



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

**ANÁLISIS DE TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS PARA MAQUINARIA DE PERFORACIÓN
EN MINERA SAN RAFAEL, SOCIEDAD ANÓNIMA**

Luis Miguel Sánchez Gudiel

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, marzo de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS PARA MAQUINARIA DE PERFORACIÓN
EN MINERA SAN RAFAEL, SOCIEDAD ANÓNIMA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS MIGUEL SÁNCHEZ GUDIEL

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MARZO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. José Milton de León Bran
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
SECRETARIO	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez (a.i.)

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:

ANÁLISIS DE TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS PARA MAQUINARIA DE PERFORACIÓN EN MINERA SAN RAFAEL, SOCIEDAD ANÓNIMA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 24 de enero de 2018.

Luis Miguel Sánchez Gudiel

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 02 de noviembre de 2018
REF.EPS.DOC.921.11.18.

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 **Luis Miguel Sánchez Gudiel** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 200611166, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **ANÁLISIS DE TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS PARA MAQUINARIA DE PERFORACIÓN EN MINERA SAN RAFAEL, SOCIEDAD ANÓNIMA.**

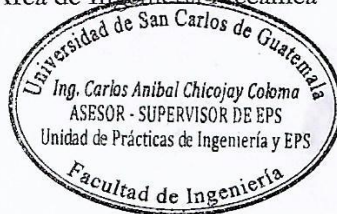
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

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



c.c. Archivo
CACC/ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIDAD DE EPS

Guatemala, 02 de noviembre de 2018
REF.EPS.D.428.11.18

Ing. Carlos Roberto Pérez Rodríguez
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

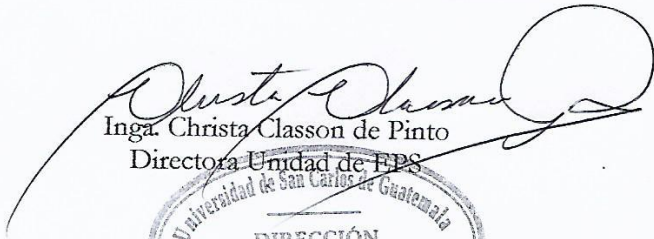
Estimado Ingeniero Pérez Rodríguez:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **ANÁLISIS DE TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS PARA MAQUINARIA DE PERFORACIÓN EN MINERA SAN RAFAEL, SOCIEDAD ANÓNIMA**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Luis Miguel Sánchez Gudiel** 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 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.316.2018

El Revisor de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DE TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS PARA MAQUINARIA DE PERFORACIÓN EN MINERA SAN RAFAEL, SOCIEDAD ANÓNIMA** del estudiante **Luis Miguel Sánchez Gudiel**, CUI No. **2369125690114**, Reg. Académico No. **200611166** y habiendo realizado la revisión de Escuela, se autoriza para que continúe su trámite en la oficina de Lingüística, Unidad de Planificación.

"Id y Enseñad a Todos"

Carlos Humberto Pérez Rodríguez
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL
Colegiado 3071

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Revisor
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, noviembre 2018

/aej



USAC
TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.069.2019

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: **ANÁLISIS DE TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS PARA MAQUINARIA DE PERFORACIÓN EN MINERA SAN RAFAEL, SOCIEDAD ANÓNIMA** del estudiante **Luis Miguel Sánchez Gudiel, CUI No. 2369125690114, Reg. Académico No. 200611166** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Julio César Campos Paiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala marzo de 2019

/aej

Universidad de San Carlos
De Guatemala

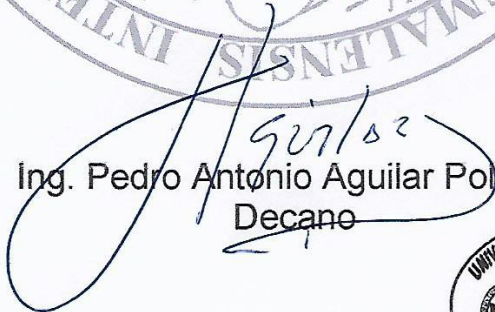


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.143.2019

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 del trabajo de graduación titulado: **“ANÁLISIS DE TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS PARA MAQUINARIA DE PERFORACIÓN EN MINERA SAN RAFAEL, SOCIEDAD ANÓNIMA”** presentado por el estudiante universitario: **Luis Miguel Sánchez Gudiel** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, Marzo de 2019

/echm

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por la bendición de estar siempre conmigo y darme la sabiduría para alcanzar mis objetivos.
- Mis padres** Luis Fernando Sánchez y Norma Vidalia de Sánchez, por el esfuerzo y apoyo en mis estudios, culminar este trabajo es una recompensa para ellos.
- Mi hermano** Por ayudarme cuando se necesitaba y desearme siempre lo mejor.
- Mis tíos** Por la gran ayuda que me han brindado siempre.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por la bendición de estar acá y la sabiduría dada.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de formarme profesionalmente.
Facultad de Ingeniería	Por el aprendizaje y desarrollo de mis habilidades como ingeniero.
Escuela de Ingeniería Mecánica	Por el apoyo y conocimientos que imparte al estudiante de mecánica.
Minera San Rafael, Sociedad Anónima	Por darme la oportunidad y el apoyo para la realización de mi Ejercicio Profesional Supervisado.
Personal del Departamento de Mantenimiento Móvil	Por el apoyo que me brindaron durante todo el periodo en que realicé mi proyecto.
Amigos y compañeros	Por la ayuda y el compañerismo que me brindaron.
Mi familia	Por apoyarme incondicionalmente siempre.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. FASE DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Descripción de la empresa	1
1.1.1. Ubicación	1
1.1.2. Historia	2
1.1.3. Misión	3
1.1.4. Visión.....	3
1.1.5. Valores	4
1.2. Descripción del problema	4
1.2.1. Antecedentes.....	4
1.2.2. Justificación	5
1.2.3. Delimitación del problema	5
1.2.4. Alcances	6
1.3. Departamento de Mantenimiento	6
1.3.1. Actividades	6
1.3.2. Estructura organizacional del departamento	7
1.3.2.1. Gerente de mantenimiento	8
1.3.2.2. Planificadores de mantenimiento.....	8
1.3.2.3. Asistentes de planificación.....	8

	1.3.2.4.	Supervisor general de mantenimiento.....	8
	1.3.2.5.	Supervisor de mantenimiento mina	8
	1.3.2.6.	Supervisores	9
	1.3.2.7.	Técnicos	9
1.4.		Definición del mantenimiento	9
	1.4.1.	Tipos de mantenimiento	10
	1.4.1.1.	Mantenimientos programados	11
		1.4.1.1.1. Mantenimiento preventivo.....	11
		1.4.1.1.2. Mantenimiento correctivo.....	11
	1.4.1.2.	Mantenimientos no programados	12
1.5.		Fundamentos teóricos.....	13
	1.5.1.	Equipos de perforación en minería subterránea.....	13
		1.5.1.1. Perforadoras.....	13
		1.5.1.2. Jumbo.....	14
		1.5.1.3. Simba	15
		1.5.1.4. Boltec	16
		1.5.1.5. Hormigón proyectado	17
		1.5.1.6. Bulones	17
		1.5.1.7. Cubex.....	18
	1.5.2.	Método de perforación <i>sub level – stoping</i>	19
		1.5.2.1. Generalidad.....	20
		1.5.2.2. Desarrollo	20
		1.5.2.3. Arranque.....	20
		1.5.2.4. Manejo de mineral.....	21
		1.5.2.5. Fortificación.....	21
	1.5.3.	Falla mecánica	22

