



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

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA MOTORES  
UTILIZADOS EN PLANTA DE PASTA EN MINERA SAN RAFAEL, S. A.**

**Randy Donis Téllez**

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, febrero de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA MOTORES  
UTILIZADOS EN PLANTA DE PASTA EN MINERA SAN RAFAEL, S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**RANDY DONIS TÉLLEZ**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Julio César Campos Paiz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vázquez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA MOTORES UTILIZADOS EN PLANTA DE PASTA EN MINERA SAN RAFAEL, S. A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 19 de marzo de 2014.

**Randy Donis Téllez**



Guatemala, 13 de enero de 2015  
REF.EPS.DOC.16.01.15.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Rodríguez Serrano.

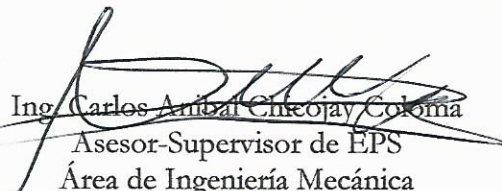
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Randy Donis Téllez** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 200815390, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA MOTORES UTILIZADOS EN PLANTA DE PASTA EN MINERA SAN RAFAEL, S.A.**

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

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

c.c. Archivo  
CACC/ra





Guatemala, 13 de enero de 2015  
REF.EPS.D.11.01.15

Ing. Julio César Campos Paiz  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA MOTORES UTILIZADOS EN PLANTA DE PASTA EN MINERA SAN RAFAEL, S.A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Randy Donis Téllez** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano  
Director Unidad de EPS



SJRS/ra

Ref.E.I.Mecanica.035.2015

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 Supervisor, con la aprobación del Director del Departamento de EPS, del trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA MOTORES UTILIZADOS EN PLANTA DE PASTA EN MINERA SAN RAFAEL, S.A.** Del estudiante **Randy Donis Téllez**, procede a la autorización del mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
MA. Ing. Julio César Campos Paiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, enero de 2015.





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: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA MOTORES UTILIZADOS EN PLANTA DE PASTA EN MINERA SAN RAFAEL, S. A.**, presentado por el estudiante universitario: **Randy Donis Téllez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 19 de febrero de 2015

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme la salud y sabiduría para poder lograr mis objetivos.
<b>Mis padres</b>	Randolfo Armín Donis y Rebeca Téllez de Donis, por brindarme su apoyo incondicional.
<b>Mis hermanos</b>	Por su ejemplo de vida me ha ayudado a seguir adelante.
<b>Mis amigos</b>	Por compartir conmigo y ser parte importante de esta etapa de mi vida

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por darme la oportunidad de crecer profesionalmente y aprender cosas nuevas.
<b>Minera San Rafael, S. A.</b>	Por abrirme las puertas y brindarme su apoyo al realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado.
<b>Ing. Carlos Aníbal Chicojay</b>	Por guiarme y asesorarme en la recta final de mi carrera.
<b>Ing. Xavier Castillo Rosel</b>	Por haberme admitido dentro de la empresa y por tomar en cuenta mi participación durante mis prácticas.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN .....	XV
1. FASE DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1. Generalidades de la empresa.....	1
1.1.1. Ubicación .....	1
1.1.2. Historia .....	2
1.1.3. Misión .....	3
1.1.4. Visión.....	3
1.2. Actividad principal.....	3
1.2.1. Descripción del proceso general.....	4
1.2.2. Descripción del proceso de planta de pasta .....	7
1.3. Conceptos generales.....	11
1.3.1. Sistema de gestión de mantenimiento.....	11
1.3.2. Definición de mantenimiento.....	11
1.3.3. Tipos de mantenimiento .....	12
1.3.3.1. Mantenimiento correctivo.....	12
1.3.3.2. Mantenimiento preventivo.....	13
1.3.3.3. Mantenimiento predictivo .....	14
1.3.3.4. Mantenimiento proactivo.....	15
1.3.3.5. Mantenimiento circunstancial.....	16

1.3.4.	Gestión de mantenimiento.....	16
1.4.	Ahorro de energía .....	17
1.4.1.	Ahorro energético en motores eléctricos.....	17
1.4.1.1.	Eficiencia.....	17
2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL.....	21
2.1.	Diagnóstico general de la planta de pasta .....	21
2.2.	Análisis de condiciones actuales.....	21
2.2.1.	Condiciones del ambiente de trabajo .....	22
2.2.2.	Instalaciones .....	23
2.2.3.	Taller de mantenimiento.....	24
2.2.4.	Análisis del personal .....	27
2.2.5.	Proceso de mantenimiento actual .....	30
2.3.	Planeación estratégica.....	31
2.4.	Análisis del mantenimiento general mediante el método Causa y Efecto.....	32
2.4.1.	Mano de obra .....	32
2.4.2.	Repuestos .....	32
2.4.3.	Maquinaria.....	33
2.4.4.	Supervisión y ejecución.....	33
2.4.5.	Métodos.....	34
2.1.	Diseño del plan de mantenimiento .....	35
2.1.1.	Recursos técnicos.....	36
2.1.1.1.	Manual del fabricante .....	36
2.1.1.2.	Recomendaciones de máquinas o equipos similares.....	37
2.1.1.3.	Experiencia propia.....	37
2.1.1.4.	Consultas a empresas contratistas o expertos.....	38

2.2.	Identificación de equipos .....	38
2.2.1.	Codificación .....	38
2.2.2.	Clasificación de equipos según su criticidad .....	41
2.2.3.	Fichas técnicas .....	43
2.3.	Monitoreo de condición.....	45
2.4.	Tareas de mantenimiento .....	46
2.5.	Inspecciones.....	47
2.6.	Rutinas de mantenimiento .....	48
2.6.1.	Órdenes de trabajo .....	49
2.6.2.	Informe de trabajos realizados.....	50
2.6.3.	Lubricación .....	51
	2.6.3.1. Frecuencia de lubricación .....	53
	2.6.3.2. Registro de lubricación .....	55
2.7.	Historial de mantenimiento .....	56
2.8.	<i>Stock</i> de repuestos.....	56
2.9.	Programación de mantenimiento.....	57
3.	FASE DE DOCENCIA .....	61
3.1.	Diagnóstico de necesidades de capacitación .....	61
3.2.	Plan de capacitación .....	62
3.2.1.	Capacitaciones magistrales .....	63
3.2.2.	Capacitaciones prácticas .....	63
	CONCLUSIONES .....	65
	RECOMENDACIONES .....	67
	BIBLIOGRAFÍA.....	69





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Ubicación Proyecto el Escobal.....	2
2.	Diagrama de flujo planta de procesos.....	6
3.	Relleno de cámara subterránea.....	7
4.	Bomba de pasta de alta presión.....	8
5.	Planta de pasta.....	9
6.	Diagrama de flujo de planta de pasta.....	10
7.	Comparación de costos, según tipo de mantenimiento.....	13
8.	Mantenimiento predictivo.....	15
9.	Etapas de la gestión de mantenimiento.....	16
10.	Motor bomba de sumidero.....	23
11.	Motor del agitador de tanque de lodos.....	24
12.	Taller de mantenimiento.....	25
13.	Contenedor con instrumentos y herramientas.....	25
14.	Cajón con solventes herramienta y algunos repuestos.....	26
15.	lubricantes.....	27
16.	Organigrama planta de pasta.....	28
17.	Diagrama Causa y Efecto.....	35
18.	Codificación de equipos.....	39
19.	Inspección de medición de temperatura.....	47
20.	Rutinas de mantenimiento.....	48
21.	Formato de informe de trabajo.....	51
22.	Formato historial de mantenimiento.....	56
23.	Capacitaciones prácticas.....	63

## TABLAS

I.	Principales minerales contenidos.....	5
II.	Mineral que alimenta la planta de procesos.....	5
III.	Codificación de equipos planta de pasta .....	40
IV.	Significado de abreviaturas de codificación .....	40
V.	Evaluación de criticidad de equipos.....	42
VI.	Criticidad de los equipos .....	43
VII.	Formato de ficha técnica (anverso).....	44
VIII.	Clasificación de condiciones de un equipo .....	46
IX.	Formato orden de trabajo .....	50
X.	Beneficios de una lubricación adecuada.....	52
XI.	Equivalencia de grasas y aceites.....	53
XII.	Frecuencia de lubricación .....	54
XIII.	Formato de registro de lubricación.....	55
XIV.	Tabla de repuestos y material.....	57
XV.	Plan de capacitación del personal de la planta .....	62

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>HP</b>	Caballos de potencia
<b>g/t</b>	Gramos por tonelada
<b>KW</b>	Kilowatts



## GLOSARIO

<b>Colas de flotación</b>	Desechos tóxicos subproductos de procesos mineros y concentración de minerales, usualmente una mezcla de tierra, minerales, agua y rocas.
<b>Confiabilidad</b>	Representa la probabilidad de que un equipo no falle durante un tiempo determinado en condiciones de operaciones establecidas. Esta también es conocida como la probabilidad de supervivencia.
<b>Disponibilidad</b>	Expresa la probabilidad de que un equipo sea operable durante un periodo de tiempo dado.
<b>EPP</b>	Equipo de protección personal.
<b>Factor de disponibilidad</b>	Representa la fracción de tiempo que el equipo está disponible en el periodo calendario, descontando los paros programados de mantenimiento.
<b>Factor de servicio</b>	Representa la fracción de tiempo que el equipo presta servicio confiable sobre el total de horas que el equipo es requerido.
<b>Horómetro</b>	Instrumento capaz de registrar las horas de trabajo realizadas por una máquina o equipo.

<b>Mantenibilidad</b>	Es la probabilidad de que un equipo pueda ser puesto o reparado a su condición operativa en un periodo de tiempo dado, cuando el mantenimiento es ejecutado de acuerdo con procedimientos preestablecidos.
<b>Minería</b>	Es la obtención selectiva de los minerales y otros materiales de la corteza terrestre. También se denomina así a la actividad económica primaria relacionada con la extracción de elementos de los cuales se puede obtener un beneficio económico.
<b>Motor eléctrico</b>	Dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Son máquinas eléctricas rotatorias compuestas por un estator y un rotor.
<b>MP</b>	Mantenimiento preventivo.
<b>Pasta</b>	Mezcla de cemento, agua y escoria metalúrgica molida, utilizada para relleno subterráneo.
<b>OT</b>	Órdenes de trabajo.
<b>Rezaga</b>	Actividad de extraer el material por medio de maquinaria pesada al exterior de la mina.



## RESUMEN

Para la realización del Ejercicio Profesional Supervisado fue necesario el reconocimiento de los equipos de la planta de pasta, para ello se hizo un listado de todos los motores utilizados en el proceso, identificándolos y determinando cuáles son los más críticos y cuáles se les dará mayor prioridad. Para ello es necesario buscar información sobre los equipos, manuales, especificaciones, utilidad y horas de trabajo por turno.

A continuación se describe qué tipos de mantenimiento requiere cada equipo en específico, analizando con los operadores de turno, los proveedores de repuestos, los tipos de tareas de mantenimiento y la frecuencia con la que se deben de hacer, tomando en consideración la carga con que son sometidos los equipos.

En la parte final del EPS se realizará un registro de averías de los equipos para conocer el tipo de fallas frecuentes, las reparaciones hechas, las tareas de mantenimiento necesarias para tener un historial, el cual se interpretará para tomar medidas de tipo preventivas o correctivas.



# OBJETIVOS

## General

Elaborar un programa de mantenimiento preventivo para los motores de la planta de pasta con el propósito de garantizar un óptimo funcionamiento en operación.

## Específicos

1. Identificar los equipos a los cuales se les debe dar prioridad en el mantenimiento.
2. Realizar fichas técnicas con la información más importante de los equipos.
3. Establecer tareas de mantenimiento con ayuda de la información suministrada por los manuales.
4. Establecer rutinas de inspección en equipos críticos e importantes.
5. Implementar un registro de mantenimiento con el fin de crear una hoja de vida de cada equipo.



