



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

**PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MAQUINARIA DE  
TRITURACIÓN ENFOCADO A 5 500 TONELADAS POR DÍA EN MINERA SAN RAFAEL**

**Carlos Andrés Steiger Villanueva**

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, enero de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MAQUINARIA DE  
TRITURACIÓN ENFOCADO A 5 500 TONELADAS POR DÍA EN MINERA SAN RAFAEL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**CARLOS ANDRÉS STEIGER VILLANUEVA**

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, ENERO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortiz
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MAQUINARIA DE TRITURACIÓN ENFOCADO A 5 500 TONELADAS POR DÍA EN MINERA SAN RAFAEL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 21 de noviembre de 2016.

**Carlos Andrés Steiger Villanueva**



Guatemala, 05 de septiembre de 2017  
REF.EPS.DOC.622.09.17.

Inga. Christa Classon de Pinto  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Carlos Andrés Steiger VillaNueva** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 201212642, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MAQUINARIA DE TRITURACIÓN ENFOCADO A 5 500 TONELADAS POR DÍA EN MINERA SAN RAFAEL.**

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

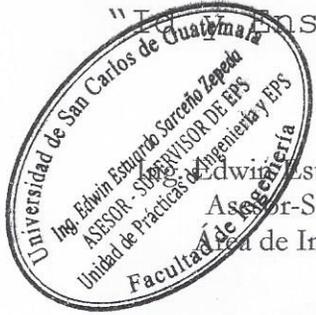
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Enseñad a Todos"



Edwin Estuardo Sarceño Zepeda  
Asesor-Supervisor de EPS  
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS  
Facultad de Ingeniería



c.c. Archivo  
EDSZ/ra



Guatemala, 05 de septiembre de 2017  
REF.EPS.D.317.09.17

Ing. Roberto Guzmán  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

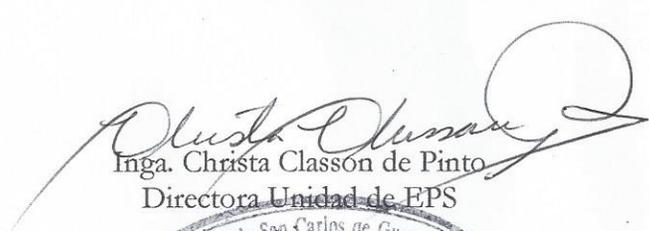
Estimado Ingeniero Guzmán:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MAQUINARIA DE TRITURACIÓN ENFOCADO A 5 500 TONELADAS POR DÍA EN MINERA SAN RAFAEL**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Carlos Andrés Steiger VillaNueva** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

  
Inga. Christa Classon de Pinto  
Directora Unidad de EPS



CCdP/ra



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.333.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MAQUINARIA DE TRITURACIÓN ENFOCADO A 5 500 TONELADAS POR DÍA EN MINERA SAN RAFAEL** del estudiante **Carlos Andrés Steiger Villanueva**, CUI No. 2295029540101, Reg. Académico No. 201212642 y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

**"Id y Enseñad a Todos"**

  
Ing. Roberto Guzmán Ortiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, noviembre de 2017

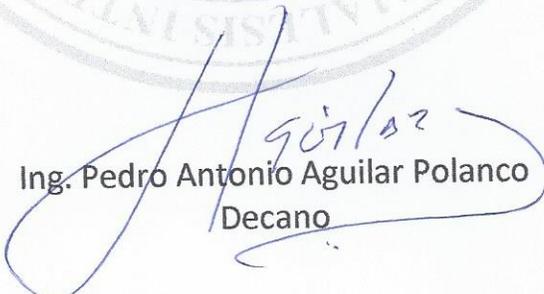
/aej



DTG. 006.2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MAQUINARIA DE TRITURACIÓN ENFOCADO A 5 500 TONELADAS POR DÍA EN MINERA SAN RAFAEL**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Andrés Steiger Villanueva** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, enero de 2018

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Protector que guio mis pasos en todos los momentos para tomar las decisiones que me han llevado a cumplir uno de mis mayores sueños.
<b>Mis padres</b>	Carlos Steiger y Claudia Villanueva, que sin su apoyo incondicional, sacrificio y amor, este logro no sería posible.
<b>Mis hermanos</b>	Por todos los momentos que me han hecho valorar la importancia de la familia.
<b>Mi novia</b>	Que con su amor y apoyo me ha dado fuerzas y ánimo en los momentos más difíciles.
<b>Mis amigos</b>	Por su sincera amistad y consejos en todos los momentos vividos en la carrera.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por haber sido mi segundo hogar a lo largo de la carrera.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por haber sido mi casa de estudios y darme la oportunidad de llegar a ser profesional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Descripción de la empresa .....	1
1.1.1. Ubicación.....	1
1.1.2. Misión .....	2
1.1.3. Visión.....	2
1.1.4. Valores .....	2
1.2. Definiciones fundamentales.....	2
1.2.1. Trituradora de quijada.....	3
1.2.2. Trituradora de cono .....	8
1.2.3. Tamiz vibratorio .....	13
1.2.4. Banda transportadora.....	14
1.2.5. Tolva de descarga .....	17
1.2.6. Recabación de datos de operación .....	17
1.3. Descripción del proceso de trituración.....	18
1.3.1. Tamizado primario .....	18
1.3.2. Trituración primaria.....	20
1.3.3. Tamizado secundario .....	20
1.3.4. Trituración secundaria .....	21

1.3.5.	Tamizado terciario .....	22
1.3.6.	Trituración terciaria.....	23
1.3.7.	Sistema de bandas transportadoras.....	23
1.3.8.	Sistema de extracción de polvo.....	26
1.3.9.	Electroimán .....	31
2.	FASE DE INVESTIGACIÓN.....	35
2.1.	Análisis económico actual .....	35
2.1.1.	Identificar piezas de desgaste .....	35
2.1.2.	Determinar frecuencia de cambio.....	38
2.1.3.	Establecer costos de mantenimiento preventivo .....	39
2.2.	Propuesta de cambios programados de piezas de desgaste.....	42
2.2.1.	Programa de cambios .....	42
2.2.2.	Establecer número de cambios y costo.....	43
3.	FASE TÉCNICO PROFESIONAL .....	47
3.1.	Inspección de quipos.....	47
3.2.	Registro de datos operativos.....	47
3.2.1.	Cuadro de tonelaje procesado por equipo.....	47
3.2.2.	Cuadro de horas operadas por equipo .....	49
3.3.	Cálculo de potencia requerida por el sistema .....	50
3.3.1.	Trituradora de quijada 30X55 .....	52
3.3.2.	Trituradora de cono 44SBS .....	59
3.3.3.	Criba vibratoria TL26 .....	66
3.4.	Cálculo de potencia transmitida .....	72
3.4.1.	Trituradora de quijada 30X55 .....	73
3.4.2.	Trituradora de cono 44SBS .....	76
3.4.3.	Criba vibratoria TL26.....	79
3.5.	Análisis de uso del equipo.....	81

3.5.1.	Cálculo de la disponibilidad .....	82
3.5.2.	Cálculo de ocupación .....	82
3.6.	Estimación de costos de plan de mantenimiento preventivo ...	83
3.6.1.	Tareas de mantenimiento preventivo.....	83
3.6.2.	Establecer costos de mano de obra .....	93
3.6.3.	Establecer horas/hombre para cada tarea.....	93
3.6.4.	Establecer costos y beneficios.....	95
4.	FASE DE DOCENCIA .....	103
4.1.	Capacitación al personal de mantenimiento .....	103
	CONCLUSIONES .....	111
	RECOMENDACIONES.....	113
	BIBLIOGRAFÍA.....	115
	ANEXOS.....	117



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Trituración de mineral en trituradora de quijada .....	4
2.	Partes de la trituradora de quijada .....	6
3.	Ajuste cerrado .....	7
4.	Partes de la trituradora de cono .....	9
5.	Trituración de mineral en trituradora de cono.....	10
6.	Lubricación de trituradora de cono .....	12
7.	Partes de tamiz vibratorio.....	14
8.	Partes de una banda transportadora.....	16
9.	Alimentador y tamiz vibratorio .....	19
10.	Sistema de extracción de polvo .....	27
11.	Ventilador centrífugo .....	29
12.	Válvula rotatoria .....	30
13.	Electroimán .....	32
14.	Detector de metales .....	34
15.	Límite de desgaste de anillo cóncavo .....	36
16.	Límite de desgaste de manto .....	37
17.	Tareas quincenales para cribas vibratorias.....	84
18.	Tareas semanales para cribas vibratorias.....	85
19.	Tareas por condición trimestral para cribas vibratorias.....	86
20.	Tareas quincenales para trituradora de quijada .....	87
21.	Tareas semanales para trituradora de quijada .....	88
22.	Tareas diarias para trituradora de quijada.....	89
23.	Tareas mensuales para trituradora de cono.....	90

24.	Tareas quincenales para trituradora de cono .....	91
25.	Tareas diarias para trituradora de cono .....	92
26.	Situación económica de 2016 para trituradora de quijada .....	96
27.	Situación económica de 2016 para trituradora de cono secundaria .....	97
28.	Situación económica de 2016 para trituradora de cono terciaria 1 .....	98
29.	Situación económica de 2016 para trituradora de cono terciaria 2 .....	98
30.	Situación económica de 2016 para criba vibratoria secundaria .....	99
31.	Situación económica de 2016 para criba vibratoria terciaria 1 .....	100
32.	Situación económica de 2016 para criba vibratoria terciaria 2 .....	101
33.	Tipos de mantenimiento a nivel industrial .....	104
34.	Transmisión a través de bandas y poleas .....	105
35.	Principios básicos de mecánica de fluidos .....	106
36.	Lectura de gráfica de bombas centrífugas .....	107
37.	Charlas teóricas de capacitación .....	108
38.	Ejercicios guiados para charlas de capacitación .....	108
39.	Personal que asistió a las charlas de capacitación .....	109

## TABLAS

I.	Costo de mantenimiento a trituradora de quijada .....	40
II.	Costo de mantenimiento a trituradora de cono secundaria .....	41
III.	Costo de mantenimiento a trituradora de cono terciaria .....	41
IV.	Costo de mantenimiento a cribas vibratorias .....	42
V.	Bitácora de datos .....	43
VI.	Proyección de cambio de piezas de desgaste .....	45
VII.	Registro de tonelaje por equipo .....	48
VIII.	Registro de horas por equipo .....	49
IX.	Disponibilidad y ocupación .....	83
X.	Costo de mano de obra .....	93

XI.	Horas/hombre para tareas de cribas vibratorias .....	93
XII.	Horas/hombre para tareas de trituradora de quijada.....	94
XIII.	Horas/hombre para tareas de trituradora de cono .....	94
XIV.	Resumen de costos de trituradora de quijada.....	95
XV.	Resumen de costos de trituradora de cono secundaria .....	96
XVI.	Resumen de costos de trituradora de cono secundaria .....	97
XVII.	Resumen de costos de criba vibratoria secundaria.....	99
XVIII.	Resumen de costos de criba vibratorias terciarias.....	100



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>OSS</b>	Ajuste abierto
<b>CSS</b>	Ajuste cerrado
<b>g/t</b>	Gramos por tonelada
<b>hp</b>	<i>Horse power</i> (caballo de fuerza)
<b>kg</b>	Kilogramo fuerza
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>3</sup>/min</b>	Metros cúbicos por minuto
<b>'</b>	Pie
<b>%</b>	Por ciento
<b>"</b>	Pulgada
<b>Q</b>	Quetzales
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto



## GLOSARIO

<b>Abrasión</b>	La norma ASTM G40-92 lo define como la pérdida de masa, resultante de la interacción entre partículas que son forzadas contra una superficie y a lo largo de esta.
<b>Amplitud</b>	Cantidad de movimiento ascendente o descendente.
<b>Bastidor</b>	Estructura rígida que soporta el motor y el mecanismo.
<b>Conminución</b>	Reducción de tamaño de un material sin importar el mecanismo de fractura involucrado.
<b>Epóxico</b>	Se utiliza para cubrir las piezas de desgaste que proporcionan resistencia a la compresión y al impacto y evitan la transferencia de calor entre la superficie de desgaste y la superficie recubierta.
<b>Esclusa de aire</b>	Dispositivo que permite el paso gases y objetos entre un recipiente a presión y su entorno que reducen el cambio de presión en el recipiente y su pérdida de aire.
<b>Excéntrico</b>	Elemento mecánico que gira en torno a un eje que no pasa por su centro geométrico.

<b>Frecuencia</b>	Magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier suceso periódico.
<b>Leva</b>	Elemento mecánico que permite la transformación de un movimiento circular a un movimiento rectilíneo mediante el contacto directo a un seguidor.
<b>Mineralización</b>	Procesos naturales por los cuales los minerales son introducidos en las rocas.
<b>Oscilante</b>	Movimiento en torno a un punto de equilibrio estable.
<b>Sumidero</b>	Área de contención receptora de algún líquido.
<b>Tiro inducido</b>	Presión existente dentro del colector con respecto a la atmosférica, en este caso es negativa.
<b>Tonelada métrica</b>	Tercer múltiplo del kilogramo, 1 000 kg.
<b>Transversal</b>	Que cruza, corta o atraviesa.
<b>Vaivén</b>	Movimiento repetitivo hacia arriba y hacia abajo o hacia adelante y hacia atrás.
<b>Venturi</b>	Fenómeno en el que un fluido en movimiento disminuye su presión cuando aumenta la velocidad al pasar por una zona de menor sección.

## **RESUMEN**

Minera San Rafael es actualmente la segunda mina más activa a nivel mundial, se dedica a la extracción de plata.

Si se considera que la mina tiene un estimado de 15 años más de vida, la exigencia a los equipos del proceso es alta para cubrir la demanda; por lo tanto, las condiciones de operación de 24 horas al día todos los días del año, dan cabida a la necesidad de adaptar el mantenimiento preventivo de los equipos, de forma que cubran satisfactoriamente las necesidades de cambios de piezas de desgaste, inspecciones periódicas, rutinas adecuadas de lubricación.

La finalidad de esta propuesta de plan de mantenimiento preventivo generado a través de todos los datos operativos de los distintos equipos del proceso de trituración, condiciones actuales de operación y el enfoque de procesar 5 500 toneladas por día en planta de procesos, es cubrir las necesidades de los equipos y reducir la cantidad de fallas que se traducen en paradas y costos elevados. A través un plan de mantenimiento proyectado, planificado y registrable para obtener beneficios económicos y justificar la rentabilidad de los equipos según las distintas exigencias de producción.



# OBJETIVOS

## General

Proponer un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria de trituración enfocado a 5 500 toneladas procesadas por día en Minera San Rafael.

## Específicos

1. Determinar el funcionamiento del objeto intervenido y el trabajo que cada equipo realiza.
2. Capacitar al personal operativo de mantenimiento en temas relacionados con tareas mecánicas diarias.
3. Definir y establecer los datos técnicos a utilizar para el mantenimiento preventivo de la trituradora de quijada.
4. Definir y establecer los datos técnicos a utilizar para el mantenimiento preventivo de la trituradora de cono.
5. Definir y establecer los datos técnicos a utilizar para el mantenimiento preventivo del tamiz vibratorio.
6. Establecer un programa planificado de cambios de piezas de desgaste con base en datos de horas operativas y tonelaje procesado.

7. Determinar las mejoras obtenidas en la operación del equipo y la vida útil de los componentes. Diseñar un plan de capacitación e incentivos para el personal operativo en base al método propuesto.

## INTRODUCCIÓN

La mina está operando actualmente a una tasa de diseño aumentada a 5 000 toneladas por día. Actualmente, la producción de la mina Escobal de 5 000 toneladas por día, la hacen una de las mineras en extracción de plata más activas del mundo. Esta condición de liderazgo hace que el proceso de trituración en la planta sea un factor sumamente importante; por tal razón, el mantenimiento preventivo de la maquinaria para dicho proceso debe asegurar las óptimas condiciones de operación para que los imprevistos sean lo mínimo posible y no repercuta en su capacidad de producción, debido a que en el proceso de trituración no todos los equipos tienen la posibilidad de ser reemplazados por otro que se encuentre en espera; es fundamental que los paros por mantenimiento sean planificados y programados.



# **1. GENERALIDADES**

## **1.1. Descripción de la empresa**

Minera San Rafael es una compañía dirigida por un equipo de profesionales en la industria minera, dedicado a la extracción de metales preciosos en el continente americano. Opera la mina de plata Escobal en Guatemala; la mina Escobal se encuentra en el sureste de Guatemala en el municipio de San Rafael Las Flores del departamento Santa Rosa; el yacimiento es un depósito de vetas de plata, oro, plomo y zinc. La mineralización continua de metales preciosos y metales base se extiende en zonas anchas y se define 2 400 metros lateralmente y 1 200 metros verticalmente. Las reservas probadas y probables ascienden a 29,1 millones de toneladas con una ley promedio de 332 g/t de plata, que contiene 310,4 millones de onzas de plata.

Minera San Rafael está explotando el yacimiento Escobal por medio de métodos de minería subterránea de perforación con barrenos largos y procesamiento por flotación diferencial para producir concentrados de plomo y zinc ricos en metales preciosos.

### **1.1.1. Ubicación**

Minera San Rafael, S.A., se ubica en el kilómetro 97,5 carretera a Mataquescuintla, San Rafael Las Flores, Santa Rosa, Guatemala.

### **1.1.2. Misión**

“Producir metales preciosos de forma social, ambiental y económicamente responsable, generando valor para nuestros accionistas, colaboradores y las comunidades<sup>1</sup>”.

### **1.1.3. Visión**

“Establecer el estándar de minería responsable y fomentar el desarrollo sostenible en Guatemala<sup>2</sup>”.

### **1.1.4. Valores**

Los valores que se practican en Minera San Rafael son:

- Integridad
- Transparencia
- Respeto
- Responsabilidad
- Excelencia

## **1.2. Definiciones fundamentales**

Las definiciones fundamentales explican de forma abreviada en qué consisten y cómo funcionan los equipos involucrados en el proceso de trituración:

---

<sup>1</sup> Mina San Rafael S.A. Departamento de Recursos Humanos.

<sup>2</sup> *Ibíd.*

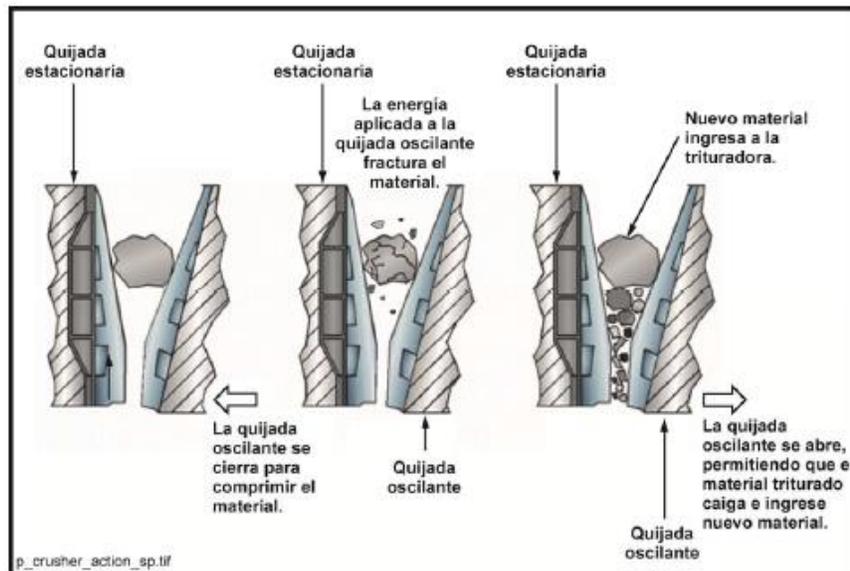
- Trituradora de quijada
- Trituradora de cono
- Tamiz vibratorio
- Banda transportadora

### **1.2.1. Trituradora de quijada**

La trituradora de quijada consiste en una placa fija llamada quijada estacionaria y una placa móvil llamada quijada oscilante. La parte inferior de la quijada móvil se mantiene en posición mediante una placa de articulación única, mientras que la parte superior se mueve de atrás para adelante por medio de un eje excéntrico rotatorio que atraviesa la parte superior de la quijada oscilante. Este arreglo permite que la quijada móvil se mueva de atrás para adelante y de arriba abajo, a medida que el eje excéntrico gira. El material ingresa a la trituradora a través de la abertura en la parte superior de las dos placas y es triturado a medida que la quijada oscilante se mueve hacia la quijada estacionaria, (ver figura 1).

A medida que la quijada oscilante se mueve hacia la quijada estacionaria, se ejercen grandes fuerzas sobre el material acuñado entre las quijadas, y éste se rompe en fragmentos más pequeños.

Figura 1. Trituración de mineral en trituradora de quijada



Fuente: Minera San Rafael S.A. Proyecto Escobal. *Manual de operación de trituración*. p. 55.

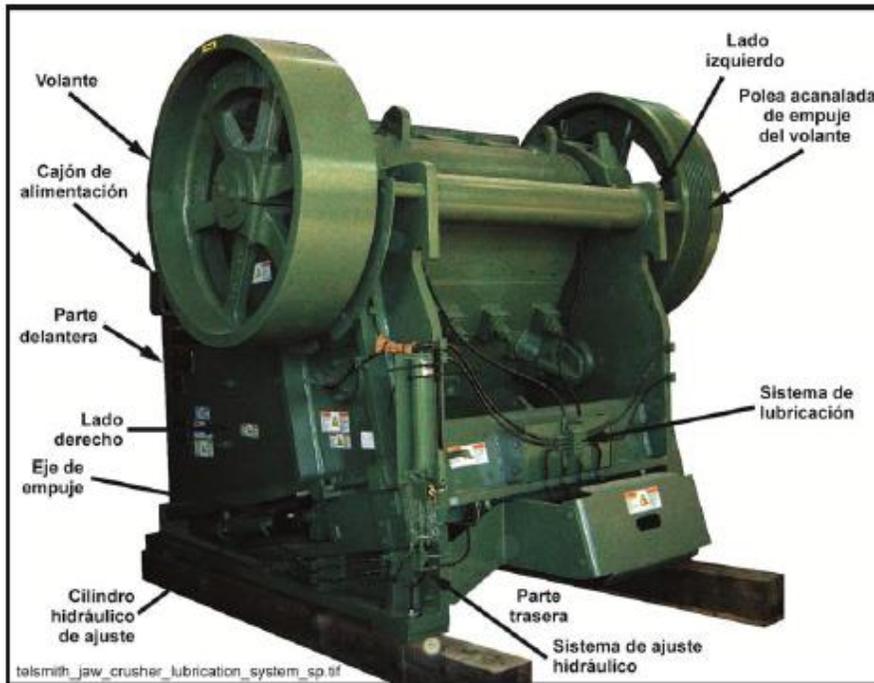
A medida que la quijada oscilante se aleja de la quijada estacionaria, los fragmentos se deslizan hacia abajo hasta que son acuñados nuevamente entre las quijadas. Este proceso se repite hasta que las rocas son lo suficientemente pequeñas como para pasar a través de la abertura de las quijadas en el fondo. El tamaño de la abertura entre las quijadas es ajustable para permitir triturar el material al tamaño requerido por el proceso.

Debido a los grandes esfuerzos superficiales creados por la trituración y abrasividad de los materiales siendo triturados, la quijada estacionaria, la quijada oscilante y los lados interiores de la trituradora están blindados con placas de desgaste reemplazables para proteger el ensamblaje del bastidor/quijada oscilante de la trituradora.

El eje excéntrico tiene secciones transversales circulares de gran diámetro en sus extremos, las cuales están fijadas en cajas de cojinetes en el bastidor de la trituradora. Entre los extremos fijos, el eje tiene un diámetro diferente. Además, la línea central del eje entre los extremos fijos está descentrada respecto de la línea central de los extremos fijos mismos. De este modo, cuando el eje gira, la parte superior de la quijada oscilante sigue un movimiento giratorio respecto de la línea central de los extremos fijos del eje. El movimiento de trituración de la quijada oscilante es el resultado del movimiento giratorio de la parte superior de la quijada oscilante combinado con la acción de vaivén impartida a la parte inferior de la quijada oscilante por la placa de articulación.

El eje excéntrico es conducido vía un gran volante masivo, el cual proporciona el impulso necesario para mantener una velocidad casi constante durante el ciclo de trituración. El sistema de lubricación de la trituradora de quijada distribuye grasa a los ejes de empuje, la quijada oscilante y los cojinetes del bastidor principal, las varillas de tensión, el sistema de ajuste hidráulico y las cuñas de la barra de articulación (ver figura 2).

Figura 2. Partes de la trituradora de quijada

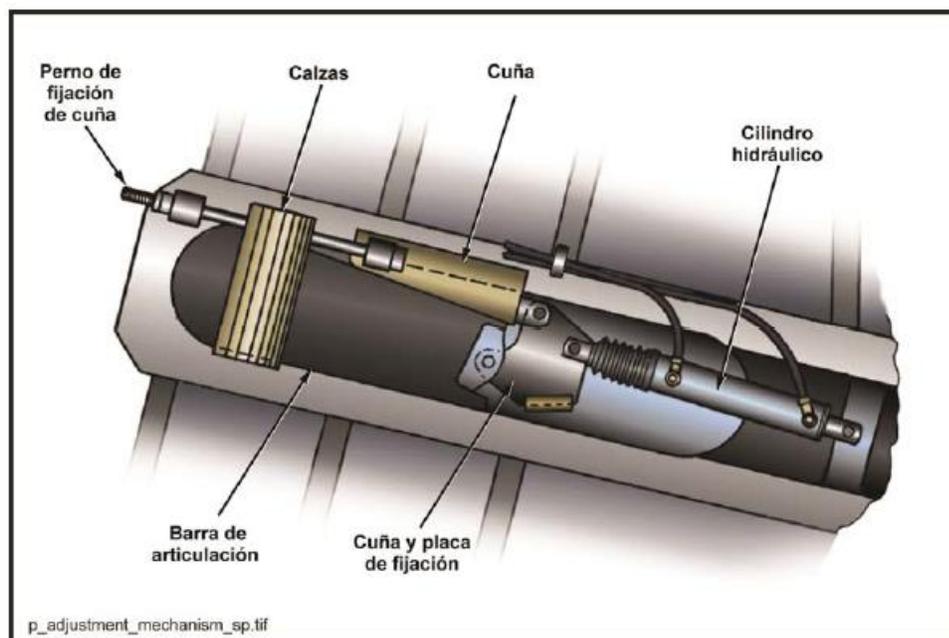


Fuente: Minera San Rafael S.A. Proyecto Escobal. *Manual de operación de trituración*. p. 30.

Las mediciones más importantes usadas en la operación de trituración son los ajustes de descarga de la trituradora de quijada, las cuales consisten en dos mediciones interrelacionadas: un ajuste cerrado (CSS) y un ajuste abierto (OSS). El CSS de una trituradora de quijada es la distancia más corta entre los extremos del fondo de las quijadas fija y oscilante cuando la quijada oscilante está en su posición más hacia delante. De manera similar, el OSS es la distancia más corta entre los extremos del fondo de las quijadas fija y oscilante cuando la quijada oscilante está en su posición más hacia atrás o abierta.

El ajuste del CSS para controlar el tamaño de producto se consigue hidráulicamente. El sistema de ajuste hidráulico retrae o extiende los cilindros hidráulicos, los cuales mueven la barra de articulación y cuñas para bloquear la barra de articulación en posición. La posición de la barra de articulación puede ajustarse insertando o removiendo calzas, las cuales posicionan la quijada oscilante a la abertura de descarga deseada (ver figura 3). El CSS solo puede ser ajustado mientras la trituradora está bloqueada y sin funcionar.

Figura 3. **Ajuste cerrado**



Fuente: Minera San Rafael S.A. Proyecto Escobal. *Manual de operación de trituración*. p. 35.

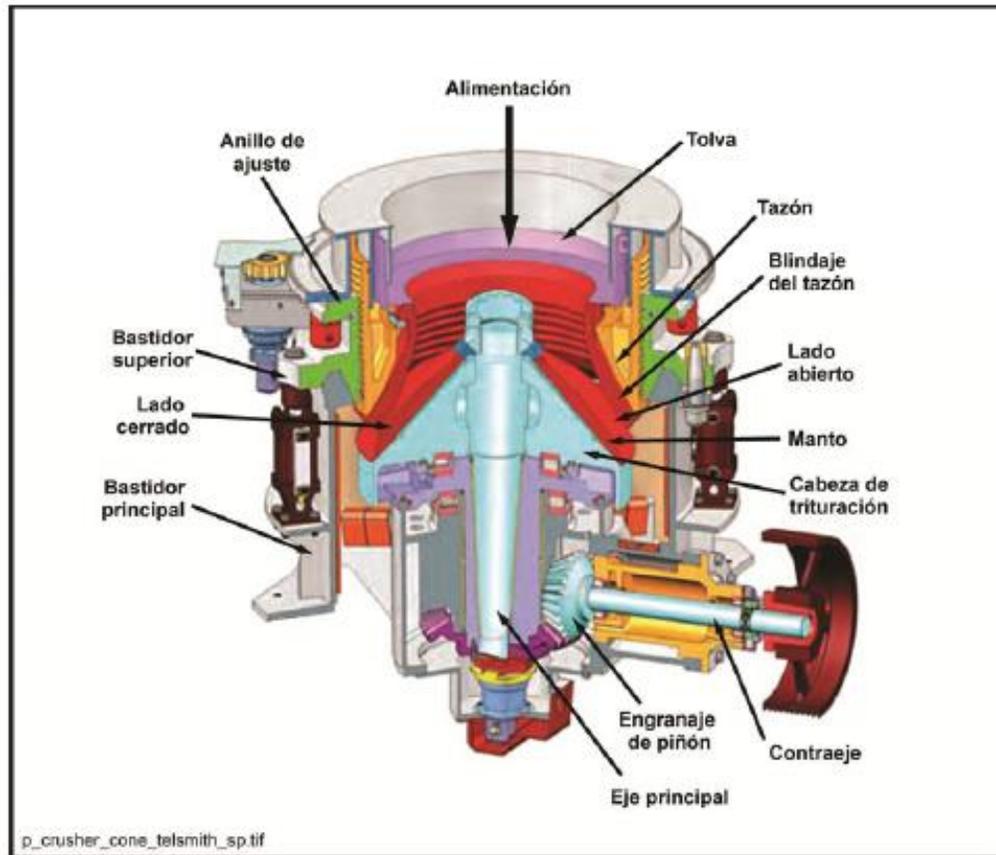
### **1.2.2. Trituradora de cono**

En una trituradora de cono, el material es triturado entre un cono de trituración oscilante y un tazón curvo fijo. Los componentes principales de la trituradora son el bastidor principal, el ensamble del tazón, el ensamble del eje principal y el sistema de mando. El tazón y revestimiento del tazón proporcionan el miembro triturador estacionario superior. El manto móvil y la cabeza trituran el material contra el tazón estacionario. El tazón y el revestimiento están suspendidos en el anillo de ajuste mediante roscas. La tolva de alimentación descansa sobre el tazón y proporciona un área para que el material forme una capa muerta que protege, de esta manera, la tolva contra el desgaste.

