



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudio de Postgrado  
Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento

**PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA UN EQUIPO DE  
TRITURADO Y CRIBADO DE ANTRACITA EN UNA CENTRAL DE GENERACIÓN DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA**

**Ing. Carlos José Lacán Raxón**

Asesorado por el Mtro. Ing. Luis Fernando Guillen Fernández

Guatemala, julio de 2023



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA UN EQUIPO DE  
TRITURADO Y CRIBADO DE ANTRACITA EN UNA CENTRAL DE GENERACIÓN DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ING. CARLOS JOSÉ LACÁN RAXÓN**

ASESORADO POR EL MTRO. ING. LUIS FERNANDO GUILLEN FERNÁNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

GUATEMALA, JULIO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO a.i.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA**

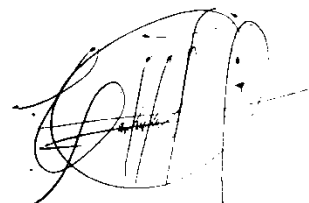
DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera
DIRECTORA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Mtra. Inga. Rocío Carolina Medina Galindo
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Walter Emilio Ramírez Córdova
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **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:

**PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA UN EQUIPO DE  
TRITURADO Y CRIBADO DE ANTRACITA EN UNA CENTRAL DE GENERACIÓN DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 12 de enero de 2022.


A handwritten signature in black ink, appearing to read 'C. Lacán Raxón', written over a faint circular stamp or watermark.


**Ing. Carlos José Lacán Raxón**

LNG.DECANATO.OI.531.2023

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA UN EQUIPO DE TRITURADO Y CRIBADO DE ANTRACITA EN UNA CENTRAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**, presentado por: **Ing. Carlos José Lacán Raxón**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Ingeniería de mantenimiento después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. José Francisco Gómez Rivera  
Decano a.i.



Guatemala, julio de 2023  
AACE/gaoc



**Guatemala, julio de 2023**

LNG.EEP.OI.531.2023

En mi calidad de Directora de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA UN EQUIPO DE TRITURADO Y CRIBADO DE ANTRACITA EN UNA CENTRAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”**

presentado por **Ing. Carlos José Lacán Raxón** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Ingeniería de mantenimiento** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



**Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada**

**Directora**

**Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería**



Guatemala, 9 de noviembre de 2022

**M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti Director**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Presente**

**Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti**

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL y ARTÍCULO CIENTÍFICO** titulado: **PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA UN EQUIPO DE TRITURADO Y CRIBADO DE ANTRACITA EN UNA CENTRAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA** del estudiante **Carlos José Lacán Raxón** quien se identifica con número de carné **null** del programa de Maestria En Ingenieria De Mantenimiento.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 042014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



**Mtra. Inga. Rocío Carolina Medina Galindo**  
**Coordinador**  
**Maestria En Ingenieria De Mantenimiento**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**



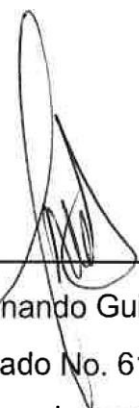
Guatemala, 9 de noviembre de 2022

M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrados  
Presente

Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: **"PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA UN EQUIPO DE TRITURADO Y CRIBADO DE ANTRACITA EN UNA CENTRAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA"** del estudiante **Carlos José Lacán Raxón** del programa de **Maestria En Ingenieria De Mantenimiento** identificado(a) con número de carné null.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



---

Mtro. Ing. Luis Fernando Guillen Fernandez  
Colegiado No. 6109  
**Asesor de Tesis**



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por el don de la vida y las bendiciones recibidas, por permitirme realizar una más de mis metas.

### **Mis padres**

Carlos Lacán y Susana Raxón, por su apoyo incondicional, su amor y consejos para hacer de mí una persona de bien e impulsarme a seguir esforzándome por mis sueños.

### **Mi esposa**

Elsa Girón por su amor y cariño, y ser una persona incondicional.

### **Mi hija**

Karla Lacán, por ser una bendición en mi vida y mi motivación para alcanzar mis metas día a día.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por concederme salud, sabiduría y fortaleza para poder culminar una meta más.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser la casa de estudios que me permitió adquirir conocimientos.
<b>Facultad de Estudios de Postgrado</b>	Por abrirme las puertas del conocimiento en mi formación como profesional.
<b>Mis catedráticos</b>	Por compartirme de sus conocimientos, experiencias y acompañarme en mi formación profesional durante la carrera.
<b>Mis asesores Metodológicos</b>	Mtro. Ing. Carlos Alegre y Mtro. Ing. Wellington Vásquez por compartir sus conocimientos y su dedicación en labor de la enseñanza.
<b>Mi asesor específico</b>	Mtro. Ing. Luis Guillen por el acompañamiento durante el proceso de elaboración del trabajo de graduación.
<b>Central de Generación de Energía Eléctrica</b>	Por abrir sus puertas y poder realizar mi trabajo de graduación dentro de sus instalaciones.
<b>Mis amigos y familia</b>	Esbin Santos, Mirza Cos por su motivación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN .....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO .....	XXIII
INTRODUCCIÓN .....	XXVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Mantenimiento .....	1
1.1.1. Mantenimiento centrado en la confiabilidad MCC.....	3
1.1.1.1. Historia del <i>RCM</i> .....	5
1.1.1.2. Metodología del <i>RCM</i> .....	6
1.1.1.3. Fases para implementar <i>RCM</i> .....	8
1.1.1.4. Aplicación de la metodología <i>RCM</i> .....	9
1.2. Lubricación .....	10
1.2.1. Funciones de los lubricantes .....	12
1.2.2. Tipos de lubricación .....	14
1.2.3. Tipos de lubricantes.....	17
1.2.3.1. Aceites .....	19
1.2.3.2. Grasas .....	20
1.2.3.3. Aplicación de las grasas .....	24
1.2.3.4. Cartillas de lubricación.....	29
1.2.3.5. Almacenamiento de lubricantes.....	31
1.3. Triturado (fragmentación de sólidos) .....	33

1.3.1.	Trituradoras o chancadoras.....	35
1.3.2.	Tipos de trituradoras .....	38
1.4.	Cribado (tamizaje).....	46
1.4.1.	Zarandas o cribas.....	48
1.4.2.	Tipos de zarandas o cribas .....	50
1.4.2.1.	Cribas planas .....	51
1.4.2.2.	Cribas oscilantes .....	52
1.4.2.3.	Cribas vibratorias .....	52
1.4.2.4.	Tipos de mallas .....	54
1.4.3.	Vibraciones mecánicas.....	58
1.5.	Antracita .....	59
1.6.	Generación de energía eléctrica .....	60
1.6.1.	Fuentes energéticas.....	63
1.6.1.1.	Recursos energéticos no renovables ..	64
1.6.1.2.	Recursos energéticos renovables .....	65
1.6.2.	Tipos de generación de energía eléctrica .....	66
1.6.2.1.	Plantas térmicas.....	66
1.6.2.2.	Motores reciprocantes de combustión interna .....	68
1.6.2.3.	Turbinas de gas.....	68
1.6.2.4.	Cogeneración .....	68
1.6.3.	Funcionamiento de la generadora.....	69
1.6.3.1.	Descripción de la generadora.....	69
1.6.3.2.	Tecnología para la planta generadora.	71
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN .....	73
2.1.	Revisión documental .....	73
2.2.	Visita de reconocimiento .....	73
2.3.	Recopilación de información .....	78

2.3.1.	Visita de recopilación de información .....	78
3.	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	95
3.1.	Presentación de resultados .....	95
3.2.	Discusión de resultados.....	120
3.2.1.	Discusión de resultados de criba uno .....	121
3.2.2.	Discusión de resultados de criba dos .....	123
3.2.3.	Discusión de resultados de triturador .....	125
4.	PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	129
	CONCLUSIONES .....	161
	RECOMENDACIONES.....	163
	REFERENCIAS .....	165
	APÉNDICES .....	171





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Cambios en las técnicas de mantenimiento .....	3
<b>Figura 2.</b>	Condiciones de película de lubricación.....	15
<b>Figura 3.</b>	Coeficiente de fricción para varias condiciones de lubricación.....	16
<b>Figura 4.</b>	Copa de presión .....	25
<b>Figura 5.</b>	Copa de engrase automática.....	26
<b>Figura 6.</b>	Sistema de engrase manual .....	28
<b>Figura 7.</b>	Sistema de engrase totalmente automático.....	29
<b>Figura 8.</b>	Cartilla de Lubricación .....	30
<b>Figura 9.</b>	Carbón sin triturar .....	34
<b>Figura 10.</b>	Carbón triturado.....	34
<b>Figura 11.</b>	Triturador de martillos.....	36
<b>Figura 12.</b>	Trituradora o chancadora de martillos .....	37
<b>Figura 13.</b>	Clasificación de las trituradoras de mandíbulas de acción periódica.....	38
<b>Figura 14.</b>	Clasificación de trituradora de mandíbulas de acción continua.....	39
<b>Figura 15.</b>	Tipos de trituradoras de rodillos .....	40
<b>Figura 16.</b>	Tipos de molinos de rulos.....	43
<b>Figura 17.</b>	Tipos de molinos de bola con movimiento libre .....	44
<b>Figura 18.</b>	Esquema de Zaranda o criba .....	49
<b>Figura 19.</b>	Zaranda o criba vibratoria inclinada.....	53
<b>Figura 20.</b>	Chapa o placa perforada .....	55

<b>Figura 21.</b>	Carbón mineral.....	58
<b>Figura 22.</b>	Antracita .....	59
<b>Figura 23.</b>	Generación anual energía eléctrica periodo 2022.....	61
<b>Figura 24.</b>	Generación de electricidad anual (AMM 2022) .....	62
<b>Figura 25.</b>	Diagrama de flujo termo-generadora de energía eléctrica .....	70
<b>Figura 26.</b>	Visita de reconocimiento criba 1 .....	74
<b>Figura 27.</b>	Visita de reconocimiento al triturador .....	75
<b>Figura 28.</b>	Visita de reconocimiento a criba 2 .....	76
<b>Figura 29.</b>	Diagrama de reconocimiento .....	77
<b>Figura 30.</b>	Vibraciones V1 motor criba uno .....	96
<b>Figura 31.</b>	Vibraciones H1 motor criba uno .....	96
<b>Figura 32.</b>	Vibraciones V2 motor criba uno .....	97
<b>Figura 33.</b>	Vibraciones H2 motor criba uno .....	98
<b>Figura 34.</b>	Temperatura del motor DE criba uno .....	99
<b>Figura 35.</b>	Temperatura del motor NDE criba uno.....	99
<b>Figura 36.</b>	Temperatura de chumacera DE criba uno .....	100
<b>Figura 37.</b>	Temperatura de chumacera NDE criba uno.....	101
<b>Figura 38.</b>	Desgaste de placas perforadas de criba uno .....	102
<b>Figura 39.</b>	Desgaste de tejido metálico de criba uno.....	103
<b>Figura 40.</b>	Ángulos de placa perforada de criba uno.....	103
<b>Figura 41.</b>	Ángulos de tejido metálico de criba uno.....	104
<b>Figura 42.</b>	Disponibilidad de la criba uno .....	105
<b>Figura 43.</b>	Vibraciones V1 motor criba dos .....	106
<b>Figura 44.</b>	Vibraciones H1 motor criba dos .....	106
<b>Figura 45.</b>	Vibraciones V2 motor criba dos .....	107
<b>Figura 46.</b>	Vibraciones H2 motor criba dos .....	108
<b>Figura 47.</b>	Temperatura del motor DE criba dos .....	108
<b>Figura 48.</b>	Temperatura del motor NDE criba dos.....	109
<b>Figura 49.</b>	Temperatura de chumacera DE criba dos.....	110

<b>Figura 50.</b>	Temperatura de chumacera NDE criba dos .....	110
<b>Figura 51.</b>	Desgaste de tejido metálico de criba dos .....	111
<b>Figura 52.</b>	Ángulos de tejido metálico de criba dos .....	112
<b>Figura 53.</b>	Disponibilidad de criba dos.....	112
<b>Figura 54.</b>	Vibraciones V1 motor triturador .....	113
<b>Figura 55.</b>	Vibraciones H1 motor triturador.....	114
<b>Figura 56.</b>	Vibraciones V2 motor triturador .....	115
<b>Figura 57.</b>	Vibraciones H2 motor triturador.....	115
<b>Figura 58.</b>	Temperatura del motor DE triturador .....	116
<b>Figura 59.</b>	Temperatura del motor NDE triturador .....	117
<b>Figura 60.</b>	Temperatura de chumacera DE triturador .....	118
<b>Figura 61.</b>	Temperatura de chumacera NDE triturador.....	118
<b>Figura 62.</b>	Disponibilidad del triturador .....	119
<b>Figura 63.</b>	Norma ISO 10816 Vibración mecánica de máquinas.....	120

## TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Variables de investigación de los equipos de triturado y cribado ... XXIV	
<b>Tabla 2.</b> Las siete preguntas del RCM .....	6
<b>Tabla 3.</b> Herramientas utilizadas en caso de aplicación de RCM.....	7
<b>Tabla 4.</b> Aditivos usados en aceites lubricantes .....	20
<b>Tabla 5.</b> Penetración .....	21
<b>Tabla 6.</b> Aditivos usados en las grasas lubricantes.....	23
<b>Tabla 7.</b> Rutas de lubricación .....	31
<b>Tabla 8.</b> Clasificación de los aparatos de separación.....	47
<b>Tabla 9.</b> Serie de tamices de Alemania (Normas DIN 1171) .....	56
<b>Tabla 10.</b> Serie de tamices de EE. UU. ....	56
<b>Tabla 11.</b> Vibración y temperatura motor de criba uno de septiembre 2021 a junio 2022 .....	79

<b>Tabla 12.</b> Vibración y temperatura motor del triturador de martillos Sep. 2021 a Jun. 2022 .....	79
<b>Tabla 13.</b> Vibración y temperatura del motor de criba dos de septiembre 2021 a junio 2022 .....	80
<b>Tabla 14.</b> Desgaste placa perforada de criba uno de septiembre de 2021 a junio de 2022 .....	81
<b>Tabla 15.</b> Desgaste tejido metálico de criba uno de septiembre de 2021 a junio de 2022 .....	82
<b>Tabla 16.</b> Desgaste de tejido metálico de criba dos de septiembre de 2021 a junio de 2022 .....	84
<b>Tabla 17.</b> Ángulo de criba uno .....	86
<b>Tabla 18.</b> Ángulo criba dos.....	87
<b>Tabla 19.</b> Disponibilidad de criba uno .....	89
<b>Tabla 20.</b> Disponibilidad de criba dos .....	91
<b>Tabla 21.</b> Disponibilidad del triturador.....	92
<b>Tabla 22.</b> Evaluación de vibraciones mecánicas de máquinas con velocidades de operación .....	121
<b>Tabla 23.</b> Plan de mantenimiento criba 1 .....	129
<b>Tabla 24.</b> Funciones y parámetros de criba uno enfocadas al RCM.....	135
<b>Tabla 25.</b> Fallos, de la criba uno enfocadas en el RCM.....	136
<b>Tabla 26.</b> Plan de mantenimiento triturador .....	138
<b>Tabla 27.</b> Funciones y parámetros de triturador enfocadas al RCM .....	143
<b>Tabla 28.</b> Fallos, del triturador enfocadas en el RCM .....	145
<b>Tabla 29.</b> Plan de mantenimiento criba dos .....	147
<b>Tabla 30.</b> Funciones y parámetros de criba dos enfocadas al RCM .....	153
<b>Tabla 31.</b> Fallos, predeterminadas de la criba uno enfocadas en el RCM .....	154
<b>Tabla 32.</b> Formato de control de temperatura de equipo de triturado cribado	156
<b>Tabla 33.</b> Control de desgaste de elementos de equipos de triturado y cribado.....	157

<b>Tabla 34.</b> Cartilla de lubricación para equipos.....	158
<b>Tabla 35.</b> Ruta de lubricación para equipos .....	159
<b>Tabla 36.</b> Control de disponibilidad de equipos .....	160



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<b>G's</b>	Aceleración de la gravedad
<b>Amb</b>	Ambiente
<b>Amp</b>	Amperaje
<b>atm</b>	Atmósfera
<b>μm</b>	Cantidad de una sustancia equivalente a una millonésima de mol.
<b>cm<sup>2</sup></b>	Centímetro cuadrado
<b>gE</b>	Envolvente de aceleración
<b>°</b>	Grados
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>gr</b>	Gramo
<b>GWh</b>	Gigavatio-hora
<b>Hz</b>	Hertz
<b>h</b>	Horas
<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Kilogramo por centímetro cuadrado
<b>kg/h</b>	Kilogramo por hora
<b>kW</b>	Kilovatio
<b>Lb</b>	Libra
<b>psi</b>	Libras de fuerza por pulgada cuadrada
<b>m</b>	Metro
<b>MW</b>	Megavatio
<b>m<sup>3</sup>/h</b>	Metros cúbicos por hora

<b>mm</b>	Milímetros
<b>mm/s</b>	Milímetro por segundo
<b>nm</b>	Nanómetro
<b>Nm</b>	Newton-metro
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>%</b>	Porcentaje
<b>p.m.</b>	Post meridiem
<b>”</b>	Pulgada
<b>ln<sup>2</sup></b>	Pulgada cuadrada
<b>ln/s</b>	Pulgadas sobre segundo
<b>Q</b>	Quetzales
<b>bar</b>	Unidad de medida de presión equivalente a 100,000 pascales
<b>BTU</b>	Unidad térmica británica



## **GLOSARIO**

<b>Aeroderivadas</b>	Sistemas de alta eficiencia que generan de manera simultánea energía eléctrica y térmica.
<b>Alemite</b>	Punto de engrase
<b>Antracita</b>	Carbón fósil de color negro y que arde con dificultad
<b>Biomasa</b>	Cantidad de productos obtenidos por fotosíntesis, susceptibles de ser transformados en combustible.
<b>Bunker</b>	Depósito para el resguardo de personas o materiales (combustibles).
<b>Chancadoras</b>	Aparato que se emplea para triturar minerales, rocas, Entre otros.
<b>Clorinadas</b>	Tratamiento que facilita el enguantado y desenguantado sin aumentar el espesor y sin utilizar polvos.
<b>Coal Bunker</b>	Depósito utilizado para el resguardo de carbón.
<b>Criba</b>	Instrumento para cernir o cribar que está compuesto por un aro o un marco al cual está asegurado un cuero o un tejido.

<b>Cribado</b>	Proceso mediante el cual se clasifican y separan por tamaños los materiales sólidos, sean en grano, en polvo o en suspensión acuosa.
<b>Cribado de antracita</b>	Proceso de clasificación y separación del carbón duro.
<b>Dieltro</b>	Desengrasante y limpiador dieléctrico.
<b>Dieléctrico</b>	Material usado para aislar componentes eléctricamente entre sí y actuar como elemento capacitivo.
<b>Ebsco host</b>	Es una plataforma intuitiva de investigación en línea.
<b>Elastohidrodinámica</b>	Se presenta en mecanismos en los cuales las rugosidades de las superficies de fricción trabajan siempre entrelazadas y nunca llegan a separarse.
<b>Eólicas</b>	Utilizan la fuerza del viento para convertir la energía mecánica en energía eléctrica.
<b>Fotovoltaicos</b>	Que genera una fuerza electromotriz cuando se encuentra bajo la acción de una radiación luminosa o análoga.

<b>Geotermia</b>	Es una energía renovable que se obtiene mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra que se transmite a través de los cuerpos de roca o piedras calientes.
<b>Granulometría</b>	Es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica con fines de análisis tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas.
<b>Hidrodinámica</b>	Parte de la dinámica que estudia el movimiento de los líquidos en relación con las causas que lo originan.
<b>Hulla Bituminosa</b>	Es un carbón relativamente duro que contiene betún, entre el lignito y la antracita en la serie ligno hullera. Suele ser de color negro, a veces marrón oscuro.
<b>Hulla Sub-bituminosa</b>	El carbón subbituminoso es de color negro y opaco (no brillante), en aplicaciones de tratamiento de agua puede sustituir en ocasiones al lignítico.
<b>Lignito</b>	Carbón mineral de color negro o pardo, en el cual aún se distingue la textura de la madera de que procede; se emplea como combustible en centrales térmicas y en la fabricación de briquetas.

<b>Naftenicos</b>	Un tipo de compuesto orgánico de carbono e hidrógeno que contiene una o más estructuras cíclicas (de anillo) saturadas.
<b>Oleofinos</b>	Es un compuesto que presenta al menos un doble enlace Carbono-Carbono.
<b>Parafinicos</b>	Un tipo de fluido mineral, derivado del petróleo parafínico y que contiene una alta proporción de hidrocarburos de cadena lineal, saturados.
<b>Pegajosidad</b>	Cualidad de lo que es pegajoso
<b>Penetrómetro</b>	Le permite determinar la consistencia de una extensa gama de materiales, desde líquidos altamente viscosos (miel) hasta sólidos (betún)
<b>Pivotantes</b>	Que tiene caracteres de pivote o que funciona como tal.
<b>Polímero</b>	Un polímero es una sustancia compuesta por grandes moléculas, o macromoléculas formadas por la unión mediante enlaces covalentes de una o más unidades simples llamadas monómeros.
<b>Pulverizar</b>	Reducir a polvo o a partículas muy pequeñas una cosa sólida.

<b>Redalyc</b>	Es un sistema de indización que integra a su índice las revistas de alta calidad científica y editorial de la región.
<b>Rodamiento</b>	Cojinete que consta de dos cilindros concéntricos entre los que va colocado un juego de rodillos o bolas que pueden girar libremente.
<b>Tamiz</b>	Es un utensilio que se emplea para separar materiales de diferente grosor.
<b>Tamizaje</b>	Es un método físico para separar mezclas.
<b>Termoeléctricas</b>	Es una instalación empleada en la generación de energía eléctrica a partir de energía térmica.
<b>Triturado</b>	Es también el nombre del proceso para reducir el tamaño de las partículas de una sustancia por la molienda.
<b>United Airlines</b>	Es una aerolínea estadounidense con sede en Chicago, Illinois y está presente en seis continentes alrededor del mundo.
<b>Vatio</b>	Unidad de potencia, de símbolo $W$ , que equivale a la potencia capaz de conseguir la producción de energía igual a 1 julio por segundo.

**Zaranda**

Instrumento para cernir o cribar que está compuesto por un aro o un marco al cual está asegurado un cuero o un tejido agujereado o una tela metálica fina con el fin de separar lo más fino de la harina o de otras sustancias.

**Zerk**

Accesorios para poder realizar lubricación por medio de grasa.

## RESUMEN

Los procesos de mantenimiento de cribado y triturado de antracita requieren ser mejorados dentro de la empresa, debido a que estos en la central de generación de energía eléctrica incrementan los costos operacionales y de mantenimiento al momento de presentar una falla. El equipo de mantenimiento mecánico del área tiene injerencia directa en la operación del proceso de cribado y triturado para la generación de energía eléctrica.

El desarrollo de la investigación es determinar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para equipos de trituración y cribado de antracita. Dentro del plan de mantenimiento se utilizaron las siete preguntas del mantenimiento centrado en la confiabilidad (*RCM*) las cuales fueron fundamentales para poder determinar el funcionamiento de los equipos, fallas funcionales, modos de falla, efectos de fallas, consecuencias todo esto para posteriormente determinar las tareas proactivas y las frecuencias que fueron agregadas dentro del mismo, así como acciones predeterminadas para estos equipos.

Por medio del plan de mantenimiento que propone realizar inspecciones a los equipos evaluados, así como rutinas de limpieza, toma de medición de los parámetros establecidos durante el estudio realizado, rutas de lubricación en conjunto con cartillas para estos equipos realizando un control determinado para los mismos y ejecutar reajuste con la frecuencia necesaria para evitar daños en el equipo de triturado y cribado.





## **OBJETIVOS**

### **General**

Establecer un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para un equipo de triturado y cribado de antracita en una central de generación de energía eléctrica, ubicada en la costa sur.

### **Específicos**

1. Determinar las condiciones de operación y mantenimiento de la maquinaria de triturado y cribado de antracita a la fecha de investigación.
2. Establecer las condiciones adecuadas de operación y mantenimiento de la maquinaria de triturado y cribado de antracita.
3. Determinar la estrategia de mantenimiento para mantener el triturador y cribas en condiciones adecuadas de operación.



## **RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO**

El estudio fue realizado en una ruta cuantitativa, para un alcance descriptivo en un diseño no experimental. El diseño no experimental es longitudinal. Se realizó la medición de las características de condición de los equipos de triturado y cribado en una central de generación de energía eléctrica ubicada en la costa sur. Las mediciones que se realizaron como parámetros de condición inicial, las cuales se realizaron durante septiembre del año 2021 a junio del año 2022. Posteriormente se procedió con la implementación de programas de inspección, mantenimiento y lubricación de los equipos evaluados. En la implementación del programa o plan de mantenimiento de los equipos de triturado y cribado no se modificaron parámetros actuales de dichos equipos. Con la información recabada se generaron tendencias y posteriormente se creó un documento guía que permite llevar el procedimiento de mantenimiento para cada uno de estos equipos.

Los parámetros de medición más importantes de estos equipos son las vibraciones, temperatura y el desgaste dentro de una central de generación de energía eléctrica las cuales se constituyen como medidas de análisis. El diseño no experimental se realizó en los equipos de triturado y cribado de antracita, tomando en cuenta los motores de los equipos y piezas de las máquinas. La tabla I muestra el cuadro de variables que se tomaron en cuenta:

**Tabla 1.***Variables de investigación de los equipos de triturado y cribado*

<b>No.</b>	<b>Variable independiente</b>	<b>Variable dependiente</b>
1	Desgaste de placa perforada	Proceso de cribado 1
2	Desgaste de tejido metálico	
3	Análisis de vibraciones al motor	
4	Temperatura del motor	
5	Temperatura de las chumaceras	
6	Medición de ángulos	
7	Disponibilidad del equipo	
1	Análisis de vibraciones al motor	Proceso de triturado
2	Temperatura del motor	
3	Temperatura de las chumaceras	
4	Disponibilidad del equipo	
1	Desgaste de tejido metálico	Proceso de cribado 2
2	Análisis de vibraciones al motor	
3	Temperatura del motor	
4	Temperatura de las chumaceras	
5	Medición de ángulos	
6	Disponibilidad del equipo	

*Nota.* Variables independientes y dependientes utilizadas para el equipo de triturado y cribado.  
Elaboración propia, realizado con Excel.

Las fases de investigación se realizaron de la siguiente manera:

- Revisión documental: se realizó en bases de datos Ebsco host, Redalyc y Google Académico. De los buscadores en línea se obtuvo artículos científicos, trabajos de graduación, tesis, textos y conferencias relacionadas a la materia de investigación. Se utilizaron las palabras clave ‘criba, zaranda, triturador, molino, martillos’ para la identificación de ellas. La búsqueda de información se realizó entre junio 2021 a septiembre de 2022.

- Instrumentos de recolección de información: contruidos tras las visitas de reconocimiento, tablas de información que fueron establecidas antes de la investigación, experiencia de campo y acompañamiento de asesoría. En ellos se recaba la información sobre vibración, desgaste, lubricación, temperatura, disponibilidad las cuales se presentan como formato de tablas vacías, y fueron base de recolección de información durante el trabajo de campo.
- Trabajo de campo: el trabajo de campo se realizó en una central de generación de energía eléctrica a base de antracita. Durante la investigación se realizaron toma de vibraciones por medio de equipo de análisis de vibración SKF CMAS100-SL, el monitoreo de los equipos evaluados se efectuó desde septiembre de 2021 a junio de 2022. En la investigación se recolectaron datos de temperatura de los motores y los equipos lo cual se ejecutó por medio del equipo Fluke 572-2, también por medio de herramientas análogas se procedió a verificar el desgaste en placas y tejidos metálicos, así como la toma de ángulos en las cribas. Por medio de las ordenes de trabajo se elaboró un cuadro donde se pudo establecer la disponibilidad de los equipos.
- Redacción de informe final: mostrar tablas de la información recopilada durante los meses de evaluación de los equipos, presentar las gráficas como resultado de la información recabada, descripciones de cada uno de los equipos evaluados, comparaciones realizadas, plan de mantenimiento para el equipo de triturado y cribado con formatos de lubricación, monitoreo de temperatura, vibraciones, desgaste.



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo constituye una innovación en la gestión del mantenimiento en una central de generación de energía eléctrica para los equipos de triturado y cribado de antracita. Mediante la implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para los equipos mencionados.

Las centrales de generación de energía eléctrica a base de antracita en Guatemala enfrentan un aumento de competencia en la generación de energía eléctrica debido al crecimiento de tecnología de generación amigables con el medio ambiente. Es importante que cada uno de los equipos dentro de estas centrales cuenten con mantenimientos adecuados, debido al costo que representa realizar un paro por falta de estos. De acuerdo con Achahuanco (2020) la confiabilidad de los equipos en una industria de generación de energía eléctrica debe ser reconocida mediante la identificación de equipos críticos, cálculo de frecuencia y fallos, fallas funcionales, así como rutinas de mantenimiento. Para poder aumentar la disponibilidad de un equipo se debe de realizar una evaluación de los activos tomando en cuenta la disponibilidad actual de los equipos antes de poder iniciar los procedimientos, respaldándose mediante la técnica de análisis de modo de falla y efecto (AMEF).

Determinar los procedimientos para el correcto funcionamiento y mantenimiento de los equipos de cribado y triturado constituyendo el paso inicial para minimizar el riesgo de fallas en los equipos.

En el capítulo I se muestra el marco teórico en el cual se desarrollan conceptos claves de la investigación, explicación del funcionamiento de los equipos de triturado y cribado de antracita dentro de una central de generación de energía eléctrica, así como de las fallas, averías que afectan a los elementos que conforman estos equipos.

En el capítulo II se presenta el desarrollo de la investigación realizada dentro del cual se describe la visita de reconocimiento del lugar, verificación e inspección de los equipos, medición de parámetros de vibración, temperatura, inclinación, desgaste y disponibilidad de estos, así como la tabulación de datos conforme al estado actual en que se encuentran, siendo esto el paso inicial para elaborar el plan de mantenimiento para los equipos de triturado y cribado de antracita.

En el capítulo III se tiene la presentación y discusión de resultados que se obtuvieron de las mediciones realizadas a los equipos en las cuales se aprecia como a partir del análisis estadístico se puede realizar la toma de decisiones estratégicas mediante la metodología *RCM*.

En el capítulo IV se presenta la propuesta de solución, dentro del cual se describe el plan de mantenimiento del equipo de triturado y cribado en la cual se describe las competencias del personal involucrado, actividades, desarrollo, frecuencia e insumos y herramientas que se deben utilizar en estos equipos. El funcionamiento y parámetros de operación de los equipos, fallos, modos de falla, efectos del fallo, consecuencias, tareas proactivas y acciones predeterminadas de los equipos de triturado y cribados enfocados en el *RCM*.



## **1. MARCO TEÓRICO**

Dentro de algunas centrales termoeléctricas o plantas térmicas como se les conoce. Se cuenta con la exigencia en los procesos de triturado y cribado para la alimentación de la caldera. Para realizar este tipo de procesos se cuentan con algunos parámetros de medición, los cuales funcionan como indicador de la calidad en cuanto al tamaño de la antracita. Es necesario que cada uno de los equipos de triturado y cribado estén correctamente en condiciones aceptables de trabajo, debido a que el tamaño de la antracita influye mucho en la eficiencia de la caldera.

### **1.1. Mantenimiento**

Se define como la conservación para que todo activo extienda su vida útil para las funciones que fue diseñado. También puede definirse como un conjunto de procesos y procedimientos que permiten pronosticar los desperfectos, verificar correctamente los equipos, engrases y reparaciones eficaces, que favorecen los beneficios de la empresa (Achahuanco, 2020). El mantenimiento se basa en extender la vida útil del activo, mediante técnicas, procesos, procedimientos que contribuyan con las estrategias de este para mantener la eficiencia dentro de la industria, con el fin de evitar averías en los equipos. Parte importante del mantenimiento es minimizar o eliminar en su totalidad las fallas que puedan causar pérdidas para la empresa.

El mantenimiento es considerado como un sistema con el objetivo de mantener en condiciones adecuadas los dispositivos de una empresa para su adecuada operación, desde instalaciones, maquinaria, modificaciones y ajustes

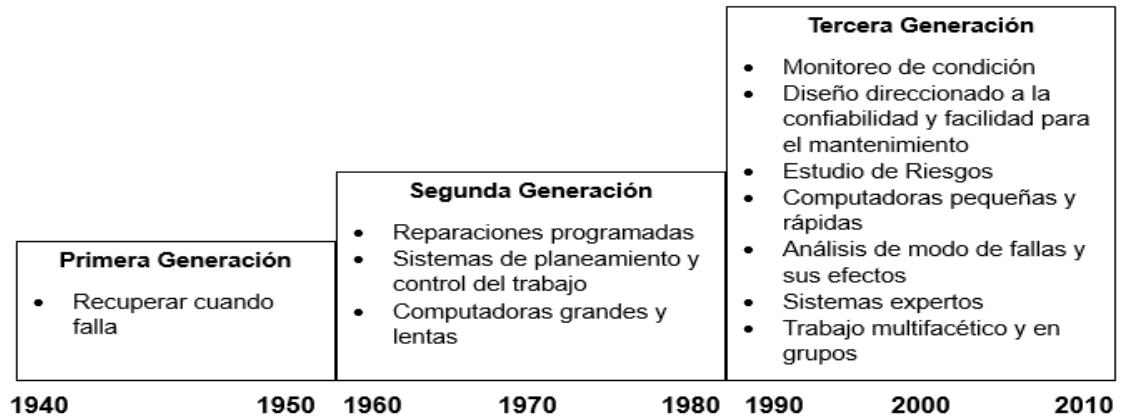
necesarios para su buen funcionamiento. El mantenimiento se fundamenta en los criterios desarrollados mediante técnicas y conceptos necesarios, proporcionan una orientación por medio de principios y normas para tomar decisiones en la parte administrativa y en la parte práctica de programas de mantenimiento (Paredes, 2020).

El mantenimiento ha cambiado durante las últimas dos décadas, debido al aumento y a la variedad de activos dentro de las industrias. Se debe tener en cuenta los métodos que surgen en la rama de mantenimiento y el impacto que generan las fallas en seguridad y medio ambiente, al igual que la calidad del producto que alcanza la disponibilidad total de la planta mediante costos bajos.

El mantenimiento a tenido un crecimiento debido a las técnicas que se han desarrollado en los últimos años y aún continúan cada vez más día con día. Esto genera un cambio en la manera clásica de la administración del mantenimiento y en los controles de este para poder generar nuevos desarrollos (Moubrey, 2004)

**Figura 1.**

*Cambios en las técnicas de mantenimiento*



*Nota.* Cambios en las técnicas de mantenimiento. Obtenido de Moubray (2004). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM II.* (<https://es.scribd.com/doc/146193755/02-RCM-II-John-Moubray-Libro-Completo>) consultado el 10 de septiembre de 2021. De dominio público.

### 1.1.1. Mantenimiento centrado en la confiabilidad MCC

Este tipo de mantenimiento es ventajoso sobre algunas técnicas usadas en la industria en general. Este mantenimiento está basado en cuanto al análisis de fallas en los equipos, tanto los pasados como los que se pretenden evitar mediante gestiones de prevención y los que poseen probabilidades de acontecer y puedan ser de tipo catastrófico (Maya. 2018). El mantenimiento (*RCM*) por sus siglas en inglés se basa en organizar las actividades y gestiones necesarias para el mantenimiento mediante programas que se basen en la confiabilidad de la maquinaria dentro de la industria. Este tipo de mantenimiento debe contar con todo tipo de estrategia, que aumente la disponibilidad de la maquinaria, lo que disminuye los costos de mantenimiento. Lo cual garantiza a la industria una mayor rentabilidad y disponibilidad total de sus activos.

En el proceso de implementar la metodología (*RCM*) por sus siglas en inglés, se debe especificar las funciones, subfunciones de la maquinaria que se

va a analizar, se toma en cuenta que no se deberá sobre pasar a las funciones para las que fue fabricada la maquinaria. Se debe de considerar el lugar donde la maquina desarrolla sus funciones de operación (Villacrés, 2016). Es necesario que al momento de querer implementar la metodología (*RCM*) por sus siglas en inglés se realice una evaluación exhaustiva de la maquinaria o equipo que se desee evaluar. Es importante definir las funciones primarias y secundarias que realice esta máquina, ya que con base en ello se puede delimitar el tipo de falla que este pudiese tener. Cabe resaltar que es importante cumplir con las especificaciones que el fabricante da respecto al equipo ya que si se sobre exceden las indicaciones se pueden causar daños irreversibles en la maquinaria.

El MCC es un sistema de gestión de mantenimiento que sirve para identificar los activos críticos, mediante sus actividades de mantenimiento y frecuencias durante su operación. El MCC ayuda a desarrollar programas organizados de mantenimiento basándose en el diseño y construcción de los equipos. Se debe asegurar que los equipos mantengan una confiabilidad inherente durante sus operaciones. La confiabilidad puede ser considerada como una medida de seguridad y riesgo, mediante el desempeño de funciones de un activo, libre de fallos y bajo determinadas condiciones (Saquicela, 2020). El mantenimiento centrado en la confiabilidad tiene un campo extenso de aplicaciones y mediante esta metodología se logran realizar análisis, mediante un detallado informe de averías del o los equipo(s) por evaluar, y así definir las rutinas de mantenimiento más adecuadas.

La industria aeronáutica fue la primera en enfrentar desafíos constantemente, la cual dedicó tiempo y esfuerzo en el fortalecimiento de las tareas asignadas, mediante supervisión para que estas se realizarán correctamente y asegurar que sean las tareas correctas. Esto dio lugar a

mejorar las técnicas y métodos de toma de decisiones conocida como (*Maintenance Steering Group-3*) *MSG3* dentro de la industria de aviación y fuera de esta como *RCM* (Moubray, 2004).

#### **1.1.1.1. Historia del *RCM***

Tiene su desarrollo en el sector aeronáutico, donde existía irregularidades en cuanto a la estabilidad de navegación. Se trasladó a un área perteneciente al sector militar. Tiempo después se trasladó al sector industrial, ya que tuvieron éxito en cuanto a los resultados en el sector de aéreo (Maya, 2018).

El mantenimiento ha tenido un progreso significativo a lo largo de la historia, se ha identificado de alguna manera durante las distintas generaciones su evolución y progreso en el cual se enfatiza sus diferentes formas de administrar el mantenimiento. Los efectos que producen la inactividad de los equipos se clasifican como efectos de falta de capacidad de producción, así también refleja una reducción en el rendimiento y aumento en los costos de operación. Según la norma *SAE JA 1011* el mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) por sus siglas en español, este tipo de mantenimiento fue desarrollado para mejorar la confiabilidad y la seguridad de la maquinaria en el sector aeronáutico. Documentado en 1978 por F. Stanley Nowlan & Howard F. Heap, este tipo de mantenimiento a lo largo de la historia se ha implementado de manera estratégica en las diferentes áreas de trabajo, con el fin de mejorar las condiciones de los activos (Villacrés, 2016).

El Departamento de Defensa de los Estados Unidos delegó a *United Airlines* para tomar medidas sobre los métodos usados por la industria de la aviación para la elaboración de programas de mantenimiento en los aviones,

esto fue titulado mantenimiento centrado en la confiabilidad, y como siguiente paso el desarrollo de un enfoque lógico y de aplicación general mediante lo aprendido en los diversos programas de confiabilidad (Moubray, 2004).

### 1.1.1.2. Metodología del RCM

Los procedimientos para implementar la metodología (RCM) por sus siglas en inglés, se basa en dar respuesta a las preguntas que se han definido para el Mantenimiento centrado en la confiabilidad y seguir un orden necesario según la norma SAE JA 1011 (Villacrés, 2016).

