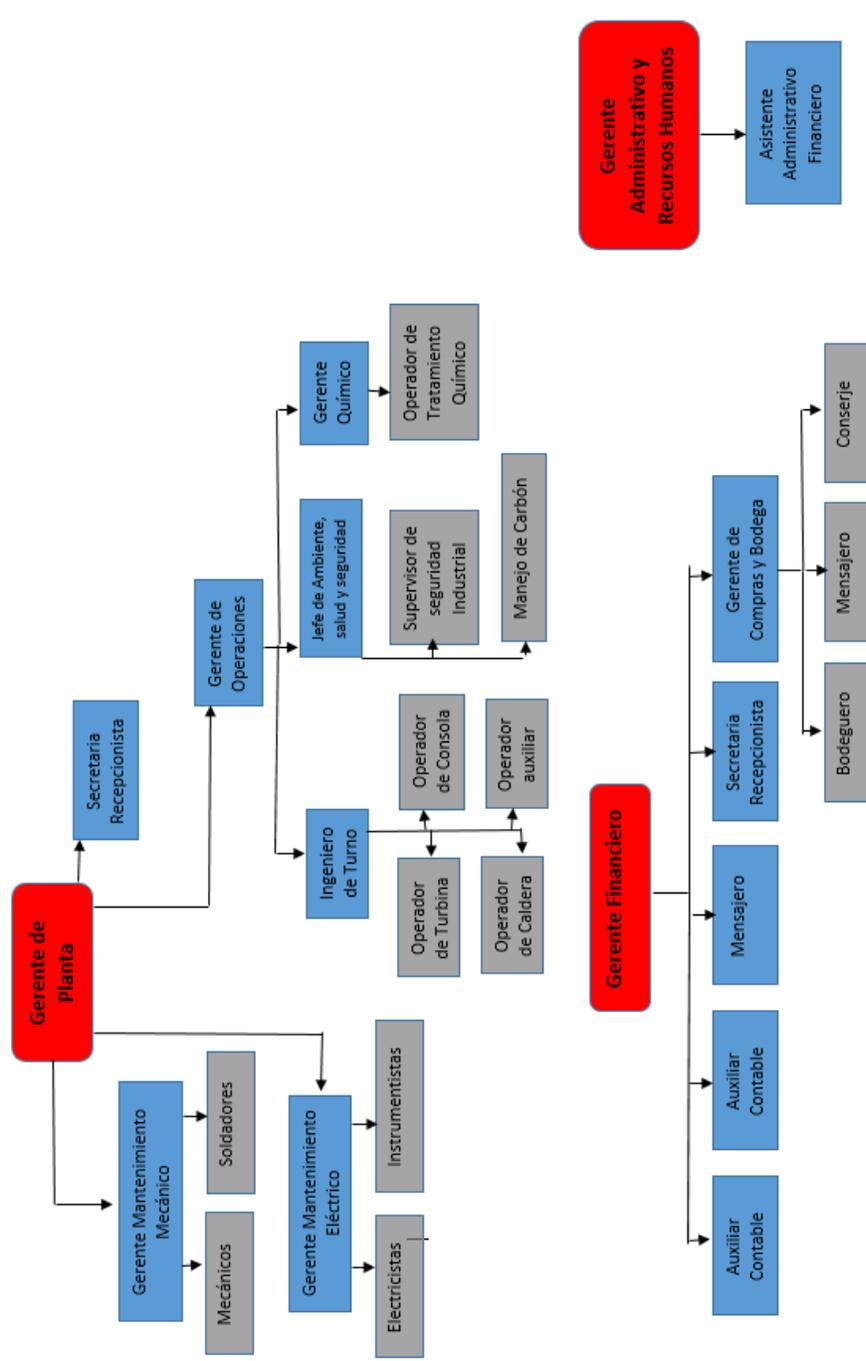
1.1.5. Organización

A continuación, se presenta la forma que está organizada, la compañía y el área de generación de la misma.

¹ Compañía Eléctrica La Libertad. *Información sobre la empresa*. p. 2.

² *Ibíd.*

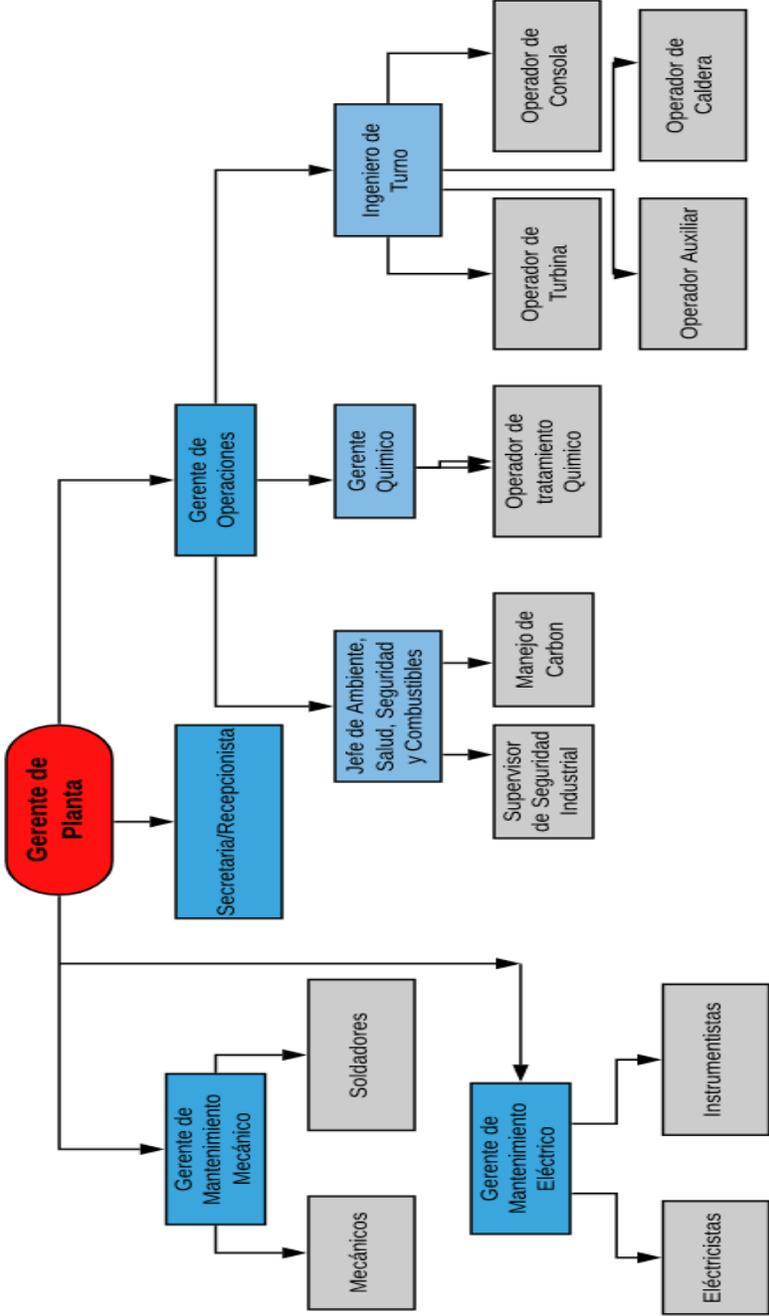
Figura 1. Organigrama general de la Compañía Eléctrica



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.

Organigrama de la Planta de Operaciones



Fuente: elaboración propia, con base a información proporcionada por la compañía.

1.2. Descripción del problema

El área de Generación ha tenido un proceso de combustión poco eficiente, esto debido a que se producía residuos de ceniza con alto porcentaje de carbón, que según sus características no puede ser reutilizado en el proceso de generación. La solución inicial, para resolver el problema, fue volver a quemar la ceniza sin ningún proceso; esta idea fue llevada a la práctica en la que se observó que la combustión era inestable y también ocasionaba daños a la estructura de la caldera, por lo abrasivo o desgastante de la ceniza, como los daños que provocaría en la tubería interna de la caldera. La caldera está diseñada para quemar carbón tipo *stoker* (rocas o piedras de carbón), no para quemar residuos.

Debido a los problemas en el proceso de producción, principalmente por el exceso de residuos de carbón no quemado, la compañía evaluó y tomó la decisión de adquirir un equipo para solidificar los residuos del carbón no quemado y evitar la abrasión; un equipo con las características adecuadas para fabricar briquetas (óvalos) con la ceniza del carbón no quemado, y estas a su vez puedan ser utilizadas en el proceso de combustión.

Según el estudio realizado en el laboratorio químico, se determinó que el porcentaje de ceniza de carbón no quemado que se extrae, es de 80 % del total del carbón que se ingresa a la caldera. Por ese motivo, se procedió a la revisión de la metodología utilizada y se concluyó que no era procedente técnica ni económica continuar con esa manera de producir, debido a los inconvenientes que provocaba dentro del hogar de la caldera. Con base a lo anterior, y en busca de la eficiencia en el proceso productivo, se tomó la determinación de adquirir un equipo para la fabricación de briquetas con la ceniza residual. Según el estudio realizado se estableció la necesidad de adquirir un equipo con características de un sistema eficiente, con capacidad de procesar, en promedio, mínimo seis (6),

toneladas diarias de ceniza de carbón sin quemar y las transforme en briquetas, y estas se conviertan en materia prima alternativa para la combustión.

Es importante mencionar que el equipo adquirido no incluyó algunos elementos para su funcionamiento, por lo que se debió fabricar esos componentes y realizar las modificaciones para su montaje y puesta en marcha.

1.3. Descripción del producto

El principal producto de la máquina es la fabricación de briquetas, que pueden tener forma de óvalos, bolas, círculos o ladrillos, fabricados de residuos o desechos de carbón u otros materiales que son mezclados con aglutinante; existen varias formas o sistemas de compactación, que en el presente caso se utiliza la prensa de dos (2), rodillos.

Las briquetas constituyen un valioso combustible para generar calor, es una buena alternativa; para su fabricación se necesita hacer una mezcla de varios componentes, tales como: ceniza de carbón, agua y harina de maíz, en porcentajes calculados. El producto final son las briquetas que tienen una dimensión de 30 mm, sus componentes son: 79 % de ceniza, 18 % de agua y 3 % harina para cada *batch* (mezcla de sus componentes) de 1,000 kg.

1.4. Descripción de la máquina briquetadora

La máquina que se utiliza para la fabricación de las briquetas se denomina Prensa de Rodillos; este es un dispositivo metálico de dimensiones 2000*1960*2440 mm, asentado sobre una plataforma de concreto; este dispositivo tiene la función de presionar y compactar materiales en polvo o granulares sobre moldes.

Los materiales que se puede compactar con la máquina son: polvo mineral, polvo metálico, polvo carbón, polvo de coque y otros materiales para darles forma específica.