	1.5.3.1.	Tipos de fallas.....	22
	1.5.3.2.	Falla prematura.....	22
	1.5.3.3.	Falla relativa	22
	1.5.3.4.	Falla por desgaste	23
	1.5.4.	Indicadores de mantenimiento.....	23
	1.5.4.1.	Tiempo medio entre fallas TMEF	23
	1.5.4.2.	Disponibilidad	24
	1.5.4.3.	Mantenibilidad.....	24
	1.5.4.4.	Confiabilidad.....	25
	1.5.4.5.	Tiempo de parada o de baja	25
	1.5.4.6.	Tiempo de operación	25
1.6.		Datos e indicadores generales	26
1.7.		Metodología de investigación	26
1.8.		Herramientas y recolección de datos	26
	1.8.1.	Herramientas	26
	1.8.1.1.	Pareto	27
	1.8.2.	Recolección de datos	28
	1.8.2.1.	Procedimiento de recolección de datos.....	29
2.		FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	31
	2.1.	Indicadores en el mantenimiento.....	31
	2.1.1.	Disponibilidad	35
	2.1.2.	Mantenibilidad o Tmpr	37
	2.1.3.	Tiempo medio entre fallas (TMEF)	39
	2.1.4.	Confiabilidad.....	41
	2.2.	Recurrencia de fallas en equipos	42
	2.2.1.	Boltec.....	43
	2.2.2.	Jumbo.....	45

2.2.3.	Simba	46
2.2.4.	Cubex.....	48
2.2.5.	Equipos con mayor incidencia de fallas	49
2.2.6.	Gráficos de fallas recurrentes.....	49
2.3.	Análisis en resultados de tiempo medio entre fallas	52
2.3.1.	Tiempo medio entre fallas	53
2.3.2.	Disponibilidad.....	55
2.3.3.	Mantenibilidad o TMPR	57
2.3.4.	Confiabilidad.....	60
2.4.	Costo de mantenimiento de equipos.....	62
2.4.1.	Repuestos	63
2.4.2.	Insumos.....	64
2.5.	Operación y mantenimiento de equipos.....	65
2.5.1.	Operación.....	65
2.5.2.	Mantenimiento.....	66
3.	FASE DE DOCENCIA.....	67
3.1.	Plan de contenido en charlas y capacitación	67
3.2.	Importancia en el manejo de indicadores.....	69
3.3.	Importancia de los historiales de operación y funcionamiento.....	71
3.4.	Presentación de mejoras y deficiencias a mejorar	72
3.4.1.	Mejoras.....	72
3.4.2.	Deficiencias a mejorar	76
3.5.	Ahorro de energía eléctrica en taller mina.....	77
	CONCLUSIONES.....	79
	RECOMENDACIONES	81
	BIBLIOGRAFÍA.....	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación de Minera San Rafael, S.A	2
2.	Taller de mantenimiento móvil	7
3.	Organigrama general del departamento.....	7
4.	Mantenimiento móvil, Grupo No. 3.....	9
5.	Perforadora de percusión Atlas Copco.....	14
6.	Boomer 281/282 DC15.....	15
7.	Simba H1354	16
8.	Boltec MD.....	17
9.	Cubex Orion Megamatic.....	18
10.	Perforación <i>sub level- stoping</i>	19
11.	Diagrama de Pareto	28
12.	Boltec MD, brazo apernador	44
13.	Brazo apernador Boltec.....	44
14.	Viga de avance Boomer 281/282	45
15.	Brazo telescópico Boomer 281/282	46
16.	Brazo manipulador Simba H1354	47
17.	Mesa de avance, brazo manipulador Simba H1354.....	47
18.	Sistema de avance, Cubex megamatic.....	48
19.	Fallas diarias	50
20.	Fallas semanales	50
21.	Fallas quincenales.....	51
22.	Fallas mensuales	52
23.	Gráfico de TMEF de equipos	54

24.	Porcentaje de disponibilidad de equipos.....	56
25.	Gráfico tiempo de mantenibilidad de equipos	59
26.	Gráfico porcentaje de confiabilidad en mantenimiento	61
27.	Gráfico costo repuestos	63
28.	Gráfico costo insumos	64
29.	Ejecución de charlas y capacitaciones	68
30.	Importancia de indicadores – mejora continua	70
31.	Formato control de tiempos– mina subterránea	73
32.	Formato control de tiempos – superficie	74
33.	Charlas de concientización	75
34.	Objetivos plan mantenimiento básico	76
35.	Opciones de ahorro de energía	78

TABLAS

I.	Horas de operación.....	31
II.	Horas de mantenimiento.....	32
III.	Jornada de trabajo	33
IV.	Tiempos muertos	34
V.	Disponibilidad de equipos	35
VI.	Disponibilidad por familia de equipos.....	36
VII.	Tiempos de reparación por fallas e intervenciones.....	37
VIII.	Tiempo medio para reparar (TMPR).....	38
IX.	Promedio TMPR por familia de equipos	39
X.	TMEF de equipos.....	40
XI.	Promedio TMEF por familia de equipos.....	41
XII.	Confiabilidad del mantenimiento	42
XIII.	Tipos de fallas en equipos Boltec	43
XIV.	Tipos de fallas en equipos Jumbo.....	45

XV.	Tipos de fallas en equipos Simba	46
XVI.	Tipos de fallas en equipos Cubex	48
XVII.	Número de fallas recurrentes	49
XVIII.	Promedio TMEF por equipos / horas.....	53
XIX.	Promedio TMEF por familia.....	54
XX.	Índice de disponibilidad	55
XXI.	Promedio en disponibilidad	56
XXII.	Promedio de horas en mantenibilidad de equipos	58
XXIII.	Promedio de horas en mantenibilidad por familia	58
XXIV.	Porcentaje promedio de confiabilidad por equipos.....	60
XXV.	Porcentaje promedio de confiabilidad por familia	61
XXVI.	Listado de servicios preventivos por horas	66
XXVII.	Plan de charlas y capacitación	67
XXVIII.	Plan capacitación de controlador	68

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
m	Metro
mm	Milímetro
%	Porcentaje

GLOSARIO

Acarreo	Traslado corto de material roto en la mina.
Backlog	Es una lista de tareas pendientes que sirve para dar seguimiento.
Barrenación	La barrenación se define como la acción de perforar o agujerar.
Broca	Pieza metálica de corte que crea orificios circulares en diversos materiales cuando se coloca en una herramienta mecánica como taladro, berbiquí u otra máquina. Su función es formar un orificio o cavidad cilíndrica.
Bulón	Tornillos de tamaño relativamente grande, con rosca solo en la parte extrema de su cuerpo, utilizados en obras de ingeniería.
Horómetro	Medidor de horas de trabajo en un equipo.
<i>Long Hole</i>	Barrenos largos utilizados en el método de explotación en minería subterránea.