La cabeza de trituración está cubierta con un revestimiento reemplazable llamando blindaje de cabeza o manto, el tazón está protegido mediante un blindaje del tazón y el interior del bastidor principal y componentes expuestos también están protegidos mediante blindajes reemplazables.

El eje principal de la cabeza de trituración es impulsado mediante una excéntrica tipo camisa, la cual es accionada por el ensamble del engranaje y contra eje. La excéntrica se asienta sobre un cojinete de empuje fijado al bastidor principal (ver figura 4). La excéntrica gira por la acción del motor de la trituradora a través de una serie de poleas, el contra eje y engranaje del piñón. La excéntrica rotatoria actúa como una leva y mueve la cabeza de trituración en ciclos repetidos. La abertura mínima entre los blindajes del manto y tazón se denomina ajuste cerrado.

Figura 4. Partes de la trituradora de cono

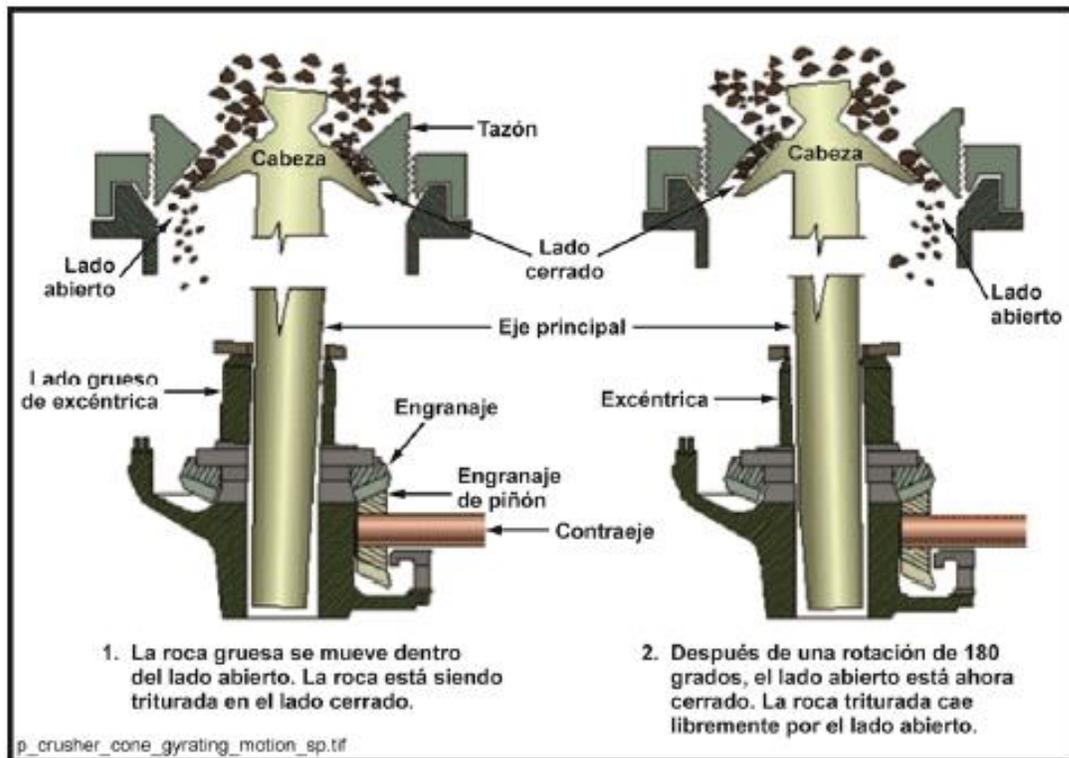


Fuente: Minera San Rafael S.A. Proyecto Escobal. *Manual de operación de trituración*. p. 85.

El material es alimentado a la trituradora a través de la parte superior sobre el distribuidor de alimentación, el cual gira con la cabeza y distribuye la alimentación alrededor de la cavidad de trituración. El material cae dentro de la abertura entre el tazón y la cabeza, y es quebrado durante la parte del giro en la cual la cabeza está cerca del blindaje del tazón, (ver figura 5).

A medida que la cabeza se aleja, el material triturado (más fino) se deposita más abajo dentro del tazón, donde la abertura es más estrecha. El material es triturado adicionalmente a medida que la cabeza regresa. Este proceso se repite hasta que el material triturado llega al fondo de la abertura y está al tamaño proyectado.

Figura 5. Trituración de mineral en trituradora de cono



Fuente: Minera San Rafael S.A. Proyecto Escobal. *Manual de operación de trituración*. p. 88.

El tamaño del producto descargado de la trituradora es controlado ajustando la abertura entre los blindajes del manto y tazón de modo que el ajuste cerrado sea ligeramente menor que el tamaño de producto máximo deseado.

La abertura deberá ajustarse regularmente durante la vida útil de los blindajes para que la abertura aumente a medida que el material de blindaje se desgaste, la trituradora usa un rotor hidráulico para hacer girar el ensamble del tazón de soporte para los ajustes de la abertura de descarga.

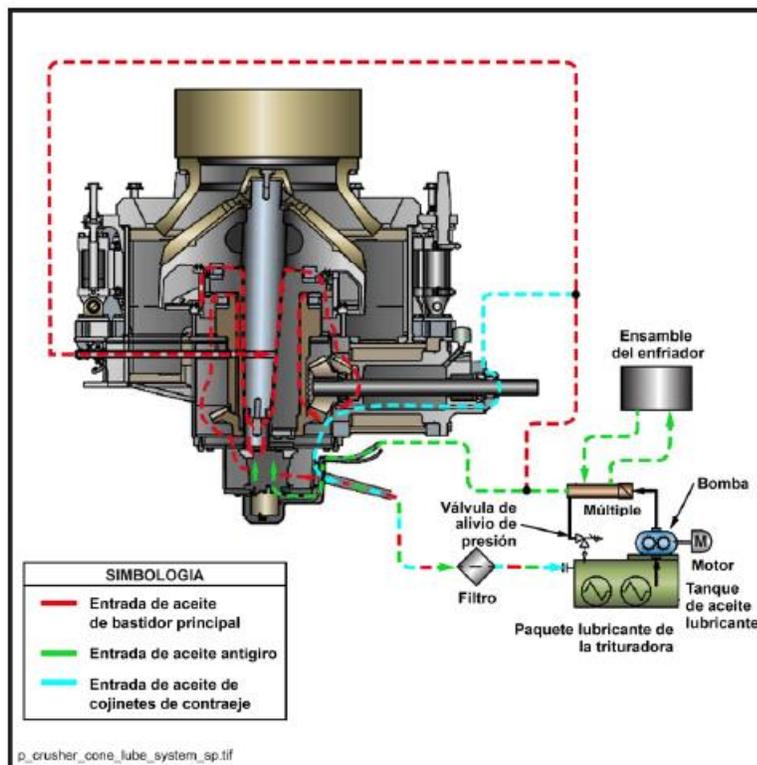
Si el tazón está fijado rígidamente al bastidor, la trituradora puede dañarse si un objeto no triturable es atrapado entre el cono y el tazón. Para permitir que el tazón ceda, el ensamble del tazón y anillo de ajuste está retenido sobre el bastidor principal mediante una serie de cilindros de alivio hidráulicos. Si un fragmento de metal es atrapado entre el cono y el tazón, los cilindros hidráulicos permiten que el tazón se levante lo suficiente para que la abertura se abra y permita la pasada del fragmento metálico. Después de que el fragmento metálico ha pasado y las fuerzas trituradoras se normalizan, la presión hidráulica fuerza el anillo de ajuste a reasentarse. La trituradora continúa luego operando como antes.

El sistema de lubricación de la trituradora de cono provee la lubricación y el enfriamiento necesarios de las partes móviles de la trituradora. Los componentes principales del sistema de lubricación son el tanque de aceite, bomba de aceite, filtros de aceite e intercambiador de calor aire-aceite. El suministro de aceite para la trituradora está contenido en el tanque de aceite (ver figura 6).

En Minera San Rafael el tanque no tiene un calentador controlado termostáticamente ya que la temperatura ambiente proporciona la condición correcta para el funcionamiento.

Hay una bomba del sistema de lubricación que suministra aceite a las camisas de bronce, cojinete de empuje, eje principal y excéntrica, engranaje de mando y piñón, cojinetes del contra eje. El aceite bajo presión es forzado luego a través de pasajes interconectados en la trituradora para lubricar y enfriar los componentes. El aceite es recolectado finalmente en un sumidero en la base de la trituradora y regresa por gravedad al depósito de aceite.

Figura 6. **Lubricación de trituradora de cono**



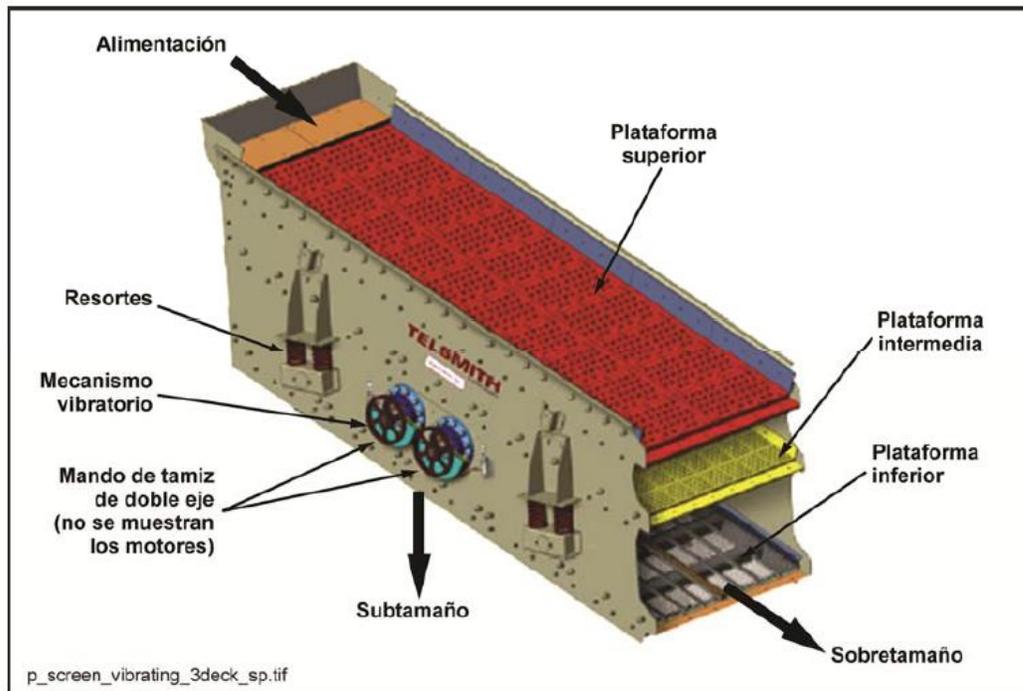
Fuente: Minera San Rafael S.A. Proyecto Escobal. *Manual de operación de trituración*. p. 48.

El sistema hidráulico mantiene fuerzas de trituración consistentes, permite liberar las fuerzas de trituración durante un evento de atascamiento, permite el despeje cuando la trituradora está atascada con una cavidad llena, provee fuerzas de sujeción para impedir que el ensamble del tazón gire durante la trituración y provee el ajuste necesario de la trituradora girando el ensamble del tazón dentro del ensamble del anillo de ajuste.

### **1.2.3. Tamiz vibratorio**

El tamizado es un proceso mecánico que separa partículas sobre la base del tamaño. Las partículas pasan sobre una superficie tamizadora con un gran número de orificios de un tamaño específico. Las partículas más pequeñas que los orificios son aceptadas y pasan a través de la superficie del tamiz. El material aceptado se conoce como material subtamaño. Las partículas mayores de los orificios son rechazadas y no pasan a través de la superficie del tamiz. Estas partículas se conocen como material sobre tamaño. El tamiz motorizado produce un movimiento vibratorio que puede variarse en amplitud (cantidad de movimiento ascendente/descendente). Los principales componentes de un tamiz vibratorio son las 3 plataformas de alimentación, resortes de absorción de movimiento, mecanismo vibratorio y el mando de transmisión, (ver figura 7).

Figura 7. Partes de tamiz vibratorio



Fuente: Minera San Rafael S.A. Proyecto Escobal. *Manual de operación de trituración*. p. 65.

#### 1.2.4. Banda transportadora

La banda transportadora es uno de los equipos de uso más común para mover material relativamente seco como el mineral. Una banda hecha de tela y hule es estirada entre una polea de cabeza y una polea de cola. Un motor de empuje suministra energía rotacional a una polea de empuje, lo cual hace que la banda gire alrededor de las poleas de cabeza y cola.

El movimiento rotatorio provee una superficie portadora continua para transportar material desde un punto a otro. El material es entregado a la superficie de la banda a través de un chute de carga. Tan pronto como el material entra en contacto con la superficie de la banda, es llevado lejos del chute de carga por el movimiento de la banda.

El material se mantiene sobre la superficie de la banda a medida que se mueve a lo largo de la trayectoria del transportador hasta que descarga de la banda cuando ésta gira alrededor de la polea de cabeza. El impulso de avance del mineral le lleva fuera de la banda y dentro del chute de descarga a medida que la banda cambia de dirección.

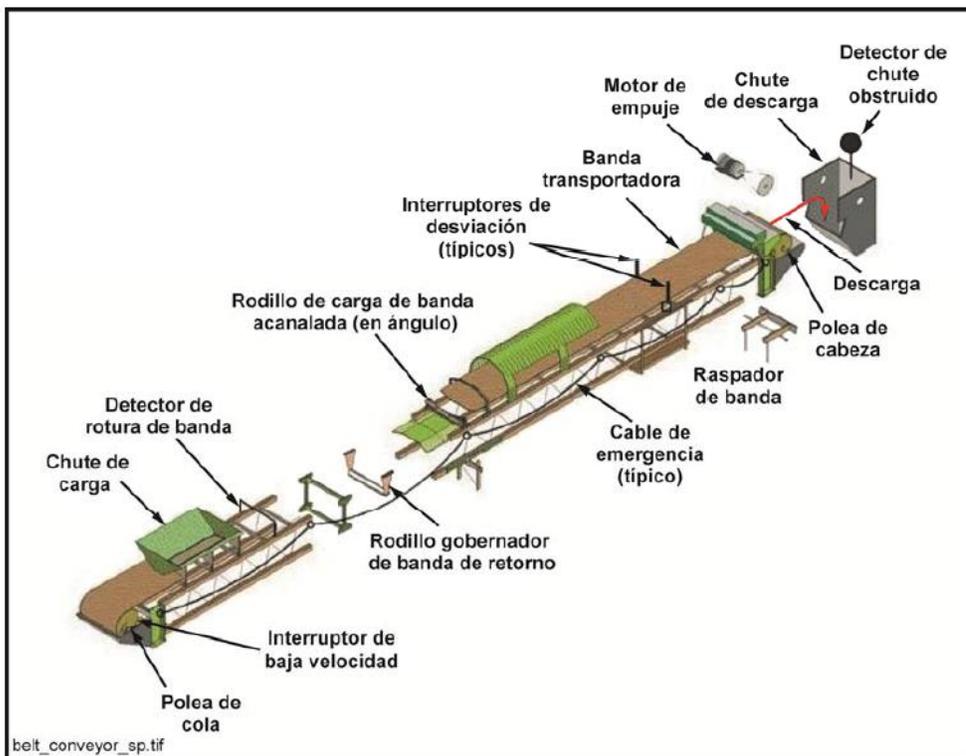
La banda está soportada en el lado portador de mineral mediante rodillos de carga en ángulo. Está soportada en el lado no portador de mineral mediante rodillos de retorno. Hay raspadores y deflectores de banda instalados típicamente para mantener la banda limpia de material y evitar daños en las poleas. Hay equipos de protección y dispositivos de seguridad instalados, los que típicamente incluyen interruptores de baja velocidad, detectores de rotura de banda, interruptores de desalineamiento de banda e interruptores de cable de emergencia (ver figura 8).

Hay un detector de chute obstruido instalado en el chute de descarga para proteger la banda transportadora contra el daño y reducir la cantidad de derrame en caso que el chute se obstruya.

La banda está hecha con capas de tela y hule unidas entre sí, siendo las capas superior e inferior de hule. Esto protege contra el daño causado por las rocas, permite un mejor desgaste de la banda a medida que se desplaza a lo largo de los rodillos y alrededor de las poleas y provee una buena tracción en la

polea de empuje. La capa superior generalmente es más gruesa para resistir mejor el impacto de las rocas que caen sobre el transportador a través del chute de carga. Las largas bandas transportadoras a menudo tienen varios cables de alambre incorporados lado a lado cubriendo el ancho completo de la banda y abarcando la extensión total de la banda. Estos cables, conjuntamente con las capas de tela, dan resistencia a la banda.

Figura 8. **Partes de una banda transportadora**



Fuente: Minera San Rafael S.A. Proyecto Escobal. *Manual de operación de trituración*. p. 68.

Los transportadores están invariablemente dispuestos de modo que los transportadores aguas arriba se detienen tan pronto se detienen los transportadores o equipos aguas abajo. Esto es para impedir el apilamiento de

material en el punto de descarga del transportador. La banda transportadora no puede funcionar a menos que un transportador o equipo aguas abajo esté funcionando.

Las bandas transportadoras en el circuito de trituración secundario y terciario están equipadas con interruptores de cables de emergencia, interruptores de desalineamiento de banda, un sistema de detección de rotura de banda e interruptores de detección de velocidad cero.

#### **1.2.5. Tolva de descarga**

Hay dos tolvas de alimentación de tamices terciarios, cada una con una capacidad útil de 50 toneladas. El mineral es alimentado desde las tolvas directamente sobre las dos bandas alimentadoras de tamices terciarios, las cuales están equipadas con compuertas deslizantes para detener el flujo de mineral hacia uno o ambos alimentadores de tamices terciarios. Cada tolva de alimentación de tamices terciarios está equipada con un respiradero de tolva para prevenir las fugas de polvo a la atmósfera. El respiradero de la tolva es un colector de polvo tipo cámara de mangas equipado con un ventilador de tiro inducido.

#### **1.2.6. Recabación de datos de operación**

Los datos de operación de los equipos se registran todos los días a través de un informe en Excel que se realiza automáticamente. Este reporte recibe el nombre de *flash report*, adjunto en el anexo 9, y contiene los datos de interés que son el total de toneladas procesadas de mineral fino y horas operadas de los equipos más importantes de trituración: la trituradora de quijada y las trituradoras de cono. Con estos datos se calcula el tonelaje que procesó el resto

de los equipos con ayuda del flujograma del proceso de trituración, anexos 10 y 11.

### **1.3. Descripción del proceso de trituración**

El circuito de trituración reduce el tamaño del mineral directo de la mina usando una trituradora primaria (quijada) y dos etapas de trituración fina (cono). El circuito de trituración fina consiste en una trituración secundaria en un circuito abierto y una trituración terciaria en circuito cerrado. El mineral triturado se transporta y contiene en tolvas de mineral fino previo a la molienda. El mineral fino triturado producido tiene un rango de tamaño de partícula un 80 % menor que 3/8". Rociadores de agua minimizan las fugas de polvo desde los puntos de transferencia al medio ambiente. Un sistema colector de polvo tipo cámara de mangas también minimiza las fugas de polvo en el área.

#### **1.3.1. Tamizado primario**

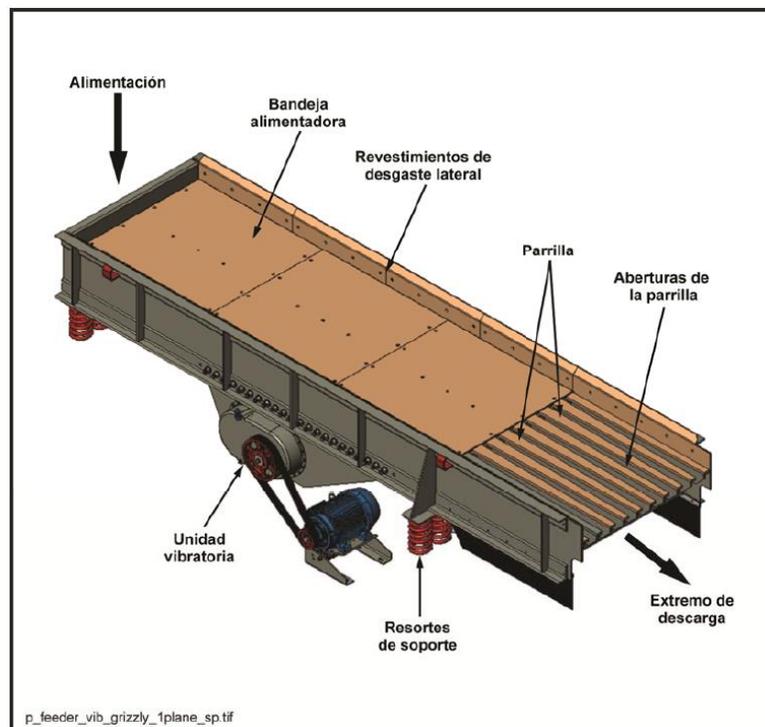
El mineral se entrega desde la mina vía camión de acarreo a una tolva de alimentación de la trituradora primaria con capacidad de 100 toneladas. El mineral pasa a través de una criba estacionaria cuya abertura de tamizado es de 2 pies x 2 pies, ubicada sobre la tolva de vaciado de la trituradora. El alimentador vibratorio tipo criba cumple el doble propósito de tamizar el mineral para remover el material que ya es más pequeño que el producto de la trituradora primaria, mientras actúa al mismo tiempo como el alimentador que abastece el mineral grueso dentro de la trituradora.

El espaciamiento de 4" de las barras de la criba separa el mineral grueso de más de 4" del mineral fino inferior a 4" que puede derivar la trituradora. El alimentador vibratorio tipo criba es un TelSmith Modelo VGF SD un alimentador

electromecánico de 60" por 20'. El alimentador está equipado con una unidad vibratoria modelo 280HF accionada por un motor eléctrico de 50 hp y un mando de frecuencia variable así, variando la frecuencia del motor varía la cantidad de material que entrega el alimentador. La capacidad máxima del alimentador es de 430 toneladas métricas secas por hora.

El alimentador está montado sobre un bastidor horizontal que descansa sobre resortes de soporte. La vibración del alimentador es provista por contrapesos excéntricos impulsados por un motor eléctrico de velocidad variable, (ver figura 9). La longitud de carrera (amplitud de vibración) del alimentador es fija.

Figura 9. Alimentador y tamiz vibratorio



Fuente: Minera San Rafael S.A. Proyecto Escobal. *Manual de operación de trituración*. p. 108.

### **1.3.2. Trituración primaria**

La trituradora primaria es una trituradora de quijada que reduce el tamaño del mineral a un 80 % pasando 4" para alimentarse al circuito de trituración secundaria-terciaria. El producto de la trituradora de quijada descarga sobre el transportador de alimentación de tamiz secundario, el cual entrega mineral al circuito de trituración secundaria-terciaria.

La trituradora primaria es una trituradora de quijada de articulación única Telsmith modelo 3055 Standard impulsada por 8 bandas 8V2500 con un motor eléctrico de 200 hp, y tiene un volante de 54" de diámetro.

La abertura de alimentación de la trituradora es de 30" por 55" y la capacidad de operación máxima de diseño de la trituradora es de 430 toneladas métricas secas por hora. El diseño del proceso considera un promedio de alimentación nominal hacia la trituradora primaria de 136 toneladas métricas secas por hora.

### **1.3.3. Tamizado secundario**

El tamiz secundario, accionado por 6 bandas 5V1120 en dos motores eléctricos de 25 hp, es un tamiz vibratorio inclinado de tres plataformas que también sirve como el alimentador para la trituradora secundaria. El tamiz secundario es una unidad Telsmith Triple-Deck Vibro-King TL modelo 6x20 Dual TL26 con plataformas *polydeck* de poliuretano. Cada plataforma tiene 6' por 20', con cada plataforma haciendo pasar progresivamente material más fino. El promedio de alimentación nominal de diseño para el tamiz es de 219 toneladas métricas secas por hora de mineral con un tamaño de partícula promedio de 4".

El subtamaño de la plataforma inferior hacia el transportador de transferencia de mineral fino es de aproximadamente 36 toneladas métricas secas por hora, mientras que la alimentación de sobretamaño de todas las plataformas hacia la trituradora secundaria es de casi 183 toneladas métrica secas por hora.

El tamizado secundario consta de 3 plataformas que debido al movimiento progresivo del material clasifica las partículas según su tamaño. Las medidas de los agujeros de los segmentos en cada plataforma van de mayor a menor tamaño.

- Plataforma superior 4" x 4"
- Plataforma intermedia 1" x 3"
- Plataforma inferior 1/2" x 2 3/8"

#### **1.3.4. Trituración secundaria**

La trituradora secundaria es una trituradora de cono Telsmith modelo 44SBS impulsada por 8 bandas 8V2120 mediante un motor eléctrico de 300 hp que reduce el mineral a un 80 % pasando 2". La alimentación nominal de diseño promedia 183 toneladas métricas secas por hora, de lo cual el 80 % es menor a 4". El propósito del sistema de trituración secundaria es reducir adicionalmente el tamaño del mineral grueso recibido del sistema de trituración primaria al tamaño óptimo para molerse en un molino de bolas.

Este sistema consiste en el segundo paso para completar la porción de trituración de proceso de conminución antes de entregar el mineral a las tolvas de mineral fino que alimentan el molino. La trituradora secundaria sin carga circulante se conoce como circuito abierto.

### **1.3.5. Tamizado terciario**

Los dos tamices terciarios son tamices vibratorios inclinados de tres plataformas y son similares al tamiz secundario ya descrito. La única excepción es que el tamaño de las aberturas en los medios tamizadores sobre cada plataforma es menor que en el tamiz secundario. Las medidas de los agujeros de los segmentos en cada plataforma van de mayor a menor tamaño.

- Plataforma superior 2" x 4 1/8"
- Plataforma intermedia 1" x 3"
- Plataforma inferior 1/2" x 2 3/8"

Los tamices terciarios también sirven como alimentadores para las trituradoras terciarias. El mineral triturado de la trituradora de cono secundaria es transportado por banda a los tamices terciarios vía el transportador de descarga de trituradora y el transportador de alimentación de tamices terciarios.

En conformidad, el mineral sobre tamaño 80 % menor a 2" alimenta las dos trituradoras terciarias a una velocidad de casi 194 toneladas métricas secas por hora para cada una. La descarga de la trituradora secundaria es combinada con 206 toneladas métricas secas por hora de mineral de lo cual el 80 % es menor a 3/8" de las dos trituradoras terciarias. Un circuito con carga circulante y equipos como las trituradoras y tamices terciarios de este proceso, se conoce como circuito cerrado.

El diseño del proceso establece una alimentación nominal de 219 toneladas métricas secas por hora de mineral fino subtamaño desde los tamices cayendo sobre el transportador de transferencia de mineral fino. El paso final en

el sistema de trituración secundaria y terciaria es la trituración del mineral sobre el tamaño de los tamices terciarios.

### **1.3.6. Trituración terciaria**

Ambas trituradoras de cono terciarias son trituradoras Telsmith modelo 44SBS, cada una impulsada por 8 bandas 8V2120 mediante motores de 300 hp. Son unidades similares a la trituradora secundaria. El sistema de lubricación de la trituradora de cono para las trituradoras terciarias es el mismo sistema de lubricación usado para la trituradora secundaria. Los sistemas de ajuste hidráulico y otras funciones del sistema hidráulico también son las mismas de la trituradora secundaria.

El diseño del proceso es tal que cada trituradora de cono terciaria procesa 103 toneladas métricas secas por hora de alimentación, la cual es 80 % menor a 2", las dos trituradoras entregan un total de 206 toneladas métricas secas por hora de mineral 80 % menor a 3/8" al transportador de descarga de trituradora.

### **1.3.7. Sistema de bandas transportadoras**

Hay seis transportadores dando servicio al sistema de trituración secundaria y terciaria: transportador de descarga de trituradoras secundaria y terciarias, transportador de alimentación de tamices terciarios, transportador de transferencia de mineral fino, transportador reversible, transportador de alimentación de tolvas de mineral fino y transportador reversible de tolvas de mineral fino. Todos estos son transportadores de banda estándar y tienen los mismos componentes básicos.

El transportador de alimentación de tamiz secundario transporta el mineral grueso de 4" desde el sistema de trituración primaria al tamiz secundario en el sistema de trituración secundaria y terciaria. Hay rociadores de agua de control de polvo instalados en el área donde el mineral triturado cae a través del chute de descarga de la trituradora de quijada sobre el transportador de alimentación de tamiz secundario. El transportador de alimentación de tamiz secundario es una banda transportadora de 36" de ancho. El transportador tiene 49,7 m de largo y está inclinado para subir 8,8 m hasta la descarga de la polea de cabeza sobre el tamiz secundario.

La carga de diseño nominal del proceso es de 219 toneladas métricas secas por hora y la capacidad de diseño máxima es de 365 toneladas métricas secas por hora. El transportador es accionado en la polea de cabeza por un motor eléctrico de 75 hp a través de una caja de engranajes reductora de velocidades.

El transportador de descarga de trituradora es una banda transportadora de 36" de ancho y 112 m de largo, inclinada para elevarse 12,3 m hasta la descarga de la polea de cabeza sobre el transportador de alimentación de tamices terciarios. La carga de diseño nominal del proceso es de 388 toneladas métricas secas por hora. El transportador es accionado por un motor eléctrico de 75 hp a través de una caja de engranajes reductora de velocidades.

El transportador de alimentación de tamices terciarios es una banda transportadora de 36" de ancho y 101 m de largo, inclinada para elevarse 18,4 m hasta la descarga de la polea de cabeza dentro de las tolvas de alimentación de tamices terciarios. La carga de diseño nominal del proceso es de 388 toneladas métricas secas por hora. El transportador es accionado por un motor eléctrico de 75 hp a través de una caja de engranajes reductora de velocidades.

El mineral triturado es pesado en el transportador de alimentación de tamices terciarios usando una báscula de banda.

El transportador de transferencia de mineral fino es una banda transportadora de 36" de ancho por 84 m de largo, inclinada para elevarse 11 m hasta la descarga de la polea de cabeza sobre el transportador reversible. La carga de diseño nominal del proceso es de 219 toneladas métricas secas por hora, lo cual equivale al 60 % de la carga de diseño máxima. El transportador es accionado por un motor eléctrico de 75 hp a través de una caja de engranajes reductora de velocidades. El mineral triturado es pesado en el transportador de transferencia de mineral fino usando una báscula de banda.

El transportador reversible es una banda transportadora de 36" de ancho por 36 m de largo que descarga sobre el transportador de alimentación de tolvas de mineral fino o pila de almacenamiento. La carga de diseño nominal del proceso es de 219 toneladas métricas secas por hora, lo cual es un 34 % de la carga de diseño máxima. El transportador es accionado por un motor eléctrico de 25 hp a través de una caja de engranajes reductora de velocidades.

El transportador de alimentación de tolvas de mineral fino es una banda transportadora de 36" de ancho por 83 m de largo, inclinada para elevarse 20,7 m hasta la descarga de la polea de cabeza sobre el transportador reversible de tolvas de mineral fino. La carga de diseño nominal del proceso es de 219 toneladas métricas secas por hora, lo cual equivale al 34 % de la carga de diseño máxima. El transportador es accionado por un motor eléctrico de 75 hp a través de una caja de engranajes reductora de velocidades.