Es un proceso que determina los procedimientos para asegurar que cualquier activo físico continúe con las funciones correctas para lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.

**Tabla 2.**

*Las siete preguntas del RCM*

No. Pregunta	Descripción de la pregunta	Requisito
1	¿Cuáles son las funciones y parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?	Funciones
2	¿De qué manera puede fallar al cumplir sus funciones?	Fallos funcionales
3	¿Cuál es la causa de cada fallo funcional?	Modos de falla
4	¿Qué sucede cuando ocurre cada fallo?	Efectos de fallo
5	¿De qué manera afecta cada fallo?	Consecuencias
6	¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada fallo?	Tareas proactivas y frecuencias de ejecución
7	¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?	Acciones predeterminadas

*Nota.* Las siete preguntas del RCM. Obtenido de Villacrés, (2016). *Desarrollo de un plan de mantenimiento aplicando la metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM)* (<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4749/1/20T00717.pdf>) consultado el 12 de septiembre de 2021. De dominio público.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad es una metodología generalmente utilizada en la elaboración de planes de mantenimiento dentro de las industrias para los diferentes equipos que poseen, basándose en el aseguramiento del equipo y brindar satisfacción al usuario o propietario. Cabe resaltar que la esencia de esta metodología está contenida en la norma *SAE JA1011* (Campos-López, Tolentino-Eslava, Toledo-Velázquez, Tolentino-Eslava, 2019).

El *RCM* realiza un enfoque de procesos y procedimientos de mejora industrial centrándose en el mantenimiento, mediante la identificación y el establecimiento de operaciones, políticas centradas en la mejora de gestión de riesgo de fallas en los activos. Para la metodología *RCM* se han aplicado algunas herramientas y estrategias acordes a las necesidades del caso (Pérez, y Mateo, 2020). En algunos casos para poder aplicar la metodología *RCM* es necesario considerar algunas de las herramientas que pueden ser de utilidad para los procedimientos de maquinaria en general o específica. Algunas de las herramientas y estrategias que se pueden utilizar son: mantenimiento basado en condición (MBC), Diagrama de flujo del proceso, análisis causa raíz (ACR), análisis de modo y efecto de fallas (AMEF) entre otras.

**Tabla 3.**

*Herramientas utilizadas en caso de aplicación de RCM*

<b>PREGUNTAS RCM</b>	<b>HERRAMIENTAS Y ESTRATEGIAS UTILIZADAS</b>			
¿Cuáles son las funciones?	DFP, PMA, HC	DFP	AMEF	AF, PMA
¿De qué manera puede fallar?	HC	AMEF	AMEF	AMEF
¿Cuál es la causa de la falla?		RHF	AMEF	AMEF
¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?		RHF	AMEF	
¿En qué sentido cada falla es importante?	AD, HC	MANC, AAF		ACR, AAF
¿Qué se puede hacer para prevenir cada falla?	AD, HC	RM	MBC, FD-RN	F-DW, D-SM
¿Qué debe hacerse si no se puede		PRP		

Continuación tabla 3.

encontrar una tarea preventiva adecuada?	
<b>DESCRIPCIÓN DE HERRAMIENTAS</b>	
PMA: Programas de mantenimiento actuales	MBC: Mantenimiento Basado en condición
HC: Hoja de cálculo	FD-RN: Fusión de datos redes neuronales
AD: Árbol de decisión	AF: Árbol funcional
DFP: Diagrama de flujo del proceso	ACR: Análisis causa raíz
AMEF: Análisis de modos de efectos de fallas	F-DW: Fiabilidad con distribución de Weibull

Continuación de la tabla 3.

<b>PREGUNTAS RCM</b>	<b>HERRAMIENTAS Y ESTRATEGIAS UTILIZADAS</b>
RHF: Registros históricos de fallas	D-SM: Disponibilidad con simulación Monte Carlo
MANC: Matriz de asignación de nivel critico	AAF: Árbol de análisis de falla
PRP: Programa de retroalimentación personal	RM: Mantenimiento radical

*Nota.* Herramientas utilizadas en caso de aplicación de RCM. Obtenido de Pérez, (2020). *Diseño de una metodología para generar un plan de mantenimiento a través de la integración de RCM, WCM y Lean Manufacturing aplicable en proceso de trefilado de alambraón.* (<https://revistas.ucp.edu.co/index.php/entrecienciaeingenieria/article/view/1793>) consultado el 18 de septiembre de 2021. De dominio público.

### 1.1.1.3. Fases para implementar RCM

Para poder implementar la metodología *RCM* se debe de tomar en cuenta como primer paso poder enlistar los equipos con los que se cuenta. Seguidamente se debe de generar un listado de las funciones que realizan los equipos, subsistemas y si cuentan con funciones especiales para poder tomarlos en cuenta. Se debe determinar los fallos funcionales y técnicos que estos equipos hayan tenido con anterioridad al momento de cumplir con sus funciones para las que fueron diseñadas. Si se realizan correctamente los pasos al momento de enlistar las funciones, será mucho más fácil determinar cuáles son las fallas o posibles fallas que la maquinaria pueda presentar.

Se debe determinar los posibles modos de falla de la maquinaria, mediante un análisis delimitado y saber si cuenta con múltiples fallas hasta llegar a la causa raíz. Se debe analizar la criticidad o los efectos que cada fallo



tiene sobre el equipo, y se clasificaran según qué tan graves sean las consecuencias en los activos. Otro paso importante es determinar las medidas preventivas que permitirán evitar fallos en el equipo o bien minimizar los efectos que estos podrían causar. Se deberán agrupar las tareas de mejora, mantenimiento, procesos de mantenimiento y operación. Y por último se encuentra la puesta en marcha de las acciones de operación y de mantenimiento de la maquinaria, así como acciones formativas en cuanto a *RCM* (Maya, 2018).

#### **1.1.1.4. Aplicación de la metodología *RCM***

Se debe de conocer los activos de la organización para poder establecer y analizar los requerimientos de mantenimiento y realizar la toma de decisiones para saber cuál de estos activos será sometido al proceso de *RCM*. Si no existiera registro dentro de la corporación de los activos se debe de preparar uno.

Planificación: la aplicación del *RCM* depende de una preparación y planificación minuciosa la cual posee varios elementos necesarios para este proceso dentro del cual se decide que activo se tomará para el proceso *RCM*. Cabe resaltar que se evalúan los recursos necesarios para la aplicación de este tipo de mantenimiento. Se debe justificar al responsable de llevar el proceso y quién auditará cada análisis, él cual deberá de recibir el entrenamiento correspondiente, asegurando el contexto operativo del equipo.

Grupo de revisión: el proceso *RCM* está conformado por siete preguntas básicas, las cuales el personal de mantenimiento no puede responder por sí solos, para poder dar respuesta a estas preguntas se necesita del personal operativo, el cual conoce las funciones, desempeño, efectos y consecuencias

de las fallas. Por lo tanto, se debe de realizar un reconocimiento de los requerimientos de mantenimiento por parte de una persona de mantenimiento y otro del área operativa, así como de los demás miembros que hayan sido capacitados en *RCM*.

Facilitadores: Estos grupos de personas son los que se encargan de garantizar que el análisis del *RCM* se lleve de forma correcta, teniendo los límites definidos, que la importancia de los ítems no sea pasada por alto, así como los resultados. Todos los miembros del grupo deben de aplicar el proceso de *RCM* correctamente. El análisis debe de progresar con rapidez de manera razonable y en el tiempo destinado.

Resultados del análisis de *RCM*: los tres resultados tangibles que aporta el análisis *RCM* se define como rutinas de mantenimiento, procedimientos operativos seguros, lista de áreas donde deban realizarse cambios para lograr los niveles productivos deseados.

Auditorias e implementación: tras concluir la revisión a los activos, se debe de contar con la satisfacción de las decisiones tomadas por el grupo, las cuales deben de ser sensibles y defendible. Seguidamente de la aprobación de la revisión se procede a realizar las recomendaciones mediante rutinas de mantenimiento planificadas y controladas, cambios de los procedimientos de operación del equipo, recomendaciones de modificaciones de diseño al sector correspondiente (Moubray, 2004).

## **1.2. Lubricación**

La lubricación es una parte significativa y valiosa en la maquinaria, así como las piezas que la integran. Se debe tener cuidado al momento de realizar

el diseño y mucha precisión, con el fin de satisfacer las exigencias de las industrias en la actualidad. Sin una adecuada lubricación a las piezas se producirían desgastes en un periodo de tiempo corto, las cuales dejaban de funcionar y producían daños significativos (Santos, 1992). Es de gran importancia tomar muy en serio la lubricación y las exigencias que hoy en día se tienen en las máquinas. Regularmente se le resta valor a este tema tras ser significativo y vital para la maquinaria y sus procesos productivos. Es muy significativo que la persona encargada de realizar este tipo de trabajos tenga el conocimiento y las competencias necesarias para hacerlo. Por lo regular asignamos esta tarea al personal nuevo, practicante entre otros, cuando realmente se necesita la experiencia de técnicos que conozcan los equipos y cuan catastrófico sería dejar de realizar los procesos y procedimientos adecuados.

La lubricación tiene como propósito evitar el contacto entre dos piezas con deslizamiento relativo, y así poder evitar que puedan ocasionarse daños entre sí. Esta intenta eliminar o reducir el riesgo de contacto entre las piezas durante el proceso de deslizamiento, esto mediante una película de lubricante en estado líquido, sólido o gaseoso y con buen espesor entre las piezas de contacto para evitar la fricción y desgaste de esta.

En algunos casos los lubricantes pueden ser minerales, agua en casos especiales, o lubricantes sintéticos dependen de las condiciones de operación de la maquinaria (Linares, s.f.). Durante la corta experiencia que he tenido en la parte de mantenimiento podría decir que el agua es un lubricante necesario en algunas máquinas, y que seleccionar el lubricante adecuado no solo es cuestión de decir este se aplica. Es importante saber que el fabricante propone un lubricante para su máquina el cual fue diseñado y probado en la misma, pero se deben de verificar ciertos aspectos como las condiciones ambientales de

operación de la máquina, el tiempo de trabajo, la velocidad, la carga, entre otros, para poder determinar si este será útil para la operación o es necesario sustituirlo por otro con adaptabilidad a las condiciones requeridas de trabajo.

Lubricar es interferir entre superficies que estén en contacto expuestas a la fricción. Es apropiado que exista una película intermedia a pesar de la fuerza que se ejecute al juntarlas. La lubricación disminuye el contacto directo, el rozamiento, el desgaste, y la pérdida de potencia (Sena, s.f.).

La lubricación en maquinaria de una industria es una de tantas funciones esenciales, que cumple con proteger los equipos durante la operación, y así evitar fricción en las piezas en movimiento, por lo tanto, el desgaste excesivo y así reducir al mínimo los paros dentro de la planta (Olloqui, 1967).

### **1.2.1. Funciones de los lubricantes**

Es primordial conocer estas funciones ya que no solo tienen relación con la fricción y el desgaste, también cumplen funciones importantes para la vida útil de los equipos. Las funciones con las que cumplen los lubricantes son la disipación de calor de las piezas en movimiento, rechazo de suciedad, brindan protección contra la oxidación y corrosión, transmisión de potencia (Santos, 1992). Si no contamos con el conocimiento adecuado en cuanto a los lubricantes y sus funciones, no se podrá tomar en consideración todos estos factores que el autor hace mención y algunos otros autores, es de vital importancia para las maquinarias tomar la ficha técnica del equipo y tomar la hoja técnica del lubricante o los lubricantes a evaluar para el uso de esta y tomar en consideración los factores que de los cuales se hace mención. En la actualidad existen tecnologías que día a día se actualizan en el ámbito de la lubricación, esto ayuda a mejorar los procesos y procedimientos de lubricación,

pero de nada sirve tener el mejor lubricante e incluso el más caro, sino contamos con el personal capacitado para realizar esta labor de gran importancia para la vida útil de nuestros equipos.

Reducción de fricción: se puede decir que si no existe lubricación entre dos piezas al ponerse en contacto se dificulta que una se desplace sobre la otra y se produce un esfuerzo extra para el desplazamiento, esto generaría desprendimiento de pequeñas partículas que solo son visibles microscópicamente y a su vez un desgaste. En cambio, si se cuenta con un lubricante, el desplazamiento sería más fácil y efectivo, disminuiría la fricción y evitar el desprendimiento de partículas que pueden afectar a la maquinaria (Santos, 1992).

Reducción de desgaste: contar con la lubricación correcta, en los momentos apropiados es de mucha importancia. Al momento de realizar una inspección y revisar los elementos móviles de los equipos es significativo evaluar presencia de desgaste u condiciones adecuadas de estos. En algunos casos se notará desgaste esto significa que la lubricación no se realizó de manera correcta o simplemente no se hizo. En otros casos se comprobará que los elementos no poseen signos de desgaste, esto indica que las rutinas de lubricación, la aplicación de lubricante, el tipo de lubricante, la cantidad correcta de lubricante, entre otras han sido significativas para la maquinaria las cuales presentan condiciones aceptables para seguir en operación.

Dispersión de calor: una de las funciones que ofrecen los lubricantes es la disipación del calor de las piezas giratorias de la máquina, siempre y cuando se encuentren con la lubricación indicada. El lubricante tiende a absorber el calor en algunos sistemas lo cual es transmitido hacia el exterior, existen equipos que cuentan con sistemas de circulación, los cuales transportan el

lubricante al enfriador y luego de regreso para continuar su ciclo. Es necesario tomar en cuenta que el exceso de calor en un lubricante es un indicio de riesgo que hace exigente una revisión de la maquinaria, para poder detectar la razón del exceso calorífico.

Resguardo de la suciedad: es importante utilizar el lubricante apropiado para cada maquinaria según sean sus funciones y condiciones de operación. El lubricante adecuado puede evitar que agentes contaminantes puedan ingresar y dañar los elementos más vulnerables de los equipos.

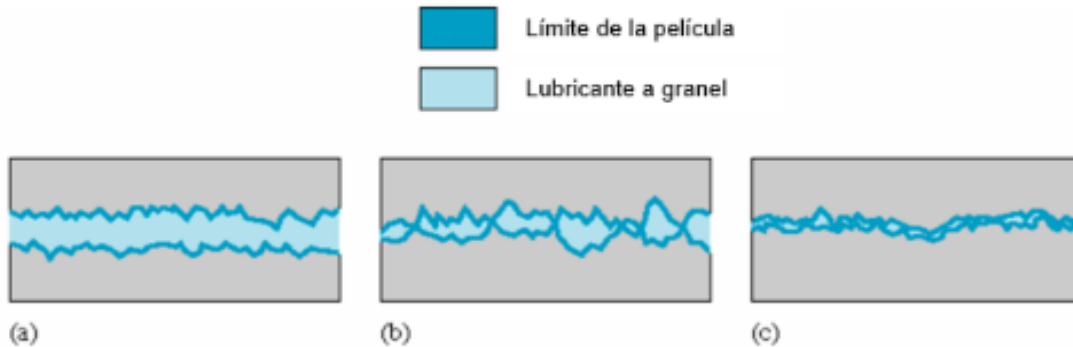
Prevención de oxidación: el cuidado de los elementos móviles y con necesidades de lubricación son necesarios para evitar oxidación y corrosión en los mismos, ya que un elemento sin lubricación puede que por la falta de protección y por la exposición al aire y humedad se oxide, mientras que elementos que cuenten con esta protección disminuyen el riesgo de que se oxiden y corroan.

Transmisión de potencia: este principio es empleado en muchas máquinas y en algunos casos no es considerado este como un lubricante, sino tomado como medio de transmisión de potencia, pero siempre son una tarea del encargado de lubricación (Santos, 1992).

### **1.2.2. Tipos de lubricación**

En relación de los tipos de lubricación se cuenta con lubricación hidrodinámica, elastohidrodinámica, marginal y mixta las cuales tienen características variables (Linares, s.f.).

**Figura 2. Condiciones de película de lubricación**



*Nota.* Condiciones de película de lubricación. Obtenido de Linares, (s.f.). *Tribología y mantenimiento proactivo*. (<http://www.mantenimientomundial.com/notas/histrib.pdf>) consultado el 22 de septiembre de 2021. De dominio público.

- Lubricación por película fluida
- Lubricación mixta
- Lubricación marginal

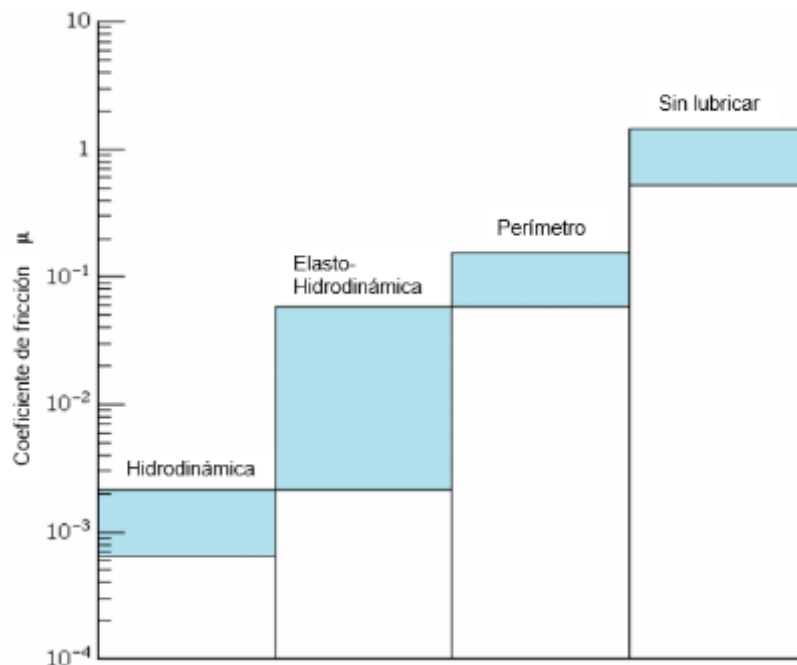
Lubricación Hidrodinámica: se caracteriza por poseer una película fluida y gruesa que previene que las piezas móviles tengan contacto una con la otra. Este tipo de lubricación es conocida como forma ideal de lubricación, ya que aporta una disminución considerable de fricción y mayor resistencia al desgaste.

Lubricación Elastohidrodinámica: desde su descubrimiento en los años 50 tuvo inicio el proceso de soluciones del problema en cuanto al desgaste en los elementos mecánicos que tenían cargas de operación alta y velocidades bajas. Este tipo de lubricación se muestra en la maquinaria que trabaja conjuntamente enlazada y no se separa, lo cual indica que las rugosidades o crestas al tener contacto una con la otra tiende a deformarse elásticamente, al contar con estas deformaciones queda atrapada una pequeña cantidad de

lubricante la cual forma una película hidrodinámica de menor proporción y así alcanzar  $1\text{ }\mu\text{m}$  o menos al contrario de la lubricación Hidrodinámica que maneja parámetros de  $5\text{ }\mu\text{m}$  en adelante (Linares, s.f.).

### Figura 3.

*Coeficiente de fricción para varias condiciones de lubricación*



*Nota.* Coeficiencia de fricción para varias condiciones de lubricación. Obtenido de Linares, (s.f.). *Tribología y mantenimiento proactivo, generalidades de la tribología, fundamentos de la lubricación, fricción y desgaste.* (<http://www.mantenimientomundial.com/notas/histrib.pdf>) consultado el 22 de septiembre de 2021. De dominio público.

Lubricación Marginal: en este tipo de lubricación los efectos de la película fluida del lubricante los sólidos no se encuentran separados y existe un contacto por las asperezas. En este tipo de lubricación el espesor de la película puede oscilar entre un rango de 1 a 10 nm, su manejo es mediante las propiedades



químicas y físicas de proporciones moleculares de su película delgada. Su coeficiente de fricción es ajeno a la viscosidad del fluido, debido a la menor importancia de las propiedades volumétricas.

Lubricación mixta: este sistema está basado en una selección de la línea media como centro, la cual da paso a que la línea superior e inferior sean iguales. La lubricación mixta es una condición que se interpone entre la película hidrodinámica y límite. En este tipo de lubricación las características de la película de lubricación serán un factor determinante para el desgaste, el consumo de energía, la estabilidad, así como de la resistencia a la cizalladura de la película fluida (Linares, s.f.).

### **1.2.3. Tipos de lubricantes**

Minerales: este tipo de lubricantes es muy extenso y cuenta con una división de parafínicos y nafténicos. Los lubricantes parafínicos se caracterizan por poseer una estabilidad relativa a las altas temperaturas, poseen grandes cantidades de parafinas esto causa que se solidifique a temperaturas más altas que los lubricantes nafténicos. Los lubricantes nafténicos se caracterizan por poseer grandes cantidades de asfalto, son más estables que los parafínicos a temperaturas elevadas, y tienden a permanecer de forma líquida a temperaturas bajas. La viscosidad de los lubricantes nafténicos tiene una variación relativa a la temperatura (Santos, 1992).

Este tipo de lubricantes se clasifican en dos grupos, los cuales tienen diferentes características, están los que son derivados de hidrocarburos los cuales son compuestos orgánicos con contenido de carbono e hidrógeno, de petróleo, del carbón como piedra. La otra parte son los lubricantes en estado sólido dentro de los que se encuentran el grafito compuesto de carbono este se

encuentra en forma de polvo finamente, el tungsteno, el bisulfuro de molibdeno, el talco (SENA, s.f.).

Vegetales: los lubricantes vegetales son extraídos de las semillas de los vegetales derivados de frutos. Estos lubricantes se clasifican en tres grupos diferentes como; aceites no secantes, aceites semi-secantes y aceites secantes, para poder diferenciar se utiliza el índice de yodo. Los aceites no secantes tienen un índice menor a cien de yodo. Los semi-secantes tienen un índice de yodo de ciento treinta, debido a su alto índice de yodo se le tiene que aplicar ácidos y resinificarse. Los secantes contienen un alto índice de yodo que va de ciento treinta a doscientos (Santos, 1992).

Este tipo de lubricantes son extraídos de frutos y plantas, son de poca utilización dentro de la lubricación industrial, y al realizar la comparación con los lubricantes minerales su poder de lubricación se encuentra en desventaja. Es más utilizado para los alimentos, y se puede mencionar los aceites como tal, aceite de oliva, algodón, soya, higuera, maíz, coco (SENA, s.f.).

Animales: los aceites de procedencia animal se pueden hallar albergados en algunas células de los tejidos. Se pueden obtener de animales terrestres y marinos, dentro de los terrestres, se pueden encontrar: la manteca de cerdo, el pie de la vaca, que pueden ser utilizados en la lubricación de relojería, en la industria del cuero entre otros. Los aceites extraídos de los animales marinos suelen ser utilizados en la industria de grasas comestibles, algunos otros en la industria de jabón, pinturas de tinta de imprenta (Santos, 1992).

Este tipo de lubricantes son obtenidos de los animales terrestres y marinos, de los cuales se extrae tejidos, huesos, entre otros. Son de bajo uso en la lubricación industrial. Su utilidad ésta más enfocada para la fabricación de

jabones y se puede mencionar algunos de los más destacados, manteca de cerdo, aceite de ballena y la lanolina la cual es una glándula sebácea que producen algunos animales de manera natural (SENA, s.f.).

#### **1.2.3.1. Aceites**

Existe una variedad muy amplia de aceites lubricantes de acuerdo con el tipo de maquinaria y servicios que requieran, estos lubricantes son derivados del petróleo. Algunos de estos lubricantes son destinados para funciones muy específicas mientras que los demás pueden ser funcionales para maquinarias similares (SENA, s.f.).

Se clasifican de la siguiente manera:

- Aceites para sistemas de circulación
- Aceites para engranajes
- Aceites para maquinaria o para motores
- Aceite para husillos
- Aceite para refrigeración
- Aceite para cilindros de máquina de vapor
- Aceite para lubricación de turbinas de vapor
- Aceites para usos hidráulicos
- Aceites para sistemas circulatorios en trenes de laminación
- Aceites para sistemas circulatorios para maquinaria papelera
- Aceites para servicio pesado, motores de combustión interna

**Tabla 4.***Aditivos usados en aceites lubricantes*

<b>Tipo de aditivo</b>	<b>Composición química</b>	<b>Objeto</b>
Mejorar índice de viscosidad	Polímeros metacrilatos	Reduce actividad en el cambio de viscosidad con la temperatura
Deprimiento punto de fluidez	Naftalena alquilatada	Reduce punto de fluidez del aceite
Detergente dispersante	Productos de alquil P <sub>2</sub> S <sub>5</sub> sulfonatos de metal alquilpoliámico, fenolatos de alquilmetálicos.	Conserva los insolubles en suspensión, mantiene limpieza.
Inhibidor de oxidación	Diaquilditiofosfato de zinc	Demora la oxidación en aceites
Inhibidor de herrumbre	Alquilaminos	Impide herrumbre en metales ferrosos adhesión
Inhibidor de corrosión	Sulfonatos básicos de metales	Impide ataque de materiales ácidos a metal
Agente contra presiones extremas	Olefinos sulfurados. Parafinas clorinadas	Impide se adhieran las superficies metálicas
Inhibidor de espuma	Polimero de silixón	Reduce tendencia a formar espuma
Agente anti rayado y antidesgaste	Sales metálicas de fosfato de aquil ácido	Suministra pulido químico y desgaste

*Nota.* Aditivos usados en aceites lubricantes. Obtenido de Elementos de máquinas, lubricación de maquinaria SENA, (s.f.). *Elementos de máquinas.* (<https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/1380/12-lubricacion-de-maquinaría.pdf?sequence=1>) consultado el 5 de octubre de 2021. De dominio público.

### 1.2.3.2. Grasas

Este tipo de lubricantes es una combinación de aceites minerales que son espesados con jabones los cuales actúa como soporte para los aceites.

Esto depende de las propiedades de los componentes de este tipo de lubricantes, lo que determina sus características fisicoquímicas y su aplicación o uso final.

Las grasas cuentan con características principales dentro de las cuales se encuentra la consistencia, reversibilidad, punto de fusión y de gota, adherencia o pegajosidad.

Consistencia: esta característica principalmente deriva de sus componentes, los cuales le dan la dureza y resistencia a la penetración, otros aspectos que influyen para estas características son los procesos de fabricación y cantidades suministradas, para medir la consistencia se utiliza un penetrómetro. La estabilidad de una grasa es la que define el comportamiento entre la separación del aceite base y el jabón ante las condiciones severas de operación o bien en un inadecuado almacenamiento. a diferencia de la estabilidad, la no estabilidad tiende a manifestarse con la formación de una capa en la superficie de aceite líquido sobre la masa total de la grasa.

En el siguiente cuadro se puede determinar los valores de la penetración determinados por la *A.S.T.M (American Society Testing Materials)* Sociedad Americana para pruebas de Materiales, y la *NLGI (National Lubricating Grease Institute)* Instituto Nacional de Grasas (SENA, s.f.).

**Tabla 5.**

*Penetración*

Grado NLGI		Penetración trabajada En décimas de milímetro
0	Semifluida	355 – 385
1	Muy blanda	310 – 340

Continuación de la tabla 5.

2	Blanda	265 – 295
3	Mediana	220 – 250
4	Dura	175 – 205
5	Muy dura	130 – 160
6	Extradura	85 – 115

*Nota.* Penetración trabajada en décimas de milímetros. Obtenido de SENA, (s.f.). *Elementos de máquinas, lubricación de maquinaria.* (<https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/1380/12-lubricacion-de-maquinaria.pdf?sequence=1>). consultado el 8 de octubre de 2021. De dominio público.

Reversibilidad: es la propiedad de recuperación de la estructura original al momento de la separación del aceite base y el jabón por las condiciones de temperaturas elevadas y factor de velocidad, es casi indispensable esta esta propiedad en las grasas que son utilizadas para la lubricación de los cojinetes.

Punto de fusión y de gota: es la característica que presenta una grasa mediante el incremento de temperatura, la grasa sufre un cambio mediante la separación del aceite y el jabón. Si persiste el aumento de la temperatura la fluidez será mayor hasta que exista desprendimiento de una gota.

Adherencia o pegajosidad: estas dos particularidades en una grasa son determinadas mediante la clase de jabón utilizado, esta cualidad o característica es fundamental tomarla en cuenta al momento de realizar el engrase o reengrase de sistemas o equipos rotativos.

Otras grasas: en la industria hoy en día existen variedades de grasas que no utilizan aceite mineral como base y espesados con jabones, poseen características mejoradas que podrían ser beneficiosas en los equipos o maquinarias que así lo requieran. Debido a que poseen un comportamiento

excelente a la temperatura sin rebasar un límite de 200 °C aproximadamente. Otra de las propiedades de las cuales se puede mencionar en este tipo de grasas es la pérdida de peso con relación a las que utilizan aceites minerales, al tener una exposición de 65 °C en un tiempo prolongado de 40 horas, se refleja la pérdida en las grasas a base de aceites minerales de un 35 a un 40 % mientras que en estas es solamente del 4 % (SENA, s/f).

- Grasas fabricadas a partir de aceites sintéticos con espesantes de jabones, o aceites de siliconas.
- Grasas fabricadas con aceites espesados a base de arcillas coloidales (Bentone).
- Grasas fabricadas con bisulfuro de molibdeno, grafito, entre otras.

**Tabla 6.**

*Aditivos usados en las grasas lubricantes.*

<b>Tipo de aditivo</b>	<b>Composición química</b>	<b>Objeto</b>
Agente espesador	Jabones metálicos	Retiene fluidos por absorción
Materiales de relleno	Óxidos metálicos	Aumenta volumen de la grasa
Inhibidor de oxidación	Fenilo-beta-naftilamino	Impide la oxidación
Desactivador metálico	Mercaptobenzotiazolo	Impide efectos catalíticos de metales
Inhibidor de corrosión	Sulfonato de amoniaco dioni naftaleno	Suspende la corrosión
Agentes anti desgaste	Bisulfuro de dibensilo	Reduce el desgaste
Agentes contra presiones extremas	Caras clorinadas naftenato de plomo	Reduce la fricción
Mejorador de punto de goteo	Jabones grasos	Aumenta el punto de goteo
Estabilizador	Esteres de ácidos grasos	Aumenta temperatura para el uso
Agente espesador	Polibutilenos	Suministra adhesividad en superficies metálicas

*Nota.* Aditivos usados en las grasas lubricantes. Obtenido de SENA, (s.f.). *Elementos de máquinas, lubricación de maquinaria.* (<https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/1380/12-lubricacion-de-maquinarria.pdf?sequence=1>) consultado el 15 de octubre de 2021. De dominio público.

### **1.2.3.3. Aplicación de las grasas**

Es importante conocer que existen diferentes maneras de suministrar la grasa a chumaceras, rodamientos, soportes, entre otros. E iniciar con el método de aplicación manual hasta llegar a sistemas centralizados y automáticos.

Aplicación manual: es un método simple que se utiliza para la protección de los elementos rotativos como los rodamientos, posee desventajas que podrían ser significativas al momento de su aplicación, como el desperdicio, adherencia de agentes volátiles contaminantes (SENA, s.f.). Este tipo de aplicación en muchas ocasiones se convierte en el único método de aplicación a un rodamiento o piezas móviles de un equipo, ya que se dificulta utilizar un instrumento para la aplicación de grasa. Es necesario siempre que se realice este tipo de práctica, remover la suciedad de la pieza antes de suministrar la grasa, no tener suciedad en las manos, utilizar equipo de protección para evitar contaminar el lubricante o un incidente al momento de su aplicación.

Este es uno de los métodos más simples de aplicar al momento de utilizar grasa y aplicársela a los rodamientos antes de instalarlos o al momento de relubricar. Está considerado como un método practico, pero antieconómico debido al desperdicio que se hace al momento de la aplicación.

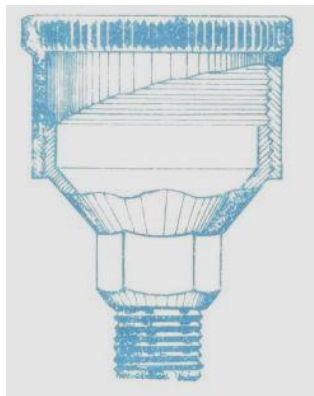
Método de aplicación por presión: es un método que actualmente es muy utilizado, mediante herramientas como lo son las pistolas graseras o engrasadoras como se conocen. Estas herramientas pueden ser manuales, neumáticas o eléctricas, y su aplicación de grasa se realiza por medio de elementos o accesorios de presión tipo *Alemite* o *Zerk* conocidas como graseras (Santos, 1992).



Copa de presión para grasa: este tipo de sistema o método de aplicación es utilizado de forma más frecuente en bases de piezas rotativas más que la aplicación manual, debido a que la aplicación de grasa es directa mediante el llenado de la copa y posterior a eso el roscado introduce a presión la grasa directamente al rodamiento. Se podría decir que tiene ventaja sobre la lubricación a mano, pero tiene defectos que no la hacen confiable, entre las cuales se encuentran que no suministra mayor eficiencia y requieren mayor vigilancia (SENA, s.f.). Este tipo de sistemas lubricadores son bastante útiles para la lubricación de partes móviles necesarias, por lo regular la base de la copa esta acoplada a una tubería de una distancia no mayor a las 3 pulgadas de longitud. Cabe mencionar que es importante siempre mantener la base de la copa sellada para evitar que agentes contaminantes puedan ingresar y dañar piezas móviles, este tipo de engrasadores no solamente son utilizados para rodamientos.

**Figura 4.**

*Copa de presión*



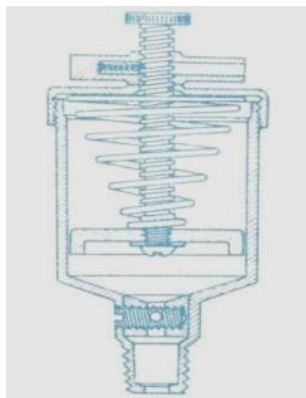
*Nota.* Mantener la base de la copa sellada para evitar agentes contaminantes. Obtenido de SENA, (s.f.). *Elementos de máquinas, lubricación de maquinaria.* (<https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/1380/12-lubricacion-de-maquinaria.pdf?sequence=1>) consultado el 17 de octubre de 2021. De dominio público.

Este tipo de aplicación es utilizado frecuentemente en algunos tipos de máquinas debido a lo práctico, la copa se desenrosca directamente de la base fija y se llena de grasa para posteriormente volverla a roscar (Santos, 1992). Este método es económico debido a que se utiliza la cantidad adecuada de grasa sin desperdiciarse y llega hasta la zona de lubricación con la presión ejercida al roscar, pero es poca práctica debido a que se requiere de tiempo para su aplicación.

Copa de engrase automática: este sistema de lubricación cuenta con un depósito que contiene grasa y en su interior un espiral con un empaque, en la parte superior del tornillo que se utiliza de guía para el espiral se encuentra un sistema de trinquete en forma de T, el cual se utiliza para regular la presión de la espiral, la válvula puede ser girada a la derecha o izquierda según sea requerido (SENA, s.f.).

### **Figura 5.**

*Copa de engrase automática*



*Nota.* Cuenta con un depósito que contiene grasa. Obtenido de SENNA, (s.f.). *Elementos de máquinas, lubricación de maquinaria.* (<https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/1380/12-lubricacion-de-maquinaria.pdf?sequence=1>) consultado el 17 de octubre de 2021. De dominio público.

Este tipo de aplicación se distingue de la copa a presión normal ya que consta de algunos elementos extras que la hacen un mejor método de lubricación para algunos equipos. Esta copa contiene en su interior una cantidad moderada de grasa, el pistón con junta de cuero, así como un resorte que forcé al lubricante a ingresar a rodamiento (Santos, 1992).

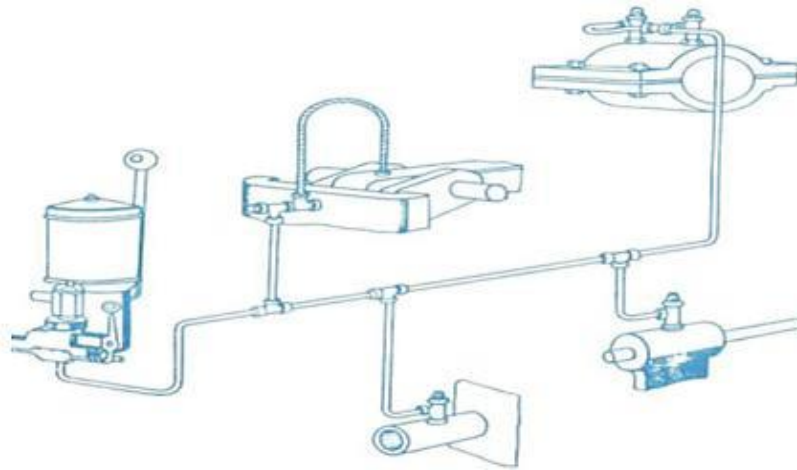
Sistema de engrase centralizado: son sistemas que poseen gran ventaja sobre otros, debido a que reducen el tiempo de lubricación o relubricación y disminuye el desperdicio de grasa. Una de las ventajas que muestran los sistemas centralizados es que nos permiten lubricar las piezas rotativas y rodamientos mientras se encuentran en movimiento. Este tipo de sistemas se divide en dos, de los cuales se encuentra el manual y el automático (SENA, s.f.).

Este tipo de sistema es de mayor confianza que otros sistemas de lubricación, también es considerado un sistema económico debido al tiempo y consumo del lubricante. Este tipo de aplicación permite la lubricación de todos los rodamientos de la maquinaria mientras esta se encuentra en operación. Con este sistema se disminuye el riesgo durante la aplicación de grasa en lugares de difícil acceso (Santos, 1992).

Sistema de engrase manual: este tipo de sistemas posee válvulas individuales que se encuentran acopladas en una línea a un extremo del sistema de forma muy sencilla, de tal manera que suministra la cantidad de grasa necesaria a las partes móviles que se conectan. Las válvulas poseen un indicador de cuando la lubricación está completa, de tal manera que el operador esté atento. Este tipo de sistema es aplicable si durante las jornadas de operación no son requeridos más de dos veces lubricación al sistema (SENA, s.f.).

**Figura 6.**

*Sistema de engrase manual*

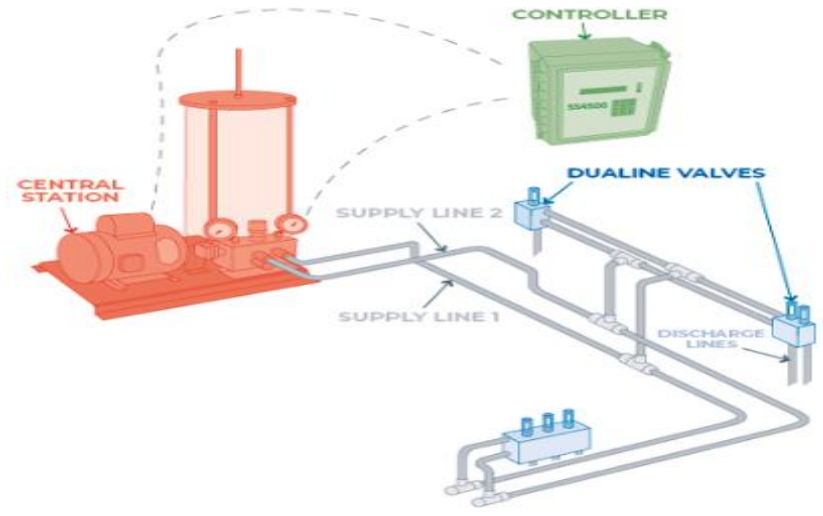


*Nota.* Sistema de engrase manual. Obtenido de SENA, (s.f.). Elementos de máquinas, lubricación de maquinaria. (<https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/1380/12-lubricacion-de-maquinaria.pdf?sequence=1>) consultado el 17 de octubre de 2021. De dominio público.