Este dispositivo denominado Prensa de Rodillos, funciona de la siguiente manera: transmite potencia a dos rodillos de presión por medio de un motor-reductor eléctrico mismo que se controla desde una caja de mandos que se localiza a un costado de la máquina. La ceniza gira con el rodillo de presión en el molde de bolas, hasta hacer contacto de la línea de los dos rodillos; la presión recae sobre el material hasta alcanzar el punto de compactación. Bajo la acción de una enorme presión lineal que alcanza la máquina, el material cambia de polvo a la forma de bola.

1.4.1. Características técnicas de la máquina briquetadora

- Alta presión y alta tasa de formación de bolas, estructura compacta, fácil operación y mantenimiento.
- Produce bolas de ceniza con alta densidad, resistencia y dureza.
- Trabajo continuo, larga vida útil, rendimiento estable, estabilidad y durabilidad, excelente presión y resistencia.
- Bajo consumo de energía.
- Protección del medio ambiente y auditivo.
- Amplia gama de uso y bajos requerimientos.
- Instalación práctica, porque no utiliza cimientos complejos para la transferencia ni para el transporte.
- Utiliza poco personal para su operación.
- Alto nivel de seguridad.

1.4.2. Características mecánicas de la máquina briquetadora

La máquina para fabricar las briquetas cuenta con diversos componentes mecánicos y eléctricos para su funcionamiento, estos son:

- Motor eléctrico trifásico de 40 hp y 350V
- Presión lineal de la cara del rodillo de 0.8T
- Velocidad de rotación del husillo principal de 18 rpm
- Reductor de engranes
- Caja de engranes
- Cilindro mezclador
- Rodos de compactación
- Tolva de distribución
- Banda transportadora
- Caja de control

1.4.3. Dimensiones de la máquina briquetadora

La máquina para fabricar briquetas está construida con materiales resistentes como el metal, y sus dimensiones son las siguientes: 2000 mm de ancho, 1960 mm de largo y 2440 de alto.

Figura 3. **Máquina briquetadora**



Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la figura 3, en la parte superior de la máquina briquetadora, tiene incorporada una tolva para la dosificación de la ceniza, esta tiene una capacidad aproximada de $\frac{1}{4}$ de metro cúbico de material.

1.4.4. Banda transportadora y sus componentes

La banda transportadora es una faja de hule y lona, que recibe el producto terminado y lo traslada al camión para descargarlo en la rampa del carbón. Esta banda transportadora tiene las siguientes componentes:

- Motor eléctrico de 7.5 hp
- Banda de lona y hule de 12 m
- Rodos de transporte

- Rodos de potencia
- Reductor de engranes

1.4.5. Dimensiones de la banda transportadora

La banda transportadora forma parte indispensable de la máquina briquetadora, y está construida con materiales flexibles de hule y lona resistentes y su estructura es de acero, para mantenerse firme en el trabajo operativo que realiza.

La banda transportadora tiene las siguientes dimensiones: 12,000 mm de largo, 1,000 mm de ancho y 3,100 mm de alto, lo adecuado para el nivel de producción y el traslado de briquetas de un punto a otro.

Figura 4. **Banda transportadora**



Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior se observa la banda transportadora de briquetas; dicha banda en su parte media o central de la banda tiene una forma cóncava que permite que el material no se derrame o se salga de su trayectoria durante el transporte.

1.4.6. Mezclador de ceniza

El mezclador de ceniza es un cilindro de metal que tiene las siguientes dimensiones: 1,800 mm de diámetro y 2,900 mm de altura, con capacidad de 1,000 kg de ceniza.

Es importante mencionar que el cilindro que se muestra en la imagen fue adaptado de un cilindro de metal usado para construir el mezclador. Se adaptaron aspas, un motor-reductor, bases y una escalera para realizar la dosificación de los componentes para elaborar las briquetas.

Figura 5. **Mezclador de ceniza**



Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior, se aprecia el mezclador de materia prima para la fabricación de las briquetas.

1.4.7. Componentes adicionales de la máquina briquetadora

Son elementos o componentes adicionales que se utilizaron para el ensamblaje y funcionamiento de la máquina briquetadora, entre ellos están:

- Aire comprimido: son los equipos en la planta que actualmente operan con sistema de aire comprimido de 80 psi; para el presente caso, se necesitó de un regulador de presión, debido a que el sistema del nuevo equipo trabaja con una presión de 60 psi.
- Energía eléctrica: se instaló un sistema de energía eléctrica de 480 V trifásico, *breaker* de seguridad, flipones, tubería y cableado.

1.4.8. Condiciones de operación de la máquina briquetadora

Es importante tener en cuenta que las condiciones óptimas de operación de la máquina briquetadora, con las que se obtiene la eficiencia deseada son:

Tabla I. **Condiciones de operación de la máquina briquetadora**

Descripción	Valores
Temperatura de funcionamiento	+ 5 °C a + 40 °C
Voltaje necesario	480 V Trifásico
Motor	40 hp
Velocidad de rotación de rodillos	18 rpm

Continuación de la tabla I.

Presión lineal de la cara del rodillo	0.8 Ton
Forma estructural	Dos rodillos y una sola presión
Forma de la bola	Ovalada, de tamaño 30 mm

Fuente: elaboración propia.

1.5. Proceso de montaje de máquina briquetadora

La máquina briquetadora es un equipo de tipo industrial y multifuncional, que fue montado sobre un cimiento de concreto sólido, fijado o sujetado por medio de un anclaje o enclavamiento.

El cimiento de concreto fue construido de 17 metros de largo por cinco (5) metros de ancho y diez (10) centímetros de espesor; sobre este cimiento se montó la máquina briquetadora, misma que fue anclada para evitar movimiento de la misma durante su operación.

Adicionalmente, se construyó una estructura metálica sobre la máquina briquetadora, también denominada Mezzanine; la función de esta estructura metálica es de sostener el mezclador de cenizas o de materiales.

1.5.1. Cimiento

Se denomina cimentación al conjunto de elementos estructurales cuya misión es transmitir las cargas de la maquinaria al suelo, distribuyéndolas de manera que no superen la presión admisible ni produzcan cargas zonales. La construcción fue necesaria, para soportar las cargas que la maquinaria produce

y las transmite al suelo. El área de contacto entre el suelo y la cimentación será proporcionalmente más grande que los elementos soportados.

1.5.2. Tipos de cimiento

De manera general, la cimentación puede clasificarse en dos grupos: cimentación para obras civiles y cimentación para máquinas. Para el presente caso, la segunda fue la seleccionada, dado que se ajusta a las necesidades de la maquinaria adquirida.

1.5.2.1. Cimiento para obras civiles

Es el cimiento que se utiliza en obras civiles como edificios, centros comerciales y proyectos de construcción en general.

1.5.2.2. Cimientos para maquinaria

El diseño de cimentación para máquinas es más complejo que la cimentación en obras civiles, debido que la primera debe resistir máquinas en movimiento, mientras que la segunda soporta únicamente cargas estáticas.

En el diseño para la cimentación de máquinas se debe considerar, aparte de las cargas estáticas, las fuerzas dinámicas (vibraciones), ocasionadas por la máquina en operación o movimiento.

Tipos de cimentación para maquinaria:

- Cimentaciones tipo bloque: consiste en un pedestal construido de concreto sobre el cual se coloca la máquina para que repose.

- Cimentaciones tipo cajón: consisten en un bloque hueco construido de concreto, en cuya losa o tapa, debe anclarse la máquina.
- Cimentaciones tipo muro: consiste en la construcción de muros horizontales, los cuales deben soportar la máquina en la parte superior.
- Cimentaciones tipo pórtico: consiste en columnas verticales construido de concreto, que, en su parte superior, en el marco horizontal soporta o descansa la máquina.
- Material base: las características del material utilizado de base para los cimientos de la maquinaria, es determinante para una fijación adecuada con las fuerzas de tracción y compresión que podrá soportar. El material base regularmente utilizado es el concreto.
- Concreto: es el material base más común que se utiliza para construcción de anclajes mecánicos por su resistencia; está integrado por cuatro (4) elementos específicos que son: cemento, arena, grava o piedra triturada y agua.

1.5.3. Tipos de enclavamiento o anclaje

Para que una máquina opere de manera segura debe estar anclada (aferrada), debidamente a un cimiento. Al momento de construir un cimiento es importante tener en cuenta el tipo de anclaje que se necesita, es decir, según las características de la máquina a reposar.

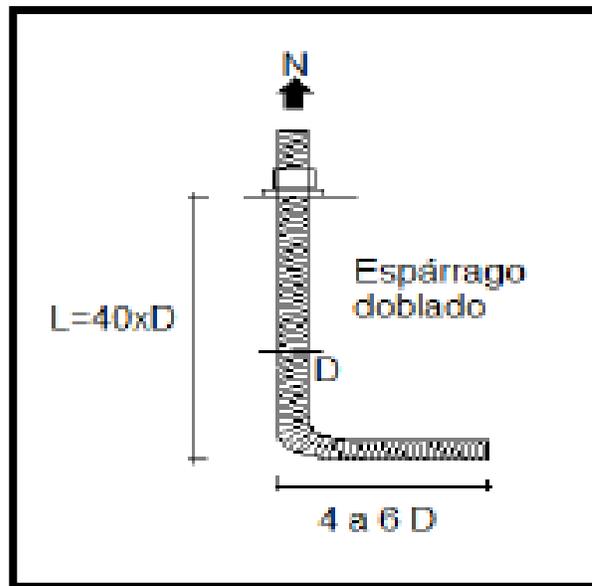
Actualmente existen varios tipos o métodos de anclaje:

1.5.3.1. Enclavamiento o anclaje tipo “L”

El tipo de enclavamiento o anclaje más utilizado es el de pata o tipo “L”; este tipo de anclaje tiene la característica de sujetar adecuadamente la máquina y evitar el giro del perno. La longitud de la pata del perno puede ser de cuatro (4) hasta seis (6) pulgadas de diámetros y una longitud mínima de 40 pulgadas de diámetro.

Este tipo de anclaje es de fácil fabricación, colocación práctica y de bajo costo. En la siguiente figura se presenta un anclaje tipo “L”.

Figura 6. Anclaje tipo “L”



Fuente: MONROY, Fredy. *Montaje y mantenimiento de equipo*. p. 16.

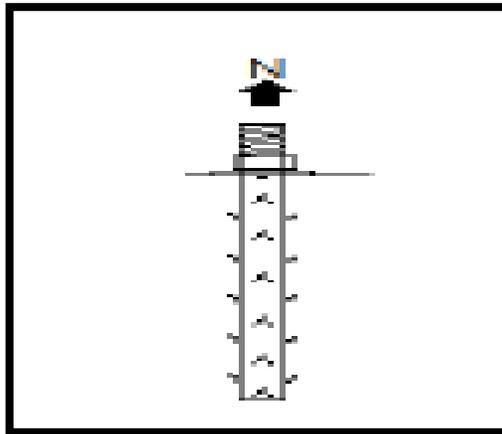
1.5.3.2. Perno arponado

Perno en una pieza de hierro u otro material resistente, de forma cilíndrica, extendido, con cabeza redonda por un extremo, asegurada con una chaveta, y con una tuerca o un remache por el otro, que se utiliza para afirmar una pieza.