El transportador reversible de tolvas de mineral fino es una banda transportadora de 36" de ancho por 14 m de largo que descarga dentro de

cualquiera de las tolvas de mineral fino. La carga de diseño nominal del proceso es de 219 toneladas métricas secas por hora, lo cual equivale al 34 % de la carga de diseño máxima. El transportador es accionado por un motor eléctrico de 25 hp a través de una caja de engranajes reductora de velocidades.

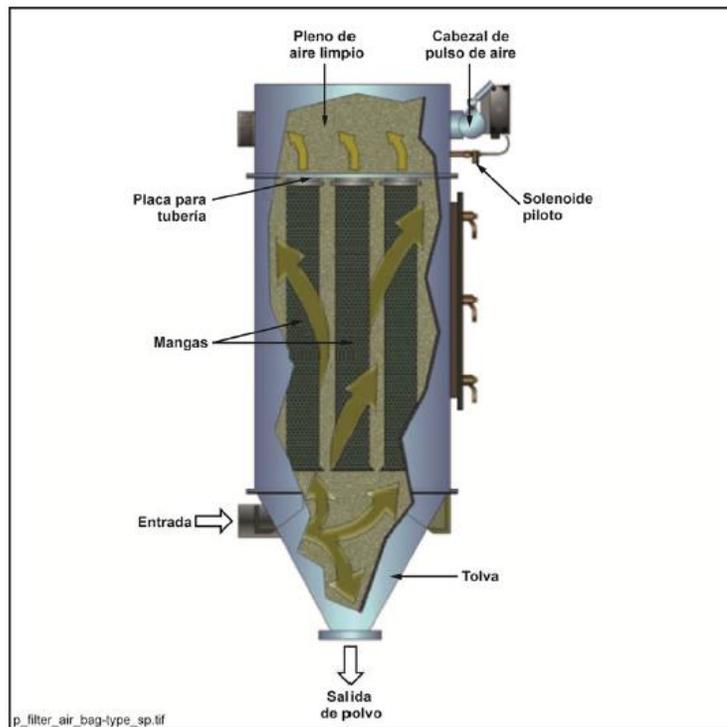
### **1.3.8. Sistema de extracción de polvo**

El polvo en el sistema de trituración secundaria y terciaria se controla mediante un sistema controlador de polvo y mediante rociadores de agua controladores de polvo. El polvo generado por el procesamiento de mineral es recolectado en los puntos de transferencia y canalizado hacia el colector de polvo de trituración fina, el cual es un colector de polvo tipo cámara de mangas. El colector de polvo de trituración fina está ubicado en el edificio de trituración secundaria y terciaria.

Los puntos de recolección en el edificio de trituración secundaria y terciaria incluyen: uno en el tamiz secundario, tres ubicados entre los chutes de descarga en el transportador de descarga de trituradora de cono, tres ubicados entre los chutes de descarga en el transportador de transferencia de mineral fino y uno en cada transportador de alimentación de tamices terciarios.

Se usa una cámara de mangas para limpiar corrientes de aire conteniendo partículas muy finas. Esta es una cámara que estanca al aire y consiste en una placa para tubería, soportada por jaulas filtrantes rígidas de alambre insertas en el interior de las mangas filtrantes y un sistema para limpiar las mangas, (ver figura 10).

Figura 10. Sistema de extracción de polvo



Fuente: Minera San Rafael S.A. Proyecto Escobal. *Manual de operación de trituración*. p. 72.

El método de limpieza normalmente es uno que emplea un flujo de aire inverso pulsado para inflar las mangas e invertir momentáneamente el flujo de aire haciendo que las partículas de polvo, que se adhieren a la parte exterior de las mangas, se suelten.

La corriente de aire conteniendo partículas finas ingresa al área de admisión de la cámara de mangas y pasa dentro del área de la tolva debajo de las mangas filtrantes.

Las partículas más pesadas se depositan debido a una reducción de velocidad y cambio de dirección. Las partículas suspendidas más finas en la

corriente de aire ingresan a la cámara de mangas filtrantes donde son arrastradas hacia las paredes de tela de las mangas filtrantes. Las partículas son entonces atrapadas en la superficie de la tela filtrante mientras que el aire limpio la atraviesa, continuando hacia arriba a través del extremo abierto en la parte superior del ensamble de manga filtrante y jaula. Luego, el aire limpio es extraído de la cámara de mangas.

El polvo acumulado en el exterior de las mangas es removido periódicamente dirigiendo un pulso corto de aire comprimido, el cual es introducido fila por fila, descendientemente por el interior de la manga, a través de tuberías de soplado ubicadas sobre cada fila de mangas. Se emplea un temporizador para activar el ciclo de limpieza. Un Venturi diseñado aerodinámicamente en la parte superior de cada manga hace que el pulso de aire comprimido induzca un flujo de aire limpio dentro de la manga.

Orificios ubicados en el fondo de las tuberías de soplado están centrados sobre cada Venturi de manga para dirigir el pulso de alta presión hacia abajo dentro de cada manga. Se crea una onda de choque que viaja hacia abajo por la manga y golpea una placa sólida en el fondo. La onda de choque presuriza momentáneamente la manga, detiene el flujo de aire cargado de polvo dentro de ella y flexiona la tela. Este efecto es aumentado por la placa en el fondo.

El polvo se desprende y cae dentro de la tolva para su descarga. Esta acción de limpieza instantánea procede fila por fila, mientras el flujo de aire cargado de polvo dentro del filtro continúa ininterrumpidamente.

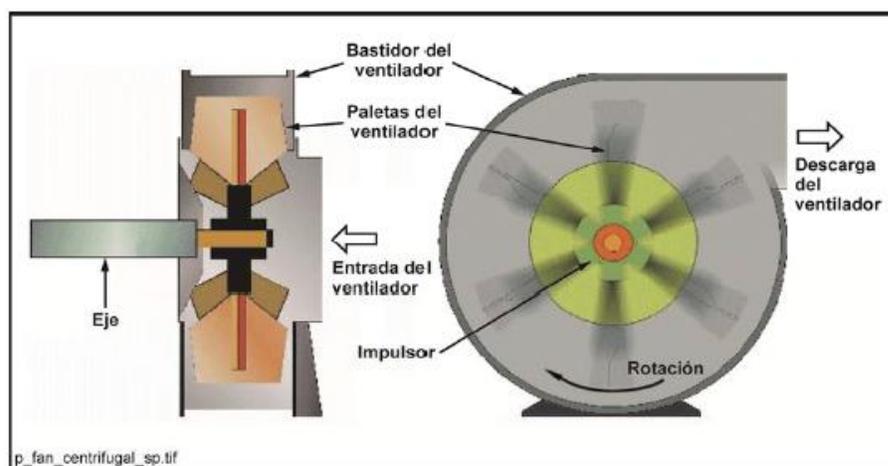
La cantidad de limpieza puede ajustarse variando los tiempos de encendido/ apagado. Si se observa una alta presión diferencial, el tiempo de limpieza deberá aumentarse. Una limpieza excesiva constituye un desperdicio

de aire comprimido y somete a las mangas a más ciclos de flexión que los necesarios y, en consecuencia, a un desgaste innecesario. El aire cargado de polvo es canalizado desde cada punto de recolección hacia el colector de polvo. La succión es creada por un ventilador centrífugo de tiro inducido ubicado en el colector de polvo.

El ventilador consiste en un elemento rotatorio montado sobre un eje de empuje, el cual es impulsado por un motor. El elemento rotatorio está compuesto por paletas montadas radialmente alrededor de la extensión del eje de empuje dentro del bastidor del ventilador (ver figura 11).

El motor de empuje hace girar el eje, haciendo que las paletas giren o roten en el bastidor. Al girar, las paletas están diseñadas para empujar el aire hacia el exterior del bastidor del ventilador y fuera de la descarga ubicada tangencialmente en el bastidor del ventilador.

Figura 11. **Ventilador centrífugo**

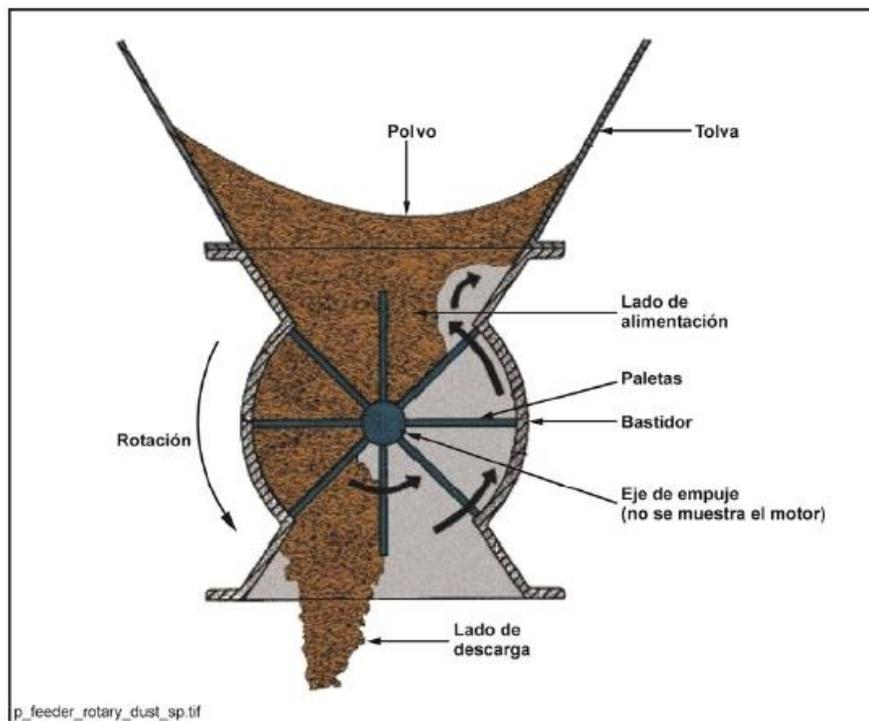


Fuente: Minera San Rafael S.A. Proyecto Escobal. *Manual de operación de trituración*. p. 75.

El ventilador tiene la capacidad de mover 1,130 m<sup>3</sup>/min de aire y es accionado por un motor eléctrico de 150 hp. El flujo de aire y polvo es arrastrado desde la canalización directamente dentro del colector de polvo donde el polvo es recolectado y el aire limpio pasa a través del ventilador y hacia la atmósfera.

El polvo cae hacia la tolva en el fondo del colector de polvo y es descargado mediante una válvula rotatoria que actúa como un alimentador y esclusa de aire (ver figura 12). El polvo es luego expelido por la válvula rotatoria dentro de un chute y sobre el transportador de transferencia de mineral fino. La válvula rotatoria es accionada por un motor eléctrico de 1,5 hp.

Figura 12. **Válvula rotatoria**



Fuente: Minera San Rafael S.A. Proyecto Escobal. *Manual de operación de trituración*. p. 80.

Las válvulas rotatorias logran el retiro de los materiales en este caso, partículas finas de polvo sin interrumpir o reducir el tiro o aspiración en el recipiente. Los componentes principales de un ensamble de válvula rotatoria incluyen el bastidor, rotor y placas terminales.

A medida que la válvula gira, cada bolsillo se llena con polvo en el punto alto de la rotación. El polvo fluye por gravedad dentro de la abertura en la parte superior del bastidor. El bolsillo lleno avanza su posición de modo que queda sellado del recipiente mediante el ajuste apretado entre las paletas y el bastidor. Al mismo tiempo, el próximo bolsillo vacío está debajo del recipiente y se llena con polvo.

A medida que la válvula sigue girando, el bolsillo lleno llega a su punto bajo de rotación. En este punto, el polvo cae por la abertura inferior en el bastidor dentro de un chute de descarga.

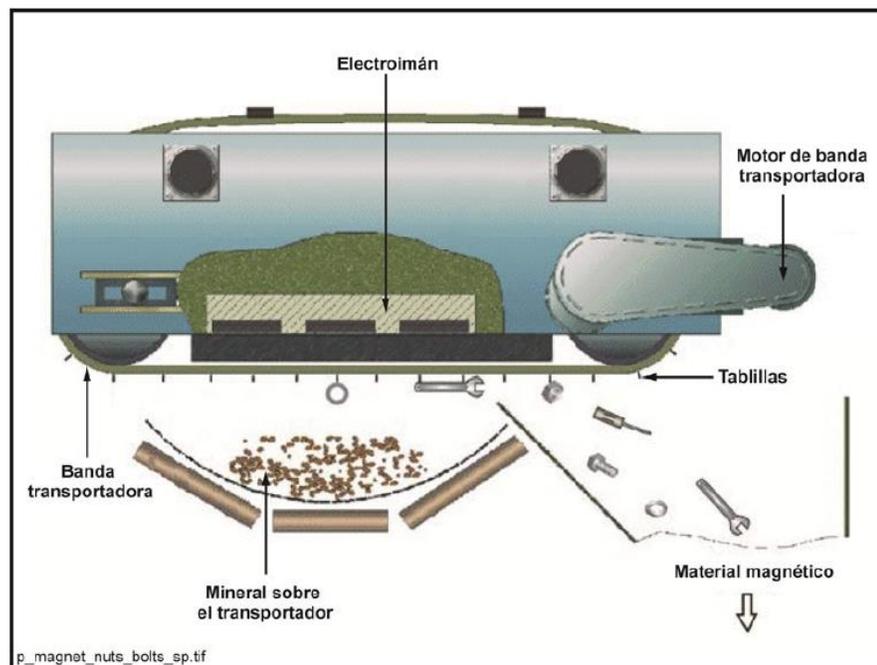
### **1.3.9. Electroimán**

Un electroimán autolimpiante es un separador magnético suspendido sobre una banda transportadora que retira el hierro magnético desde la corriente de mineral. Estos desechos magnéticos a menudo se conocen como chatarra. El electroimán autolimpiante consiste en un electroimán con un núcleo de hierro devanado con bobinas de alambre. (ver figura 13).

La corriente continua, producida por un rectificador, se hace pasar a través de las bobinas para generar un campo magnético. Hay una banda transportadora corta y rápida instalada alrededor de este electroimán y el mecanismo resultante se suspende luego sobre el transportador de mineral.

Los electroimanes autolimpiantes pueden ser electroimanes en línea (la banda transportadora del electroimán está en línea con la banda transportadora de mineral) o electroimanes de banda transversal (la banda transportadora del electroimán está instalada en ángulos rectos respecto de la línea de la banda transportadora de mineral). El principio de operación es igual para ambos.

Figura 13. **Electroimán**



Fuente: Minera San Rafael S.A. Proyecto Escobal. *Manual de operación de trituración*. p. 96.

La fuerza de este campo magnético arranca el material magnético en el mineral fuera de la banda transportadora y hacia el electroimán. Este es transportado luego a lo largo de la parte inferior de la banda transportadora del electroimán. A medida que la chatarra es alejada del electroimán, cae dentro de un chute que conduce a una tolva de almacenamiento o área de eliminación similar.

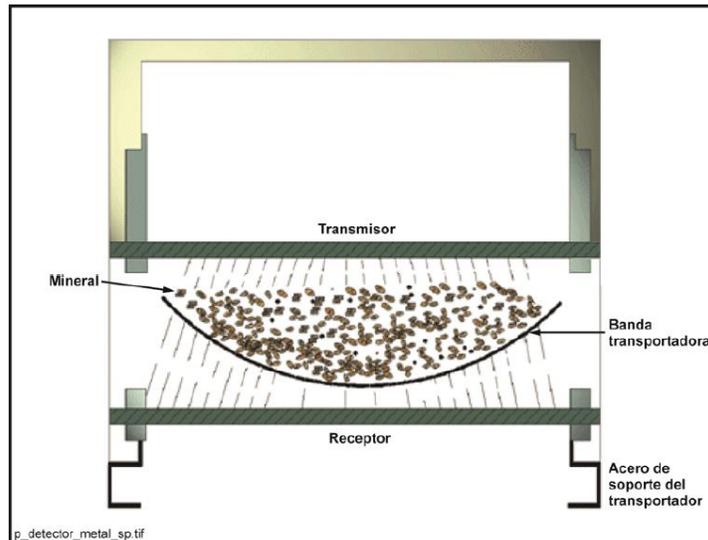
Las bandas normalmente están diseñadas con tablillas para ayudar a acelerar el material magnético para que pueda ser expelido de la banda.

Para indicar la presencia de cualquier pieza de metal no removida por el electroimán, hay un detector de instalado en el transportador de alimentación de tamiz secundario.

Hay algunos metales que no pueden ser capturados por un electroimán. Algunos elementos metálicos vienen mezclados con el mineral que se recibe de la mina. Estos metales contienen típicamente un alto porcentaje de molibdeno y no son muy magnéticos. Puede usarse un detector de metales para identificar estos metales. Un detector de metales es un instrumento electrónico que detecta la presencia de metal sobre una banda transportadora, pero no lo recupera. Cualquier metal refinado (magnético o no magnético) sobre la banda tiene una mayor conductividad que el mineral siendo transportado (ver figura 14).

Se transmite una señal electromagnética desde arriba de la banda y se recibe debajo de la banda. La presencia de metal sobre la banda en movimiento produce un cambio en esta señal electromagnética. El detector se calibra contra un trozo de metal de referencia y luego detecta metal del tamaño de la referencia y más grande.

Figura 14. **Detector de metales**



Fuente: Minera San Rafael S.A. Proyecto Escobal. *Manual de operación de trituración*. p. 99.

También, está usualmente diseñado para entregar una señal al sistema de control para activar una alarma y, en la mayoría de los casos, parar automáticamente la banda transportadora. El detector de metales ayuda a prevenir el daño potencial para la banda del transportador al igual que para los equipos de trituración secundaria y terciaria parando el transportador y permitiendo que el metal sea removido. Además, del metal ferroso (hierro), el detector es capaz de detectar la presencia de metal no ferroso. Una vez que el metal ha sido removido manualmente, el operador puede re arrancar el transportador.

## **2. FASE DE INVESTIGACIÓN**

### **2.1. Análisis económico actual**

En esta parte se determinan las piezas de desgaste de cada equipo, el costo de cada una y el promedio de tiempo de vida que actualmente tienen. Con base en ello se procedió a realizar el cálculo de la cantidad de dinero por cada cambio de piezas de desgaste de los equipos en estudio y posteriormente el monto anual asociado en cambio de piezas de desgaste para cada equipo.

#### **2.1.1. Identificar piezas de desgaste**

Las piezas de desgaste de cada equipo se definen como aquellas que están sometidas a una serie de factores que provocan su desgaste y rotura debido a la acción de fuerzas de fricción de las cargas de trabajo. En los equipos de trituración el principal tipo de desgaste es causado por la abrasión.

Para la trituradora de quijada las piezas de desgaste y reemplazo son:

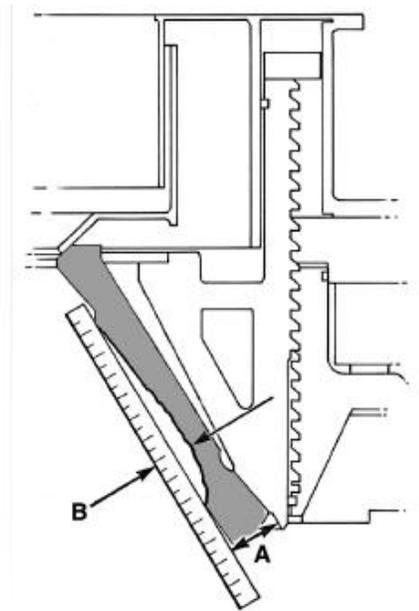
- Quijada móvil
- Quijada fija
- Placa lateral superior
- Placa lateral inferior

Para las trituradoras de cono las piezas de desgaste son:

- Manto
- Anillo cóncavo
- Tuerca del eje
- Anillo de sacrificio

Para las trituradoras de cono está estipulado en el manual que se debe medir la dimensión A al fondo del anillo cóncavo; se debe colocar un borde recto para poder obtener la dimensión B; luego, restar A-B que debería resultar 1", si la medida es menor a 1", se debe reemplazar el anillo cóncavo (ver figura 15).

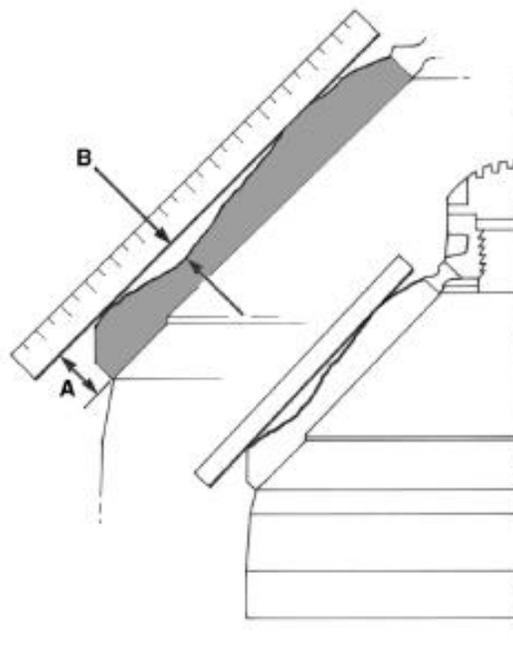
Figura 15. **Límite de desgaste de anillo cóncavo**



Fuente: TELSMITH. *Trituradoras de conos SBS modelos 38,44,52,57 y 68. Revisión y reparación.* p. 115.

Se debe medir la dimensión A al fondo del manto; se debe colocar un borde recto para poder obtener la dimensión B; luego, restar A-B que debería resultar 1"; si la medida es menor a 1", se debe reemplazar el manto (ver figura 16).

Figura 16. **Límite de desgaste de manto**



Fuente: TELSMITH. *Trituradoras de conos SBS modelos 38,44,52,57 y 68. Revisión y reparación.* p. 116.

Para las cribas vibratorias las piezas de desgaste son:

- Segmentos de tamizado
- Revestimientos laterales

### **2.1.2. Determinar frecuencia de cambio**

Cada equipo estipula en el manual de mantenimiento una forma de conocer la condición y en base a ello realizar el cambio en la pieza de desgaste, en Minera San Rafael los cambios de pieza de desgaste se hacen con base en el tonelaje procesado por cada equipo.

Con base en los datos de operación del 2do semestre del año 2016, se determina que el tonelaje promedio entre cada cambio de piezas de desgaste de quijadas móvil y fija; para la trituradora primaria se procesan 188 168,45 toneladas en 47 días de operación.

Con base en los datos de operación del 2do semestre del año 2016, se determina que el tonelaje promedio entre cada cambio de piezas de desgaste manto-anillo cóncavo para la trituradora secundaria se procesan 126 612,42 toneladas en 24 días de operación. Para las 2 trituradoras terciarias entre cada cambio de manto-anillo cóncavo se procesan 37 489,69 toneladas para la terciaria 1 y 37 851,38 toneladas para la terciaria 2; ambas en 14 días de operación.

Para las cribas vibratorias se propuso realizar los cambios de los segmentos de tamizado en 2 fases, para la criba secundaria la primera fase comprende la primera mitad superior de la cama, la cual se compone de 30 segmentos donde se tamizan promedio 84 753,27 toneladas en 92 días; la segunda fase comprende la mitad inferior de la cama, la cual se compone de los restantes 30 segmentos donde se tamizan 113 004,36 toneladas en 122 días.

Para la criba terciaria 1 la primera fase comprende la primera mitad superior de la cama, la cual se compone de 30 segmentos donde se tamizan promedio 214 948,04 toneladas en 92 días; la segunda fase comprende la mitad inferior de la cama, la cual se compone de los restantes 30 segmentos donde se tamizan 286 597,38 toneladas en 122 días.

Para la criba terciaria 2 la primera fase comprende la primera mitad superior de la cama, la cual se compone de 30 segmentos donde se tamizan promedio 213 743,64 toneladas en 92 días; la segunda fase comprende la mitad inferior de la cama, la cual se compone de los restantes 30 segmentos donde se tamizan 284 991 toneladas en 122 días.

El mecanismo de cambio de segmentos de desgaste para las cribas vibratorias se compone de 2 fases, esto se debe a que el mayor desgaste se tiene en la alimentación de la criba por el impacto que tiene el material cuando es descargado ya sea de la banda para el caso de la criba secundaria o de los alimentadores terciarios para el caso de las cribas terciarias 1 y 2.

### **2.1.3. Establecer costos de mantenimiento preventivo**

Los costos de la siguiente tabla muestran los repuestos asociados a los cambios de piezas de desgaste para la trituradora de quijada, la cantidad necesaria de cada uno y el total de cambios anuales de cada pieza; también, se incluye la lubricación del equipo con el estimado anual de consumo de grasa sintética.

Tabla I. Costo de mantenimiento a trituradora de quijada

Ítem	Pieza	Costo	Cantidad utilizada	Total	Cantidad de cambios	Costo por cambio	Presupuesto anual de cambios
1	Cuña de ajuste	Q 15 654,61	2	Q 31 309,22	2	Q 35 801,02	Q 71 602,04
1,1	Tornillo cuadrado 1 3/4" x 29"	Q 883,46	4	Q 3 533,84			
1,2	Tuerca gruesa 1 3/4"	Q 47,40	4	Q 189,60			
1,3	Tuerca delgada 1 3/4"	Q 39,72	4	Q 158,88			
1,4	Roladana metálica 1 7/8"	Q 72,17	4	Q 288,68			
1,5	Roldana de advesto 1 7/8"	Q 80,20	4	Q 320,80	7	Q 63 152,33	Q 442 066,31
2	<b>Mandíbula móvil</b>	Q 55 319,49	1	Q 55 319,49			
2,1	Tornillo 1 1/2" para mandíbula móvil	Q 1 763,92	4	Q 7 055,68			
2,2	Tuerca gruesa 1 1/2"	Q 24,47	4	Q 97,88			
2,3	Tuerca delgada 1 1/2"	Q 21,74	4	Q 86,96			
2,4	Roladana metálica 1 5/8"	Q 70,13	4	Q 280,52	7	Q 59 477,19	Q 416 340,33
2,5	Roldana de advesto 1 5/8"	Q 77,95	4	Q 311,80			
3	<b>Mandíbula fija</b>	Q 45 673,39	1	Q 45 673,39			
3,1	Alineador interno de placa	Q 2 046,05	2	Q 4 092,10			
3,2	Roldana metálica 1.31"	Q 129,33	2	Q 258,66			
3,3	Tornillo 1 1/4" x 2" grado 5	Q 50,60	2	Q 101,20	7	Q 59 477,19	Q 416 340,33
3,4	Tornillo 1 1/2" x 8 1/2" para mandíbula fija	Q 515,87	12	Q 6 190,44			
3,5	Tuerca gruesa 1 1/2"	Q 24,47	12	Q 293,64			
3,6	Tuerca delgada 1 1/2"	Q 21,74	12	Q 260,88			
3,7	Roldana doble	Q 278,58	6	Q 1 671,48			
3,8	Roldana de advesto 1 5/8"	Q 77,95	12	Q 935,40	2	Q 16 665,92	Q 33 331,84
4	<b>Plata lateral superior</b>	Q 7 744,81	2	Q 15 489,62			
4,1	Tornillo cabeza cónica 1 1/4" x 6 3/8"	Q 175,28	6	Q 1 051,68			
4,2	Tuerca gruesa de 1 1/4"	Q 12,61	6	Q 75,66			
4,3	Roldana metálica 1 1/4"	Q 8,16	6	Q 48,96			
5	<b>Placa lateral inferior</b>	Q 5 166,07	2	Q 10 332,14	2	Q 11 116,34	Q 22 232,68
5,1	Tornillo cabeza cónica 1 1/4" x 6 3/8"	Q 175,28	4	Q 701,12			
5,2	Tuerca gruesa de 1 1/4"	Q 12,61	4	Q 50,44			
5,3	Roldana metálica 1 1/4"	Q 8,16	4	Q 32,64			
6	<b>GRASA MOBILITH SHC 220</b>	Q 2 306,46	1	Q 2 306,46	26	Q 2 306,46	Q 59 968,00
					<b>Costo total</b>	Q 188 519,26	Q 985 573,20

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Los costos de la siguiente tabla muestran los repuestos asociados a los cambios de piezas de desgaste para la trituradora de cono secundaria, la cantidad necesaria de cada uno y el total de cambios anuales de cada pieza; también, se incluye la lubricación del equipo junto con el aceite para la unidad hidráulica con el estimado anual de consumo de cada uno.

Tabla II. **Costo de mantenimiento a trituradora de cono secundaria**

Ítem	Pieza	Costo	Cantidad utilizada	Total	Cantidad de cambios	Costo por cambio	Presupuesto anual de cambios
1	Anillo cóncavo	Q 19 161,91	1	Q 19 161,91	15	Q 46 079,44	Q 691 191,60
1,1	Manto	Q 14 850,17	1	Q 14 850,17			
1,2	Anillo de sacrificio	Q 2 435,20	1	Q 2 435,20			
1,3	Nordbak alto desempeño	Q 2 408,04	4	Q 9 632,16			
1,4	Tuerca de eje	Q 10 456,58	1	Q 10 456,58	3	Q 13 159,10	Q 39 477,30
1,5	Cuña	Q 675,63	4	Q 2 702,52			
2	Aceite Mobilgear SHC 220	Q 28 110,53	1	Q 28 110,53	2	Q 28 110,53	Q 56 221,07
3	Aceite DTE 26 Mobil	Q 10 635,62	1	Q 10 635,62	2	Q 10 635,62	Q 21 271,23
<b>Costo total</b>						Q 97 984,69	Q 808 161,20

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Los costos de la siguiente tabla muestran los repuestos asociados a los cambios de piezas de desgaste para la trituradoras de cono terciarias, la cantidad necesaria de cada uno y el total de cambios anuales de cada pieza; también, se incluye la lubricación de los equipos junto con el aceite para la unidad hidráulica con el estimado anual de consumo de cada uno.

Tabla III. **Costo de mantenimiento a trituradora de cono terciaria**

Ítem	Pieza	Costo	Cantidad utilizada	Total	Cantidad de cambios	Costo por cambio	Presupuesto anual de cambios
1	Anillo cóncavo	Q 14 243,33	1	Q 14 243,33	29	Q 38 752,82	Q 1 123 831,78
1,1	Manto	Q 14 850,17	1	Q 14 850,17			
1,2	Anillo de sacrificio	Q 2 435,20	1	Q 2 435,20			
1,3	Nordbak alto desempeño	Q 2 408,04	3	Q 7 224,12			
1,4	Tuerca de eje	Q 10 456,58	1	Q 10 456,58	6	Q 13 159,10	Q 78 954,60
1,5	Cuña	Q 675,63	4	Q 2 702,52			
2	Aceite Mobilgear SHC 220	Q 28 110,53	1	Q 28 110,53	2	Q 28 110,53	Q 56 221,07
3	Aceite DTE 26 Mobil	Q 10 635,62	1	Q 10 635,62	2	Q 10 635,62	Q 21 271,23
<b>Costo total</b>						Q 90 658,07	Q 1 280 278,68

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Los costos de la siguiente tabla muestran los repuestos asociados a los cambios de piezas de desgaste para la criba secundaria y ambas terciarias, la cantidad necesaria de cada uno y el total de cambios anuales de cada pieza;

también, se incluye la lubricación de los equipos con el estimado anual de consumo de cada uno.