Sistema de engrase totalmente automático: este tipo de sistemas es utilizado en maquinaria que requiere de frecuente dosificación de grasa debido a los cambios de temperatura y presión, lo cual asegura el funcionamiento óptimo de la maquinaria. Dentro de la industria se emplean en máquinas de servicio pesado, industrias de caucho, mezcladoras e industrias de plástico. Su sistema se compone de una bomba, motor, tuberías de suministro, y válvulas contadoras en cada punto requerido a lubricar (SENA, s.f.).

**Figura 7.**

*Sistema de engrase totalmente automático*



*Nota.* Sistema de engrase totalmente automático. Obtenido de SENA, (s.f.). *Elementos de máquinas, lubricación de maquinaria.* (<https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/1380/12-lubricacion-de-maquinaria.pdf?sequence=1>) consultado el 17 de octubre de 2021. De dominio público.

#### **1.2.3.4. Cartillas de lubricación**

La cartilla o carta de lubricación es un documento en el cual se describe los siguientes datos: departamento o división, equipo o máquina, mecanismo a lubricar, marca de lubricante o codificación, forma de aplicación, frecuencia de chequeo, relleno o cambio, responsable de la aplicación, departamento responsable de aplicación, estos datos sirven para generar las tarjetas de control donde se observan los trabajos realizados y observaciones de la maquinaria (Olloqui, 1967).

**Figura 8.**  
*Cartilla de Lubricación*

Código: XXXXXXXX	<b>CARTA DE LUBRICACIÓN PARA (NOMBRE DEL EQUIPO)</b>	<b>LOGO DE LA EMPRESA</b>																		
Equipo: XXXXXXXX																				
Área: XXXXXX																				
Marca: XXXXXX																				
Modelo: XXXXXX																				
<b>Cuadro de Convenciones</b>																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frecuencia</th> <th>Símbolo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Diario</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>Semanal</td> <td>△</td> </tr> <tr> <td>Quincenal</td> <td>◇</td> </tr> <tr> <td>Mensual</td> <td>□</td> </tr> <tr> <td>Bimensual</td> <td>⬆</td> </tr> <tr> <td>Trimestral</td> <td>⬡</td> </tr> <tr> <td>Semestral</td> <td>▤</td> </tr> <tr> <td>Anual</td> <td>▮</td> </tr> </tbody> </table>	Frecuencia	Símbolo	Diario	○	Semanal	△	Quincenal	◇	Mensual	□	Bimensual	⬆	Trimestral	⬡	Semestral	▤	Anual	▮	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; height: 200px;"> <p align="center"><b>Equipo</b> (Fotografías de los puntos de referencia a lubricar)</p> </div>	
Frecuencia	Símbolo																			
Diario	○																			
Semanal	△																			
Quincenal	◇																			
Mensual	□																			
Bimensual	⬆																			
Trimestral	⬡																			
Semestral	▤																			
Anual	▮																			
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; height: 150px;"> <p align="center"><b>Lubricante a Utilizar</b></p> </div>																				
Componentes de Lubricación (Sistema)	Frecuencia (hrs)	Lubricante	Cantidad	Método de aplicación	Símbolo	Observaciones														
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				

*Nota.* En la cartilla de lubricación se describen datos que sirven para generar las tarjetas de control. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

### Rutas de lubricación

*Nota.* Modelo de rutas de lubricación para equipos. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Se debe determinar los tipos de lubricantes y sus cantidades para poder almacenarlos y establecer el espacio necesario para la resistencia de las estanterías acordes a la información recabada de las dimensiones y pesos de

los recipientes (Santos, 1992). Es importante recalcar que el almacenamiento de los lubricantes ya sean aceites o grasa debe de contar con un área específica y no almacenarlos con otros agentes que puedan ser contaminantes para estos. Se debe contar con recipientes adecuados, los cuales son especialmente para transportar y en algunos casos para almacenarlos, las cuales contienen cantidades mínimas y no prolongadas por mucho tiempo dentro de estos recipientes. El lugar de almacenamiento deberá de ser un lugar que pueda mantener las condiciones adecuadas para que no perjudique la vida útil de los lubricantes, ya que cada uno cuenta con especificaciones de temperatura para su adecuado almacenamiento.

Deberán ser establecidos las cantidades mínimas y máximas de lubricantes para el almacenamiento adecuado, basado en reportes de consumo de los equipos, y mantener una inversión baja como parte de las metas dentro del departamento de mantenimiento. Se debe contar con recipientes adecuados para cantidades voluminosas de lubricantes. También es importante mejorar los procedimientos para el transporte interno de estos lubricantes y contar con los recipientes adecuados para el transporte. Mantener limpios e identificados los recipientes sin dañarlos. Llevar un control de recipientes vacíos e identificados, evitar se borre la codificación asignada. Salvaguardar los productos de la contaminación, altas temperaturas y lluvias (Olloqui, 1967).

La selección de los lubricantes es importante al igual que el almacenamiento y manejo de estos para la utilización en los equipos, tomar en cuenta que algunas normas y requisitos establecidos para la manipulación, almacenamiento y distribución. Por lo tanto, es importante verificar la manipulación y aplicación final, ya que según la forma como se realice puede causar alteraciones mayores o menores a las propiedades del lubricante y el rendimiento en la maquinaria.



Es importante que las condiciones de almacenamiento de los lubricantes sean en lugares donde no haya presencia de polvo abundante, que la limpieza sea constante dentro del área de resguardo, evitar mantener a la intemperie los lubricantes ya que estas condiciones críticas ambientales como lo son el polvo, la tierra, la humedad o el agua provocan que los mismos queden deteriorados antes del uso correspondiente (Albarracín, 2015).

### **1.3. Triturado (fragmentación de sólidos)**

El proceso de triturado o de fragmentación de sólidos es un proceso en el cual tiene como fin reducir el volumen de un sólido (mineral) a un volumen de tamaño considerable según su uso. En el proceso de triturado se hace uso de maquinaria especializada para realizar esta labor de disminución de tamaño de materiales voluminosos (Aguirre, 2013). Es importante reconocer que este tipo de proceso es utilizado en industrias mineras, así como en industrias de generación de energía eléctrica, entre otras. La fragmentación de sólidos sucede al introducir el material que se desea triturar con condiciones específicas a las cuales la maquinaria está calibrada según sea la manipulación que se vaya a realizar o según las exigencias del proceso productivo. En el caso de la industria de generación de energía eléctrica, la antracita debe de tener 1 in<sup>2</sup> para que sea eficiente dentro del horno de la caldera. Por eso se debe calibrar correctamente el triturador y sus placas de sacrificio.

La reducción de los materiales por fraccionamiento o trituración son operaciones importantes para las diferentes industrias como lo son la minera, metalúrgica, de energía y química. Estos utilizan grandes cantidades de materiales para sus procesos productivos (Fueyo, 1999).

**Figura 9.**

*Carbón sin triturar*



*Nota.* Carbón sin triturar de alta granulometría. Elaboración propia.

**Figura 10.**

*Carbón triturado*



*Nota.* Carbón triturado de baja granulometría. Elaboración propia.

### **1.3.1. Trituradoras o chancadoras**

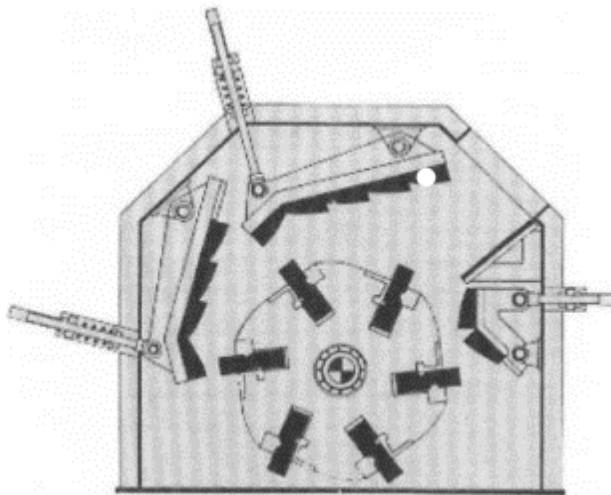
Forma parte de una de las etapas en el proceso de disminución del volumen del material. Por lo general este tipo de proceso se realiza de dos a tres veces y es un proceso que por lo regular se realiza en seco. Durante la extracción de minerales suele suceder que el volumen de estos sean demasiados grandes para las necesidades requeridas. Por lo tanto, durante el proceso de trituración su volumen es disminuido a un tamaño considerable durante una de las etapas de trituración (Aguirre, 2013). Las trituradoras o chancadoras son maquinaria utilizada especialmente para reducir el volumen de minerales que son demasiado voluminosos o que cuentan con una granulometría que no favorece a los procesos de producción. Existen diferentes tipos de trituradores, pero en la industria de generación de energía eléctrica el tipo de triturador que se utiliza se conocen como triturador de martillos. Esta maquinaria cuenta con tornillos calibradores los cuales son utilizados para calibrar las placas de sacrificio y brindar la distancia necesaria para que el producto quede de tamaño ideal para el proceso productivo.

Se considera que un triturador es un reactor que transforma las partículas de mayor dimensión o volumen a partículas de menor tamaño. Este triturado se origina al aplicar una fuerza sobre los materiales y causar fracturas o fragmentar el material. Este tipo de triturador es utilizado para la pulverización de materiales de baja resistencia al ser golpeados, así como en materiales de una dureza considerable, pueden producir de 1 hasta 60 toneladas por hora. En el proceso de molienda es una de las etapas donde se reduce el material mediante una combinación de impactos y abrasión, estos pueden ser de manera seca o con una cantidad considerada de agua. El tamaño del producto final dependerá del proceso para el cual será utilizado el material. (Fueyo, 1999).

En la actualidad las trituradoras pueden clasificarse como trituradoras compresivas y trituradoras de impacto. Las compresivas realizan compresión sobre el material hasta romperlo, dentro de las cuales se encuentran las trituradoras de mandíbula, de cono, giratorias y de rodillos. Las de impacto se basan en el principio de impactos rápidos hasta poder aplastar el material, dentro de las cuales se destacan molino de martillos (Viilo, 2011).

**Figura 11.**

*Triturador de martillos*



*Nota.* Modelo de triturador de martillos. Obtenido de Fueyo, (2019). *Equipos de trituración, molienda y clasificación. Tecnología, diseño y aplicación.* (<https://es.scribd.com/document/339108398/Etmyc-I-Fueyo>) consultado el 24 de octubre de 2021. De dominio público.

Los trituradores o molinos de martillos son máquinas diseñadas para realizar procesos de molienda o triturado de materiales de dureza media. Estos equipos buscan poseer buena robustez debido al tipo de trabajo que realizan, la constitución de los materiales busca tener alta resistencia al desgaste e impacto. Internamente cuenta con un recubrimiento de placas anti desgaste las

cuales ayudan a evitar el desgaste del cuerpo del triturador, son de fácil intercambio (Gruber Hermanos, 2012).

**Figura 12.**

*Trituradora o chancadora de martillos*



*Nota.* Fotografía de una trituradora o chancadora de martillos. Elaboración propia.

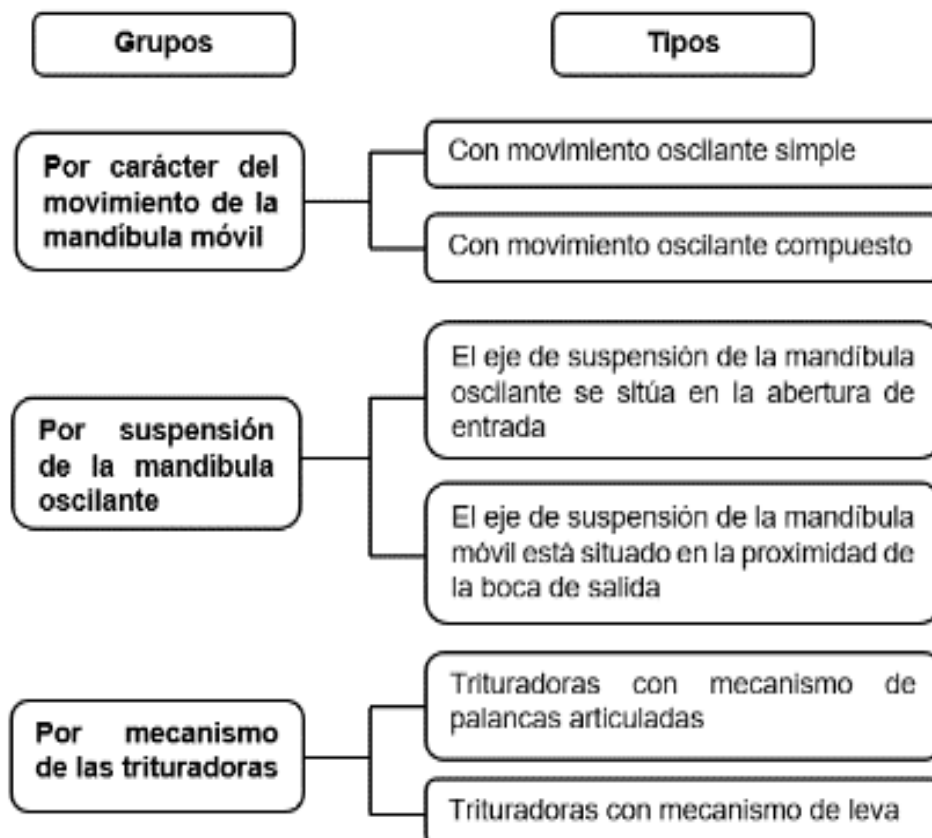
Los impactadores o trituradores de martillos pueden ser utilizados para la trituración selectiva, el cual consiste en un método de liberación de minerales duros del material de desechos. Dentro de estos equipos se encuentran dos tipos de trituradores las cuales pueden ser de eje horizontal y de eje vertical, la relación de reducción y producto en forma de cubo son parte de las características de estos equipos (Viilo, 2011).

### 1.3.2. Tipos de trituradoras

Existen diferentes tipos de trituradoras para diversos procesos según requiera la industria que adquiera estos equipos. Por lo general se mencionan a continuación algunas de las cuales son utilizadas en el sector de la construcción, sector minero y el sector de generación termoeléctrica. Entre las trituradoras que se pueden encontrar en el mercado son las trituradoras de mandíbulas, trituradoras de rodillos o cilindros, trituradora de martillos, molinos de muelas y de discos, molinos de rulos, molinos de bolas, entre otros.

**Figura 13.**

*Clasificación de las trituradoras de mandíbulas de acción periódica*

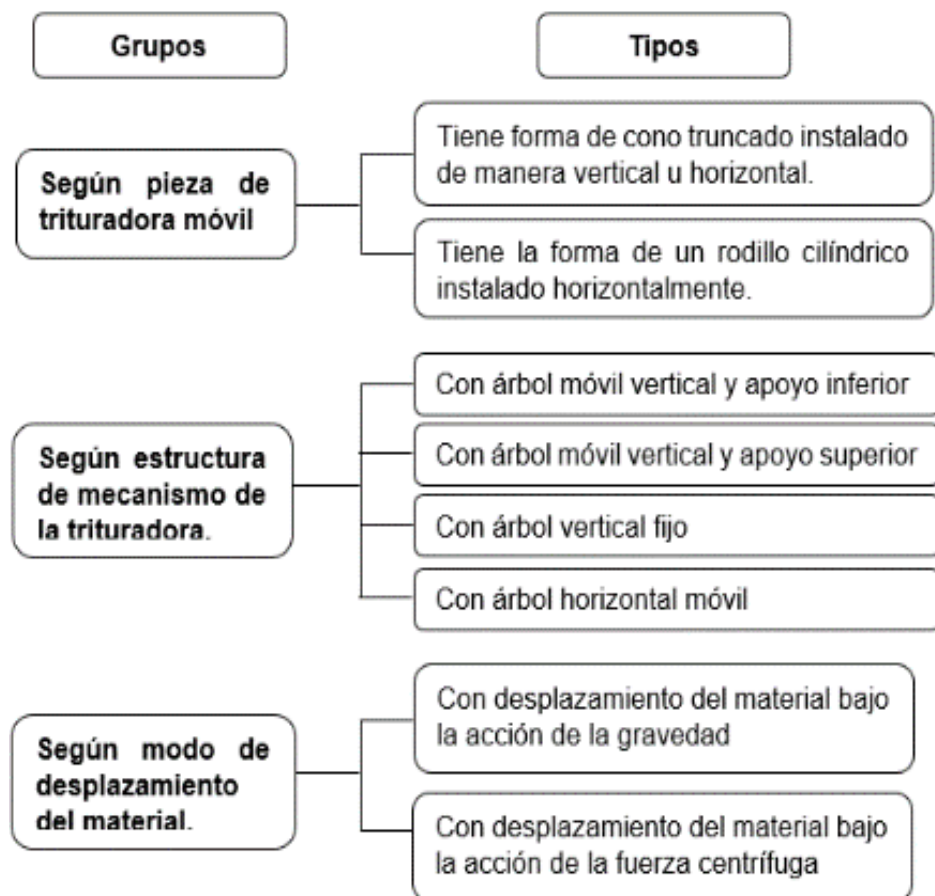


*Nota.* Clasificación de las trituradoras de mandíbulas de acción periódica. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Trituradora de mandíbulas de acción periódica: este tipo de trituradoras o chancadoras son las más antiguas y a lo largo del tiempo han sufrido una serie de modificaciones en su estructura. Esto da paso a tres grupos en los que se subdividen este tipo de trituradora, de los cuales se clasifican por el carácter del movimiento de la mandíbula, por la suspensión de la mandíbula oscilante y por el mecanismo de la trituradora. Esta maquinaria apareció en 1858 y fue una invención del estadounidense *Eli Whitney Blake* (Waganoff, 1956).

**Figura 14.**

*Clasificación de trituradora de mandíbulas de acción continua*

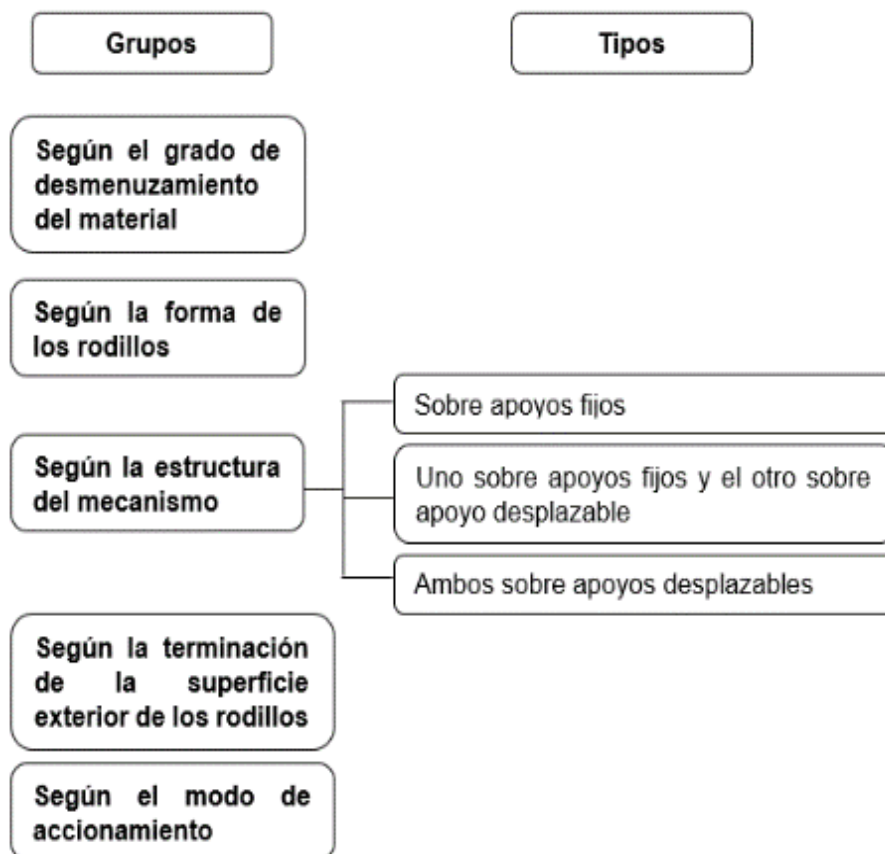


*Nota.* La figura detalla la clasificación de una trituradora de mandíbulas de acción continua. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Trituradora de mandíbulas de acción continua: este tipo de maquinaria también ha sufrido modificaciones en su estructura, abarca una parte del sector en las diferentes industrias que requieren el uso de maquinaria de este tipo. La trituradora de mandíbulas de acción continua aparece en el año de 1878. También puede clasificarse en grupos y subdividirse en diversos tipos que han surgido durante el tiempo (Waganoff, 1956).

**Figura 15.**

*Tipos de trituradoras de rodillos*



*Nota.* La figura presenta los grupos y tipos de trituradoras de rodillos. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.



Trituradora de rodillos o cilindros: este tipo de trituradora produce que mediante dos rodillos ubicados en forma horizontal y con sentido de giro contrario el material se fragmente lo cual da paso a obtener la medida deseada. Las trituradoras de rodillos o cilindros datan del año 1806 cuando aparecen por primera vez en Inglaterra fabricadas por Taylor quien utilizo estos equipos para triturar material de cobre. Estos equipos cuentan con diversos tipos y a su vez se subdividen.

Trituradora de martillos: esta maquinaria utiliza la fuerza del golpe para el proceso de triturado, son conocidos como equipos de acción de percusión la cual realiza la compresión del material más allá de sus propiedades elásticas. Este tipo de trituradoras son las que menos estudio han tenido desde la parte teórica, pero han tenido mucha utilización dentro de la industria. También se pueden clasificar en dos grupos (Waganoff, 1956).

- Según el número de árboles
- Según el modo de fijación de los cuerpos trituradores o martillos

Los molinos o trituradores de martillos en su eje o rotor cuentan con varios martillos pivotantes unidos a él. Las aberturas de descarga consisten por medio de una rejilla a través de la cual pasa el material contribuyendo al proceso de reducción. Este tipo de equipos sirven para moler y pulverizar materiales que no poseen demasiada dureza o abrasión. Puede adaptarse a diferentes aplicaciones mediante la optimización de la velocidad del rotor y el espaciado de la rejilla (Viilo, 2011).

Estos equipos se definen por la composición de dos a seis barras en el rotor las cuales son una protección por el material de alimentación hacia al equipo. Pueden producirse roturas debido al impacto brusco entre el elemento a

triturar y el elemento triturador, debido a que la energía cinética de un cuerpo en movimiento puede transformarse en energía de deformación debido al choque, afectando al material de trituración y al cuerpo de protección del equipo (Fueyo, 1999).

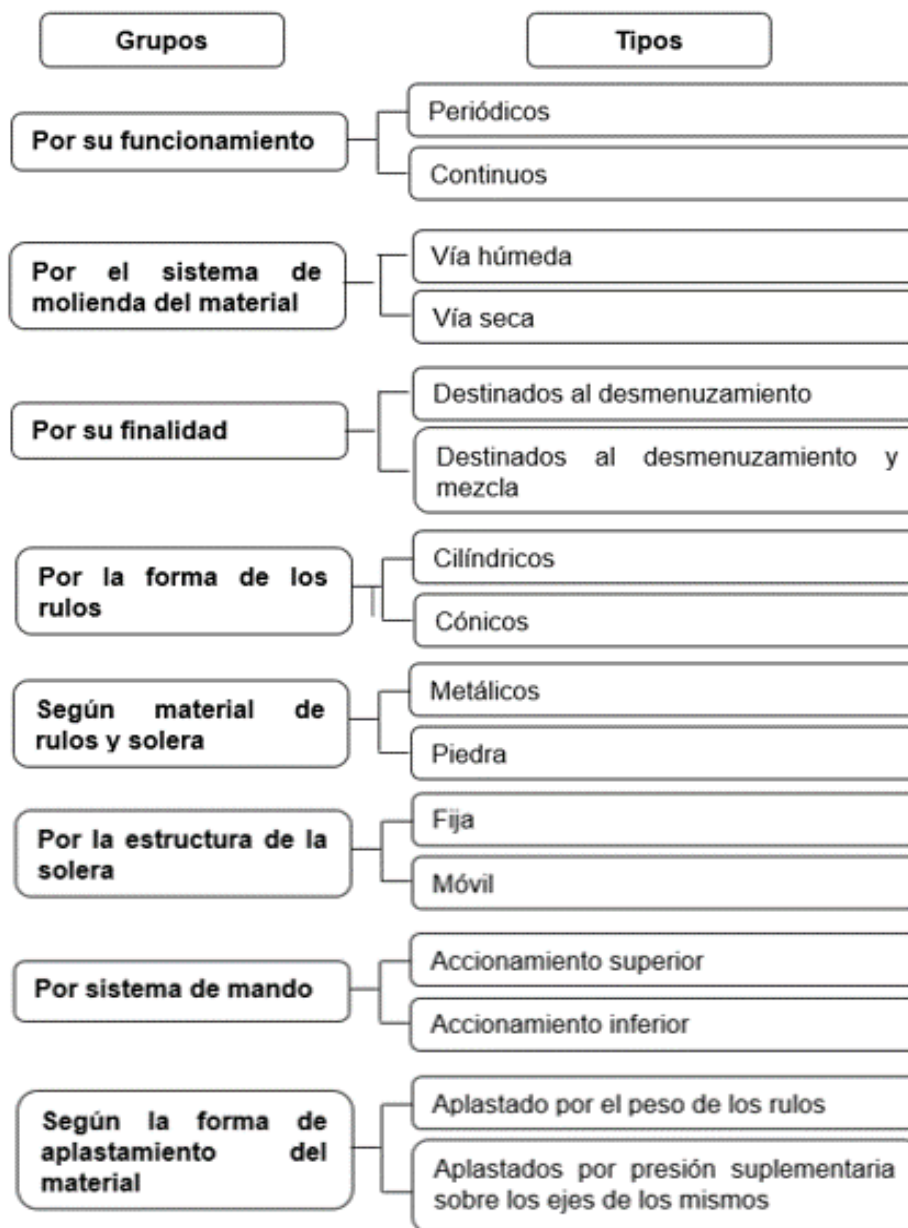
Molino de muelas y de discos: en este tipo de maquinaria se pueden encontrar de eje vertical u horizontal en cuanto a su rotación. Estos equipos también cuentan con superficies planas activas, con base en las muelas o discos y a su eje de rotación pueden clasificarse como horizontales y verticales y dividirse en cuanto a su posición.

- Molino de muela o disco superior móvil
- Molino de muela o disco inferior móvil
- Molino de muela o disco de ambas muelas móviles

Molino de rulos: este tipo de equipos también son conocidos como molino de muelas verticales debido a la posición de la instalación de los rulos o muelas que posee verticalmente en ella. Se caracterizan por contar con una gran variedad en los diferentes campos de aplicación, así como en cuanto a su estructura. Estos equipos se pueden clasificarse en diferentes maneras (Waganoff, 1956).

**Figura 16.**

*Tipos de molinos de rulos*

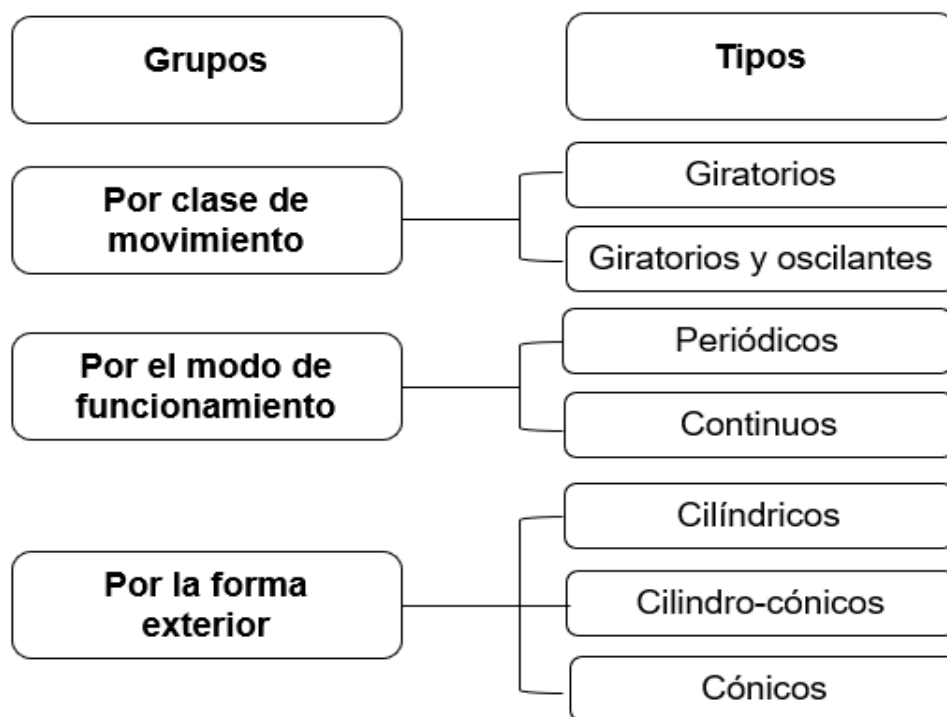


*Nota.* La figura presenta los grupos y tipos de molinos de rulos. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Molino de bolas con movimiento forzado: este tipo de equipo se caracteriza por la variedad que posee en su estructura, y la forma en que se ejecuta el proceso de molido. Este proceso se realiza por medio de bolas guiadas a través de palancas o paletas. Las cuales tienen diferencias con las de bola de tambor rotatorio. De acuerdo con la posición del anillo el molino puede definirse como horizontal o vertical. En algunas industrias se le denomina de diferentes maneras a estos equipos debido al nombre de su fabricante (Waganoff, 1956).

**Figura 17.**

*Tipos de molinos de bola con movimiento libre*



*Nota.* Tipos y grupos de molinos de bola con movimiento libre. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Molino de bolas con movimiento libre: este mecanismo realiza la molienda del material aportado, mediante un cilindro revestido con placas de

sacrificio internamente y de cuerpos metálicos. Este tipo de molienda puede ser de tipo seco o húmedo, se debe de tomar en cuenta el tipo de descarga, los cuerpos trituradores, ciclo de trabajo y accionamiento, al igual que el revestimiento del tambor.

Molino de barras: este tipo de equipo cilíndrico efectúa la fragmentación del material mediante barra en lugar de bolas, esta maquinaria no cuenta con rejillas en el interior, por lo regular los molinos de barras son alimentados con materiales no mayores al 20-25 mm, la cual alcanza en la fragmentación partículas de 10 a 0.85 mm.

Molino de rodillos: son denominados así debido al tipo de molienda que realizan mediante la presión de unos rodillos sobre un anillo o viceversa, por lo general existen diferentes tipos de equipos derivados del mismo como lo son los de tipo péndulo, anulares (Waganoff, 1956).

Molino de gas: las exigencias dentro de la industria de pintura en cuanto a producción y a la calidad del molido, ha generado un progreso gradual en los equipos de molienda, esto da paso a la creación de tecnologías a base de alta presión. Estos equipos son de aire comprimido o vapor para la fragmentación del material. El proceso que realiza este tipo de maquinaria mediante el alimentador es la introducción de la materia preparada a los caños transportadores, el material es impulsado mediante una presión de 8 atm equivalente a 118 psi hacia la cámara donde se desintegra por medio de la acción de choque o el rozamiento de las partículas entre sí. La clasificación del material desintegrado se produce mediante la separación de partículas gruesas o finas. Las partículas gruesas son retenidas por las paletas del separador las cuales pierden velocidad y por medio de la gravedad retornan a la cámara,

mientras que las finas o livianas son arrastradas por la corriente hacia el caño superior.

Molino de rotor: mediante la necesidad que surge en la transformación de la celulosa de madera en masa de papel o pulpa de papel para la industria papelera, se han fabricado molinos de rotor o también conocidos como coloidales, los cuales no solamente son utilizados en la industria papelera sino además en la industria alimenticia (pastas, jarabes, salsas, entre otros), industria farmacéutica (pomadas, cremas, entre otros), industria química (emulsiones de cera, de asfalto; pastas de colores, entre otros) (Waganoff, 1956).

#### **1.4. Cribado (tamizaje)**

El cribado o tamizaje es una clasificación o selección por granulometría del material. Es considerada una operación esencial para la concentración de materiales en un punto deseado. El tamizado se caracteriza por clasificar los materiales según sea el tamaño del tamiz o cedazo, es una operación utilizada en diversos procesos de las industrias. Mediante un mecanismo vibratorio este realiza su movimiento oscilante el cual ayuda a clasificar el material del tamaño adecuado acorde al proceso.

Este proceso se caracteriza porque con frecuencia se utilizan diferentes términos para hacer mención como cribado, tamizado, clasificación, separación, selección, entre otros, aunque no hay uniformidad en el uso de las expresiones, existe una variedad diversa de equipos destinados a la separación de los materiales la cual puede realizarse mediante distintos métodos los cuales pueden ser: mecánico, hidráulico, por corriente de aire, magnético.

Separación mecánica: esta se lleva a cabo mediante elementos como rejillas o cribas la cual es utilizada para la clasificación de materiales de gran volumen como a continuación se describe: grandes de (200 a 50 mm), medianos de (50 mm a 10 mm), y menudos de (10 mm a 1 mm y en casos especiales de 0.5 mm).

Separación hidráulica: este tipo de separación es comúnmente utilizada en la clasificación de granos menudos de menor tamaño como lo son de (2 mm y menores). Separación por corriente de aire: este tipo de clasificación es empleada mediante ventiladores y separadores de granos que cuentan con menor tamaño de 1.5 mm.

Separación magnética: este tipo de separación es utilizada para impedir que las partículas metálicas que pueda contener el material crudo, o en la separación de sustancias débilmente magnéticas de las que son sumamente fuertes (Waganoff, 1956).

**Tabla 8.**

*Clasificación de los aparatos de separación*

<b>Métodos de separación</b>	<b>Tipos de aparatos</b>
Mecánico	Cribas fijas planas
	Cribas planas móviles
	Oscilantes
	Vibratorias
	De Inercia
	De percusión
	Electromagnéticas
	Cribas de tambor fijas
	Cribas de tambor móviles
	Cilíndricas
	Cónicas
	Prismáticas
	Piramidales

Continuación de la tabla 8.

Hidráulico	Separadores
	Con movimiento de partículas bajo la acción de la gravedad.
	Con movimiento de partículas bajo la acción de una corriente ascendente.
Por aire	Con movimiento combinado de partículas.
	Separadores
	Con movimiento de partículas bajo la acción de la gravedad.
Electromagnético	Con movimiento de partículas bajo la acción de la fuerza centrífuga.
	Con movimiento combinado de partículas.
	Separadores
	Magnéticos
	Electromagnéticos
	De electrodos

*Nota.* Métodos de separación y tipos de aparatos. Obtenido de Waganoff, (1956). *Trituración – molienda y separación de minerales*. (<http://repoarchivos.segemar.gov.ar/Mounted/KOHA%20-%20SPACE%20DISCK2/KOHA%20-%20Biblioteca%20Digital%20SEGEMAR/Biblioteca%20SEGEMAR%20-%20Tesoro,%20Tratados%20de%20lenguas,%20Monografias%20en%20Idiomas%20extranjeros,%20y%20varios%20para%20ver%20clasificaci%C3%B3n/3624/3624.pdf>) consultado el 30 de octubre de 2021. De dominio público.

#### 1.4.1. Zarandas o cribas

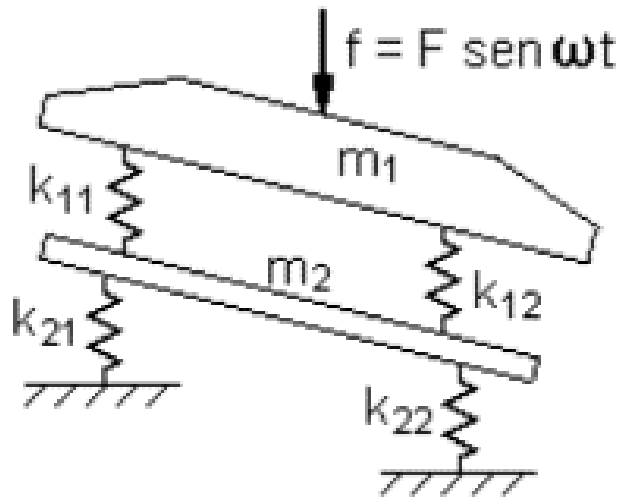
Las zarandas o cribas son máquinas que se utilizan normalmente en la clasificación de minerales. Estos equipos basan su calidad y eficiencia mediante parámetros que son de gran importancia, dentro de las cuales se encuentran la amplitud y la frecuencia de las vibraciones con las cuales son funcionales los equipos. Este tipo de maquinaria regularmente son producidas (Martínez-Batista y Hechavarría-Pérez, 2016). Las zarandas o cribas vibratorias son maquinaria que se utiliza para la clasificación de materiales de diversas granulometrías, este tipo de clasificadores por lo regular son utilizados en industrias mineras y en algunas otras industrias. En la industria de generación de energía eléctrica se utiliza para la clasificación de la antracita también conocida como carbón mineral. Las cribas que se utilizan en este tipo de



industria son de un tamiz y de dos tamices las cuales poseen medidas de 1 in<sup>2</sup> y 2 in<sup>2</sup>.

**Figura 18.**

*Esquema de Zaranda o criba*



Nota. Esquema de Zaranda o criba tienen su transmisión de movimiento mediante poleas, fajas y un motor. Obtenido de Martínez-Bautista y Hechavarría-Pérez, (2016). *Análisis vibratorio de una zaranda Modelo 740 para la clasificación de minerales*. (<https://www.redalyc.org/pdf/1815/181543577005.pdf>) consultado el 7 de noviembre de 2021. De dominio público.

Las zarandas son maquinaria que por medio de un excitador realiza la clasificación de materiales a través de unas mallas de diferentes tamaños según sea el proceso requerido. El material fluye a través de la malla la cual deja ingresar lo que si posea el tamaño adecuado para la operación. Cabe resaltar que las zarandas cuentan con aisladores para evitar que el movimiento afecte a la estructura de esta y solo afecte al material al fluir (Leon, 2019). Son maquinaria de clasificación, cuentan con ocho resortes como aisladores de movimiento, dos por lado los cuales ayudan a que el movimiento afecte al

material y lo ayude a fluir en una dirección. Pueden ser de diferentes niveles de tamiz, y utilizadas para diferentes procesos productivos. Las cribas vibratorias utilizadas para el proceso de selección o clasificación de la antracita son de tipo de peso desequilibrado de movimiento lineal.

Las de movimiento circular transmiten una fuerza al material y en su mayoría operan a una fuerza entre 2.5 y 5 G's (Aceleración de la gravedad). Al excederse estos valores podrían ocasionar daños irreversibles en las cribas. El rendimiento de las cribas se basa en tres parámetros fundamentales los cuales son el movimiento, la inclinación y el tipo de malla clasificadora. En la industria de generación de energía eléctrica el tipo de criba que es utilizado para la clasificación de la antracita posee contrapesos en cada extremo del eje y este desbalance produce la vibración al girar a velocidades de 1756 RPM mediante correas de transmisión.

#### **1.4.2. Tipos de zarandas o cribas**

Existen diversos tipos, pero se pueden resumir en cuatro tipos en específico, las cuales son de simple inclinación, de doble inclinación, de triple inclinación y las de inclinación múltiple o conocidas como *Banana Screen*. A nivel industrial son utilizadas las de simple inclinación las cuales son el 60 % del uso a nivel mundial (Leon, 2019). En general, según este autor existe una gran variedad de zarandas o cribas, pero son cuatro las que sobresalen en uso a nivel mundial, estas son utilizadas según sea el proceso requerido. Cada una posee características y elementos que las hacen únicas y diferentes, y a su vez necesarias para el proceso productivo requerido.