El perno arponeado está fabricado a partir de unas barras lisas; este tipo de perno es escaso en el mercado a causa de su elevado costo, razón por la cual es poco utilizado en el anclaje de maquinaria.

En la figura 7 se presenta la imagen del perno arponado.

Figura 7. Perno arponado



Fuente: MONROY, Fredy. *Montaje y mantenimiento de equipo*. p. 16.

1.5.3.3. Perno con cabeza

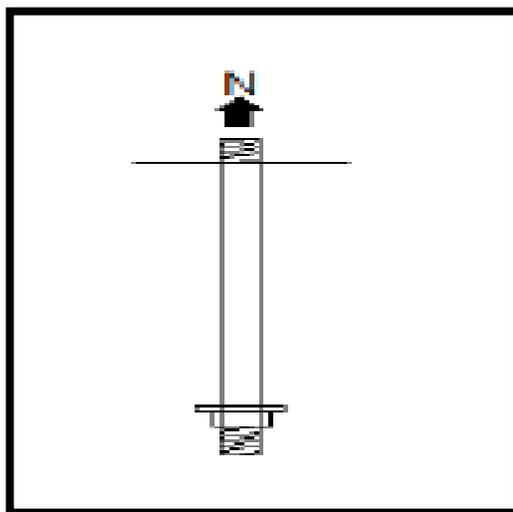
Como todos los pernos, éste tipo es una pieza de metal de forma cilíndrica, extendido, que se puede obtener a partir de una barra liza a la que se agrega una

tuerca, y una arandela a la parte empotrada en el concreto, para que resista la tracción.

El área de la arandela se calcula sobre la resistencia de carga de tensión en el perno y su transmisión al concreto por aplastamiento.

Es importante mencionar que todo perno debe ser de acero estructural y como mínimo de calidad A 307.

Figura 8. **Perno con cabeza**



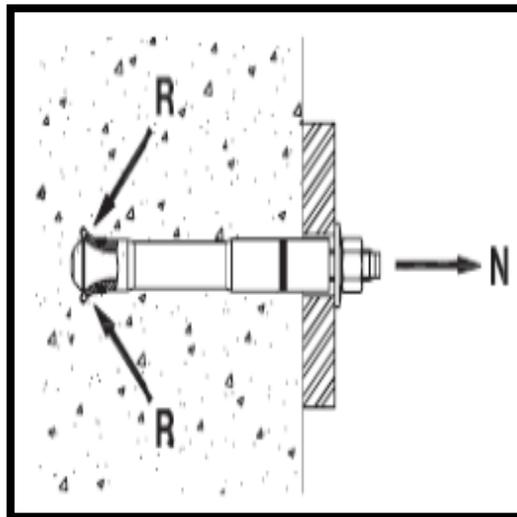
Fuente: MONROY, Fredy. *Montaje y mantenimiento de equipo*. p. 16.

1.5.3.4. Perno Hilti

Perno Hilti es una pieza de metal u otro material de forma cilíndrica, extendido, con cabeza redonda por un extremo y asegurada con una claveta, una tuerca o un remache por el otro, que se utiliza para afirmar una pieza.

Este tipo de perno se utiliza en procesos de enclavamiento para equipos de mucho tamaño y peso; regularmente se utiliza en la industria, ya que son económicos y de fácil instalación. En el proceso de instalación, basta con utilizar un barreno y una broca para romper el concreto; su funcionamiento se enfoca en un mecanismo de fricción en la cabeza del tornillo, luego es ajustado por una tuerca hasta quedar totalmente anclado.

Figura 9. **Perno Hilti**



Fuente: MONROY, Fredy. *Montaje y mantenimiento de equipo*. p. 16.

Para mejor comprensión del tema, se presenta una tabla con valores de las cargas permisibles, tanto de corte como de tensión de los diferentes tipos de pernos y de concreto.

Tabla II. **Corte y tensión permisible en pernos**

Diámetro (Pulgadas)	Anclaje mínimo (cm)	Esfuerzo mínimo en el concreto (kg/cm ²)		
		Corte		Tensión
		141	211	141 a 352
1/4	6.4	227	227	91
3/8	7.6	499	499	227
1/2	10.0	907	907	431
5/8	10.0	1247	1361	680
3/4	12.7	1334	1615	1021
7/8	15.2	1624	1882	1451
1	17.8	1624	1882	1451
1 1/8	20.3	1624	2041	1451
1 1/4	22.9	1624	2404	1451

Fuente: MONROY, Fredy. *Montaje y mantenimiento de equipo*. p. 19.

1.5.4. Tipos de unión de materiales

Existen varios tipos de unión entre materiales, que se diferencian por su costo de aplicación, entre los cuales se mencionan los siguientes:

1.5.4.1. Unión por soldadura

La soldadura es la forma más común de unir dos o más piezas de metal; esto se logra con fundición mediante la presencia de calor, con o sin material de aporte.

Las ventajas de las conexiones con soldaduras es que se logra obtener rigidez en la estructura con bajo costo, por la reducción del número de

perforaciones en las piezas, considerando que tienen limitaciones importantes que se relacionan con la posibilidad real de ejecutarlas e inspeccionarlas en obra.

1.5.4.2. Unión apernada

Este tipo de unión consiste en ensamblar dos o más pernos; en un extremo es liso y roscado en el otro. Es importante mencionar que con el desarrollo de la tecnología se ha logrado fabricar pernos de diferente dimensión o medidas de alta resistencia, por lo que estas uniones permiten excelentes resultados.

1.5.4.3. Unión por tornillo

Son conexiones simples utilizadas en estructuras de metal liviano para fijar chapas o perfiles de bajo espesor. Las fuerzas que transfieren este tipo de conexión son bajas, por lo que regularmente se tiene que insertar una cantidad mayor de tornillos.

1.5.5. Tipos de aislador de vibraciones en maquinaria

Aislador es un mecanismo que permite reducir las vibraciones de cualquier maquinaria. En la industria se emplean varios tipos de aisladores de vibración de máquina que son básicos, entre ellos están:

1.5.5.1. Elastómeros

Consiste en colocar varias capas de material aislante tales como hule o asfalto alrededor de la cimentación, donde se colocará una maquinaria.

1.5.5.2. Resortes o amortiguadores

Los resortes o amortiguadores son objetos metálicos que se utilizan para soporte de maquinaria de alta velocidad, de aproximadamente de 300 rpm, y de suspensión para maquinaria de baja frecuencia.

1.5.6. Instalaciones eléctricas en maquinaria

Una instalación eléctrica es el conjunto de circuitos eléctricos integrado por cables y canales que tienen como objetivo un uso específico. Las instalaciones eléctricas sirven para asegurar la conexión para el correcto funcionamiento de los aparatos eléctricos.

En las instalaciones eléctricas se requiere de los componentes siguientes: sistemas de transformación, regulación y protección.

1.5.6.1. Alimentación

Se le denomina alimentación aquella parte de la instalación que recibe energía del exterior, generalmente es energía eléctrica; en el caso de las centrales eléctricas, éstas pueden alimentarse de energía térmica, mecánica, química o radiante.

1.5.6.2. Protecciones

La protección para las instalaciones eléctricas es indispensable y consiste en colocar dispositivos para garantizar la seguridad de las personas y de los bienes o maquinaria a montar. Las protecciones están integradas por los elementos siguientes: transformadores, reguladores de voltaje, interruptor de circuitos, fusibles y otros.

1.5.6.3. Conductores

Los conductores son los encargados de dirigir la corriente a los componentes de las instalaciones eléctricas. Los alambres y los cables, que son los encargados de la conducción, se diferencian por los materiales de su construcción.

Un alambre consiste en un hilo que suele ser de cobre o aluminio. Un cable está constituido por varios hilos. La ventaja del segundo nombre sobre el primero, que es capaz de conducir mayor cantidad de corriente para la misma sección; su desventaja es que es mayor costo.

En la tabla III, se detallan los valores de la corriente eléctrica permisible en los conductores.

Tabla III. **Intensidad de corriente permisible en conductores**

Área de Sección Nominal (mm ²)	Calibre del conductor (AWG)	Corriente permisible en conductos con diferente temperatura		
		60 °C	75 °C	90 °C
0,32	22	3	3	
0,51	20	5	5	
0,82	18	7,5	7,5	
1,31	16	10	10	
2,08	14	15	15	25
3,31	12	20	20	30
5,26	10	30	30	40
8,36	8	40	45	50
13,30	6	55	65	70
21,15	4	70	85	90
26,67	3	80	100	105
33,62	2	95	115	120
42,41	1	110	130	140
53,49	1/0	125	150	155
67,42	2/0	145	175	185

Continuación de la tabla III.

85,01	3/0	165	200	210
107,2	4/0	195	230	235
127	250 MCM	215	255	270
152,0	300 MCM	240	285	300
177,3	350 MCM	260	310	325
202,7	400 MCM	280	355	360
253,4	500 MCM	320	380	405
304	600 MCM	355	420	455
354,7	700 MCM	385	460	
380	750 MCM	400	475	500
405,4	800 MCM	410	490	
456	900 MCM	435	520	
506,7	1000 MCM	455	545	585
633,4	1250 MCM	495	590	
760,1	1500 MCM	520	625	
886,7	1750 MCM	545	650	886,7
1013	2000 MCM	560	665	1013

Fuente: PROCOBRE. *Conductores eléctricos*. p. 11.

1.5.7. Tipos de instalaciones eléctricas

Existen varios tipos de instalaciones eléctricas utilizadas en maquinaria; pueden ser de alto o bajo voltaje.

1.5.7.1. Según su voltaje

Es importante conocer el voltaje con la que se va a operar una máquina o equipo, ya que sin esa información se podría realizar una conexión irregular o incorrecta y provocar un corto circuito.

- Instalaciones de alto y medio voltaje: son aquellas que se diferencian por la potencia máxima entre dos conductores, que es superior a 1000 voltios

(1 kV). Generalmente son instalaciones de mucha potencia, en las que es necesario evitar pérdidas por efecto Joule (calentamiento de los conductores).

- En muchas ocasiones se emplean instalaciones de alto voltaje con bajas potencias para aprovechar los efectos del campo eléctrico.
- Instalaciones de baja tensión: es el caso más común el de instalación eléctrica en viviendas. En estas, la diferencia de potencial máxima entre dos conductores es inferior a 1000 voltios (1 kV), pero superior a 24 voltios.