## INTRODUCCIÓN

Tahoe Resources Inc. es una empresa que cotiza en bolsa (TXS: THO / NYSE:TAHO), dirigido por profesionales mineros experimentados que se dedican a la producción responsable de los metales preciosos en las américas. Por el afán de construir y operar una mina de plata de nivel mundial, se dedican a la maximización del valor para los accionistas durante el trabajo con los más altos estándares de protección del medio ambiente y compromiso con la comunidad.

La Minera San Rafael, S. A., surge en Guatemala como Proyecto Escobal, el cual tiene como vital necesidad mantener el equipo de las plantas en óptimas condiciones para una máxima producción, las máquinas actualmente no cuentan con un seguimiento riguroso de mantenimiento, situación que ha ocasionado paros por fallas imprevistas.

La gestión de mantenimiento a los motores de la planta de pasta busca mejorar y optimizar el funcionamiento de los equipos, logrando así aumentar la vida útil de los mismos, teniendo en consideración las condiciones de trabajo, asegurando así la continuidad de la planta, reduciendo costos de mantenimiento a la empresa.





# **1. FASE DE INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Generalidades de la empresa**

A continuación se presentan algunos datos generales de la empresa para conocer cuáles son sus objetivos y la actividad principal a la que se dedica.

### **1.1.1. Ubicación**

El Proyecto Escobal se ubica a 2,5 kilómetros al este de la cabecera municipal de San Rafael Las Flores, que se encuentra a 96,5 kilómetros carretera que conduce a Mataquescuintla, Jalapa. Se localiza entre el norte de Casillas, al este de Mataquescuintla municipio del departamento de Jalapa, al oeste de San Carlos Alzatate municipio del departamento de Jalapa y al sur de Mataquescuintla de Jalapa.

Figura 1. **Ubicación Proyecto el Escobal**



Fuente: [http://www.tahoeresourcesinc.com/wp-content/uploads/2011/07/Escobal\\_Project\\_SiteMap1.pdf](http://www.tahoeresourcesinc.com/wp-content/uploads/2011/07/Escobal_Project_SiteMap1.pdf) Consulta: agosto de 2014.

### **1.1.2. Historia**

Minera San Rafael, S. A., subsidiaria de la empresa canadiense Tahoe Resources, se dedica a la exploración y producción minera en Guatemala.

El Proyecto Escobal es un depósito de alta ley plata descubierto en 2007. En mayo de 2012, dio a conocer la evaluación económica preliminar del proyecto, completado por la ingeniería de M3 (empresa privada de servicios de diseño completo). El proyecto cuenta con estudios de impacto ambiental aprobados por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, tanto para la fase exploratoria como para la de explotación.

Minera San Rafael, a través de su equipo de exploración, integrado por un equipo de profesionales de geología, se dedica a la exploración y desarrollo de proyectos de minería en el oriente del país, enfocándose principalmente, en la búsqueda y producción de metales preciosos, oro y plata.

Actualmente, Minera San Rafael está desarrollando el "Proyecto El Escobal", el cual fue planificado para comenzar la fase de pruebas y producción de plata a mediados del 2013 (Periódico Digital Centroamericano y del Caribe, 2010).

### **1.1.3. Misión**

"La exploración y explotación de toda clase de minerales, su comercialización, compra y venta, su importación y exportación"<sup>1</sup>.

### **1.1.4. Visión**

"Construir y operar una mina de plata de clase mundial, dedicándose a la maximización de valor para los accionistas mientras se trabaja con los más altos estándares de protección del medio ambiente y compromiso con la comunidad"<sup>2</sup>.

## **1.2. Actividad principal**

A continuación se muestra un breve resumen de los procesos y actividades que se realizan dentro del Proyecto El Escobal.

---

<sup>1</sup> Minera San Rafael, S. A.

<sup>2</sup> Ibid.

### **1.2.1. Descripción del proceso general**

El Proyecto El Escobal consiste en una mina subterránea, de donde se extrae el mineral, el cual contiene plomo y zinc, con pequeñas cantidades de oro y plata que son asociados con los mismos. La operación está diseñada para procesar un promedio de aproximadamente de 1 642 500 toneladas anuales de mineral. Esto equivale a un promedio de 4 500 toneladas secas diarias.

Se utiliza un proceso de flotación para recuperar el plomo y el zinc del mineral. El plomo se recupera en forma de un concentrado de plomo de alto valor (conteniendo cantidades significativas de oro y plata). El zinc se recupera en forma de un concentrado de zinc de menor valor (conteniendo cantidades pequeñas de oro y plata). Los valores de oro y plata solo pueden ser removidos a través del procesamiento adicional del plomo y zinc.

El mineral principal en El Escobal se considera como un mineral sulfurado, porque el plomo, el zinc y gran parte de los minerales de plata, contienen azufre. Una lista de los principales minerales contenidos en la mina, su porcentaje promedio y una indicación del valor del mineral se presentan en la tabla I.

Tabla I. **Principales minerales contenidos**

Mineral	Formula Química	Porcentaje %	Valor
Acantita	Ag <sub>2</sub> S	0.05	Alto
Galena	PbS	2.3	Alto
Esfalerita	ZnS	5.6	Alto
Pirita	FeS <sub>2</sub>	17.2	Bajo
Carbonato cálcico	CaCO <sub>3</sub>	10	Bajo
Sílice	SiO <sub>2</sub>	64.8	Bajo

Fuente: *Manual de operación de la planta de pasta Performance Associates International, Inc.*  
 Minera San Rafael, S. A. Planta de procesos Proyecto El Escoba.I, p. 10.

En promedio, el mineral que alimenta a la planta tiene el siguiente contenido. (Vea tabla II)

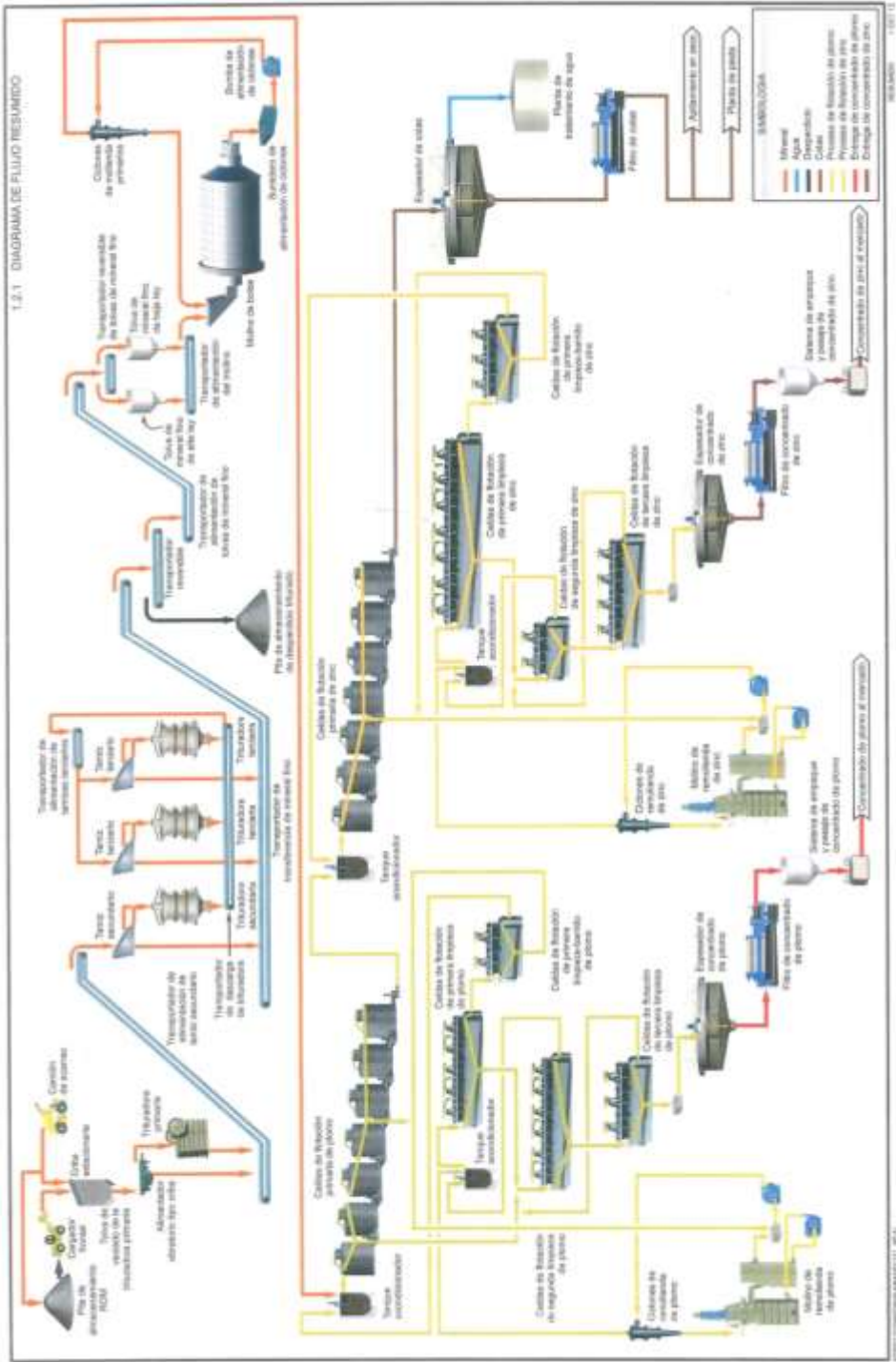
Tabla II. **Mineral que alimenta la planta de procesos**

Mineral	Formula Química	Porcentaje %
Plata	Ag	0.057 = 570 g/t
Plomo	Pb	0.98
Zinc	Zn	1.6

Fuente: *Manual de operación de la planta de pasta Performance Associates International, Inc.*  
 Minera San Rafael, S.A. Planta de proceso Proyecto El Escoba.I, p. 1-10.

La recuperación de plata del mineral se estima en un 91 por ciento. La recuperación del oro, plomo y zinc se espera sea del 91, 86 y 82 por ciento, respectivamente. Lo que no se recupera del mineral sale de la planta con el material de desperdicio. Debido a que la cantidad del mineral de la mina varía con el tiempo, la planta está diseñada para procesar leyes de alimentación de mineral de hasta un 2 por ciento de plomo, 3,7 por ciento de zinc y 8 por ciento de hierro. (Performance Associates International, 2009).

Figura 2. Diagrama de flujo planta de procesos

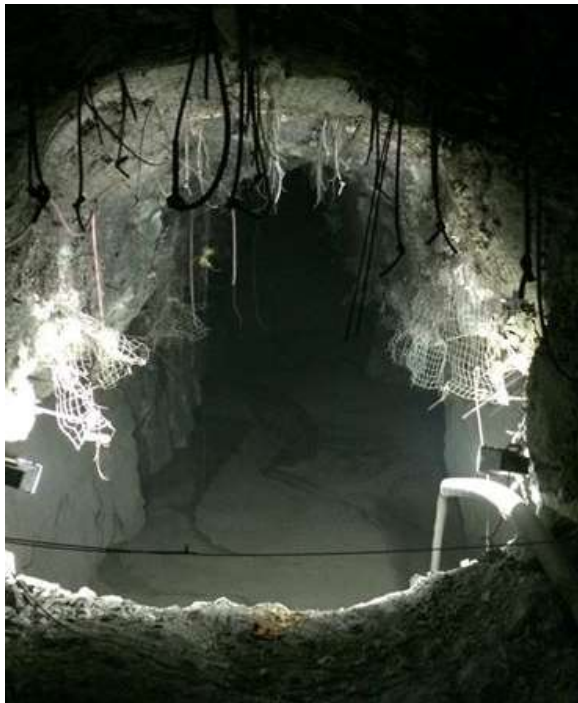


Fuente: Performance Associates International, Inc. Minera San Rafael, S. A.