Simple inclinación: esta realiza un cribado o tamizado por estratificación, de manera circular la cual realiza movimientos de 15 grados, y cuando es de

manera lineal sus movimientos son de 0 a 5 grados. Una de las mejores opciones para la selección de materiales.

Doble inclinación: este tipo de zaranda es compacta, de una calidad muy alta, es de caída libre y baja clasificación de materiales en cuanto a tamizado.

Triple inclinación: es una criba de tipo combinado en cuanto a su clasificación y capacidad, es adecuada para el tamizado controlado para productos con altos estándares de exigencia.

Inclinación múltiple (*Banana Screen*): este tipo de zaranda realiza un zarandeo efectivo en camas delgadas, son regularmente utilizadas para la minería metálica e industria de carbón.

#### **1.4.2.1. Cribas planas**

De acuerdo con Waganoff, (1956) estas son constituidas por parrillas, chapa o placa perforada, o telas metálicas, colocadas de forma horizontal o en posición inclinada, estas pueden distinguirse debido a la variedad que posee cada una: zarandas fijas compuestas por parrillas de barras fijas, zarandas planas móviles constituidas por parrillas oscilantes, zarandas oscilantes o vibratorias.

Parrillas fijas: este tipo de parrillas son empleadas para la separación de materiales que exceden el volumen de la capacidad del triturador, estas parrillas son instaladas al ingreso de los transportadores para evitar materiales voluminosos. Estas están constituidas de un marco, barrotes unidos por tensores, separadores de madera y tensores.

Parrilla oscilante: los marcos de las parrillas oscilantes se encuentran suspendidos por hierros en una posición inclinada, y los otros extremos se encuentran sujetadas a la polea, se encuentran una montada sobre otra. La malla se encuentra suspendida en un ángulo de  $15^{\circ}$  a  $20^{\circ}$ .

#### **1.4.2.2. Cribas oscilantes**

Este mecanismo cuenta con un marco móvil, dentro del cual se encuentran fijadas las mallas de tejido metálico, placa perforada o una combinación de ambas, las cuales son puestas en movimiento por medio del eje y polea, que se encuentra apoyado en los rodamientos fijados al bastidor estático el cual se encuentra suspendido o fijado a soportes, lo cual impide posibles giros del marco móvil con respecto al fijo en caso de cargas desiguales u otras, son previstos amortiguadores de resorte (Waganoff, 1956).

#### **1.4.2.3. Cribas vibratorias**

Este tipo de cribas se subdividen por su mecanismo que origina la vibración, de inercia, de percusión y electromagnéticas. El movimiento de este tipo maquinaria es generado por la acción dinámica de un mecanismo o electroimán, el cual es perpendicular a la posición de la criba para que el material pueda desplazarse sobre el área de cribado, el tejido metálico o placa perforada deberá de estar instalada con respecto al horizonte (Waganoff, 1956).

**Figura 19.**

*Zaranda o criba vibratoria inclinada*



*Nota.* Imagen de una zaranda o criba vibratoria inclinada. Elaboración propia.

Cribas de inercia: este tipo de criba es sujeta mediante resortes en el marco inferior que se encuentra de manera estacionaria. Por medio de las paredes longitudinales del marco se sostienen los caños en los cuales es instalada el tejido metálico, esta tela metálica es tensada mediante unas planchuelas y tensores que permiten una tensión necesaria, consta de un mecanismo vibratorio instalado en la parte superior del marco, en el cual tiene instalado unos contrapesos que logran generar fuerza de inercia.

Cribas de percusión: este tipo de equipo de percusión se diferencia debido a la variedad de sus elementos de vibración, las cuales por lo general

son instaladas sobre traviesas las cuales son fijadas al bastidor, cabe resaltar la calidad del tamizado depende de los golpes bruscos y rápidos del mecanismo.

Cribas con mecanismo electromagnético: por lo regular este tipo de equipos son instalados de forma inclinada en conjunto con el equipo de alimentación. La base del trabajo de estos equipos se basa en la acción de un electroimán con una corriente alternada (Waganoff, 1956).

#### **1.4.2.4. Tipos de mallas**

De acuerdo con Waganoff, (1956) las mallas o tamices según su forma se presentan de dos formas, las cuales pueden ser placas o planchas perforadas o tejido metálico. Las placas perforadas son de acero y su espesor puede variar desde 0.5 mm hasta 12 mm, según la necesidad de la abertura pueden ser cuadradas, circulares, rectangulares, ovaladas, entre otras.

Placa perforada: este tipo de chapa son utilizadas para la clasificación de materiales medianos y pequeños, cabe resaltar que se obtiene un tamaño más uniforme cuando las aberturas son circulares, este tipo de perforación es más notable y sencilla.

**Figura 20.**

*Chapa o placa perforada*



*Nota.* Imagen o fotografía de una chapa o placa perforada. Elaboración propia.

Alambre metálico o tejidas: este tipo de mallas están fabricadas con alambre suave las cuales están tejidas. Estas pueden ser de bronce, latón, cobre o zinc cuando la malla metálica sea delgada, caso contrario cuando se necesite resistencia a la tracción por rotura y al corte deben de ser fabricadas con acero al manganeso. Este tipo de malla suele ser cuadrada o rectangular, y se caracterizan por que los alambres o varillas son ondulados y están enlazadas transversalmente de todos los lados para evitar que pueda abrirse al momento de la clasificación del material. El espesor del alambre para las mallas grandes varía entre 0.25 a 0.20 de diámetro y para las mallas finas de 0.75 a 1.0, para alcanzar una superficie útil del 60 % para las mallas cuadradas y un 70 % para las mallas rectangulares (Waganoff, 1956).

**Tabla 9.***Serie de tamices de Alemania (Normas DIN 1171)*

No. de tamiz.....	4	5	6	8	10	11
No. de mallas por cm <sup>2</sup> .....	16	25	36	64	100	121
Dimensión de las mallas en mm	1,50	1,20	1,02	0,75	0,60	0,54
Diámetro del alambre.....	1,00	0,80	0,65	0,50	0,40	0,37
No. de tamiz.....	12	14	16	20	24	30
No. de mallas por cm <sup>2</sup> .....	144	196	256	400	576	900
Dimensión de las mallas en mm	0,49	0,43	0,385	0,300	0,250	0,200
Diámetro del alambre.....	0,34	0,28	0,24	0,20	0,17	0,13
No. de tamiz.....	40	50	60	70	80	100
No. de mallas por cm <sup>2</sup> .....	1600	2500	3600	4900	6400	10000
Dimensión de las mallas en mm	0,150	0,120	0,102	0,088	0,075	0,060
Diámetro del alambre.....	0,100	0,080	0,065	0,055	0,050	0,040

*Nota.* La tabla presenta una serie de tamices de Alemania de acuerdo con (Normas DIN 1171). Obtenido de Waganoff, (1956). *Trituración – molienda y separación de minerales.* (<http://repoarchivos.segemar.gov.ar/Mounted/KOHA%20-%20SPACE%20DISCK2/KOHA%20-%20Biblioteca%20Digital%20SEGEMAR/Biblioteca%20SEGEMAR%20-%20Tesoro,%20Tratados%20de%20lenguas,%20Monografias%20en%20idiomas%20extranjeros,%20y%20varios%20para%20ver%20clasificaci%C3%B3n/3624/3624.pdf>) consultado el 10 de febrero de 2022. De dominio público.

**Tabla 10.***Serie de tamices de EE. UU.*

N°. de tamiz ("mesh")	2,5	3	3,5	4	5	6	7
Dimensión de las mallas en mm.....	8,00	6,72	5,66	4,76	4,00	3,36	2,83
Diámetro del alambre en mm.....	1,85	1,65	1,45	1,27	1,12	1,02	0,92
N°. de tamiz ("mesh")	8	10	12	14	16	18	-----
Dimensión de las mallas en mm.....	2,38	2,00	1,68	1,41	1,19	1,00	-----
Diámetro del alambre en mm.....	0,84	0,76	0,69	0,61	0,54	0,48	-----
N°. de tamiz ("mesh")	20	25	30	35	40	45	-----
Dimensión de las mallas en mm.....	25	0,71	0,59	0,50	0,42	0,35	-----
Diámetro del alambre en mm.....	0,71	0,37	0,33	0,29	0,25	0,22	-----
N°. de tamiz ("mesh")	50	60	70	80	100	120	-----



Continuación de la tabla 10.

Dimensión de las mallas en mm.....	0,297	0,250	0,210	0,177	0,149	0,125	-----
Diámetro del alambre en mm.....	0,188	0,162	0,140	0,119	0,102	0,086	-----
N°. de tamiz ("mesh")	140	170	200	230	270	325	-----
Dimensión de las mallas en mm.....	0,105	0,088	0,074	0,062	0,053	0,044	-----
Diámetro del alambre en mm.....	0,074	0,063	0,053	0,046	0,041	0,036	-----

*Nota.* En la tabla se detalla la serie de tamices de EE. UU. Obtenido de Waganoff, (1956). *Trituración – molienda y separación de minerales.* (<http://repoarchivos.segemar.gob.ar/Mounted/KOHA%20-%20SPACE%20DISCK2/KOHA%20-%20Biblioteca%20Digital%20SEGEMAR/Biblioteca%20SEGEMAR%20-%20Tesoro,%20Tratados%20de%20lenguas,%20Monografias%20en%20idiomas%20extranjeros,%20y%20varios%20para%20ver%20clasificaci%C3%B3n/3624/3624.pdf>) consultado el 10 de febrero de 2022. De dominio público.

Métodos de tamizado: el proceso de tamizado se divide en dos tipos de métodos (decrecientes y crecientes), durante estos procesos a través de una criba o zaranda se obtienen dos clases de productos (superior e inferior).

Método decreciente: Este tipo de método se utiliza para obtener material de clase superior el cual pasa a través de las aberturas del tamiz o mesh que disminuyen gradualmente, el resto del material constituye parte del producto sin clasificar que pasa a los mesh siguientes.

Método creciente: Este método de tamizado ordena los mesh de menor a mayor y es utilizado en casos donde no es requerida la exigencia de la separación exacta del material (Waganoff, 1956).

### 1.4.3. Vibraciones mecánicas

De acuerdo con Rao, (2012) los movimientos repetitivos después de un lapso se le conoce como vibración u oscilación. El estudio de movimientos oscilatorios de los cuerpos y las fuerzas que son asociadas a estos parten de la teoría de la vibración.

Si un sistema es amortiguado la energía es disipada en cada ciclo de vibración, esto debido a la transformación de la energía potencial en energía cinética y viceversa, la cual debe de remplazarse por una fuente externa para mantenerse en un estado estable.

**Figura 21.**

*Carbón mineral*



Nota. Carbón mineral de alta granulometría. Elaboración propia.

### 1.5. Antracita

En el sistema de clasificación *ASTM*<sup>2</sup> se muestra la clasificación del carbón mineral según el rango de dureza basándose en las propiedades físicas y químicas. El carbón es un mineral formado por medio de varias transformaciones que se dieron en largos periodos de tiempo del material vegetal por encontrarse en ambientes privados de oxígeno. Lo cual generó diferentes tipos de materiales los cuales presentan deferentes características y propiedades.

Antracita: es un tipo de mineral conocido como carbón duro, el cual posee de 80-98% de carbón y un contenido de 2-14 % de partículas volátiles. El contenido de humedad debe ser menor al 15 %, posee un poder calorífico de 22-28 millones de Btu<sup>3</sup> por tonelada (Incyt URL, 2018).

#### **Figura 22.**

*Antracita*



*Nota.* La imagen presenta la apariencia de la antracita triturada. Elaboración propia.

Hulla bituminosa: este tipo de carbón se puede diferenciar por poseer un color café oscuro o bien sea negro. Es un carbón denso con un contenido de 69-86% de carbón y un 22-31 % de material particulado, de 22-30 millones de BTU por tonelada de poder calorífico.

Hulla sub-bituminosa: este material posee una consistencia suave lo cual provoca que se desmorone de manera fácil. Tiene un contenido de menos de 69% de carbón, la cantidad de partículas volátiles es de 31 % y un poder calorífico de 17-24 millones de BTU por tonelada.

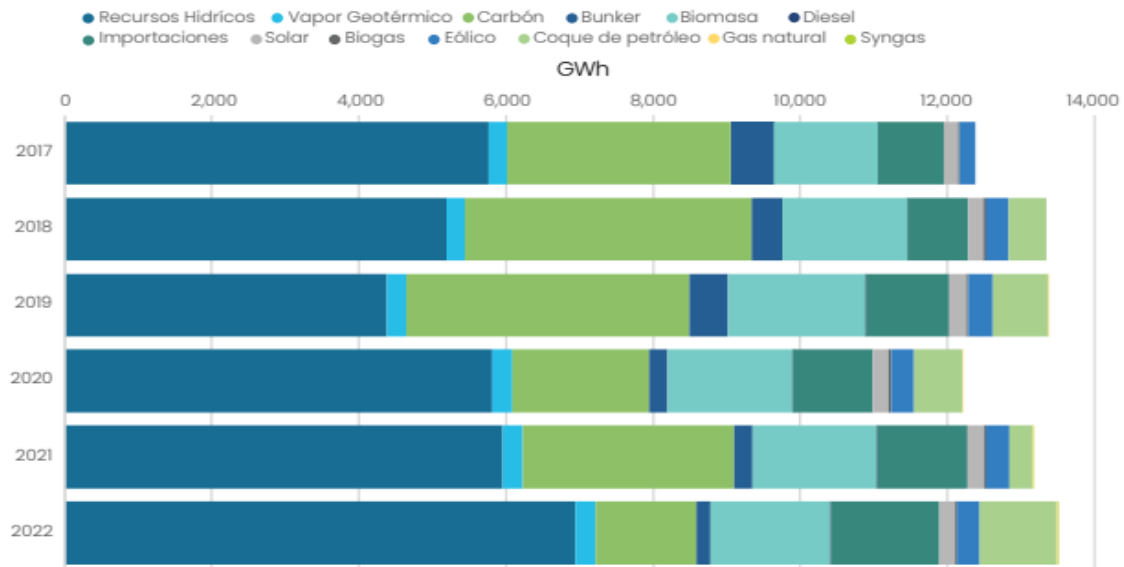
Lignito: por lo regular este tipo de material posee un color café pardo, por lo que también es llamado carbón café con un contenido menor a 69 % de carbón, con un porcentaje humedad y partículas volátiles elevado mayor del 45 %. De todos los tipos de carbón es el de rango más bajo, Posee un poder calorífico de 9-17 millones BTU por tonelada (Incyt URL, 2018).

## **1.6. Generación de energía eléctrica**

La generación de energía eléctrica ha ido en aumento con respecto al tiempo lo cual depende también del tipo de combustible utilizado, durante el año 2016 la generación de energía eléctrica alcanzo los 11,000 GWh. En este periodo las hidroeléctricas fueron los principales generadores de energía, en este mismo periodo tuvo un aumento la generación de energía a base de carbón mineral por la incorporación de la generadora *Jaguar energy*. También se ha tenido un incremento en los últimos años de la importación de energía eléctrica mexicana (Incyt URL, 2018).

**Figura 23.**

*Generación anual energía eléctrica periodo 2022*

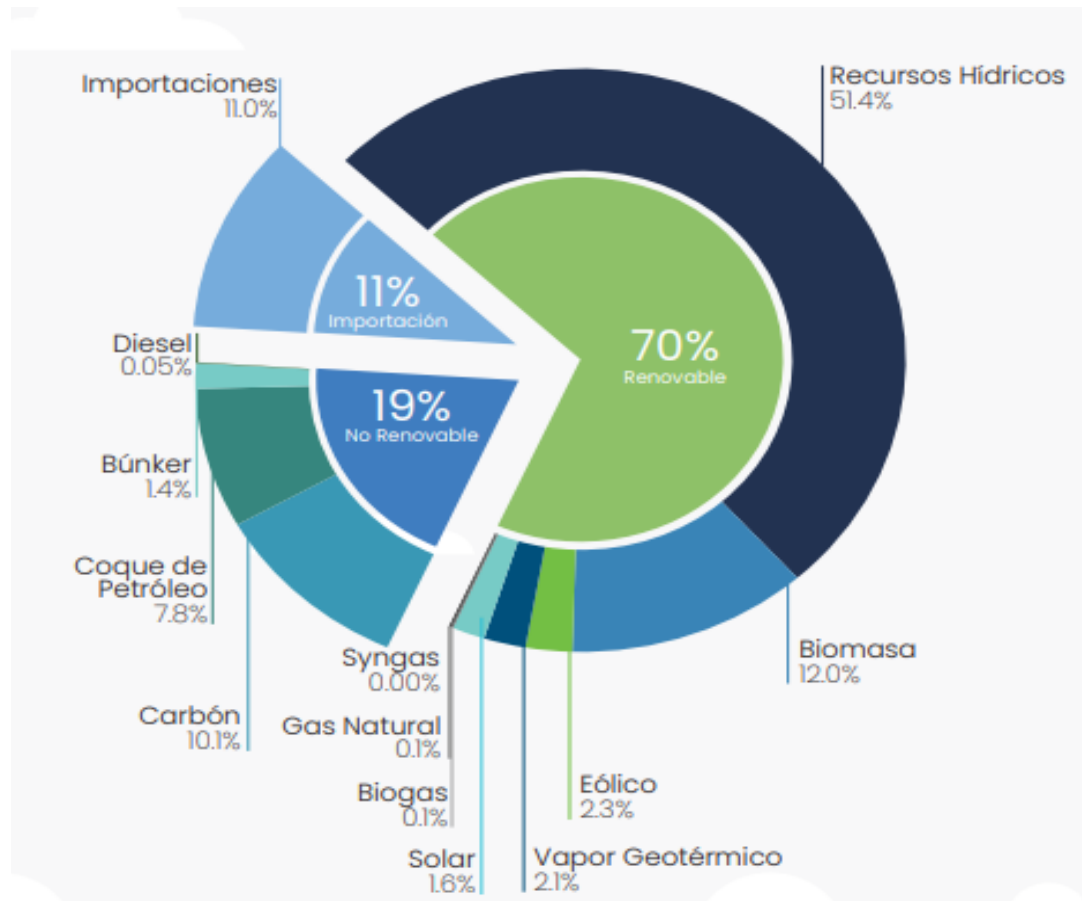


*Nota.* Gráfica que muestra la generación anual de energía eléctrica en el periodo 2022. Obtenido de Administrador del mercado de mayoristas, (2022). *Informe estadístico 2022.* ([https://www.amm.org.gt/pdfs2/informes/2022/INFEST20220101\\_01\(FINAL PDF\)](https://www.amm.org.gt/pdfs2/informes/2022/INFEST20220101_01(FINAL PDF))) consultado el 26 de mayo de 2023. De dominio público.

Durante el periodo 2016 se muestra los siguientes porcentajes que tuvieron los distintos tipos de generación de energía eléctrica en el país. Durante este año la generación de energía eléctrica que más porcentaje tuvo fue la hidroelectricidad la cual tuvo un aporte del 34.5 % del total. Posicionándose como segunda se encontró la cogeneración con una representación del 24 %. Otra de las que tuvo gran aportación al sistema nacional interconectado fueron las centrales térmicas a base de carbón las cuales contribuyeron con el 21 %. Seguidamente las generadoras a base de bunker con un 8 %, la geotermia mantuvo un 2.5 %, los parques fotovoltaicos se encuentran en el 2 % al igual que las centrales eólicas. El biogás contribuyó con un 0.08 % de total, a pesar de que ha tenido un incremento durante los últimos años (Incyt URL, 2018).

**Figura 24.**

*Generación de electricidad anual por tipo de combustible (AMM 2022)*



*Nota.* Generación electricidad anual por tipo de combustible (AMM 2022). Obtenido de Administrador del mercado de mayoristas, (2022). *Informe estadístico 2022.* ([https://www.amm.org.gt/pdfs2/informes/2022/INFEST20220101\\_01\(FINAL\\_PDF\)](https://www.amm.org.gt/pdfs2/informes/2022/INFEST20220101_01(FINAL_PDF))) consultado el 26 de mayo de 2023. De dominio público.

Para la generación de energía eléctrica en el país, son destinados el 27 % de recursos energéticos disponibles. Durante el año 2012 se reportó una demanda de 1 500 MW de potencia eléctrica. Para la generación de energía eléctrica normalmente se utilizan varios tipos de tecnología, pero de todos los que más son utilizados se encuentran: turbinas hidráulicas fabricadas para generar energía eléctrica en hidroeléctricas, también se encuentran turbinas a

base de vapor y los motores de combustión interna. Las geotérmicas contribuyen con un 3 % aproximadamente del total de la generación de energía eléctrica. Cabe resaltar que con el paso de los años otras industrias se han sumado a utilizar tecnologías de generación de energía renovable, lo cual disminuye la contaminación al medio ambiente. Este tipo de tecnologías son de bajo porcentaje en su contribución al sector eléctrico debido a que depende de las condiciones ambientales (viento, intensidad del sol) entre otras.

En la actualidad las hidroeléctricas son las que mayor aporte tienen dentro de las centrales de generación eléctrica pública, la producción de energía eléctrica por medio de estas centrales se encuentra sujeta por el cambio de estaciones a variaciones en cuanto a su producción. La generación por medio de combustibles fósiles que son por de parte las centrales de generación (termoeléctricas) de parte del sector privado, generan más de dos tercios de energía eléctrica local. Durante los meses de noviembre y abril se cuenta con la colaboración del sector azucarero que genera energía eléctrica por medio del bagazo de la caña (biomasa), y que es enviada al Sistema Nacional Interconectado (SIN) (Incyt-URL, 2015).

#### **1.6.1. Fuentes energéticas**

La clasificación de generación de energía eléctrica se basa en el tipo de recurso o fuente que se utilice. Existen dos tipos de clasificación para la generación de energía los cuales son: recursos energéticos no renovables y recursos energéticos renovables.

#### **1.6.1.1. Recursos energéticos no renovables**

Dentro de los recursos energéticos no renovables o fósiles se pueden mencionar el petróleo, el carbón mineral y el gas natural. Este tipo de recursos son el resultado de la descomposición de la materia orgánica de procesos geológicos. Este tipo de materia se puede encontrar en el subsuelo terrestre.

Petróleo: en la sociedad actual este recurso energético es de gran importancia ya que a partir de este pueden producirse una cantidad de materias primas para diferentes procesos. La formación del petróleo ocurrió durante varios periodos geológicos de la tierra durante la descomposición de la materia orgánica. Se puede encontrar en estado líquido, sólido o gaseoso en lugares profundos de la tierra.

Gas natural: este recurso energético no renovable se encuentra presente en las profundidades del suelo o depósitos de petróleo. El gas natural es una mezcla de hidrocarburos en estado gaseoso. Sus parámetros de descomposición oscilan entre 70-98 % de metano, 1-10 % de etano, se pueden encontrar cantidades mínimas de propano, butano, pentano, hidrocarburos cíclicos y aromáticos (Incyt URL, 2018).

Carbón mineral: este tipo de recurso se da durante la formación de procesos de compactado, presión y temperaturas elevadas en el proceso de descomposición de la materia vegetal. Este proceso es el que hace posible la formación de una roca geológica. Posee una composición química de átomos de carbón, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y azufre, posee compuestos como el mercurio, uranio, arsénico, torio, isótopos radioactivos en cantidades menores, que son dañinas al medio ambiente. Este tipo de recurso que es utilizado en la generación de energía eléctrica por las generadoras es importado de Colombia.



Este es un mineral que ha sufrido transformaciones a lo largo del tiempo, este tipo de transformaciones de carácter físico, químico y biológico ocurrieron por la falta de oxígeno en los lugares donde se encontraba el material vegetal. Durante esos largos periodos de tiempo el material vegetal sufrió transformaciones primeramente en turba, seguidamente en lignito, luego en carbón sub-bituminoso y carbón bituminoso, para posteriormente por medio de procesos metamórficos transformase en antracita.

#### **1.6.1.2. Recursos energéticos renovables**

Este tipo de recursos son los que se pueden obtener de las fuentes naturales e inagotables por su cuantiosa abundancia y por la capacidad de regeneración en la naturaleza en un periodo corto de tiempo. Este tipo de energía producida no genera gases de efecto invernadero, ni emisiones que contaminen.

Biomasa: son todos aquellos recursos que son producidos mediante una fotosíntesis (producto de la energía solar) las cuales sufren una transformación orgánica por medio de sus moléculas de dióxido de carbono.

Etanol: este tipo de biocombustible es obtenido a partir de la fermentación de los azúcares provenientes de los vegetales. Por lo general la sacarosa que se fermenta también es llamada hexosa por contar con seis carbonos. Estos azúcares también pueden ser encontrados en la remolacha y el maíz. El etanol puede darse también mediante la fermentación de almidones conocidos como polisacáridos que son cadenas más complejas de los azúcares que pueden ser encontrados en el trigo, papa y yuca.

Biodiésel: es un biocombustible con un alto contenido de esteres alquílicos de ácidos grasos obtenidos de grasas animales o aceites vegetales. En su mayoría los aceites vegetales tienen una composición del 90-98 % de triglicéridos y algunas cantidades mínimas de mono y diglicéridos, fosfolípidos, esteroides, ácidos grasos libres y algunas otras impurezas. Por medio de una transformación llamada transesterificación los triglicéridos se convierten en biodiésel (Incyt URL, 2018).

### **1.6.2. Tipos de generación de energía eléctrica**

En Guatemala existen varias centrales de generación de energía eléctrica, ya sean estas para consumo propio, venta privada o para el abastecimiento de consumo nacional, todas conectadas al sistema nacional interconectado. A continuación, se mencionan algunos tipos de generadoras.

#### **1.6.2.1. Plantas térmicas**

Por lo regular este tipo de generadoras cuenta con cuatro componentes importantes los cuales son: Caldera, Turbina de Vapor, Generador de electricidad, Condensador. En general hay tres modelos existentes de tecnologías de calderas las cuales son: las de parrilla, carbón pulverizado, y de lecho fluidizado.

Parrilla: estas son tecnologías bastante sencillas ya que por medio de una banda transportadora dirige el carbón hacia la parrilla donde realizará su combustión tanto el carbón como las partículas volátiles, estas se quemarán en la parte superior de la caldera. Mediante un sistema de tuberías se realizará la transmisión de calor, para luego conducir el vapor hacia la turbina (Incyt URL, 2018). Es un sistema bastante sencillo pero que a su vez cuenta con más

componentes para realizar el proceso de transformación, en la parte de mi experiencia el proceso de generación inicia desde el transporte del material en este caso antracita (carbón mineral), hacia las tolvas de descarga, por medio de las cuales se dirige el carbón mineral hacia un sistema de transportadores, la cual pasa por torre de cribado y triturado, hasta llenar un silo con la medida ideal para el proceso, luego por un sistema de pesado, y luego por medio de los alimentadores introducido a hogar de la caldera, para iniciar el proceso de combustión en la parrilla viajera.

Carbón pulverizado: Para este tipo de calderas el carbón debe poseer dimensiones menores a 100 micras para poder alimentar a la caldera por medio de un flujo controlado de aire, el carbón pulverizado y las partículas volátiles realizan su combustión en el mismo lugar.

Lecho fluidizado: de la misma manera que las de carbón pulverizado estas también son controladas por medio de un flujo controlado de aire, lo que las hace que su comportamiento sea como fluidos. El tipo de combustión es mejor en cuanto a los otros tipos mencionados, necesitan de una menor temperatura y al aumentar la presión se pueden utilizar los gases en una turbina de gas mediante un proceso llamado lecho fluidizado presurizado.

La generación de energía eléctrica utilizada en Guatemala se produce mediante el uso de tecnología para la combustión por medio de calderas acuotubulares y en su utilización para la generación de energía eléctrica es utilizado como combustible la hulla bituminosa que es traída de Colombia. Que, aunque tenga menor contenido de carbón que la antracita y en poder calorífico sea más bajo, la eficiencia es de 35 % para la combustión, otro de los factores que influyen en la adquisición de este tipo de combustible fósil es el precio es más barato que la antracita (Incyt URL, 2018).

#### **1.6.2.2. Motores reciprocantes de combustión interna**

El tipo de combustible que utilizan este tipo de generadores o motores reciprocantes para la generación de energía eléctrica es el búnker C también llamado *fuel oil* no. 6. Las características que posee es que es un hidrocarburo líquido muy pesado y viscosos con 30 átomos de carbono por molécula. Por su alta viscosidad requiere un precalentamiento de 104-127 °C para su uso. Se estima que su aportación durante el año 2016 fue de 650 GWh (Incyt URL, 2018).

#### **1.6.2.3. Turbinas de gas**

Se tiene un reporte de industrias que utilizan este tipo de tecnología para la generación en Guatemala. Las turbinas de gas realizan su función mediante el combustible que es gas natural, pero en Guatemala utilizan el diésel como combustible. Este tipo de turbinas permiten que el gas natural o diésel ingresen a presiones elevadas y realicen su combustión en la cámara de la turbina, lo cual da paso a que mediante la combustión se genere el movimiento de los alabes, que se encuentran conectados a un generador, se caracterizan por existir dos tipos de turbina las cuales son las aeroderivadas y las industriales *havy-duty* (Incyt URL, 2018).

#### **1.6.2.4. Cogeneración**

Es un proceso de generación de energía térmica y eléctrica mediante recursos de biomasa, generalmente son utilizados algunos remanentes como fuentes para la combustión para la generación. Los ingenios en Guatemala utilizan bagazo de caña para la cogeneración de electricidad, esto depende de la época que algunos tienden alternar con otros tipos de combustible entre los

que podemos mencionar se encuentran el bunker, carbón, chip de madera (Incyt URL, 2018).

### **1.6.3. Funcionamiento de la generadora**

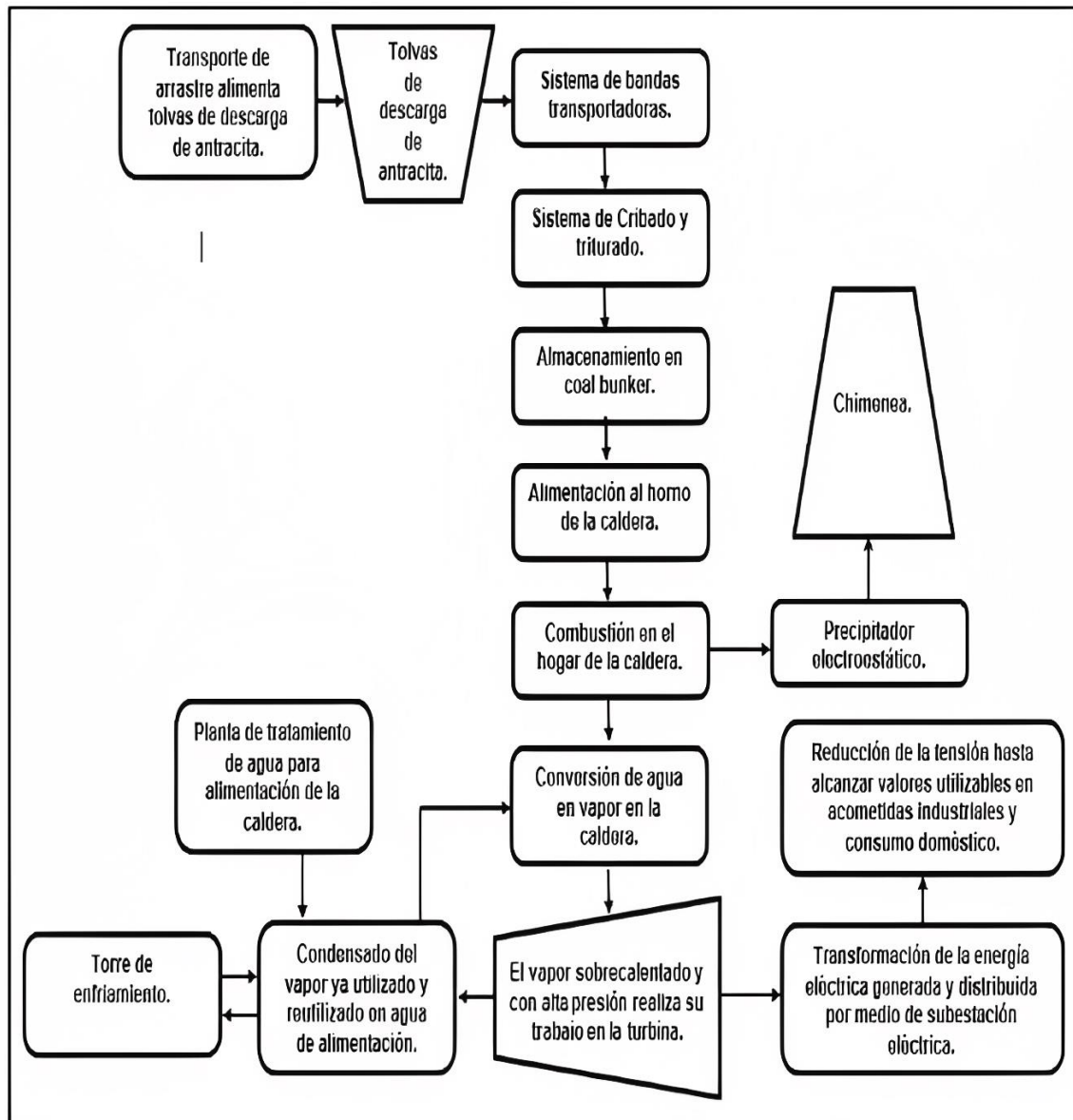
La generadora eléctrica se encuentra equipada con una caldera de tecnología de combustión de parrilla móvil, la cual posee una capacidad de producción de vapor de 220 toneladas de vapor / hora. Utiliza como combustible antracita (carbón mineral) para la producción de vapor de alta presión de 110 Kg/cm<sup>2</sup> y a temperaturas de 540 °C ± 5 °C durante la operación. El vapor ingresa hasta los alabes de la turbina, haciéndola girar y a su vez el generador que se encuentra acoplado al rotor de la turbina. Posee una capacidad de generación de 60.95 MW y por medio de un turbogenerador convierte la energía mecánica del vapor a energía electromecánica, seguidamente pasa al transformador que la convierte en energía eléctrica.

#### **1.6.3.1. Descripción de la generadora**

La generadora consta de elementos comunes para su operación en la producción de generación de energía eléctrica de los cuales se presentan a continuación:

**Figura 25.**

*Diagrama de flujo termo-generadora de energía eléctrica*



*Nota.* En el diagrama se presenta el flujo termo-generador de energía eléctrica. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

- Bandas transportadoras
- Sistema de cribado (clasificación de carbón)

- Triturador de carbón
- Tolvas
- Caldera
- Calentador del aire
- Precipitador Electroestático (ESP)
- Chimenea Turbina
- Generador
- Condensador
- Torre de refrigeración (enfriamiento)
- Sistema de enfriamiento
- Planta de tratamiento de agua
- Subestación eléctrica
- Líneas de transporte eléctrica

#### **1.6.3.2. Tecnología para la planta generadora**

La generadora de energía eléctrica utiliza tecnología de arranque con leña y al llegar a los 750 - 800 °C se alimenta de antracita triturada, en la cual por medio de un sistema de clasificación de antracita en los equipos de cribas es separado el carbón de  $\leq 25$  mm y el carbón  $\geq 100$  mm. El de menor tamaño pasa directamente por medio de una malla metálica de 1 in<sup>2</sup> en cada agujero y el de mayor granulometría es trasladado al triturador. Posteriormente el material triturado es impulsado a través de bandas transportadoras que distribuyen el material a silos que se encuentran en la caldera. Los silos realizan su descarga por gravedad y mediante una secuencia de alimentadores mecánicos llamados distribuidores de carbón de tiro forzado ingresan el material al hogar de la caldera.

A continuación, se describen las tecnologías que se clasifican como críticas para la producción de energía eléctrica a partir de antracita.

- Caldera de parrilla móvil
- Turbina
- Sistema de cribado y triturado de carbón
- Generador de energía eléctrica
- Intercambiadores de calor
- Equipos eléctricos
- Sistema de refrigeración

La caldera de parrilla móvil es apta para trabajar con Bagazo y carbón al 100 %. La capacidad neta de vaporización para la quema del bagazo y carbón es de 220,000 Kg/h. La presión de salida de vapor en la válvula de cierre principal de la caldera es de 109 Kg/cm<sup>2</sup>. Cuenta con una capacidad pico de 242,000 Kg/hr en la quema de bagazo. La carga mínima de funcionamiento estable es de 66,000 Kg/hr. La temperatura de vapor en la salida del supercalentador debe de ser 540 ± 5 °C. El rango de control de temperatura de vapor debe de ser de 70 – 100 % durante la quema de bagazo y de 80 – 100 % durante la quema de carbón. La presión de diseño de la caldera debe de ser de 128,50 Kg/cm<sup>2</sup>. La temperatura de agua de alimentación en la entrada del economizador en funcionamiento debe de ser de 204 °C. La presión de trabajo del desaireador debe de ser de 1,75 Kg/cm<sup>2</sup>. La temperatura del desaireador debe de ser de 160 °C. El oxígeno disuelto en el agua de alimentación debe de ser de 0,005 ppm máximo.

La temperatura de refrigeración del agua deberá encontrarse en un rango de 32 – 42 °C, manteniendo una presión de 3 – 4 bar. La cantidad de agua deberá de ser 60,50 m<sup>3</sup>/h y la calidad de agua clarificada.



## **2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación se realizó en cuatro fases. La primera fase fue la revisión documental, para conocer los parámetros externos que afectan directamente la vida útil de los equipos evaluados. Durante la segunda fase se realizó la visita de reconocimiento donde se localizan los equipos de triturado y cribado para el estudio. La tercera fase consistió en realizar la medición de los parámetros de vibración, temperatura, inclinación, desgaste, disponibilidad de los equipos. Los resultados obtenidos de la tercera fase servirán como respaldo en la cuarta fase la cual muestra las condiciones actuales de trabajo del equipo de triturado y cribado mediante esta investigación se analizaron los datos determinando rutinas de mantenimiento como parte del plan.

### **2.1. Revisión documental**

Durante la revisión documental, se obtuvo la información necesaria para poder realizar el análisis de los datos recopilados para equipo de triturado y cribado de antracita en una central de generación de energía eléctrica.

### **2.2. Visita de reconocimiento**

Durante el mes de septiembre de 2021, se realizó una visita de reconocimiento en una generadora de energía eléctrica a base de carbón mineral ubicada en el departamento de Escuintla donde se realizó la investigación. En dicha visita se recopiló información sobre las condiciones de los equipos, partes fundamentales para inspección de las cribas y triturador, elementos del sistema mecánico, equipos del sistema eléctrico y dispositivos

del sistema de lubricación. Después de la visita, se dispuso el orden del control posterior, la disposición de la secuencia del mantenimiento de estos equipos y periodos de lubricación.

Al momento que se realizó la visita de reconocimiento se contaba con un clima templado, no había presencia de precipitación. El recorrido se realizó a las 12:00 p.m., y la temperatura se encontraba entre 22 °C y 24 °C. La visita inicial se realizó en la torre de transferencia II donde se encuentran instalados los equipos de cribado y triturado, dicha visita se empezó con la criba número 1, posteriormente con el triturador y se finalizó en la criba número 2, este recorrido tuvo una duración aproximada de cuatro horas con el acompañamiento del técnico del área Estuardo Pérez colaborador de la empresa en dónde se realizó el estudio.

### **Figura 26.**

*Visita de reconocimiento criba 1*



*Nota.* Constancia de la visita de reconocimiento criba 1. Elaboración propia.

Se realizó la visita e inspección de la criba 1 marca SAYAJI la cual cuenta con dos tipos de clasificador, como parte primaria tres placas perforadas de 2" X 2", cada agujero para la selección de la antracita de esa granulometría, como parte secundaria consta de tres tejidos metálicos de varilla de ¼" con abertura de 1" X 1", motor marca ABB de 1756 RPM.