Percusión	Principio de la perforación, cuya acción de golpe y fricción producen el astillamiento y trituración de la roca.
<i>Shank</i>	Acople utilizado en las cabezas de perforadora.
<i>Swellex</i>	Perno de expansión para anclaje utilizado en trabajos de minería y construcción.
TMEF	Abreviatura de tiempo medio entre fallas.
TMPR	Abreviatura de tiempo medio para reparar.
Tronadura	Es la fragmentación instantánea que se produce en la roca por efecto de la detonación de explosivos depositados en su interior.
Tubo <i>Magazine</i>	Parte del equipo de perforación encargado de transportar y acoplar pernos.

RESUMEN

Para iniciar el ejercicio profesional supervisado se recopiló información de los equipos y actividades de mantenimiento, para comprender la situación actual y focalizar la información a utilizar. Se utilizaron registros de horómetros, horas hombre, backlogs e historiales.

Se realizó un análisis de TMEF, para identificar qué tipo de maquinaria o máquina presenta mayores paros de mantenimiento y qué falla presentan continuamente. Así mismo, el análisis de indicadores utilizados en el mantenimiento para comparar con los índices óptimos establecidos. Con esto se demostró la disponibilidad de equipo, mantenibilidad y los costos que conllevan.

En la parte final del Ejercicio Profesional Supervisado se generaron los indicadores para facilitar el control de los mantenimientos no programados y así aumentar el rendimiento de los equipos. Se exponen mejoras para los planes de mantenimiento actuales y desarrollo de nuevos para la mejora continua de mantenimiento.

OBJETIVOS

General

Realizar un análisis de tiempo medio entre fallas para identificar que equipos necesitan mejoras en el mantenimiento.

Específicos

1. Analizar las recurrencias de las fallas, qué cantidad de fallas surgen y cuáles son.
2. Analizar la mantenibilidad, para identificar que tan eficiente es el servicio.
3. Identificar deficiencias que pudieran existir.
4. Analizar el costo de mantenimiento.
5. Planteamiento de mejoras.

INTRODUCCIÓN

En la empresa Minera San Rafael, S.A. ubicada en el municipio de San Rafael las Flores, km. 96,5, Santa Rosa, por medio del Departamento de Planificación de Mantenimiento Móvil, se realizó un análisis de TMEF para verificar el estado del mantenimiento correctivo no programado.

Además, se analizaron diferentes indicadores de mantenimiento para identificar y observar el comportamiento de los equipos.

El TMEF enfoca el tiempo que los equipos pueden trabajar sin generar fallas correctivas; como consecuencia la verificación de fallas es más frecuente. De esta manera, se controlan para que estén disponibles durante períodos más amplios y disminuyan las paradas correctivas y los costos.

La marca de la mayoría de los equipos que utiliza la minera para perforar es Atlas Copco. Su función consiste en perforar y reforzar el túnel para facilitar la operación de extracción y acarreo de mineral.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la empresa

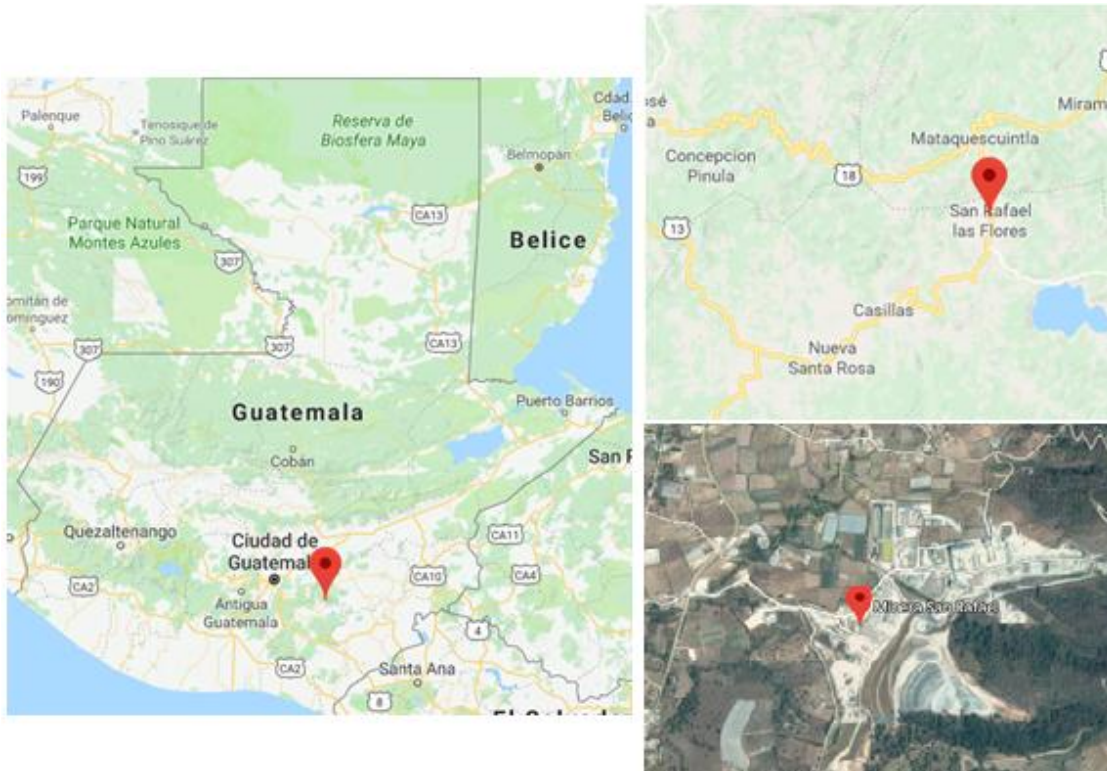
Minera San Rafael, S.A. es una empresa que se dedica a la extracción de plata y otros minerales, como oro, plomo y zinc por métodos de minado en *sublevel-stopping* y *long-hole* subterráneos. Posee una gama de equipos para estos procesos.

Esta empresa cuenta con el departamento de mantenimiento móvil, el cual brinda el servicio de mantenimiento a todos los equipos.

1.1.1. Ubicación

La empresa Minera San Rafael, S.A. o Proyecto el Escobal, como también se le denomina, se ubica en el kilómetro 96,5 al este de la cabecera municipal de San Rafael Las Flores, sobre la carretera que conduce a Mataquescuintla, Jalapa, entre los municipios de Casillas, Santa Rosa y Mataquescuintla, Jalapa.

Figura 1. **Ubicación de Minera San Rafael, S.A.**



Fuente: Google Maps. <https://www.google.com.gt/maps/place/Minera+San+Rafael>. Consulta: Marzo 2018.

1.1.2. Historia

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, la cual 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. Minera San Rafael planifico comenzar la fase de pruebas y producción de plata a mediados del 2013. Actualmente, sus operaciones están suspendidas desde junio del 2017, debido a un amparo provisional que otorgó la Corte Suprema de Justicia al Centro de Acción Legal, Ambiental y Social de Guatemala (CALAS). Por ello, se espera un resolución del caso para dar marcha de nuevo con las operaciones.

No obstante, el Departamento de Mantenimiento no ha suspendido sus labores, aunque no existe trabajo de extracción, para el mantenimiento de la mina es necesario el uso de maquinaria. Como consecuencia se necesita de un programa de mantenimiento de equipos operativos para trabajos de mantenimiento y de equipos inoperativos. Dado que no pueden estar parados durante largos períodos, se les debe realizar una rutina periódica de arranque y movimientos para preservarlos y mantenerlos en condiciones óptimas de funcionamiento.