Tabla IV. **Costo de mantenimiento a cribas vibratorias**

Ítem	Pieza	Costo	Cantidad utilizada	Total	Cantidad de cambios	Costo por cambio	Presupuesto anual de cambios
1	Segmento polydeck de 4" x 4"	Q 1 378,17	60	Q 82 690,32	4	Q 302 124,21	Q 1 208 496,86
1,1	Segmento polydeck de 1/2" x 2 3/8"	Q 1 277,82	60	Q 76 669,43			
1,2	Segmento polydeck de 1" x 3"	Q 1 131,10	60	Q 67 866,24			
1,3	Segmento polydeck de 2" x 4"	Q 1 248,30	60	Q 74 898,22			
2	Revestimientos laterales	Q 81 122,16	1	Q 81 122,16	2	Q 81 122,16	Q 162 244,31
3	Aceite Mobilgear SHC 220	Q 28 110,53	1	Q 28 110,53	2	Q 28 110,53	Q 56 221,07
<b>Costo total</b>						Q 411 356,90	Q 1 426 962,24

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

## 2.2. Propuesta de cambios programados de piezas de desgaste

En esta parte se realizó un programa en Excel que a través de la alimentación diaria de datos de tonelaje totalizado y horas operadas por equipo, proyecta las fechas de los siguientes cambios: registra el acumulado de cada día para que se pueda conocer la cantidad que ha procesado cierto equipo a una fecha determinada, grafica el comportamiento de los cambios de las piezas de desgaste en cada equipo y, de forma anticipada, alerta al usuario que se deben realizar inspecciones del equipo antes de alcanzar la proyección del cambio en fecha, tonelaje y horas.

### 2.2.1. Programa de cambios

En la bitácora de datos se muestra el cuadro en Excel que se alimenta diariamente a partir de datos del *flash report* que se genera automáticamente. En este cuadro se registran los datos de tonelaje procesado y horas operativas en cada equipo durante las últimas 24 horas constituidas por el turno diurno y

nocturno. Tiene la funcionalidad de marcar las casillas con formato condicional, el total de tonelaje y horas operadas en cada equipo antes de alcanzar el límite que indica la necesidad de cambiar las piezas de desgaste para cada uno. Este cuadro se acopla a las distintas fechas cuando se realizan los cambios de piezas de desgaste para reiniciar el contador de tonelaje y horas operativas de cada equipo.

Tabla V. Bitácora de datos

TONELAJE POR EQUIPO								
TAG								
FECHA	100CR001	150CR001	150CR002	150CR003	150SR001	150SR002	150SR003	
ENERO	01-ene	3 796,42	5 079,53	2 868,66	2 826,04	1 004,47	2 559,39	2 521,36
	02-ene	3 908,74	5 229,81	2 900,64	2 962,55	1 034,19	2 587,92	2 643,15
	03-ene	4 024,80	5 385,11	3 056,90	2 980,39	1 064,90	2 727,33	2 659,07
	04-ene	3 885,02	5 198,09	2 917,77	2 909,85	1 027,92	2 603,20	2 596,13
	05-ene	3 916,22	5 239,82	2 940,48	2 933,94	1 036,17	2 623,46	2 617,62
	06-ene	4 293,58	5 878,52	3 499,30	3 091,17	1 162,48	3 122,03	2 757,90
	07-ene	1 442,69	1 930,29	1 007,43	1 156,63	381,71	898,82	1 031,93
	08-ene	4 084,08	5 464,42	2 979,18	3 147,03	1 080,59	2 657,99	2 807,74
	09-ene	3 598,61	4 814,87	2 701,18	2 696,81	952,14	2 409,96	2 406,06
	10-ene	4 235,71	5 667,30	3 054,92	3 298,74	1 120,71	2 725,57	2 943,09
	11-ene	4 357,39	5 830,11	3 198,18	3 338,01	1 152,90	2 853,37	2 978,13
	12-ene	5 075,62	6 791,08	3 751,52	3 862,02	1 342,93	3 347,06	3 445,64
	13-ene	3 976,13	5 319,98	2 938,63	3 025,65	1 052,02	2 621,81	2 699,44
	14-ene	4 245,70	5 680,66	3 270,68	3 097,96	1 123,35	2 918,06	2 763,96
	15-ene	3 124,37	4 180,34	2 251,22	2 435,41	826,66	2 008,51	2 172,84
	16-ene	4 409,18	5 899,40	3 174,72	3 439,15	1 166,60	2 832,45	3 068,37
	17-ene	3 440,11	4 602,80	2 527,82	2 632,42	910,20	2 255,29	2 348,61
	18-ene	1 930,66	2 583,18	1 584,38	1 311,65	510,82	1 413,56	1 170,23
	19-ene	4 040,40	5 405,98	3 012,51	3 048,18	1 069,03	2 687,72	2 719,55
	20-ene	1 769,66	2 367,78	405,99	2 248,55	468,23	362,22	2 006,13
	21-ene	3 609,84	4 829,90	2 120,48	3 294,36	955,11	1 891,87	2 939,18
	22-ene	5 304,62	7 097,48	3 983,55	3 973,50	1 403,52	3 554,08	3 545,11
	23-ene	3 641,04	4 871,64	2 683,55	2 778,09	963,36	2 394,23	2 478,58
	24-ene	3 729,65	4 990,20	2 637,36	2 957,19	986,81	2 353,02	2 638,37
	25-ene	3 732,14	4 993,54	2 765,09	2 833,21	987,47	2 466,98	2 527,75
	26-ene	4 231,97	5 662,29	3 198,86	3 149,18	1 119,72	2 853,98	2 809,66
	27-ene	4 258,80	5 698,19	3 209,09	3 179,21	1 126,81	2 863,11	2 836,45
	28-ene	4 368,62	5 845,13	3 528,85	3 024,18	1 155,87	3 148,39	2 698,14
	29-ene	4 632,58	6 198,30	3 171,42	3 777,55	1 225,71	3 829,50	3 370,28
	30-ene	3 759,60	5 030,27	2 876,92	2 762,57	994,73	2 566,75	2 464,73
	31-ene	3 302,21	4 418,29	2 382,20	2 571,19	873,71	2 125,37	2 293,98

ESTADO DE CAMBIO DE PIEZAS DE DESGASTE						
100CR001	150CR001	150CR002	150CR003	150SR001	150SR002	150SR003
119 366,84	36 188,75	19 318,79	1 231,00	0,00	0,00	0,00
Util	Util	Util	Util	Sin funcionar	Sin funcionar	Sin funcionar

PROMEDIOS TONELAJE DIARIO						
100CR001	150CR001	150CR002	150CR003	150SR001	150SR002	150SR003
3 500,82	4 684,03	2 633,03	2 618,28	926,27	2 349,16	2 336,00

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

## 2.2.2. Establecer número de cambios y costo

En la tabla de proyección de cambio de piezas de desgaste se muestran las fechas proyectadas para el cambio de piezas de desgaste de todas las trituradoras y cribas vibratorias del área, las fechas con fondo verde muestran las que ya se realizaron, en total se proyectan la siguiente cantidad de cambios:

- Trituradora de quijada
  - 7 cambios de quijadas (móvil-estacionaria)
  - 2 cambios de placas laterales
  - 2 cambios de cuñas de ajuste
  - Costo: Q 985 573,20
  
- Trituradora de cono secundaria
  - 15 cambios de manto-anillo cóncavo
  - 3 cambios de tuerca para eje y cuñas
  - Costo: Q 730 668,90
  
- Trituradoras de cono terciarias
  - 58 cambios de manto-anillo cóncavo
  - 12 cambios de tuerca para eje y cuñas
  - Costo: Q 1 202 786,38
  
- Cribas vibratorias
  - 12 cambios de camas completas de segmentos *polydeck*
  - 6 cambios de revestimientos laterales
  - Costo: Q 1 370 741,17

Para la trituradora de quijada se propuso rotar la quijada fija 180° para obtener 20 días más de utilización de las mismas piezas; por lo tanto, se estima que el número de cambios de quijadas fija y móvil se reduzca en 1 cambio, ahorrando Q 122 599,52.

Para las trituradoras terciarias se proyectan 29 cambios anuales y 6 cambios de tuerca para eje y cuñas por cada una, sumando un total de 58 y 12 cambios, respectivamente, entre las dos.

Para las cribas vibratorias se proyectan 4 cambios anuales de todas las plataformas y 2 cambios de revestimientos laterales que suman un total de 12 y 6 cambios respectivamente entre la criba secundaria y ambas terciarias.

Con la propuesta de realizar el cambio de segmentos en 2 fases se puede obtener 30 días más de utilización de la mitad inferior de los segmentos; por lo tanto, se estima que el número de cambios de segmentos se reduzca en 0,5 cambios, ahorrando Q 151 062,11.

Una característica de este recuadro de proyección para el cambio de piezas de desgaste, es que las fechas se van actualizando dependiendo de si se cumple o no el cambio en la fecha que estipula el programa. Independientemente, si se realiza el cambio antes o después por motivos de operación de la planta, el programa proyecta el siguiente cambio a partir de la fecha real del último cambio que el usuario puede introducir directamente en la celda.

Tabla VI. **Proyección de cambio de piezas de desgaste**

Equipo	Ton/hora	Ton/día	Ton/mes	H.O/día	H.O/mes	Descripción	1	2	3	4	5
100CR001	261,83	3 500,82	106 775,12	13,37	407,80	Trituradora de mandíbula	28-dic	15-feb	24-abr	16-jun	09-ago
150CR001	311,18	4 684,03	142 863,06	15,05	459,10	Trituradora secundaria	28-dic	24-ene	20-feb	10-mar	01-abr
150CR002	152,90	2 633,03	80 307,50	17,22	525,23	Trituradora terciaria 1	23-dic	06-ene	22-ene	05-feb	14-feb
150CR003	152,29	2 618,28	79 857,52	17,19	524,39	Trituradora terciaria 2	24-dic	07-ene	18-ene	01-feb	14-feb

**Estimado de duración de piezas de desgaste**

Equipo	Tonelaje	Días	Horas
100CR001	188 168,45	54	718,66
150CR001	126 612,42	27	406,88
150CR002	37 489,69	14	245,19
150CR003	37 851,38	14	248,56

Continuación de la tabla VI.

Equipo	Ton/hora	Ton/día	Ton/mes	H.O/día	H.O/mes	Descripción	1	2	3	4
150SR001	61,54	926,27	28 251,09	15,05	459,10	Criba secundaria	03-mar	09-jun	08-sep	09-dic
150SR002	136,42	2 349,16	71 649,35	17,22	525,23	Criba terciaria 1	03-mar	09-jun	08-sep	09-dic
150SR003	135,87	2 336,00	71 247,88	17,19	524,39	Criba terciaria 2	08-mar	09-jun	08-sep	09-dic

**Estimado de duración de piezas de desgaste**

Equipo	Tonelaje	Días	Horas
150SR001	84 753,27	92	1377,29
150SR002	214 948,04	92	1575,68
150SR003	213 743,64	92	1573,18

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

### **3. FASE TÉCNICO PROFESIONAL**

#### **3.1. Inspección de quipos**

Las nuevas rutinas de mantenimiento preventivo se encuentran contempladas en el ítem 3,6; estas tareas se han incluido en el plan de mantenimiento preventivo de cada equipo con base en las tareas que se estipulan en el manual de mantenimiento de cada equipo; con base en criterios de los supervisores mecánicos y enfocados sobre la disponibilidad ofrecida y el tonelaje procesado que se busca de 5 500 toneladas por día.

#### **3.2. Registro de datos operativos**

Los datos operativos que se registran en el programa propuesto de cambios programados de piezas de desgaste son dos: el tonelaje totalizado en la banda de transporte de mineral fino y las horas trabajadas por cada equipo. Con base en estos datos, el programa calcula a través de los porcentajes obtenidos del diagrama de flujo del proceso de trituración, la cantidad de toneladas que cada equipo procesó en el tiempo operado. El registro de datos operativos lo puede realizar cualquier usuario del programa de forma rápida y organizada.

##### **3.2.1. Cuadro de tonelaje procesado por equipo**

El registro de tonelaje procesado por equipo se realiza en un cuadro en Excel que se alimenta diariamente a partir de datos del *flash report* que se genera automáticamente cada 24 horas y es enviado vía correo electrónico. El

cuadro tiene su base de datos a partir de un programa que requiere la entrada tonelaje totalizado en la banda número 4 (banda de transferencia de mineral fino) y horas operadas en cada trituradora, para que, con base en operaciones matemáticas, calcule la cantidad de toneladas que cada equipo proceso.

**Tabla VII. Registro de tonelaje por equipo**

TONELAJE POR EQUIPO							
TAG							
FECHA	100CR001	150CR001	150CR002	150CR003	150SR001	150SR002	150SR003
01-ene	3 796,42	5 079,53	2 868,66	2 826,04	1 004,47	2 559,39	2 521,36
02-ene	3 908,74	5 229,81	2 900,64	2 962,55	1 034,19	2 587,92	2 643,15
03-ene	4 024,80	5 385,11	3 056,90	2 980,39	1 064,90	2 727,33	2 659,07
04-ene	3 885,02	5 198,09	2 917,77	2 909,85	1 027,92	2 603,20	2 596,13
05-ene	3 916,22	5 239,83	2 940,48	2 933,94	1 036,17	2 623,46	2 617,62
06-ene	4 393,58	5 878,53	3 499,30	3 091,17	1 162,48	3 122,03	2 757,90
07-ene	1 442,69	1 930,29	1 007,43	1 156,63	381,71	898,82	1 031,93
08-ene	4 084,08	5 464,42	2 979,18	3 147,03	1 080,59	2 657,99	2 807,74
09-ene	3 598,61	4 814,87	2 701,18	2 696,81	952,14	2 409,96	2 406,06
10-ene	4 235,71	5 667,30	3 054,92	3 298,74	1 120,71	2 725,57	2 943,09
11-ene	4 357,39	5 830,11	3 198,18	3 338,01	1 152,90	2 853,37	2 978,13
12-ene	5 075,62	6 791,08	3 751,52	3 862,02	1 342,93	3 347,06	3 445,64
13-ene	3 976,13	5 319,98	2 938,63	3 025,65	1 052,02	2 621,81	2 699,44
14-ene	4 245,70	5 680,66	3 270,68	3 097,96	1 123,35	2 918,06	2 763,96
15-ene	3 124,37	4 180,34	2 251,22	2 435,41	826,66	2 008,51	2 172,84
16-ene	4 409,18	5 899,40	3 174,72	3 439,15	1 166,60	2 832,45	3 068,37
17-ene	3 440,11	4 602,80	2 527,82	2 632,42	910,20	2 255,29	2 348,61
18-ene	1 930,66	2 583,18	1 584,38	1 311,65	510,82	1 413,56	1 170,23
19-ene	4 040,40	5 405,98	3 012,51	3 048,18	1 069,03	2 687,72	2 719,55
20-ene	1 769,66	2 367,78	405,99	2 248,55	468,23	362,22	2 006,13
21-ene	3 609,84	4 829,90	2 120,48	3 294,36	955,11	1 891,87	2 939,18
22-ene	5 304,62	7 097,48	3 983,55	3 973,50	1 403,52	3 554,08	3 545,11
23-ene	3 641,04	4 871,64	2 683,55	2 778,09	963,36	2 394,23	2 478,58
24-ene	3 729,65	4 990,20	2 637,36	2 957,19	986,81	2 353,02	2 638,37
25-ene	3 732,14	4 993,54	2 765,09	2 833,21	987,47	2 466,98	2 527,75
26-ene	4 231,97	5 662,29	3 198,86	3 149,18	1 119,72	2 853,98	2 809,66
27-ene	4 258,80	5 698,19	3 209,09	3 179,21	1 126,81	2 863,11	2 836,45
28-ene	4 368,62	5 845,13	3 528,85	3 024,18	1 155,87	3 148,39	2 698,14
29-ene	4 632,58	6 198,30	3 171,42	3 777,55	1 225,71	2 829,50	3 370,28
30-ene	3 759,60	5 030,27	2 876,92	2 762,57	994,73	2 566,75	2 464,73
31-ene	3 302,21	4 418,29	2 382,20	2 571,19	873,71	2 125,37	2 293,98

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

### 3.2.2. Cuadro de horas operadas por equipo

En el cuadro de horas operadas por equipo se registra un solo tiempo de trabajo que es el de las trituradoras, dicho dato es el mismo que el tiempo operado por las cribas vibratorias ya que el lazo de control del proceso de operación establece que el equipo de trituración funciona si su fuente de alimentación lo hace, en este caso son las cribas vibratorias, y si la banda que recibe la descarga también está en funcionamiento.

Tabla VIII. Registro de horas por equipo

HORAS POR EQUIPO				
TAG				
FECHA	100CR001	150CR001 150SR001	150CR002 150SR002	150CR003 150SR003
01-ene	11,43	13,55	15,48	15,25
02-ene	13,35	14,32	16,40	16,75
03-ene	12,58	14,13	17,18	16,75
04-ene	14,25	14,62	18,40	18,35
05-ene	12,95	14,13	17,97	17,93
06-ene	14,83	15,67	19,72	17,42
07-ene	6,50	7,97	7,90	9,07
08-ene	16,60	18,37	22,72	24,00
09-ene	12,53	14,68	18,53	18,50
10-ene	14,63	17,48	18,92	20,43
11-ene	15,43	16,90	19,67	20,53
12-ene	15,77	16,62	20,37	20,97
13-ene	14,83	16,18	19,25	19,82
14-ene	14,32	14,68	20,83	19,73
15-ene	10,42	10,90	14,30	15,47
16-ene	14,75	17,23	19,57	21,20
17-ene	12,27	13,07	17,40	18,12
18-ene	7,38	8,27	10,05	8,32
19-ene	13,58	15,98	19,42	19,65
20-ene	10,63	11,08	2,47	13,68
21-ene	12,88	13,58	10,73	16,67
22-ene	17,10	19,18	23,78	23,72
23-ene	13,05	14,92	18,45	19,10
24-ene	14,15	16,07	20,45	22,93
25-ene	15,25	16,18	19,08	19,55
26-ene	17,63	18,70	21,25	20,92
27-ene	13,70	16,12	21,48	21,28
28-ene	12,53	15,22	18,53	15,88
29-ene	15,03	18,58	16,90	20,13
30-ene	14,37	15,10	15,85	15,22
31-ene	10,70	14,28	15,63	16,87

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

### 3.3. Cálculo de potencia requerida por el sistema

Para el cálculo de potencia requerida por el sistema se deben conocer los siguientes datos del motor eléctrico.

- Diámetro de la polea
- Revoluciones por minuto
- Potencia del motor

Los datos necesarios del equipo de trabajo que se deben conocer son:

- Diámetro de la polea
- Tipo de banda instalada

Las ecuaciones a utilizar para el cálculo de potencia son las siguientes:

- Fuerza total en banda en kg  $F = T_1 + T_b + T_c$ 
  - $T_1$  = fuerza de tensión en kg
  - $T_b$  = fuerza de flexión en kg
  - $T_c$  = fuerza centrífuga en kg

- Potencia por banda  $Hp = \frac{(T_1 - T_2) * V}{75}$ 
  - $V$  = velocidad de la banda en  $\frac{m}{s}$

- Fuerza de flexión kg  $T_b = \frac{K_b}{d}$ 
  - $K_b$  = constante de anexo 1
  - $d$  = diámetro de polea menor en cm

- Fuerza centrífuga kg  $T_c = K_c * \frac{V^2}{100}$ 
  - $K_c$  = constante de anexo 1
  - $V^2$  = velocidad de banda en  $\frac{m}{s}$
  
- Velocidad de banda en  $\frac{m}{s}$   $V = \frac{\pi * d * n}{6\ 000}$ 
  - $d$  = diámetro de polea motriz en cm
  - $n$  = velocidad de polea motriz en rpm
  
- Curva de fatiga de F en función de N  $N = \left(\frac{Q}{F}\right)^x$ 
  - $N$  = número de máximos de fuerza para rotura
  - $F$  = fuerza total en banda en kg
  - $Q$  = constante anexo 2
  - $x$  = constante anexo 2
  
- Mitad del ángulo de contacto  $\cos \psi = \frac{r_2 - r_1}{c}$ 
  - $r_2$  = radio de polea mayor en cm
  - $r_1$  = radio de polea menor en cm
  - $C$  = distancia entre centros
  
- Distancia entre centros de poleas  $C = 0,25 * [H + \sqrt{H^2 - 8(r_2 - r_1)^2}]$ 
  - $r_2$  = radio de polea mayor en cm
  - $r_1$  = radio de polea menor en cm
  
- $H = L - \pi(r_2 + r_1)$ 
  - $L$  = longitud de la banda en cm
  - $r_2$  = radio de polea mayor en cm
  - $r_1$  = radio de polea menor en cm

- Consumo de vida por pasadas  $\frac{1}{N''} = \frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}$ 
  - $N_1$  = número máximo de fuerza de banda con la menor polea
  - $N_2$  = número máximo de fuerza de banda con la mayor polea
  - $N''$  = número de pasadas por efectos ambas poleas
- Pasadas de banda por minuto  $\frac{\text{Pasadas de banda}}{\text{minuto}} = \frac{60 \cdot V}{L}$ 
  - $V$  = velocidad de la banda en  $\frac{m}{s}$
  - $L$  = longitud de la banda en m
- Vida probable de banda en horas  $\frac{N''}{\frac{\text{Pasadas de faja}}{\text{minuto}} \cdot 60}$ 
  - $N''$  = número de pasadas por efectos ambas poleas
- Interpolación  $Y = \frac{(X-X_1)}{(X_2-X_1)} * (Y_2 - Y_1) + Y_1$ 
  - $X$  = valor conocido
  - $X_1$   $Y_1$  = punto inferior
  - $X_2$   $Y_2$  = punto superior

### 3.3.1. Trituradora de quijada 30X55

Para la trituradora de quijada se determinaron los siguientes datos:

- Motor eléctrico
  - Potencia: 200 hp
  - Diámetro de polea: 13,2"
  - Rpm de trabajo: 1 190

- Trituradora
  - Diámetro de polea: 54"
  
- Banda
  - Nomenclatura: 8V2500
  - Tipo: 8V
  - Longitud: 250"

Para determinar la fuerza total en la banda con la ecuación 1 se debe primero determinar cada una de las fuerzas de forma individual.

Para determinar la fuerza de flexión se utiliza la ecuación 3.

$$T_b = \frac{5\ 565}{13,2" * 2,54\text{ cm}}$$

$$T_b = 165,98\text{ kg}$$

Para determinar la fuerza centrífuga se utiliza la ecuación 4.

$$T_c = 5,787 * \frac{20,89^2}{100}$$

$$T_c = 25,26\text{ kg}$$

Para determinar la velocidad de la banda se utiliza la ecuación 5.

$$V = \frac{\pi * 13,2'' * 2,54\text{cm} * 1\ 190}{6\ 000}$$

$$V = 20,89 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La fuerza de tensión  $T_1$  se puede determinar mediante la ecuación 2.

La relación entre  $T_1$  y  $T_2$  se expresa mediante relacionar el ángulo de contacto con valores de  $\frac{T_1}{T_2}$  descritos en el anexo 3.

Para determinar la distancia entre centros de polea se utiliza la ecuación 8.

$$H = (250 * 2,54\text{cm}) - [\pi(27'' + 6,6'') * 2,54\text{cm}]$$

$$H = 366,88 \text{ cm}$$

$$C = 0,25 * [366,88\text{cm} + \sqrt{366,88^2 - 8(27'' * 2,54\text{cm} - 6,6'' * 2,54\text{cm})^2}]$$

$$C = 175,81 \text{ cm}$$

Contando con el dato de la distancia entre centros de polea  $C$  se puede calcular la mitad del ángulo de contacto utilizando la ecuación 7.

$$\text{Cos } \psi = \frac{(27 - 6,6) * 2,54\text{cm}}{175,81}$$

$$\psi = \text{Cos}^{-1}(0,294733985)$$

$$\psi = 72,86^\circ$$

$$2\psi = 145,72^\circ$$

Según el anexo 3, para un ángulo de contacto de  $145,72^\circ$  no hay un valor directo que corresponda en la relación adimensional  $\frac{T_1}{T_2}$ , por lo tanto, se hace necesario interpolar utilizando la ecuación 12.

$$Y = \frac{(145,72 - 145)}{(150 - 145)} * (3,82 - 3,66) + 3,66$$

$$Y = 3,68$$

Una vez obtenido el valor de la relación adimensional  $\frac{T_1}{T_2} = 3,68$ , se puede expresar  $T_2$  en términos de  $T_1$ .

$$T_2 = 0,27T_1$$

Regresando al cálculo de  $T_1$  en la ecuación 2 y conociendo el valor de transmisión de potencia de una banda tipo 8V, según el anexo 5 para el cual se debe interpolar, se obtiene el siguiente valor:

$$Y = \frac{(1\ 190 - 1\ 150)}{(1\ 200 - 1\ 150)} * (48,23 - 47,01) + 47,01$$

$$Y = 47,99 \text{ hp}$$

Por lo tanto, el valor de transmisión de potencia por banda es 47.99 hp, según el anexo 6 luego de interpolar, el factor de corrección para una banda tipo 8V con relación de velocidad 4,09 a 1 190 rpm se le debe añadir 6.66 hp, por lo que la potencia corregida por banda es:

$$H_p = 47,99 + 6,66$$

$$H_p = 54,65$$

Con el valor de la potencia transmitida por cada banda y con la relación adimensional  $\frac{T_1}{T_2} = 3,68$ , se puede plantear la ecuación 2 para determinar el valor de  $T_1$ .

$$T_1 = \frac{75 * 54,65 \text{hp}}{20,89 \frac{\text{m}}{\text{s}}} + 0,27 T_1$$

$$T_1 = 268,77 \text{ kg}$$

- Con los valores
  - Fuerza de tensión  $T_1 = 268,77 \text{ kg}$
  - Fuerza de flexión  $T_b = 165,98 \text{ kg}$
  - Fuerza centrífuga  $T_c = 25,26 \text{ kg}$

Se puede calcular la fuerza total en la banda utilizando la ecuación 1.

$$F = 268,77 \text{kg} + 165,98 \text{kg} + 25,26 \text{kg}$$

$$F = 460,01 \text{kg}$$

Para calcular el consumo de vida de la banda por las pasadas sobre cada una de las poleas se utiliza la ecuación 9.

Determinar el valor de N para cada una de las poleas se puede hacer mediante la ecuación 6.

- Para la polea del motor eléctrico se tiene:
  - $T_1 = 268,77 \text{ kg}$
  - $T_b = 165,98 \text{ kg}$
  - $T_c = 25,26 \text{ kg}$
  - $F = 460,1 \text{ kg}$

$$N = \left(\frac{Q}{F}\right)^x$$

$$N = \left(\frac{1\ 650}{460,01\text{kg}}\right)^{12,629}$$

$$N_1 = 10\ 127\ 840,28$$

- Para la polea del equipo se tiene:

- $T_1 = 268,77 \text{ kg}$

- $T_b = 40,57\text{kg}$

- $T_c = 25,26 \text{ kg}$

- $F = 334.,6 \text{ kg}$

$$T_b = \frac{K_b}{d}$$

$$T_b = \frac{5\ 565}{54" * 2,54 \text{ cm}}$$

$$N = \left(\frac{Q}{F}\right)^x$$

$$N = \left( \frac{1650}{334,6\text{kg}} \right)^{12,629}$$

$$N_2 = 564\ 113\ 739,9$$

Una vez se cuenta con el número de máximo de fuerza de banda en cada polea, se puede calcular el número de pasadas por efectos ambas poleas.

$$\frac{1}{N''} = \frac{1}{10\ 127\ 840,28} + \frac{1}{564\ 113\ 739,9}$$

$$N'' = 9\ 949\ 216,59$$

Para calcular las pasadas de la banda por minuto se utiliza la ecuación 10.

$$\frac{\text{Pasadas de correa}}{\text{minuto}} = \frac{60 * 20,89 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{250'' * 0,0254 \text{ m}}$$

$$\frac{\text{Pasadas de correa}}{\text{minuto}} = 197,39$$

Por último, la vida probable de la banda en horas se calcula mediante la ecuación 11.

$$\frac{9\ 949\ 216,59}{197,39 * 60} = 840,06 \text{ horas}$$

Estos equipos operan con bandas tipo 8V2500, la potencia del motor es 200 hp; luego de aplicar el factor de servicio según el anexo 4 con base en el

promedio de horas de operación, la aplicación en que se utiliza y el tipo de motor que es jaula de ardilla, se obtiene un factor de servicio de 1,5.

$$\text{Potencia de diseño} = 200\text{hp} * 1,5$$

$$\text{Potencia de diseño} = 300 \text{ hp}$$

Para determinar la cantidad de bandas necesarias para transmitir la potencia de diseño.

$$\frac{\text{Potencia de diseño}}{\text{Potencia corregida por banda}}$$

$$\frac{300 \text{ hp}}{54,65} = 5,48 = 6 \text{ fajas}$$

### **3.3.2. Trituradora de cono 44SBS**

- Motor eléctrico
  - Potencia: 300 hp
  - Diámetro de polea: 17"
  - Rpm de trabajo: 1 190
  
- Trituradora
  - Diámetro de polea: 30"
  
- Banda
  - Nombre: 8V2120
  - Tipo: 8V
  - Longitud: 212"

Para determinar la fuerza total en la banda con la ecuación 1, se debe primero determinar cada una de las fuerzas de forma individual.

Para determinar la fuerza de flexión se utiliza la ecuación 3.

$$T_b = \frac{5\,565}{17'' * 2,54\text{ cm}}$$

$$T_b = 128,88\text{ kg}$$

Para determinar la fuerza centrífuga se utiliza la ecuación 4.

$$T_c = 5,787 * \frac{26,90^2}{100}$$

$$T_c = 41,89\text{ kg}$$

Para determinar la velocidad de la banda se utiliza la ecuación 5.

$$V = \frac{\pi * 17'' * 2,54\text{cm} * 1\,190}{6\,000}$$

$$V = 26,90 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La fuerza de tensión  $T_1$  se puede determinar mediante la ecuación 2.

La relación entre  $T_1$  y  $T_2$  se expresa mediante relacionar el ángulo de contacto con valores de  $\frac{T_1}{T_2}$  descritos en anexo 3.