### 1.2.2. Descripción del proceso de planta de pasta

El objetivo de la planta de pasta es mezclar las colas de flotación con cemento y agua en una proporción prescrita para producir una pasta con propiedades y fuerza adecuada, para utilizar como relleno subterráneo. La pasta es entregada a través de tuberías en los rebajes y otras áreas agotadas. Se da un tiempo de curado a la pasta hasta que tenga la fuerza suficiente para permitir que continúen las obras de minería en la roca matriz circundante.

Figura 3. **Relleno de cámara subterránea**



Fuente: Minera San Rafael

Las colas o material de desecho de planta de procesos es transportada por medio de tuberías, en estado líquido hacia el área 600 (planta de filtros), en

donde son espesadas por medio de tres filtros de placas, el material es descargado sobre una banda transportadora hacia la planta de pasta.

En la planta de pasta, las colas, el agua y el cemento entran en un mezclador de paletas, luego la pasta cae por rebalse hacia una tolva donde cae por gravedad hacia la bomba de pasta de alta presión (Putzmaister), esta bomba impulsa la pasta por medio de tuberías a las cámaras subterráneas que ya han sido rezagadas.

Figura 4. **Bomba de pasta de alta presión**



Fuente: Planta de pasta, Minera San Rafael

El cemento, el cual es utilizado como aglomerante, se entrega por medio de camiones a silos de almacenamiento.



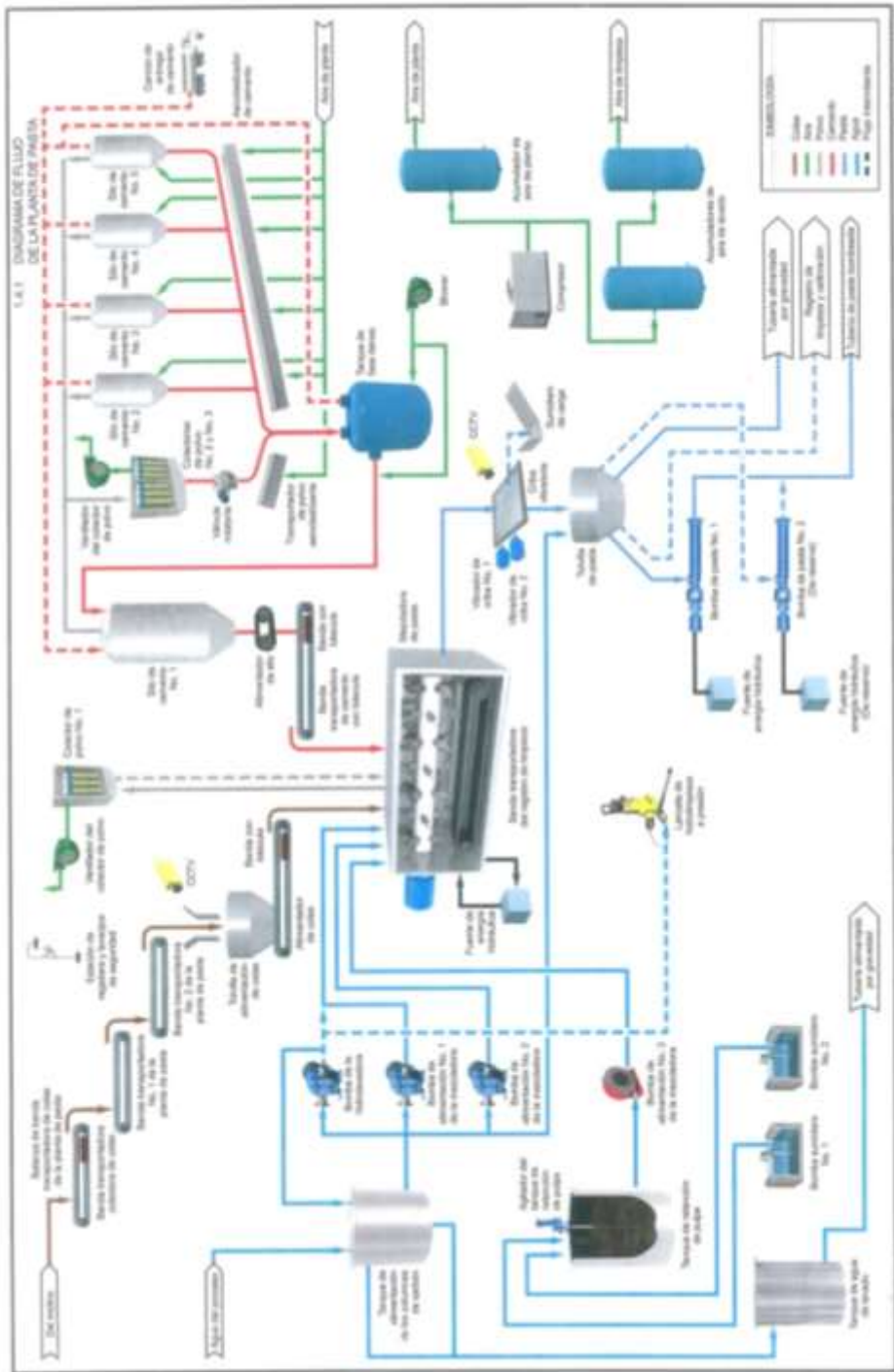
Figura 5. **Planta de pasta**



Fuente: Minera San Rafael

La planta de pasta de relleno puede operar de forma continua según se requiere, de acuerdo con el programa de minado subterráneo. Para cumplir con los requisitos de calidad y seguridad, la producción de pasta opera generalmente en modo automático utilizando un sistema de control por computadora.

Figura 6. Diagrama de flujo de planta de pasta



Fuente: Performance Associates International, Inc. Minera San Rafael, S.A.

### **1.3. Conceptos generales**

Son de suma importancia para tener conocimiento sobre los tipos de mantenimiento, y así poder seleccionar el más adecuado dependiendo de las necesidades que se requiera en la empresa.

#### **1.3.1. Sistema de gestión de mantenimiento**

Consiste en coordinar, dirigir y organizar los recursos materiales, humanos y flujos de información destinados al correcto funcionamiento, reparación y prolongación de la vida de los equipos disponibles, para que además de lograr eficacia en las labores propias de mantenimiento se consiga una contención del gasto y la optimización de costos.

#### **1.3.2. Definición de mantenimiento**

El conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, con el fin de corregir o prevenir fallas, buscando que estos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados.

Como los equipos no pueden mantenerse en buen funcionamiento por si solos, se debe de contar con un grupo de personas que se encarguen de ello, conformando así el Departamento de Mantenimiento.

El mantenimiento debe cumplir con dos objetivos fundamentales: reducir costos de producción y garantizar la seguridad industrial.

Cuando se habla de reducir los costos de producción se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Optimizar la disponibilidad de equipos e instalación para la producción.
- Busca reducir los costos de las paradas de producción ocasionadas por deficiencia en el mantenimiento de los equipos, mediante la aplicación de una determinada cantidad de mantenimiento en los momentos más apropiados.
- Incrementar la vida útil de los equipos.

Uno de los objetivos evidentes del mantenimiento es el de procurar la utilización de los equipos durante toda su vida útil. La reducción de los factores de desgastes, deterioros y roturas garantiza que los equipos alcancen una mayor vida útil.

### **1.3.3. Tipos de mantenimiento**

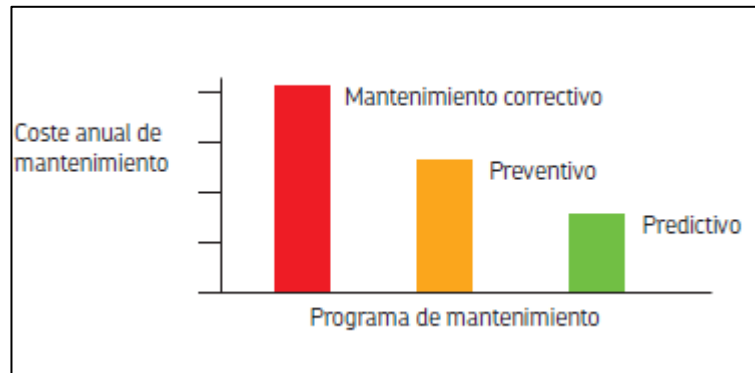
Para decidir qué tipo de mantenimiento es el adecuado hay que tener en cuenta las ventajas y desventajas que cada uno de ellos proporcionan, como a continuación se muestra.

#### **1.3.3.1. Mantenimiento correctivo**

Comprende las actividades de todo tipo encaminadas a tratar de eliminar la necesidad de mantenimiento corrigiendo las fallas de una manera integral a mediano plazo, las acciones más comunes que se realizan son: modificación de elementos de máquinas, modificación de alternativas de procesos, cambios de especificaciones, ampliaciones, revisión de elementos básicos del mantenimiento y conservación.

Con el mantenimiento correctivo no se evitan los costosos daños secundarios producidos cuando falla la máquina, y ello sin considerar los altos costos derivados de mantenimientos y paradas no planificadas.

Figura 7. **Comparación de costos, según tipo de mantenimiento**



Fuente: Instalación cojinetes SKF. [www.skf.com](http://www.skf.com). Consulta: agosto de 2014.

### 1.3.3.2. **Mantenimiento preventivo**

Son el conjunto de actividades y técnica destinadas a conservar un sistema productivo con el fin de que este logre cumplir con la función para la cual fue creado de una manera eficiente y eficaz. Para esto se deben realizar estudios de fallas para ver con qué regularidad se pueden presentar las mismas.

El mantenimiento preventivo es el que utiliza todos los medios disponibles, incluso los estadísticos para determinar la frecuencia de las inspecciones, revisiones, sustitución de piezas claves, vida útil y otras. Su objetivo es adelantarse a la aparición o predecir la presencia de las fallas.

#### Ventajas

- Permite prolongar la vida útil de los sistemas y equipos.
- Permite la planificación eficiente y efectiva de los recursos a utilizar.

- Puede asumir la forma de sustitución sistemática de algunos componentes o de todos ellos (mantenimiento mayor).
- Reduce el tiempo de trabajo y mejora el promedio entre fallas de los equipos.

#### Desventajas

- Poca flexibilidad de modificar los ciclos de dichos trabajos en función de cambios en las exigencias operacionales de los equipos.
- Requiere mayor cantidad de materiales y repuestos.

### **1.3.3.3. Mantenimiento predictivo**

Consiste en determinar en todo instante la condición técnica (mecánica y eléctrica) real de la máquina examinada, mientras esta se encuentre en pleno funcionamiento, para ello se hace uso de un programa sistemático de mediciones de los parámetros más importantes del equipo.

Tiene como objetivo disminuir las paradas por mantenimientos preventivos, y de esta manera minimizar los costos por mantenimiento y por no producción. La implementación de este tipo de métodos requiere de inversión en equipos, en instrumentos, y en contratación de personal calificado.

#### Técnicas utilizadas para la estimación del mantenimiento predictivo

- Análisis de vibraciones.
- Ensayos no destructivos (a través de líquidos penetrantes, ultrasonido, radiografías, partículas magnéticas, entre otros).
- Termografía (detección de condiciones a través del calor desplegado)

- Medición de parámetros de operación (viscosidad, voltaje, corriente, potencia, presión, temperatura, entre otros).

Figura 8. **Mantenimiento predictivo**



Fuente: Instalación cojinetes SKF. [www.skf.com](http://www.skf.com). Consulta: agosto de 2014.

#### 1.3.3.4. **Mantenimiento proactivo**

Como su nombre lo indica, se anticipa de una forma proactiva a las posibles fallas que podrá generar un equipo o máquina, esta se destaca porque trata de eliminar la causa principal que puede generar varios problemas o efectos según transcurra el tiempo.

Un mantenimiento proactivo se basa en localizar la causa principal del problema y tomar las medidas necesarias para que no incurra en el mismo factor. Este tipo de mantenimiento se anticipa ante cualquier causa que puede repercutir en el futuro.