1.1.3. Misión

La exploración y explotación de toda clase de minerales, su comercialización, compra y venta, su importación y exportación.

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 altos estándares de protección al medio ambiente y compromiso con la comunidad.

1.1.5. Valores

Definen una serie de comportamientos y prácticas que ayudan a vivir de forma diaria una vida personal, familiar y laboral:

- Integridad
- Transparencia
- Excelencia
- Responsabilidad
- Respeto

1.2. Descripción del problema

El departamento de mantenimiento, encargado de brindar un servicio de calidad a los equipos, está interesado en realizar un análisis de TMEF e indicadores de mantenimiento.

1.2.1. Antecedentes

La empresa inicio operaciones en el año 2014 y, desde ese tiempo, el departamento de mantenimiento móvil ha implementado mejoras en el mantenimiento de los equipos. Sin embargo, dadas las largas jornadas de trabajo, los equipos sufren grandes desgastes a corto plazo. Esto incrementa la demanda de los mantenimientos, por lo que la creación y mejora de controles es necesaria.

En la empresa no existe un control real de TMEF, este puede indicar cuánto tiempo operan y cuantas fallas surgen en los equipos de perforación,

dicho análisis se realizó utilizando información registrada en el periodo de enero a junio del 2017.

1.2.2. Justificación

Cuando se producen fallas continuas generan cortos tiempos de operación y largos periodos de mantenimiento que reflejan la baja disponibilidad de equipo, bajo *stock* de repuestos y aumento en los costos. Si se mantiene un control de equipos utilizando su TMEF se sabrá a qué equipo se le debe dar mantenimiento e identificar sus fallas, de manera prioritaria, para disminuir el número de correctivos no programados. También se contará con un número determinado de repuestos para suplir eficientemente y mejorar al plan de mantenimiento.

El número de equipos de perforación a analizar es de 22 y están divididos en 4 familias según su función, Jumbos (perforación frontal), Boltec (refuerza túnel), Simba (perforación axial) y Cubex (perforación de tuberías).

1.2.3. Delimitación del problema

El problema principal es que las fallas en los equipos y la incidencia de retrasos en estos se controla de manera ocasional. Se carece de indicador que represente gráficamente la tendencia de los equipos al fallar, todo esto va de la mano con el tiempo o el periodo de operación y el número de fallas que se presentan.

El desarrollo del ejercicio profesional supervisado se enfocó en realizar el análisis de TMEF y generar los indicadores necesarios para la mejora del mantenimiento, limitado a las 4 familias de perforación.

1.2.4. Alcances

Con este análisis, se crearán indicadores más detallados y exactos de los equipos en operación para el Departamento de Mantenimiento, una base de datos donde este detallada la tendencia de los equipos al fallar, disponibilidad, periodo de operación y el número de fallas.

Se desea contar con un medio para generar mayores controles que coadyuven en la reducción de costos y mejora de la eficiencia

1.3. Departamento de Mantenimiento

A continuación se enuncia una descripción general de las actividades del departamento y su estructura.

1.3.1. Actividades

Planifica y ejecuta las actividades orientadas a la manutención de los equipos utilizados en la empresa, como el monitoreo, reparación, reconstrucción, compra de equipos y repuestos, entre otros.

Figura 2. **Taller de mantenimiento móvil**

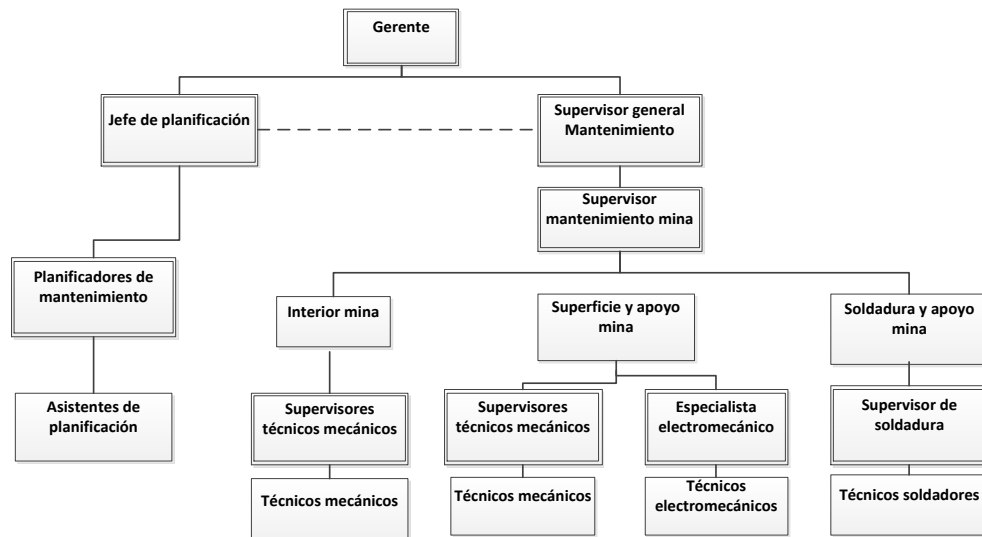


Fuente: Taller de Mantenimiento Móvil, Minera San Rafael.

1.3.2. Estructura organizacional del departamento

El departamento está organizado de la siguiente forma:

Figura 3. **Organigrama general del departamento**



Fuente: elaboración propia.

1.3.2.1. Gerente de mantenimiento

Se encarga de cumplir los objetivos, administra y distribuye los recursos del departamento, vela por la eficiencia y calidad del servicio brindado al cliente, que está formado por los departamentos que conforman la minera.

1.3.2.2. Planificadores de mantenimiento

Programa las actividades por realizar, lleva el control, plantea mejoras, genera indicadores de costos y eficiencia del mantenimiento.

1.3.2.3. Asistentes de planificación

Apoya y brinda asistencia en las actividades que solicitan los planificadores, tabula registros, distribuye las tareas programadas, coordina los programas realizados en conjunto con el área operativa.

1.3.2.4. Supervisor general de mantenimiento

Facilita el control de los supervisores para las áreas de trabajo y distribución del recurso, ve por los trabajos en la superficie y coordina con interior mina.

1.3.2.5. Supervisor de mantenimiento mina

Supervisa los trabajos realizados en el interior de la mina, apoya al supervisor general para llevar un mejor control de las actividades, así como autorizaciones de recursos.

1.3.2.6. Supervisores

Maneja los grupos de trabajo conformados por los técnicos que suplen las actividades que se realicen, como mantenimiento.

1.3.2.7. Técnicos

Son la parte esencial del recurso humano. Ejecutan las actividades operativas del mantenimiento en campo, están conformados por mecánicos, eléctricos, electromecánicos, soldadores y bodegueros.

Figura 4. **Mantenimiento móvil, Grupo No. 3**



Fuente: Grupo No. 3 de mantenimiento, Taller de Mantenimiento Móvil, Minera San Rafael.

1.4. Definición del mantenimiento

La definición de mantenimiento aplicada a una actividad minera se debe manejar de manera muy cuidadosa con una estrategia clara a través de un plan altamente estructurado que evite paradas, accidentes, problemas ecológicos, desviaciones en el presupuesto, entre otros.