1.5.7.2. Según su uso

Además del voltaje, es importante saber el uso que tendrá la máquina o equipo para realizar una conexión adecuada, y puede ser de la manera siguiente:

- Instalaciones generadoras: las instalaciones generadoras son aquellas que crean una fuerza electromotriz, y por tanto energía eléctrica, a partir de otras formas de energía. La energía eléctrica, en corriente alterna debe recorrer largas distancias hasta llegar a los centros de consumo, sean estas plantas industriales o bien centros poblados; para ello se utilizan las líneas de transmisión de alto voltaje y extra alta tensión.
- La red de distribución en Guatemala es trifásica, con una línea adicional neutra y de 500,000 voltios entre fases igual a 500 kV.
- Instalaciones de transporte: las instalaciones de transporte son las líneas eléctricas que conectan el resto de instalaciones. Pueden ser aéreas, con

los conductores instalados sobre apoyos, o subterráneas, con los conductores instalados en zanjas y galerías.

1.5.8. Instalaciones neumáticas en maquinaria

Generalmente una red de instalaciones de aire comprimido en cualquier industria, está conformada por un conjunto de compresores para conducir todo su caudal de aire a una planta.

Los compresores en la ficha técnica señalan la máxima presión de trabajo y proporciona datos del caudal; la tubería y su conexión debe estar calculada con un diámetro que soporte altas presiones para evitar pérdidas de presión, así como la previsión de futuras ampliaciones en la red para el aumento del caudal.

- Tubería principal: es la que se conecta con las tuberías de servicio por medio de las que se proporciona la presión que necesita cada equipo.
- Tuberías de servicio: son las tuberías que surten los equipos neumáticos de la presión necesaria; en sus extremos tienen conectores rápidos y sobre ellas se ubican las unidades de mantenimiento.
- En las recomendaciones se encuentra que no se debe sobrepasar de tres (3) el número de equipos alimentados por una tubería de servicio, por riesgo de provocar accidentes.

1.5.9. Mantenimiento de maquinaria

Constituyen todas las acciones que tienen por propósito u objetivo conservar en buen estado un equipo o restaurarlo a un estado en el cual pueda

llevar a cabo cualquier operación requerida. El mantenimiento de cualquier equipo, incluye la combinación de acciones técnicas y administrativas.

El mantenimiento a toda actividad humana que garantice la continuidad de un servicio dentro de una calidad establecida. El mantenimiento puede dividirse en correctivo o preventivo: el primero, es el preventivo; es el tipo de mantenimiento que se realiza con el propósito de evitar que se pierda la calidad y la continuidad del servicio; y el correctivo, es el que se realiza para reparar o reponer piezas de los equipos, específicamente donde la continuidad y la calidad del servicio se perdió.

También el mantenimiento constituye un sistema indispensable dentro de toda organización industrial; desde esa perspectiva básica, su función consiste en realizar reparaciones, ajustes, reemplazos o modificaciones de los componentes de los equipos, para que puedan operar satisfactoriamente durante un determinado tiempo.

1.5.9.1. Tipos de mantenimiento

Es importante comprender la diferencia que existe entre los distintos tipos de mantenimiento de maquinaria, ya que son útiles en diversas condiciones de operación.

Se describen los distintos tipos de conservación que se utilizan en el país.

- **Mantenimiento de conservación:** es el conjunto de acciones que tiene por objetivo compensar el deterioro sufrido por el uso de un equipo, por agentes meteorológicos u otras causas. Este tipo de mantenimiento

permite que los equipos estén en buenas condiciones mecánicas y eléctricas para su operación.

- **Mantenimiento correctivo:** es el conjunto de acciones que tiene como propósito corregir los desequilibrios, defectos o averías observadas en un equipo; también se utiliza en casos de emergencia cuando alguna pieza del equipo se rompe o falla; en este caso será necesario reponerla por otra.
- **Mantenimiento preventivo:** es el conjunto de acciones que tiene el objetivo la conservación los equipos, con la que también se garantiza su funcionamiento. Este tipo de mantenimiento se puede llevar a cabo mediante la revisión y limpieza de sus componentes con los que también se garantiza su fiabilidad
- **Mantenimiento de oportunidad:** este tipo de mantenimiento tiene el propósito de dar mantenimiento o realizar reparaciones a los equipos, aprovechando las paradas o periodos del cese temporal de operaciones. Este tipo de mantenimiento surge como consecuencia del paro de un equipo para otorgar un descanso a causa de un cambio de ciclo o de temporada, tiempo que es aprovechado para realizar revisiones, reposiciones o mantenimiento o bien reparaciones para garantizar el buen funcionamiento en un nuevo ciclo de operaciones.
- En el período de paro, los propietarios de los equipos obtienen conciencia de la importancia de dar mantenimiento periódico y apropiado para prolongar la vida de sus equipos.

- Mantenimiento predictivo: este tipo de mantenimiento tiene el propósito de utilizar la metodología de la observación directa de las condiciones de operación de los equipos; dicha metodología permite monitorear vibraciones, temperatura, viscosidad del aceite, presión de trabajo y otros. Regularmente el monitoreo que se utiliza se basa en manual de operaciones que permite detectar y prever fallas.

1.5.10. Características de la materia prima carbón

La materia prima utilizada en la compañía es un carbón especial denominado Hulla Bituminosa Térmica, que es un material con mucha densidad que puede ser convertido en carbón coque; este se utiliza para el proceso de generación. El carbón coque o hulla se convierte en un combustible, debido a que contiene pocas impurezas y alto contenido de carbono, es muy utilizado como agente reductor en la función de mineral de hierro en un alto horno. Este tipo de materia prima generalmente es utilizado en las centrales termoeléctricas y metalúrgicas.

El carbón o hulla, es una roca sedimentaria orgánica, es un tipo de carbón mineral que contiene entre 80 % y 90 % de carbono. Es duro pero quebradizo, es estratificado de color negro y con un brillo mate o graso. Es el tipo de carbón más abundante en el mundo.

El tipo de carbón que se utiliza en la caldera de la compañía, por su alto poder calórico, es el carbón de 10,825 Btu/Lb (según certificado de Análisis del Carbón, emitido en Colombia).

2. FASE TÉCNICO PROFESIONAL

La fase Técnico Profesional comprende la aplicación de los conocimientos obtenidos en las materias o cursos de la carrera de Ingeniería Mecánica. Esta fase se llevó a cabo en el área de intervención de la compañía eléctrica, durante el montaje de la máquina briquetadora, durante la fabricación de los complementos.

2.1. Instalación de la máquina briquetadora

Para la instalación de todo equipo, debe de ser analizado con detenimiento, regularmente se hace en un sitio donde se tengan de manera inmediata los insumos que utiliza. En el presente caso, la máquina briquetadora se instaló en un lugar idóneo, específicamente cerca del área de Almacenamiento de Ceniza, debido a que se tiene a disposición inmediata la materia prima.

2.1.1. Ubicación propuesta

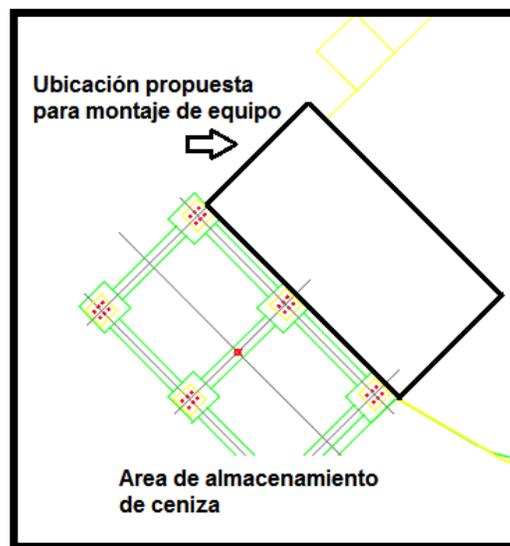
Inicialmente se propuso instalar la máquina en el área de Descarga de Carbón, pero eso no fue posible hacerlo debido a la larga distancia con los insumos, lo que provocaría utilizar largo periodo en los traslados.

En su lugar, se eligió el área de Descarga y Almacenamiento de la Ceniza Recuperada, por su cercanía, y donde también hay espacio para el montaje de otra máquina que pueda adquirirse en el futuro para ampliar la capacidad de producción.

2.1.2. Plano de ubicación

Se presenta imagen del área donde se realizó el montaje de la máquina briquetadora y sus componentes.

Figura 10. Ubicación del montaje de la máquina briquetadora



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

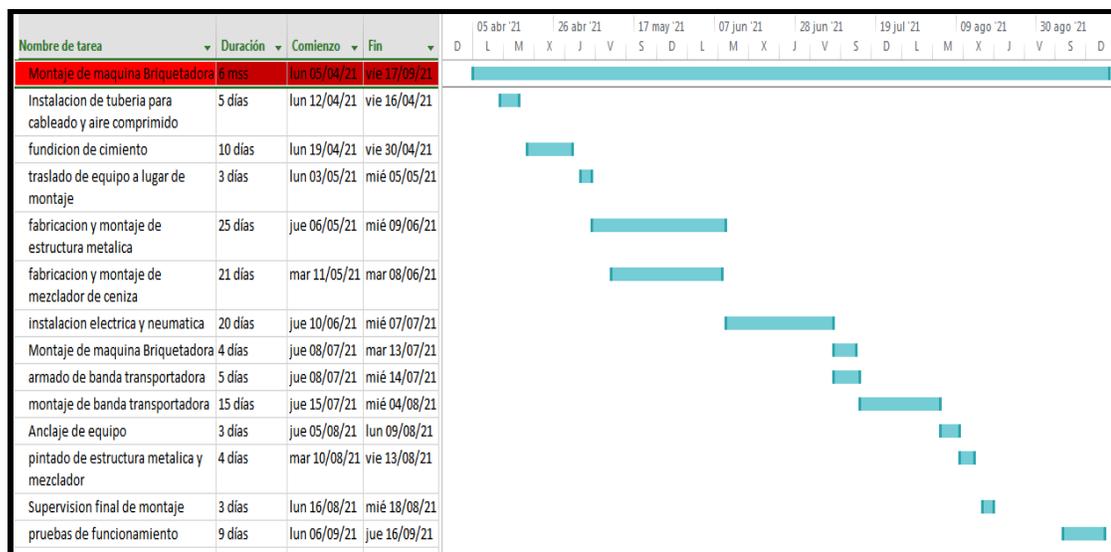
2.2. Planificación del montaje de la máquina briquetadora

La planificación, coordinación y ejecución de las actividades del proceso de montaje de la máquina briquetadora y de sus componentes, fue de mucha importancia para los ingenieros de la compañía y para el personal operativo que colaboraron con dicho proceso.

La planificación constituyó una importante herramienta porque permitió detallar todas las actividades a realizar, las responsabilidades y los tiempos.

El tiempo utilizado en el montaje de la máquina briquetadora y de sus componentes fue de cinco (5) meses, las áreas responsables del ensamblaje son: departamento Mecánico y el departamento Eléctrico, ambos a cargo del gerente Mecánico de la compañía.