**Figura 27.**

*Visita de reconocimiento al triturador*



*Nota.* Foto de cuando se hizo la visita de reconocimiento al triturador. Elaboración propia.

Se realizó la visita e inspección del triturador de martillos marca SAYAJI la cual cuenta con ocho secciones de martillos, cada fila consta de 3 martillos colocados de manera lineal, sujetos con tornillería acorde a la necesidad de

los martillos para evitar el desgaste durante el proceso de triturado, estos son un total de 24 martillos y 48 tornillos de cabeza cuadrada con tuerca y contratuerca, la calibración del triturador (martillos) con las placas de sacrificio debe de ser de 25.4 mm<sup>2</sup> , cuenta con un motor marca ABB de 1770 RPM, su transmisión es por fajas y poleas.

**Figura 28.**

*Visita de reconocimiento a criba 2*



*Nota.* Imagen de cuando se realizó la visita de reconocimiento criba 2. Elaboración propia.

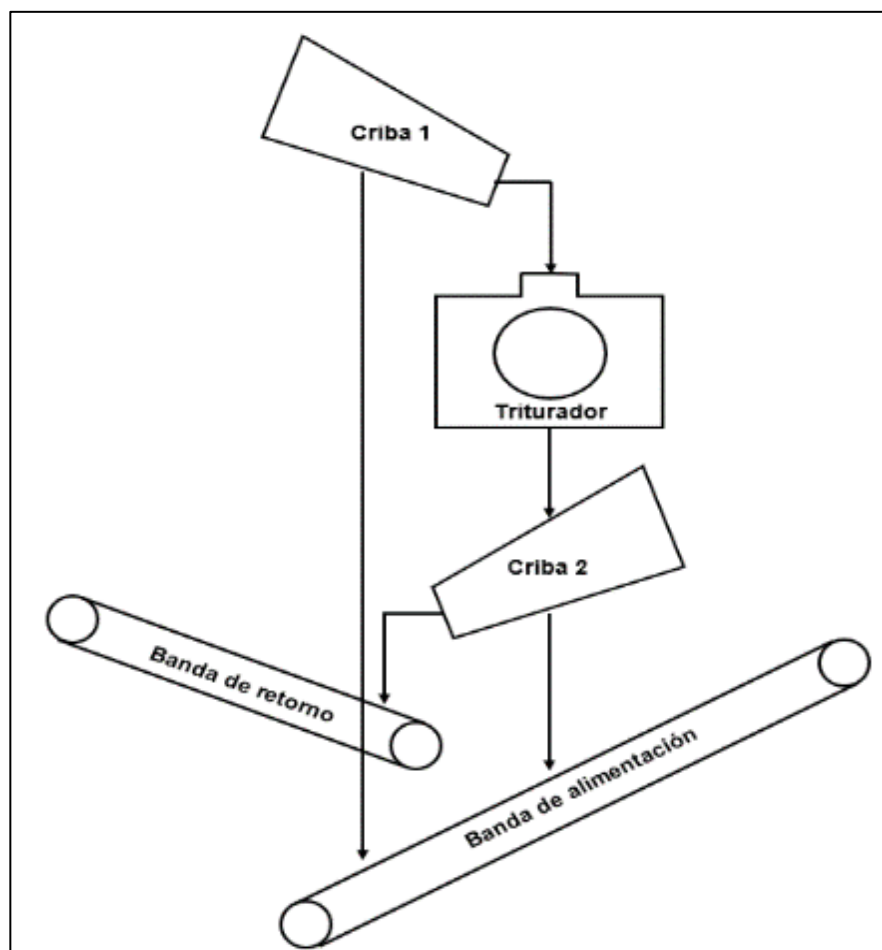
Se realizó la visita e inspección de la criba 2 marca SAYAJI esta cuenta con un solo tipo de tela o tejido metálico, este es el último punto de filtración ya que lo que no puede ser triturado es trasladado a una banda transportadora de

retorno para pasar nuevamente por el proceso de triturado, consta de dos tejidos metálicos de varilla de  $\frac{1}{4}$ " con abertura de 1" X 1", motor marca ABB de 1756 RPM.

El diagrama mostrado en la figura 30 muestra la secuencia del proceso de los equipos de triturado y cribado.

**Figura 29.**

*Diagrama de reconocimiento*



*Nota.* Diagrama de flujo del sistema de triturado y cribado. Elaboración propia, Realizado con Microsoft Word.

Este diagrama muestra la secuencia del proceso por el que es sometida la antracita para que la granulometría sea eficiente al momento de ser quemada en el hogar de la caldera. Al pasar por la criba uno esta deja pasar de manera directa todo lo que posea  $1\text{in}^2$  como lo indica el diagrama, lo que tiene una medida más voluminosa es trasladada al triturador el cual se encuentra calibrado a dicha medida, y todo lo triturado pasa a la criba dos la cual deja pasar directamente lo que posea la medida y lo que no se encuentra dentro de los parámetros establecido retorna para ser reprocesado.

### **2.3. Recopilación de información**

La recopilación de información se inició a partir del 10 de septiembre de 2021 y se finalizó el 30 de junio del 2022. Durante la recolección de datos se realizaron tomas de vibraciones, medición de ángulo de la criba, desgaste de las placas perforadas y tejidos o mallas metálicas. En dichas fechas se contó con el aval y autorización del propietario de la empresa para realizar la toma de datos.

#### **2.3.1. Visita de recopilación de información**

La recopilación de información realizada durante los meses de septiembre, octubre, noviembre, diciembre de 2021 y continuamente durante enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio de 2022 se obtuvieron los siguientes resultados, el cual es un resumen de las tablas de los meses evaluados, las tablas originales se agregan en los apéndices.

La tabla 10, 11, 12 muestra un resumen mediante promedios de cada mes de recolección de datos. Esto con el fin de poder realizar las gráficas correspondientes para cada uno de los equipos de triturado y cribado. Los datos

que se encuentran en cada una de las tablas son datos de análisis de vibración, aceleración y temperatura del motor de los equipos evaluados.

**Tabla 11.**

*Vibración y temperatura motor de criba uno de septiembre 2021 a junio 2022*

<b>Promedio Mensual Motor Criba 1</b>												
Fecha	Velocidad				Aceleración				Temperatura			
	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	gE	gE	gE	gE	°C	°C	°C	°C
sep-21	5,1	2,3	11,6	6,9	0,73	0,82	0,63	0,63	43,1	34,6	59,5	55,7
oct-21	6,0	2,5	12,3	6,9	0,75	0,86	0,70	0,62	42,9	34,8	59,3	60,1
nov-21	5,5	2,4	12,3	7,1	0,78	0,85	0,66	0,61	43,4	35,0	59,5	58,1
dic-21	6,3	2,5	11,7	6,6	0,75	0,84	0,67	0,60	40,8	33,5	59,4	60,3
ene-22	6,0	2,5	12,3	7,0	0,76	0,87	0,71	0,61	43,2	35,0	59,4	60,2
feb-22	5,1	2,3	12,0	7,1	0,74	0,83	0,63	0,62	43,4	34,8	59,5	55,4
mar-22	6,0	2,5	12,3	7,0	0,74	0,86	0,70	0,63	42,8	34,7	59,4	60,2
abr-22	5,5	2,4	12,3	7,1	0,78	0,85	0,66	0,61	43,4	35,0	59,5	58,1
may-22	6,0	2,5	12,3	7,0	0,76	0,87	0,71	0,62	43,2	35,0	59,4	60,2
jun-22	5,5	2,4	12,3	7,1	0,78	0,85	0,66	0,60	43,4	35,0	59,5	58,1

*Nota.* La tabla contiene el promedio de la vibración y temperatura del motor de criba uno del septiembre 2021 a junio 2022. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 12.**

*Vibración y temperatura motor del triturador de martillos Sep. 2021 a Jun. 2022*

<b>Promedio Mensual Motor Triturador</b>												
Fecha	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	gE	gE	Ge	gE	°C	°C	°C	°C
sep-21	9,2	9,6	1,9	6,4	1,85	3,31	2,01	3,47	46,2	36,3	59,5	67,3
oct-21	9,8	9,7	1,9	6,5	2,04	3,27	2,19	3,67	46,2	36,4	59,9	67,5
nov-21	9,7	9,7	1,9	6,6	2,17	3,27	2,10	3,78	46,1	35,9	59,9	67,6
dic-21	9,9	9,9	1,8	6,5	2,55	3,10	2,15	3,95	46,3	36,7	61,2	68,3

Continuación de la tabla 12.

ene-22	9,6	9,7	1,9	6,6	1,92	3,33	2,12	3,52	46,0	36,0	59,8	67,4
feb-22	9,8	9,7	1,9	6,6	2,04	3,25	2,16	3,68	46,2	36,4	59,8	67,5
mar-22	9,5	9,5	1,9	6,6	2,12	3,22	2,11	3,92	46,0	36,1	60,0	67,4
abr-22	9,8	9,6	1,8	6,5	1,88	3,30	2,16	3,48	46,2	36,4	59,5	67,5
may-22	9,5	9,7	1,8	6,7	2,00	3,36	2,02	3,32	46,1	35,8	59,5	67,8
jun-22	9,9	9,7	1,8	6,3	1,90	3,22	2,09	3,69	46,2	36,2	59,4	67,3

*Nota.* Vibración y temperatura del motor del triturador de martillos de septiembre 2021 a junio 2022. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 13.**

*Vibración y temperatura del motor de criba dos de septiembre 2021 a junio 2022*

Promedio Mensual Motor Criba 2												
Fecha	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	gE	gE	Ge	gE	°C	°C	°C	°C
sep-21	7,6	16,5	13,6	15,0	0,82	0,59	0,35	0,66	42,8	37,8	56,4	58,2
oct-21	8,0	16,7	13,8	15,3	0,85	0,63	0,36	0,67	44,7	39,9	60,8	63,3
nov-21	7,7	16,3	13,7	15,1	0,94	0,70	0,38	0,68	43,8	39,1	58,1	60,5
dic-21	8,1	17,0	14,0	15,7	0,83	0,56	0,34	0,68	44,7	40,0	60,9	63,3
ene-22	7,9	16,8	14,0	15,2	0,92	0,66	0,37	0,68	44,8	39,8	60,4	63,0
feb-22	7,9	16,7	13,8	15,4	0,85	0,63	0,33	0,67	44,8	39,9	60,8	63,4
mar-22	7,8	16,3	13,7	15,5	0,95	0,70	0,38	0,67	43,9	39,1	58,2	60,6
abr-22	8,0	16,6	13,9	15,2	0,83	0,62	0,36	0,67	44,5	39,7	61,0	63,7
may-22	7,8	16,2	13,5	15,6	0,93	0,71	0,39	0,67	43,9	39,0	57,8	60,3
jun-22	8,2	16,9	14,1	15,2	0,91	0,66	0,40	0,67	45,0	39,6	60,5	63,0

*Nota.* Promedio mensual de vibración y temperatura del motor de criba dos de septiembre 2021 a junio 2022. Elaboración propia, realizado con Excel.

Las tablas 13, 14, 15 muestran un resumen mediante promedios, límites máximos y mínimos de cada mes de recolección de datos. Esto con el fin de poder realizar las gráficas correspondientes para cada uno de los equipos de triturado y cribado. Los datos que se encuentran en cada una de las tablas son



datos del desgaste de los tejidos metálicos y placas perforadas de los equipos de cribado de antracita.

**Tabla 14.**

*Desgaste placa perforada de criba uno de septiembre de 2021 a junio de 2022*

Resumen desgaste placas perforadas criba 1						
Fecha	Mm	Mm	Mm	Promedio	Limite Max	Limite Min
10-sep	3,0	4,9	5,2	4,9	6,0	3,7
17-sep	2,9	4,8	5,2	4,9	6,0	3,7
24-sep	2,8	4,8	5,2	4,9	6,0	3,7
1-oct	2,7	4,8	5,1	4,9	6,0	3,7
8-oct	2,6	4,7	5,1	4,9	6,0	3,7
15-oct	2,5	4,7	5,1	4,9	6,0	3,7
22-oct	2,4	4,7	5,1	4,9	6,0	3,7
29-oct	2,3	4,6	5,0	4,9	6,0	3,7
5-nov	2,2	4,6	5,0	4,9	6,0	3,7
12-nov	2,1	4,6	5,0	4,9	6,0	3,7
19-nov	2,0	4,5	5,0	4,9	6,0	3,7
26-nov	1,9	4,5	4,9	4,9	6,0	3,7
3-dic	1,8	4,5	4,9	4,9	6,0	3,7
7-ene	6,0	6,0	6,0	4,9	6,0	3,7
14-ene	5,9	6,0	6,0	4,9	6,0	3,7
21-ene	5,8	6,0	6,0	4,9	6,0	3,7
28-ene	5,7	5,9	6,0	4,9	6,0	3,7
4-feb	5,6	5,9	5,9	4,9	6,0	3,7
11-feb	5,5	5,9	5,9	4,9	6,0	3,7
18-feb	5,4	5,8	5,9	4,9	6,0	3,7
25-feb	5,3	5,8	5,9	4,9	6,0	3,7
4-mar	5,2	5,8	5,8	4,9	6,0	3,7
11-mar	5,1	5,7	5,8	4,9	6,0	3,7
18-mar	5,0	5,7	5,8	4,9	6,0	3,7
25-mar	4,9	5,7	5,8	4,9	6,0	3,7
1-abr	4,8	5,6	5,7	4,9	6,0	3,7
8-abr	4,7	5,6	5,7	4,9	6,0	3,7

Continuación de la tabla 14.

15-abr	4,6	5,6	5,7	4,9	6,0	3,7
22-abr	4,5	5,5	5,7	4,9	6,0	3,7
29-abr	4,4	5,5	5,6	4,9	6,0	3,7
6-may	4,3	5,5	5,6	4,9	6,0	3,7
13-may	4,2	5,4	5,6	4,9	6,0	3,7
20-may	4,1	5,4	5,6	4,9	6,0	3,7
27-may	4,0	5,4	5,5	4,9	6,0	3,7
3-jun	3,9	5,3	5,5	4,9	6,0	3,7
10-jun	3,8	5,3	5,5	4,9	6,0	3,7
17-jun	3,7	5,3	5,5	4,9	6,0	3,7
24-jun	3,6	5,2	5,4	4,9	6,0	3,7

*Nota.* Resumen del desgaste de placas perforadas de criba uno de septiembre de 2021 a junio de 2022. Elaboración propia, realizado con Excel.

La tabla 14 muestra tres diferentes medidas del desgaste en las placas perforadas lo cual ocurrió durante los meses evaluados. La criba uno contiene tres placas perforadas como tamiz primario, la cual clasifica la antracita con la medida ideal de 2in<sup>2</sup>. Para la fabricación de esta placa se utiliza un acero anti-desgaste con una dureza aproximada de 500 HBW (dureza Brinell) las cuales son excelentes para aplicaciones que exigen resistencia al desgaste.

### **Tabla 15.**

*Desgaste tejido metálico de criba uno de septiembre de 2021 a junio de 2022*

Resumen desgaste de tejido metálico criba 1						
Fecha	Mm	mm	mm	Promedio	Limite Max	Limite Min
10-sep	2,6	4,2	4,9	4,7	6,0	3,2
17-sep	2,5	4,2	4,8	4,7	6,0	3,2
24-sep	2,4	4,1	4,8	4,7	6,0	3,2
1-oct	2,3	4,1	4,8	4,7	6,0	3,2
8-oct	2,2	4,0	4,7	4,7	6,0	3,2

Continuación de la tabla 15.

15-oct	2,1	4,0	4,7	4,7	6,0	3,2
22-oct	2,0	3,9	4,7	4,7	6,0	3,2
29-oct	1,9	3,9	4,6	4,7	6,0	3,2
5-nov	1,8	3,8	4,6	4,7	6,0	3,2
12-nov	1,7	3,8	4,6	4,7	6,0	3,2
19-nov	1,6	3,8	4,5	4,7	6,0	3,2
26-nov	1,5	3,8	4,5	4,7	6,0	3,2
3-dic	1,4	3,7	4,5	4,7	6,0	3,2
7-ene	6,0	6,0	6,0	4,7	6,0	3,2
14-ene	5,9	6,0	6,0	4,7	6,0	3,2
21-ene	5,8	5,9	6,0	4,7	6,0	3,2
28-ene	5,7	5,9	5,9	4,7	6,0	3,2
4-feb	5,6	5,8	5,9	4,7	6,0	3,2
11-feb	5,5	5,8	5,9	4,7	6,0	3,2
18-feb	5,4	5,7	5,8	4,7	6,0	3,2
25-feb	5,3	5,7	5,8	4,7	6,0	3,2
4-mar	5,2	5,6	5,8	4,7	6,0	3,2
11-mar	5,1	5,6	5,7	4,7	6,0	3,2
18-mar	5,0	5,5	5,7	4,7	6,0	3,2
25-mar	4,9	5,5	5,7	4,7	6,0	3,2
1-abr	4,8	5,4	5,6	4,7	6,0	3,2
8-abr	4,7	5,4	5,6	4,7	6,0	3,2
15-abr	4,6	5,3	5,6	4,7	6,0	3,2
22-abr	4,5	5,3	5,5	4,7	6,0	3,2
29-abr	4,4	5,2	5,5	4,7	6,0	3,2
6-may	4,3	5,2	5,5	4,7	6,0	3,2
13-may	4,2	5,1	5,4	4,7	6,0	3,2
20-may	4,1	5,1	5,4	4,7	6,0	3,2
27-may	4,0	5,0	5,4	4,7	6,0	3,2
3-jun	3,9	5,0	5,3	4,7	6,0	3,2
10-jun	3,8	4,9	5,3	4,7	6,0	3,2
17-jun	3,7	4,9	5,3	4,7	6,0	3,2
24-jun	3,6	4,8	5,2	4,7	6,0	3,2

*Nota.* Resumen de desgaste de los tejidos metálicos de criba uno de septiembre de 2021 a junio de 2022. Elaboración propia, realizado con Excel.

La tabla 15 muestra tres diferentes medidas del desgaste ocurrido durante los meses evaluados debido a que la criba uno contiene tres tejidos metálicos como tamiz secundario, clasificando la antracita con la medida ideal de 1in2. La ruptura de esta malla es perjudicial debido a que al pasar de manera directa material de gran volumen al *coal bunker* y por consiguiente a los *coal feeder* (alimentadores de carbón) puede atorarse y por consiguiente dañar las piezas al no poder ser retirada de manera inmediata.

**Tabla 16.**

*Desgaste de tejido metálico de criba dos de septiembre de 2021 a junio de 2022*

Resumen tejido metálico					
Fecha	Mm	Mm	Promedio	Limite Max	Limite Min
10-sep	2,6	4,2	4,4	6,0	2,6
17-sep	2,5	4,2	4,4	6,0	2,6
24-sep	2,4	4,1	4,4	6,0	2,6
1-oct	2,3	4,1	4,4	6,0	2,6
8-oct	2,2	4,0	4,4	6,0	2,6
15-oct	2,1	4,0	4,4	6,0	2,6
22-oct	2,0	3,9	4,4	6,0	2,6
29-oct	1,9	3,9	4,4	6,0	2,6
5-nov	1,8	3,8	4,4	6,0	2,6
12-nov	1,7	3,8	4,4	6,0	2,6
19-nov	1,6	3,8	4,4	6,0	2,6
26-nov	1,5	3,8	4,4	6,0	2,6
3-dic	1,4	3,7	4,4	6,0	2,6
7-ene	6,0	6,0	4,4	6,0	2,6
14-ene	5,9	6,0	4,4	6,0	2,6
21-ene	5,8	5,9	4,4	6,0	2,6
28-ene	5,7	5,9	4,4	6,0	2,6
4-feb	5,6	5,8	4,4	6,0	2,6
11-feb	5,5	5,8	4,4	6,0	2,6
18-feb	5,4	5,7	4,4	6,0	2,6
25-feb	5,3	5,7	4,4	6,0	2,6
4-mar	5,2	5,6	4,4	6,0	2,6

Continuación de la tabla 16.

11-mar	5,1	5,6	4,4	6,0	2,6
18-mar	5,0	5,5	4,4	6,0	2,6
25-mar	4,9	5,5	4,4	6,0	2,6
1-abr	4,8	5,4	4,4	6,0	2,6
8-abr	4,7	5,4	4,4	6,0	2,6
15-abr	4,6	5,3	4,4	6,0	2,6
22-abr	4,5	5,3	4,4	6,0	2,6
29-abr	4,4	5,2	4,4	6,0	2,6
6-may	4,3	5,2	4,4	6,0	2,6
13-may	4,2	5,1	4,4	6,0	2,6
20-may	4,1	5,1	4,4	6,0	2,6
27-may	4,0	5,0	4,4	6,0	2,6
3-jun	3,9	5,0	4,4	6,0	2,6
10-jun	3,8	4,9	4,4	6,0	2,6
17-jun	3,7	4,9	4,4	6,0	2,6
24-jun	3,6	4,8	4,4	6,0	2,6

*Nota.* Resumen del desgaste de los tejidos metálicos de criba dos de septiembre de 2021 a junio de 2022. Elaboración propia, realizado con Excel.

La tabla 16 muestra solamente dos medidas del desgaste, debido a que esta criba solamente cuenta con dos tamices. El desgaste ocurrido durante los meses evaluados a los tejidos metálicos dio como resultado los datos presentados en la tabla de resumen. Esta criba clasifica la antracita a la medida ideal de 1in<sup>2</sup> después de haber sido molida por el triturador de martillos, lo que no alcanza la medida regresa a una banda transportadora de retorno. La ruptura de esta malla es perjudicial al igual que la de la criba uno debido a que al pasar de manera directa el material de gran volumen al *coal bunker* y por consiguiente a los *coal feeder* pueden dañar las piezas por el sobre calentamiento que ocurre en las boquillas de alimentación.

La tabla 17 y 18 muestran las condiciones en que se encontraban los ángulos de las placas perforadas y tejidos metálicos del equipo de cribado uno y dos.

**Tabla 17.**

*Ángulo de criba uno*

Ángulo Criba 1		
Fecha	Placa Perforada	Tejido metálico
	°	°
10-sep	15	14
17-sep	15	14
24-sep	15	14
1-oct	15	14
8-oct	15	14
15-oct	15	14
22-oct	15	14
29-oct	15	14
5-nov	15	14
12-nov	15	14
19-nov	15	14
26-nov	15	14
3-dic	15	14
7-ene	15	14
14-ene	15	14
21-ene	15	14
28-ene	15	14
4-feb	15	14
11-feb	15	14
18-feb	15	14
25-feb	15	14
4-mar	15	14
11-mar	15	14
18-mar	15	14
25-mar	15	14
1-abr	15	14

Continuación de la tabla 17.

8-abr	15	14
15-abr	15	14
22-abr	15	14
29-abr	15	14
6-may	15	14
13-may	15	14
20-may	15	14
27-may	15	14
3-jun	15	14
10-jun	15	14
17-jun	15	14
24-jun	15	14

*Nota.* Condiciones en que se encontraba el ángulo de criba uno de septiembre de 2021 a junio de 2022. Elaboración propia, realizado con Excel.

Los ángulos que se muestran en la tabla 16 hacen referencia a placa perforada y tejido metálico de la criba uno.

**Tabla 18.**

*Ángulo criba dos*

Ángulo Criba 2	
Fecha	Tejido metálico
	°
10-sep	14
17-sep	14
24-sep	14
1-oct	14
8-oct	14
15-oct	14
22-oct	14
29-oct	14
5-nov	14

Continuación de la tabla 18.

12-nov	14
19-nov	14
26-nov	14
3-dic	14
7-ene	14
14-ene	14
21-ene	14
28-ene	14
4-feb	14
11-feb	14
18-feb	14
25-feb	14
4-mar	14
11-mar	14
18-mar	14
25-mar	14
1-abr	14
8-abr	14
15-abr	14
22-abr	14
29-abr	14
6-may	14
13-may	14
20-may	14
27-may	14
3-jun	14
10-jun	14
17-jun	14
24-jun	14

*Nota.* Condiciones en que se encontraba el ángulo de criba dos de septiembre de 2021 a junio de 2022. Elaboración propia, realizado con Excel.

La tabla 18 solo muestra un ángulo debido a que dicha criba solamente cuenta con una sección de tamizado.



La tabla 19, 20, 21 muestran la disponibilidad mensual de los equipos evaluados durante los meses de septiembre de 2021 a junio de 2022. En los cuales se muestra una variabilidad debido a los mantenimientos preventivos y correctivos.

**Tabla 19.**

*Disponibilidad de criba uno*

Disponibilidad de criba 1						
Año	Mes	Mantenimiento		Total Tiempo	Disponibilidad	Disponibilidad mensual
		Preventivo	Correctivo			
2021	Sep	3:00:00	0:00:00	3:00:00	98%	98,21%
		0:00:00	2:00:00	2:00:00	98%	
		3:00:00	1:00:00	4:00:00	97%	
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100%	
	Oct	3:00:00	3:00:00	6:00:00	94%	96,18%
		0:00:00	3:50:00	3:50:00	95%	
		3:00:00	2:08:00	5:08:00	95%	
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100%	
	Nov	4:55:00	2:00:00	6:55:00	92%	96,02%
		0:00:00	2:10:00	2:10:00	97%	
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100%	
		2:55:00	2:30:00	5:25:00	94%	
	Dic	3:00:00	0:00:00	3:00:00	96%	100%
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100%	
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100%	
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100%	
2022	Ene	3:00:00	0:00:00	3:00:00	97%	98,08%
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100%	
		5:30:00	0:00:00	5:30:00	93%	
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100%	
		0:00:00	2:00:00	2:00:00	98%	
	Feb	2:50:00	0:00:00	2:50:00	97%	97,88%
		3:00:00	0:00:00	3:00:00	97%	
		0:00:00	2:40:00	2:40:00	97%	
	Mar	0:00:00	0:00:00	0:00:00	100%	97,12%
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100%	

Continuación de la tabla 19.

	3:00:00	2:00:00	5:00:00	94%	
	2:00:00	0:00:00	2:00:00	98%	
	2:45:00	0:00:00	2:45:00	97%	
Abr	0:00:00	0:00:00	0:00:00	100%	98,02%
	3:00:00	2:00:00	5:00:00	95%	
	0:00:00	0:00:00	0:00:00	100%	
	3:00:00	0:00:00	3:00:00	97%	
	0:00:00	1:30:00	1:30:00	98%	
May	3:00:00	0:00:00	3:00:00	97%	97,30%
	0:00:00	3:00:00	3:00:00	96%	
	2:00:00	0:00:00	2:00:00	98%	
	3:00:00	1:30:00	4:30:00	96%	
	0:00:00	0:00:00	0:00:00	100%	
Jun	2:55:00	0:00:00	2:55:00	97%	97,62%
	0:00:00	0:00:00	0:00:00	100%	
	2:50:00	2:45:00	5:35:00	96%	

*Nota.* La tabla muestra la disponibilidad de criba uno de septiembre de 2021 a junio de 2022. Elaboración propia, realizado con Excel.

La tabla 19 muestra el tiempo de los mantenimientos preventivos y correctivos de la criba uno, así como el tiempo total de paro por estos mantenimientos realizados, al igual que un resultado de disponibilidad del equipo por semana y un promedio de la disponibilidad por mes, el tiempo total de mantenimientos preventivos durante los meses evaluados fue de 64 horas con 40 minutos. El tiempo total de mantenimientos correctivos fue de 36 horas con 3 minutos. Dando como resultado 100 horas y 43 minutos de mantenimientos para el equipo de cribado número uno, con una disponibilidad total de 97,64 % en el tiempo de la evaluación.

**Tabla 20.**

*Disponibilidad de criba dos*

Disponibilidad de criba 2						
Año	Mes	Mantenimiento		Total Tiempo	Disponibilidad	Disponibilidad mensual
		Preventivo	Correctivo			
2021	Sep	3:00:00	2:00:00	5:00:00	96 %	98,02 %
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	
		3:00:00	2:00:00	5:00:00	96%	
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	
	Oct	3:00:00	7:00:00	10:00:00	90 %	96,00 %
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	
		3:00:00	3:30:00	6:30:00	94 %	
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	
	Nov	4:55:00	3:00:00	7:55:00	91 %	95,40 %
		0:00:00	2:15:00	2:15:00	97 %	
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	
		2:55:00	4:15:00	7:10:00	93 %	
		3:00:00	0:00:00	3:00:00	96 %	
	Dic	0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	100 %
2022	Ene	0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	98,08 %
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	
		3:00:00	0:00:00	3:00:00	97 %	
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	
		5:30:00	0:00:00	5:30:00	93 %	
	Feb	0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	97,06 %
		0:00:00	2:00:00	2:00:00	98 %	
		2:50:00	2:45:00	5:35:00	93 %	
		3:00:00	0:00:00	3:00:00	97 %	
	Mar	0:00:00	2:00:00	2:00:00	98 %	97,32 %
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	
		3:00:00	2:00:00	5:00:00	94 %	
		2:00:00	0:00:00	2:00:00	98 %	
	Abr	2:45:00	0:00:00	2:45:00	97 %	97,77 %
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	
		3:00:00	3:00:00	6:00:00	94 %	
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	
	May	3:00:00	0:00:00	3:00:00	97 %	97,32 %

Continuación de la tabla 20.

	0:00:00	1:35:00	1:35:00	98 %	
	3:00:00	0:00:00	3:00:00	97 %	
	0:00:00	2:50:00	2:50:00	97 %	
	2:00:00	0:00:00	2:00:00	98 %	
	3:00:00	1:30:00	4:30:00	96 %	
	0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	
Jun	2:55:00	0:00:00	2:55:00	97 %	97,23 %
	0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	
	2:50:00	5:10:00	8:00:00	94 %	

*Nota.* La tabla presenta la disponibilidad de criba dos de septiembre de 2021 a junio de 2022.  
Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 21.**

*Disponibilidad del triturador*

Disponibilidad de triturador						
Año	Mes	Mantenimiento		Total Tiempo	Disponibilidad	Disponibilidad mensual
		Preventivo	Correctivo			
2021	Sep	0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	97,43 %
		3:00:00	4:00:00	7:00:00	94 %	
		0:00:00	3:00:00	3:00:00	98 %	
	Oct	2:50:00	3:50:00	6:40:00	93 %	97,15 %
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	
		3:00:00	2:08:00	5:08:00	95 %	
	Nov	0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	96,81 %
		4:55:00	0:00:00	4:55:00	94 %	
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	
		2:55:00	3:30:00	6:25:00	93 %	
		3:00:00	0:00:00	3:00:00	96 %	
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	
	Dic	0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	100 %
2022	Ene	0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	98,08 %
		0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	
		3:00:00	0:00:00	3:00:00	97 %	

Continuación de la tabla 21.

	0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	
	5:30:00	0:00:00	5:30:00	93 %	
Feb	0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	
	0:00:00	3:00:00	3:00:00	97 %	97,63 %
	2:50:00	0:00:00	2:50:00	97 %	
	3:00:00	0:00:00	3:00:00	97 %	
Mar	0:00:00	3:00:00	3:00:00	96 %	
	0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	97,02 %
	3:00:00	2:00:00	5:00:00	94 %	
	2:00:00	0:00:00	2:00:00	98 %	
	2:45:00	0:00:00	2:45:00	97 %	
Abr	0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	98,07 %
	3:00:00	1:50:00	4:50:00	95 %	
	0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	
	3:00:00	0:00:00	3:00:00	97 %	
May	0:00:00	2:00:00	2:00:00	98 %	97,18 %
	3:00:00	0:00:00	3:00:00	97 %	
	0:00:00	3:00:00	3:00:00	96 %	
	2:00:00	0:00:00	2:00:00	98 %	
	3:00:00	1:30:00	4:30:00	96 %	
	0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	
Jun	2:55:00	0:00:00	2:55:00	97 %	97,58 %
	0:00:00	0:00:00	0:00:00	100 %	
	2:50:00	3:00:00	5:50:00	95 %	

*Nota.* La tabla presenta la disponibilidad del triturador de septiembre de 2021 a junio de 2022. Elaboración propia, realizado con Excel.

La tabla 21 muestra el tiempo de los mantenimientos preventivos y correctivos de la criba dos, así como los tiempos de mantenimientos realizados y la disponibilidad del equipo por semana, al igual que la disponibilidad por mes. El tiempo total de mantenimientos preventivos para este equipo durante los meses evaluados fue de 64 horas con 40 minutos. El tiempo total de mantenimientos correctivos fue de 46 horas con 50 minutos. Dando como

resultado 111 horas y 30 minutos de mantenimientos para el equipo de cribado número dos, con una disponibilidad total de 97,42 % en los meses evaluados.

La tabla 21 muestra el tiempo de los mantenimientos preventivos y correctivos del equipo de triturado, así como el tiempo total de paro por los mantenimientos realizados. Así mismo un resultado de disponibilidad del equipo por semana y el promedio de la disponibilidad por mes. Durante los meses de septiembre 2021 a junio 2022 el equipo de trituración tuvo un total de 22 intervenciones preventivas con un tiempo total de 61 horas con 30 minutos. También tuvo 13 intervenciones correctivas con un tiempo total de 35 horas con 48 minutos. Dando como resultado 97 horas y 18 minutos de mantenimientos para el equipo de trituración, con una disponibilidad total de 97,69 % en el tiempo de la evaluación.

### **3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En esta fase de la investigación, se muestran los resultados obtenidos de las mediciones de vibraciones, temperatura, ángulo, desgaste de tejido metálico, desgaste de placa perforada y disponibilidad de los equipos evaluados como parámetros que muestran variabilidad de los equipos de triturado y cribado de antracita.

#### **3.1. Presentación de resultados**

Tras la recopilación de información de datos en las figuras que a continuación se muestran las gráficas de cajas y bigotes de vibraciones, temperatura para equipo de triturado y cribado. Gráficas de líneas para el desgaste de tejido metálico y placa perforada del equipo de cribado uno y dos. Las gráficas de dispersión de líneas suavizadas para los ángulos de los equipos de cribado. Gráficas de barras para la disponibilidad mensual de los equipos de triturado y cribado de antracita. La cuales se muestra en las figuras siguientes.

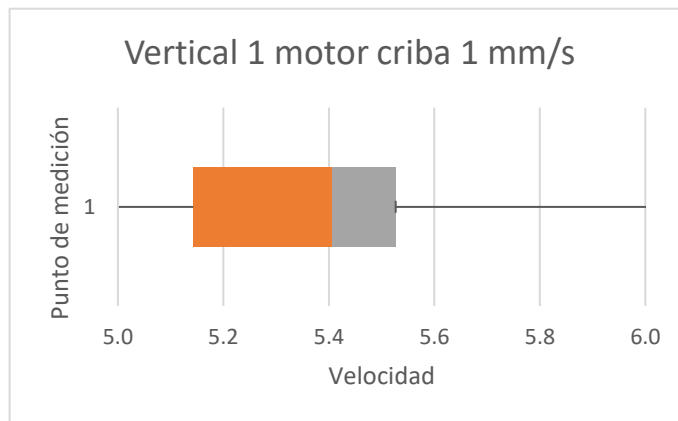
Las figuras 31, 32, 33, 34 muestran los puntos tomados en el motor de la criba uno, los cuales muestran los resultados de la variabilidad de vibraciones en el motor en los puntos DE (*Driving end*) y NDE (*Non-driving end*), la transmisión del motor hacia la criba se da por medio de poleas y fajas, por lo cual fue posible solamente tomar los puntos verticales y horizontales del motor.

La figura 30 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q_1 = 25 \% = 5.4 \text{ mm/s}$ . El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los datos siendo este  $Q_2 = 50 \% = 5.5 \text{ mm/s}$ . El cuartil 3 es equivalente al 75 % de

los datos siendo equivalente a  $Q_3 = 75 \% = 6.0 \text{ mm/s}$ . Teniendo un rango intercuartil de  $0.6 \text{ mm/s}$ .

**Figura 30.**

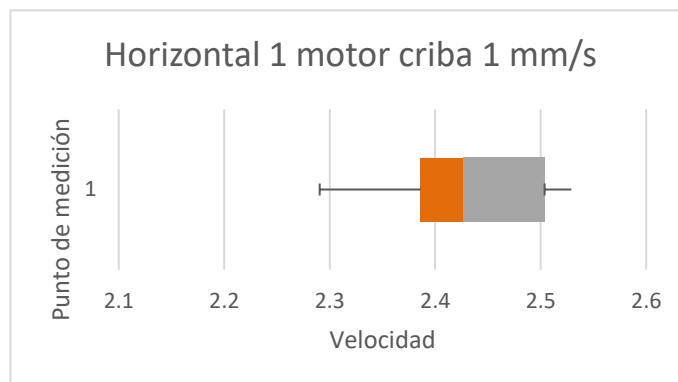
*Vibraciones V1 motor criba uno*



*Nota.* Gráfica de vibraciones vertical 1 del motor de la criba 1. Elaboración propia, Realizado con Excel.

**Figura 31.**

*Vibraciones H1 motor criba uno*



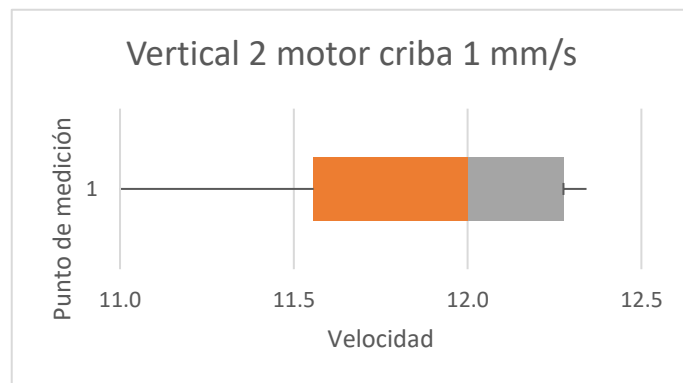
*Nota.* Gráfica de vibraciones horizontal 1 del motor de la criba 1. Elaboración propia, realizado con Excel.



La figura 32 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q_1 = 25 \% = 2.4 \text{ mm/s}$ . El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los datos siendo este  $Q_2 = 50 \% = 2.4 \text{ mm/s}$  lo que nos indica que existe varias muestras de la misma denominación tanto para el cuartil 1 como para el cuartil 2. El cuartil 3 es equivalente al 75 % de los datos siendo equivalente a  $Q_3 = 75 \% = 2.5 \text{ mm/s}$ . Teniendo un rango inter-cuartil de  $0.1 \text{ mm/s}$ .

### Figura 32.

Vibraciones V2 motor criba uno



*Nota.* Gráfica de vibraciones vertical 2 del motor de la criba 1. Elaboración propia, Realizado con Excel.

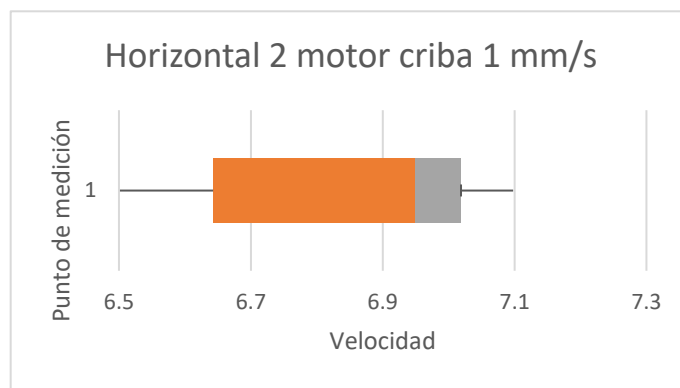
La figura 33 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q_1 = 25 \% = 12.0 \text{ mm/s}$ . El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los datos siendo este  $Q_2 = 50 \% = 12.3 \text{ mm/s}$ . El cuartil 3 es equivalente al 75 % de los datos siendo equivalente a  $Q_3 = 75 \% = 12.3 \text{ mm/s}$  lo que nos indica que del cuartil 2 al cuartil 3 existen varias muestras de  $12.3 \text{ mm/s}$ . Teniendo un rango inter-cuartil de  $0.3 \text{ mm/s}$ .