El mantenimiento se define como una contribución importante para mejorar la rentabilidad de una empresa. Se considera como una fuente de ingresos, por lo que posee estatus muy diferente al de la teoría normal en que se consideraba al mantenimiento como un mal necesario.

Un avanzado programa de mantenimiento de los equipos mineros para obtener la producción con las menores paradas y costos, así como para reducir los inmovilizados en el almacén, rentabilizar la gran inversión y alargar la vida útil de la maquinaria debe considerar los siguientes aspectos:

- Una selección adecuada de los equipos para obtener la producción programada.
- Un buen entrenamiento y motivación del personal.
- Una disponibilidad de talleres adecuados.
- Un buen programa de mantenimiento preventivo.
- Un gran apoyo y respaldo de un buen almacén y de la logística correspondiente.
- Una razonable cooperación entre los departamentos de operación y mantenimiento.
- Un sistema de comunicaciones efectivo.
- El apoyo del centro de documentación y recopilación de datos (computadoras, entre otros.)

1.4.1. Tipos de mantenimiento

Se consideran dos categorías:

- Mantenimientos programados
- Mantenimientos no programados

1.4.1.1. Mantenimientos programados

En este mantenimiento se maneja el criterio de corregir el fallo inevitable antes o después de que se produzca:

- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento correctivo mediante horas calculadas como límites de vida, averías o sustitución de partes y piezas.

1.4.1.1.1. Mantenimiento preventivo

Está definido como un programa sistemático de revisiones al que cada unidad o cada parte de ella se somete periódicamente antes de fallar.

Está regulado por la planificación de programas basados en:

- Mantenimiento diario a horas
- Mantenimiento semanal en días y horas
- Mantenimiento mensual en días y horas
- Mantenimiento anual en semanas y horas

1.4.1.1.2. Mantenimiento correctivo

Los programas modernos de mantenimiento correctivo se basan en el criterio de intercambiar conjuntos completos, que supone la sustitución de un órgano o parte del equipo por otro debidamente arreglado, comprobado y que se lleva a cabo cuando:

- Se alcanzan las horas estimadas como límites de vida del conjunto o parte del equipo, predictivo.
- Se produce alguna avería. En este caso, se está en el clásico mantenimiento correctivo o por avería.

El mantenimiento correctivo programado nace de las inspecciones diarias de mantenimiento que se realizan como parte de las rutinas de mantenimiento básico. Esto permite diagnosticar y evitar una posible falla que genere inoperatividad del equipo.

1.4.1.2. Mantenimientos no programados

El mantenimiento correctivo no programado o de emergencia obliga a que se actúe con la mayor rapidez posible para superar las averías producidas, evitar costos y daños materiales o humanos mayores. Se efectúa con la urgencia debida, dependiendo de la avería imprevista a reparar lo más pronto posible o por una condición imperativa que hay que satisfacer (problemas de seguridad, de contaminación, entre otros.).

Este mantenimiento es aplicable, normalmente, a equipos o componentes en los que es imposible predecir las fallas y en los procesos que admiten ser interrumpidos en cualquier momento y durante cualquier tiempo, sin afectar la producción, seguridad u otros factores igualmente importantes en la empresa.

El inconveniente de este mantenimiento es que la falla puede darse en cualquier momento, muchas veces en los momentos de operación.

El otro inconveniente es la inmovilización de capital en repuestos, debido a las ocurrencias de averías imprevistas y la gestión de compras no garantice

contar con los repuestos de manera oportuna para la continuidad del proceso productivo.

1.5. Fundamentos teóricos

A continuación se describen conceptos básicos sobre los equipos, métodos de perforación, fallas e indicadores de mantenimiento.

1.5.1. Equipos de perforación en minería subterránea

La perforación es la primera operación en la preparación de una voladura. Su propósito es abrir huecos cilíndricos en la roca, denominados taladros y están destinados a alojar el explosivo y sus accesorios iniciadores.

El principio de la perforación se basa en el efecto mecánico de percusión y rotación, cuya acción de golpe y fricción producen el astillamiento y trituración de la roca.

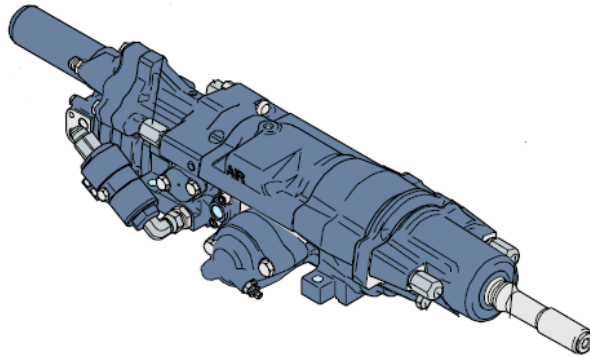
1.5.1.1. Perforadoras

La necesidad de incrementar los diámetros de perforación (sobre 3") para responder a mayores ritmos de producción en las faenas mineras, y el desarrollo tecnológico en el ámbito de la automatización de las operaciones introdujeron importantes cambios a la perforación de rocas.

La mecanización utiliza sistemas para relacionar los valores de las variables de rotación, empuje, percusión, barrido con los de las variables dependientes de la roca (dureza, resistencia) y con las posibilidades de los equipos de perforación, en función de una mayor velocidad de penetración y

mayor rendimiento, que en definitiva llevan a un menor costo por metro perforado.

Figura 5. **Perforadora de percusión Atlas Copco**



Fuente: Atlas Copco. *Manual instrucción de mantenimiento, perforadoras hidráulicas COP 1838ME*. p. 13.

Los principales componentes de un sistema de perforación de este tipo son:

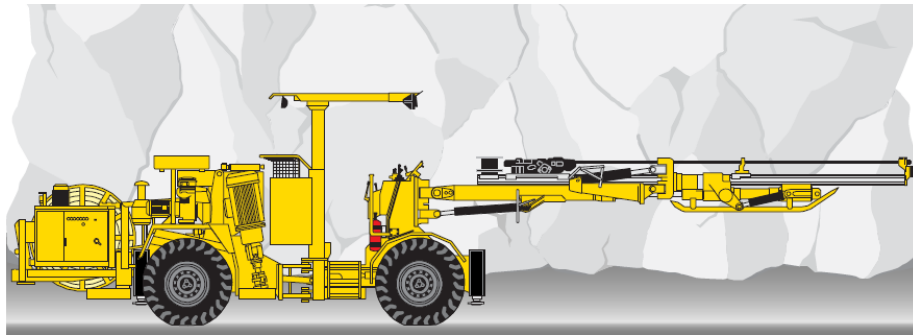
- Perforadora, fuente de energía mecánica
- Varillaje, medio de transmisión de dicha energía
- Broca o bit, herramienta útil que ejerce energía sobre la roca
- Barrido, efectúa la limpieza y evacuación del detrito producido

1.5.1.2. Jumbo

El equipo de perforación jumbo está compuesto por un conjunto de martillos perforadores montados sobre brazos articulados de accionamiento hidráulico para la ejecución de los trabajos de perforación frontal en tronaduras.

Este equipo se emplea para realizar agujeros e introducir la carga de explosivo para excavar un túnel.