Figura 11. **Cronograma de actividades para el montaje de la máquina**



Fuente: elaboración propia, empleando PROJECT 2013.

2.2.1. **Equipo y materiales utilizados en el montaje**

Se presenta un listado de materiales e insumos que se utilizaron en el montaje de la máquina briquetadora:

- Cemento de alta resistencia a la compresión
- Electro-malla
- Materiales eléctricos
- Materiales neumáticos

- Pernos de anclaje Hilti
- Alambre de amarre
- Electrodo para soldadura
- Equipo de oxicorte
- Pulidora y discos de corte
- Angulares de 12 pies
- Perfil cuadrado de 12 pies
- Montacargas de 2.5 toneladas
- Fajas de tensión de diferente tonelaje
- Polipasto de diferente tonelaje
- Cinta métrica
- Lamina antideslizante
- Tubería de pvc de 8 plg
- Guillotinas neumáticas
- Equipo de seguridad industrial
- Tubo de 8 plg hierro negro cedula 80

2.2.2. Cimiento construido

Como fue mencionado en los incisos anteriores, existen diferentes métodos de cimentación según el tipo de maquinaria al que servirá de base; en ese sentido, se debe de tener conocimientos del tipo de carga estática o dinámica que soportará al mismo.

Otro de los elementos que se deben analizar, es el peso del equipo y el movimiento que pueda generar. También se debe tener conocimiento de las condiciones del suelo, si es arenoso, si existe o no agua subterránea, o es terreno firme. De no contar con dichos conocimientos y se lleva a cabo la cimentación, lo

probable es que el terreno cimentado se hunda o la cimentación se fracture, y el equipo sea afectado seriamente.

Para el presente caso, se tomaron en cuenta todos y cada uno de los factores mencionados, debido a que la compañía eléctrica contaba con información y documentación necesaria para realizar el cimiento.

El cimiento construido es el de tipo Bloque. Este tipo de cimiento se basó en la información obtenida de los manuales de la máquina briquetadora para conocer sus dimensiones, peso, movimiento o vibraciones; en cuanto a la selección del terreno, las características principales son: plano, firme, y la ubicación del área dentro de las instalaciones.

Las características del cimiento construido son las siguientes: diez (10) metros de largo, cinco (5) metros de ancho, diez (10) centímetros de espesor. Los materiales utilizados en su construcción son: cemento, pedrín, arena, agua, varillas de hierro y alambre de amarre.

Para el anclaje, se utilizaron pernos tipo "Hilti" de 3/8" de acero A36, según el siguiente detalle: 16 pernos en la estructura, seis (6) en la briquetadora y 20 en la banda transportadora. Es importante mencionar, que no hubo necesidad de instalar un sistema de amortiguamiento, debido a que la máquina no genera altas vibraciones.

Figura 12. **Preparación del suelo**



Fuente: elaboración propia, instalaciones Escuela de Ingeniería Mecánica,
Facultad de ingeniería.

2.2.3. Instalaciones eléctricas

En las instalaciones eléctricas, los conductores deben ser apropiados como la cantidad de corriente y voltaje, es decir, debe buscarse una perfecta relación entre voltaje, corriente y potencia; estos aspectos permitirán seleccionar el tipo de protección y cableado a utilizar.

La fórmula utilizada para medir el consumo en amperios de la máquina y la energía o corriente que circula por los conductores es:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{30000}{480} = 62.5 \text{ amp}$$

La presente descripción de las instalaciones eléctricas, incluye la conexión de tres (3) motores con diferentes funciones, de distintas capacidades, y por lo tanto de diferentes consumos: corriente para el motor de la máquina briquetadora, motor del mezclador y para el motor de la banda transportadora.

- Conexión para el motor de la máquina briquetadora: con base a la fórmula anterior y la tabla III, el cable conductor para el motor, se estableció de calibre 6.0 AWG, debido que dicho valor de calibre soportará eficientemente la corriente.
- Conexión para el motor del mezclador: de igual manera que el anterior, con base a la fórmula mencionada y a la tabla III, el cable conductor para el motor, es de 12.0 AWG, y es el idóneo, dado que dicho motor tiene una potencia de 5500 watts, 480 voltios y una corriente de 11,5 amperios.

2.2.3.1. Listado de componentes eléctricos utilizados

Se presenta detalle de los componentes utilizados en las conexiones eléctricas, en el panel de control y en los arrancadores de los motores.

Componentes:

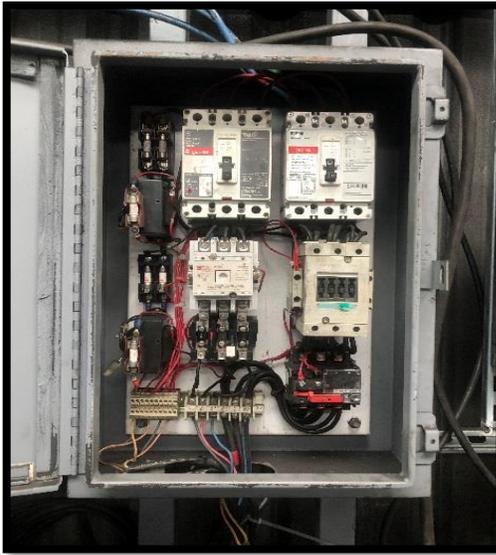
- *Breaker* de 150 amp trifásico
- *Breaker* de 70 amp trifásico
- Dos (2) *Breaker* de 15 amp trifásico
- 45 metros de cable calibre 6 AWG de aluminio
- 45 metros de cable calibre 12 AWG de cobre

- 45 metros de tubería de aluminio de 2"
- 45 metros de tubería de aluminio de 1"
- Ocho (8) metros de tubería de pvc
- Dos (2) cajas de registro
- Cuatro (4) vueltas de 90° de aluminio
- Cuatro (4) vueltas de 45° aluminio
- Tres (3) metros de manguera flexible de 1"
- Dos (2) conectores para manguera de 1"
- Dos (2) rollos de cinta de aislar 3M
- Ocho (8) terminales para cable calibre 6 AWG
- 12 terminales para cable calibre 12 AWG
- Tres (3) arrancadores de motor
- Un (1) variador de frecuencia
- 12 coplas de 2"
- 15 coplas de 1"

2.2.3.2. Panel de control y arrancadores de motores

Imágenes que muestran las cajas o paneles de control con los dispositivos de seguridad y los arrancadores de los motores.

Figura 13. **Breaker de seguridad**



Fuente: elaboración propia, instalaciones Escuela de Ingeniería Mecánica,
Facultad de ingeniería.

Como se muestra en la figura anterior, que consiste en la caja metálica o panel de control, en su parte interior se observan varios dispositivos de seguridad para energizar los motores.

Por medio de *breaker* de seguridad, se tiene el control de la energía. Esta caja de control está ubicada en un cuarto especial, en la parte trasera de la máquina briquetadora, cuya operación está a cargo del jefe eléctrico.

Figura 14. **Arrancador de motor**



Fuente: elaboración propia, instalaciones Escuela de Ingeniería Mecánica,
Facultad de ingeniería.

En la imagen anterior se aprecia una caja metálica o panel de control para el encendido y apagado de los motores, conteniendo varios botones con luces llamativos colores para advertencia de encendido o apagado de los motores:

Las luces de color verde sirven de advertencia que los motores están en operación; los botones color rojo sirven para advertir que las guillotinas neumáticas están abiertas o cerradas; y los botones de color negro sirven para el arranque o apagado de los motores.

Esta caja se localiza a un costado, lado derecho de la máquina briquetadora, cuya operación está a cargo del jefe de operaciones.

2.2.4. Instalaciones neumáticas

Los equipos neumáticos son dispositivos que operan con aire comprimido y su función en las instalaciones es para controlar las descargas de ceniza.

Este tipo de equipo instalado en la planta opera con una presión de 80 psi (psi=libra por pulgada cuadrada), y las guillotinas neumáticas operan a 60 psi; debido a la presión con la que trabajan las mencionadas instalaciones, fue necesario colocar un regulador de presión para manipular de 80 psi a 60 psi, según las conveniencias de seguridad. El diámetro de la tubería de aire comprimido instalado en las guillotinas es de ½" de hierro galvanizado.

2.2.4.1. Componentes de las instalaciones neumáticas.

Es importante mencionar que la tubería principal de las instalaciones neumáticas, las cuales ya estaban instaladas, soporta una presión de 80 psi, pero fue necesario instalar un regulador de presión. Se presenta el detalle de los componentes utilizados en las instalaciones.

- Diez (10) metros de tubería de HG de ½"
- metros de manguera de 8mm
- Ocho (8) acoples de ½"
- Cinco (5) codos de ½"
- Cuatro (4) tees de ½"
- 20 acoples rápidos para manguera de 8mm
- válvulas manuales de 2 posiciones para control de aire.
- Seis (6) válvulas de bola de ½"
- Un (1) regulador de presión

Figura 15. **Válvulas del sistema neumático**



Fuente: elaboración propia, instalaciones Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de ingeniería.

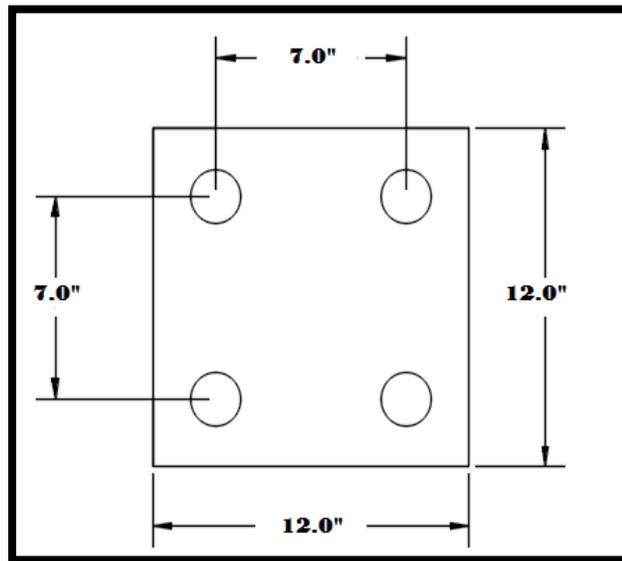
En la imagen de la figura anterior se aprecian las válvulas neumáticas para el cierre y apertura de las guillotinas, acciones que se realiza de forma manual. Este dispositivo se localiza a un costado, lado derecho de la máquina briquetadora, cuya operación está a cargo del jefe de operaciones.

2.2.5. Estructura metálica

Para la construcción de toda estructura metálica para el montaje de una maquinaria, es necesario la utilización de diversos tipos de materiales según las especificaciones. En el presente caso, se construyó una estructura metálica con acero ASTM A500, en el cual se montó la máquina briquetadora y el mezclador.

Las columnas tienen las siguientes dimensiones: largo 2.75 mt, de forma circular de 6" de diámetro y espesor de 3/8".