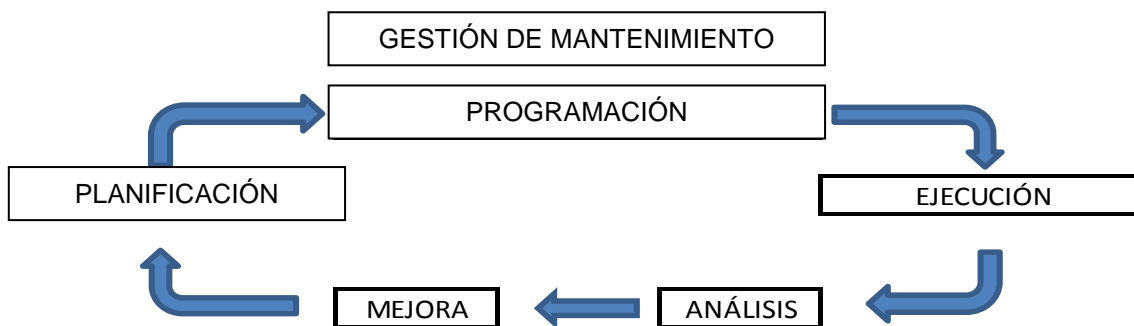
### 1.3.3.5. Mantenimiento circunstancial

Este tipo de mantenimiento se da cuando por circunstancias ajenas a la planta, se paraliza parcialmente la producción, entonces se aprovecha esa circunstancia para ejecutar mantenimiento preventivo a los equipos que lo necesiten, garantizando minimizar las fallas cuando la planta vuelva a funcionar a toda su capacidad.

### 1.3.4. Gestión de mantenimiento

Para que los trabajos de mantenimiento sean eficientes es necesaria la planificación, el control, la planeación del trabajo y la distribución correcta de las tareas. Por lo tanto, la gestión de mantenimiento se orienta a la búsqueda de metas comunes que deben ser desarrolladas y entendidas con el fin de mejorar día a día.

Figura 9. Etapas de la gestión de mantenimiento



Fuente: elaboración propia.



## **1.4. Ahorro de energía**

Ahorrar energía es tarea de todos y de todos los días. Es importante concientizar al personal. Motivando a que participe activamente, tomando en cuenta sus opiniones y sugerencias. Muchas de ellas pueden representar verdaderas oportunidades de ahorros.

### **1.4.1. Ahorro energético en motores eléctricos**

Alrededor del 70 por ciento del consumo de la energía eléctrica generada se debe al funcionamiento de los motores eléctricos. Estos suministran a la planta la energía necesaria para la operación y conservación, representa uno de los principales factores en el ahorro de energía.

El ahorro de energía comienza desde la selección apropiada de los motores. Siempre hay uno adecuado a las necesidades que se tienen, tanto en lo que respecta a su tipo, por condiciones ambientales de operación, por condiciones de arranque o regulación de velocidad, así como por su tamaño o potencia. Los mayores ahorros de energía eléctrica se obtienen cuando el motor y su carga operan a su máxima eficiencia.

#### **1.4.1.1. Eficiencia**

La eficiencia o rendimiento de un motor eléctrico es una medida de su habilidad para convertir la potencia eléctrica, en potencia mecánica útil. Se expresa usualmente en porcentaje, de la relación de la potencia mecánica entre la potencia eléctrica, esto es:

$$Eficiencia = \frac{potencia.mecanica}{potencia.electrica} * 100$$

No toda la energía eléctrica que un motor recibe, se convierte en energía mecánica. En el proceso de conversión, se presentan pérdidas, por lo que la eficiencia nunca será el 100 por ciento. Si las condiciones de operación de un motor son incorrectas o este tiene algún desperfecto, la magnitud de las pérdidas, puede superar por mucho las de diseño, dando como resultado la disminución de la eficiencia.

Para calcular la eficiencia, las unidades de las potencias deben ser iguales. Como la potencia eléctrica se expresa usualmente en KW en cuanto que la potencia mecánica en HP, las siguientes equivalencias son útiles para la conversión de unidades:

$$1HP = 0.736KW$$

$$1KW = 1.34HP$$

La reparación inadecuada de un motor puede ocasionar un incremento en las pérdidas y adicionalmente en los motores de corriente alterna, la reducción del factor de potencia. Todo esto conduce a una disminución de su eficiencia.

Es importante que, cuando un motor necesite reparación sea efectuado por personal calificado, para que la compostura sea realizada correctamente y que los materiales empleados sean de calidad igual o superior a los originales.

La misma atención se debe de prestar a las partes eléctricas del motor, como a los componentes mecánicos, tales como: los cojinetes, el eje y el

sistema de ventilación o enfriamiento. Con frecuencia los daños que sufren los devanados tienen su origen en desperfectos mecánicos.

Un motor mal reparado al ser instalado nuevamente, gastará más energía que antes. Cuando los daños sean mayores puede resultar más económico sustituir un motor que componerlo. Es necesario evaluar técnica y económicamente la posibilidad de hacerlo.



## **2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL**

### **2.1. Diagnóstico general de la planta de pasta**

El diagnóstico tiene como fin la evaluación general de la planta de pasta, sobre características actuales de operación y funcionamiento, es necesario hacer este análisis para identificar las deficiencias propias de la planta, para conocer las necesidades principales y concentrar los recursos y métodos para solucionar o mejorarlos.

Al iniciar la labor de diagnóstico se realizaron entrevistas con los operadores y técnicos de los tres diferentes turnos, con una serie de preguntas, con las cuales, se pretende conocer las principales deficiencias de los equipos, y las fallas más comunes que presentan.

Para comprender mejor la situación de la planta se ha elaborado un diagrama de Causa y Efecto, para identificar las posibles causas de los problemas. (Ver figura 18, página 34)

### **2.2. Análisis de condiciones actuales**

Es importante realizar un análisis del entorno de trabajo para conocer cuáles son las necesidades que se deben de atender principalmente.

### **2.2.1. Condiciones del ambiente de trabajo**

Es necesario conocer las condiciones del ambiente de trabajo para crear conciencia al personal sobre el uso correcto del EPP. Se deben de tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- **Ruido**

El ruido intenso es nocivo para la salud y para el sistema nervioso, por eso es importante utilizar tapones auditivos dentro de las instalaciones.

- **Limpieza**

La suciedad produce infecciones cutáneas, es importante crear conciencia en los trabajadores que deben contribuir con un correcto aseo.

- **Iluminación**

El trabajo con poca luz es malo, pero con excesiva luz es aún peor, como las soldaduras, es importante utilizar careta y equipo de protección adecuada.

- **Aire**

Debido a que se utiliza cemento durante el proceso es indispensable utilizar mascaría para evitar respirar partículas en suspensión, ya que pueden ser perjudiciales para la salud.

### 2.2.2. Instalaciones

Se hizo un recorrido por las instalaciones en donde se pudo notar que los equipos trabajan bajo condiciones extremas, como el polvo, la humedad y largos periodos de trabajo constante. (Ver figura 11).

Figura 10. **Motor bomba de sumidero**



Fuente: Planta de pasta, Minera San Rafael.

Indiscutiblemente, la humedad puede causar oxidación en las máquinas si estas no se protegen adecuadamente, en algunos motores este ha sido el problema principal.

Factor importante es que en muchas áreas los equipos están cubiertos por cemento, esto ocasiona que el funcionamiento de los equipos no sea el óptimo, lo cual se debe de tomar medidas preventivas o proactivas para este tipo de problemas. (Ver figura 12)

Figura 11. **Motor del agitador de tanque de lodos**



Fuente: Planta de pasta, Minera San Rafael.

### **2.2.3. Taller de mantenimiento**

El taller de la planta de pasta cuenta con la herramienta necesaria para realizar cualquier tipo de trabajo de mantenimiento, debido a que es indispensable realizar los trabajos en el menor tiempo posible. El taller cumple con las normas de seguridad para evitar accidentes durante la realización de los trabajos. Dentro del taller no se cuenta con un encargado de la herramienta, lo cual es un problema porque no siempre la dejan en su lugar y, también se extravían, lo cual perjudica a las personas encargadas de mantenimiento debido al tiempo que se pierde buscando las mismas.

A un costado de la planta se cuenta con un banco de trabajo el cual tiene una prensa, además un cajón que contiene equipo de protección personal (EPP), (Ver figura 13).



Figura 12. **Taller de mantenimiento**



Fuente: Planta de pasta, Minera San Rafael.

Se cuenta con un contenedor donde se encuentran las herramientas y equipos de trabajo como: pulidora, barreno, soldadura eléctrica, pistolas de impacto, llaves de cola, llaves Allen, desarmadores, extractores, vernier, escuadras, pinzas, alicates, martillos de varios tipos, metros, llaves de tubo, grasas, cadenas, polipastos, entre otros (ver figura 14).

Figura 13. **Contenedor con instrumentos y herramientas**



Fuente: Planta de pasta, Minera San Rafael.

Además, el taller cuenta con un cajón ubicado en la sala de control donde se almacenan algunos componentes mecánicos, eléctricos, solventes y algunos repuestos; sin embargo, no se lleva un control de la cantidad que se posee (ver figura 15).

Figura 14. **Cajón con solventes herramienta y algunos repuestos**



Fuente: Planta de pasta, Minera San Rafael.

De igual manera se cuenta con un espacio donde se almacenan los lubricantes, tampoco se lleva un registro de la cantidad y tipos de aceite que requieren los equipos (ver figura 16).

Figura 15. **Lubricantes**

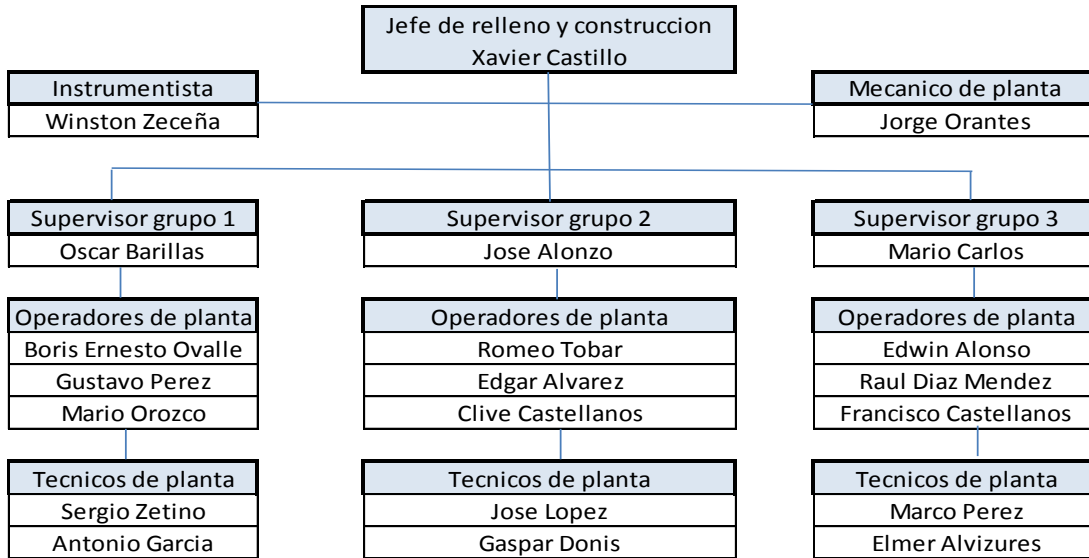


Fuente: Planta de pasta, Minera San Rafael.

#### **2.2.4. Análisis del personal**

El personal de mantenimiento por orden de jerarquía se divide en: supervisor general de la planta, supervisores de grupo, instrumentista, mecánico, operadores y técnicos. Dentro de las funciones, no existe ninguna que los comprometa a programar paros por mantenimiento o guardar registro de los trabajos que se realizan. Por lo tanto no llevan control adecuado del estado de los equipos.

Figura 16. Organigrama planta de pasta



Fuente: Recurso Humanos, Minera San Rafael.

Asimismo, no se cuenta con una persona responsable de llevar el control de los materiales, herramientas, equipos y lubricantes existentes y necesarios.