Para determinar la distancia entre centros de polea se utiliza la ecuación 8.

$$H = (212 * 2,54 \text{cm}) - [\pi(15'' + 8,5'') * 2,54 \text{cm}]$$

$$H = 350,96 \text{ cm}$$

$$C = 0,25 * [350,96 \text{cm} + \sqrt{350,96^2 - 8(15'' * 2,54 \text{cm} - 8,5'' * 2,54 \text{cm})^2}]$$

$$C = 174,70 \text{ cm}$$

Contando con el dato de la distancia entre centros de polea C se calcula la mitad del ángulo de contacto utilizando la ecuación 7.

$$\text{Cos } \psi = \frac{(15 - 8,5) * 2,54 \text{cm}}{174,7}$$

$$\psi = \text{Cos}^{-1}(0,09450)$$

$$\psi = 84,58^\circ$$

$$2\psi = 169,15^\circ$$

Según el anexo 3 para un ángulo de contacto de  $169,15^\circ$ , no hay un valor directo que corresponda en la relación adimensional  $\frac{T_1}{T_2}$ ; por lo tanto, se hace necesario interpolar utilizando la ecuación 12.

$$Y = \frac{(169,15 - 160)}{(170 - 160)} * (4,57 - 4,18) + 4,18$$

$$Y = 4,54$$

Una vez obtenido el valor de la relación adimensional  $\frac{T_1}{T_2} = 4,54$  se puede expresar  $T_2$  en términos de  $T_1$ .

$$T_2 = 0,22T_1$$

Regresando al cálculo de  $T_1$  en la 2 y conociendo el valor de transmisión de potencia de una banda tipo 8V según el anexo 5 para el cual se debe interpolar, se obtiene el siguiente valor:

$$Y = \frac{(1\ 190 - 1\ 150)}{(1\ 200 - 1\ 150)} * (71,82 - 70,25) + 70,25$$

$$Y = 71,51 \text{ hp}$$

Por lo tanto, el valor de transmisión de potencia por banda es 71.51 hp, según el anexo 6 luego de interpolar, el factor de corrección para una banda tipo 8V con relación de velocidad 1.76 a 1190 rpm se le debe añadir 5.77 hp por lo que la potencia corregida por banda es:

$$Hp = 71,51 + 5,77$$

$$Hp = 77,28$$

Con el valor de la potencia transmitida por cada banda y con la relación adimensional  $\frac{T_1}{T_2} = 4,54$  se puede plantear la ecuación 2 para determinar el valor de  $T_1$ .

$$T_1 = \frac{75 * 77,28\text{hp}}{26,90 \frac{\text{m}}{\text{s}}} + 0,22T_1$$

$$T_1 = 276,32 \text{ kg}$$

- Con los valores
  - Fuerza de tensión  $T_1 = 276,32 \text{ kg}$
  - Fuerza de flexión  $T_b = 128,88 \text{ kg}$
  - Fuerza centrífuga  $T_c = 41,89 \text{ kg}$

Se puede calcular la fuerza total en la banda utilizando la ecuación 1.

$$F = 276,32\text{kg} + 128,88\text{kg} + 41,89\text{kg}$$

$$F = 447,09\text{kg}$$

Para calcular el consumo de vida de la banda por las pasadas sobre cada una de las poleas se utiliza la ecuación 9.

Determinar el valor de N para cada una de las poleas se puede hacer mediante la ecuación 6.

- Para la polea del motor eléctrico se tiene:
  - $T_1 = 276,32 \text{ kg}$
  - $T_b = 128,88 \text{ kg}$
  - $T_c = 41,89 \text{ kg}$

$$F = 447,09\text{kg}$$

$$N = \left(\frac{Q}{F}\right)^x$$

$$N = \left(\frac{1\ 650}{447,09\text{kg}}\right)^{12,629}$$

$$N_1 = 14\ 513\ 321,97$$

- Para la polea del equipo se tiene:

- $T_1 = 276,32\text{kg}$

- $T_b = 73,03\ \text{kg}$

- $T_c = 41,89\ \text{kg}$

- $F = 391,24\ \text{kg}$

$$T_b = \frac{K_b}{d}$$

$$T_b = \frac{5\ 565}{30'' * 2,54\ \text{cm}}$$

$$N = \left(\frac{Q}{F}\right)^x$$

$$N = \left(\frac{1\ 650}{391,24\text{kg}}\right)^{12,629}$$

$$N_2 = 78\ 277\ 856,41$$

Una vez se cuenta con el número de máximo de fuerza de banda en cada polea se puede calcular el número de pasadas por efectos ambas poleas.

$$\frac{1}{N''} = \frac{1}{14\ 513\ 321,97} + \frac{1}{78\ 277\ 856,41}$$

$$N'' = 12\ 243\ 316,15$$

Para calcular las pasadas de la banda por minuto se utiliza la ecuación 10.

$$\frac{\text{Pasadas de faja}}{\text{minuto}} = \frac{60 * 26,90 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{212" * 0,0254\text{m}}$$

$$\frac{\text{Pasadas de faja}}{\text{minuto}} = 299,78$$

Por último, la vida probable de la banda en horas se calcula mediante la ecuación 11.

$$\frac{12\ 243\ 316,15}{299,78 * 60} = 680,68 \text{ horas}$$

Estos equipos operan con bandas tipo 8V2120, la potencia del motor es 300 hp, luego de aplicar el factor de servicio según el anexo 4 con base en el promedio de horas de operación, la aplicación en que se utiliza y el tipo de motor que es jaula de ardilla, se obtiene un factor de servicio de 1,5.

$$\text{Potencia de diseño} = 300 \text{ hp} * 1,5$$

$$\text{Potencia de diseño} = 450 \text{ hp}$$

Para determinar la cantidad de bandas necesarias para transmitir la potencia de diseño.

$$\frac{\text{Potencia de diseño}}{\text{Potencia corregida por banda}}$$

$$\frac{450\text{hp}}{77,28} = 5,82 = 6 \text{ fajas}$$

### 3.3.3. Criba vibratoria TL26

- Motor eléctrico
  - Potencia: 25 hp (2 motores)
  - Diámetro de polea: 9,25"
  - Rpm de trabajo: 1 775
  
- Criba
  - Diámetro de polea: 21,2"
  
- Banda
  - Nombre: 5V1120
  - Tipo: 5V
  - Longitud: 112"

Para determinar la fuerza total en la banda con la ecuación 1, se debe primero determinar cada una de las fuerzas de forma individual.

Para determinar la fuerza de flexión se utiliza la ecuación 3.

$$T_b = \frac{1\ 265}{9,25" * 2,54 \text{ cm}}$$

$$T_b = 53,84 \text{ kg}$$

Para determinar la fuerza centrífuga se utiliza la ecuación 4.

$$T_c = 2,142 * \frac{21,84^2}{100}$$

$$T_c = 10,21 \text{ kg}$$

Para determinar la velocidad de la banda se utiliza la ecuación 5.

$$V = \frac{\pi * 9,25" * 2,54\text{cm} * 1775}{6000}$$

$$V = 21,84 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La fuerza de tensión  $T_1$  se puede determinar mediante la ecuación 2.

La relación entre  $T_1$  y  $T_2$  se expresa mediante relacionar el ángulo de contacto con valores de  $\frac{T_1}{T_2}$  descritos en el anexo 3.

Para determinar la distancia entre centros de polea se utiliza la ecuación 8.

$$H = (112 * 2,54\text{cm}) - [\pi(10,6" + 4,63") * 2,54\text{cm}]$$

$$H = 162,99 \text{ cm}$$

$$C = 0,25 * [162,99\text{cm} + \sqrt{162,99^2 - 8(10,6" * 2,54\text{cm} - 4,63" * 2,54\text{cm})^2}]$$

$$C = 80,06 \text{ cm}$$

Contando con el dato de la distancia entre centros de polea C se puede proceder a calcular la mitad del ángulo de contacto utilizando la ecuación 7.

$$\cos \psi = \frac{(10,6-4,63) * 2,54\text{cm}}{80,06}$$

$$\psi = \cos^{-1}(0,18957254)$$

$$\psi = 79,07^\circ$$

$$2\psi = 158,14^\circ$$

Según el anexo 3, para un ángulo de contacto de  $158.14^\circ$  no hay un valor directo que corresponda en la relación adimensional  $\frac{T_1}{T_2}$ , por lo tanto, se hace necesario interpolar utilizando la ecuación 12.

$$Y = \frac{(158,14 - 155)}{(160 - 155)} * (4,18 - 4) + 4$$

$$Y = 4,11$$

Una vez obtenido el valor de la relación adimensional  $\frac{T_1}{T_2} = 4,11$  se puede expresar  $T_2$  en términos de  $T_1$ .

$$T_2 = 0,24T_1$$

Regresando al cálculo de  $T_1$  en la ecuación 2 y conociendo el valor de transmisión de potencia de una banda tipo 5V según el anexo 7 para el cual se debe interpolar, se obtiene el siguiente valor:

$$Y = \frac{(1\,775 - 1\,700)}{(1\,800 - 1\,700)} * (24,41 - 23,5) + 23,5$$

$$Y = 24,18 \text{ hp}$$

Por lo tanto, el valor de transmisión de potencia por banda es 24.18 hp, según el anexo 8 luego de interpolar; el factor de corrección para una banda tipo 5V con relación de velocidad 2.29 a 1 775 rpm se le debe añadir 1.92 hp por lo que la potencia corregida por banda es:

$$H_p = 24,18 + 1,92$$

$$H_p = 26,11$$

Con el valor de la potencia transmitida por cada banda y con la relación adimensional  $\frac{T_1}{T_2} = 4.11$  se puede plantear la ecuación 2 para determinar el valor de  $T_1$ .

$$T_1 = \frac{75 * 26,11 \text{ hp}}{21,84 \frac{\text{m}}{\text{s}}} + 0,24T_1$$

$$T_1 = 118,46 \text{ kg}$$

- Con los valores
  - Fuerza de tensión  $T_1 = 118,46 \text{ kg}$
  - Fuerza de flexión  $T_b = 53,84 \text{ kg}$
  - Fuerza centrífuga  $T_c = 10,21 \text{ kg}$

Se puede calcular la fuerza total en la banda utilizando la ecuación 1.

$$F = 118,46\text{kg} + 53,84\text{kg} + 10,21\text{kg}$$

$$F = 182,52\text{kg}$$

Para calcular el consumo de vida de la banda por las pasadas sobre cada una de las poleas se utiliza la ecuación 9.

Determinar el valor de N para cada una de las poleas se puede hacer mediante la ecuación 6.

- Para la polea del motor eléctrico se tiene:
  - $T_1 = 118,46 \text{ kg}$
  - $T_b = 53,84 \text{ kg}$
  - $T_c = 10,21 \text{ kg}$

$$F = 182,52\text{kg}$$

$$N = \left(\frac{Q}{F}\right)^x$$

$$N = \left(\frac{750}{185,52\text{kg}}\right)^{12,593}$$

$$N_1 = 43\ 631\ 682,08$$

- Para la polea del equipo se obtiene:

- $T_1 = 118,46\text{kg}$

- $T_b = 23,49\text{ kg}$        $T_b = \frac{K_b}{d}$        $T_b = \frac{5\ 565}{21,2'' * 2,54\text{ cm}}$

- $T_c = 10,21\text{ kg}$

$$F = 152,17\text{kg}$$

$$N = \left(\frac{Q}{F}\right)^x$$

$$N = \left(\frac{750}{152,17\text{ kg}}\right)^{12,593}$$

$$N_2 = 529\ 147\ 661,80$$

Una vez se cuenta con el número de máximo de fuerza de banda en cada polea, se puede calcular el número de pasadas por efectos ambas poleas.

$$\frac{1}{N''} = \frac{1}{43\ 631\ 682,08} + \frac{1}{529\ 147\ 661,80}$$

$$N'' = 40\ 308\ 022,27$$

Para calcular las pasadas de la banda por minuto se utiliza la ecuación 10.

$$\frac{\text{Pasadas de faja}}{\text{minuto}} = \frac{60 * 21,84 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{112'' * 0,0254\text{ m}}$$

$$\frac{\text{Pasadas de faja}}{\text{minuto}} = 460,54$$

Por último, la vida probable de la banda en horas se calcula mediante la ecuación 11.

$$\frac{40\,308\,022,27}{460,54 * 60} = 1\,458,72 \text{ horas}$$

Estos equipos operan con bandas tipo 5V1120, la potencia del motor es 25 hp, luego de aplicar el factor de servicio según el anexo 4 con base en el promedio de horas de operación, la aplicación en que se utiliza y el tipo de motor que es jaula de ardilla, se obtiene un factor de servicio de 1,5.

$$\text{Potencia de diseño} = 25 \text{ hp} * 1,5$$

$$\text{Potencia de diseño} = 37,5 \text{ hp}$$

Para determinar la cantidad de bandas necesarias para transmitir la potencia de diseño en cada motor:

$$\frac{\text{Potencia de diseño}}{\text{Potencia corregida por banda}}$$

$$\frac{37,5\text{hp}}{26,11} = 1,43 = 2 \text{ fajas}$$

### **3.4. Cálculo de potencia transmitida**

Para calcular la potencia transmitida se debe conocer la cantidad de bandas con las que opera cada uno de los equipos, para luego determinar la potencia que cada una transmite efectivamente y la vida probable en horas que se espera para las bandas. Cabe mencionar que, en este cálculo, las

condiciones no son ideales por lo que los valores calculados son obtenidos a través de ecuaciones teóricas.

### 3.4.1. Trituradora de quijada 30X55

Estos equipos operan con 8 bandas tipo 8V2500, la potencia del motor es 200 hp, luego de aplicar el factor de servicio según el anexo 4 con base en el promedio de horas de operación, la aplicación en que se utiliza y el tipo de motor que es jaula de ardilla, se obtiene un factor de servicio de 1,5.

$$\text{Potencia de diseño} = 200 \text{ hp} * 1,5$$

$$\text{Potencia de diseño} = 300 \text{ hp}$$

- Cada una de las bandas transmite la siguiente potencia

$$\frac{\text{Potencia de diseño}}{\text{Número de fajas instaladas}}$$

$$\frac{300 \text{ hp}}{8} = 37,5 \text{ hp}$$

Cada banda transmite 37,5 hp

Con base en el dato actual de transmisión de potencia por banda se calcula la vida probable de horas para dicha condición de la siguiente forma.

$$H_p = \frac{(T_1 - T_2) * V}{75} \text{ para determinar el valor de } T_1.$$

$$T_1 = \frac{75 * 37,5 \text{ hp}}{20,89 \frac{\text{m}}{\text{s}}} + 0,27 T_1$$

$$T_1 = 184,43 \text{ kg}$$

- Para la polea del motor eléctrico se tiene:

- $T_1 = 184.43 \text{ kg}$
- $T_b = 165.98 \text{ kg}$
- $T_c = 25.26 \text{ kg}$
- $F = 375.6 \text{ kg}$

$$N = \left(\frac{Q}{F}\right)^x$$

$$N = \left(\frac{1\ 650}{375,67\text{kg}}\right)^{12,629}$$

$$N_1 = 130\ 729\ 396,2$$

- Para la polea del equipo se tiene:

- $T_1 = 184,43 \text{ kg}$
- $T_b = 40,57 \text{ kg}$        $T_b = \frac{K_b}{d}$        $T_b = \frac{5\ 565}{54" * 2,54 \text{ cm}}$
- $T_c = 25,26 \text{ kg}$
- $F = 250,26 \text{ kg}$

$$N = \left(\frac{Q}{F}\right)^x$$

$$N = \left(\frac{1\ 650}{250,26\text{kg}}\right)^{12,629}$$

$$N_2 = 2,209628347 \times 10^{10}$$

Una vez se cuenta con el número de máximo de fuerza de banda en cada polea se puede calcular el número de pasadas por efectos ambas poleas.

$$\frac{1}{N''} = \frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}$$

$$\frac{1}{N''} = \frac{1}{130\ 729\ 396,2} + \frac{1}{2,209628347 \times 10^{10}}$$

$$N'' = 129\ 960\ 504,1$$

Para calcular las pasadas de la banda por minuto se utiliza la ecuación  $\frac{\text{Pasadas de correa}}{\text{minuto}} = \frac{60 \cdot V}{L}$  donde V es la velocidad de la banda en  $\frac{m}{s}$  y L es la longitud de la banda en m.

$$\frac{\text{Pasadas de faja}}{\text{minuto}} = \frac{60 * 20,89 \frac{m}{s}}{250'' * 0,0254\ m}$$

$$\frac{\text{Pasadas de faja}}{\text{minuto}} = 197,39$$

Por último, la vida probable de la banda en horas se calcula mediante la ecuación  $\frac{N''}{\frac{\text{Pasadas de faja}}{\text{minuto}} * 60}$ .

$$\frac{129\,960\,504,1}{197,39 * 60} = 10\,973,24 \text{ horas}$$

### 3.4.2. Trituradora de cono 44SBS

Estos equipos operan con 8 bandas tipo 8V2120, la potencia del motor es 300 hp, luego de aplicar el factor de servicio según el anexo 4 con base en el promedio de horas de operación, la aplicación en que se utiliza y el tipo de motor que es jaula de ardilla, se obtiene un factor de servicio de 1,5.

$$\text{Potencia de diseño} = 300 \text{ hp} * 1,5$$

$$\text{Potencia de diseño} = 450 \text{ hp}$$

- Cada una de las bandas transmite la siguiente potencia.

$$\frac{\text{Potencia de diseño}}{\text{Número de fajas instaladas}}$$

$$\frac{450 \text{ hp}}{8} = 56,25 \text{ hp}$$

Cada banda transmite 56,25 hp

Con base en el dato actual de transmisión de potencia por banda se calcula la vida probable de horas para dicha condición de la siguiente forma:

$$H_p = \frac{(T_1 - T_2) * V}{75} \text{ para determinar el valor de } T_1$$

$$T_1 = \frac{75 * 56,25\text{hp}}{26,90 \frac{\text{m}}{\text{s}}} + 0,22T_1$$

$$T_1 = 201,14 \text{ kg}$$

- Para la polea del motor eléctrico se tiene:
  - $T_1 = 201,14 \text{ kg}$
  - $T_b = 128,88 \text{ kg}$
  - $T_c = 41,89 \text{ kg}$
  - $F = 371,9 \text{ kg}$

$$N = \left(\frac{Q}{F}\right)^x$$

$$N = \left(\frac{1650}{371,91\text{kg}}\right)^{12,629}$$

$$N_1 = 148\ 437\ 984,6$$

- Para la polea del equipo se tiene:

- $T_1 = 201,14 \text{ kg}$

- $T_b = 73,03 \text{ kg}$

- $T_c = 41,89 \text{ kg}$

- $F = 316,06 \text{ kg}$

$$T_b = \frac{K_b}{d}$$

$$T_b = \frac{5\ 565}{30" * 2,54 \text{ cm}}$$

$$N = \left(\frac{Q}{F}\right)^x$$

$$N = \left(\frac{1\ 650}{316,06\text{kg}}\right)^{12,629}$$

$$N_2 = 1\ 158\ 818\ 085$$

Una vez se cuenta con el número máximo de fuerza de banda en cada polea se puede calcular el número de pasadas por efectos ambas poleas.

$$\frac{1}{N''} = \frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}$$

$$\frac{1}{N''} = \frac{1}{148\ 437\ 984,6} + \frac{1}{1\ 158\ 818\ 085}$$

$$N'' = 131\ 582\ 958,4$$

Para calcular las pasadas de la banda por minuto se utiliza la ecuación

$\frac{\text{Pasadas de correa}}{\text{minuto}} = \frac{60 \cdot V}{L}$ , donde  $V$  es la velocidad de la banda en  $\frac{m}{s}$  y  $L$  es la longitud de la banda en  $m$ .

$$\frac{\text{Pasadas de correa}}{\text{minuto}} = \frac{60 \cdot 26,90 \frac{m}{s}}{212'' \cdot 0,0254 m}$$

$$\frac{\text{Pasadas de correa}}{\text{minuto}} = 299,78$$

Por último, la vida probable de la banda en horas se calcula mediante la

ecuación  $\frac{N''}{\frac{\text{Pasadas de correa}}{\text{minuto}} \cdot 60}$ .

$$\frac{131\ 582\ 958,4}{299,78 \cdot 60} = 7\ 315,52 \text{ horas}$$

### 3.4.3. Criba vibratoria TL26

Estos equipos operan con 3 bandas tipo 5V1120 por motor, la potencia de cada motor es 25 hp; luego, de aplicar el factor de servicio según el anexo 4 con base en el promedio de horas de operación, la aplicación en que se utiliza y el tipo de motor que es jaula de ardilla, se obtiene un factor de servicio de 1,5.

$$\text{Potencia de diseño} = 50 \text{ hp} * 1,5$$

$$\text{Potencia de diseño} = 75 \text{ hp}$$

- Cada una de las bandas transmite la siguiente potencia.

$$\frac{\text{Potencia de diseño}}{\text{Número de fajas instaladas}}$$

$$\frac{75 \text{ hp}}{6} = 12,5 \text{ hp}$$

Cada banda transmite 12,5 hp

Con base en el dato actual de transmisión de potencia por banda se calcula la vida probable de horas para dicha condición de la siguiente forma:

$$H_p = \frac{(T_1 - T_2) * V}{75} \text{ para determinar el valor de } T_1.$$

$$T_1 = \frac{75 * 12,5 \text{ hp}}{21,84 \frac{\text{m}}{\text{s}}} + 0,24 T_1$$

$$T_1 = 56,72 \text{ kg}$$

- Para la polea del motor eléctrico se tiene:

- $T_1 = 56,72 \text{ kg}$
- $T_b = 53,84 \text{ kg}$
- $T_c = 10,21 \text{ kg}$
- $F = 120,77 \text{ kg}$

$$N = \left(\frac{Q}{F}\right)^x$$

$$N = \left(\frac{750}{120,77\text{kg}}\right)^{12,593}$$

$$N_1 = 9\ 717\ 084\ 245$$

- Para la polea del equipo se tiene:

- $T_1 = 56,72 \text{ kg}$
- $T_b = 23,49 \text{ kg}$        $T_b = \frac{K_b}{d}$        $T_b = \frac{5\ 565}{21,2" * 2,54 \text{ cm}}$
- $T_c = 10,21 \text{ kg}$
- $F = 90,42 \text{ kg}$

$$N = \left(\frac{Q}{F}\right)^x$$

$$N = \left(\frac{750}{90,42 \text{ kg}}\right)^{12,593}$$

$$N_2 = 371\ 884\ 097\ 500$$

Una vez se cuenta con el número de máximo de fuerza de banda en cada polea se puede calcular el número de pasadas por efectos ambas poleas.

$$\frac{1}{N''} = \frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}$$

$$\frac{1}{N''} = \frac{1}{9\,717\,084\,245} + \frac{1}{371\,884\,097\,500}$$

$$N'' = 9\,469\,648\,622$$

Para calcular las pasadas de la banda por minuto se utiliza la ecuación  $\frac{\text{Pasadas de correa}}{\text{minuto}} = \frac{60 \cdot V}{L}$ , donde V es la velocidad de la banda en  $\frac{m}{s}$  y L es la longitud de la banda en m.

$$\frac{\text{Pasadas de correa}}{\text{minuto}} = \frac{60 * 21,84 \frac{m}{s}}{112'' * 0,0254 m}$$

$$\frac{\text{Pasadas de correa}}{\text{minuto}} = 460,54$$

Por último, la vida probable de la banda en horas se calcula mediante la ecuación  $\frac{N''}{\frac{\text{Pasadas de correa}}{\text{minuto}} * 60}$ .

$$\frac{9\,469\,648\,622}{460,54 * 60} = 342\,366,78 \text{ horas}$$

### 3.5. Análisis de uso del equipo

La disponibilidad y ocupación del equipo se determina a través de conocer la cantidad de tiempo establecido para hacer mantenimiento preventivo-correctivo y la cantidad de tiempo operativo del equipo.

Los reportes generados diariamente ver anexo 9 proporcionan los datos de horas operadas el día anterior, que contemplan turno diurno y nocturno, lo cual sirve para calcular la ocupación de cada equipo.

### **3.5.1. Cálculo de la disponibilidad**

Para calcular la disponibilidad de cada equipo se determina el tiempo de mantenimiento preventivo-correctivo mensual y se sustrae de las 744 horas para los meses de 31 días o 720 horas para los meses de 30 días.

Para el área de trituración se han estipulado 30 horas para realizar los trabajos de mantenimiento.

### **3.5.2. Cálculo de ocupación**

Para calcular la ocupación de cada equipo se debe sumar todas las horas operadas durante el mes y sustraerlo del tiempo de disponibilidad del equipo.

La siguiente tabla muestra los datos de horas para el cálculo de disponibilidad y ocupación de los equipos.

Tabla IX. Disponibilidad y ocupación

TAG	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Horas	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
<b>Tiempo de equipo detenido (h)</b>												
100CR001	328,58	350,32	316,64	293,37	313,57	602,23	744,00	744,00	720,00	744,00	720,00	744,00
150CR001	280,24	306,24	267,82	245,72	247,34	588,26	744,00	744,00	720,00	744,00	720,00	744,00
150CR002	205,32	265,10	175,06	171,04	189,10	583,09	744,00	744,00	720,00	744,00	720,00	744,00
150CR003	179,79	255,74	171,06	226,81	186,43	573,25	744,00	744,00	720,00	744,00	720,00	744,00
<b>Tiempo utilizando equipo (h)</b>												
100CR001	415,42	321,68	427,36	426,63	430,43	117,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
150CR001	463,76	365,76	476,18	474,28	496,66	131,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
150CR002	538,68	406,90	568,94	548,96	554,90	136,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
150CR003	564,21	416,26	572,94	493,19	557,57	146,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Tiempo de mantenimiento (h)</b>												
100CR001	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
150CR001	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
150CR002	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
150CR003	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
<b>Tiempo disponible (h)</b>												
100CR001	714,00	642,00	714,00	690,00	714,00	690,00	714,00	714,00	690,00	714,00	690,00	714,00
150CR001	714,00	642,00	714,00	690,00	714,00	690,00	714,00	714,00	690,00	714,00	690,00	714,00
150CR002	714,00	642,00	714,00	690,00	714,00	690,00	714,00	714,00	690,00	714,00	690,00	714,00
150CR003	714,00	642,00	714,00	690,00	714,00	690,00	714,00	714,00	690,00	714,00	690,00	714,00
<b>% Utilización</b>												
100CR001	55,84	47,87	57,44	59,25	57,85	16,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
150CR001	62,33	54,43	64,00	65,87	66,76	18,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
150CR002	72,40	60,55	76,47	76,24	74,58	19,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
150CR003	75,83	61,94	77,01	68,50	74,94	20,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>% Disponibilidad</b>												
100CR001	95,97	95,54	95,97	95,83	95,97	95,83	95,97	95,97	95,83	95,97	95,83	95,97
150CR001	95,97	95,54	95,97	95,83	95,97	95,83	95,97	95,97	95,83	95,97	95,83	95,97
150CR002	95,97	95,54	95,97	95,83	95,97	95,83	95,97	95,97	95,83	95,97	95,83	95,97
150CR003	95,97	95,54	95,97	95,83	95,97	95,83	95,97	95,97	95,83	95,97	95,83	95,97

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

### 3.6. Estimación de costos de plan de mantenimiento preventivo

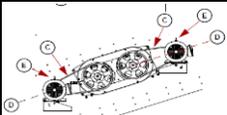
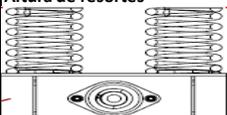
En esta parte se definen las rutinas de trabajo de mantenimiento preventivo para cada equipo, los trabajadores encargados de ejecutarlas, los tiempos de ejecución y los costos de los cambios de piezas de desgaste. Con base en ello se estipulan las horas/hombre para cada tarea, las frecuencias para cada rutina de trabajo, recomendaciones con base en el manual de mantenimiento del fabricante e imágenes del trabajo que se debe ejecutar.

#### 3.6.1. Tareas de mantenimiento preventivo

En las siguientes figuras se muestran las tareas propuestas para el plan de mantenimiento preventivo de cribas vibratorias, trituradora de quijada y

trituradoras de cono. Se contemplan distintas referencias obtenidas del manual de mantenimiento para que el colaborador pueda ejecutar cada tarea de forma correcta y efectiva; también, se incluyen fotos de las tareas contempladas para que se pueda tener mayor comprensión de lo que se solicita. El formato propuesto contempla otra información como lo es nombre de equipo, frecuencia de las tareas, nombre de colaboradores, tiempo estimado y tiempo de ejecución.

Figura 17. Tareas quincenales para cribas vibratorias

Minera San Rafael						
Departamento	Mantenimiento planta			Fecha de ejecución		
TAG equipo	150SR00	1	2	3	Vibro King TL 26	Quincenal
Colaborador(es)					Tiempo laborado	horas
Puesto					Tiempo estimado	1 horas
Vo. Bo. Supervisión	Nombre y firma			Inspeccionar los aspectos descritos y evaluar sus condiciones tomando en cuenta las referencias.		
<u>Aspectos a evaluar</u>	<u>Referencias</u>	<u>Observaciones del colaborador</u>	Estado			OT
			Bueno	Regular	Malo	
<b>Daños visibles en vigas</b> 	Inspeccionar las vigas, tensores, placas laterales, protector de transmisión en busca de daños o desgaste que puedan presentar, puntos muertos.					
<b>Fajas de transmisión</b> 	La tensión debe ser de 0.4 mm (1/64") por cada 2.5 cm (1") de alcance de la correa, tomar referencia del punto C.					
<b>Altura de resortes</b> 	Resortes nuevos miden 15.5", si se han reducido a menos de 14.5" se deben cambiar los 4 resortes en el extremo en cuestión.					

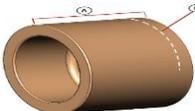
Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Figura 18. Tareas semanales para cribas vibratorias

Minera San Rafael						
Departamento	Mantenimiento planta			Fecha de ejecución		
TAG equipo	150SR00 1 2 3	Vibro King TL 26	Semanal	Tiempo laborado		horas
Colaborador(es)				Tiempo estimado	1	horas
Puesto				<b>Inspeccionar los aspectos descritos y evaluar sus condiciones tomando en cuenta las referencias.</b>		
Vo. Bo. Supervisión	Nombre y firma					
<u>Aspectos a evaluar</u>	<u>Referencias</u>	<u>Observaciones del colaborador</u>	<u>Estado</u>			<u>OT</u>
	Buena	Regular	Malo			
<b>Desgaste en segmentos</b> 	Inspeccionar los segmentos polydeck que presenten desgaste y verificar aberturas con base en las siguientes medidas: Cama superior: 100x100 mm / 50x105 mm Cama intermedia: 25x75 mm Cama inferior: 12.5x60 mm					
	Verificar ambos indicadores de aceite, de ser necesario hay que agregar a través del respiradero del múltiple de aceite SHC220. Este modelo de criba utiliza 19.7 litros (5.2 galones).					

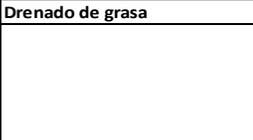
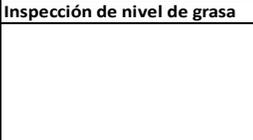
Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Figura 19. Tareas por condición trimestral para cribas vibratorias

Minera San Rafael																				
Departamento	Mantenimiento planta			Fecha de ejecución																
TAG equipo	150SR00	1	2	3	Vibro King TL 26	Condición	horas													
Colaborador(es)						Tiempo estimado	5 horas													
Puesto						Inspeccionar los aspectos descritos y evaluar sus condiciones tomando en cuenta las referencias.														
Vo. Bo. Supervisión	Nombre y firma																			
<i>Aspectos a evaluar</i>	<i>Referencias</i>	<i>Observaciones del colaborador</i>	Estado			OT														
			Bueno	Regular	Malo															
<b>Discos de fricción</b> 	Los discos nuevos miden 3.5" de longitud (A), si están desgastados más de 0.5" (B) se deben instalar discos nuevos en cada base de resorte.																			
<b>Cambio de aceite</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Contaminante</th> <th>Rango aceptable</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hierro</td> <td>125 a 150 PPM</td> </tr> <tr> <td>Cromo</td> <td>25 a 30 PPM</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>45 a 50 PPM</td> </tr> <tr> <td>Cobre</td> <td>100 a 125 PPM</td> </tr> <tr> <td>Silicona</td> <td>25 a 30 PPM</td> </tr> <tr> <td>Agua</td> <td>0 PPM</td> </tr> </tbody> </table>	Contaminante	Rango aceptable	Hierro	125 a 150 PPM	Cromo	25 a 30 PPM	Aluminio	45 a 50 PPM	Cobre	100 a 125 PPM	Silicona	25 a 30 PPM	Agua	0 PPM	Con base en los análisis de aceite trimestrales verificar que los niveles de contaminantes sean aceptables según tabla.					
Contaminante	Rango aceptable																			
Hierro	125 a 150 PPM																			
Cromo	25 a 30 PPM																			
Aluminio	45 a 50 PPM																			
Cobre	100 a 125 PPM																			
Silicona	25 a 30 PPM																			
Agua	0 PPM																			
<b>Limpiar conjunto respiradero</b> 	Limpiar el conjunto respiradero con solvente y secar con aire comprimido.																			