Figura 16. **Diseño de Platina para soporte**



Fuente: elaboración propia, empleando AUTOCAD.

Para el soporte de las columnas, fue necesario fabricar platinas, que son cuadros de metal, que sirvieron de soporte para el anclaje de las columnas.

Figura 17. **Colocación de columnas**



Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior, se muestra el anclaje de las cuatro (4) columnas de acero que sirven de soporte de la parte superior de la estructura donde se ubica el mezclador.

Figura 18. **Montaje de vigas**



Fuente: elaboración propia.

Como parte de la estructura, donde se ubica el mezclador, fue necesario utilizar seis (6) vigas de acero de 8" x 6" con espesor de $\frac{3}{4}$ ". Para la unión de los parales y las vigas de acero, se utilizaron electrodo AWS E7018, que es un tipo especial para tuberías que soportan esfuerzos mecánicos.

Para el piso de la estructura donde se ubica el mezclador, se utilizaron cinco (5) láminas metálicas antideslizante, de $\frac{3}{16}$ " de espesor, servirá para protección y seguridad del operador de la máquina y para la baranda de seguridad, se utilizó tubo de proceso de 2" de diámetro.

Figura 19. **Vista general de la estructura del mezclador**



Fuente: elaboración propia, Escuela de Ingeniería Mecánica.

2.2.6. Mezclador de ceniza y tubería de descarga

Para la fabricación del mezclador se utilizó un cilindro de acero, que anteriormente había sido utilizado en un proceso de almacenamiento de agua.

El cilindro tiene un diámetro de 1.8m y altura de 2.5m desde la parte baja. Para el sistema de mezclado se adaptó un motor-reductor de 5 hp; para la mezcla de la materia prima se diseñó un sistema de tornillo sinfín hacia arriba con pared. Los materiales que se necesitaron para la fabricación son: lámina de acero de 3/8" de espesor, eje de 2" de diámetro por 2 m de largo, y electrodo AWS E7018.

El sistema tiene la capacidad de mezclar 1,750 kg por batch de materia prima, lo cual es adecuado para el volumen que maneja. Para la descarga de ceniza a la máquina briquetadora se instaló una guillotina neumática en la parte baja con control a distancia.

Para la descarga de la ceniza desde el silo de almacenamiento al mezclador, fue necesario instalar un tubo de acero de 8" de diámetro en la parte cónica, para instalar otra guillotina neumática y un tubo de PVC de 8" de diámetro, que servirá de conducto hacia el cilindro mezclador.

Figura 20. **Ducto de descarga de ceniza**



Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Guillotina neumática de descarga**



Fuente: elaboración propia.

Para el control del paso de ceniza, se instaló una guillotina neumática, como se observa en la figura 22, esta se manipula con las válvulas neumáticas de cierre y apertura. En su parte inferior, se acopló un tubo de PVC de 8" de diámetro que constituye el conducto de ceniza hacia el cilindro mezclador.

Figura 22. **Mezclador instalado en la estructura**



Fuente: elaboración propia.

2.2.7. Banda transportadora de briquetas

La banda transportadora es la herramienta que se utiliza para el traslado de las briquetas hacia el camión recolector. Dicha banda fue adquirida con la máquina briquetadora, pero fue necesario hacer ajustes a su estructura. Se agregaron patas para alcanzar la altura adecuada, y en los parales laterales fue necesario colocar angulares para reforzar y dar firmeza.

También se hicieron modificaciones al tambor motriz, debido a que no alineaba con la banda.

Figura 23. Estructura de la banda transportadora



Fuente: elaboración propia, Escuela de Ingeniería Mecánica.

La estructura o base de la banda transportadora es metálica, es fuerte para soportar alto tonelaje y alto nivel de vibración. Dicha estructura tiene las siguientes dimensiones: 12 m de largo, 1 m de ancho y tres (3) de alto.

Sobre la mencionada estructura metálica, se colocó la banda de caucho y lona, esta descansa firmemente sobre los rodos instalados; la función de la banda es el transporte del producto terminado, es decir las briquetas, hacia el camión recolector de las mismas.

Figura 24. **Banda de caucho**



Fuente: elaboración propia.

2.2.8. Máquina briquetadora

La máquina briquetadora es un equipo nuevo en la planta, como se dijo, fue adquirida recientemente en la república de China. Con este equipo, ahora se cuenta con una línea de producción de briquetas sólidas, fabricadas con ceniza extraída del proceso de combustión de la caldera.

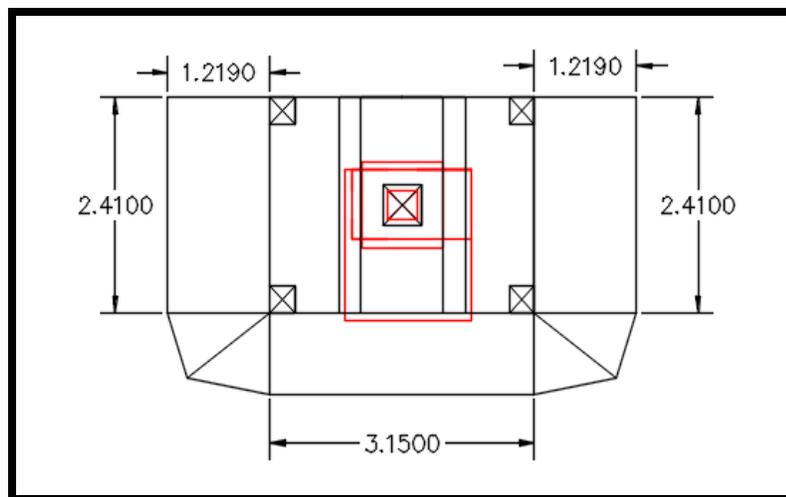
El equipo fue recibido con todos sus componentes ensamblados desde la fábrica; al momento de su montaje y hacer las pruebas de funcionamiento, se observaron algunos inconvenientes entre ellos están:

- Los rodos de compactación estaban desalineados. Para su alineación se retiró una tapadera donde estaban ubicados los engranajes de alineamiento; dicho trabajo fue realizado en su totalidad.
- Las fajas del motor estaban dañadas. Se procedió a adquirir fajas nuevas para permitir el movimiento a la banda transportadora.

Para la colocación de la máquina briquetadora fue necesario hacer uso de un equipo denominado cargador frontal, que se utiliza en la planta para otros menesteres. El anclaje de la máquina se hizo por el método descrito en el numeral 1.5, con base a los planos diseñados.

Se presente una figura en la que se muestran las dimensiones espaciales donde fue anclada.

Figura 25. **Ubicación de la máquina briquetadora bajo la estructura**



Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura se muestra el cargador frontal utilizado para asentar la máquina, luego se realizó el procedimiento de anclaje, para que toda su estructura quedara fija.

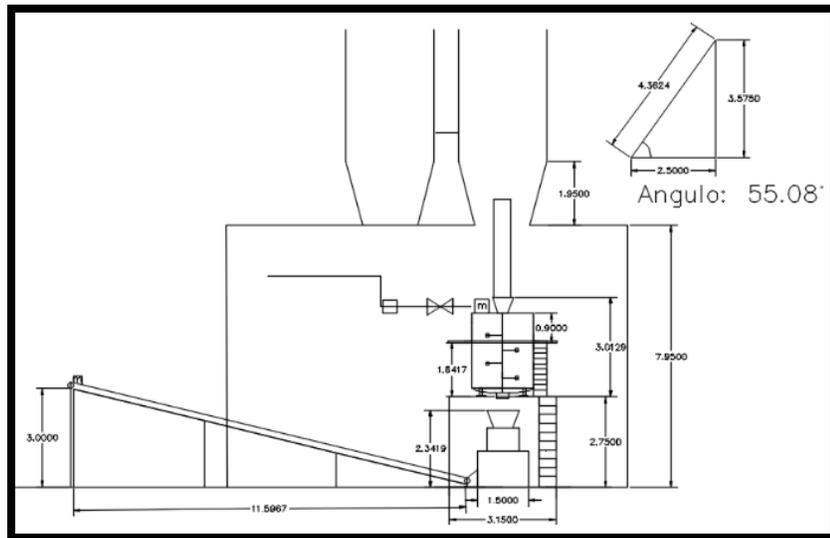
Figura 26. **Posicionamiento de la máquina briquetadora**



Fuente: elaboración propia.

El montaje se llevó a cabo con base a las especificaciones descritos en planos, medidas y ubicación de los equipos, bajo la supervisión y aprobación de los ingenieros de la compañía.

Figura 27. **Plano final del montaje de la máquina briquetadora**



Fuente: elaboración propia, empleando AUTOCAD 2021.

En la siguiente figura, se aprecia la máquina briquetadora instalada y anclada, lista para su operación.

Figura 28. **Montaje en planta de la máquina briquetadora**



Fuente: elaboración propia.

2.3. Puesta en marcha de la máquina briquetadora

La puesta en marcha de la máquina briquetadora constituye la finalización de todas las etapas del proceso de montaje; en esta parte, se verifica que la maquinaria se encuentre correctamente anclada y luego se procede a verificar su funcionamiento, según previsto en el planeamiento.

2.3.1. Listado de puntos básicos de verificación

Se presenta un *check list* o listado de elementos básicos que se verificaron durante la puesta en marcha de la máquina briquetadora.

- Se verificó que los pernos de anclaje estuvieran ajustados, caso contrario se harían los ajustes necesarios.
- Se verificó que la soldadura de unión no tuviera grietas; caso contrario se soldaría de nuevo.
- Se verificó que los diferentes motores del montaje estén fijados a su base.
- Se verificó que las poleas y los cilindros estuviera alineadas, los castigadores estuvieran ajustados al eje, las fajas con la tensión adecuada.
- Se verificó que las conexiones eléctricas estuvieran realizadas con sus condiciones de seguridad.
- Se verificó que los rodamientos tuvieran el nivel de lubricación adecuado.

- Se verificó que la banda transportadora estuviera correctamente alineada y con la tensión adecuada.
- Se verificó que los motores reductores tuvieran el nivel de aceite adecuado, según las especificaciones.

2.3.2. Prueba o ensayo en vacío

Las pruebas en vacío también son llamadas Vacuum test; estas pruebas permiten verificar el correcto funcionamiento de motores, bombas, válvulas. Este tipo de pruebas permite destacar potenciales fallos en motores, empalmes de tubos, estado de válvulas y otros.

En el presente caso, el motor del mezclador en vacío permitió obtener una lectura de 2.3 amp, lo cual es adecuado; según las especificaciones técnicas, el motor tiene un límite máximo de 7.5 amp.

A continuación, se describe el proceso de prueba en vacío realizado:

- Se dio un pulso de encendido y apagado rápido a los motores con el propósito de escuchar si se produce algún sonido extraño que pudiese indicar alguna falla.
- Se midió el amperaje de los motores para verificar que se encuentre dentro del rango de operación.
- Se revisó que no hubiera partes sueltas o flojas en las máquinas, o bien que no exista roce entre piezas móviles.