Figura 6. **Boomer 281/282 DC15**

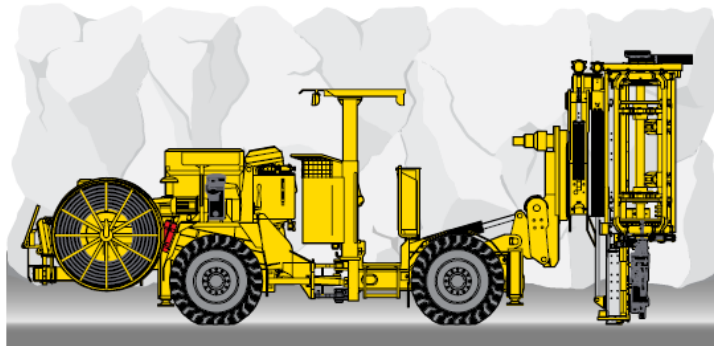


Fuente: Atlas Copco. *Manual de operación Atlas Copco Boomer 281/282 DC15*. p. 1.

1.5.1.3. Simba

Son equipos de perforación de barrenos largos que ofrecen una amplia variedad de longitudes de deslizadera, configuraciones de posicionamiento, martillos y funciones automatizadas para la perforación de producción subterránea. Su función principal es la barrenación axial que sirve para la preparación de voladura.

Figura 7. **Simba H1354**



Fuente: Atlas Copco. *Manual de operación Atlas Copco Simba H1354*. p. 1.

1.5.1.4. Boltec

Son bulonadoras para el anclaje, sujeción y refuerzo del túnel subterráneo.

El sostenimiento de los túneles es una técnica que se emplea para evitar que sus paredes, una vez excavadas, se desmoronen sobre los trabajadores o en la fase de explotación, siendo su función asegurar la estabilidad de las excavaciones. Existen dos métodos esenciales de sostenimiento: el hormigón proyectado y los bulones.

Figura 8. **Boltec MD**



Fuente: parqueo de maquinaria, Minera San Rafael.

1.5.1.5. Hormigón proyectado

El hormigón proyectado tiene dos efectos principales sobre la roca. El primero es de sellado de la superficie, cerrando las juntas que se han producido durante la excavación. Así, se evita la descompresión y la alteración de la roca.

Por otro lado, el hormigón proyectado forma un anillo que, al adquirir resistencia, trabaja como lámina y resiste las cargas producidas por la deformación de la roca. También es capaz de resistir la carga puntual ejercida por pequeñas cuñas que se apoyan sobre la lámina.

1.5.1.6. Bulones

Los bulones son el segundo de los sistemas de sostenimiento de la roca. También tienen dos efectos sobre la roca, igual que el hormigón proyectado. El bulonado sirve para coser las juntas de la roca por medio de las armaduras de

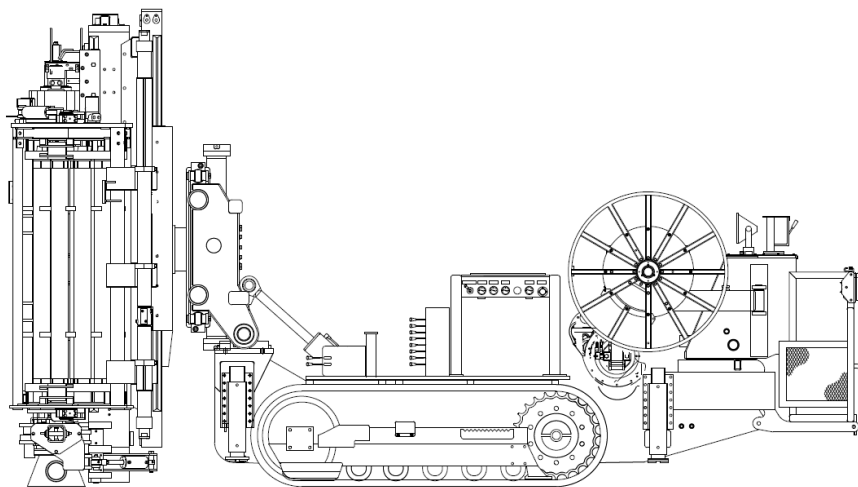
acero e impide el deslizamiento de unas rocas sobre otras a favor de las fracturas.

Por otra parte, arma la roca, por lo que tiene un efecto de confinamiento en esta. Así, es capaz de absorber las tracciones que aparecen en el terreno y se impide la generación de zonas descomprimidas.

1.5.1.7. Cubex

Es un equipo utilizado para la elaboración de tuberías y túneles de 48 a 76 mm. y profundidades de hasta 40 m. En este sistema de perforación el agujero es taladrado hacia abajo hasta que conecta a un nivel más bajo. Esta máquina utiliza las barras de perforación en los estabilizadores de compresión y por lo general deben de estar instalados para eliminar el potencial de la cadena de pando de la broca.

Figura 9. **Cubex Orion Megamatic**



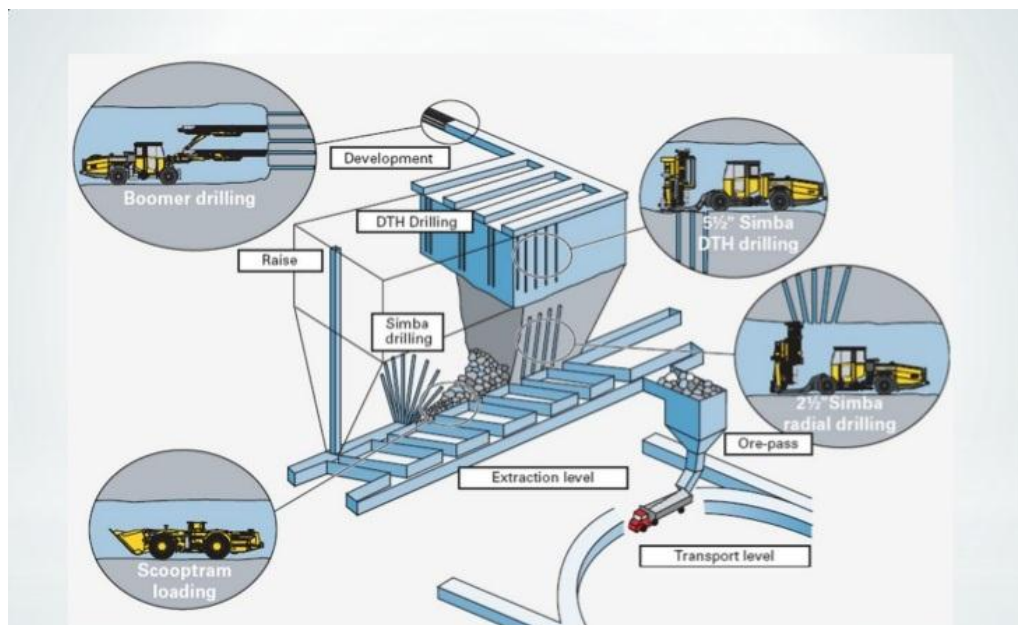
Fuente: Cubex. *Manual de mantenimiento Cubex Orion*. p. 38.

1.5.2. Método de perforación *sub level – stoping*

Este método se aplica, preferentemente, en yacimientos de forma tabular verticales o sub verticales de gran espesor, por lo general superior a 10 m.