La figura 34 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q_1 = 25 \% = 7.0 \text{ mm/s}$ . El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los

datos siendo este  $Q_2 = 50 \% = 7.0 \text{ mm/s}$ . El cuartil 3 es equivalente al 75 % de los datos siendo equivalente a  $Q_3 = 75 \% = 7.1 \text{ mm/s}$ . Teniendo un rango intercuartil de  $0.1 \text{ mm/s}$ .

### Figura 33.

*Vibraciones H2 motor criba uno*



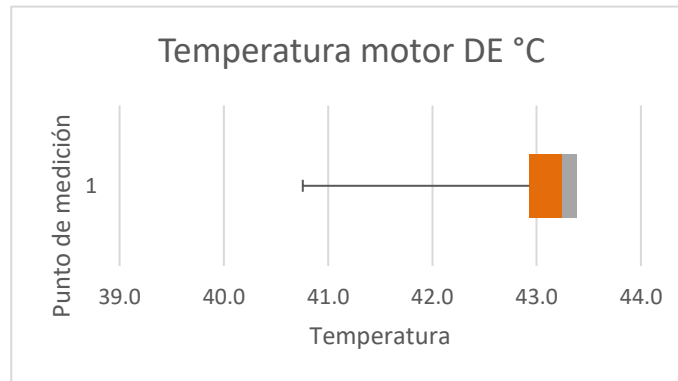
*Nota.* Gráfica de vibraciones horizontal 2 del motor de la criba 1. Elaboración propia, realizado con Excel.

Las figuras 35 y 36 muestran los puntos de temperatura tomados en el motor de la criba uno, los cuales muestran resultados variables de temperatura en el motor en los puntos DE y NDE, las muestras de temperatura fueron tomadas con el pirómetro marca fluke 572-2.

La figura 35 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q_1 = 25 \% = 42.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los datos siendo este  $Q_2 = 50 \% = 43.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . El cuartil 3 es equivalente al 75 % de los datos siendo equivalente a  $Q_3 = 75 \% = 43.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Teniendo un rango intercuartil de  $0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Figura 34.**

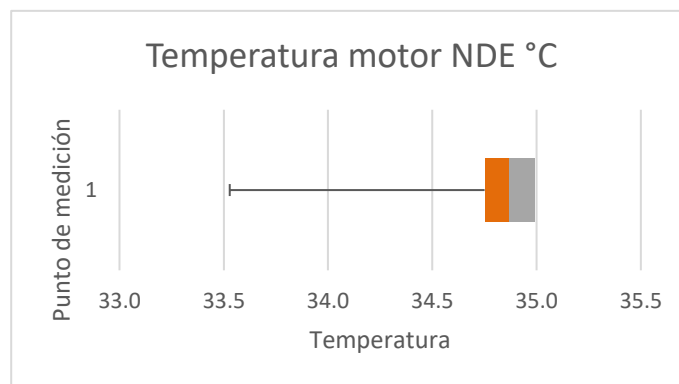
*Temperatura del motor DE criba uno*



*Nota.* Gráfica de temperatura del motor en el lado DE de la criba 1. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Figura 35.**

*Temperatura del motor NDE criba uno*



*Nota.* Gráfica de temperatura del motor en el lado NDE de la criba 1. Elaboración propia, Realizado con Excel.

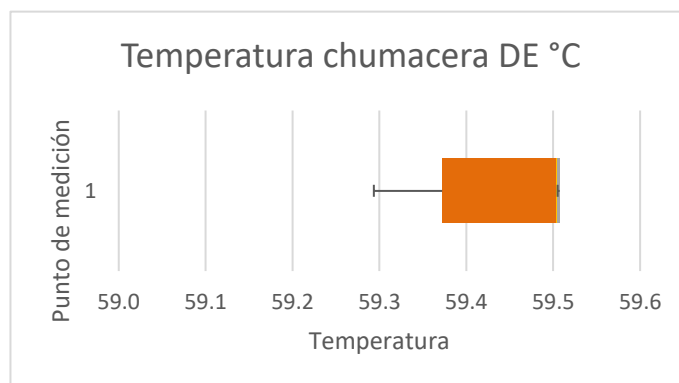
La figura 35 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q_1 = 25 \% = 34.8$  °C. El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los

datos siendo este  $Q_2 = 50 \% = 34.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El cuartil 3 es equivalente al 75 % de los datos siendo equivalente a  $Q_3 = 75 \% = 35.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Teniendo un rango intercuartil de  $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Las figuras 36 y 37 muestran los puntos de temperatura tomados en las chumaceras de la criba uno, los cuales muestran resultados variables de temperatura en la criba uno en los puntos DE y NDE, las muestras de temperatura fueron tomadas con el pirómetro marca fluke 572-2.

### Figura 36.

*Temperatura de chumacera DE criba uno*



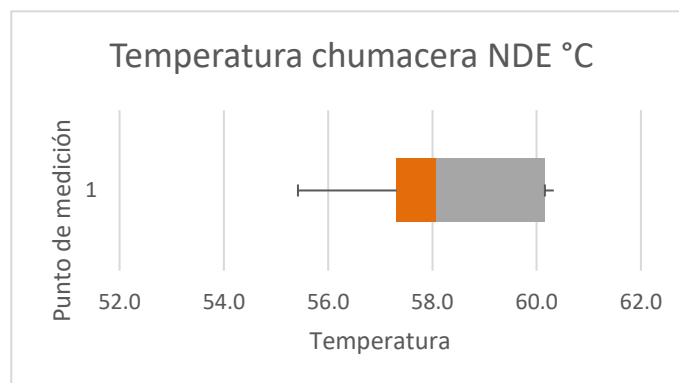
*Nota.* Gráfica de temperatura de la chumacera en el lado DE de la criba 1. Elaboración propia, Realizado con Excel.

La figura 36 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q_1 = 25 \% = 59.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los datos siendo este  $Q_2 = 50 \% = 59.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El cuartil 3 es equivalente al 75 % de los datos siendo equivalente a  $Q_3 = 75 \% = 59.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Teniendo un rango intercuartil de  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La figura 37 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q_1 = 25 \% = 57.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los datos siendo este  $Q_2 = 50 \% = 58.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El cuartil 3 es equivalente al 75 % de los datos siendo equivalente a  $Q_3 = 75 \% = 60.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Teniendo un rango intercuartil de  $2.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Figura 37.**

*Temperatura de chumacera NDE criba uno*



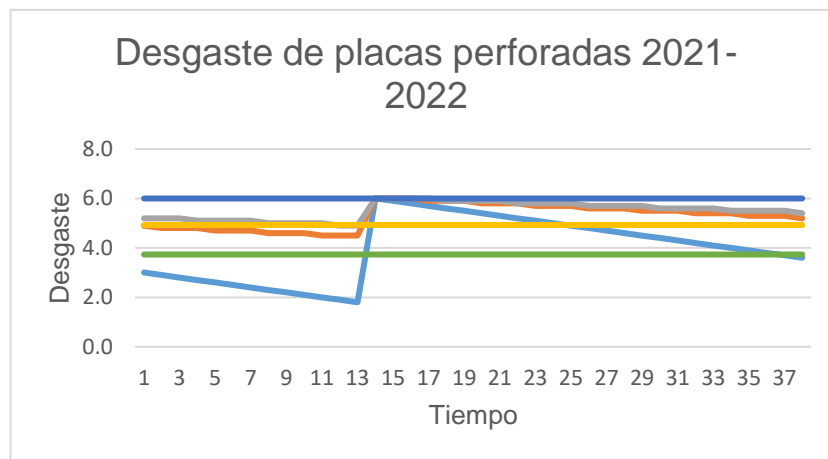
*Nota.* Gráfica de temperatura de la chumacera en el lado NDE de la criba 1. Elaboración propia, realizado con Excel.

La figura 38 muestra mediante el grafico de líneas el límite superior e inferior, así como el promedio general del desgaste de las placas perforadas, en la gráfica se incluye el desgaste de las tres placas perforadas como tamiz primario. En la gráfica la placa perforada número uno es el que mayor desgaste sufre debido a la abrasión de la antracita la cual impacta sobre el tejido directamente esta se sale del rango, debido al desgaste y ruptura tiende a ser reparada constantemente a partir del mes de julio y varía dependiendo el tipo de antracita que se aplica en el equipo. La placa perforada dos se mantiene dentro del rango puesto que no llega ni al límite mínimo y la placa perforada tres

sufren desgaste abrasivo en menor cantidad en comparación a la placa número uno.

**Figura 38.**

*Desgaste de placas perforadas de criba uno*

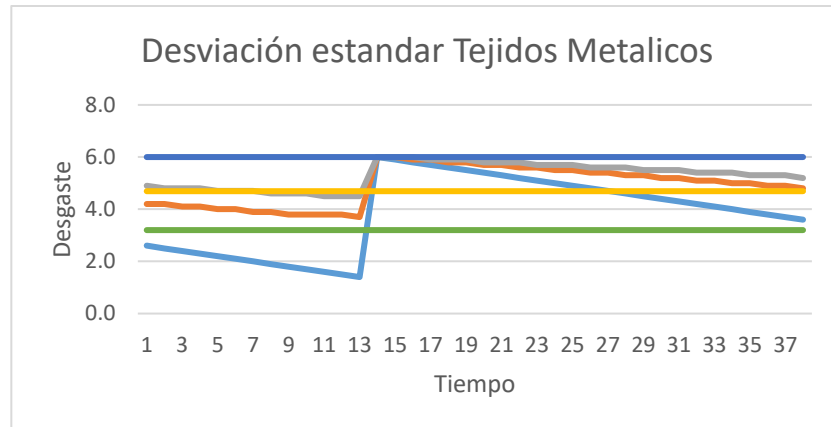


*Nota.* Gráfica de desgaste de las placas perforadas de la criba 1. Elaboración propia, realizado con Excel.

La figura 40 muestra mediante el grafico de líneas el límite superior e inferior, así como el promedio general del desgaste de los tejidos metálicos, en la gráfica se incluye el desgaste de los tres tejidos metálicos secundarios. En la gráfica el tejido metálico número uno es el que mayor desgaste sufre debido a la abrasión de la antracita la cual impacta sobre el tejido directamente esta se sale del rango. El tejido metálico dos se mantiene dentro del rango puesto que no llega ni al límite mínimo y el tejido metálico tres sufren desgaste abrasivo en menor cantidad en comparación al tejido uno.

**Figura 39.**

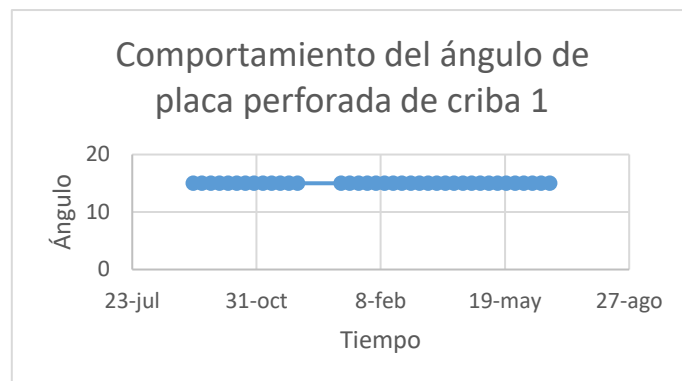
*Desgaste de tejido metálico de criba uno*



*Nota.* Gráfica de desgaste de los tejidos metálicos de la criba 1. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Figura 40.**

*Ángulos de placa perforada de criba uno*

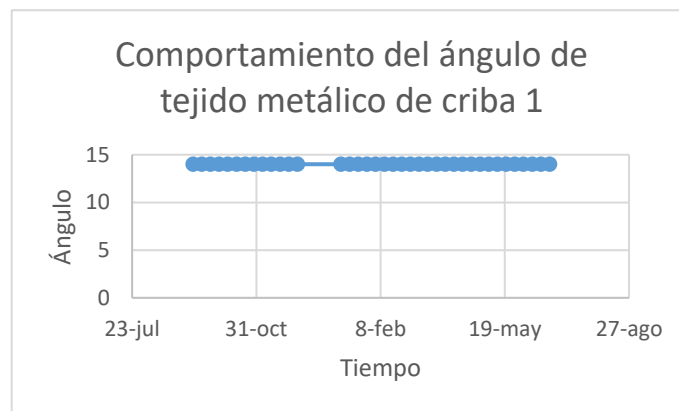


*Nota.* Gráfica de ángulos de las placas perforadas de la criba 1. Elaboración propia, realizado con Excel.

La figura 41 y 42 mediante el diagrama de dispersión con líneas suavizada nos muestra que a pesar del desgaste que se genera en las placas perforadas y en los tejidos metálicos, el ángulo no se ve afectado debido a que no existe deflexión en estos elementos de la criba uno. Por lo tanto, se mantiene el ángulo de trabajo requerido.

**Figura 41.**

*Ángulos de tejido metálico de criba uno*



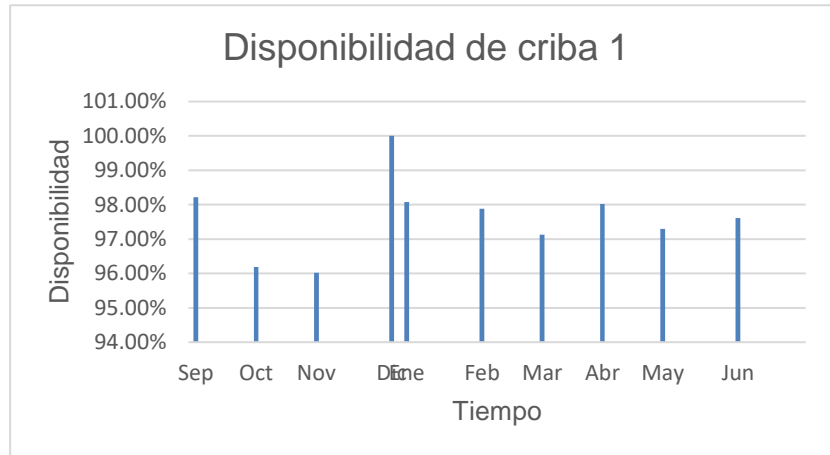
*Nota.* Gráfica de ángulos de los tejidos metálicos de la criba 1. Elaboración propia, Realizado con Excel.

En la figura 43 mediante el diagrama de barras se muestra el porcentaje de disponibilidad mensual de la criba durante los meses evaluados. Cabe resaltar que el mes de diciembre 2021 aparece con una disponibilidad del 100 % pero solamente opero durante la primera semana el equipo ya que todos los años durante ese mes los equipos son sometidos a mantenimiento anual.



**Figura 42.**

*Disponibilidad de la criba uno*



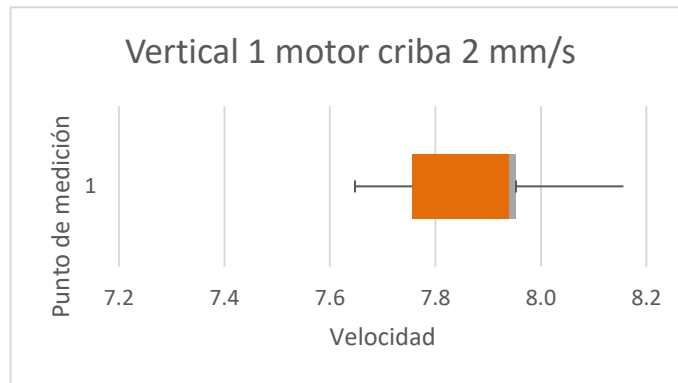
*Nota.* Gráfica de disponibilidad de la criba 1. Elaboración propia, realizado con Excel.

Las figuras 44, 45, 46, 47 muestran los puntos tomados en el motor de la criba dos, los cuales muestran los resultados de la variabilidad de vibraciones en el motor en los puntos DE (*Driving end*) y NDE (*Non-driving end*), la transmisión del motor hacia la criba se da por medio de poleas y fajas, por lo cual fue posible solamente tomar los puntos verticales y horizontales del motor.

La figura 44 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q_1 = 25 \% = 7.8 \text{ mm/s}$ . El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los datos siendo este  $Q_2 = 50 \% = 7.9 \text{ mm/s}$ . El cuartil 3 es equivalente al 75 % de los datos siendo equivalente a  $Q_3 = 75 \% = 8.0 \text{ mm/s}$ . Teniendo un rango intercuartil de 0.2 mm/s.

**Figura 43.**

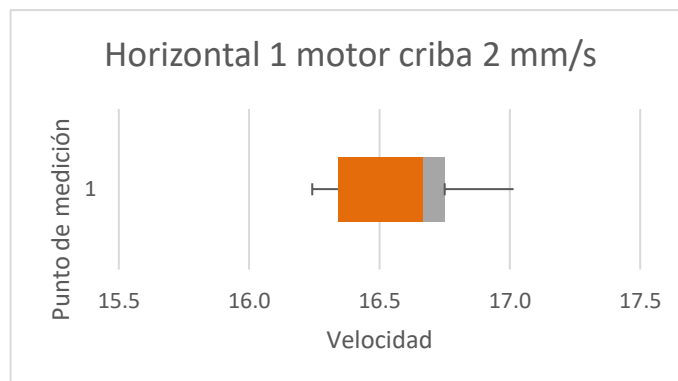
*Vibraciones V1 motor criba dos*



*Nota.* Gráfica de vibraciones vertical 1 del motor de la criba 2. Elaboración propia, Realizado con Excel.

**Figura 44.**

*Vibraciones H1 motor criba dos*



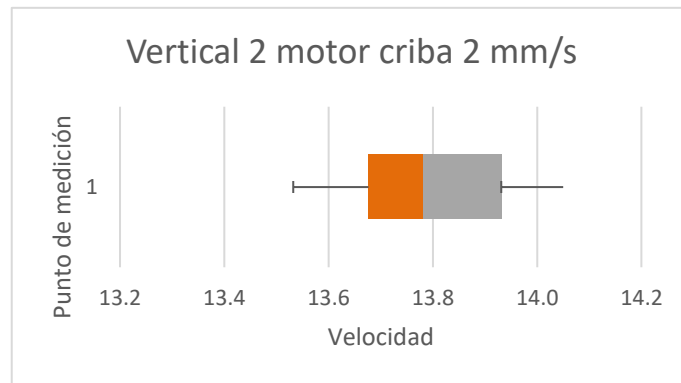
*Nota.* Gráfica de vibraciones horizontal 1 del motor de la criba 2. Elaboración propia, Realizado con Excel.

La figura 45 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q_1 = 25 \% = 16.3 \text{ mm/s}$ . El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los datos siendo este  $Q_2 = 50 \% = 16.7 \text{ mm/s}$ . El cuartil 3 es equivalente al 75 % de

los datos siendo equivalente a  $Q_3 = 75 \% = 16.8 \text{ mm/s}$ . Teniendo un rango intercuartil de  $0.5 \text{ mm/s}$ .

**Figura 45.**

*Vibraciones V2 motor criba dos*



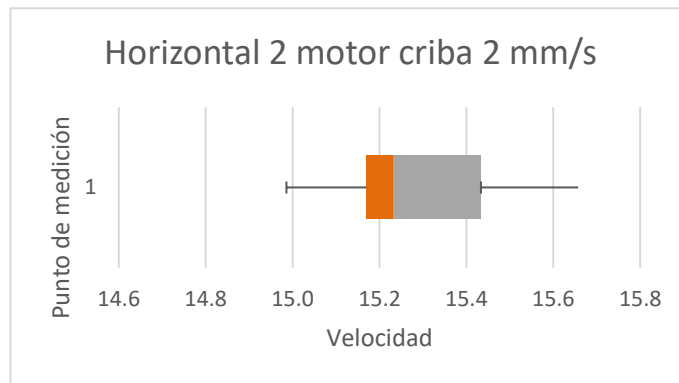
*Nota.* Gráfica de vibraciones vertical 2 del motor de la criba 2. Elaboración propia, realizado con Excel.

La figura 46 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q_1 = 25 \% = 13.7 \text{ mm/s}$ . El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los datos siendo este  $Q_2 = 50 \% = 13.8 \text{ mm/s}$ . El cuartil 3 es equivalente al 75 % de los datos siendo equivalente a  $Q_3 = 75 \% = 13.9 \text{ mm/s}$ . Teniendo un rango intercuartil de  $0.2 \text{ mm/s}$ .

La figura 47 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q_1 = 25 \% = 15.2 \text{ mm/s}$ . El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los datos siendo este  $Q_2 = 50 \% = 15.2 \text{ mm/s}$ . El cuartil 3 es equivalente al 75 % de los datos siendo equivalente a  $Q_3 = 75 \% = 15.4 \text{ mm/s}$ . Teniendo un rango intercuartil de  $0.2 \text{ mm/s}$ .

**Figura 46.**

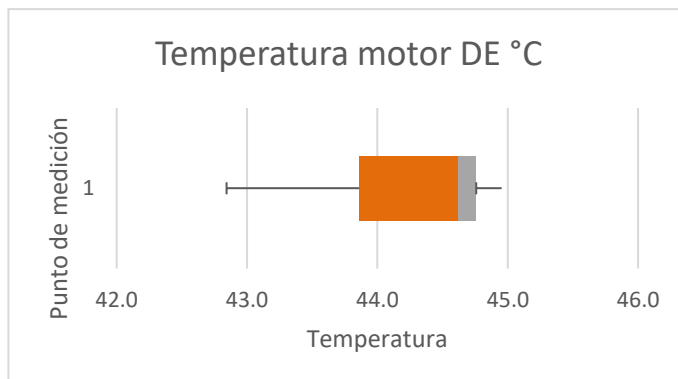
*Vibraciones H2 motor criba dos*



*Nota.* Gráfica de vibraciones horizontal 2 del motor de la criba 2. Elaboración propia, Realizado con Excel.

**Figura 47.**

*Temperatura del motor DE criba dos*



*Nota.* Gráfica de temperatura del motor de lado DE del motor de la criba 2. Elaboración propia, Realizado con Excel.

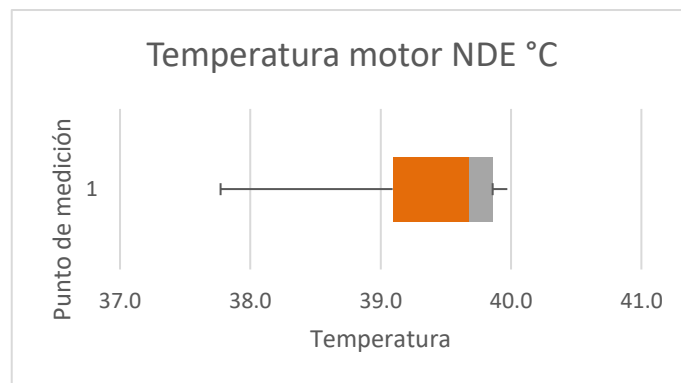
Las figuras 48 y 49 muestran los puntos de temperatura tomados en el motor de la criba dos, estos muestran resultados variables de temperatura en el

motor en los puntos DE y NDE. Las muestras de temperatura fueron tomadas con el pirómetro marca fluke 572-2.

La figura 48 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q_1 = 25 \% = 43.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los datos siendo este  $Q_2 = 50 \% = 44.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El cuartil 3 es equivalente al 75 % de los datos siendo equivalente a  $Q_3 = 75 \% = 44.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Teniendo un rango inter-cuartil de  $0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Figura 48.**

*Temperatura del motor NDE criba dos*



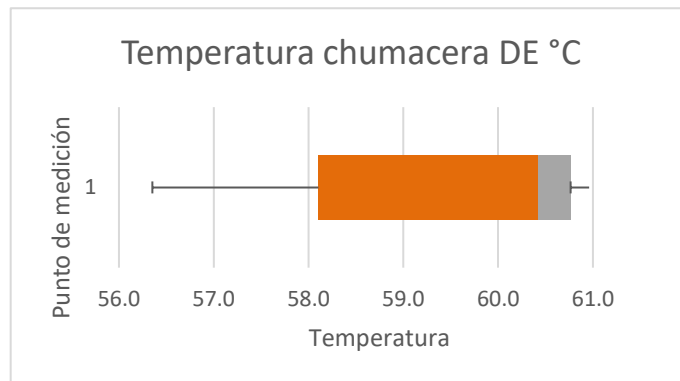
*Nota.* Gráfica de temperatura del motor de lado NDE del motor de la criba 2. Elaboración propia, realizado con Excel.

La figura 49 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q_1 = 25 \% = 39.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los datos siendo este  $Q_2 = 50 \% = 39.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El cuartil 3 es equivalente al 75 % de los datos siendo equivalente a  $Q_3 = 75 \% = 39.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Teniendo un rango inter-cuartil de  $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Las siguientes figuras muestran los puntos de temperatura tomados en las chumaceras de la criba dos, los cuales muestran resultados variables de temperatura en la criba dos en los puntos DE y NDE, las muestras de temperatura fueron tomadas con el pirómetro marca fluke 572-2.

**Figura 49.**

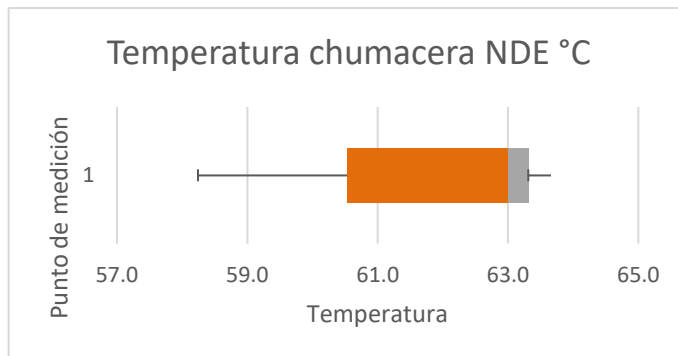
*Temperatura de chumacera DE criba dos*



*Nota.* Gráfica de temperatura de la chumacera de lado DE de la criba 2. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Figura 50.**

*Temperatura de chumacera NDE criba dos*



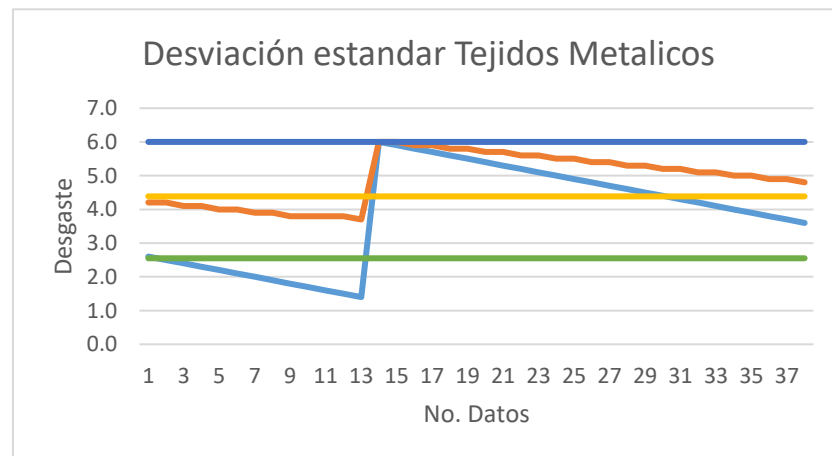
*Nota.* Gráfica de temperatura de la chumacera de lado NDE de la criba 2. Elaboración propia, realizado con Excel.

La figura 50 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q_1 = 25 \% = 58.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los datos siendo este  $Q_2 = 50 \% = 60.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El cuartil 3 es equivalente al 75 % de los datos siendo equivalente a  $Q_3 = 75 \% = 60.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Teniendo un rango intercuartil de  $2.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La figura 51 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q_1 = 25 \% = 60.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los datos siendo este  $Q_2 = 50 \% = 63.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El cuartil 3 es equivalente al 75 % de los datos siendo equivalente a  $Q_3 = 75 \% = 63.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Teniendo un rango intercuartil de  $2.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Figura 51.

*Desgaste de tejido metálico de criba dos*



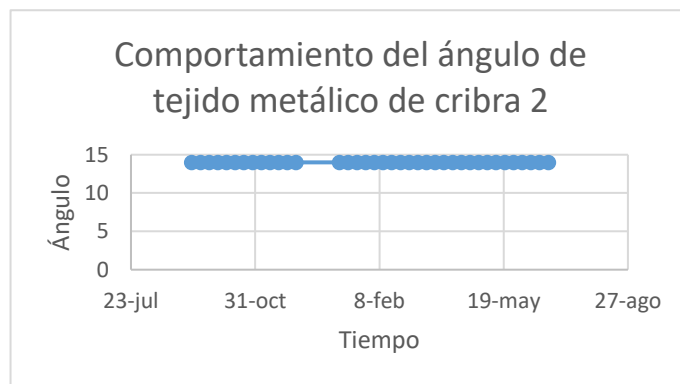
*Nota.* Gráfica de desgaste de los tejidos metálicos de la criba 2. Elaboración propia, realizado con Excel.

La figura 52 muestra mediante el gráfico de líneas el límite superior e inferior, así como el promedio general del desgaste de los tejidos metálicos, en la gráfica se incluye el desgaste de los dos tejidos metálicos. En la gráfica el

tejido metálico número uno es el que mayor desgaste sufre debido a la abrasión de la antracita la cual impacta sobre el tejido directamente al caer del triturador este tejido metálico se sale del límite inferior. El tejido metálico dos se mantiene dentro del rango puesto que no llega ni al límite mínimo.

**Figura 52.**

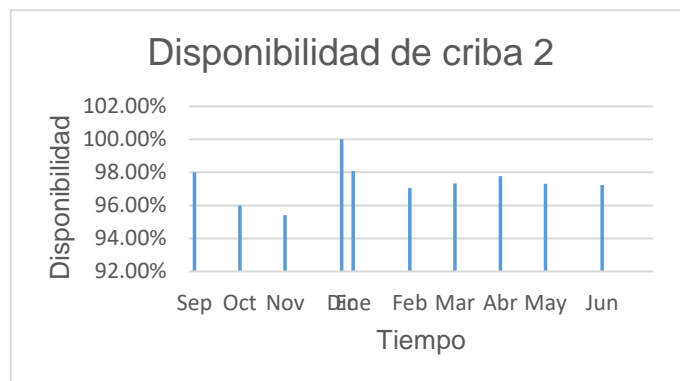
*Ángulos de tejido metálico de criba dos*



*Nota.* Gráfica de ángulos de los tejidos metálicos de la criba 2. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Figura 53.**

*Disponibilidad de criba dos*



*Nota.* Gráfica de disponibilidad de la criba 2. Elaboración propia, realizado con Excel.



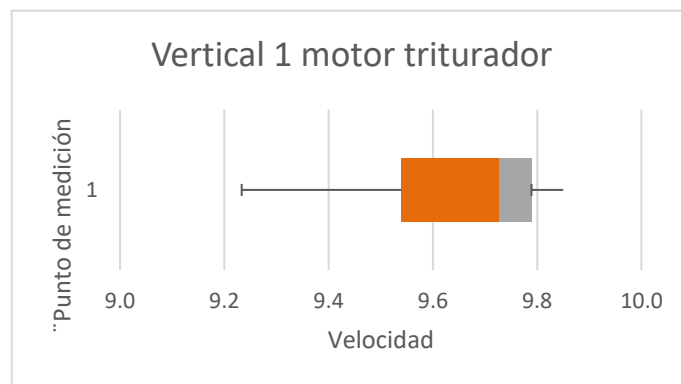
La figura 53 mediante la gráfica de dispersión con líneas suavizada nos muestra que a pesar del desgaste que se genera en los tejidos metálicos, el ángulo no se ve afectado, debido a que no existe deflexión en estos elementos de la criba dos. Por lo tanto, se mantiene el ángulo de trabajo requerido.

En la figura 54 mediante el diagrama de barras se muestra el porcentaje de disponibilidad mensual de la criba dos durante los meses evaluados. Cabe resaltar que el mes de diciembre 2021 aparece con una disponibilidad del 100 % pero solamente opero durante la primera semana el equipo ya que todos los años durante ese mes los equipos son sometidos a mantenimiento anual.

Las figuras 55, 56, 57, 58 muestran los puntos tomados en el motor del triturador, los cuales muestran los resultados de la variabilidad de vibraciones en el motor en los puntos DE (*Driving end*) y NDE (*Non-driving end*), la transmisión del motor hacia el triturador se da por medio de poleas y fajas, por lo cual fue posible solamente tomar los puntos verticales y horizontales del motor.

#### **Figura 54.**

*Vibraciones V1 motor triturador*



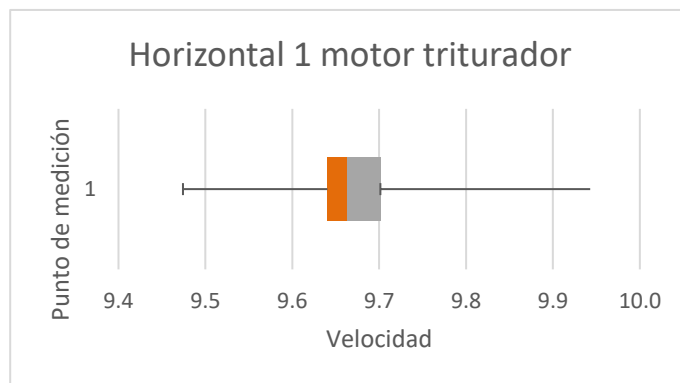
*Nota.* Gráfica de vibraciones vertical 1 del motor del triturador. Elaboración propia, realizado con Excel.

La figura 55 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q_1 = 25 \% = 9.5 \text{ mm/s}$ . El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los datos siendo este  $Q_2 = 50 \% = 9.7 \text{ mm/s}$ . El cuartil 3 es equivalente al 75 % de los datos siendo equivalente a  $Q_3 = 75 \% = 9.8 \text{ mm/s}$ . Teniendo un rango intercuartil de  $0.3 \text{ mm/s}$ .

La figura 56 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q_1 = 25 \% = 9.6 \text{ mm/s}$ . El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los datos siendo este  $Q_2 = 50 \% = 9.7 \text{ mm/s}$ . El cuartil 3 es equivalente al 75 % de los datos siendo equivalente a  $Q_3 = 75 \% = 9.7 \text{ mm/s}$ . Teniendo un rango intercuartil de  $0.1 \text{ mm/s}$ .

### Figura 55.

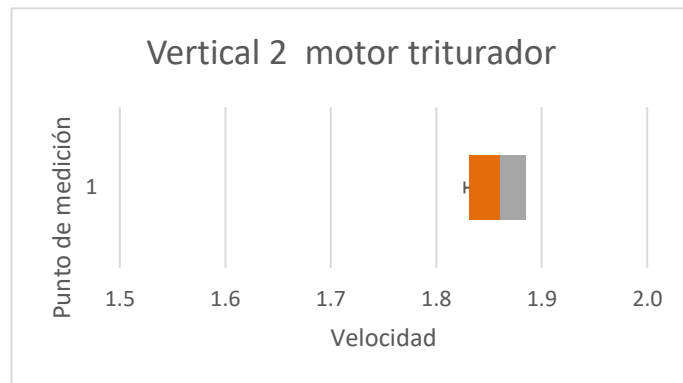
*Vibraciones H1 motor triturador*



*Nota.* Gráfica de vibraciones horizontal 1 del motor del triturador. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Figura 56.**

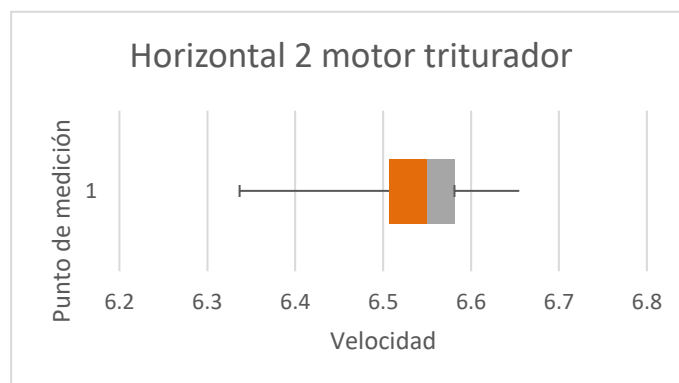
*Vibraciones V2 motor triturador*



*Nota.* Gráfica de vibraciones vertical 2 del motor del triturador. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Figura 57.**

*Vibraciones H2 motor triturador*



*Nota.* Gráfica de vibraciones horizontal 2 del motor del triturador. Elaboración propia, Realizado con Excel.

La figura 57 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q_1 = 25 \% = 1.8 \text{ mm/s}$ . El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los

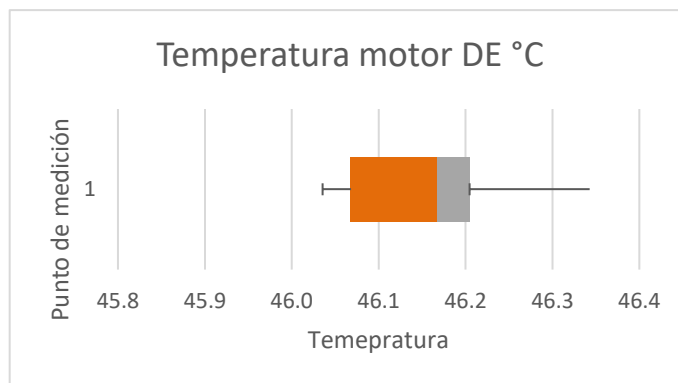
datos siendo este  $Q_2 = 50 \% = 1.9 \text{ mm/s}$ . El cuartil 3 es equivalente al 75 % de los datos siendo equivalente a  $Q_3 = 75 \% = 1.9 \text{ mm/s}$ . Teniendo un rango intercuartil de 0.1 mm/s.

La figura 58 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q_1 = 25 \% = 6.5 \text{ mm/s}$ . El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los datos siendo este  $Q_2 = 50 \% = 6.5 \text{ mm/s}$ . El cuartil 3 es equivalente al 75 % de los datos siendo equivalente a  $Q_3 = 75 \% = 6.6 \text{ mm/s}$ . Teniendo un rango intercuartil de 0.1 mm/s.

Las figuras 59 y 60 muestran los puntos de temperatura tomados en el motor del triturador, estos muestran resultados variables de temperatura en el motor en los puntos DE y NDE. Las muestras de temperatura fueron tomadas con el pirómetro marca fluke 572-2.

### Figura 58.

*Temperatura del motor DE triturador*

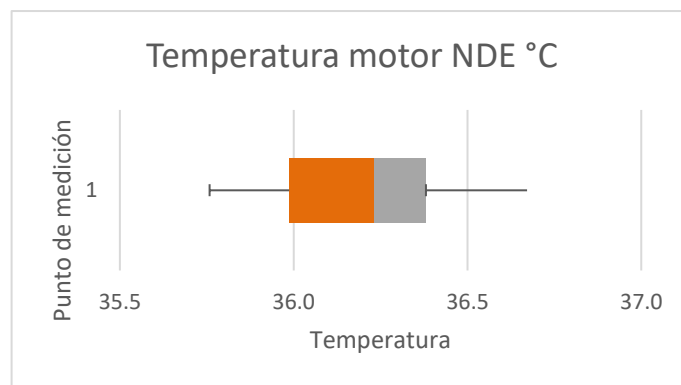


*Nota.* Gráfica de temperatura de lado DE del motor del triturador. Elaboración propia, realizado con Excel.