- Se verificó para determinar la existencia de algún nivel de vibración, si hay un balance de la máquina, como es el caso del mezclador que si lo tiene.
- Se revisó el sentido adecuado del giro de los motores, caso contrario se cambia el sentido.
- Se verificó el funcionamiento de los *breaker* de seguridad, los cuales deben estar al alcance del operador. Este aspecto es muy importante porque permitirá frenar el funcionamiento para evitar accidentes.

2.3.3. Prueba o ensayo con carga

Las pruebas de carga son la práctica de simular el uso del mundo real, o cargar, en cualquier software, sitio web, aplicación web, API o sistema para analizar e identificar factores como la capacidad de respuesta, degradación y escalabilidad.

Al finalizar la prueba de equipos en vacío, se procedió a la medición de corrientes de los motores con carga, se observó que el amperaje fuera el adecuado a los parámetros fueron seguros y no poner en riesgo la vida útil del equipo ni de los operadores.

Para el caso del motor del mezclador, este evidenció un límite de amperaje de operación de 7.5 amp, funcionando con carga al 100 %; se tomaron lecturas estables de 4.8 amp. En caso que hubiera rebasado el valor máximo, debió regularse la carga.

2.3.4. Procedimiento de operación

El personal debe conocer los procesos de operación del equipo. Esto permitirá alcanzar la eficiencia en el trabajo y reducir al máximo los errores, o bien que se mantengan dentro de los rangos permisibles. Para dichos propósitos, la compañía ha provisto de un Manual de procedimiento y de operación, que se adjunta en el apéndice 1.

2.3.5. Inicio de operaciones

La puesta en marcha de la máquina, para el inicio de las actividades productivas, dio resultados positivos según lo previsto, ya que las briquetas fabricadas cumplen con las especificaciones para el consumo de la planta.

Figura 29. **Briquetas terminadas en la banda transportadora**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 29, se muestra el producto terminado, las briquetas, que tienen una dimensión de 30 mm y con cinco (5) gr de peso.

2.4. Mantenimiento de la máquina briquetadora

Para el mantenimiento preventivo de la máquina briquetadora y sus componentes, se propuso un Manual de operación y mantenimiento, que será una buena herramienta para el adecuado mantenimiento, según las especificaciones técnicas del fabricante. El Manual de mantenimiento se puede observar en el apéndice.

Junto al manual, también se resalta la importancia de la creación de órdenes de mantenimiento en el sistema SAP con sus beneficios; en ese sentido, según comentaron los personeros, se podría implementar en un futuro inmediato.

3. FASE DE DOCENCIA

La finalidad de esta fase es dar a conocer el apoyo didáctico otorgado a la durante el proceso del montaje y pruebas de funcionamiento de la máquina briquetadora, y la necesidad de contar con un plan de mantenimiento preventivo del mismo.

3.1. Desarrollo del plan de capacitación

Para tales efectos, se elaboró una matriz guía para capacitar al personal de operaciones y al personal de mantenimiento.

3.1.1. Objetivos

El objetivo general de la capacitación, es ofrecer una serie de acciones directas adaptadas a las capacidades y necesidades de formación y calificación del personal, también la adaptación a las necesidades que conduzcan a la inserción laboral u operativa de la compañía.

La capacitación planteó los tres (3) aspectos siguientes: conocimiento, orientación y concientización.

- Conocer: a todo el personal capacitado se les dio a conocer el Plan de Operación y Mantenimiento de la maquinaria y equipo que fabrica las briquetas y los puntos clave de apoyo.

- **Orientar:** en esta fase se dieron a conocer los aspectos de la interpretación y manejo del Plan de Operación y Mantenimiento, conceptualización, monitoreo y sus aspectos relevantes para la previsión de problemas de la maquinaria.
- **Concientizar:** la capacitación planteó concientizar al personal objetivo, es decir, crear las actitudes o cualidades del personal operario. La intención es promover la eficiencia y la eficacia en todo el proceso.

3.1.2. Meta

Las metas del Plan de Operación y Mantenimiento fueron establecidas con base al número de personas que tienen relación directa e indirecta con la fabricación de las briquetas. La meta cumplida es de 27 personas capacitadas, en tres (3) jornadas de dos (2) horas cada una, según las áreas siguientes:

- **Detalle del personal capacitado:**
 - Nueve (9) operarios de maquinaria
 - Doce (12) operarios de mantenimiento del equipo
 - Cinco (5) ingenieros responsables de la operación y mantenimiento del equipo.
 - Un (1) piloto encargado del transporte (camión).

3.1.3. Estrategia aplicada en el proceso de capacitación

El proceso de capacitación se enfocó en los siguientes aspectos relevantes:

El contenido de la capacitación fue el siguiente:

- Contenido del Manual de operación y mantenimiento
- Aplicación del Manual de operación y mantenimiento
- Funcionamiento de la máquina briquetadora y sus cuidados
- Procedimiento para la fabricación de briquetas
- El control de calidad de las briquetas
- Transporte de las briquetas
- El proceso de prevención y seguridad laboral

3.1.4. Alcances del plan de capacitación

La capacitación estuvo dirigida al perfeccionamiento técnico del operador, para que éste se desempeñe eficientemente en las áreas asignadas, para lograr con ello resultados de calidad, un excelente desempeño, servicio y un perfil ajustado a las necesidades de la compañía.

3.1.5. Matriz capacitación

Una matriz de capacitación es una herramienta valiosa para la identificación de necesidades de capacitación en cualquier organización, porque permite visualizar, de manera general, el nivel de conocimientos y de competencias requeridas a una persona, para el desempeño de un rol dentro de un equipo de trabajo.

Tabla IV. **Matriz de capacitación para personal operativo y de supervisión**

Puestos de trabajo	Áreas de capacitación	Participantes
Operarios de maquinaria y de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Importancia del conocimiento y manejo del Manual operación y mantenimiento. • Importancia del mantenimiento preventivo de la maquinaria y del equipo. • Uso permanente del Manual de uso de los equipos. 	21
Ingenieros supervisores	<ul style="list-style-type: none"> • Importancia del conocimiento y manejo del Manual operación y mantenimiento. • Importancia del mantenimiento preventivo de la maquinaria y del equipo. • Importancia de la supervisión adecuada y oportuna del trabajo de los operarios. 	5
Piloto de unidad de transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Importancia del conocimiento y manejo del Manual operación y mantenimiento. • Importancia de la revisión permanente y oportuna de la unidad de transporte. • Reporte oportuno de la situación de unidad de transporte. 	1

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Que el montaje de la máquina de prensa de dos rodillos, para la fabricación de briquetas de ceniza de carbón recuperado fue realizado con éxito; la Compañía Eléctrica La Libertad, Sociedad Anónima, ahora cuenta con una máquina en estado de funcionamiento; el montaje estuvo coordinado por personal, durante cuatro meses (de abril a septiembre de 2021), a un costo estimado de Q.400,746.00 (incluye precio de compra, impuestos, traslados, componentes y mano de obra).
2. El principal producto de la máquina, es la fabricación de briquetas en forma de óvalos, para ello, se elaboró una Guía del proceso de fabricación, los componentes calculados de las briquetas son: ceniza de carbón 79 %, agua 18 % y harina de maíz 3 % para cada *batch* (mezcla de componentes) de 1,000 kg, La máquina tiene la capacidad de procesar diariamente ocho (8) toneladas de ceniza, equivalente a ocho (8) toneladas de briquetas.
3. Para el funcionamiento adecuado de la máquina briquetadora, se elaboró propuesta de un Manual de operación y mantenimiento, mismo que constituye una importante herramienta para el uso seguro y responsable de la maquinaria y equipo de trabajo, además permitirá prolongar la vida útil de la maquinaria, la cual se estima en 30 años.
4. Como parte del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) realizado, se llevó a cabo un proceso de capacitación para el personal operativo y de mantenimiento que duró tres (3) semanas, el cual tuvo un impacto positivo

en el personal capacitado, dado que los objetivos planteados fueron cumplidos. Ahora el personal cuenta con las capacidades para el desempeño de sus actividades operativas y de mantenimiento dentro de la compañía.

RECOMENDACIONES

1. Apoyar para que la Compañía Eléctrica La Libertad, Sociedad Anónima, revise constantemente los niveles de producción de la máquina objeto del montaje, para que, de acuerdo a la demanda de energía, deterioro u obsolescencia de su maquinaria y equipo, pueda renovar el equipo para mantenerse a la vanguardia tecnológica y continuar ofreciendo buen servicio.
2. Implementar el uso de la Guía del proceso de fabricación de briquetas, dado que dicha herramienta garantiza el óptimo rendimiento de su materia prima.
3. Institucionar el uso del Manual de operación y mantenimiento, debido que con dicha herramienta se garantiza el uso correcto y responsable de la máquina briquetadora, como la garantía del buen funcionamiento y la prolongación de su vida útil, hasta 30 años.
4. Incentivar que la compañía revise, reforme o amplíe la propuesta del Plan de capacitación, para el personal operativo y de mantenimiento para el personal de nuevo ingreso, se otorgue las capacidades necesarias para el eficiente desempeño de sus tareas.

BIBLIOGRAFÍA

1. AVALONE, Eugene; BAUMEISTER III, Theodore. *Manual del ingeniero mecánico. Tomos 1 y 2*. 3a ed. México: McGraw Hill, 1996. 192 p.
2. BORROTO, A. y RUBIO, A. *Combustión y generación de vapor*. Cuatro Caminos, Cienfuegos, Cuba: Universo SUR, 2007. 105 p.
3. DOUNCE VILLANUEVA, Enrique. *La administración en el mantenimiento*. México: Continental CECSA, 1973. 135 p.
4. DUNHAM, Clarence W. *Cimentaciones de estructuras*. 2ª ed. España: McGraw, Hill, 1968. 160 p.
5. ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. *Instalación y montaje electromecánico*. México: Limusa, 1996. 231 p.
6. ESPINOZA, Estela Assureira; ESPINOZA, Marco A. Assureira. *Transformación de biomásas residuales en bio-combustibles sólidos*. 2012. 225 p.
7. FONSECA, Félix. *Poder calorífico*. [en línea]. <http://www.edutecne.utn.edu.ar/maquinas_termicas/01-poder_calorifico.pdf>. [Consulta: 30 de junio de 2021].
8. GARCÍA, S. *Organización y gestión integral de mantenimiento*. 1ª ed. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A., 2003. 99 p.