Es deseable que los bordes o contactos del cuerpo mineralizados sean regulares. También es posible aplicarlo en yacimientos masivos o mantos de gran potencia, subdividiendo el macizo mineralizado en caserones separados por pilares, que posteriormente se pueden recuperar. Tanto la roca mineralizada como la roca circundante deben presentar buenas condiciones de estabilidad; vale decir, deben ser suficientemente competentes o auto soportante.

Figura 10. **Perforación *sub level- stoping***



Fuente: Atlas Copco. <https://es.slideshare.net/juanfra1986/sublevel-stoping>. Consulta: octubre de 2017.

1.5.2.1. Generalidad

El *sub level-stopping* es un método por medio del cual se excava el mineral por tajadas verticales. Esto deja un caserón vacío, por lo general de grandes dimensiones, particularmente en el sentido vertical. El mineral arrancado se recolecta en embudos o zanjas emplazadas en la base del caserón, desde donde se extrae según diferentes modalidades. La expresión “*sublevel*” hace referencia a las galerías o subniveles a partir de los cuales se realiza la operación de arranque del mineral.

1.5.2.2. Desarrollo

Un nivel base o nivel de producción consiste en una galería de transporte y estocadas que permiten habilitar los puntos de extracción.

Embudos o zanjas recolectoras de mineral. Cuando se trata de una zanja continua a lo largo de la base del caserón (modalidad preferida en la actualidad) primero, se debe desarrollar una galería a partir de la cual se excava la zanja. Galerías o subniveles de perforación, dispuestos en altura según diversas configuraciones conforme a la geometría del cuerpo mineralizado. Una chimenea o una rampa de acceso a los subniveles de perforación, emplazada en el límite posterior del caserón. Una chimenea a partir de la cual se excava el corte inicial o cámara de compensación (*slot*) que sirve de cara libre para las primeras tronaduras de producción.

1.5.2.3. Arranque

En la versión convencional se perforan tiros radiales (abanicos) a partir de los subniveles dispuestos para esos fines. Se trata de tiros largos (hasta unos

30 m) de 2 a 3 pulgadas de diámetro, perforados de preferencia con jumbos radiales electro-hidráulicos y barras de extensión.

En la versión LBH (*long blast hole*) se perforan tiros de gran diámetro (4 ½ a 6 ½ pulgadas), en lo posible paralelos y de hasta unos 80 m de longitud. Se utiliza equipo DTH (perforación con martillo de fondo). Las operaciones de perforación y tronadura se pueden manejar en forma continua e independiente. Se barrena con anticipación un gran número de abanicos, los que, posteriormente, se queman según los requerimientos del programa de producción.

1.5.2.4. Manejo de mineral

En su modalidad más antigua el mineral arrancado se cargaba directamente a carros a través de buzones dispuestos en la base del caserón. La presencia de bolones es un problema complicado, dado que no es posible reducir de tamaño en los buzones. Era necesario instalar estaciones de control (parrillas) antes de los buzones.

En la actualidad, se utilizan preferentemente equipos Scooptram (cargador frontal minero) para la extracción, carguío y transporte del mineral hacia estaciones de traspaso, donde es cargado a carros o camiones para su transporte final a superficie.

1.5.2.5. Fortificación

Como se señaló, la aplicación de este método exige estabilidad de la roca mineralizada y de la roca circundante. No requiere, por lo tanto, que se usen intensiva o sistemáticamente elementos de refuerzo. Las galerías de producción

en la base de los caserones se fortifican, por lo general, según el requerimiento mediante pernos cementados o pernos y malla de acero, atendiendo a las condiciones locales de la roca. En los subniveles de perforación se puede utilizar localmente elementos de refuerzo provisorios cuando las condiciones de la roca así lo requieran.

1.5.3. Falla mecánica

Cualquier cambio en una máquina que impida la realización de la función para la que fue diseñada se considera fallo. Se dice que algo falla, cuando deja de brindar el servicio que debería o cuando aparecen efectos indeseables, según las especificaciones de diseño con las que fue construido o instalado el bien en cuestión.

1.5.3.1. Tipos de fallas

Las fallas se clasifican de diversas maneras, por lo ello, se adopta la clasificación que se basa en la vida útil de un equipo o en el tiempo. En estas existen variaciones definidas donde un gran lapso se producen fallas constantes.

1.5.3.2. Falla prematura

Estas fallas se producen al inicio de la vida útil del equipo o del componente.

1.5.3.3. Falla relativa

Se puede caracterizar como fallas aleatorias.

1.5.3.4. Falla por desgaste

Se caracteriza por el deterioro del equipo o del componente.

1.5.4. Indicadores de mantenimiento

Los datos generan indicadores que permiten evaluar el estado de los procesos y tomar decisiones.

1.5.4.1. Tiempo medio entre fallas TMEF

La evaluación del mantenimiento dentro de una organización permite analizar el cumplimiento de los objetivos trazados, el estado de los trabajos y la positividad al identificar los aspectos sobre los cuales es necesario trabajar para hacer más eficiente esta actividad y desarrollar las acciones para la mejora continua.

Esto se logra con ayuda de indicadores, los cuales tienen como función principal evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes, permitiendo implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar dicha labor.

El TMEF es el tiempo en que un equipo o línea de producción cumple su función sin interrupción debido a una falla funcional o correctiva.

Está definida por la siguiente fórmula:

$$TMEF = \frac{\text{No. de horas de operación}}{\text{No. de intervenciones correctivas}}$$

1.5.4.2. Disponibilidad

La disponibilidad es una manera de cuantificar durante cuánto tiempo el equipo funciona adecuadamente, a mayor disponibilidad se debe producir más y mayor es el rendimiento.

La confiabilidad se relaciona con el periodo durante el cual el componente trabaja continuamente, en otras palabras, la función del componente no se interrumpe, el componente se pone en operación y se mantiene arriba. En la disponibilidad el componente es puesto arriba en un instante dado y no importa lo que pase después, la función del componente puede ser interrumpida sin ningún problema.

Está definida por:

$$\textit{Disponibilidad} = \frac{\textit{Horas de trabajo} - \textit{Horas de mantenimiento}}{\textit{Horas de trabajo}}$$

1.5.4.3. Mantenibilidad

Se define como la probabilidad de que, en caso ocurriera una falla, el equipo pueda ser restaurado a condición operativa en un intervalo de tiempo dado, el parámetro característico de la mantenibilidad es el tiempo medio para reparar (TMPR), está sujeto a los mantenimientos correctivos no programados.

Está definida por:

$$\textit{TMPR} = \frac{\textit{Tiempo total de reparaciones correctivas}}{\textit{No. de reparaciones correctivas}}$$

1.5.4.4. Confiabilidad

Se define como la confianza que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación.

Otra definición importante de confiabilidad se enuncia como la probabilidad de que un ítem pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo establecido y bajo condiciones de uso definidas.

Se puede ligar a TMEF y TMPR:

$$\textit{Confiabilidad} = \frac{\textit{TMEF}}{\textit{TMEF} + \textit{TMPR}}$$

1.5.4.5. Tiempo de parada o de baja

Es el tiempo de inactividad o interrupciones que sufrió el equipo. Estos tiempos también están ligados a los tiempos de mantenimiento o reparación.