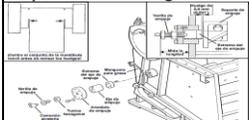
Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Figura 20. Tareas quincenales para trituradora de quijada

Minera San Rafael							
Departamento	Mantenimiento planta			Fecha de ejecución			
TAG equipo	100CR001	30X55	Quincenal	Tiempo laborado		horas	
Colaborador(es)				Tiempo estimado	4	horas	
Puesto				Inspeccionar los aspectos descritos y evaluar sus condiciones tomando en cuenta las referencias.			
Vo. Bo. Supervisión	Nombre y firma						
<u>Aspectos a evaluar</u>	<u>Referencias</u>		<u>Observaciones del colaborador</u>	<u>Estado</u>			OT
			Bueno	Regular	Malo		
<b>Desgaste en ejes de empuje</b> 	Cambiarlas si el desgaste es superior a 12.7 mm						
<b>Inspección de fajas</b> 	Aplique fuerza en una de las correas intermedias entre la polea de la trituradora y la polea del motor. La desviación de la correa en ese punto debe ser igual al espesor de la correa en V adyacente.						
<b>Inspección de volante</b> 	Revise el apriete de los pernos del volante. Apriete según se requiera.						
<b>Inspección del sistema</b> 	Verificar que se engrasen los ejes de empuje, los manguitos y pasadores de la varilla de tensión, bastidor principal y cojinetes de la mandíbula móvil, conexiones de cuña de la palanca.						
<b>Inspección de stetting</b> 	Revise la configuración de abertura de descarga, recordar que debe ser de 4".						
<b>Drenado de grasa</b> 	Drenar grasa a través de los tapones.						
<b>Inspección de nivel de grasa</b> 	Inspeccionar nivel de grasa y agregar Mobilith SHC 220 de ser necesario.						

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Figura 21. Tareas semanales para trituradora de quijada

Minera San Rafael							
Departamento	Mantenimiento planta			Fecha de ejecución			
TAG equipo	100CR001	30X55	Semanal	Tiempo laborado			horas
Colaborador(es)				Tiempo estimado	3		horas
Puesto				<b>Inspeccionar los aspectos descritos y evaluar sus condiciones tomando en cuenta las referencias.</b>			
Vo. Bo. Supervisión	Nombre y firma						
<u>Aspectos a evaluar</u>	<u>Referencias</u>	<u>Observaciones del colaborador</u>	<u>Estado</u>			OT	
			Bueno	Regular	Malo		
<b>Inspección de bocartes</b> 	Revise si los bocartes de la mandíbula y alerones laterales están trizados, sueltos o desgastados.						
<b>Inspección de palanca</b> 	Revise si hay desgaste o grietas en la palanca.						
<b>Inspección de huelgo</b> 	Verifique el huelgo entre las puntas del eje de empuje y los soportes de empuje. En el modelo 3055 el huelgo debe ser aproximadamente 0.79 mm en cada lado, en ambos lados debe ser de 1.6 mm - 2.5 mm.						

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Figura 22. Tareas diarias para trituradora de quijada

Minera San Rafael						
Departamento	Mantenimiento planta		Fecha de ejecución			
TAG equipo	100CR001	30X55	Diario	Tiempo laborado		horas
Colaborador(es)				Tiempo estimado	01:15	horas
Puesto				<b>Inspeccionar los aspectos descritos y evaluar sus condiciones tomando en cuenta las referencias.</b>		
Vo. Bo. Supervisión	Nombre y firma					
<u>Aspectos a evaluar</u>	<u>Referencias</u>		<u>Observaciones del colaborador</u>	<u>Estado</u>		
				Bueno	Regular	Malo
<b>Inspección de mangueras</b>	Busque señales de fuga, revisar que no estén aplastadas, dobladas las mangueras.					
<b>Verificar operación</b> 	Verifique la presencia de ruidos y vibraciones inusuales durante la operación de la trituradora.					
<b>Inspección visual tornillería</b> 	Verifique que todas las tuercas, los pernos y los sujetadores no estén flojos.					

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Figura 23. Tareas mensuales para trituradora de cono

Minera San Rafael						
Departamento	Mantenimiento planta			Fecha de ejecución		
TAG equipo	150CR00	1	2	3	44SBS	Mensual
Colaborador(es)						Tiempo laborado
Puesto						Tiempo estimado
Vo. Bo. Supervisión	Nombre y firma			Inspeccionar los aspectos descritos y evaluar sus condiciones tomando en cuenta las referencias.		
<i>Aspectos a evaluar</i>	<i>Referencias</i>	<i>Observaciones del colaborador</i>	Estado			OT
			Bueno	Regular	Malo	
<b>Respiradero aceite lubricación</b> 	Inspección de respiradero de tanque de aceite					
<b>Limpieza de tapa</b> 	Limpieza de tapa de llenado depósito hidráulico					
<b>Respiradero contraeje</b> 	Inspección filtro de respiradero de contraeje					

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Figura 24. Tareas quincenales para trituradora de cono

Minera San Rafael						
Departamento	Mantenimiento planta			Fecha de ejecución		
TAG equipo	150CR00 1 2 3	44SBS	Quincenal	Tiempo laborado		horas
Colaborador(es)				Tiempo estimado		horas
Puesto				Inspeccionar los aspectos descritos y evaluar sus condiciones tomando en cuenta las referencias.		
Vo. Bo. Supervisión	Nombre y firma					
<u>Aspectos a evaluar</u>	<u>Referencias</u>	<u>Observaciones del colaborador</u>	<u>Estado</u>			<u>OT</u>
			Bueno	Regular	Malo	
<b>Medidores e indicadores</b> 	Limpieza de medidores e indicadores del sistema de lubricación debe marcar mínimo 20 PSI debe ser entre 30-50 PSI y del sistema hidráulico debe marcar 2,200 PSI.	Presión lubricación: PSI                      Presión hidráulica:                      PSI				
<b>Indicador de aceite lubricación</b> 	Verificar indicador visual de aceite, deber ser de 3/4" desde la parte superior del indicador.					
<b>Cilindros de alivio</b> 	Limpiar y aplicar grasa en acoplamiento de cilindros de alivio.					
<b>Nivel de aceite hidráulico</b> 	Inspeccionar nivel de aceite de depósito hidráulico, de ser necesario llenarlo con DTE 26.					
<b>Indicador de aceite</b> 	Inspección de indicador de filtro de aceite de lubricación e hidráulico, debe cambiar de rojo a verde, hacerlo en modo CRUSH.					
<b>Rotador de energía</b> 	Verificar fugas, manchas de aceite en caja de engranajes de rotador de energía, limpieza alrededor del rotador de energía.					

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Figura 25. Tareas diarias para trituradora de cono

Minera San Rafael							
Departamento	Mantenimiento planta			Fecha de ejecución			
TAG equipo	150CR00	1 2 3	44SBS	Diario	Tiempo laborado	horas	
Colaborador(es)					Tiempo estimado	2 horas	
Puesto					Inspeccionar los aspectos descritos y evaluar sus condiciones tomando en cuenta las referencias.		
Vo. Bo. Supervisión	Nombre y firma						
<u>Aspectos a evaluar</u>	<u>Referencias</u>			<u>Observaciones del colaborador</u>	<u>Estado</u>		
					Bueno	Regular	Malo
							OT
<b>Sistema de aceite lubricación</b> 	Inspección visual de sistema de aceite completo tanto de lubricación como hidráulico						
<b>Bocina de alarma</b> 	Verificar que suene bocina de alarma a través del boton de prueba.						
<b>Fugas en tuberías, mangueras</b> 	Verificar que no haya fugas en tuberías y mangueras						
<b>Lubricación en contraeje</b> 	Verificar flujo de aceite en caja contraeje, resigtrar presión del manómetro.			Presión en contraeje: PSI			
<b>Temperatura tubería retorno</b> 	Verificar sensor de temperatura en tubería de retorno, debe indicar 21C (70 F) o más.			Temperatura de retorno:			
<b>Presión en salida</b> 	Revisión de presión de salida que debe ser entre 30-50 PSI y temperatura sistema de lubricación.			Temperatura de salida: Presión de salida: PSI			
<b>Junta de cubierta</b> 	Inspeccionar condición de junta de cubierta de tanque						
<b>Revisión de flujometro</b> 	Revisión de flujometro, el mínimo de operación son 12 galones por minuto GPM			Registro de flujo: GPM			

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

### 3.6.2. Establecer costos de mano de obra

Tabla X. Costo de mano de obra

Puesto	Sueldo base	Diario	Por hora
Mecánico	Q 7 500,00	Q 250,00	Q 27,78
Soldador	Q 5 500,00	Q 183,33	Q 20,37
Lubricador	Q 3 450,00	Q 115,00	Q 12,78
Auxiliar	Q 2 700,00	Q 90,00	Q 10,00

Fuente: elaboración propia.

### 3.6.3. Establecer horas/hombre para cada tarea

En las siguientes tablas se muestran las tareas de mantenimiento preventivo contempladas para cada equipo de cribas vibratorias, trituradora de quijada y trituradoras de cono respectivamente. En cada recuadro se incluye el personal correspondiente para su realización, el tiempo estimado de ejecución y el costo hora/hombre para cada una.

Tabla XI. Horas/hombre para tareas de cribas vibratorias

Vibro King TL 26 de 6'x20' corona simple							
Ítem	Frecuencia MSR	Tarea	Tiempo para ejecución horas	Mano de obra asociada			Costo
				Mecánico	Lubricador	Auxiliar	
1	Semanal	Desgaste en segmentos.	1	1			Q 27,78
2		Inspeccionar puntos muertos donde se acumule material.		1			Q 27,78
3		Inspeccionar nivel de aceite.			1		Q 12,78
4	Quincenal	Inspeccionar daños en vigas.	1	1			Q 27,78
5		Inspeccionar correa de transmisión (verificar alineación, tensión).		1			Q 27,78
6		Inspeccionar altura de resortes en las 4 esquinas.		1			Q 27,78
7	Condición (trimestral)	Revisión de discos de fricción.	1	1		1	Q 37,78
8		Cambio de aceite a cojinete.	3	1	1		Q 121,67
9		Limpia conjunto de respiradero con solvente y secar con aire comprimido.	1	1	1		Q 40,56

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Tabla XII. Horas/hombre para tareas de trituradora de quijada

Trituradora de mandíbula TELSMITH 3055						
Ítem	Frecuencia MSR	Tarea	Mano de obra asociada			Costo
			Tiempo para ejecución	Mecánico	Auxiliar	
1	Quincenal	Revise si hay desgaste en las puntas de los ejes de empuje.	0,5	1		Q 13,89
2		Revise si las correas en V están desgastadas, dañadas o desalineadas, además de su tensión.	0,5	1		Q 13,89
3		Revise la configuración de abertura de descarga.	0,5	1		Q 13,89
4		Revise el apriete de los pernos del volante. Apriete según se requiera.	0,5	1		Q 13,89
5	Semanal	Retire suciedad, material derramado, despeje obstrucciones o desechos.	1		2	Q 20,00
6		Revise si los bocartes de la mandíbula y alerones laterales están trizados, sueltos o desgastados.	0,5	1		Q 13,89
7		Revise si hay desgaste o grietas en la palanca.	0,5	1		Q 13,89
8		Verifique el huelgo entre las puntas del eje de empuje y los soportes de empuje.	1	1		Q 27,78
9	Diario	Busque señales de fuga, revise que no estén aplastadas, dobladas las mangueras.	0,5	1		Q 13,89
10		Verifique la presencia de ruidos y vibraciones inusuales durante la operación de la trituradora.	0,25	1		Q 6,94
11		Verifique que todas las tuercas, los pernos y los sujetadores estén apretados.	0,5	1		Q 13,89
12	Sistema de engrase (quincenal)	Verificar la aplicación de grasa en los ejes de empuje.	0,5	1		Q 13,89
13		Verificar la aplicación de grasa en los manguitos de la varilla de tensión y en los pasadores de la varilla de tensión.	0,5	1		Q 13,89
14		Verificar la aplicación de grasa en el bastidor principal y en los cojinetes de la mandíbula móvil.	0,5	1		Q 13,89
15		Verificar la aplicación de grasa a las conexiones de la muñeca de palanca.	0,5	1		Q 13,89

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Tabla XIII. Horas/hombre para tareas de trituradora de cono

Trituradora tipo cono TELSMITH 445B5									
Ítem	Frecuencia MSR	Sistema de lubricación	Sistema hidráulico	Tarea	Mano de obra asociada				Costo
					Tiempo para ejecución	Mecánico	Soldador	Lubricador	
1	Mensual	X		Inspección de respiradero de tanque de aceite	0,25	1			Q 6,94
2		X		Inspección filtro de respiradero de contraeje	0,5	1			Q 13,89
3			X	Limpeza de tapa de llenado depósito hidráulico	0,5	1		1	Q 18,89
4	Quincenal	X	X	Limpeza de medidores e indicadores	1	1			Q 27,78
5		X	X	Inspección de indicador de filtro de aceite	0,25	1			Q 6,94
6		X		Verifique indicador visual de aceite	0,25	1			Q 6,94
7			X	Aplicar grasa en acoplamientos de cilindros de alivio	1			1	Q 12,78
8			X	Inspeccionar nivel de aceite hidráulico				1	Q 6,39
9			X	Verificar nivel de aceite en caja de engranajes de rotador de energía	0,5			1	Q 6,39
10	Diario	X	X	Inspección visual de sistema de aceite completo	1	1			Q 27,78
11		X	X	Verificar que no haya fugas en tuberías y mangueras	0,5	1			Q 13,89
12		X		Verificar que suene bocina de alarma		1			Q 13,89
13		X		Verificar sensor de temperatura en tubería de retorno		1			Q 13,89
14		X		Revisión de presión de salida sistema de lubricación	0,5	1			Q 13,89
15		X		Inspeccionar condición de junta de cubierta de tanque		1			Q 13,89
16		X		Revisión de flujometro		1			Q 13,89

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

### 3.6.4. Establecer costos y beneficios

El costo de implementar el plan de mantenimiento preventivo para los equipos trabajados se puede resumir en los siguientes aspectos:

- Cambio de piezas de desgaste
- Rutinas de inspección y verificación
- Rutinas de limpieza
- Rutinas de lubricación por condición

En las siguientes tablas se contemplan los aspectos descritos anteriormente, por lo tanto, al agrupar ambos incisos se obtienen los siguientes costos de mantenimiento preventivo para cada equipo.

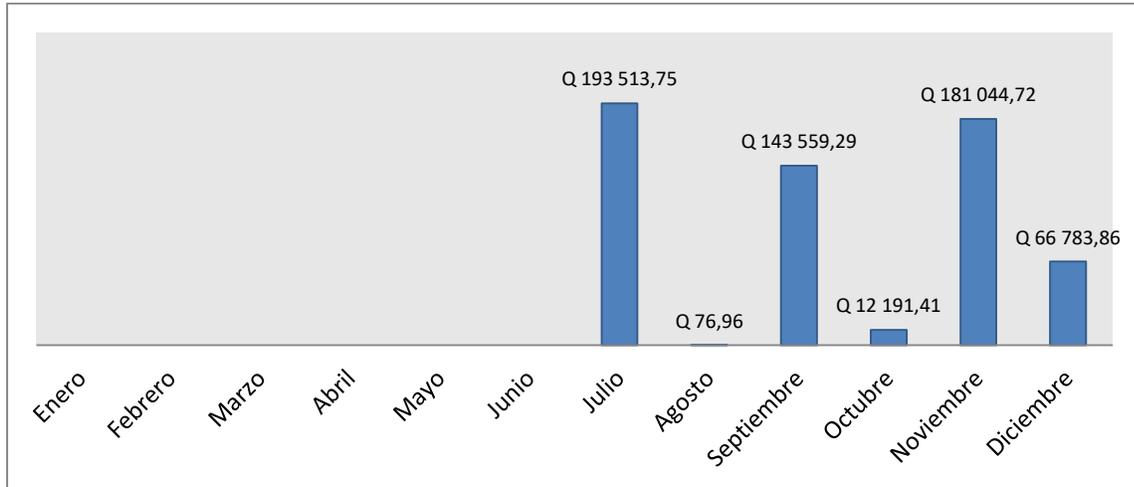
Tabla XIV. **Resumen de costos de trituradora de quijada**

<b>Trituradora de quijada</b>	
Aspecto	Costo
Cambio de piezas de desgaste	Q 186 212,80
Rutina de mantenimiento quincenal	Q 111,11
Rutina de mantenimiento semanal	Q 75,56
Rutina de mantenimiento diario	Q 34,72
Grasa sintética	Q 2 306,46
<b>Total</b>	<b>Q 188 710,65</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

En la siguiente figura se puede notar los picos cada 2 meses en donde se realizan los cambios de piezas de desgaste de la trituradora primaria, sin embargo, hay algunos meses intercalados donde no se registra algún costo significativo.

Figura 26. **Situación económica de 2016 para trituradora de quijada**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

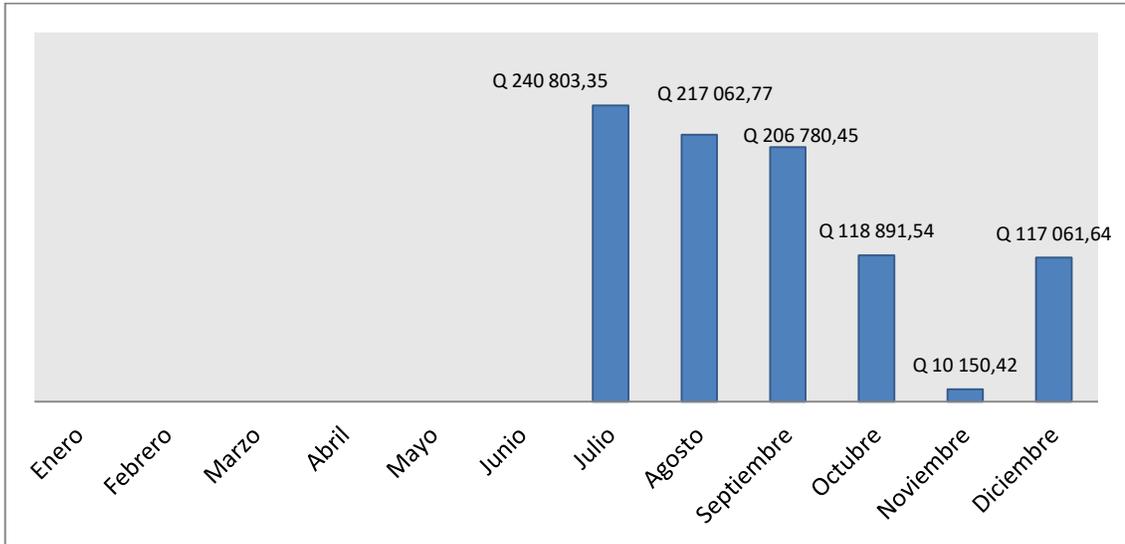
Tabla XV. **Resumen de costos de trituradora de cono secundaria**

<b>Trituradora de cono secundaria</b>	
Aspecto	Costo
Cambio de piezas de desgaste	Q 59 238,54
Rutina de mantenimiento mensual	Q 39,72
Rutina de mantenimiento quincenal	Q 67,22
Rutina de mantenimiento diario	Q 111,11
Aceite sintético	Q 28 110,53
Aceite hidráulico	Q 10 635,62
<b>Total</b>	<b>Q 98 202,74</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

En la siguiente figura, respectivamente, en los meses de octubre y diciembre se mantiene el costo mensual de los cambios de piezas de desgaste; en julio, agosto y septiembre se muestran picos similares debido a costos que hubo para repuestos de mantenimiento correctivo del equipo, lo cual, es fácilmente notable, duplica el costo de mantenimiento preventivo.

Figura 27. Situación económica de 2016 para trituradora de cono secundaria



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

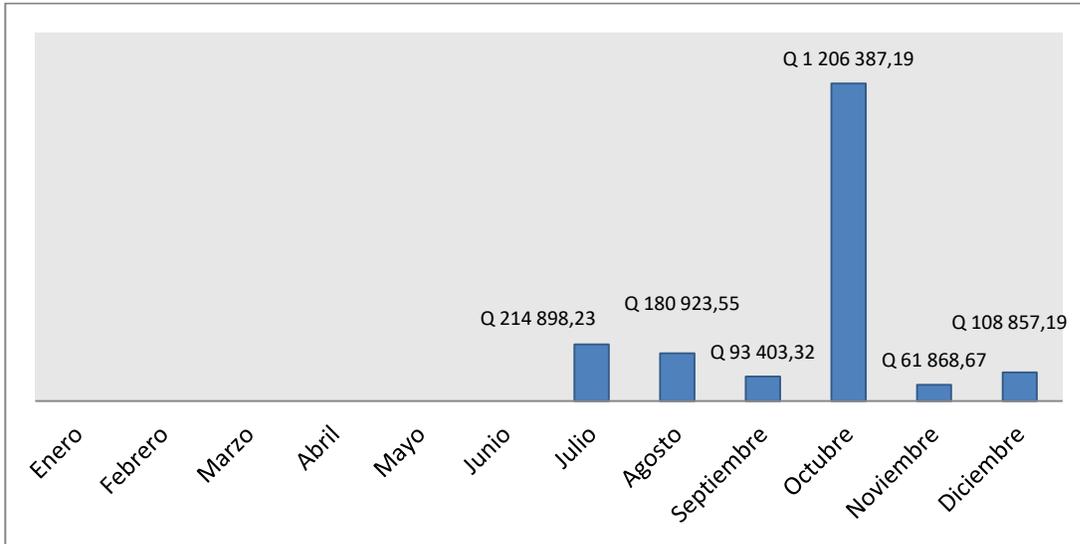
Tabla XVI. Resumen de costos de trituradora de cono secundaria

Trituradoras de cono terciarias	
Aspecto	Costo
Cambio de piezas de desgaste	Q 90 658,07
Rutina de mantenimiento quincenal	Q 39,72
Rutina de mantenimiento semanal	Q 67,22
Rutina de mantenimiento diario	Q 111,11
<b>Total</b>	<b>Q 90 876,12</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

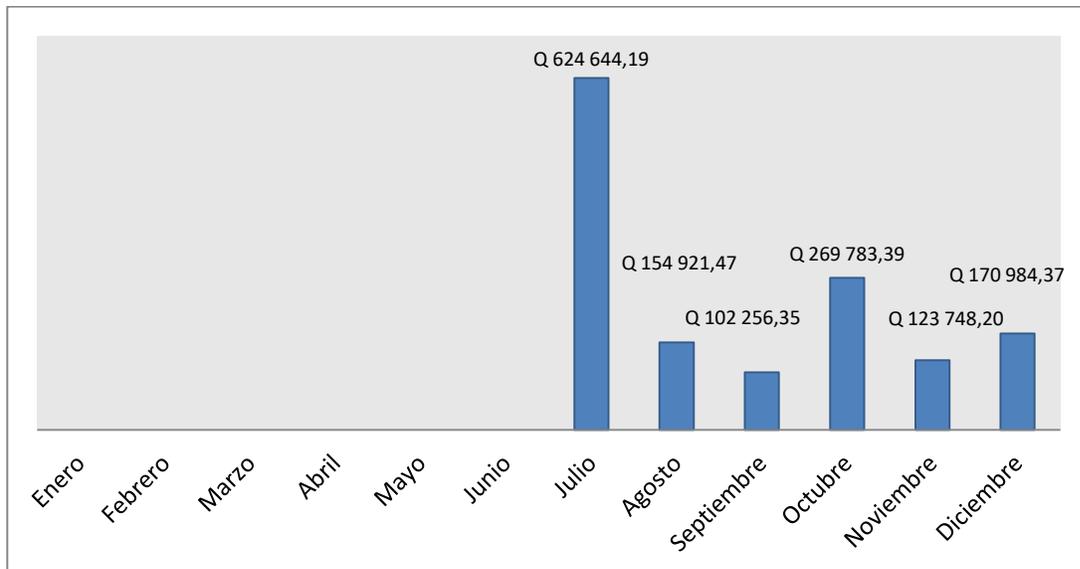
En las siguientes figuras se muestra el comportamiento respecto a los costos de ambas trituradoras de cono terciarias en el segundo semestre de 2016; se muestran distintos picos debido a cambios de bastidor, contra ejes y excéntricos de distintos mantenimientos correctivos en ambos equipos.

Figura 28. Situación económica de 2016 para trituradora de cono terciaria 1



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Figura 29. Situación económica de 2016 para trituradora de cono terciaria 2



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

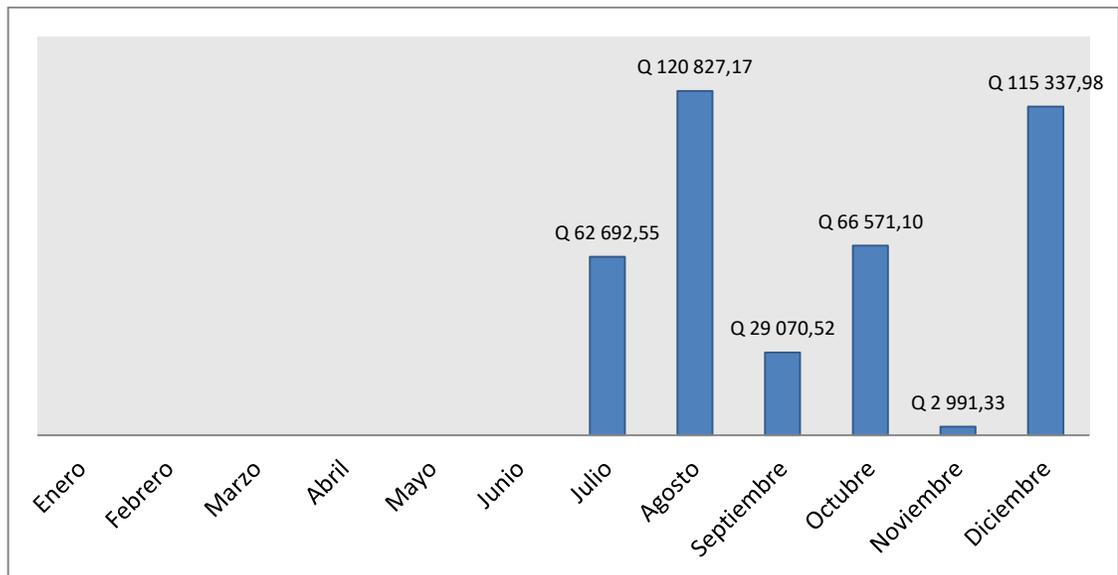
Tabla XVII. **Resumen de costos de criba vibratoria secundaria**

<b>Criba vibratoria secundaria</b>	
Aspecto	Costo
Cambio de piezas de desgaste	Q 334 687,47
Rutina de mantenimiento quincenal	Q 83,33
Rutina de mantenimiento semanal	Q 68,33
Rutina de mantenimiento por condición	Q 200,00
<b>Total</b>	<b>Q 335 039,13</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

En la siguiente figura se muestra el comportamiento respecto a costos de mantenimiento de la criba vibratoria secundaria en el segundo semestre de 2016.

Figura 30. **Situación económica de 2016 para criba vibratoria secundaria**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

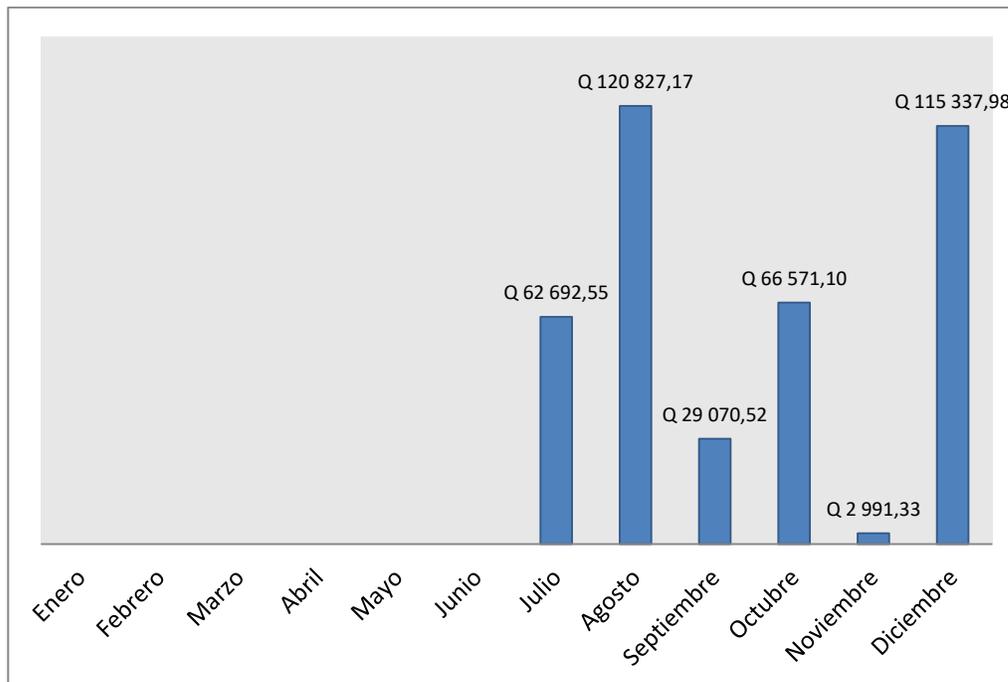
Tabla XVIII. **Resumen de costos de criba vibratorias terciarias**

<b>Cribas vibratorias terciarias</b>	
Aspecto	Costo
Cambio de piezas de desgaste	Q 328 666,58
Rutina de mantenimiento quincenal	Q 83,33
Rutina de mantenimiento semanal	Q 68,33
Rutina de mantenimiento por condición	Q 200,00
<b>Total</b>	<b>Q 329 018,24</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

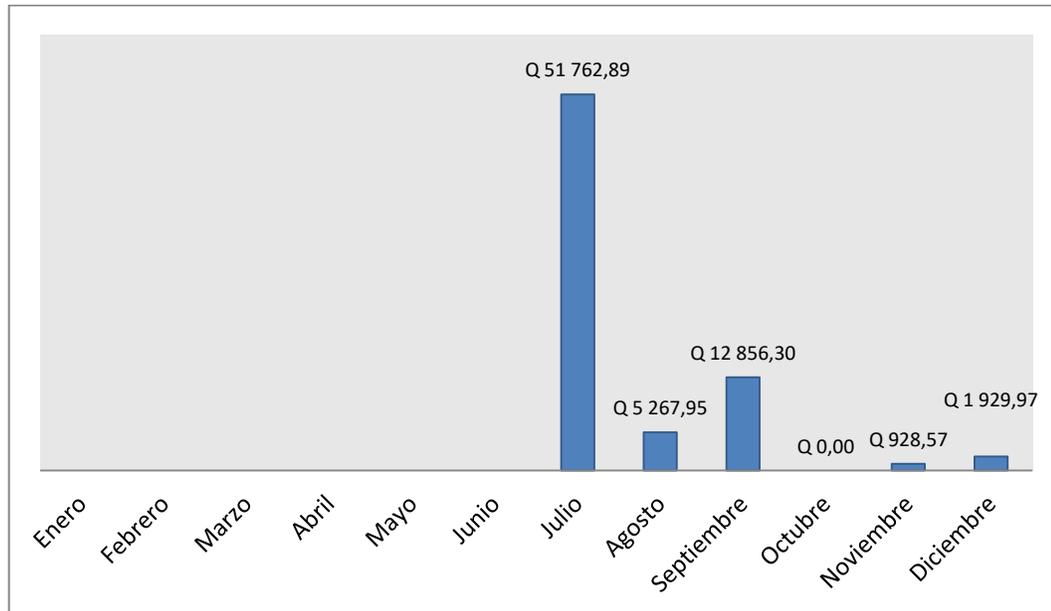
En las siguientes figuras se muestra el comportamiento respecto a los costos de mantenimiento de las cribas vibratorias terciarias en el segundo semestre de 2016.