9. Hilti. *Manual técnico de Productos-Anclajes*. 1a ed. Mexico: Hilti, 2019. 314 p.
10. KONZ Estephen, *Manual de distribución en plantas industriales diseño e instalación*. México: Limusa, 2000. 110 p.
11. LEONG, Kenneth. *Fast lighting charcoal briquet*. U.S. Patent Application No 11/324, 580. Estados Unidos, 2006. 8 p.
12. MONROY PERALTA, Fredy Mauricio. *Principios básicos de mantenimiento. Documento mediado para el curso de montaje y mantenimiento de equipo*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 23 p.
13. MORA, A. *Mantenimiento, planeación, ejecución y control*. 1ª ed. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., 2009. 390 p.
14. NAYLER, G. H. F. *Diccionario moderno de Ingeniería Mecánica*. volumen 2, México: Prentice Hall, 1999. 260 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Costo de la máquina briquetadora y componentes

Equipo	Q.
Máquina briquetadora	108 420
Banda transportadora	14 976
Sub-total	123 396
Traslado	
Envío a puerto Quetzal, Guatemala	23 400
Envío a Generadora Eléctrica la Libertad	6 000
Sub-total	29 400
Material para montaje	
Tubos de proceso de 2" (10)	700
Angular de 3" * 1/4" (10)	3 000
Lamina antideslizante	1 000
Pernos Hiltin	500
Electrodo	750
Material neumático	1 500
Material eléctrico	2 500
Cilindro para mezclador	3 500
Motor-reductor	9 500
Sub-total	22 950
TOTAL	175 746

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Costo de briquetado por tonelada de ceniza**

Motor	Consumo(kw)	Uso por día	Gasto (Q/día)	Gasto(Q/ton)
Mezclador	3,75	8 hr	12,2	1,53
Briquetadora	30	6 hr	73,8	9,23
Banda Transportadora	5,5	6 hr	13,53	1,69
Aglutinante 5 %	50 kg/ton			276,55
TOTAL				288,99 Q/Ton

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Monto de inversión en la compra de mano de obra**

Montaje Briquetadora	Salario	Número de personas	Total, al mes	Total 5 meses	Horas de trabajo al día
Mecánico soldador	Q.4 500	2	Q.9 000	Q.45 000	8
Electricistas	Q.4 500	2	Q.9 000	Q.45 000	8
Instrumentistas	Q.4 500	2	Q.9 000	Q.45 000	8
			Q.27 000	Q.135 000	
Ingeniero Mecánico	Q.6 000	1	Q.6 000	Q.30 000	3
Ingeniero Eléctrico	Q.6 000	1	Q.6 000	Q.30 000	3
Ingeniero Químico	Q.6 000	1	Q.6 000	Q.30 000	3
			Q.18 000	Q.90 000	
		Suma		Q.225 000	
Gasto total de compra, traslado y material				Q.175 746	
		Total		Q.400 746	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Manual de mantenimiento de la máquina briquetadora**

El presente Manual de mantenimiento explica los sistemas y frecuencia de inspección a los equipos instalados, al igual que las actividades que se tienen que desarrollar durante la vida útil de los mismos para asegurar el funcionamiento adecuado de los sistemas y sus componentes.

Todas las actividades que se nombran deberán cumplirse con el periodo establecido.

Sistema	Sub-sistema	Actividad	Instrumento para ajustes	Frecuencia
Mezclador	Motorreductor	Inspección	visual	1 vez/semana
		Ajuste	Llaves de ajuste y apriete	mensual
		Limpieza	Aire comprimido	semanal
	Acople	inspección	Visual	1 vez/semana
		Ajuste	Llaves de ajuste y apriete	mensual
	Eje agitador	inspección	Visual	1 vez/semana
		Ajuste	Llaves de ajuste y apriete	mensual
	Guillotina neumática	Inspección	visual	1 vez/semana
		Ajuste	Llaves de ajuste y apriete	mensual
		Limpieza	Aire comprimido	1 vez/semana
Briquetadora	Caja reductora	inspección	visual	1 vez/mes
		Ajuste	Llaves de ajuste y apriete	mensual
		lubricación	Lubricadora	mensual
	Engranés	Inspección	visual	1 vez/mes
		lubricación	Lubricadora	Mensual
		ajuste	Llaves de ajuste y apriete	Mensual
	Fajas y poleas	Inspección	visual	1 vez/mes
		Ajuste	Llaves de ajuste y apriete	mensual
	ejes	inspección	visual	1 vez/mes
	Banda Transportadora	Inspección	visual	1 vez/semana
		limpieza	Aire comprimido	semanal
ajuste		Llaves de ajuste y apriete	mensual	

Continuación del apéndice 4.

	Cadena	Inspección	visual	1 vez/semana
		lubricación	Lubricadora	semanal
		ajuste	Llaves de ajuste y apriete	mensual
	Rodos de compactación	inspección	visual	1 vez/semana
		ajuste	Llaves de ajuste y apriete	semanal
		Limpieza	Aire comprimido	Semanal
	Motor	Inspección	visual	1 vez/semana
		ajuste	Llaves de ajuste y apriete	semanal
		limpieza	Aire comprimido	Semanal
Banda transportadora	Motor	Inspección	visual	1 vez/semana
		Ajuste	Llaves de ajuste y apriete	semanal
		Limpieza	Aire comprimido	Semanal
	Rodo Motriz	inspección	visual	1 vez/semana
		ajuste	Llaves de ajuste y apriete	semanal
		Limpieza	Aire comprimido	Semanal
	Banda de caucho	inspección	visual	1 vez/semana
		ajuste	Llaves de ajuste y apriete	semanal
		Limpieza	Aire comprimido	mensual
	Chumaceras de rodos	Inspección	visual	1 vez/mes
		Ajuste	Llaves de ajuste y apriete	mensual
		lubricación	lubricadora	semanal
	Fajas y poleas	Inspección	visual	1 vez/mes
		Ajuste	Llaves de ajuste y apriete	mensual

Continuación del apéndice 4.

Descripción de las actividades de mantenimiento

Componente		Descripción
Mezclador	Motor-reductor	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobación de la alineación del motor • Comprobación de los tornillos de sujeción • Nivel de aceite • Comprobación de temperatura • Comprobación de amperaje • Comprobación de vibraciones
	Agitador	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación de alineación y sujeción del eje con respecto al acople
	Guillotina neumática	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación de la presión de aire • Comprobación de funcionamiento de compuerta • Comprobación de funcionamiento de módulo de operación
Briquetadora	Motor	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobación de alineación • Comprobación de los tornillos de sujeción • Comprobación de cables y del material de aislamiento • Estado y cantidad de la grasa de rodamientos • Comprobación de la temperatura • Comprobación de los ruidos de funcionamiento
	Rodamientos	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar temperatura • Verificar lubricación
	Caja reductora	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación de lubricación de engranajes, casquillos y rodamientos
	Fajas y poleas	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación de estado de fajas • Verificación de estado de poleas
	Banda Transportadora	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación de alineación • Verificación de estado de la banda • Lubricación de rodamientos
	Caja de Engranés	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar y nivelar aceite • Verificación de tornillos de sujeción
	Rodos de compactación	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación de rotación • Verificación de alineación • Lubricación de rodamientos
	Cadena	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación de estado • Verificación de Lubricación

Continuación del apéndice 4.

Banda transportadora	Motor	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobación de alineación • Comprobación de los tornillos de sujeción • Comprobación de cables y del material de aislamiento • Estado y cantidad de la grasa de rodamientos • Comprobación de la temperatura • Comprobación de Vibraciones
	Rodamientos	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar temperatura • Verificar lubricación
	Fajas y poleas	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación de estado de fajas • Verificación de estado de poleas
	Rodos	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación de rotación • Verificación de alineación • Lubricación de rodamientos
	Banda	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación de estado de banda • Verificación de tensión

Continuación del apéndice 4.

Procedimiento para el mantenimiento de la máquina briquetadora, del mezclador y de la banda transportadora

- Después del uso diario, la prensa de bolas debe limpiarse de los materiales restantes en los rodillos, para evitar que el material corrosivo dañe la piel del rodillo.
- Compruebe periódicamente si la piel del rodillo está gastada o no, y si la piel del rodillo está alineada. Si la piel del rodillo está desgastada o desalineada, debe reemplazarse y repararse a tiempo.
- Compruebe periódicamente el aceite lubricante de cada dispositivo de transmisión de la prensa de bolas. Si se encuentra que el aceite lubricante no es suficiente, agréguelo a tiempo. Si encuentra un exceso de polvo, límpielo a tiempo.
- Compruebe el circuito de la prensa de bolas con regularidad para garantizar la seguridad de la producción.
- cabina de control eléctrico de la máquina: preste atención a la humedad, la lluvia y el óxido.
- Lubricación de engranajes: use grasa y aceite para engranajes de alta calidad para asegurarse de que no haya impurezas.
- Compruebe los pernos de cimentación de las máquinas, si los pernos de seguridad están sueltos y apriete.

Continuación del apéndice 4.

- Retire la tapa del cojinete del eje del rodillo de la prensa de bolas para comprobar el desgaste del cojinete; abra y limpie internamente y verifique el desgaste del cojinete, tornillo, boquilla y otros componentes, y reemplace la grasa del cojinete.
- Retire la tapa de inspección del reductor para comprobar el estado de desgaste y el engranaje.
- Elimine el polvo acumulado en la máquina, preste atención a la eliminación del polvo durante el desmontaje y evite que el polvo invada las piezas móviles durante la inspección del desmontaje.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Procedimiento para la fabricación de briquetas**

En el presente Manual de procedimiento para fabricación de briquetas se explican los pasos de inspección antes de arranque de los equipos y las actividades que se tienen que desarrollar para la producción.

Todas las actividades que se nombran deberán cumplirse tal y como se describen:

- Verificar que no haya objetos de obstrucción dentro de la tolva de alimentación de la briquetadora.
- Verificar que no haya objetos de obstrucción dentro de la mezcladora.
- Verificar que la guillotina neumática de descarga de mezclador esté cerrada.
- Dar arranque al motor de la mezcladora de ceniza.
- Abrir compuerta de guillotina del silo de ceniza B por 15 segundos.
- Dosificar 3 % de aglutinante (1/4 del costal)
- Dosificar 20 % (1.40 segundos) de agua
- Repetir una vez más el paso 4, 5 y 6
- Mezclar por 5 min.
- Dar arranque al motor de la banda transportadora.
- Dar arranque al motor de la briquetadora.
- Abrir paso de guillotina para descarga de mezcla.
- Verificar descarga de briquetas.
- Descarga de briquetas.
- Repetir este proceso las veces que sean solicitadas

Cuando el proceso de fabricación de briquetas finalice, se debe cumplir con las actividades siguientes:

Continuación del apéndice 5.

- Apagar el motor de mezclador
- Cerrar la compuerta de guillotina del mezclador
- Apagar el motor de la máquina briquetadora
- Apagar el motor de la banda transportadora

Nota: Debe realizarse limpieza general de los equipos al terminar el proceso de fabricación de briquetas.

Fuente: elaboración propia.