- Supervisor general de la planta

Es el encargado de coordinar a los supervisores de grupo, así como la asignación de prioridades de órdenes de trabajo que serán entregadas al supervisor de grupo, se encarga también de abastecer la herramienta, equipos y productos varios.

- Supervisor de grupo tiene a su cargo:

- Chequear tareas pendientes que sean críticas y puedan parar la producción.
- Dar una charla de seguridad todos los días al principio del turno.
- Entregar ordenes planificadas de labores.
- Distribuir al personal.
- Cubrir cualquier emergencia que pueda parar la producción.

- Instrumentista:

Vela por el buen funcionamiento de la instrumentación, como medidores de nivel, de presión, de temperatura, válvulas electroneumáticas, software, programación. Entre otras.

- Mecánico:

Es el encargado de realizar los trabajos de mantenimiento requeridos, ya sea por el jefe de planta o el supervisor de turno.

- Operador:

Se encarga de operar por medio de un sistema computarizado o PLC, los diferentes equipos de forma automática, automatizando el proceso, además su función es la inspección de los equipos antes de comenzar el turno.

- Técnicos:

Su función es servir de apoyo, ya sea al operador cuando la planta se encuentra en producción, o al mecánico cuando se tiene un paro por mantenimiento, cuentan con experiencia mecánica para poder corregir

pequeñas fallas que se dan durante el turno, se encarga también de la limpieza de los equipos.

### **2.2.5. Proceso de mantenimiento actual**

En el taller se cuenta con un mecánico de planta que se encarga de dirigir y realizar los trabajos de mantenimiento, con ayuda de los operadores de turno los cuales cuentan con experiencia necesaria para minimizar los problemas que se dan durante el turno. La mayoría de trabajos que se realizan son correctivos, es decir cuando el equipo ha fallado o está a punto de fallar, esto aumenta significativamente el costo de mantenimiento y reduce de forma drástica la vida útil del equipo.

En la planta de pasta una falla es crítica debido a que la pasta puede secarse dentro de la tubería de bombeo hacia la cámara de relleno, esto ocasiona pérdidas no solo monetarias sino días de atraso en la producción, el proceso de mantenimiento tiene que ser inmediato para solucionar el problema. Al momento de la falla se tiene una secuencia para ejecutar un mantenimiento correctivo.

Cuando la falla se presenta, se notifica al personal del área 600 (planta de filtros) indicando que se detendrá la banda transportadora de colas que alimenta la planta de pasta, luego se detiene el bombeo de pasta, el mecánico junto con el supervisor de turno realizan una revisión general para identificar el problema, se analizan las alternativas, se comparten con los operadores y el jefe de la planta, tomando en cuenta el tiempo necesario para realizar el trabajo, si el tiempo es mayor al tiempo de secado de la pasta, (aproximadamente 30 minutos) se opta por bombear agua para limpiar la tubería de descarga de la pasta hacia la cámara de relleno subterránea. Para poder reparar el equipo

como primer paso, es verificar si se cuenta con los recursos necesarios como herramienta y repuestos, también es importante identificar si se necesita de un conocimiento especializado, para notificar a otro departamento o solicitar ayuda a una empresa externa. Si el trabajo se puede realizar de forma inmediata es indispensable que la persona encargada del mantenimiento ponga un candado de bloqueo en el paro de emergencia del equipo, al terminar que este sea retirado por la misma persona, para evitar accidentes de cualquier tipo.

Se debe destacar, que en la planta de pasta se aprovecha, principalmente, para hacer mantenimientos y ajustes cuando la planta de procesos o planta de filtros han programado algún paro de producción. Para lo cual es importante preparar la herramienta y si es necesario tener los repuestos con anticipación.

Para la lubricación de los distintos equipos, los operarios de turno, engrasan las partes indicadas, así como la inspección de los niveles de aceite, para que trabaje adecuadamente, no se cuenta con una hoja de control para la lubricación, el problema es que en ocasiones el turno de noche realiza nuevamente lubricación, causando problemas de sobrecalentamiento en los cojinetes o rodamientos debido al exceso de lubricante.

### **2.3. Planeación estratégica**

La planeación estratégica es una herramienta que ayuda a orientar y encaminar los objetivos y metas, en el caso del plan de mantenimiento, es necesario involucrar al personal, para que se comprometan en la ejecución de la planeación.

## **2.4. Análisis del mantenimiento general mediante el método Causa y Efecto**

Para el análisis del mantenimiento actual, se definió como problema principal, baja disponibilidad de los equipos y los elementos principales o causas que originan este problema son:

### **2.4.1. Mano de obra**

- La capacitación requerida para ejecutar tareas de mantenimiento es deficiente en la mayor parte del personal
- No existe supervisión y esto genera desobediencia por parte de los operarios en la ejecución de las tareas de mantenimiento, como también actividades innecesarias.
- Falta de motivación en el personal, el cual se refleja en sus actitudes y el comportamiento, esto genera indiferencia hacia las actividades a realizar.
- En ocasiones el personal no asume responsabilidades, causando inconvenientes en el momento en que se distribuyen las actividades a realizar.

### **2.4.2. Repuestos**

- No se cuenta con un inventario de repuestos de los motores y equipos de la planta.
- El almacén no cuenta con personal encargado de suministrar de manera eficiente las partes y repuestos que se necesitan con urgencia.
- No se tiene un control de los repuestos existentes en la planta, lo que causa pérdida de tiempo, al buscar manualmente si se tiene o no.



### **2.4.3. Maquinaria**

- La maquinaria es sometida a grandes periodos de trabajo continuo bajo condiciones extremas, (humedad y polvo de cemento) al no contar con un plan de mantenimiento, presentan desperfectos mecánicos rápidamente.
- Existen equipos especiales, los repuestos son difíciles de conseguir y muy escasos, los pedidos deben realizarse con mucho tiempo de anticipación, para que en el momento que falle se pueda sustituir o reparar rápidamente.
- Algunos equipos no son lubricados debido a que las graseras se encuentran en espacios poco accesibles, o debido al exceso de suciedad no son visibles.
- La lubricación se hace cuando los equipos empiezan a hacer ruido a causa de la fricción, no se utiliza la grasa recomendada por el equipo ni la cantidad.

### **2.4.4. Supervisión y ejecución**

- No se lleva un control de las tareas de mantenimiento que se deben o se han realizado.
- Existe falta de autoridad de los supervisores, el personal no sigue su liderazgo, se dirigen a personas de más jerarquía que él para exponer sus problemas y recibir órdenes.
- El supervisor no siempre vela por el uso correcto de la herramienta, instalaciones, equipos, materiales, equipo de protección personal, cumplimiento de órdenes, etc.
- La ejecución del mantenimiento es lenta, debido a que no siempre es planificada, se pierde tiempo en buscar la herramienta, en conseguir los

permisos necesarios, en buscar el repuesto y en destinar a un responsable.

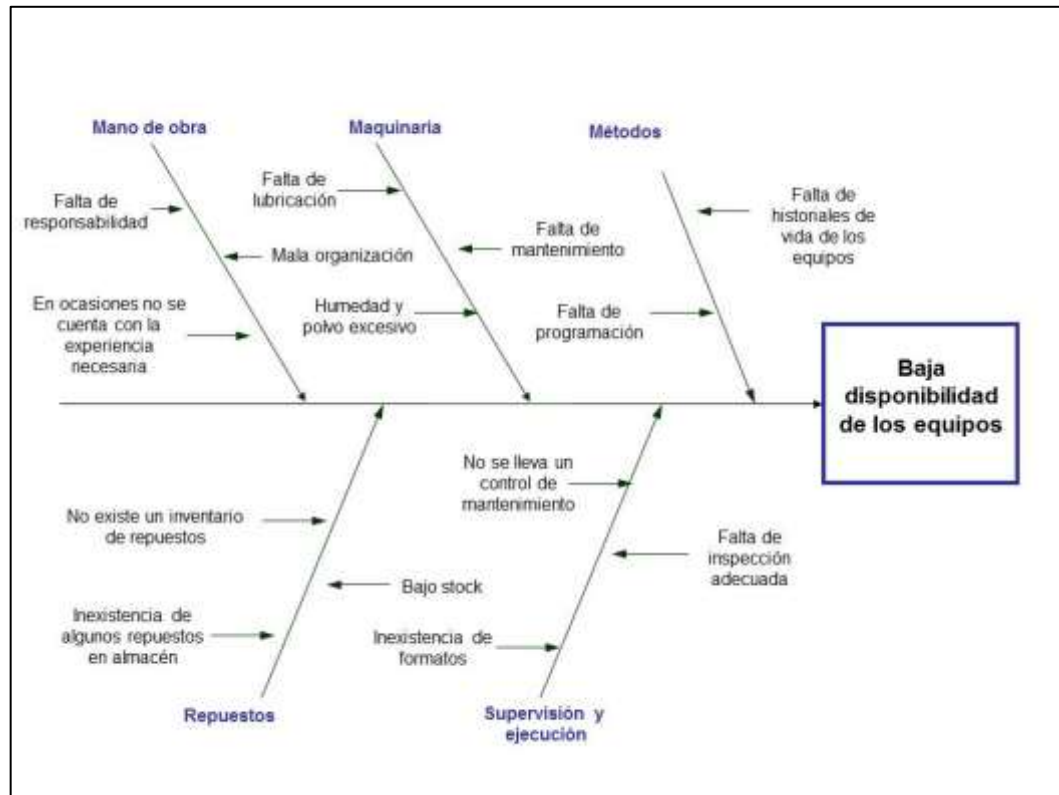
- No siempre se dispone de un vehículo con el cual se pueda movilizar el personal en caso de que se necesite algún material o herramienta de almacén o que dispongan en otra planta dentro de la empresa.

#### **2.4.5. Métodos**

- Actualmente se aplica el mantenimiento correctivo en todas las máquinas para reparar los desperfectos o averías que presentan.
- El personal no está capacitado para determinar si los equipos están trabajando correctamente, no existe buena comunicación entre los operarios y el mecánico.
- El personal desconoce las características técnicas de los equipos, ni el tipo de mantenimiento necesario del mismo.
- En algunos trabajos de mantenimiento no se utiliza la herramienta adecuada ni los métodos correspondientes.
- No se cuenta con un electricista en la planta que solucione rápidamente problemas comunes y sencillos, en cambio se pierde tiempo notificando al Departamento Eléctrico, que no siempre tienen personal en disposición para enviar a la planta.

El método de Causa y Efecto o Diagrama de Ishikawa, permite representar de forma gráfica la causa principal que provoca fallas en los equipos y motores.

Figura 17. Diagrama Causa y Efecto



Fuente: elaboración propia.

Por medio de este diagrama se conoce que la causa, raíz de las fallas, que se dan en los equipos se deben, principalmente, a que se cuenta con un plan de mantenimiento riguroso.

## 2.1. Diseño del plan de mantenimiento

Este está basado en instrucciones de los fabricantes o genéricas, según el tipo de equipo, siendo complementado por la experiencia propia, con ayuda de los técnicos de la planta y expertos contratistas. Este plan

puede elaborarse con rapidez, aunque no sea el más completo se puede ir alimentando a través del tiempo.

### **2.1.1. Recursos técnicos**

Estos son indispensables en toda empresa, para ayudar a que el programa de mantenimiento se realice de la mejor manera y cumpla con el objetivo principal, que es mantener por más tiempo la vida útil de cada equipo.

Las fuentes de donde se disponga información debe de ser lo más confiable posible.

#### **2.1.1.1. Manual del fabricante**

Son de gran utilidad cuando se comienza un plan de mantenimiento y no se cuenta con ningún historial del equipo, ellos indican las horas o el tiempo en el cual se deben de hacer inspecciones o reemplazar piezas, así como los intervalos de lubricación.

Cuando no se posee el manual de fabricante se debe de seguir las recomendaciones de máquinas con características de funcionamiento y trabajo similares.