Figura 31. **Situación económica de 2016 para criba vibratoria terciaria 1**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Figura 32. Situación económica de 2016 para criba vibratoria terciaria 2



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Los beneficios de establecer un plan de mantenimiento preventivo se pueden resumir en lo siguiente:

- Reducción importante del riesgo por fallas, esto se puede lograr ya que en el mantenimiento preventivo se busca obtener un panorama general del estado completo del equipo y registrar los problemas detectados para solucionarlos de forma programada y no imprevista.
- Reducción de paros imprevistos, ya que en el mantenimiento preventivo de cada equipo se estipula el tiempo requerido para ejecutar las tareas planificadas y no cuando sean de emergencia, se mantiene el servicio en la calidad esperada cuando se requiere.

- Nivelación de costos de cambios de piezas de desgaste a lo largo de todos los meses, esto con el fin de impactar el presupuesto de forma constante y controlada.
- Registro de información de tonelaje procesado contra costos de mantenimiento para analizar posteriormente su rentabilidad.
- Mayor confiabilidad en la operación de los equipos, el mantenimiento preventivo busca garantizar la disponibilidad ofrecida, sin un plan de mantenimiento preventivo para cada equipo, no se podría establecer un dato de tiempo de disponibilidad ya que no se tendría información de los trabajos que se requiere ejecutar ni el tiempo.

## **4. FASE DE DOCENCIA**

### **4.1. Capacitación al personal de mantenimiento**

El personal de mantenimiento de planta de procesos se compone de superintendente, jefes, supervisores y personal técnico. Las capacitaciones realizadas se enfocaron a nivel de supervisión y de personal técnico que se compone de mecánicos, soldadores, lubricadores y auxiliares.

Los temas que se impartieron fueron seleccionados luego de hablar con el superintendente y los jefes, se buscaron aquellos temas que fueran los de mayor importancia para los trabajos diarios de mantenimiento. Se impartieron distintas charlas en donde el personal era evaluado sobre conocimientos que ya tenía y posteriormente se realizaba otra evaluación para determinar que fue lo aprendido.

Se tuvo la oportunidad de hacer ejercicios prácticos con los equipos de la planta para que se pudiera relacionar la teoría con la práctica. Se realizaron programas para cálculo de potencia transmitida en bandas, velocidades, carga dinámica total en bombas centrífugas.

Figura 33. Tipos de mantenimiento a nivel industrial

**MINERA SAN RAFAEL**

HOJA \_\_\_\_ DE \_\_\_\_

**REGISTRO DE CAPACITACIÓN O REUNIÓN**

AREA

MINA  PLANTA DE BENEFICIO  MANTENIMIENTO  SERVICIOS  OTROS

CHARLA 5 MINUTOS  REUNIÓN  CURSO  TALLER  INDUCCIÓN

**DATOS DE TIEMPO**      **DATOS GENERALES**

FECHA:  /       LUGAR: \_\_\_\_\_

DURACIÓN (hora)       TEMA: Mantenimiento Industrial

Inicio  Fin       OBJETIVO DEL TEMA: \_\_\_\_\_

NOMBRE	PUESTO	DEPARTAMENTO	FIRMA
1.- <u>Luisvin Sanchez</u>	<u>Lubricador</u>	<u>Mantto</u>	<u>[Firma]</u>
2.- <u>José Santos</u>	<u>Mec</u>	<u>Mantto Pbk</u>	<u>[Firma]</u>
3.- <u>Giulanni zey</u>	<u>Sold</u>	<u>"</u>	<u>[Firma]</u>
4.- <u>David Cruz</u>	<u>Soldador</u>	<u>Mantto Planta</u>	<u>[Firma]</u>
5.- <u>Sairo Florian</u>	<u>Soldador</u>	<u>Mantto Planta</u>	<u>[Firma]</u>
6.- <u>Elardo Toxcon</u>	<u>Lubricador P.P</u>	<u>MANTTO</u>	<u>[Firma]</u>
7.- <u>Fernando Domínguez</u>	<u>MU</u>	<u>MANTTO</u>	<u>[Firma]</u>
8.- <u>Christian Morales</u>	<u>Auxiliar</u>	<u>Mantto Planta</u>	<u>[Firma]</u>
9.- <u>Don Santiago Sasuma</u>	<u>Soldador</u>	<u>MANTTO</u>	<u>[Firma]</u>
10.- <u>Marlon Ruano</u>	<u>"</u>	<u>"</u>	<u>[Firma]</u>
11.-			
12.-			
13.-			
14.-			
15.-			
16.-			
17.-			
18.-			
19.-			
20.-			
21.-			
22.-			
23.-			
24.-			
25.-			

INSTRUCTOR(ES): \_\_\_\_\_ FIRMA(S): \_\_\_\_\_

COMENTARIOS GENERALES Y/O ACUERDOS:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Transmisión a través de bandas y poleas


HOJA \_\_\_\_ DE \_\_\_\_

**REGISTRO DE CAPACITACIÓN O REUNIÓN**

---

MINA   
  PLANTA DE BENEFICIO   
  MANTENIMIENTO   
  SERVICIOS   
  OTROS \_\_\_\_\_

---

CHARLA 5 MINUTOS   
  REUNIÓN   
  CURSO   
  TALLER   
  INDUCCIÓN

DATOS DE TIEMPO	DATOS GENERALES
FECHA: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">8 / 2 / 17</span>	LUGAR: _____
DURACIÓN (hora): <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Inicio</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Fin</span> </div>	TEMA: <u>Fajas y poleas</u>
OBJETIVO DEL TEMA: _____	

NOMBRE	PUESTO	DEPARTAMENTO	FIRMA
1.- Rodolfo Enrique López	Sup.	Mantto	<i>[Signature]</i>
2.- <del>Edy Tapia</del>	" "	" "	<del><i>[Signature]</i></del>
3.- Henry Ramirez	Maner.	" "	<i>[Signature]</i>
4.- Maxlon Rojas Rodriguez	Jefe. Instro	Mantto	<i>[Signature]</i>
5.- J. Sauián	Sup. General	" "	<i>[Signature]</i>
6.- <del>Esteban Sasua Cuñel</del>	Soldado +	Mantto	<del><i>[Signature]</i></del>
7.- Elvardo Toxani	labrador	MANTTO	<i>[Signature]</i>
8.- Giovanni Zy	Soldado	" "	<i>[Signature]</i>
9.- Nestor Pineda	AUX	" "	<i>[Signature]</i>
10.-			
11.-			
12.-			
13.-			
14.-			
15.-			
16.-			
17.-			
18.-			
19.-			
20.-			
21.-			
22.-			
23.-			
24.-			
25.-			

INSTRUCTOR(ES): \_\_\_\_\_ FIRMA(S): \_\_\_\_\_

COMENTARIOS GENERALES Y/O ACUERDOS:

---



---



---

Fuente: elaboración propia.

Figura 35. Principios básicos de mecánica de fluidos

 MINERA <b>SAN RAFAEL</b>		HOJA ___ DE ___		
REGISTRO DE CAPACITACIÓN O REUNIÓN				
AREA				
MINA <input type="checkbox"/>	PLANTA DE BENEFICIO <input type="checkbox"/>	MANTENIMIENTO <input type="checkbox"/>		
		<input checked="" type="checkbox"/> SERVICIOS <input type="checkbox"/>		
OTROS _____ <input type="checkbox"/>				
CHARLA 5 MINUTOS <input type="checkbox"/> REUNIÓN <input type="checkbox"/> CURSO <input checked="" type="checkbox"/> TALLER <input type="checkbox"/> INDUCCIÓN <input type="checkbox"/>				
DATOS DE TIEMPO		DATOS GENERALES		
FECHA:	/ /	LUGAR:		
DURACIÓN (hora)	/ /	TEMA: Principios mecánica de fluidos		
Inicio	Fin	OBJETIVO DEL TEMA:		
1.-	Amibal Fuentes	Sup. Mecanico	Mantto	[Firma]
2.-	Alvaro Estrada	--	--	[Firma]
3.-	José Sanja's	Sup. Grad	--	[Firma]
4.-	Eddy Gustavo Quiñonez Carpio	Mecanico	Mantto	[Firma]
5.-	Jose Santos	Mecanico	u n	[Firma]
6.-	Esau Gómez	Indagador	Mant. plant	[Firma]
7.-	Eddy Del Cid	mecc	Mantto	[Firma]
8.-	Byson Che	Mec	Mantto	[Firma]
9.-	Juan Carlos Dominguez	Mec	Mantto	[Firma]
10.-	César Santos	Lubricador	Mantto	[Firma]
11.-				
12.-				
13.-				
14.-				
15.-				
16.-				
17.-				
18.-				
19.-				
20.-				
21.-				
22.-				
23.-				
24.-				
25.-				
INSTRUCTOR(ES): _____		FIRMA(S): _____		
COMENTARIOS GENERALES Y/O ACUERDOS:				

Fuente: elaboración propia.

Figura 36. Lectura de gráfica de bombas centrífugas

  
**MINERA SAN RAFAEL**  
 REGISTRO DE CAPACITACIÓN O REUNIÓN

HOJA \_\_\_\_ DE \_\_\_\_

---

AREA

MINA  PLANTA DE BENEFICIO  MANTENIMIENTO  SERVICIOS  OTROS

---

CHARLA 5 MINUTOS  REUNIÓN  CURSO  TALLER  INDUCCIÓN

---

DATOS DE TIEMPO

FECHA:

DURACIÓN (hora)

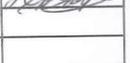
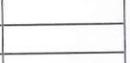
DATOS GENERALES

LUGAR:

TEMA: Gráficas de bombas

OBJETIVO DEL TEMA:

---

NÚMERO	NOMBRE	PUESTO	DEPARTAMENTO	FIRMA
1.-	<u>Anibal J Fuentes</u>	<u>Supervisor</u>	<u>Minería</u>	
2.-	<u>Juan Sanjin</u>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3.-	<u>Hugo Enrique</u>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4.-	<u>Edy Zepeda</u>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5.-	<u>Rodolfo Enrique Lopez</u>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6.-	<u>Henry Ramirez</u>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7.-				
8.-				
9.-				
10.-				
11.-				
12.-				
13.-				
14.-				
15.-				
16.-				
17.-				
18.-				
19.-				
20.-				
21.-				
22.-				
23.-				
24.-				
25.-				

---

INSTRUCTOR(ES): \_\_\_\_\_ FIRMA(S): \_\_\_\_\_

COMENTARIOS GENERALES Y/O ACUERDOS:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

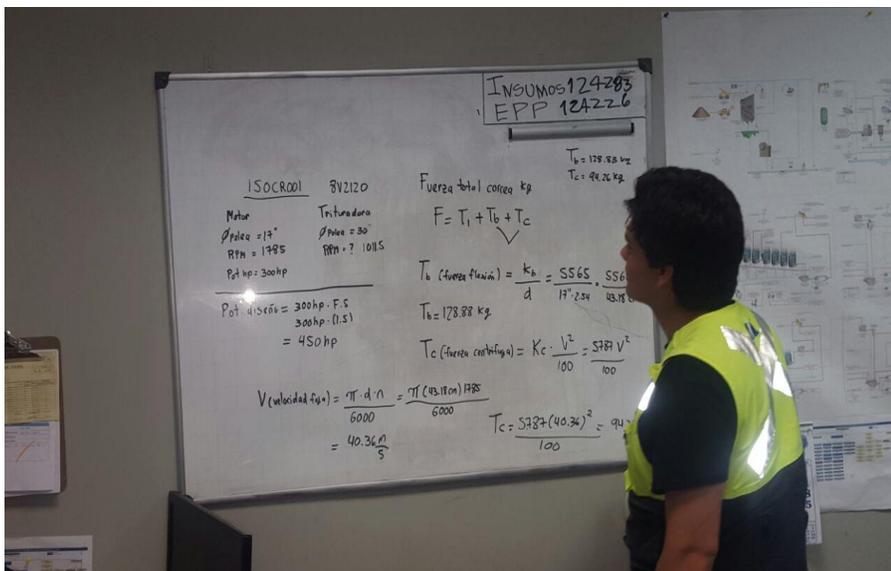
Fuente: elaboración propia.

Figura 37. Charlas teóricas de capacitación



Fuente: elaboración propia.

Figura 38. Ejercicios guiados para charlas de capacitación



Fuente: elaboración propia.

Figura 39. **Personal que asistió a las charlas de capacitación**



Fuente: elaboración propia.



## CONCLUSIONES

1. La maquinaria de trituración fue seleccionada para una tasa de procesamiento de 4 500 toneladas por día, si se enfoca a 5 500 toneladas por día se deben adecuar nuevas rutinas de mantenimiento preventivo y nuevas frecuencias de cambio de piezas de desgaste para que siga siendo funcional los equipos seleccionados originalmente.
2. El proceso de trituración consta de las etapas primaria, secundaria en circuito abierto donde no se tiene carga circulante y una etapa terciaria que es circuito cerrado y la encargada de procesar toda la carga circulante; cada etapa tiene el objetivo de realizar una fase de la conminución del mineral para que al final del proceso el tamaño del grano sea adecuado para ingresar a la etapa de molienda.
3. Los datos de operación que determinan las frecuencias de las tareas de mantenimiento preventivo para maquinaria en trituración, trituradoras de quijada y de cono y tamices vibratorios, son el tonelaje procesado y las horas trabajadas para cada uno de los equipos.
4. Un programa de cambio de piezas de desgaste debe estar enfocado a obtener la máxima vida útil de las piezas, alertar en tiempo oportuno al usuario para que realice la inspección necesaria y proyectar las fechas de cambio para que puedan ser realizadas de forma programada y planificada.

5. El mantenimiento preventivo de los equipos debe ser adecuado y actualizado a la operación que se tenga, ya que permitirá una reducción de las fallas de los equipos, determinar a tiempo las correcciones necesarias que se deben realizar para que se puedan programar; por lo que las paradas imprevistas, también, se verán reducidas y permitirá una mayor disponibilidad de los equipos lo que representa una mayor producción.

## RECOMENDACIONES

1. Al jefe de mecánicos, evaluar anualmente el plan de mantenimiento preventivo para maquinaria de cada proceso de la planta, con el objeto de identificar las fortalezas y debilidades de cada equipo con la tasa de operación que maneje la planta; con base en ello realizar las modificaciones necesarias en el plan.
2. A los supervisores de mantenimiento, realizar inspecciones periódicas del ajuste de cada uno de los equipos para que efectivamente cumpla con su objetivo dentro del proceso de ignición, con el fin de evitar que el siguiente equipo en el proceso se vea exigido con procesar material fuera del rango normal de tamaño de alimentación ya que esto implica desgaste acelerado.
3. Respetar las fechas de cambio de las piezas de desgaste y no realizar los cambios de forma anticipada o posterior, ya que su fin es obtener el máximo posible de vida útil de dichas piezas sin exponer la pieza protegida de interés y al mismo tiempo no exceder el presupuesto estipulado.
4. A los planificadores de mantenimiento, registrar diariamente los datos de tonelaje procesado y horas operadas de cada equipo para tener un registro fiable de las condiciones reales y programar fechas acertadas para los cambios de piezas de desgaste.

5. Al jefe de planificación, solicitar al departamento correspondiente, información sobre el tipo de mineral de las distintas capas que mina subterránea extrae, para que dependiendo de qué tan abrasivo sea, se puedan registrar los tiempos de duración de las piezas de desgaste y desarrollar nuevamente el programa propuesto de cambio de piezas de desgaste pero enfocado a cada una de las capas de mineral que se procesen para utilizar el programa de cambios adecuado para que las proyecciones sean fiables.

## BIBLIOGRAFÍA

1. DOUNCE VILLANUEVA, Enrique. *La productividad en el mantenimiento industrial*. México: Grupo Editorial Patria, 2007. 350 p.
2. MOTT, Robert. *Diseño de elemento de máquinas*. 4a ed. México: Pearson Educación de México, 2006. 872 p.
3. Performance Associates International, Inc. Minera San Rafael, S.A. *Planta procesos proyecto Escobal manual de operación de trituración*. North Oracle Road, U.S.A.: Performance Associates International, Inc., 2012. 525 p.
4. STREETER, Victor L. *Mecánica de los fluidos*. México: Libros McGraw-Hill de México, 1972. 747 p.
5. Telsmith. *Telsmith 04/08 Mod. 5 Trituradora de mandíbula operación, mantenimiento y operación*. Estados Unidos: Telsmith, 2008. 202 p.
6. \_\_\_\_\_. *Telsmith 07/10 Mod. 3 Criba Vibro-King TL operación y mantenimiento*. Estados Unidos: Telsmith, 2008. 120 p.
7. \_\_\_\_\_. *Telsmith 08/09 Mod. 2 Trituradora de cono modelos SBS 38, 44, 52, 57 y 68 operación y mantenimiento*. Estados Unidos: Telsmith, 2008. 192 p.



## ANEXOS

### Anexo 1. Valores de $K_b$ y $K_c$

Sección	$K_b$	$K_c$	Fuerza máxima $F$		
			Para $10^8$	Para $10^9$	Para $10^{10}$
A	253	0,987	58	47	
B	664	1,698	100	81	
C	1843	3,020	178	145	
D	6544	6,156	363	295	
E	12501	8,872	523	425	
3V	265	0,748	75	63	50
5V	1265	2,142	174	145	102
8V	5565	5,787	384	320	256

Fuente: *Diseño de elementos de máquinas.*

[http://books.google.com.gt/books/about/Diseño\\_de\\_elementos\\_de\\_máquinas.html](http://books.google.com.gt/books/about/Diseño_de_elementos_de_máquinas.html). Consulta: 11 de enero de 2017.

### Anexo 2. Valores de $Q$ y $X$

Sección	$10^8$ $10^9$ Máximos de fuerza		$10^9$ $10^{10}$ Máximos de fuerza		Diámetro mínimo de la polea
	Q	x	Q	x	
A	306	11,089			7,62
B	541	10,924			12,70
C	924	11,173			21,59
D	1 909	11,105			33,02
E	2 749	11,100			54,86
3V	330	12,464	482	10,153	6,73
5V	750	12,593	1 086	10,283	18,03
8V	1 650	12,629	2 383	10,319	31,75

Fuente: *Diseño de elementos de máquinas.*

[https://books.google.com.gt/books/about/Diseño\\_de\\_elementos\\_de\\_máquinas.html](https://books.google.com.gt/books/about/Diseño_de_elementos_de_máquinas.html). Consulta: 11 de enero de 2017.

Anexo 3. **Valores del ángulo de contacto y relación entre tensiones**

Angulo de contacto	$T_1/T_2$
180	5.00
175	4.78
170	4.57
265	4.37
160	4.18
155	4.00
150	3.82
145	3.66
140	3.50
135	3.34
130	3.20
125	3.06
120	2.92
115	2.80
110	2.67
105	2.56
100	2.44
95	2.54
90	2.24

Fuente: *Diseño de elementos de máquinas*.

[https://books.google.com.gt/books/about/Diseño\\_de\\_elementos\\_de\\_máquinas.html](https://books.google.com.gt/books/about/Diseño_de_elementos_de_máquinas.html). Consulta:

11 de enero de 2017.

## Anexo 4. Factores de servicio típicos

<b>EL FACTOR DE SERVICIO CORRECTO ES DETERMINADO POR:</b> 1. El grado y frecuencia de las cargas pico. 2. El número de horas de operación al año, divididas en un promedio de horas al día de servicio continuo. 3. La categoría adecuada de servicio, (intermitente, normal o continuo). Seleccione aquella que más se aproxime a las condiciones de su aplicación.		<b>SERVICIO INTERMITENTE — DE 1.0 A 1.5</b> a. Trabajo Ligero — No más de 6 horas al día. b. No debe exceder la carga promedio. <b>SERVICIO NORMAL — DE 1.1 A 1.6</b> a. Servicio diario de 6 a 16 horas al día. b. Donde las cargas de arranque o pico no excedan el 200% de la carga total. <b>SERVICIO CONTINUO — DE 1.2 A 1.8</b> a. Donde la carga de arranque o pico sea mayor en un 200% a la carga total o donde las cargas de arranque o pico y las sobrecargas ocurran frecuentemente. b. Servicio continuo 16 a 24 horas.							
FACTORES DE SERVICIOS TÍPICOS									
TIPOS DE MÁQUINAS DE TRANSMISIÓN				TIPOS DE UNIDADES MOTRICES					
Los tipos de máquinas impulsadas aquí listadas son solo una muestra representativa. Seleccione el equipo que se aproxime más a su aplicación. <b>SI SE UTILIZAN RUEDAS LOCAS, AÑADA LO SIGUIENTE AL FACTOR DE SERVICIO:</b> Rueda Loca en el lado suelto (adentro) Ninguno Rueda Loca en el lado suelto (afuera) 0.1 Rueda Loca en el lado apretado (adentro) 0.1 Rueda Loca en el lado apretado (afuera) 0.2				<b>MOTORES ELÉCTRICOS</b> AC Torque Normal Jaula de Ardilla y Síncrono AC Fase Dividida DC Devanado en Derivación <b>Motores de Combustión Interna</b>			<b>MOTORES ELÉCTRICOS</b> AC Alto Torque AC Hi-Fase Dividida AC Repulsión-Inducción AC Monofásico Devanado en Serie AC Anillo de Deslizamiento DC Devanado Compuesto		
				SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO	SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO
Agitadores para Líquidos Sopladores y Aspiradoras Bombas centrífugas y Compresoras Ventiladores hasta 10 HP Transportadores de Trabajo Ligero				1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Transportadores de Banda para arena, grano, etc. Amasadora Ventiladores de más de 10 HP Generadores Ejes de Línea Máquinas de Lavandería Máquinas-Herramientas Taladros, Prensas, Cortadores Máquinas de Imprinta Bombas Rotatorias de Desplazamiento Positivo Cribas Giratorias y Vibratorias				1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Máquinas para Ladrillos Elevadores de Cangilones Excitadores Compresores de Pistones Transportadores (Rastras, Helicoidales, Tablillas) Molinos de Martillos Hidropulper Bombas de Pistones Sopladores de Desplazamiento Positivo Pulverizadores Máquinas para Madera y Sierras Maquinaria Textil				1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Quebradoras (Giratorias-Mordaza-Rodillos) Molinos (Bolas, Rodillos) Grúas Calandrias de hule — Extrusoras — Molinos				1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.6
Equipo con Ahogador				2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

PARA UNA BUENA SELECCIÓN DE LA TRANSMISIÓN, UTILICE EL FACTOR DE SERVICIO CONTINUO.

Fuente: *Poleas para banda V de Martin (Martin V belt sheaves)*. [http://www.martinsprocket.com/poleas-para-banda-v-de-martin-\(martin-v-belt-sheaves\).pdf](http://www.martinsprocket.com/poleas-para-banda-v-de-martin-(martin-v-belt-sheaves).pdf). Consulta: 10 de enero de 2017.

## Anexo 5. Capacidad de potencia de bandas 8V



RPM del Eje más Rápido	Diámetro de Paso de la Polea (en pulgadas)											
	12.50	13.20	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.20	22.40	24.80
435	20.10	22.28	24.75	27.82	30.86	33.87	36.85	39.81	42.75	46.23	49.68	56.45
485	22.02	24.42	27.14	30.51	33.84	37.15	40.42	43.65	46.86	50.66	54.41	61.76
585	25.69	28.51	31.70	35.65	39.55	43.40	47.20	50.95	54.65	59.02	63.31	71.65
690	29.32	32.56	36.21	40.72	45.16	49.53	53.82	58.04	62.18	67.05	71.80	80.92
725	30.48	33.85	37.65	42.34	46.94	51.47	55.91	60.27	64.54	69.54	74.41	83.73
870	35.00	38.87	43.24	48.58	53.81	58.90	63.87	68.70	73.39	78.82	84.03	93.77
950	37.29	41.42	46.05	51.71	57.22	62.57	67.75	72.77	77.60	83.15	88.43	98.09
1160	42.57	47.26	52.48	58.77	64.81	70.58	76.06	81.25	86.12	91.55	96.48	104.80
1425	47.60	52.74	58.36	65.00	71.18	76.89	82.09	86.76	90.88	95.05	98.34	102.11
1750	50.91	56.13	61.66	67.88	73.28	77.83	81.47	84.16	85.84	86.47	—	—
50	3.01	3.31	3.64	4.06	4.47	4.88	5.30	5.70	6.11	6.60	7.09	8.06
100	5.59	6.15	6.79	7.59	8.38	9.17	9.96	10.74	11.52	12.46	13.38	15.23
150	8.00	8.82	9.76	10.92	12.07	13.23	14.37	15.51	16.65	18.01	19.36	22.05
200	10.30	11.37	12.59	14.11	15.62	17.12	18.61	20.10	21.58	23.35	25.11	28.60
250	12.51	13.83	15.33	17.19	19.04	20.88	22.71	24.53	26.35	28.51	30.66	34.92
300	14.65	16.20	17.97	20.17	22.36	24.53	26.69	28.83	30.97	33.51	36.03	41.02
350	16.72	18.51	20.55	23.07	25.58	28.07	30.55	33.01	35.45	38.35	41.23	46.92
400	18.73	20.75	23.04	25.89	28.72	31.52	34.30	37.05	39.79	43.04	46.26	52.60
450	20.69	22.93	25.47	28.63	31.76	34.86	37.93	40.98	44.00	47.58	51.12	58.07
500	22.59	25.05	27.84	31.30	34.72	38.11	41.46	44.78	48.06	51.96	55.79	63.31
550	24.43	27.11	30.14	33.88	37.59	41.26	44.88	48.46	51.99	56.17	60.28	68.30
600	26.23	29.11	32.37	36.40	40.38	44.30	48.18	52.00	55.77	60.22	64.58	73.05
650	27.97	31.05	34.53	38.83	43.07	47.25	51.36	55.41	59.40	64.09	68.67	77.53
700	29.66	32.93	36.63	41.19	45.67	50.09	54.43	58.69	62.87	67.77	72.56	81.74
750	31.29	34.75	38.66	43.46	48.18	52.82	57.36	61.81	66.17	71.27	76.22	85.65
800	32.88	36.51	40.62	45.66	50.60	55.43	60.17	64.79	69.30	74.56	79.64	89.26
850	34.40	38.21	42.50	47.76	52.91	57.94	62.84	67.61	72.26	77.65	82.83	92.55
900	35.87	39.85	44.32	49.78	55.12	60.32	65.37	70.27	75.02	80.51	85.76	95.50
950	37.29	41.42	46.05	51.71	57.22	62.57	67.75	72.77	77.60	83.15	88.43	98.09
1000	38.64	42.92	47.71	53.55	59.21	64.70	69.99	75.08	79.97	85.56	90.82	100.32
1050	39.94	44.36	49.29	55.29	61.09	66.69	72.07	77.22	82.14	87.71	92.92	102.17
1100	41.18	45.72	50.79	56.94	62.86	68.54	73.98	79.17	84.08	89.62	94.73	103.61
1150	42.35	47.01	52.21	58.48	64.50	70.25	75.73	80.92	85.80	91.25	96.22	104.64
1200	43.46	48.23	53.53	59.92	66.01	71.82	77.31	82.47	87.29	92.61	97.39	105.24
1250	44.50	49.37	54.77	61.24	67.40	73.23	78.70	83.81	88.54	93.69	98.23	105.38
1300	45.47	50.44	55.92	62.46	68.66	74.48	79.91	84.94	89.54	94.46	98.72	105.06
1350	46.38	51.42	56.97	63.57	69.77	75.57	80.93	85.84	90.27	94.94	98.85	104.26
1400	47.21	52.32	57.92	64.55	70.75	76.49	81.75	86.51	90.75	95.09	98.61	102.96
1450	47.97	53.14	58.78	65.42	71.58	77.24	82.37	86.95	90.94	94.92	97.98	101.14
1500	48.66	53.87	59.53	66.16	72.26	77.81	82.78	87.14	90.85	94.42	96.96	98.79
1550	49.27	54.51	60.18	66.77	72.79	78.20	82.98	87.08	90.47	93.57	95.54	95.89
1600	49.80	55.05	60.71	67.25	73.16	78.41	82.95	86.75	89.79	92.35	93.69	—
1650	50.25	55.51	61.14	67.60	73.37	78.41	82.69	86.17	88.79	90.78	91.41	—
1700	50.62	55.87	61.46	67.81	73.41	78.22	82.20	85.30	87.48	88.82	88.69	—
1750	50.91	56.13	61.66	67.88	73.28	77.83	81.47	84.16	85.84	86.47	—	—
1800	51.11	56.29	61.74	67.80	72.98	77.23	80.49	82.72	83.87	83.73	—	—
1850	51.22	56.35	61.70	67.57	72.50	76.41	79.26	80.99	81.55	—	—	—
1900	51.24	56.30	61.53	67.19	71.83	75.38	77.77	78.96	78.87	—	—	—
1950	51.17	56.14	61.23	66.66	70.97	74.12	76.02	76.61	—	—	—	—
2000	51.00	55.88	60.81	65.96	69.93	72.62	73.99	73.95	—	—	—	—
2100	50.38	55.01	59.56	64.08	67.23	68.93	69.09	—	—	—	—	—
2200	49.36	53.67	57.75	61.52	63.72	64.25	—	—	—	—	—	—
2300	47.92	51.84	55.36	58.24	59.34	—	—	—	—	—	—	—
2400	46.05	49.50	52.37	54.23	54.07	—	—	—	—	—	—	—
2500	43.73	46.84	48.75	49.45	—	—	—	—	—	—	—	—
2600	40.94	43.23	44.48	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2700	37.67	39.25	39.53	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2800	33.91	34.69	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

■ LAS VELOCIDADES DE CORONA EXCEDEN LOS 6500 PIES POR MINUTO.