La figura 59 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q_1 = 25 \% = 46.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los datos siendo este  $Q_2 = 50 \% = 46.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El cuartil 3 es equivalente al 75 % de los datos siendo equivalente a  $Q_3 = 75 \% = 46.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Teniendo un rango intercuartil de  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Figura 59.**

*Temperatura del motor NDE triturador*



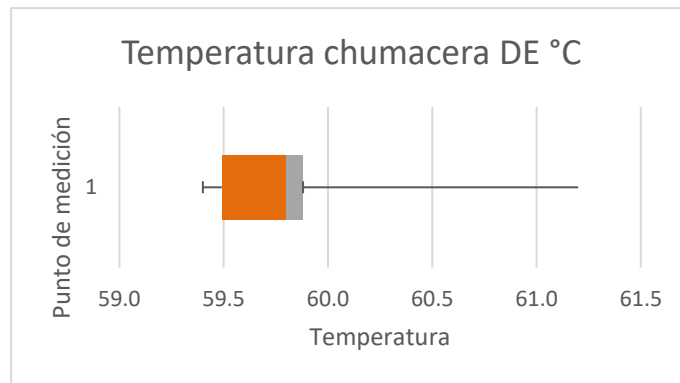
*Nota.* Gráfica de temperatura de lado NDE del motor del triturador. Elaboración propia, realizado con Excel.

La figura 60 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q_1 = 25 \% = 36.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los datos siendo este  $Q_2 = 50 \% = 36.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El cuartil 3 es equivalente al 75 % de los datos siendo equivalente a  $Q_3 = 75 \% = 36.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Teniendo un rango intercuartil de  $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Las figuras 61 y 62 muestran los puntos de temperatura tomados en las chumaceras del triturador, estos muestran resultados variables de temperatura en las chumaceras en los puntos DE y NDE. Las muestras de temperatura fueron tomadas con el pirómetro marca fluke 572-2.

**Figura 60.**

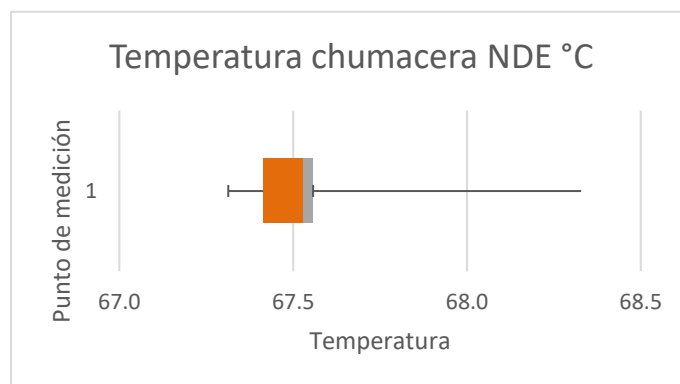
*Temperatura de chumacera DE triturador*



Nota. Gráfica de temperatura de la chumacera DE del triturador. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Figura 61.**

*Temperatura de chumacera NDE triturador*



Nota. Gráfica de temperatura de lado NDE del motor del triturador. Elaboración propia, Realizado con Excel.

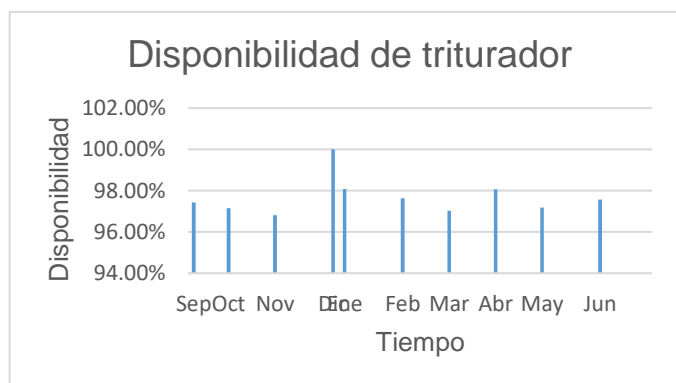
La figura 61 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q1 = 25\% = 59.5\text{ °C}$ . El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los

datos siendo este  $Q2 = 50 \% = 59.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El cuartil 3 es equivalente al 75 % de los datos siendo equivalente a  $Q3 = 75 \% = 59.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Teniendo un rango intercuartil de  $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La figura 62 muestra que el cuartil 1 es equivalente al 25 % de los datos siendo este  $Q1 = 25 \% = 67.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El cuartil 2 es equivalente al 50 % de los datos siendo este  $Q2 = 50 \% = 67.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El cuartil 3 es equivalente al 75 % de los datos siendo equivalente a  $Q3 = 75 \% = 67.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Teniendo un rango intercuartil de  $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Figura 62.

#### *Disponibilidad del triturador*



*Nota.* Gráfica de disponibilidad del triturador. Elaboración propia, realizado con Excel.

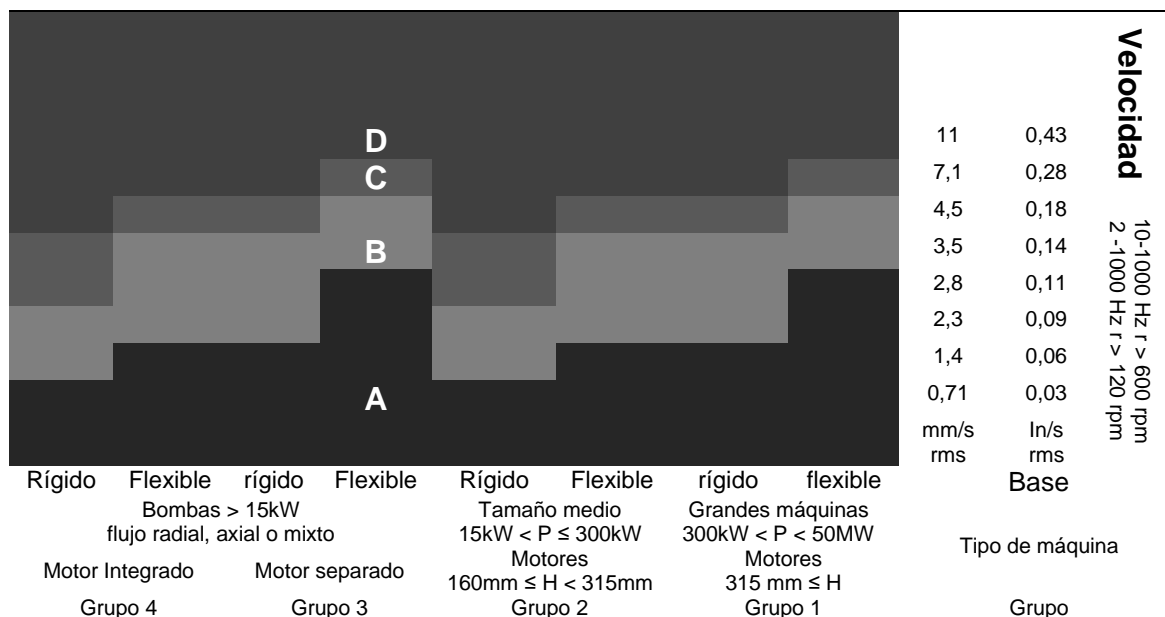
En la figura 63 mediante el diagrama de barras se muestra el porcentaje de disponibilidad mensual del triturador durante los meses evaluados. Cabe resaltar que el mes de diciembre 2021 aparece con una disponibilidad del 100 % pero solamente opero durante la primera semana el equipo ya que todos los años durante ese mes los equipos son sometidos a mantenimiento anual.

### 3.2. Discusión de resultados

En esta fase de la investigación se presentan todos los resultados obtenidos durante la investigación, tal cual se muestra en las figuras anteriores. Se utilizaron diferentes tipos de gráficas para la interpretación de los resultados obtenidos, los cuales hacen referencia a la vibración, temperatura, ángulo, desgaste, disponibilidad de los equipos de triturado y cribado.

**Figura 63.**

*Norma ISO 10816 Vibración mecánica de máquinas*



*Nota.* Norma ISO 10816 Vibración mecánica de máquinas. Obtenido de Robles, (s.f.). Norma ISO para vibraciones ISO 10816 ([https://mantenimientoplanificado.com/art%3%adculos%20PREDICTIVO\\_archivos/Norma%20ISO%2010816%20severidad%20vibracion.pdf](https://mantenimientoplanificado.com/art%3%adculos%20PREDICTIVO_archivos/Norma%20ISO%2010816%20severidad%20vibracion.pdf)) consultado el 15 de mayo de 2022. De dominio público.



**Tabla 22.**

*Evaluación de vibraciones mecánicas de máquinas con velocidades de operación*

<b>Zona</b>	<b>Descripción</b>
Zona A	Valores de vibración de máquinas recién puestas en funcionamiento o reacondicionamiento.
Zona B	Máquinas que pueden funcionar indefinidamente sin restricciones.
Zona C	La condición de la máquina no es adecuada para una operación continua, sino solamente para un periodo de tiempo limitado. Se deberían llevar a cabo medidas correctivas en la siguiente parada programada.
Zona D	Los valores de vibración son peligrosos, la máquina puede sufrir daños

*Nota.* Se muestran las zonas y descripción de estas que conforman la evaluación de vibraciones mecánicas de máquinas con velocidades de operación. Obtenido de Norma ISO para vibraciones ISO 10816 Robles, (s/f). ([https://mantenimientoplanificado.com/art%20c3%20adculos%20PREDICTIVO\\_archivos/Norma%20ISO%2010816%20severidad%20vibracion.pdf](https://mantenimientoplanificado.com/art%20c3%20adculos%20PREDICTIVO_archivos/Norma%20ISO%2010816%20severidad%20vibracion.pdf)) consultado el 15 de mayo de 2022. De dominio público.

### **3.2.1. Discusión de resultados de criba uno**

Con base en la tabla 21 y 22 se realiza la interpretación de datos del equipo de cribado uno, en la figura 31 se muestra que las vibraciones oscilan en un rango de 5.4 mm/s a 6.0 mm/s lo cual nos indica por medio de los valores de vibración que el equipo puede sufrir daños por el tipo de motor, el cual cuenta con una capacidad de 11kW. Las vibraciones son inaceptables debido a que excede el rango permitido que es de 0.71 a 3.5 mm/s.

La figura 32 se muestra que las vibraciones oscilan en un rango de 2.4 mm/s a 2.5 mm/s lo cual nos indica por medio de los valores de vibración que el

equipo puede sufrir daños por el tipo de motor, el cual cuenta con una capacidad de 11kW. Las vibraciones son inaceptables debido a que excede el rango permitido que es de 0.71 a 3.5 mm/s.

La figura 33 se muestra que las vibraciones oscilan en un rango de 12.0 mm/s a 12.3 mm/s lo cual nos indica por medio de los valores de vibración que el equipo puede sufrir daños por el tipo de motor, el cual cuenta con una capacidad de 11kW. Las vibraciones son inaceptables debido a que excede el rango permitido que es de 0.71 a 3.5 mm/s.

La figura 34 se muestra que las vibraciones oscilan en un rango de 7.0 mm/s a 7.1 mm/s lo cual nos indica por medio de los valores de vibración que el equipo puede sufrir daños por el tipo de motor, el cual cuenta con una capacidad de 11kW. Las vibraciones son inaceptables debido a que excede el rango permitido que es de 0.71 a 3.5 mm/s.

La figura 35 y 36 muestran el grado máximo de temperatura del motor en grados °C los cuales no exceden los 50 °C en los puntos DE y NDE. Lo cual nos indica que es aceptable porque no existe sobre calentamiento en las piezas rotativas.

La figura 37 y 38 muestran el grado máximo de temperatura de las chumaceras de la criba uno en grados °C los cuales exceden los 50°C en los puntos DE y NDE. Lo cual nos indica que se encuentra aún dentro del rango aceptable, pero debe de ser monitoreada debido a que puede existir un sobre calentamiento de las piezas rotativas.

La figura 39 muestra que el desgaste de las placas, la cual es mayor para la placa número uno debido a que es la que recibe dicho impacto por el

ángulo de caída, se deberá modificar el área de descarga para minimizar dicho desgaste abrasivo o bien utilizar algún elemento como el caucho para minimizar la fricción, así como al momento de realizar perforaciones de la lámina hardox 500 no exceder los 250 °C debido a que pierde sus propiedades el acero, esta lámina ha obtenido sus propiedades mecánicas debido al templado y al revenido.

La figura 40 muestra que el desgaste de los tejidos metálicos es mayor para la placa número uno debido a que es la que recibe dicho impacto por el ángulo de caída, se deberá modificar el área de descarga para minimizar dicho desgaste abrasivo o bien utilizar algún elemento como el caucho para minimizar la fricción.

La figura 41 y 42 nos muestran el rango de los ángulos de placa perforada y tejido metálico los cuales se encuentran dentro de los parámetros de operación para el proceso de cribado de antracita los cuales son de 14° a 18°.

La figura 43 muestra la disponibilidad del equipo de cribado uno, el cual tuvo 23 intervenciones preventivas, 17 intervenciones correctivas de septiembre de 2021 a junio de 2022. Lo cual dio un total de 100 horas con 43 minutos de tiempo de intervenciones de mantenimiento. Por lo tanto, esto genera un 97.64 % de disponibilidad del equipo, lo cual puede mejorar con base en un plan de mantenimiento para el equipo de cribado.

### **3.2.2. Discusión de resultados de criba dos**

Con base en las tablas 21 y 22 se realiza la interpretación de datos del equipo de cribado dos, en la figura 44 se muestra que las vibraciones oscilan en

un rango de 7.8 mm/s a 8.0 mm/s lo cual indica por medio de los valores de vibración que el equipo puede sufrir daños por el tipo de motor, el cual cuenta con una capacidad de 11kW. Las vibraciones son inaceptables debido a que excede el rango permitido que es de 0.71 a 3.5 mm/s.

La figura 45 se muestra que las vibraciones oscilan en un rango de 16.3 mm/s a 16.8 mm/s lo cual indica por medio de los valores de vibración que el equipo puede sufrir daños por el tipo de motor, el cual cuenta con una capacidad de 11kW. Las vibraciones son inaceptables debido a que excede el rango permitido que es de 0.71 a 3.5 mm/s.

La figura 46 se muestra que las vibraciones oscilan en un rango de 13.7 mm/s a 13.9 mm/s lo cual nos indica por medio de los valores de vibración que el equipo puede sufrir daños por el tipo de motor, el cual cuenta con una capacidad de 11kW. Las vibraciones son inaceptables debido a que excede el rango permitido que es de 0.71 a 3.5 mm/s.

La figura 47 se muestra que las vibraciones oscilan en un rango de 15.2 mm/s a 15.4 mm/s lo cual nos indica por medio de los valores de vibración que el equipo puede sufrir daños por el tipo de motor, el cual cuenta con una capacidad de 11kW. Las vibraciones son inaceptables debido a que excede el rango permitido que es de 0.71 a 3.5 mm/s.

La figura 48 y 49 muestran el grado máximo de temperatura del motor de la criba dos en grados °C los cuales no exceden los 50 °C en los puntos DE y NDE. Lo cual indica que es aceptable porque no existe sobre calentamiento en las piezas rotativas.

La figura 50 y 51 muestran el grado máximo de temperatura de las chumaceras de la criba dos en grados °C los cuales exceden los 50 °C en los puntos DE y NDE. Lo cual indica que se encuentra aún dentro del rango aceptable, pero debe ser monitoreada debido a que puede existir un sobre calentamiento de las piezas rotativas lo cual podría generar fricción y por consiguiente desgaste.

La figura 52 muestra que el desgaste de los tejidos metálicos es mayor para la placa número uno debido a que es la que recibe dicho impacto tras recibir de manera directa lo que está en proceso de trituración por el ángulo de caída, se deberá modificar el área de descarga para minimizar dicho desgaste abrasivo o bien utilizar algún elemento como el caucho para minimizar la fricción.

La figura 53 muestra el rango de los ángulos de los tejidos metálicos los cuales se encuentran dentro de los parámetros de operación para el proceso de cribado de antracita. Los cuales son de 14° a 18°.

La figura 54 muestra la disponibilidad del equipo de cribado dos el cual tuvo 23 intervenciones preventivas, 19 intervenciones correctivas de septiembre de 2021 a junio de 2022. Lo cual dio un total de 111 horas con 30 minutos de tiempo de intervenciones de mantenimiento. Por lo tanto, esto genera un 97.42 % de disponibilidad del equipo, lo cual puede mejorar con base en un plan de mantenimiento para el equipo de cribado.

### **3.2.3. Discusión de resultados de triturador**

Con base en la tabla 21 y 22 se realiza la interpretación de datos del equipo de triturado, en la figura 55 se muestra que las vibraciones oscilan en un

rango de 9.5 mm/s a 9.8 mm/s lo cual nos indica por medio de los valores de vibración que el equipo puede sufrir daños por el tipo de motor, el cual cuenta con una capacidad de 45kW. Las vibraciones son inaceptables debido a que excede el rango permitido que es de 0.71 a 3.5 mm/s.

La figura 56 se muestra que las vibraciones oscilan en un rango de 9.6 mm/s a 9.7 mm/s lo cual indica por medio de los valores de vibración que el equipo puede sufrir daños por el tipo de motor, el cual cuenta con una capacidad de 45kW. Las vibraciones son inaceptables debido a que excede el rango permitido que es de 0.71 a 3.5 mm/s.

La figura 57 se muestra que las vibraciones oscilan en un rango de 1.8 mm/s a 1.9 mm/s lo cual indica por medio de los valores de vibración que el equipo puede funcionar indefinidamente sin restricciones debido a que se encuentra dentro de los parámetros de operación el motor, el cual cuenta con una capacidad de 45kW. Las vibraciones son aceptables debido a que no excede el rango permitido que es de 0.71 a 3.5 mm/s.

La figura 58 se muestra que las vibraciones oscilan en un rango de 6.5 mm/s a 6.6 mm/s lo cual indica por medio de los valores de vibración que el equipo puede sufrir daños por el tipo de motor, el cual cuenta con una capacidad de 45kW. Las vibraciones son inaceptables debido a que excede el rango permitido que es de 0.71 a 3.5 mm/s.

La figura 59 y 60 muestran el grado máximo de temperatura del motor del triturador en grados °C los cuales no exceden los 50 °C en los puntos DE y NDE. Lo cual indica que es aceptable porque no existe sobre calentamiento en las piezas rotativas.

La figura 61 y 62 muestran el grado máximo de temperatura de las chumaceras del triturador en grados °C los cuales exceden los 50°C en los puntos DE y NDE. Lo cual indica que se encuentra aún dentro del rango aceptable, pero debe de ser monitoreada debido a que puede existir un sobre calentamiento de las piezas rotativas lo cual podría generar fricción y por consiguiente desgaste a los rodamientos.

La figura 63 muestra la disponibilidad del equipo de triturado el cual tuvo 22 intervenciones preventivas, 13 intervenciones correctivas de septiembre de 2021 a junio de 2022. Lo cual dio un total de 97 horas con 18 minutos de tiempo de intervenciones de mantenimiento. Por lo tanto, esto genera un 97.69 % de disponibilidad del equipo, lo cual puede mejorar con base en un plan de mantenimiento para el equipo de triturado.





## 4. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

En función de la discusión del equipo de cribado uno y dos y el equipo de triturado, se realiza la propuesta para la medición de características de los sistemas de cribado y triturado. En las figuras anteriores de los sistemas de cribado y triturado se muestran que los parámetros están fuera de rango en cuanto a las vibraciones. Para adecuar las mediciones se utiliza la tabla 21 y 22 como base para determinar las vibraciones de los equipos de triturado y cribado.

**Tabla 23.**

*Plan de mantenimiento criba 1*

Control de enmiendas					
Naturaleza de la modificación		Página	Revisión	Fecha	
Creación		Todas	01	08/10/2022	
Validación					
Redactor			Verificador		
Fecha	8/10/2022				
Nombre	Carlos José Lacán Raxón		Mtro, Ing. Luis Fernando Guillen Fernández		
Correo	carloslacan_2013@hotmail.com				
Difusión					
Puesto	Tipo de documento	No. de copia	Formato de la copia	Sitio de archivo	Fecha
Emisor	Original	0	Digital	Designado	30/11/2022
Ingeniero de producción	Copia	1	Digital	Designado	30/11/2022
Ingeniero de mantenimiento	Copia	2	Digital	Designado	30/11/2022

Continuación de la tabla 23.

Objetivo	Establecer un procedimiento de lubricación y mantenimiento para el monitoreo del estado y condición del equipo de cribado uno. Dentro de las cuales se debe de contar con inspección de tejidos metálicos, placas perforadas, limpieza de tamices, inspección de chumaceras, retorqueos, inspección de ángulos, lubricación de rodamientos.
----------	---

Alcance	El presente documento se constituye como una guía de mantenimiento para el equipo de cribado uno. El mantenimiento tiene actividades y periodicidad definidas conforme la tabla 'ACTIVIDADES'. La ficha de control de actividades se debe proponer, y debe llenarse en cada inspección realizada por parte del supervisor de mantenimiento; y entregarla en formato físico al técnico asignado para las actividades.
---------	--

Equipos involucrados	
No.	Equipo
1	Criba uno

Equipo de protección	
No.	Equipo
1	Ropa de trabajo: pantalón de lona, camisa manga larga. Enseres con identificación de empresa
2	Traje 3M desechable protección contra el trabajo
3	Botas de seguridad
4	Lentes de seguridad
5	Guantes de seguridad para trabajo pesado y trabajo liviano
6	Respirador 3M 6000 con filtro para partículas finas
7	Casco
8	Lámpara portátil con accesorio para colocación en cabeza

Herramienta	
No.	Herramienta
1	Llaves cola corona 10 mm a 32 mm
2	Torquímetro
3	Copas de profundidad de 10 mm a 32 mm
4	Engrasadora manual
5	Goniómetro
6	Destornilladores planos

Continuación de la tabla 23.

Materiales		
No.	Material	
1	Wipe de color	
2	Bolsas plásticas	
Insumos		
No.	Insumo	
1	Grasa a base de Litio EP-2	
2	Desengrasante	
Personal involucrado		
No.	Puesto	Competencia
Criba 1		
1	Técnico de mantenimiento	Realizar operaciones de monitoreo de condición y limpieza de los mesh primarios y secundarios. a. Desenergizar equipo de cribado uno. b. Realizar limpieza de mesh y de resortes. c. Desmontar tapaderas laterales para retorqueo de mesh. (aplicar 100Nm). d. Limpieza de chumacera (remoción de polvillo) e. Desenroscar graser, colocar manguera de engrasadora manual y aplicar 10 gr por rodamiento a la criba uno. f. Limpieza de exceso de grasa. La actividad requiere de dos colaboradores para trabajo en simultáneo en el equipo de cribado uno. Al finalizar se deberá solicitar nuevamente que se energice el equipo y solicitar que cuarto de control coloque el equipo en local para realizar pruebas respectivas.
		Validar la ejecución de los trabajos planteados bajo formato de trabajo seguro. Llevar registro y control de revisiones e inspecciones.
2	Supervisor de mantenimiento	
Tiempo estimado de ejecución		1.5 a 2.0 horas por equipo (conforme actividad planteada)

Continuación de la tabla 23.

Actividad			
Actividad	Desarrollo	Frecuencia	Insumos / herramientas
Limpieza de mesh	Remover la antracita que queda en los mesh primarios y secundarios, bolsas u otros objetos que impidan realizar el cribado.	Diaria	Puntas y varillas largas, bolsa para basura.
Retorqueo de tornillería	Desmontar tapaderas laterales, quitar contratuerca, aplicar torque de 100Nm por cada tensor, colocar nuevamente contratuerca y torqu coast a 100Nm.	Mensual	Torquímetro de ½", copa hexagonal de profundidad 24 mm, Rach de ½", llave cola-corona 24 mm.
Relubricación de rodamientos	Desmontar grasera, limpiarla, colocar boquilla para aplicación de grasa, aplicar 10 gr de grasa a base de Litio EP-2 por rodamiento.	Mensual	Llave cola-corona 14 mm, engrasadora manual, grasa EP-2, Wipe.
Inspección de roturas en tejido metálico o placa perforada	Realizar inspección visual de posibles roturas en los mesh primarios y secundarios, de ser necesario aplicar soldadura con electrodo de ferroníquel.	Mensual	Lámpara de 3000 lúmenes, Electrodo FeNi (si fuera necesario), máquina de soldar (si fuera necesaria), Careta, guantes, gabacha, mangas de soldador (si fueran necesarias)
Inspección y aprete de tornillería de chumacera	Revisión de tornillería de sujeción de chumacera aplicar 150Nm, y base de laberinto Revisar tuercas.	Trimestral	Copas Hex. 30 y 32 mm, Rach de ½", llaves 30 y 32 mm, torque de ½".

Continuación de la tabla 23.

Inspección y ajuste de fajas tipo V	Realizar una inspección visual de las correas o fajas de transmisión, verificando el desgaste, agrietamiento, elongación de la faja.	Trimestral	Llaves 17mm, copa 17mm, Rach de ½",
Inspección de contrapeso	Inspección de contrapeso y reapretar tornillería de sujeción.	Trimestral	Copas hexagonales 17, 19 y 30 mm, Rach de ½", Llaves cola-corona 17, 19 y 30 mm.
Remoción de grasa de Laberinto y rodamiento y ajuste de tuerca autoblocante	Remoción de grasa EP-2 de la zona de lubricación del rodamiento, lavar el rodamiento con DIELTRO, Lubricar nuevamente rodamiento y laberinto con 5 Lb de grasa. Verificar que la tuerca autoblocante y roldana de seguridad se encuentren ajustada.	Semestral	Copas hexagonales 17, 19 y 30 mm, Rach de ½", Llaves cola-corona 14, 17, 19 y 30 mm. Pistola flushing, Dieltro, Plancha de 50 cm <sup>2</sup> de asbesto de 3/32 para empaque, silicon permatex rojo para alta temperatura. Grasa EP-2, Llave de gancho, martillo y destornillador plano de impacto.
Cambio de correas o fajas	Realizar inspección sobre las condiciones de las fajas y realizar el cambio de la(s) que fuera(n) necesaria(s), realizar solamente ajuste de tensión si fuera requerido.	Semestral	Llaves de 17, 19 y 24 mm, copas 17, 19 y 24 mm, Rach de ½", cambio de correa trapezoidal C-90 marca OPTIBELT si fuera necesario.

Continuación de la tabla 23.

Cambio de rodamientos	Realizar inspección y cambio de rodamientos, teniendo el suficiente criterio de evaluación de los rodamientos.	Bianual	Extractores de bushing, polipasto, Juego de llaves cola-corona, Juego de copas mm. Prensa hidráulica.
Condiciones preliminares			
1	El personal debe contar con inducción de seguridad para realizar labores en el área de trabajo. Además, debe contar con permiso de trabajo seguro ATS para realizar labores, así como un permiso de trabajo en espacios confinados.		
2	Programación de visita para realizar las actividades descritas.		
3	Inspección y validación de equipo de protección personal (su colocación y uso) y de equipos varios de trabajo (contar con aval requerido; incluyendo accesorios requeridos para trabajo a realizar).		
4	Inspección y validación de herramienta.		
5	Verificación del plan de contingencia (redacción y explicación del permiso de trabajo).		
6	Se revisa zonas de trabajo, identificando accesos; puntos probables de evacuación y comunicación hacia puntos de reunión; acceso de enseres de trabajo y autorización de inicio de labores.		
Limpieza de mesh primario y secundario			
1	Dos técnicos de mantenimiento, utilizando EPP: guantes, lentes, casco, lámpara para casco; tras reconocer el procedimiento, removerán las tapaderas laterales de la criba uno; y por medio de varillas con punta iniciarán a remover la antracita que se encuentre pegada en los mesh hasta dejar libre la placa perforada y el tejido metálico.		
2	Realizarán inspección y ajuste de tornillería de la placa perforada y tejido metálico. Utilizando EPP descrito previamente retirarán papeles, plásticos u otros materiales que se encuentren dentro de la antracita en las placas perforadas y tejidos metálicos, luego colocarlos en bolsa para basura. Se realizará el cambio al tener la bolsa completamente llena. Realizan inspección de placa perforada y malla metálica y notificar sobre la condición.		
3	Realizar restauración de los tejidos metálicos y placas perforadas (de ser necesario). Fin de actividad.		

Continuación de la tabla 23.

Informe de actividades	
1	Realizado por el encargado de actividad de la empresa que realiza el servicio. Debe contener una descripción de todas las actividades realizadas, con observaciones relevantes, y con informe de secuencia fotográfica; establecidos en formato. Firmado por partes interesadas.
2	Presentar a la empresa con la periodicidad y formato convenidos.

*Nota.* La tabla se utilizó como base para determinar las vibraciones de los equipos de triturado y cribado. Plan de mantenimiento criba 1. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

**Tabla 24.**

*Funciones y parámetros de criba uno enfocadas al RCM*

Funciones y parámetros de criba 1	
Funciones	
1	El vibrador es impulsado por un motor de accionamiento a través de un acoplamiento o correas trapezoidales. La rotación de este vibrador provoca la fuerza centrífuga ejercida sobre la canasta de la criba en un plano vertical y esto hace que la canasta vibratoria obtenga una noción de vibración circular.
2	El diámetro del movimiento circular lo fija el vibrador y el peso desequilibrado se fija en él, cualquier modificación en la cesta de la criba o el vibrador perturbará el equilibrio de fuerzas y la vida útil del equipo.
3	La dirección de rotación del vibrador está marcada en el equipo. Con material flotante libre normal y con inclinación normal fija (14 ° a 18 °), el sentido de giro es hacia adelante.
4	Cuando se realiza el proceso de arranque de la criba, la máquina toma velocidad muy rápido y pasa por la frecuencia de resonancia, pero, cuando el motor se detiene, la velocidad se reduce bastante lentamente y en el período en el que pasa por su frecuencia de resonancia natural, la canasta de la pantalla comienza sacudiéndose erráticamente. Este tipo de comportamiento de la pantalla es normal.
5	El material por tamizar debe alimentarse uniformemente en todo el ancho de la pantalla. Cabe señalar que el peso del material cargado no afecta mucho a la carga en la máquina. Solo el 15% del peso actúa sobre la carga.

Continuación de la tabla 24.

6	La apertura del tejido metálico de la criba y el diámetro del movimiento circular están relacionados entre sí. Con una apertura de plataforma más grande, la pantalla funciona con un movimiento circular de mayor diámetro y menor R.P.M.	
Parámetros		
Temperatura de motor °C	DE	50 °C Amb
	NDE	50 °C Amb
Temperatura de chumaceras °C	DE	80 °C
	NDE	80 °C
Ángulo de placa perforada °	°	14° - 18°
Ángulo de tejido metálico °	°	14° - 18°
Amperaje del motor	Amp	19

*Nota.* Funciones y parámetros de la criba uno enfocadas al RCM. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

**Tabla 25.**

*Fallos, de la criba uno enfocadas en el RCM*

Descripción de la falla	Causa de la falla	Efectos de la falla	Consecuencias	Tareas proactivas / frecuencia de ejecución	Acciones predeterminadas
Disparo del equipo por atascamiento	Exceso de flujo, placas perforadas y tejidos metálicos sucios (Basura).	Los mesh primarios y secundarios no cumplen con la función de cribado y esto genera que el triturador reprocese material de más. difícil acceso al momento de querer desatascar el material.	Falta de disponibilidad del equipo. Retraso en la producción.	1. Regular el flujo de alimentación de los grizzly hopper de 50-60 TPH. 2. Limpieza de placas perforadas y tejidos metálicos (Diario).	Realizar paro de equipo de alimentación al momento de identificar que el flujo es mayor (bandas transportadoras)
Disparo del motor por amperaje elevado	Desalineación, exceso de carga.	Ruidos extraños, mal olor en el motor, cambios de temperatura en el motor.	Falta de disponibilidad del equipo. Retraso en la producción, probabilidad de daños en el motor.	1. Realizar inspección y alineación de poleas y correas tipo V trimestral. 2. Verificar que el flujo de ingreso sea de 60 TPH	Realizar paro de los equipos, realizar medidas correctivas.



Continuación de la tabla 25.

Rotura de correa(s) o faja(s)	Desgaste o agrietamiento de las correas trapezoidales por tiempo de trabajo, por mala alineación.	desalineación paralela angular, ruidos extraños, fajas sueltas.	Atascamiento de correa rota, mantenimientos correctivos, falta de disponibilidad del equipo.	1. Realizar inspección del estado y condición de las fajas o correas, realizar reajustes de tensión trimestral. 2. Verificar mediante un juego de galgas el desgaste que sufre la garganta de la polea por fricción, para programar su posterior cambio.	Realizar cambio y tomar medidas correctivas inmediatamente para colocar el equipo a funcionar nuevamente.
Ruido excesivo en el equipo	Tornillería suelta	Rotura en canasta, rotura en tejido metálico o placa perforada, amperaje elevado.	Exceso de vibración, material con demasiado volumen daña alimentadores,	1. Inspección y retorqueo de tornillería de canasta, mordazas de sujeción de placas perforadas y tejidos metálicos, tornillos tensores de placas perforadas. 2. Retorqueo de tornillería de chumacera. 3. Reapreté de tornillería de base del motor.	Si existen rupturas en las partes móviles y no se puede realizar ajustes, realizar trabajos de soldadura con electrodo de ferroníquel el cual es ideal para piezas que trabajan con vibraciones y desgases abrasivos.
Temperatura excesiva en chumacera	Falta lubricación, excesiva lubricación.	de Desgaste en rodamientos, desgaste de base de chumacera.	Incremento en las vibraciones, calentamiento de las bases, ruidos extraños.	1. Lubricación de rodamientos mensual con 10 gr de grasa a base de Litio EP-2. 2. Realizar limpieza semestral de rodamiento e inspección de chumaceras.	Al detectar el incremento de temperatura realizar paro del equipo y realizar las medidas correctivas necesarias.
Roturas en placa perforada / tejido metálico	Desgaste abrasivo causa material.	a del Roturas en placa perforada y tejido metálica.	Material no es clasificado correctamente, produce daños en los alimentadores de carbón.	1. Realizar evaluación para reforzar puntos de trenzado del tejido metálico con soldadura de ferroníquel. 2. Considerar el uso de un material de uretano termoplástico que disminuya el impacto y desgaste al ingreso de la criba.	Si existe ruptura en los elementos de los equipos se debe de realizar trabajos de soldadura inmediatamente para evitar que la antracita de gran volumen no dañe los alimentadores.

Continuación de la tabla 25.

Ruido en rodamientos o silbido	Desgaste en rodamiento por falta de lubricación o por incrustaciones de polvillo de antracita.	Temperatura elevada, ruidos extraños.	Rotura del rodamiento, falta de disponibilidad del equipo	1. Realizar evaluación del estado y condición de los rodamientos para poder realizar cambio. 2. Lubricación de rodamientos mensual con 10 gr de grasa a base de Litio EP-2. 3. Realizar limpieza semestral de rodamiento e inspección de chumaceras.	Si el rodamiento se encuentra en condiciones fuera de operación realizar cambio, si las chumaceras presentan desgaste y el rodamiento patina realizar ajuste con camisa de acero 1045 barra perforada de 205 x 230 mm
--------------------------------	--	---------------------------------------	---	--	---

*Nota.* Fallos, modos de falla, efectos del fallo, consecuencias, tareas y acciones predeterminadas de la criba uno enfocadas en el RCM. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

**Tabla 26.**

*Plan de mantenimiento triturador*

Control de enmiendas					
Naturaleza de la modificación		Página	Revisión	Fecha	
Creación		Todas	01	08/10/2022	
Validación					
Redactor			Verificador		
Fecha	8/10/2022				
Nombre	Carlos José Lacán Raxón		Luis Fernando Guillen Fernández		
Correo	carloslacan_2013@hotmail.com				
Difusión					
Puesto	Tipo de documento	No. de copia	Formato de la copia	Sitio de archivo	Fecha
Emisor	Original	0	Digital	Designado	30/11/2022
Ingeniero de producción	Copia	1	Digital	Designado	30/11/2022
Ingeniero de mantenimiento	Copia	2	Digital	Designado	30/11/2022

Continuación de la tabla 26.

Objetivo	Establecer un procedimiento de lubricación y mantenimiento para el monitoreo y estado de condición del triturador de martillos. Inspección de los martillos, rotor, eje, fajas, motor, chumaceras.
Alcance	El presente documento se constituye como una guía de mantenimiento para el equipo de triturado. El mantenimiento tiene actividades y periodicidad definidas conforme la tabla 'ACTIVIDADES'. La ficha de control de actividades se debe proponer, y debe llenarse en cada inspección realizada por parte del supervisor de mantenimiento; y entregarla en formato físico al técnico asignado para las actividades.
Equipos involucrados	
No.	Equipo
1	Triturador de martillos
Equipo de protección	
No.	Equipo
1	Ropa de trabajo: pantalón de lona, camisa manga larga. Enseres con identificación de empresa
2	Traje 3M desechable protección contra el trabajo
3	Botas de seguridad
4	Lentes de seguridad
5	Guantes de seguridad para trabajo pesado y trabajo liviano
6	Respirador 3M 6000 con filtro para partículas finas
7	Casco
8	Lámpara portátil con accesorio para colocación en cabeza
Herramienta	
No.	Herramienta
1	Llaves cola corona 10 mm a 32 mm
2	Torquímetro
3	Copas de profundidad de 10 mm a 32 mm
4	Engrasadora manual
5	Goniómetro
6	Destornilladores planos
Materiales	
No.	Material
1	Wipe de color
2	Bolsas plásticas
Insumos	
No.	Insumo

Continuación de la tabla 26.

1	Grasa a base de Litio EP-2		
2	Desengrasante		
Personal involucrado			
No.	Puesto	Competencia	
Triturador			
1	Técnico de mantenimiento	Realizar operaciones de monitoreo de condición de los martillos y placas de sacrificio. g. Desenergizar equipo de triturado. h. Realizar limpieza de resortes de calibración. i. Desmontar tapaderas frontales para retorqueo de tornillería de martillos. (aplicar 150Nm). j. Limpieza de chumacera (remoción de polvillo) k. Desenroscar grasera, colocar manguera de engrasadora manual y aplicar 50 gr por rodamiento de triturador cada 15 días. l. Limpieza de exceso de grasa. m. Inspección de placas de sacrificio. La actividad requiere de dos colaboradores para trabajo en simultáneo en el equipo de triturado. Al finalizar se deberá solicitar nuevamente que se energice el equipo y requerir que cuarto de control coloque el equipo en local para realizar pruebas respectivas.	
		Validar la ejecución de los trabajos planteados bajo formato de trabajo seguro. Llevar registro y control de revisiones e inspecciones.	
Tiempo estimado de ejecución		1.5 a 2.0 horas por equipo (conforme actividad planteada)	
Actividad			
Actividad		Desarrollo	Frecuencia
Limpieza de resortes de calibración		Remover la antracita que queda en los resortes, bolsas u otros objetos que impidan realizar el ajuste y calibración de placas de sacrificio y los martillos.	Mensual
		Insumos / herramientas Puntas y varillas medianas, bolsa para basura.	

Continuación de la tabla 26.

Retorqueo de tornillería	Desmontar tapaderas frontales, quitar contratuerca, aplicar torque de 150Nm por tornillo de martillo (cada martillo posee 2 tornillos), colocar nuevamente contratuerca y torquear a 150Nm.	Mensual	Torquímetro de ½", copa hexagonal de profundidad 30 mm, Rach de ½", llave cola-corona 30 mm.
Relubricación de rodamientos	Desmontar grasera, limpiarla, colocar boquilla para aplicación de grasa, aplicar 50 gr de grasa a base de Litio EP-2 por rodamiento.	Mensual	Llave cola-corona 14 mm, engrasadora manual, grasa EP-2, Wipe, Dieltro.
Inspección y de de aprete de tornillería de chumacera	Revisión de tornillería de sujeción de chumacera aplicar 100Nm, y reajustar castigadores de base de laberinto (Revisar castigadores Allen).	Trimestral	Copas hexagonales 30 mm, Rach de ½", llaves cola-corona 30 mm, torquímetro de ½". Llave Allen 6 mm.
Inspección de fajas tipo V	Inspección de grietas en fajas.	Trimestral	Copas hexagonales 17, 19 mm, Rach de ½", Llaves cola-corona 17, 19 mm.