Respecto a la documentación técnica provista por el fabricante es difícil encontrar buena información para proteger los equipos mediante un adecuado mantenimiento, por eso es necesario recurrir a la experiencia propia y observación de los proveedores de repuestos y lubricantes.

Un buen manual de mantenimiento debe contener:

- Manual de mantenimiento: informa sobre el buen cuidado del equipo.
- Manual de operación: orienta sobre el uso correcto del equipo.
- Manual de inspección: indica las formas y periodos de detección.
- Catálogo de piezas: notifica sobre características de piezas de repuesto
- Manual de reparaciones: indica las técnicas y procedimientos de reparación.

#### **2.1.1.2. Recomendaciones de máquinas o equipos similares**

Es importante cuando no se cuenta con un manual de mantenimiento, buscar información de quipos con características similares, para tomar como referencia de un promedio de tiempo de vida de las piezas o las actividades de mantenimiento que se deben realizar periódicamente.

#### **2.1.1.3. Experiencia propia**

Cuando se realicen los mantenimientos, es muy importante que se tomen fotos y se apunten las características de los repuestos, las técnicas de reparación que se utilizaron y las condiciones de las piezas que se reemplazaron, esto con el fin de documentar con propias palabras el procedimiento necesario para realizar un próximo mantenimiento. Es de mucha

ayuda, pues la mayoría de los manuales de los fabricantes están en otro idioma, o tiene un lenguaje muy técnico, difícil de entender para el personal.

#### **2.1.1.4. Consultas a empresas contratistas o expertos**

Es lo más recomendable cuando los equipos son muy complejos, costosos o necesitan herramientas especiales para realizar el mantenimiento.

## **2.2. Identificación de equipos**

La identificación de los equipos es indispensable, el principal fin es diferenciar los equipos, conocer a qué sistema pertenece, la ubicación, entre otros.

Es importante que los equipos estén correctamente identificados con su nombre o código, en un lugar donde sea fácil de visualizar, de igual manera los apagadores de seguridad, con el fin de que en cualquier emergencia o reparación el personal de la planta pueda reconocerlos inmediatamente.

### **2.2.1. Codificación**

La codificación de los equipos se acostumbra hacerla en un sistema alfanumérico a fin de poder identificar más fácilmente los equipos en la planta. El código asignado a cada equipo se conservará todo el tiempo que permanezca en la planta y conviene guardarlo un buen tiempo después de su desaparición para evitar posibles confusiones.

Deberá ser pintado o identificado en un lugar visible del equipo (ver figura 19), asimismo, servirá de identificación en la ficha técnica.

Figura 18. **Codificación de equipos**



Fuente: Planta de pasta Minera San Rafael.

Tabla III. **Codificación de equipos planta de pasta**

1	Transportador de colas	610-CV-16
2	Mezclador de pasta	610-MIX-01
3	Bomba de alimentación de la mezcladora No.1	610-FDR-07
4	Bomba de alimentación de la mezcladora No.2	610-FDR-08
5	Bomba de alimentación de la mezcladora No.3	610-FDR-09
6	Bomba de sumidero No.1	610-PSU-01
7	Bomba de sumidero No.2	610-PSU-02
8	Paquete hidráulico de compuertas de mezcladora	610-HYD-01
9	Agitador de tanque de retención de lodos	610-AGI-01
10	Transportador de limpieza del mezclador	610-CON-01
11	Transportador de cemento	610-CON-02
	*VENTILADOR ELÉCTRICO	610-CON-02F
12	Alimentador de cemento	610-FDR-05
	*VENTILADOR ELECTRICO	610-FDR-05F
13	Alimentador de colas	610-FDR-01
	*VENTILADOR ELÉCTRICO	610-FDR-01F
14	Abanico colector de polvo (transportador de cemento)	610-FAN-01
15	Abanico colector de polvo (transferencia de cemento)	610-FAN-02
16	Paquete hidráulico de bomba de pasta No. 1	610-PPA-01
17	Paquete hidráulico de bomba de pasta No. 2	610-PPA-02
18	Bomba alimentadora de tanque principal	610-RR-01
19	Compresor	610-COM-01
20	Bomba de presión de lavado	610-PWA-05
21	Soplador de transferencia	610-BLR-01
22	Válvula rotatoria (fase densa)	610-VAR-01

Códigos establecidos durante el diseño de la planta

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Significado de abreviaturas de codificación**

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
CV	Conveyor
MIX	Mixer
FDR	Feeder
PSU	Power sump pump
BLR	Blower
COM	Compressor

Fuente: elaboración propia.



### **2.2.2. Clasificación de equipos según su criticidad**

Al tener establecido cuáles son los equipos más críticos, se podrá establecer de una manera más eficiente la priorización de los programas y planes de mantenimiento de tipo: predictivo, preventivo, correctivo e inclusive posibles rediseños y modificaciones menores.

Además, esta clasificación facilitará la programación de inspecciones, dado que indica dónde vale la pena realizar inspecciones y ayuda en los criterios de selección de los intervalos y tipo de inspección requerida.

Otro factor importante es que ayudará a tomar decisiones sobre las piezas de repuesto que se deben tener en existencia, así como los requerimientos de partes, materiales y herramientas que deben estar disponibles.

Existen muchos métodos para determinar la criticidad, con el fin de dirigir recursos de la manera más efectiva en áreas a donde sea más importante mantener o mejorar la confiabilidad de operación. Se utilizó la siguiente tabla para clasificar los equipos más críticos dentro de la planta. (Ver tablas V y VI).

Tabla V. Evaluación de criticidad de equipos

FACTOR	VARIABLES	CONCEPTO	PONDERACION	OBSERVACIONES
1	Produccion de la planta			
		Para	4	
		Reduce	2	
		No para	0	
2	La falla afecta			
	a. Al equipo en si	Si	1	¿Deteriora otros componentes?
		No	0	
	b. Al servicio	Si	1	¿Origina problemas a otros equipos?
		No	0	
	c. Al operador	Riesgo	1	¿Posibilidad de accidente al operador?
		Sin riesgo	0	
	d. A la seguridad en general	Si	1	¿Posibilidad de accidente a otros equpos?
		No	0	
3	Probabilidad de falla (Confiabilidad)			
		Alta	2	¿Se puede asegurar que el equipo va a trabajar correctamente cuando se le necesite?
		Baja	0	
4	Flexibilidad del equipo			
		Unico	2	No existe otro igual o similar
		By pass	1	El sistema puede seguir funcionando
		Stand By	0	Existe otro igual o similar no instalado
5	Disponibilidad de repuestos			
		Extranjero	2	Repuestos se tienen que importar
		Loc./Ext.	1	Algunos repuestos se compran localmente
		Local	0	Se tiene el repuesto en almacen
6	Dependencia de mano de obra			
		Terceros	1	requiere contratar a terceros
		Propia	0	personal propio
7	Facilidad de reparacion (Mantenibilidad)			
		Baja	1	mantenimiento difícil
		Alta	0	mantenimiento fácil

ESCALA DE REFERENCIA	
CRITICO	13 a16
IMPORTANTE	09 a 12
REGULAR	05 a 08
OPCIONAL	00 a 04

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Criticidad de los equipos**

<b>EQUIPOS</b>	<b>CRITICIDAD</b>
Transportador de colas	critico
Mezclador de pasta	critico
Bomba de alimentacion de la mezcladora No.1	importante
Bomba de alimentacion de la mezcladora No.2	importante
Bomba de alimentacion de la mezcladora No.3	importante
Bomba de sumidero No.1	regular
Bomba de sumidero No.2	regular
Paquete hidraulico de compuertas de mezcladora	critico
Agitador de tanque de retencion de lodos	regular
Transportador de limpieza del mezclador	opcional
Transportador de cemento	critico
*VENTILADOR ELECTRICO	regular
Alimentador de cemento	critico
*VENTILADOR ELECTRICO	regular
Alimentador de colas	critico
*VENTILADOR ELECTRICO	regular
Abanico colector de polvo (transportador de cemento)	regular
Abanico colector de polvo (transferencia de cemento)	regular
Paquete hidraulico de bomba de pasta No. 1	critico
Paquete hidraulico de bomba de pasta No. 2	critico
Bomba alimentadora de tanque principal	importante
Compresor	critico
Bomba de presion de lavado	importante
Soplador de transferencia	regular
Valvula rotatoria (fase densa)	regular



Fuente: elaboración propia.

### 2.2.3. **Fichas técnicas**

Esta ficha debe contener todos los datos del equipo (anverso, ver tabla VII), tales como: nombre del equipo, número de serie, modelo, ajustes especiales, código de identificación, características principales de los repuestos y fotografía del equipo.

En el reverso se llevará el registro de la lubricación (Ver tabla XIII, p.54).

Tabla VII. Formato de ficha técnica (anverso)

			
PLANTA DE PASTA			
FICHA TECNICA			
Datos generales del equipo			
Nombre del equipo:		Codigo Identificacion:	
Marca:		Modelo:	
Serie:		Ubicación:	
Datos generales:	Pot		code
	volts		Phase
	amp		IP
	rpm		enclosure
	hz		bearings
Observaciones:			
Archivo fotografico			
<i>EPS - Randy Donis Tellez</i>			

Fuente: elaboración propia.

### **2.3. Monitoreo de condición**

El objetivo principal del monitoreo de condición es conocer la condición de la maquinaria, de tal manera que se pueda determinar su operación en forma segura, eficiente y económica.

Las técnicas de monitoreo están dirigidas a la medición de variables físicas que son indicadores de la condición de la máquina, estas variables se comparan con los valores normales, para determinar si está en buen estado o en condiciones de deterioro.

Previo a realizar alguna propuesta de mantenimiento, es de suma importancia realizar un monitoreo de condición, en la planta se utiliza la inspección por medio de los sentidos y la inspección de temperatura por medio de un termómetro láser, la ventaja de estas estrategias es que pueden ser efectuadas mientras el equipo está en funcionamiento.

El estado de los equipos se determinó con base a una tabla específica que contiene la clasificación de cada uno en que pudiera encontrarse el mismo, tomando en cuenta tres aspectos: físicos, operación y seguridad.

Tabla VIII. **Clasificación de condiciones de un equipo**

Aspectos a observar	Condiciones del equipo
<b>Físicos</b>	<p><b>Excelente:</b> se encuentra en excelentes condiciones por su corto tiempo de uso.</p> <p><b>Normal:</b> se presenta un desgaste moderado debido a su tiempo de uso.</p> <p><b>Regular:</b> se encuentra sucio, con síntomas de corrosión, fisuras o golpes.</p> <p><b>Deteriorado:</b> presenta síntomas severos de desgaste, golpes y suciedad.</p>
<b>Operación</b>	<p><b>Óptima:</b> que opera bajo excelente condiciones sin presentar ninguna anomalía o defecto.</p> <p><b>Buena:</b> opera correctamente de forma normal.</p> <p><b>Regular:</b> que opera con algún defecto, presenta vibración excesiva, ruido o temperatura elevada, es necesario hacer algún tipo de mantenimiento.</p>
<b>Seguridad</b>	<p><b>Confiable:</b> no presenta ningún peligro bajo condiciones óptimas de operación.</p> <p><b>Relativamente confiable:</b> cuya condición de operación es aceptable y únicamente necesita algún pequeño ajuste.</p> <p><b>Inseguro:</b> que representa un riesgo constante de accidente en su área de trabajo, muestra condiciones anormales de operación, con indicios de falla.</p>

Fuente: elaboración propia.

## 2.4. Tareas de mantenimiento

Es posible agrupar las tareas o trabajos de mantenimiento que pueden llevarse a cabo para prevenir o minimizar las fallas. Debe de haber un encargado de realizar las tareas de mantenimiento, el cual tenga la capacidad de juzgar el funcionamiento del equipo, y se encargue de llenar los formatos establecidos para tener el control de las órdenes de trabajo y trabajos realizados.