Fuente: Poleas para banda V de Martin (Martin V belt sheaves). [http://www.martinsprocket.com/poleas-para-banda-v-de-martin-\(martin-v-belt-sheaves\).pdf](http://www.martinsprocket.com/poleas-para-banda-v-de-martin-(martin-v-belt-sheaves).pdf). Consulta: 10 de enero de 2017.

Anexo 6. Factor de corrección de potencia de bandas 8V



"Añada" HP por Relación de Velocidad									HPM del Eje más Rápido
1.02-1.05	1.06-1.11	1.12-1.18	1.19-1.25	1.27-1.38	1.39-1.57	1.58-1.94	1.95-3.38	3.39 o más	
0.20	0.56	0.97	1.32	1.60	1.87	2.11	2.30	2.43	435
0.23	0.62	1.08	1.47	1.78	2.09	2.35	2.56	2.71	485
0.27	0.75	1.30	1.77	2.15	2.52	2.83	3.09	3.27	585
0.32	0.89	1.54	2.09	2.54	2.97	3.34	3.64	3.86	690
0.34	0.93	1.61	2.20	2.67	3.12	3.51	3.83	4.06	725
0.41	1.11	1.94	2.64	3.20	3.74	4.22	4.59	4.87	870
0.45	1.21	2.11	2.88	3.49	4.09	4.60	5.02	5.32	950
0.54	1.48	2.58	3.52	4.27	4.99	5.62	6.13	6.49	1160
0.67	1.82	3.17	4.32	5.24	6.13	6.91	7.52	7.97	1425
0.82	2.24	3.90	5.30	6.44	7.53	8.48	9.24	9.79	1750
0.02	0.06	0.11	0.15	0.18	0.22	0.24	0.26	0.28	50
0.05	0.13	0.22	0.30	0.37	0.43	0.48	0.53	0.56	100
0.07	0.19	0.33	0.45	0.55	0.65	0.73	0.79	0.84	150
0.09	0.26	0.45	0.61	0.74	0.86	0.97	1.06	1.12	200
0.12	0.32	0.56	0.76	0.92	1.08	1.21	1.32	1.40	250
0.14	0.38	0.67	0.91	1.10	1.29	1.45	1.58	1.68	300
0.16	0.45	0.78	1.06	1.29	1.51	1.70	1.85	1.96	350
0.19	0.51	0.89	1.21	1.47	1.72	1.94	2.11	2.24	400
0.21	0.58	1.00	1.36	1.66	1.94	2.18	2.38	2.52	450
0.23	0.64	1.11	1.52	1.84	2.15	2.42	2.64	2.80	500
0.26	0.70	1.22	1.67	2.02	2.37	2.67	2.90	3.08	550
0.28	0.77	1.34	1.82	2.21	2.58	2.91	3.17	3.36	600
0.31	0.83	1.45	1.97	2.39	2.80	3.15	3.43	3.64	650
0.33	0.89	1.56	2.12	2.57	3.01	3.39	3.70	3.92	700
0.35	0.96	1.67	2.27	2.76	3.23	3.63	3.96	4.20	750
0.38	1.02	1.78	2.43	2.94	3.44	3.88	4.22	4.48	800
0.40	1.09	1.89	2.58	3.13	3.66	4.12	4.49	4.76	850
0.42	1.15	2.00	2.73	3.31	3.87	4.36	4.75	5.04	900
0.45	1.21	2.11	2.88	3.49	4.09	4.60	5.02	5.32	950
0.47	1.28	2.23	3.03	3.68	4.30	4.85	5.28	5.60	1000
0.49	1.34	2.34	3.18	3.86	4.52	5.09	5.54	5.88	1050
0.52	1.41	2.45	3.33	4.05	4.73	5.33	5.81	6.16	1100
0.54	1.47	2.56	3.49	4.23	4.95	5.57	6.07	6.44	1150
0.56	1.53	2.67	3.64	4.41	5.17	5.82	6.34	6.71	1200
0.59	1.60	2.78	3.79	4.60	5.38	6.06	6.60	6.99	1250
0.61	1.66	2.89	3.94	4.78	5.60	6.30	6.86	7.27	1300
0.63	1.73	3.01	4.09	4.97	5.81	6.54	7.13	7.55	1350
0.66	1.79	3.12	4.24	5.15	6.03	6.78	7.39	7.83	1400
0.68	1.85	3.23	4.40	5.33	6.24	7.03	7.66	8.11	1450
0.70	1.92	3.34	4.55	5.52	6.46	7.27	7.92	8.39	1500
0.73	1.98	3.45	4.70	5.70	6.67	7.51	8.18	8.67	1550
0.75	2.05	3.56	4.85	5.88	6.89	7.75	8.45	8.95	1600
0.77	2.11	3.67	5.00	6.07	7.10	8.00	8.71	9.23	1650
0.80	2.17	3.78	5.15	6.25	7.32	8.24	8.98	9.51	1700
0.82	2.24	3.90	5.30	6.44	7.53	8.48	9.24	9.79	1750
0.84	2.30	4.01	5.46	6.62	7.75	8.72	9.51	10.07	1800
0.87	2.36	4.12	5.61	6.80	7.96	8.97	9.77	10.35	1850
0.89	2.43	4.23	5.76	6.99	8.18	9.21	10.03	10.63	1900
0.92	2.49	4.34	5.91	7.17	8.39	9.45	10.30	10.91	1950
0.94	2.56	4.45	6.06	7.36	8.61	9.69	10.56	11.19	2000
0.99	2.68	4.67	6.37	7.72	9.04	10.18	11.09	11.75	2100
1.03	2.81	4.90	6.67	8.09	9.47	10.66	11.62	12.31	2200
1.08	2.94	5.12	6.97	8.46	9.90	11.15	12.15	12.87	2300
1.13	3.07	5.34	7.28	8.83	10.33	11.63	12.67	13.43	2400
1.17	3.20	5.57	7.58	9.19	10.76	12.12	13.20	13.99	2500
1.22	3.32	5.79	7.88	9.56	11.19	12.60	13.73	14.55	2600
1.27	3.45	6.01	8.18	9.93	11.62	13.08	14.26	15.11	2700
1.31	3.58	6.23	8.49	10.30	12.05	13.57	14.79	15.67	2800

Fuente: Poleas para banda V de Martin (Martin V belt sheaves). [http://www.martinsprocket.com/poleas-para-banda-v-de-martin-\(martin-v-belt-sheaves\).pdf](http://www.martinsprocket.com/poleas-para-banda-v-de-martin-(martin-v-belt-sheaves).pdf). Consulta: 10 de enero de 2017.

## Anexo 7. Capacidad de potencia de bandas 5V



RPM del Eje más Rápido	Diámetro Exterior de la Polea (en pulgadas)															
	4.40	4.65	4.90	5.20	5.50	5.90	6.30	6.70	7.10	7.50	8.00	8.50	9.00	9.25	9.75	10.30
435	1.55	1.88	2.20	2.58	2.97	3.48	3.98	4.48	4.99	5.48	6.10	6.72	7.33	7.64	8.25	8.91
485	1.69	2.04	2.40	2.83	3.25	3.81	4.37	4.93	5.48	6.03	6.71	7.39	8.07	8.41	9.08	9.81
575	1.91	2.33	2.75	3.24	3.74	4.40	5.05	5.70	6.35	6.99	7.79	8.58	9.37	9.76	10.55	11.40
585	1.94	2.36	2.78	3.29	3.79	4.46	5.12	5.78	6.44	7.09	7.91	8.71	9.51	9.91	10.71	11.57
690	2.18	2.67	3.17	3.76	4.34	5.12	5.89	6.66	7.42	8.17	9.12	10.05	10.98	11.44	12.36	13.36
725	2.26	2.78	3.29	3.91	4.52	5.33	6.14	6.94	7.74	8.53	9.51	10.49	11.45	11.94	12.89	13.94
870	2.56	3.17	3.78	4.51	5.23	6.19	7.14	8.08	9.02	9.95	11.10	12.24	13.38	13.94	15.06	16.27
950	2.72	3.38	4.04	4.83	5.61	6.64	7.67	8.69	9.70	10.70	11.95	13.18	14.40	15.00	16.21	17.51
1160	3.09	3.89	4.67	5.61	6.55	7.78	9.00	10.21	11.41	12.60	14.07	15.52	16.95	17.66	19.09	20.59
1425	3.50	4.45	5.39	6.52	7.63	9.10	10.56	11.99	13.41	14.81	16.53	18.23	19.89	20.71	22.33	24.08
1750	3.90	5.04	6.16	7.49	8.81	10.55	12.26	13.94	15.60	17.22	19.21	21.15	23.04	23.96	25.77	27.70
2850	4.47	6.12	7.75	9.65	11.50	13.90	16.21	18.42	20.53	22.53	24.88	27.06	29.04	29.96	31.65	33.25
3450	4.23	6.09	7.89	9.98	12.00	14.56	16.97	19.21	21.29	23.19	25.29	27.09	28.57	29.18	30.14	30.76
100	0.49	0.57	0.65	0.75	0.84	0.97	1.10	1.23	1.36	1.48	1.64	1.80	1.96	2.04	2.19	2.36
200	0.85	1.01	1.16	1.35	1.54	1.78	2.03	2.27	2.52	2.76	3.06	3.36	3.66	3.81	4.11	4.44
300	1.17	1.40	1.63	1.90	2.17	2.53	2.89	3.25	3.60	3.96	4.40	4.83	5.27	5.49	5.92	6.39
400	1.46	1.76	2.06	2.41	2.77	3.24	3.70	4.17	4.63	5.10	5.67	6.24	6.81	7.09	7.65	8.27
500	1.72	2.09	2.46	2.90	3.33	3.91	4.48	5.06	5.63	6.19	6.90	7.59	8.29	8.64	9.33	10.08
600	1.97	2.41	2.84	3.36	3.87	4.56	5.24	5.91	6.58	7.25	8.08	8.91	9.72	10.13	10.94	11.83
700	2.20	2.70	3.20	3.80	4.39	5.18	5.96	6.74	7.51	8.28	9.23	10.17	11.11	11.58	12.51	13.52
800	2.42	2.98	3.55	4.22	4.89	5.78	6.66	7.54	8.41	9.27	10.34	11.41	12.46	12.98	14.03	15.16
900	2.62	3.25	3.88	4.63	5.37	6.36	7.34	8.31	9.28	10.23	11.42	12.60	13.76	14.34	15.49	16.74
1000	2.81	3.51	4.20	5.02	5.84	6.92	8.00	9.06	10.12	11.17	12.47	13.75	15.02	15.66	16.91	18.27
1100	2.99	3.75	4.50	5.40	6.29	7.46	8.63	9.79	10.94	12.07	13.48	14.87	16.24	16.92	18.27	19.73
1200	3.16	3.98	4.79	5.76	6.72	7.99	9.25	10.49	11.73	12.95	14.46	15.95	17.42	18.14	19.58	21.14
1300	3.32	4.19	5.07	6.10	7.13	8.50	9.84	11.17	12.49	13.79	15.40	16.99	18.55	19.32	20.84	22.49
1400	3.46	4.40	5.33	6.44	7.54	8.98	10.42	11.83	13.23	14.61	16.31	17.99	19.63	20.44	22.04	23.77
1500	3.60	4.60	5.58	6.76	7.92	9.46	10.97	12.47	13.94	15.40	17.19	18.94	20.67	21.51	23.18	24.98
1600	3.73	4.78	5.82	7.06	8.29	9.91	11.50	13.08	14.62	16.15	18.02	19.86	21.65	22.53	24.27	26.12
1700	3.85	4.95	6.05	7.35	8.64	10.34	12.01	13.66	15.28	16.87	18.82	20.73	22.59	23.50	25.29	27.19
1800	3.95	5.11	6.27	7.63	8.98	10.76	12.50	14.22	15.91	17.58	19.58	21.55	23.47	24.41	26.24	28.19
1900	4.05	5.27	6.47	7.89	9.30	11.15	12.97	14.75	16.50	18.22	20.30	22.33	24.30	25.26	27.13	29.10
2000	4.14	5.41	6.66	8.14	9.61	11.53	13.42	15.26	17.07	18.83	20.98	23.06	25.07	26.05	27.94	29.94
2100	4.22	5.53	6.84	8.38	9.90	11.89	13.84	15.74	17.60	19.42	21.62	23.74	25.78	26.77	28.68	30.69
2200	4.28	5.65	7.00	8.60	10.17	12.23	14.24	16.20	18.11	19.96	22.21	24.37	26.43	27.43	29.35	31.35
2300	4.34	5.76	7.15	8.80	10.43	12.54	14.61	16.62	18.58	20.47	22.76	24.94	27.02	28.02	29.94	31.91
2400	4.39	5.85	7.29	8.99	10.66	12.84	14.96	17.02	19.01	20.94	23.26	25.46	27.55	28.55	30.45	32.39
2500	4.43	5.93	7.42	9.17	10.88	13.12	15.28	17.38	19.41	21.37	23.71	25.92	28.00	28.99	30.87	32.76
2600	4.45	6.00	7.53	9.32	11.08	13.37	15.58	17.72	19.78	21.76	24.11	26.32	28.39	29.37	31.21	33.04
2700	4.47	6.06	7.63	9.47	11.27	13.60	15.85	18.02	20.11	22.10	24.46	26.66	28.71	29.67	31.45	33.21
2800	4.47	6.11	7.71	9.59	11.43	13.81	16.10	18.29	20.40	22.40	24.76	26.94	28.95	29.88	31.60	33.27
2900	4.47	6.14	7.78	9.70	11.57	13.99	16.31	18.53	20.65	22.65	25.00	27.16	29.12	30.02	31.66	33.21
3000	4.45	6.16	7.83	9.79	11.70	14.15	16.50	18.74	20.86	22.86	25.19	27.30	29.20	30.07	31.62	33.04
3100	4.42	6.17	7.87	9.87	11.80	14.29	16.66	18.91	21.03	23.02	25.32	27.38	29.21	30.03	31.48	32.76
3200	4.38	6.16	7.90	9.92	11.89	14.40	16.78	19.04	21.16	23.13	25.39	27.39	29.14	29.91	31.23	32.35
3300	4.33	6.14	7.91	9.96	11.95	14.48	16.88	19.14	21.24	23.19	25.40	27.33	28.98	29.69	30.88	31.81
3400	4.27	6.11	7.90	9.98	11.99	14.54	16.95	19.20	21.28	23.20	25.34	27.19	28.73	29.37	30.41	31.15
3500	4.19	6.06	7.88	9.98	12.01	14.57	16.98	19.22	21.28	23.16	25.23	26.98	28.39	28.96	29.83	30.35
3600	4.10	6.00	7.84	9.96	12.00	14.58	16.98	19.20	21.23	23.06	25.05	26.69	27.96	28.45	29.14	29.41
3700	4.00	5.92	7.78	9.93	11.98	14.55	16.95	19.14	21.13	22.90	24.80	26.31	27.43	27.84	28.32	28.34
3800	3.89	5.83	7.71	9.87	11.93	14.50	16.88	19.04	20.99	22.69	24.48	25.86	26.81	27.12	27.39	—
3900	3.76	5.73	7.62	9.79	11.85	14.42	16.78	18.90	20.79	22.42	24.09	25.32	26.09	26.30	26.32	—
4000	3.63	5.60	7.51	9.69	11.75	14.31	16.64	18.72	20.54	22.09	23.63	24.70	25.27	25.36	—	—
4200	3.31	5.32	7.24	9.43	11.48	14.00	16.25	18.22	19.89	21.25	22.49	23.19	23.31	—	—	—
4400	2.93	4.96	6.89	9.07	11.10	13.55	15.70	17.53	19.02	20.16	21.04	21.31	—	—	—	—
4600	2.50	4.54	6.47	8.63	10.62	12.98	15.00	16.66	17.93	18.80	19.28	—	—	—	—	—
4800	2.01	4.05	5.97	8.09	10.02	12.27	14.13	15.59	16.60	17.16	17.17	—	—	—	—	—
5000	1.46	3.49	5.38	7.45	9.31	11.42	13.10	14.31	15.03	15.23	—	—	—	—	—	—

Fuente: Poleas para banda V de Martin (Martin V belt sheaves). [http://www.martinsprocket.com/poleas-para-banda-v-de-martin-\(martin-v-belt-sheaves\).pdf](http://www.martinsprocket.com/poleas-para-banda-v-de-martin-(martin-v-belt-sheaves).pdf). Consulta: 10 de enero de 2017.

## Anexo 8. Factor de corrección de potencia de bandas 5V



Diámetro Exterior de la Polea (en pulgadas)								"Añada" HP por Relación de Velocidad									RPM del Eje Más Rápido
10.90	11.30	11.80	12.50	13.20	14.00	15.00	16.00	1.02-1.05	1.06-1.11	1.12-1.18	1.19-1.26	1.27-1.38	1.39-1.57	1.58-1.94	1.95-3.38	3.39-8 Up	
9.64	10.11	10.71	11.54	12.37	13.31	14.47	15.62	0.04	0.11	0.20	0.27	0.33	0.38	0.43	0.47	0.50	435
10.61	11.14	11.80	12.71	13.62	14.65	15.93	17.19	0.05	0.13	0.22	0.30	0.37	0.43	0.48	0.53	0.56	485
12.33	12.94	13.70	14.76	15.82	17.01	18.48	19.94	0.06	0.15	0.26	0.36	0.43	0.51	0.57	0.62	0.66	575
12.51	13.14	13.91	14.99	16.06	17.27	18.76	20.24	0.06	0.15	0.27	0.36	0.44	0.52	0.58	0.63	0.67	585
14.44	15.16	16.05	17.29	18.51	19.90	21.61	23.29	0.07	0.18	0.32	0.43	0.52	0.61	0.69	0.75	0.79	690
15.07	15.82	16.75	18.04	19.31	20.75	22.52	24.27	0.07	0.19	0.33	0.45	0.55	0.64	0.72	0.79	0.83	725
17.59	18.46	19.53	21.02	22.49	24.14	26.16	28.14	0.08	0.23	0.40	0.54	0.66	0.77	0.87	0.94	1.00	870
18.92	19.85	21.00	22.59	24.15	25.90	28.04	30.13	0.09	0.25	0.43	0.59	0.72	0.84	0.94	1.03	1.09	950
22.22	23.29	24.61	26.43	28.20	30.17	32.55	34.83	0.11	0.30	0.53	0.72	0.88	1.02	1.15	1.26	1.33	1160
25.93	27.14	28.62	30.63	32.57	34.70	37.20	39.54	0.14	0.37	0.65	0.89	1.08	1.26	1.42	1.54	1.64	1425
29.72	31.03	32.60	34.70	36.67	38.75	41.09	43.13	0.17	0.46	0.80	1.09	1.32	1.55	1.74	1.90	2.01	1750
34.70	35.48	36.23	36.87	36.98	—	—	—	0.27	0.75	1.30	1.77	2.15	2.52	2.83	3.09	3.27	2850
30.91	—	—	—	—	—	—	—	0.33	0.91	1.58	2.15	2.60	3.05	3.43	3.74	3.96	3450
2.55	2.67	2.83	3.04	3.26	3.50	3.80	4.11	0.01	0.03	0.05	0.06	0.08	0.09	0.10	0.11	0.11	100
4.79	5.03	5.32	5.73	6.14	6.60	7.18	7.75	0.02	0.05	0.09	0.12	0.15	0.18	0.20	0.22	0.23	200
6.91	7.25	7.68	8.27	8.86	9.54	10.37	11.20	0.03	0.08	0.14	0.19	0.23	0.27	0.30	0.33	0.34	300
8.94	9.39	9.94	10.71	11.48	12.35	13.43	14.50	0.04	0.10	0.18	0.25	0.30	0.35	0.40	0.43	0.46	400
10.90	11.44	12.12	13.06	13.99	15.05	16.36	17.66	0.05	0.13	0.23	0.31	0.38	0.44	0.50	0.54	0.57	500
12.79	13.43	14.22	15.32	16.41	17.65	19.17	20.68	0.06	0.16	0.27	0.37	0.45	0.53	0.60	0.65	0.69	600
14.62	15.35	16.25	17.50	18.74	20.14	21.87	23.57	0.07	0.18	0.32	0.44	0.53	0.62	0.70	0.76	0.80	700
16.39	17.20	18.21	19.60	20.98	22.53	24.44	26.31	0.08	0.21	0.37	0.50	0.60	0.71	0.80	0.87	0.92	800
18.09	18.98	20.09	21.61	23.12	24.81	26.88	28.89	0.09	0.24	0.41	0.56	0.68	0.80	0.90	0.98	1.03	900
19.73	20.70	21.89	23.54	25.16	26.97	29.18	31.32	0.10	0.26	0.46	0.62	0.75	0.88	0.99	1.08	1.15	1000
21.31	22.34	23.62	25.37	27.09	29.01	31.33	33.57	0.11	0.29	0.50	0.68	0.83	0.97	1.09	1.19	1.26	1100
22.81	23.91	25.26	27.11	28.91	30.92	33.33	35.63	0.12	0.31	0.55	0.75	0.91	1.06	1.19	1.30	1.38	1200
24.24	25.40	26.81	28.74	30.62	32.69	35.16	37.50	0.13	0.34	0.59	0.81	0.98	1.15	1.29	1.41	1.49	1300
25.60	26.80	28.27	30.27	32.20	34.31	36.82	39.16	0.13	0.37	0.64	0.87	1.06	1.24	1.39	1.52	1.61	1400
26.88	28.12	29.64	31.69	33.65	35.79	38.29	40.59	0.14	0.39	0.69	0.93	1.13	1.33	1.49	1.63	1.72	1500
28.08	29.36	30.90	32.98	34.96	37.10	39.57	41.80	0.15	0.42	0.73	1.00	1.21	1.41	1.59	1.73	1.84	1600
29.20	30.49	32.06	34.16	36.14	38.24	40.64	42.75	0.16	0.45	0.78	1.06	1.28	1.50	1.69	1.84	1.95	1700
30.23	31.53	33.11	35.20	37.16	39.21	41.49	43.45	0.17	0.47	0.82	1.12	1.36	1.59	1.79	1.95	2.07	1800
31.16	32.47	34.05	36.11	38.02	39.99	42.12	43.87	0.18	0.50	0.87	1.18	1.43	1.68	1.89	2.06	2.18	1900
32.00	33.31	34.86	36.88	38.72	40.58	42.52	44.01	0.19	0.52	0.91	1.24	1.51	1.77	1.99	2.17	2.30	2000
32.74	34.03	35.55	37.51	39.25	40.96	42.66	43.85	0.20	0.55	0.96	1.31	1.59	1.86	2.09	2.28	2.41	2100
33.37	34.64	36.11	37.98	39.60	41.13	42.54	43.37	0.21	0.58	1.01	1.37	1.66	1.94	2.19	2.38	2.53	2200
33.90	35.13	36.54	38.29	39.76	41.08	42.16	42.57	0.22	0.60	1.05	1.43	1.74	2.03	2.29	2.49	2.64	2300
34.32	35.49	36.82	38.43	39.73	40.80	41.49	41.43	0.23	0.63	1.10	1.49	1.81	2.12	2.39	2.60	2.76	2400
34.62	35.73	36.96	38.41	39.49	40.28	40.53	—	0.24	0.66	1.14	1.56	1.89	2.21	2.49	2.71	2.87	2500
34.80	35.83	36.95	38.20	39.05	39.51	—	—	0.25	0.68	1.19	1.62	1.96	2.30	2.59	2.82	2.99	2600
34.86	35.80	36.79	37.81	38.39	38.48	—	—	0.26	0.71	1.23	1.68	2.04	2.39	2.69	2.93	3.10	2700
34.79	35.62	36.46	37.23	37.51	—	—	—	0.27	0.73	1.28	1.74	2.11	2.47	2.79	3.03	3.22	2800
34.58	35.30	35.97	36.45	36.40	—	—	—	0.28	0.79	1.33	1.80	2.19	2.56	2.88	3.14	3.33	2900
34.24	34.82	35.30	35.47	—	—	—	—	0.29	0.79	1.37	1.87	2.26	2.65	2.98	3.25	3.45	3000
33.76	34.19	34.46	—	—	—	—	—	0.30	0.81	1.42	1.93	2.34	2.74	3.08	3.36	3.56	3100
33.14	33.40	33.43	—	—	—	—	—	0.31	0.84	1.46	1.99	2.42	2.83	3.18	3.47	3.68	3200
32.36	32.45	—	—	—	—	—	—	0.32	0.87	1.51	2.05	2.49	2.92	3.28	3.58	3.79	3300
31.44	31.32	—	—	—	—	—	—	0.33	0.89	1.55	2.12	2.57	3.00	3.38	3.69	3.91	3400
30.35	—	—	—	—	—	—	—	0.34	0.92	1.60	2.18	2.64	3.09	3.48	3.79	4.02	3500
—	—	—	—	—	—	—	—	0.35	0.94	1.64	2.24	2.72	3.18	3.58	3.90	4.13	3600
—	—	—	—	—	—	—	—	0.36	0.97	1.69	2.30	2.79	3.27	3.68	4.01	4.25	3700
—	—	—	—	—	—	—	—	0.37	1.00	1.74	2.36	2.87	3.36	3.78	4.12	4.36	3800
—	—	—	—	—	—	—	—	0.38	1.02	1.78	2.43	2.94	3.45	3.88	4.23	4.48	3900
—	—	—	—	—	—	—	—	0.39	1.05	1.83	2.49	3.02	3.53	3.98	4.34	4.59	4000
—	—	—	—	—	—	—	—	0.40	1.10	1.92	2.61	3.17	3.71	4.18	4.55	4.82	4200
—	—	—	—	—	—	—	—	0.42	1.15	2.01	2.74	3.32	3.89	4.38	4.77	5.05	4400
—	—	—	—	—	—	—	—	0.44	1.21	2.10	2.86	3.47	4.06	4.58	4.99	5.28	4600
—	—	—	—	—	—	—	—	0.46	1.26	2.19	2.99	3.62	4.24	4.77	5.20	5.51	4800
—	—	—	—	—	—	—	—	0.48	1.31	2.28	3.11	3.77	4.42	4.97	5.42	5.74	5000

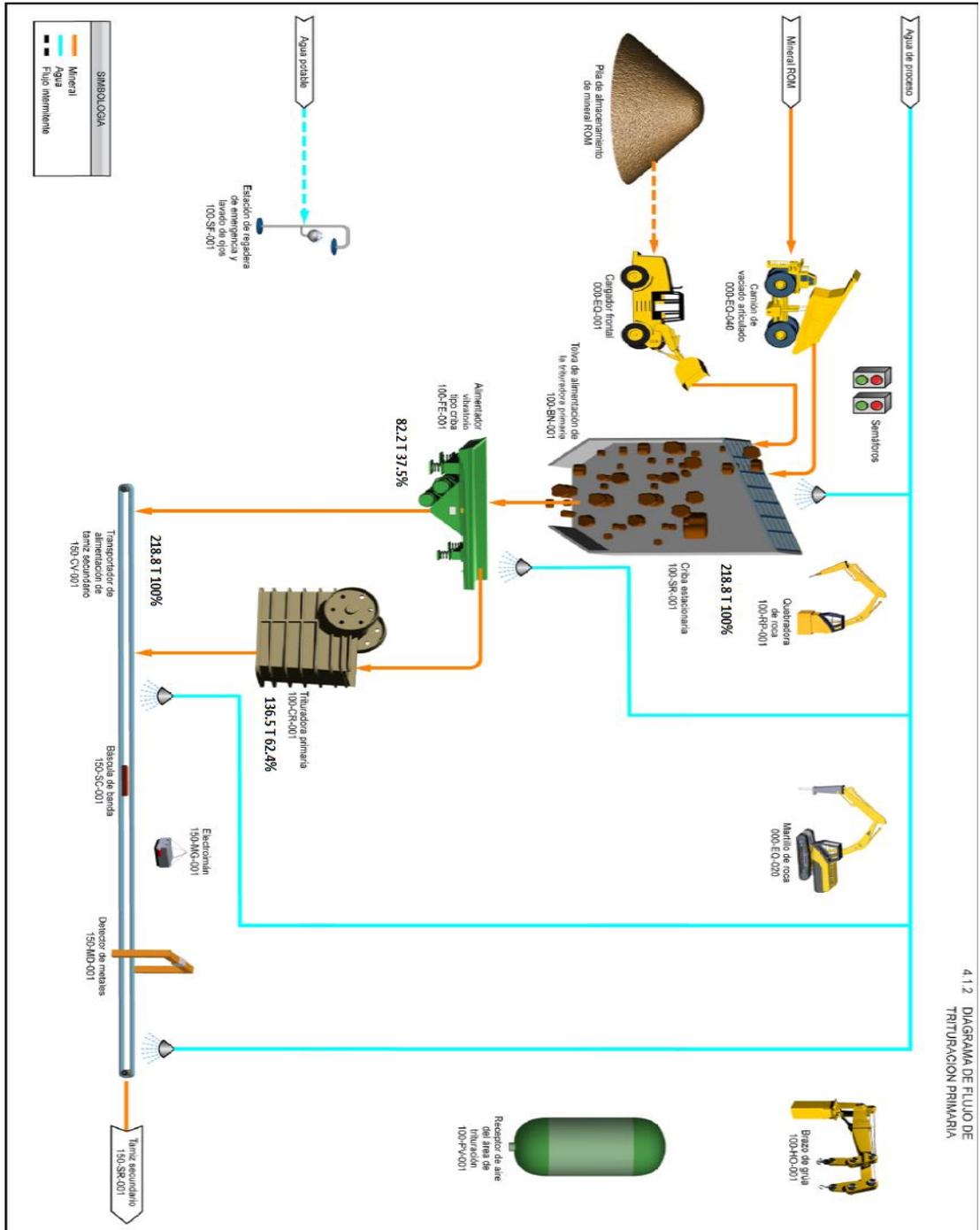
Fuente: Poleas para banda V de Martin (Martin V belt sheaves). [http://www.martinsprocket.com/poleas-para-banda-v-de-martin-\(martin-v-belt-sheaves\).pdf](http://www.martinsprocket.com/poleas-para-banda-v-de-martin-(martin-v-belt-sheaves).pdf). Consulta: 10 de enero de 2017.

Anexo 9. **Flash report**

		<b>MINERA SAN RAFAEL, S. A</b>						
GERENCIA PLANTA PROCESOS								
FLASH REPORT						DATE	08-ago-16	
SAFETY								
INCIDENTS REPORTED								
CRUSHING OPERATION								
					Tonns	Day Shift	Night Shift	TOTAL
					WMT	3954.00	4388.00	8342.00
TIME (Hrs)	Day Shift	Night Shift	TOTAL		WMPH			
Primary 1 Crus	8.00	8.85	16.85					
Secondary Crus	8.47	10.03	18.50					
Tertiary 1 Crus	11.28	11.25	22.53		Bins 1 Level %	79.21	85.40	
Tertiary 2 Crus	12.00	11.72	23.72		Bins 2 Level %	79.21	80.69	
					Auxiliary stockpile (WMT)			

Fuente: Minera San Rafael, S.A. Fecha: 8 de agosto de 2016

## Anexo 10. Proceso de trituración primaria



Fuente: Minera San Rafael S.A. Proyecto Escobal. *Manual de operación de trituración*. p. 45.