Continuación de la tabla 26.

Remoción de grasa de rodamiento y ajuste de tuerca autoblocante	Remoción de grasa EP-2 de la zona de lubricación del rodamiento, lavar el rodamiento con DIELTRO, Lubricar nuevamente rodamiento y laberinto. Verificar que la tuerca autoblocante y roldana de seguridad se encuentren ajustada.	Semestral	Copa hexagonal de 30 mm, Rach de ½", Llave cola-corona 30 mm. Llave Allen 6 mm Pistola flushing, Dieltro, silicon permatex rojo para alta temperatura. Grasa EP-2, Llave de gancho, martillo y destornillador plano de impacto.
Inspección de fisuras en martillos y rotor	Realizar inspección visual de posibles fisuras en los martillos y rotor, de ser necesario aplicar soldadura con electrodo de ferroníquel.	Mensual	Lámpara de 3000 lúmenes, Electrodo FeNi (si fuera necesario), máquina de soldar (si fuera necesaria), Careta, guantes, gabacha, mangas de soldador (si fueran necesarias)
Condiciones preliminares			
1	El personal debe contar con inducción de seguridad para realizar labores en el área de trabajo. Además, debe contar con permiso de trabajo seguro ATS para realizar labores, así como un permiso de trabajo en espacios		
2	Programación de visita para realizar actividad descrita.		
3	Inspección y validación de equipo de protección personal (su colocación y uso) y de equipos varios de trabajo (contar con aval requerido; incluyendo accesorios requeridos para trabajo a realizar).		
4	Inspección y validación de herramienta.		
5	Verificación del plan de contingencia (redacción y explicación del permiso de trabajo).		

Continuación de la tabla 26.

6	Se revisa zonas de trabajo, identificando accesos; puntos probables de evacuación y comunicación hacia puntos de reunión; acceso de enseres de trabajo y autorización de inicio de labores.
Limpieza de resortes, martillos y rotor	
1	Dos técnicos de mantenimiento, utilizando EPP: guantes, lentes, casco, lámpara para casco; tras reconocer el procedimiento, removerán las tapaderas frontales del triturador; y por medio de varillas con punta iniciarán a remover la antracita que se encuentre pegada en los resortes de calibración hasta dejar libre cada resorte.
2	Realizarán inspección de placas de sacrificio. Utilizando EPP descrito previamente retiran papeles, plásticos u otros materiales que se encuentren dentro de la antracita en los martillos y rotor, luego colocarlos en bolsa para basura. Se realizará el cambio al tener la bolsa completamente llena. Realizan inspección de los martillos y tornillería y notificar sobre la condición.
3	Realizar restauración de los martillos (de ser necesario). Fin de actividad.
Informe de actividades	
1	Realizado por el supervisor de mantenimiento del área. Debe contener una descripción de todas las actividades realizadas, con observaciones relevantes, y con informe de secuencia fotográfica; establecidos en formato. Firmado por partes interesadas.
2	Presentar a la empresa con la periodicidad y formato convenidos.

*Nota.* Control de enmiendas del plan de mantenimiento triturador. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

**Tabla 27.**

*Funciones y parámetros de triturador enfocadas al RCM*

Funciones y parámetros de triturador	
Funciones	
1	Los puntos que deben comprobarse antes de poner en marcha el interruptor de triturador para la operación de trituración o molienda.
a.	Se deben revisar todos los pernos y tornillos del triturador.

Continuación de la tabla 27.

b.	No se debe alimentar material muy húmedo y pegajoso, ya que se adherirá a las cuchillas de triturador y las placas rompedoras.
c.	Es importante tener en cuenta que, durante el funcionamiento, el motor y el arrancador deben tener la capacidad adecuada para llevar el rotor del triturador de impacto a la velocidad máxima.
d.	Asegúrese de que el rompedor de impacto esté libre de cualquier material extraño.
2	Los puntos a tener en cuenta para el funcionamiento del triturador.
a.	El triturador de impacto es irreversible.
b.	Las placas rompedoras no son reversibles. El espacio entre la punta del rotor y la placa del rompedor se puede ajustar en las partes inferiores con una disposición de husillo con resorte. El espacio libre entre las puntas de las cuchillas o martillos de impacto y el extremo inferior de la placa del rompedor, esta diferencia de espacio da la relación de reducción correspondiente. La punta inferior de la placa rompedora está tan ajustada que proporciona el tamaño de salida de material requerido.
c.	Las cuchillas o martillos de impacto son reversibles y se pueden utilizar dos veces.
d.	El triturador de impacto debe funcionar suavemente sin vibraciones ni ruidos. Cualquier ruido repentino indica la presencia de material extraño o hierro atrapado de gran tamaño. No continúe la operación con este ruido, ya que dañará el triturador. El triturador se vuelve a poner a cero y se examina.
e.	La alimentación puede comenzar cuando el rotor ha alcanzado su velocidad máxima. La alimentación debe tener lugar en todo el ancho del rotor. El alimento debe estar libre de materiales extraños y no triturables.



Continuación de la tabla 27.

Parámetros		
Temperatura de motor °C	DE	50 °C Amb
	NDE	50 °C Amb
Temperatura de chumaceras °C	DE	80 °C
	NDE	80 °C
Amperaje del motor	Amp	72
Velocidad del rotor	RPM	1770
Velocidad del rotor	RPM	447
Capacidad de triturado	TPH	67.5
Tamaño de alimentación	Mm	-75; +25

*Nota.* Funciones y parámetros del triturador enfocadas al RCM. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

**Tabla 28.**

*Fallos, del triturador enfocadas en el RCM*

Descripción de la falla	Causa de la falla	Efectos de la falla	Consecuencias	Tareas proactivas / frecuencia de ejecución	Acciones predeterminadas
Disparo del equipo por atascamiento	Exceso de flujo de alimentación, materiales no triturables. Material muy húmedo.	El triturador no cumple con la función de triturado, los equipos se disparan por la secuencia de arranque automático secuencial. difícil acceso al momento de querer desatascar el material.	Falta de disponibilidad del equipo. Retraso en la producción.	1. Regular el flujo de alimentación de los grizzly hopper de 50-60 TPH. 2. Limpieza de triturador (Diario).	Realizar paro de equipo de alimentación al momento de identificar que el flujo es mayor (bandas transportadoras)

Continuación de la tabla 28.

Disparo del motor por amperaje elevado	Desalineación, exceso de carga.	Ruidos extraños, mal olor en el motor, cambios de temperatura en el motor.	Falta de disponibilidad del equipo. Retraso en la producción, probabilidad de daños en el motor.	1. Realizar inspección y alineación de poleas y correas tipo V trimestral. 2. Verificar que el flujo de ingreso sea de 60 TPH 3. Verificar la humedad de la antracita.	Realizar paro de los equipos, realizar medidas correctivas.
Rotura de correa(s) o faja(s)	Desgaste o agrietamiento de las correas trapezoidales por tiempo de trabajo, mala alineación.	desalineación paralela o angular, ruidos extraños, fajas sueltas.	Atascamiento de correa rota, mantenimientos correctivos, falta de disponibilidad del equipo.	1. Realizar inspección del estado y condición de las fajas o correas, realizar reajustes de tensión trimestral. 2. Verificar mediante un juego de galgas el desgaste que sufre la garganta de la polea por fricción, para programar su posterior cambio.	Realizar cambio y tomar medidas correctivas inmediatamente para colocar el equipo a funcionar nuevamente.
Ruido excesivo en el equipo	Tornillería suelta	Rotura en el rotor, rotura de martillos, rotura en placa rompedora.	Exceso de vibración, materiales no son triturados correctamente.	1. Inspección y retorqueo de tornillería de placas rompedoras. 2. Retorqueo de tornillería de chumacera. 3. Retorqueo de tornillería de martillos 4. Reapreté de tornillería de base del motor.	Si existen rupturas en las partes rotativas o estacionaras y no se puede realizar ajustes, realizar trabajos de soldadura con electrodo de ferroníquel el cual es ideal para piezas que trabajan con vibraciones y desgase abrasivo.
Temperatura excesiva en chumacera	Falta de lubricación, excesiva lubricación, tuerca de seguridad floja.	Desgaste en rodamientos, desgaste de base de chumacera.	Incremento en las vibraciones, calentamiento de las bases, ruidos extraños.	1. Lubricación de rodamientos mensual con 50 gr de grasa a base de Litio EP-2. 2. Realizar limpieza semestral de rodamiento e inspección de chumaceras.	Al detectar el incremento de temperatura realizar paro del equipo y realizar las medidas correctivas necesarias.

Continuación de la tabla 28.

Roturas desgaste martillos	o de	Desgaste abrasivo a causa del material, o de piezas sueltas	Roturas en placa perforada y tejido metálica.	Material no es triturado correctamente y se reprocesa muchas veces.	1. Realizar evaluación para reforzar puntos de desgaste con soldadura de ferroníquel. 2. Realizar soldadura en la áreas agrietadas o rotas con soldadura y electrodo de ferroníquel.	Si existe ruptura en los elementos de los equipos se debe de realizar trabajos de soldadura inmediatamente para evitar daños catastróficos.
Ruido rodamientos silbido	en o	Desgaste en rodamiento por falta de lubricación o por incrustaciones de polvillo de antracita.	Temperatura elevada, ruidos extraños.	Rotura del rodamiento, falta de disponibilidad del equipo	1. Realizar evaluación del estado y condición de los rodamientos para poder realizar cambio. 2. Lubricación de rodamientos mensual con 50 gr de grasa a base de Litio EP-2. 3. Realizar limpieza semestral de rodamiento e inspección de chumaceras.	Si el rodamiento se encuentra en condiciones fuera de operación realizar cambio, si las chumaceras presentan desgaste y el rodamiento patina realizar ajuste con camisa de acero 1045.

*Nota.* Fallos, modos de falla, efectos del fallo, consecuencias, tareas y acciones predeterminadas del triturador enfocadas en el RCM. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

**Tabla 29.**

*Plan de mantenimiento criba dos*

Control de enmiendas				
Naturaleza de la modificación		Página	Revisión	Fecha
Creación		Todas	01	08/10/2022
Validación				
Redactor		Verificador		
Fecha	8/10/2022			
Nombre	Carlos José Lacán Raxón	Luis Fernando Guillen Fernández		
Correo	carloslaca_n_2013@hotmail.com			

Continuación de la tabla 29.

Difusión					
Puesto	Tipo de documento	No. de copia	Formato de la copia	Sitio de archivo	Fecha
Emisor	Original	0	Digital	Designado	30/11/2022
Ingeniero de producción	Copia	1	Digital	Designado	30/11/2022
Ingeniero de mantenimiento	Copia	2	Digital	Designado	30/11/2022
Objetivo	Establecer un procedimiento de lubricación y mantenimiento para el monitoreo y estado de condición del equipo de cribado dos. Dentro de las cuales se debe de contar con inspección de tejidos metálicos, limpieza de tamices, inspección de chumaceras, retorqueos, inspección de ángulos, lubricación de rodamientos,				
Alcance	El presente documento se constituye como una guía de mantenimiento para el equipo de cribado dos. El mantenimiento tiene actividades y periodicidad definidas conforme la tabla 'ACTIVIDADES'. La ficha de control de actividades se debe proponer, y debe llenarse en cada inspección realizada por parte del supervisor de mantenimiento; y entregarla en formato físico al técnico asignado para las actividades.				
Equipos involucrados					
No.	Equipo				
1	Criba dos				
Equipo de protección					
No.	Equipo				
1	Ropa de trabajo: pantalón de lona, camisa manga larga. Enseres con identificación de empresa				
2	Traje 3M desechable protección contra el trabajo				
3	Botas de seguridad				
4	Lentes de seguridad				
5	Guantes de seguridad para trabajo pesado y trabajo liviano				
6	Respirador 3M 6000 con filtro para partículas finas				
7	Casco				
8	Lámpara portátil con accesorio para colocación en cabeza				
Herramienta					
No.	Herramienta				
1	Llaves cola corona 10 mm a 32 mm				
2	Torquímetro				
3	Copas de profundidad de 10 mm a 32 mm				

Continuación tabla 29.

4	Engrasadora manual	
5	Goniómetro	
6	Destornilladores planos	
Materiales		
No.	Material	
1	Wipe de color	
2	Bolsas plásticas	
Insumos		
No.	Insumo	
1	Grasa a base de Litio EP-2	
2	Desengrasante	
Personal involucrado		
No.	Puesto	Competencia
1	Técnico de mantenimiento	Realizar operaciones de monitoreo de condición y limpieza de los mesh.
		n. Desenergizar equipo de cribado dos.
		o. Realizar limpieza de mesh.
		p. Realizar retorqueo de mesh. con copa de profundidad 30 mm (aplicar 100Nm) enfrente y lado posterior del mesh.
		q. Verificar si los ajustes de madera se encuentran en buen estado (cambiar si fuese necesario)
		r. Inspección de soportes de caucho (cambiar si fuese necesario).
		s. Limpieza de chumacera (remoción de polvillo)
		t. Desenroscar grasera, colocar manguera de engrasadora manual y aplicar 10 gr por rodamiento de criba dos.
		u. Limpieza de exceso de grasa.
		La actividad requiere de dos colaboradores para trabajo en simultáneo en el equipo de cribado uno.
Al finalizar se deberá solicitar nuevamente que se energice el equipo y solicitar que cuarto de control coloque el equipo en local para realizar pruebas respectivas.		
2	Supervisor de mantenimiento	Validar la ejecución de los trabajos planteados bajo formato de trabajo seguro. Llevar registro y control de revisiones e inspecciones.

Continuación de la tabla 29.

Tiempo estimado de ejecución		1.5 a 2.0 horas por equipo (conforme actividad planteada)	
Actividad			
Actividad	Desarrollo	Frecuencia	Insumos / herramientas
Limpieza de mesh	Remover la antracita que queda en los tejidos metálicos, bolsas u otros objetos que impidan realizar el cribado.	Diaria	Puntas y varillas largas, bolsa para basura.
Retorqueo de tornillería	Desmontar tapaderas laterales, quitar contratuerca, aplicar torque de 100Nm por cada tensor, colocar nuevamente contratuerca y torqupear a 100Nm.	Mensual	Torquímetro de ½", copa hexagonal de profundidad 30 mm, Rach de ½", llave cola-corona 30 mm.
Relubricación de rodamientos	Desmontar gracera, limpiarla, colocar boquilla para aplicación de grasa, aplicar 10 gr de grasa a base de Litio EP-2 por rodamiento.	Mensual	Llave cola-corona 14 mm, engrasadora manual, grasa EP-2, Wipe, Dieltro.
Inspección y aprete de tornillería de chumacera	Revisión de sujeción de de chumacera aplicar 150Nm, y base de laberinto (Revisar tuercas de ajuste).	Trimestral	Copas hexagonales 30 y 32 mm, Rach de ½", llaves cola-corona 30 y 32 mm, torquímetro de ½".

Continuación de la tabla 29.

Inspección de contrapeso	Inspección de contrapeso y reapretar tornillería de sujeción.	Trimestral	Copas hexagonales 17, 19 y 30 mm, Rach de ½", Llaves cola-corona 17, 19 y 30 mm.
Remoción de grasa Laberinto y rodamiento	Remoción de grasa EP-2 de la zona de lubricación del rodamiento, lavar el rodamiento con DIELTRO, Lubricar nuevamente rodamiento y laberinto. Verificar que la tuerca autoblocante y roldana de seguridad se encuentren ajustada.	Semestral	Copas hexagonales 17, 19 y 30 mm, Rach de ½", Llaves cola-corona 14, 17, 19 y 30 mm. Pistola flushing, Dieltro, Plancha de 50 cm² de asbesto de 3/32 para empaque, silicon permatex rojo para alta temperatura. Grasa EP-2, Llave de gancho, martillo y destornillador plano de impacto.
Inspección de roturas en tejido metálico o placa perforada	Realizar inspección visual de posibles roturas en los tejidos metálicos, de ser necesario aplicar soldadura con electrodo de ferroníquel.	Mensual	Lámpara de 3000 lúmenes, Electrodo FeNi (si fuera necesario), máquina de soldar (si fuera necesaria), Careta, guantes, gabacha, mangas de soldador (si fueran necesarias)

Continuación de la tabla 29.

Condiciones preliminares	
1	El personal debe contar con inducción de seguridad para realizar labores en el área de trabajo. Además, debe contar con permiso de trabajo seguro ATS para realizar labores, así como un permiso de trabajo en espacios confinados.
2	Programación de visita para realizar las actividades descritas.
3	Inspección y validación de equipo de protección personal (su colocación y uso) y de equipos varios de trabajo (contar con aval requerido; incluyendo accesorios requeridos para trabajo a realizar).
4	Inspección y validación de herramienta.
5	Verificación del plan de contingencia (redacción y explicación del permiso de trabajo).
6	Se revisa zonas de trabajo, identificando accesos; puntos probables de evacuación y comunicación hacia puntos de reunión; acceso de enseres de trabajo y autorización de inicio de labores.
Limpieza de mesh	
1	Dos técnicos de mantenimiento, utilizando EPP: guantes, lentes, casco, lámpara para casco; tras reconocer el procedimiento, removerán las tapaderas frontales de la criba dos; y por medio de varillas con punta iniciarán a remover la antracita que se encuentre pegada en los mesh hasta dejar libre el tejido metálico.
2	Realizarán inspección de ajustes de madera y caucho de soporte para tejido metálico. Utilizando EPP descrito previamente retirarán papeles, plásticos u otros materiales que se encuentren dentro de la antracita en los tejidos metálicos, luego colocarlos en bolsa para basura. Se realizará el cambio al tener la bolsa completamente llena. Realizan inspección de malla metálica y notificar sobre la condición.
3	Realizar restauración de los tejidos metálicos (de ser necesario). Fin de actividad.
Informe de actividades	
1	Realizado por el supervisor de mantenimiento del área. Debe contener una descripción de todas las actividades realizadas, con observaciones relevantes, y con informe de secuencia fotográfica; establecidos en formato. Firmado por partes interesadas.
2	Presentar a la empresa con la periodicidad y formato convenidos.

*Nota.* Control de enmiendas del plan de mantenimiento criba 2. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.



**Tabla 30.***Funciones y parámetros de criba dos enfocadas al RCM*

Funciones y parámetros de criba 2		
Funciones		
1	El vibrador es impulsado por un motor de accionamiento a través de un acoplamiento o correas trapezoidales. La rotación de este vibrador provoca la fuerza centrífuga ejercida sobre la canasta de la criba en un plano vertical y esto hace que la canasta vibratoria obtenga una noción de vibración circular.	
2	El diámetro del movimiento circular lo fija el vibrador y el peso desequilibrado se fija en él, cualquier modificación en la cesta de la criba o el vibrador perturbará el equilibrio de fuerzas y la vida útil del equipo.	
3	La dirección de rotación del vibrador está marcada en el equipo. Con material flotante libre normal y con inclinación normal fija (14 ° a 18 °), el sentido de giro es hacia adelante.	
4	Cuando se realiza el proceso de arranque de la criba, la máquina toma velocidad muy rápido y pasa por la frecuencia de resonancia, pero, cuando el motor se detiene, la velocidad se reduce bastante lentamente y en el período en el que pasa por su frecuencia de resonancia natural, la canasta de la pantalla comienza sacudiéndose erráticamente. Este tipo de comportamiento de la pantalla es normal.	
5	El material por tamizar debe alimentarse uniformemente en todo el ancho de la pantalla. Cabe señalar que el peso del material cargado no afecta mucho a la carga en la máquina. Solo el 15% del peso actúa sobre la carga.	
6	La apertura del tejido metálico de la criba y el diámetro del movimiento circular están relacionados entre sí. Con una apertura de plataforma más grande, la pantalla funciona con un movimiento circular de mayor diámetro y menor R.P.M.	
Parámetros		
Temperatura de motor °C	DE	50 °C Amb
	NDE	50 °C Amb
Temperatura de chumaceras °C	DE	80 °C
	NDE	80 °C
Ángulo de tejido metálico °	°	14° - 18°
Amperaje del motor	Amp	19

*Nota.* Funciones y parámetros de la criba uno enfocadas al RCM. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

**Tabla 31.**

*Fallos, predeterminadas de la criba uno enfocadas en el RCM*

Descripción de la falla	Causa de la falla	Efectos de la falla	Consecuencias	Tareas proactivas / frecuencia de ejecución	Acciones predeterminadas
Disparo del equipo por atascamiento o	Exceso de flujo, placas perforadas y tejidos metálicos sucios (Basura).	Los mesh no cumplen con la función de cribado y esto genera que el triturador reprocese material de más. difícil acceso al momento de querer desatascar el material.	Falta de disponibilidad del equipo. Retraso en la producción.	1. Regular el flujo de alimentación de los grizzly hopper de 50-60 TPH. 2. Limpieza de tejidos metálicos (Diario).	Realizar paro de equipo de alimentación al momento de identificar que el flujo es mayor (bandas transportadoras)
Disparo del motor por amperaje elevado	Desalineación, exceso de carga.	Ruidos extraños, mal olor en el motor, cambios de temperatura en el motor.	Falta de disponibilidad del equipo. Retraso en la producción, probabilidad de daños en el motor.	1. Realizar inspección y alineación de poleas y correas tipo V trimestral. 2. Verificar que el flujo de ingreso sea de 60 TPH	Realizar paro de los equipos, realizar medidas correctivas.
Rotura de correa(s) o faja(s)	Desgaste o agrietamiento de las correas por tiempo de trabajo, por mala alineación.	desalineación paralela o angular, ruidos extraños, fajas sueltas.	Atascamiento de correa rota, mantenimientos correctivos, falta de disponibilidad del equipo.	1. Realizar inspección del estado y condición de las fajas o correas, realizar reajustes de tensión trimestral. 2. Verificar mediante un juego de galgas el desgaste que sufre la garganta de la polea por fricción, para programar su posterior cambio.	Realizar cambio y tomar medidas correctivas inmediatamente para colocar el equipo a funcionar nuevamente.
Ruido excesivo en el equipo	Tornillería suelta	Rotura en canasta, rotura en tejido metálico, amperaje elevado.	Exceso de vibración, material con demasiado volumen daña alimentadores,	1. Inspección y retorqueo de tornillería de canasta, mordazas de sujeción de tejidos metálicos, tornillos tensores de placas perforadas. 2. Retorqueo de tornillería de chumacera. 3. Reapreté de tornillería de base del motor.	Si existen rupturas en las partes móviles y no se puede realizar ajustes, realizar trabajos de soldadura con electrodo de ferroníquel el cual es ideal para piezas que trabajan con vibraciones y desgases abrasivos.

Continuación de tabla 31.

Temperatura excesiva en chumacera	Falta lubricación, excesiva lubricación.	de	Desgaste en rodamientos, desgaste de base de chumacera.	Incremento en las vibraciones, calentamiento o de las bases, ruidos extraños.	1. Lubricación de rodamientos mensual con 10 gr de grasa a base de Litio EP-2. 2. Realizar limpieza semestral de rodamiento e inspección de chumaceras.	Al detectar el incremento de temperatura realizar paro del equipo y realizar las medidas correctivas necesarias.
Roturas en placa perforada / tejido metálico	Desgaste abrasivo a causa del material.		Roturas en placa perforada y tejida.	Material no es clasificado correctamente, produce daños en los alimentadores de carbón.	1. Realizar evaluación para reforzar puntos de trenzado del tejido metálico con soldadura de ferrocement. 2. Considerar el uso de un material de uretano termoplástico que disminuya el impacto y desgaste al ingreso de la criba.	Si existe ruptura en los elementos de los equipos se debe de realizar trabajos de soldadura inmediatamente para evitar que la antracita de gran volumen no dañe los alimentadores.
Ruido en rodamientos o silbido	Desgaste en rodamiento por falta de lubricación o por incrustaciones de polvillo de antracita.		Temperatura elevada, ruidos extraños.	Rotura del rodamiento, falta de disponibilidad del equipo	1. Realizar evaluación del estado y condición de los rodamientos para poder realizar cambio. 2. Lubricación de rodamientos mensual con 10 gr de grasa a base de Litio EP-2. 3. Realizar limpieza semestral de rodamiento e inspección de chumaceras.	Si el rodamiento se encuentra en condiciones fuera de operación realizar cambio, si las chumaceras presentan desgaste y el rodamiento patina realizar ajuste con camisa de acero 1045 barra perforada de 205 x 230 mm

*Nota.* Fallos, modos de falla, efectos del fallo, consecuencias, tareas y acciones predeterminadas de la criba dos enfocadas en el RCM. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Se incluyen formatos para monitoreo de equipo de cribado uno, dos y triturador. Dentro de los cuales se incluyen los parámetros por medir semanalmente.

**Tabla 32.**

*Formato de control de temperatura de equipo de triturado y cribado*

Control de temperaturas triturador y cribas del Sistema de Carbón														
Fecha	Chumaceras criba 1 °C		Motor criba 1 °C		Chumaceras Tritrador °C		Motor triturador °C		Chumaceras criba 2 °C		Motor criba 2 °C		Hora	Técnico
	D.E	N.D.E	D.E	N.D.E	D.E	N.D.E	D.E	N.D.E	D.E	N.D.E	D.E	N.D.E		
<b>Observaciones:</b>		Las lecturas deberán de tomarse una vez por turno para poder generar historial y tendencia de cambios en los equipos												

*Nota.* Modelo del formato de control de temperatura de equipo de triturado y cribado que se utiliza. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 33.**









*Control de desgaste de elementos de los equipos de triturado y cribado*

Control de desgaste de elementos del triturador y cribas del Sistema de Carbón										
Fecha	Criba 1				Triturador		Criba 2		Hora	Técnico
	Placa perforada mm		Tejido metálico mm		Martillos mm		Tejido metálico mm			
Observaciones:			El desgaste deberá tomarse una vez por semana para poder generar historial y tendencia del desgaste que sufren los elementos de los equipos.							

*Nota.* Formato de control de desgaste de los elementos de los equipos de triturado y cribado.  
Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 34.**

*Cartilla de lubricación para equipos*

Cartilla de Lubricación																																										
Código:		Marca:		Logo de la empresa																																						
Equipo:		M/C No.																																								
Área:		Tipo:																																								
Cuadro de convenciones																																										
Frecuencia	Símbolo	Puntos de Lubricación en equipo																																								
Diario		Adjuntar fotografías de los puntos a lubricar																																								
Semanal																																										
Quincenal																																										
Mensual																																										
Bimensual																																										
Trimestral																																										
Semestral																																										
Anual																																										
Tipo de lubricante																																										
Marca:																																										
Tipo:		Grasa / Aceite																																								
Grado de viscosidad																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Componentes de lubricación</th> <th>Frecuencia</th> <th>Cantidad</th> <th>Método de aplicación</th> <th>símbolo</th> <th>Observaciones</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							Componentes de lubricación	Frecuencia	Cantidad	Método de aplicación	símbolo	Observaciones	1						2						3						4						5					
Componentes de lubricación	Frecuencia	Cantidad	Método de aplicación	símbolo	Observaciones																																					
1																																										
2																																										
3																																										
4																																										
5																																										

*Nota.* Formato de cartilla de lubricación para los equipos de triturado y cribado. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 35.**

*Ruta de lubricación para equipos*

Ruta de lubricación											
Código:				Marca:				Logo de la empresa			
Equipo:				M/C No.							
Área:				Tipo:							
Fecha de ejecución		Hora inicio:		Hora Fin:		Tiempo total					
Número de identificación del punto en cartilla	Punto de lubricación	Tipo de lubricante	Cantidad	Método de aplicación	Día de lubricación						
					L	M	M	J	V	S	D
Observaciones											
Técnico					Supervisor						
Nombre:				Nombre:							
Código:				Código:							
Firma					Firma						

*Nota.* Formato de ruta de lubricación para los equipos de triturado y cribado. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 36.**

*Control de disponibilidad de equipos*

Disponibilidad de equipos												
Mes	Semana	Días Laborados	Horas diarias	Turno	Descansos	Horas		Mantenimiento		Total Tiempo	Disponibilidad	Disponibilidad mensual
						Efectivas	Totales	Preventivo	Correctivo			

*Nota.* Formato de disponibilidad para los equipos de triturado y cribado. Elaboración propia, realizado con Excel.



## **CONCLUSIONES**

1. El plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para el equipo de triturado y cribado fue establecido en la investigación, considerando las condiciones de operación y mantenimiento de la maquinaria durante el periodo de evaluación, tomando en cuenta las variables de vibración, desgaste, temperatura, ángulo y disponibilidad de los equipos.
2. Se determinaron las condiciones de operación y mantenimiento durante el periodo de investigación realizado a los equipos de triturado y cribado, los cuales carecían de rutinas de mantenimiento y control de las variables importantes para el buen funcionamiento de estos.
3. Del estudio realizado, se establecieron las condiciones adecuadas para la operación y mantenimiento de los equipos, determinando parámetros de vibración por medio de la norma ISO 10816, así como rutinas de mantenimiento basadas en la herramienta de análisis de modo y efecto de fallas para mejorar la disponibilidad de los equipos y los tiempos requeridos.
4. La estrategia de mantenimiento para conservar los equipos de triturado y cribado en condiciones adecuadas fueron determinadas mediante inspección, limpieza, medición de vibraciones, temperatura, ángulo, lubricación, disponibilidad, reajustes de la maquinaria de triturado y cribado de antracita. Para el cumplimiento de la estrategia se establecen formatos para verificar las condiciones y estado de los elementos de los equipos.



## RECOMENDACIONES

1. Para el personal de mantenimiento de la empresa donde se realizó el estudio, contemplar la ejecución de los aspectos considerados en el plan de mantenimiento, lo cual permitirá que se eleve el nivel de control del mantenimiento de los equipos.
2. Verificar si las condiciones de operación y mantenimiento para el equipo de triturado y cribado son las adecuadas y darles el seguimiento e importancia correspondiente a los equipos tomando en cuenta indicadores de mantenimiento.
3. Seguir implementado la normativa ISO 10816 mediante sus parámetros para la correcta operación y mantenimiento de los equipos lo cual prolongara la vida útil de los activos. Así mismo realizar nuevamente estudios con la herramienta AMEF lo cual ayudara a determinar fallas a futuro.
4. Utilizar como base los formatos establecidos para la conservación y prolongación de la vida útil de los activos y tomar como referencia para futuros estudios que deseen implementar el mantenimiento centrado en la confiabilidad a equipos similares utilizados dentro de la industria.



## REFERENCIAS

- Aguirre Zaquinaula, N.O. (2013). *Estudio de las vibraciones de una chancadora de quijada, del laboratorio de ingeniería de minas de la PUCP* [Tesis de Maestría, Pontifica Universidad Católica del Perú]. Archivo digital. [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5114/AGUIRRE\\_NORMAN\\_ESTUDIO\\_VIBRACIONES\\_CHANCADOR A QUIJADA LABORATORIO INGENIERIA MINAS PUCP.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5114/AGUIRRE_NORMAN_ESTUDIO_VIBRACIONES_CHANCADOR_A QUIJADA LABORATORIO INGENIERIA MINAS PUCP.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Leon Paro, L.I. (2019). *Diseño de un módulo educativo a escala de una zaranda vibratoria* [Tesis de Maestría, Pontifica Universidad Católica del Perú]. Archivo digital. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/15412>
- Martínez, R. y Hechavarría, J. (2016). Análisis vibratorio de una zaranda modelo 740 para la clasificación de minerales, *Ciencias Holguín*, 22(1), 2-12, <https://www.redalyc.org/pdf/1815/181543577005.pdf>
- Maya Velasquez, J.A. (2018). *Aplicación de RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Archivo digital. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/64727/98702383.2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Nanni Salinas, M.U. (2009). *Modelo de factores críticos para la implementación de TPM* [Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey]. Archivo digital.  
<https://repositorio.tec.mx/handle/11285/569150>

Rojas Murrieta, C.Y. (2015). *Estudio de fricción y desgaste de un cojinete combinado para proponer mejoras de eficiencia energética de una turbina hidráulica* [Tesis de Maestría, Universidad Veracruzana]. Archivo digital.  
<https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/41978/RojasMurrietaCarmen.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Sandoval Asimbaya, J. A. (2017), *Estudio de lubricación aplicada a biopolímeros utilizados para la fabricación de prótesis durante el proceso de conformado incremental monopunto* [Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey]. Archivo digital.  
<https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/636322/SandovalAsimbayaTesisMaestriaPDFA.pdf?sequence=8&isAllowed=y>

Servicio Nacional de aprendizaje SENA (s.f.). *Elementos de Maquinas, Lubricación de Maquinaria*. Metalmecánica.

Linares O. O. (s.f.). *Tribología y mantenimiento proactivo, Generalidades de la tribología, fundamentos de la lubricación, fricción y desgaste*. Mantenimiento Mundial.

Santos Martínez, E. (1992). *Lubricación industrial*, [Tesis de Maestría, Universidad autónoma de nuevo león]. Archivo digital.  
<http://eprints.uanl.mx/245/1/1020074593.PDF>

URL (2018). *Perfil energético de Guatemala, bases para el estado actual y tendencias de energía*. Universidad Rafael Landívar.  
<http://www.infoiarna.org.gt/wp-content/uploads/2019/03/Perfil-Energetico-de-Guatemala.pdf>

Campos-López, O. Tolentino-Eslava, G. Toledo-Velázquez, M. Tolentino-Eslava, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) considerando la taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos. *Instituto Politécnico Nacional México*, (23), pp, 51-59,  
[http://www.cientifica.esimez.ipn.mx/manuscritos/V23N1\\_051\\_059.pdf](http://www.cientifica.esimez.ipn.mx/manuscritos/V23N1_051_059.pdf)

Achahuanco, A. (2020). *Análisis del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en la subestación San José, para la estabilidad del sistema interconectado nacional sein, con base en la confiabilidad de sus equipos* [Tesis de maestría, Universidad Católica de Santa María, Escuela de Estudio de postgrado, Arequipa, Perú]. Archivo digital.  
<https://core.ac.uk/download/287059600.pdf>

Paredes, C. (2020). *Propuesta para determinar las causas principales de los elementos de desgaste en la batea de una bomba concretera para incrementar su disponibilidad* [Tesis de maestría, Universidad Católica de Santa María, Escuela de Estudio de postgrado, Arequipa, Perú]. Archivo digital.  
<http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/10363>

- Villacrés, S. (2016). *Desarrollo de un plan de mantenimiento aplicando la metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para el vehículo hidrocleaner vector M654 de la empresa etapa EP* [Tesis de Maestría, Escuela superior politécnica de Chimborazo, Instituto de postgrado y educación continua, Riobamba, Ecuador]. Archivo digital.  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4749/1/20T00717.pdf>
- Viilo, K. (2011). *Crushing and Screening Handbook*. METSO.  
[https://www.ausimm.com/globalassets/insights-and-resources/minerals-processing-toolbox/metso\\_handbook\\_fifth\\_ed.pdf](https://www.ausimm.com/globalassets/insights-and-resources/minerals-processing-toolbox/metso_handbook_fifth_ed.pdf)
- Fueyo, L. (1999). *Equipos de trituración, molienda y clasificación. Tecnología, diseño y aplicación*. Editorial Rocas.  
<https://es.scribd.com/document/339108398/Etmyc-l-Fueyo>
- Saquicela, F. (2020). *Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM de equipos críticos en la línea de envasado de GLP de la empresa AustroGas* [Tesis de Maestría, Universidad Del Azuay, Departamento de postgrados, Cuenca, Ecuador]. Archivo digital.  
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/10282/1/15911.pdf>
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Editorial Biddles, Ltd. <https://es.scribd.com/doc/146193755/02-RCM-II-John-Moubray-Libro-Completo>



- Waganoff, N. (1956). *Trituración – Molienda y Separación de Minerales*, Buenos aires. Librería y Editorial Alsina, <http://repoarchivos.segemar.gov.ar/Mounted/KOHA%20-%20DSPACE%20DISCK2/KOHA%20-%20Biblioteca%20Digital%20SEGEMAR/Biblioteca%20SEGEMAR%20-%20Tesoro,%20Tratados%20de%20lenguas,%20Monografias%20en%20idiomas%20extranjeros,%20y%20varios%20para%20ver%20clasificaci%C3%B3n/3624/3624.pdf>
- Pérez, E. Castiblanco, A. (2020). Diseño de una metodología para generar un plan de mantenimiento a través de la integración de RCM, WCM y Lean Manufacturing aplicable en procesos de trefilado de alambrón. *Entre Ciencia e Ingeniería*. (14), 82-90, <https://revistas.ucp.edu.co/index.php/entrecienciaeingenieria/article/view/1793>
- Rao, S. (2012). *Vibraciones Mecánicas*. Editorial Pearson Education, Inc, publicada como Prentice Hall, [https://www.academia.edu/43013460/Vibraciones Mec%C3%A1nicas\\_5ta\\_Ed\\_Singiresu\\_S\\_Rao](https://www.academia.edu/43013460/Vibraciones_Mec%C3%A1nicas_5ta_Ed_Singiresu_S_Rao)



## APÉNDICES

### Apéndice 1. Matriz de consistencia

No	Objetivo	Conclusión	Recomendación
1	Determinar las condiciones de operación y mantenimiento de la maquinaria de triturado y cribado de antracita a la fecha de investigación,	Se determinaron las condiciones de operación y mantenimiento durante el periodo de investigación realizado a los equipos de triturado y cribado, los cuales carecían de rutinas de mantenimiento y control de las variables importantes para el buen funcionamiento de estos.	Verificar si las condiciones de operación y mantenimiento para el equipo de triturado y cribado son las adecuadas y darles el seguimiento e importancia correspondiente a los equipos tomando en cuenta indicadores de mantenimiento.
2	Establecer las condiciones adecuadas de operación y mantenimiento de la maquinaria de triturado y cribado de antracita,	Del estudio realizado, se establecieron las condiciones adecuadas para la operación y mantenimiento de los equipos, determinando parámetros de vibración por medio de la norma ISO 10816, así como rutinas de mantenimiento basadas en la herramienta de análisis de modo y efecto de fallas para mejorar la disponibilidad de los equipos y los tiempos requeridos.	Seguir implementado la normativa ISO 10816 mediante sus parámetros para la correcta operación y mantenimiento de los equipos lo cual prolongara la vida útil de los activos. Así mismo realizar nuevamente estudios con la herramienta AMEF lo cual ayudara a determinar fallas a futuro.
3	Determinar la estrategia de mantenimiento para mantener el triturador y cribas en condiciones adecuadas de operación,	La estrategia de mantenimiento para conservar los equipos de triturado y cribado en condiciones adecuadas fueron determinadas mediante inspección, limpieza, medición de vibraciones, temperatura, ángulo, lubricación, disponibilidad, reajustes de la maquinaria de triturado y cribado de antracita. Para el cumplimiento de la estrategia se establecen formatos para verificar las condiciones y estado de los elementos de los equipos.	Utilizar como base los formatos establecidos para la conservación y prolongación de la vida útil de los activos y tomar como referencia para futuros estudios que deseen implementar el mantenimiento centrado en la confiabilidad a equipos similares utilizados dentro de la industria.

## Continuación del apéndice 1.

G	<p>Establecer un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para un equipo de triturado y cribado de antracita en una central de generación de energía eléctrica, ubicada en la costa sur,</p>	<p>El plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para el equipo de triturado y cribado fue establecido en la investigación, considerando las condiciones de operación y mantenimiento de la maquinaria durante el periodo de evaluación, tomando en cuenta las variables de vibración, desgaste, temperatura, ángulo y disponibilidad de los equipos.</p>	<p>Para el personal de mantenimiento de la empresa donde se realizó el estudio, contemplar la ejecución de los aspectos considerados en el plan de mantenimiento, lo cual permitirá que se eleve el nivel de control del mantenimiento de los equipos.</p>
---	--	---	--

*Nota.* Elementos que constituyen la ,atriz de consistencia. Elaboración propia realizado con Excel.