## 2.5. Inspecciones

Para realizar las inspecciones se estableció como frecuencia de monitoreo, el primer día de turno de cada grupo antes de arrancar la producción, la técnica de utilizada fue la inspección con los sentidos y medición de temperatura por medio de un termómetro láser abarcando las siguientes tareas:

- Detección de ruidos anormales.
- Detección de vibraciones excesivas
- Detección de olores anormales.
- Medida de temperatura.
- Inspección visual en busca de daños y fisuras en la carcasa de los motores.
- Inspección visual en busca de fugas de aceite o derrames de grasa.

Figura 19. **Inspección de medición de temperatura**





Fuente: Planta de pasta, Minera San Rafael.

## 2.6. Rutinas de mantenimiento

Son actividades programadas que se deben ejecutar a los equipos para mantenerlos en buen estado de funcionamiento. Las rutinas de mantenimiento para los motores de la planta de pasta son las que se describen en la figura 20:

Figura 20. Rutinas de mantenimiento

 					
<b>RUTINAS DE MANTENIMIENTO</b>					
<b>Planta de pasta</b>					
<b>ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO MOTORES ELECTRICOS</b>	<b>FRECUENCIA</b>				
	D	S	T	SM	A
inspeccion visual	X				
comprobacion de vibraciones y ruidos	X				
comprobacion de conexión electrica (apriete y limpieza)				X	
verificacion y ajuste del acomplamiento y alicacion				X	
comprobacion de cojinetes (desgaste)				X	
comprobacion del ventilador			X		
comprobacion de parametros electricos (voltaje, corriente,			X		
puesta a tierra				X	
limpieza exterior		X			
estado de pintura					X
medicion de temperatura		X			
limpieza de apagadores de emergencia		X			
verificación y apriete de carcasa			X		
comprobacion de apriete de tornillos de sujeción			X		

D	Diario
S	Semanal
T	Trimestral
SM	Semestral

Fuente: elaboración propia.



### **2.6.1. Órdenes de trabajo**



El primer paso en la planeación y el control del trabajo de mantenimiento se realiza mediante un sistema eficaz de órdenes de trabajo. Estas deben de hacerlas las personas encargadas de realizar las inspecciones y las rutinas de mantenimiento, al encontrar algún problema en el funcionamiento del equipo, o una posible falla.

Al llenar la orden, esta debe de ser entregada al mecánico o supervisor de turno para que planifique y programe el mantenimiento, dependiendo de la prioridad del trabajo y si se cuenta con el repuesto o material disponible.

La orden de trabajo es una forma donde se detallan las instrucciones escritas para el trabajo que se va a realizar y debe ser llenada para todos los trabajos. El propósito del sistema de órdenes de trabajo es proporcionar medios para:

- Solicitar por escrito el trabajo que se va a realizar.
- Asignar al personal que realizara el trabajo.
- Mejorar la planeación y la programación del trabajo de mantenimiento.
- Mejorar el mantenimiento en general mediante los datos recopilados de la orden de trabajo, que serán utilizados para el control y mejora continua.
- Anticiparse con la obtención de los repuestos o materiales para tener a disposición.

Tabla IX. **Formato orden de trabajo**

 <b>ORDEN DE TRABAJO</b> 		
<b>Fecha:</b>	<b>Planta de pasta</b>	<b>No.</b>
FECHA DE REQUERIMIENTO:	HORA DE REQUERIMIENTO:	UBICACIÓN:
CÓDIGO DEL EQUIPO:	NOMBRE DEL EQUIPO:	SOLICITADO POR:
PRIORIDAD DEL TRABAJO: PROGRAMADO <input type="checkbox"/> IMPORTANTE <input type="checkbox"/> EMERGENCIA <input type="checkbox"/> REGISTRO		
ACTIVIDAD A REALIZAR	POSIBLE CAUSA	SOLUCIÓN
Personal requerido : electricistas <input type="checkbox"/> soldador <input type="checkbox"/> mecánico <input type="checkbox"/>	OBSERVACIONES:	
REVISADO POR:	FIRMA:	

Fuente: elaboración propia

### 2.6.2. Informe de trabajos realizados

Este formato se utiliza para reportar las órdenes de trabajo atendidas, con el fin de tener registro de la descripción del trabajo, fecha en que se realizó, responsables de ejecución, los repuestos y materiales utilizados y el tiempo que tomó completar el trabajo.

Figura 21. **Formato de informe de trabajo**

Tahoe		INFORME DE TRABAJO			Minera San Rafael S.A. GUATEMALA	
Planta de pasta				No.		
Fecha	No. De orden de trabajo	Tiempo (horas)	Descripción del trabajo	Responsables	Repuestos y materiales utilizados	
REVISADO POR:				FIRMA:		

Fuente: elaboración propia.

### 2.6.3. Lubricación

Es una de las actividades más importantes del mantenimiento preventivo. En los motores eléctricos el 36 por ciento de los fallos prematuros de los rodamientos se debe a problemas de lubricación. Si se incluye la contaminación, esa cifra asciende a más del 50 por ciento. La importancia de una lubricación y una limpieza correctas es evidente a la hora de calcular la vida de un rodamiento.

Una buena lubricación tiene muchos beneficios, por ejemplo:

Tabla X. **Beneficios de una lubricación adecuada**

<b>INCREMENTAR</b>	<b>REDUCIR</b>
Productividad	Consumo de energía debido a fricción
Confiabilidad	Generación de calor debido a fricción
Disponibilidad	Desgaste
Tiempo de funcionamiento	Ruido
Intervalos de servicio	Costos de mantenimiento y reparación
Sostenibilidad	Corrosión
Seguridad	Consumo de lubricante

Fuente: elaboración propia.

Si bien es cierto, que en toda parte lubrican, no siempre lo hacen bien. Para que los motores funcionen correctamente en este aspecto es necesario conocer a fondo los lubricantes empleados, sus características, aplicaciones específicas, vida útil, para asegurar un buen desempeño de sus cojinetes.

En el mantenimiento se deberá cambiar los lubricantes la frecuencia sugerida por el fabricante dependiendo de las horas de operación, así como la cantidad de grasa necesaria, y el lubricante adecuado para cada equipo.

Las tareas de relubricación manual tienen muchas desventajas debido a que se puede ver afectada por el exceso o falta de grasa, la contaminación, graseras ubicadas en zonas de peligro y, principalmente, a la difícil tarea de llevar un control manual de intervalos de engrase.

### 2.6.3.1. Frecuencia de lubricación

La frecuencia con la cual se debe lubricar está basada en los siguientes principios:

- El tipo y marca de lubricante (grasa o aceite) a utilizar debe ser el recomendado por el fabricante, o un equivalente (ver tabla X) con características similares. Se deben de tomar en cuenta las condiciones ambientales y la carga a la cual es sometido el equipo.
- Lo más importante es no lubricar lo que no se requiere, el exceso de lubricante es igualmente perjudicial como la falta del mismo, el exceso produce sobrecalentamiento y la falta produce desgaste por fricción.
- El programa de lubricación tiene que elaborarse de la forma más simple posible, estandarizando las grasas y los aceites a utilizar en la lubricación de los equipos que trabajan bajo similares condiciones.

La frecuencia establecida para los motores de la planta de pasta, fueron determinados por los manuales del fabricante con base a las cantidad de horas de operación. (Ver tabla XI, p. 53)

Tabla XI. **Equivalencia de grasas y aceites**

Stock de aceites y lubricantes	Equivalencias			
ISO VG 320	Mobilgear SHC 320			
ISO VG 220	Mobil SHC 220	Mobil Glygoyle 30	Mobil DTE Oil BB	Shell omala s4
ISO VG 46	Mobil DTE 25*	Roto-Xtend Duty	Texaco rando 46	Castrol hyspin AW46
ISO VG 150	Mobil SHC 629	Shell delima HT150	BP Enersyn HTX150	
NLGI 1	Mobil , MOBILUX EP1*	SKF LGWM1		
NLGI 2	Cat 3moly nlg2*	Mobil polyrex EM	SKF LGHP2	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. Frecuencia de lubricación

LUBRICACION EQUIPO PLANTA DE PASTA					
EQUIPO	DESCRIPCION	TIPO DE LUBRICANTE	CANTIDAD	ESPECIFICACION DE LUBRICANTE	FRECUENCIA
FDR-01	Caja reductora	aceite	5.9L	iso VG 220	5000 horas
MIX-01	Motor del mezclador	grasa	4 chorros	NLGI 2	Semanal
	Caja de engranes SEW	aceite	23.2L	iso VG 220	5000 horas
	Rodamientos de ingreso	grasa	4 chorros	NLGI 2	Diario
	Caja de engranes ARAN	aceite	30 L	iso VG 220	5000 horas
	Faja de limpieza	grasa	4 chorros	NLGI 2	Semanal
HYD-01	Bomba hidraulica de compuertas	aceite hidraulico	11 L	iso VG 46	Anual
CON-01	Caja reductora banda de limpieza mixer	aceite	5.8L	iso VG 220	5000 horas
	rodamientos banda transportadora	grasa	4 chorros	NLGI 2	Semanal
FDR-05	Rodamientos de la valvula de luvre	grasa	1 chorro	NLGI 2	Mensual
	Caja reductora alimentador de cemento	aceite	6L	iso VG 220	5000 horas
CON-02	Caja reductora transportador de cemento	aceite	1L	iso VG 220	5000 horas
		re engrase	3/4 del cojinete	NLGI 2	
PPA-01	Bomba de pasta #1, graseria automatica	grasa	automatica	NLGI 1	Semanal
HYD-03	Motor electrico paquete	re engrase	43g frente 51g atrás	NLGI 2	3717 horas
	Bomba de pasta #1, paquete hidraulico	aceite	1000L	iso VG 46	
PPA-02	Bomba de pasta #2, graseria automatica	grasa	automatica	NLGI 1	Semanal
HYD-04	Motor electrico paquete	re engrase	43g frente 51g atrás	NLGI 2	3717 horas
	Bomba de pasta #2, paquete hidraulico	aceite	1000L	iso VG 46	
PSU-01	Motor sumidero #1	grasa	60 gramos	NLGI 2	5000 horas
	Punto A parte baja	grasa	46 chorros	NLGI 2	Trimestral
	Punto B parte baja	grasa	56 chorros	NLGI 2	Bimestral
	Punto A parte alta	grasa	20 chorros	NLGI 2	Trimestral
	Punto B parte alta	grasa	41 chorros	NLGI 2	Bimestral
PSU-02	Motor sumidero #2	grasa	60 gramos	NLGI 2	5000 horas
	Punto A parte baja	grasa	46 chorros	NLGI 2	Trimestral
	Punto B parte baja	grasa	56 chorros	NLGI 2	Bimestral
	Punto A parte alta	grasa	20 chorros	NLGI 2	Trimestral
	Punto B parte alta	grasa	41 chorros	NLGI 2	Bimestral
BLR-01	Blower	aceite	1.75 l	iso VG 150	4000 horas
VAR-01	Caja reductora valvula rotatoria	aceite	0.38 l	iso VG 220	5000 horas
	eje de la valvula	grasa	2 chorros	NLGI 2	Semanal
PWA-05	Bomba de presion de lavado	aceite	3.8L	iso VG 220	1000 horas (bimestral)
FDR-09	Mixer Feed Pump #3	aceite	1-2L	Glycerine 99.5% EP	
		grasa	35 grams	NLGI 2	
AGI-01	Agitador de tanque	aceite	3.5L	iso VG 220	5000 horas
		grasa	4 chorros	NLGI 2	10000 horas
COM-01	Compressor	aceite	Unspecified	iso VG 46	4000 horas
CV-16	Caja reductora banda 16	aceite	20 L	iso VG 320	2000 horas o 6 meses

Fuente: elaboración propia.

### 2.6.3.2. Registro de lubricación

Este registro se lleva para cada equipo en el reverso de la ficha técnica, la persona encargada de lubricación debe apuntar la fecha en que se realizó, el horometro actual y deberá sumar las horas para establecer el horometro del próximo cambio de aceite o engrase. Esto es de mucha importancia para que tenga un control de la cantidad de aceite o grasa que se necesita por equipo, y se tenga un historial de lubricación de cada uno.

Tabla XIII. Formato de registro de lubricación


REGISTRO DE LUBRICACION					
TIPO DE LUBRICANTE	LUBRICANTE ESPECIFICO		CANTIDAD	CANTIDAD DE HORAS DE PROXIMO (reengrase, cambio de aceite)	
PUNTOS A LUBRICAR					
FECHA	HOROMETRO ACTUAL	HOROMETRO PROXIMO	REENGRASE	CAMBIO	FIRMA RESPONSABLE

Fuente: elaboración propia.


## 2.7. Historial de mantenimiento

Es un registro de todas las reparaciones que se han realizado al equipo, de carácter relevante. Es indispensable para la toma de decisiones que tiene que ver con el equipo.

Figura 22. Formato historial de mantenimiento



HISTORIAL DE MANTENIMIENTO



FECHA	CODIFICACION	EQUIPO	TRABAJO REALIZADO	HOROMETRO	PROXIMO SERVICIO O CHEQUEO	RESPONSABLE

Fuente: elaboración propia.

## 2.8. Stock de repuestos

Es importante tener un listado de repuestos y materiales que es necesario tener en la planta como mínimo, con el objetivo de que se tenga a disposición en el momento de realizar un mantenimiento programado o imprevisto.

Con el uso de los manuales de fabricantes se logró establecer un listado de partes principales requeridos en los mantenimientos a los motores (ver tabla XIII). Con este listado, se podrá establecer a un encargado, el cual pueda controlar el inventario de repuestos y materiales.



Tabla XIV. **Tabla de repuestos y material**

<b>CANTIDAD</b>	<b>REPUESTO O MATERIAL</b>	<b>JUSTIFICACIÓN DE USO</b>
6	Limpia contactos en spray	Limpieza de conexiones eléctricas
6	Spray lubricante	Lubricación de tornillos y tuercas
5	Pliegos de lija no. 400, 800, 1000	Limpieza de piezas
6 libras	Wype	Limpiador de grasa o suciedad
2	Rollos de cinta de aislar	Aislador de conexiones eléctricas
8	Fajas de transmisión 3VX630	Desgaste en bombas de sumidero
1	Cojinetes 6317	Cojinete frontal, motor del mezclador
1	Cojinetes 6313	Cojinete trasero, motor del mezclador
2	Cojinete NU318C3	Cojinetes, motor banda transportadora CV-16
2	Cojinete 6305UUC3	Cojinetes, motor del colector de polvo 1
2	Cojinete 6309UU	Cojinetes, motor del colector de polvo 2
2	Cojinete 6308ZZ	Cojinetes, motor bomba 1 y 2
2	Cojinete 6306ZZ	Cojinetes, motor bomba 1 y 2
1	Cojinete 6309-2Z/C3	Cojinete frontal, motor banda transportadora de colas
1	Cojinete 6209-2Z/C3	Cojinete trasero, motor banda transportadora de colas
3	Cojinete 6309	Cojinete frontal motor bomba de sumidero, cojinete trasero motor bomba alimentadora de tanque principal.
2	Cojinete 6208	Cojinete trasero, motor bomba de sumidero
1	Cojinete 6206	Cojinete frontal, motor bomba alimentadora de tanque principal
2	Cojinete 6312	Cojinete frontal, motor bomba de lavado y motor de soplador
2	Cojinete 6212	Cojinete trasero, motor bomba de lavado y motor de soplador
2	Cojinete 6205ZC3	Cojinete, motor de agitador de tanque de lodos.

Fuente: elaboración propia.

## **2.9. Programación de mantenimiento**

Tiene como objetivo dar orden a las tareas de mantenimiento, con el propósito de lograr el uso más eficiente de los recursos y determinar los plazos

más cortos posibles para la ejecución. Es importante tomar en cuenta lo siguiente:

- Acciones:
  - Verificar las prioridades de las órdenes de trabajo (OT)
  - Asignar oportunidades para la ejecución de las mismas
  
- Tipos de programación:
  - Programación de actividades de cada día
  - Programación de una actividad
  - Programación de paradas programadas de planta
  
- Preparación:
  - El programador recibe el detalle de las tareas a realizar.
  - Se analizan los recursos necesarios, herramientas, repuestos, materiales que se deben disponer antes de emprender una tarea.
  
- Elaboración:
  - Se toman en cuenta las duraciones.
  - Dependiendo de la complejidad se dará participación a contratistas o técnicos especiales.
  - Se aprovecha tiempo sin producción o se programa un paro de emergencia en la planta, dependiendo de la prioridad de la orden de trabajo.

Después de realizar el trabajo de mantenimiento es importante cerrar la orden de trabajo, realizando la ficha de informe de trabajo, indicando el tiempo que se empleó para terminar el trabajo, la descripción detallada de lo que se hizo, los repuestos y materiales utilizados y las personas responsables del trabajo.



### **3. FASE DE DOCENCIA**

#### **3.1. Diagnóstico de necesidades de capacitación**

A través de entrevistas no estructuradas se preguntó al personal según su criterio, cuáles creían que eran las necesidades de capacitación en la planta, esto con el fin de determinar los temas que se debían impartir en las capacitaciones.

Se llegó a la conclusión de realizar capacitación teórica y práctica, teniendo en cuenta que el personal debe de comprender de forma clara mediante la transmisión de conocimientos, desarrollo de habilidades y actitudes necesarias para un buen desempeño de las actividades que realiza.

Es necesario describir los criterios que deben tomarse en cuenta para planificar e implementar las capacitaciones:

- Personas encargadas de la capacitación.
- Personal al que se debe dirigir la capacitación.
- Crear conciencia en el personal de la importancia del mantenimiento.
- Temas que ayuden a comprender el funcionamiento básico de los equipos.
- Opiniones de los capacitores.
- Motivación al personal para participar activamente de las capacitaciones.
- Temas importantes para evitar actos inseguros que puedan provocar accidentes.
- Utilización adecuada del equipo de protección personal (EPP).

### 3.2. Plan de capacitación

Tiene que estar orientado al cumplimiento de los objetivos del plan de mantenimiento, la importancia que tiene es que cuenten con el conocimiento requerido para garantizar el seguimiento y mejoras del plan.

Tabla XV. **Plan de capacitación del personal de la planta**

Objetivos	Contenido de la capacitación	Metodología de la capacitación
Que el personal tenga la capacidad de diferenciar los diferentes tipos de mantenimiento y su importancia.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mantenimiento mecánico</li><li>• Tipos de mantenimiento</li><li>• Importancia del plan de mantenimiento</li></ul>	Magistral
Mejorar la tarea de lubricación en los equipos.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Importancia de la lubricación</li><li>• Tipos de grasas y aceites</li><li>• Lubricación manual</li><li>• Registro de lubricación</li></ul>	Magistral y práctica
Que el personal reconozca cuando un equipo tiene problemas.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Inspecciones</li><li>• Vibraciones</li><li>• Medición de temperatura</li></ul>	Magistral y práctica
Conocer los diferentes tipos de cojinetes y el procedimiento para reemplazarlos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tipos de rodamientos</li><li>• Reemplazo de rodamientos</li><li>• Correcta utilización de la herramienta</li></ul>	Magistral y práctica
Crear conciencia de los peligros que se tienen a la hora de ejecutar un mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"><li>• Medidas de seguridad</li><li>• Prevención de accidentes</li><li>• Correcta utilización del EPP</li></ul>	Magistral
Conocimiento del nuevo plan de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"><li>• Presentación del plan de mantenimiento propuesto.</li><li>• Inducción a las tareas de mantenimiento.</li><li>• Órdenes de trabajo</li><li>• Historial de mantenimiento</li></ul>	Magistral

Fuente: elaboración propia.

### **3.2.1. Capacitaciones magistrales**

Se realizaron con la colaboración de los supervisores, en donde se expusieron los temas anteriormente mencionados, al finalizar la charla se resolvieron dudas, se escucharon opiniones y sugerencias, con el fin de mejorar el mantenimiento del equipo.

### **3.2.2. Capacitaciones prácticas**

Se realizaron con la colaboración del mecánico de planta, al momento de realizar algún trabajo de mantenimiento se reunía al personal para que colaborara y observara las partes, los tipos de herramientas, métodos y materiales utilizados.

Figura 23. **Capacitaciones prácticas**



Fuente: Planta de pasta, Minera San Rafael.





## CONCLUSIONES

1. La clasificación de los equipos, según su criticidad, se realizó con el fin de dirigir los recursos de manera más efectiva, dándole prioridad a las áreas de mayor importancia, manteniendo y mejorando la confiabilidad de operación.
2. Las fichas técnicas son de suma importancia, pues en ellas se encuentran las especificaciones de los equipos, lo cual ayuda al encargado de mantenimiento a tener conocimiento de las partes y tipos de lubricantes que debe utilizar.
3. Por medio de las tareas de mantenimiento se logró prevenir o minimizar las fallas en los equipos, teniendo un control de órdenes de trabajo y trabajos realizados.
4. Por medio de las inspecciones rutinarias se pudieron encontrar fallas de diseño, las cuales fueron atendidas realizando modificaciones para mejorar las condiciones de trabajo del equipo.
5. A través del registro de mantenimiento se logra que el personal tenga conocimiento de los trabajos realizados, así como la fecha y la descripción del mismo, lo cual permitirá que se tenga un mejor control de las tareas a realizar.



## RECOMENDACIONES

1. A la alta Gerencia, apoyar y aprobar inmediatamente los diferentes formatos de mantenimiento, en coordinación con los supervisores, el mecánico, instrumentista, operadores y técnicos, así como el personal administrativo involucrado directa e indirectamente en el mantenimiento, con el objetivo de utilizar de forma apropiada dichos formatos, para la implementación del programa de mantenimiento.
2. Utilizar herramientas modernas de lubricación automática centralizada o de un solo punto, mejorando así el funcionamiento de los equipos, aumentando la seguridad y el ahorro de tiempo para los técnicos encargados de lubricación.
3. Involucrar a todo el personal en las tareas de mantenimiento, para crear conciencia de la importancia que tiene el plan de mantenimiento, que expresen sus sugerencias e ideas de mejora y las compartan para formar un buen equipo de trabajo.
4. Es importante capacitar al personal, para mejorar la actitud, conocimiento, habilidades y trabajo en equipo.
5. Contar con una persona encargada de la recopilación de la información, elaboración de órdenes de trabajo y los diferentes formatos, así como el control e interpretación de datos, clasificar, ordenar y archivar la información adquirida.



## BIBLIOGRAFÍA

1. CANTORAL, Harry Allan. *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para la industria de café Quetzal*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 55 p.
2. CUY, Julio César. *Diseño de un programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria y mejora del sistema de extracción de vapores inflamables, en la empresa Transproductos, S. A.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2010. 70 p.
3. *Definiciones básicas de mantenimiento*. [en línea]  
<http://yerlysgmantenimiento.blogspot.com/2011/04/definiciones-basicas-de-mantenimiento.html>. [Consulta: abril de 2014].
4. MANAYALLE, Alberto. *Sistema de criticidad para los equipos*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Eléctrico. Universidad Señor de Sipán. Facultad de Ingeniería, Perú, 2011. 130 p.
5. *Municipio de San Rafael las Flores*. (en línea) (s.f.). (ref: marzo de 2014)  
[http://www.sanrafaellasflores.com / pages / municipio.php#VNhNQvmUf0c](http://www.sanrafaellasflores.com/pages/municipio.php#VNhNQvmUf0c)

6. Performance Associates International, I.. Minera San Rafael, S.A. Planta procesos Proyecto Escobal. Guatemala. [Consulta: 30 de noviembre de 2009].
  
7. *Periódico digital Centroamericano y del Caribe*. [en línea] <http://www.newsinamerica.com/pgint.php?id=18324>. Consulta: abril de 2014].
  
8. ROMERO, Donal Leonel. *Optimización de procesos mecánicos y diseño del plan de mantenimiento en la mina Marlin, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2013. 129 p.