1.5.4.6. Tiempo de operación

Es el tiempo en que el equipo está en producción o el tiempo consumido por los recursos en efectuar la operación. Se puede decir que es el lapso de productividad del equipo.

1.6. Datos e indicadores generales

Es necesario conocer los datos e indicadores generales que se puedan disponer para realizar un análisis preciso, por lo tanto se debe tener en cuenta:

- Equipos
- Horas de operación
- Horas de mantenimiento
- No. de eventos o intervenciones
- Tiempos muertos

1.7. Metodología de investigación

Se utilizó el método inductivo y deductivo, los datos obtenidos se compilaron y se llegó a un enunciado que explica los detalles en general.

1.8. Herramientas y recolección de datos

A continuación se describen las herramientas y medios utilizados para la recolección e interpretación de datos.

1.8.1. Herramientas

Instrumentos que se utilizaron en la recolección de datos o información:

- Bitácora actividades diarias
- Registro propio de los datos requeridos para el análisis

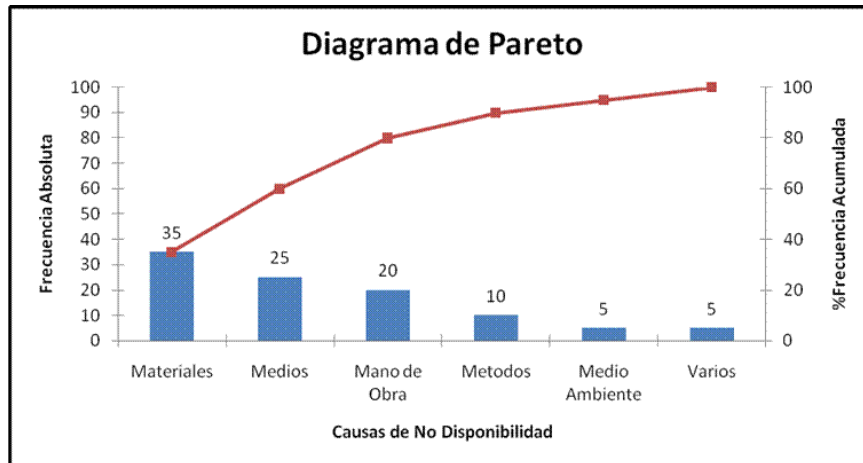
1.8.1.1. Pareto

Es un método para identificar, por orden de importancia y magnitud, la causa de un problema que se debe investigar, hasta llegar a conclusiones que permitan eliminarlos de raíz. Este método proviene de los trabajos del economista italiano Wilfredo Pareto, quien comprobó que aproximadamente el 20 % de las causas originan el 80 % de las fallas.

A continuación, se mencionan los pasos que se consideraron para aplicar este principio:

- Identificar el efecto que se desea analizar y el objeto por alcanzar.
- Hacer una lista de los equipos, definiendo la cantidad de eventos que ocurrieron durante el período de tiempo considerado en el estudio.
- Ordenar los equipos de manera descendente, es decir al equipo con mayor ocurrencia le corresponde el primer lugar y de esta forma se ordenan de manera decreciente las demás.

Figura 11. **Diagrama de Pareto**



Fuente: Google. www.google.com.gt/search?q=pareto+mantenimiento. Consulta: noviembre de 2017.

1.8.2. Recolección de datos

Para la recolección de datos que servirían para redactar este informe se utilizó, primero, la técnica documental, porque se recopiló información del historial de funcionamiento de los equipos.

Entre los principales están:

- Registro de horómetros
- Registro de horas hombre
- Control de rutinas de mantenimiento
- Control de repuestos

También se verificaron empíricamente las actividades y seguimiento de los mantenimientos.

1.8.2.1. Procedimiento de recolección de datos

Se recolectó la información a partir de las actividades realizadas durante un periodo de 6 meses para realizar un promedio mensual. Para ello, se utilizó la documentación proporcionada por la empresa, las inspecciones realizadas de forma personal y las herramientas usadas para la compilación de información.

2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

2.1. Indicadores en el mantenimiento

Estos indicadores muestran el estado de los equipos con respecto a la disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad y TMEF. A continuación, se muestran los datos sugeridos en la sección 1.6. que se necesitan para la realización del análisis.

Tabla I. **Horas de operación**

Familia	Equipo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Boltec	RB01	321	238	277	210	285	8
	RB02	237	267	242	264	273	183
	RB03	300	188	303	212	379	151
	RB04	267	96	73	107	249	204
	RB05	240	213	238	64	275	125
	RB06	192	317	274	79	205	222
	RB30	208	172	237	275	143	166
	RB31	113	110	68	67	178	96
	RC01	293	336	367	270	335	140
Jumbo	JD01	300	246	330	284	158	7
	JD02	131	114	138	91	83	46
	JD03	106	137	232	193	236	104
	JD04	308	147	0	0	119	69
	JD05	314	238	312	261	214	22
	JD06	23	60	44	293	244	114
	JD07	215	175	255	208	177	68
Simba	LH01	87	52	77	56	151	100
	LH02	240	268	288	312	281	132
	LH03	57	68	82	81	278	209
	LH04	80	71	84	73	276	156

Continuación de tabla I.

Cubex	PD11	133	10	50	152	146	48
	PD12	99	136	55	100	179	50

Fuente: elaboración propia.

La tabla anterior muestra las horas de operación de cada uno de los equipos durante los respectivos meses.

Tabla II. **Horas de mantenimiento**

Familia	Equipo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Boltec	RB01	209	147	152	153	192	4
	RB02	270	266	143	161	168	294
	RB03	200	135	207	230	182	168
	RB04	250	51	214	72	156	194
	RB05	230	100	201	49	267	125
	RB06	221	194	147	199	152	201
	RB30	156	159	192	28	99	100
	RB31	150	95	36	28	78	73
	RC01	211	188	187	148	128	92
Jumbo	JD01	128	98	266	71	63	42
	JD02	178	77	136	37	20	238
	JD03	183	89	174	130	163	43
	JD04	129	73	0	0	74	27
	JD05	125	190	192	119	69	134
	JD06	27	43	59	51	169	101
	JD07	139	49	175	70	71	77
Simba	LH01	135	43	42	85	133	148
	LH02	146	200	167	82	186	127
	LH03	104	63	82	141	107	171
	LH04	38	120	100	84	218	139

Continuación de tabla II.

Cubex	PD11	108	40	98	91	74	23
	PD12	47	103	46	71	66	17

Fuente: elaboración propia.

La tabla anterior muestra las horas de mantenimiento invertidas durante el periodo indicado.

Tabla III. **Jornada de trabajo**

Tiempo usado durante un mes de trabajo		
Horas diarias	Días trabajados	Horas mensuales
20	30	600

Fuente: elaboración propia.

La jornada de trabajo normal corresponde a 12 horas por cada turno, sin embargo, es necesario tomar en cuenta los cambios de turno, cuando se pierde una cantidad de tiempo debido a las charlas de seguridad que se imparten y la entrega de pendientes de trabajo, al igual que la hora del almuerzo y la refacción, por lo tanto, se concluye trabajar con 10 horas por turno dando lugar a las 20 horas diarias.

Tabla IV. **Tiempos muertos**

Familia	Equipo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Boltec	RB01	70	215	171	237	123	588
	RB02	93	67	215	175	159	123
	RB03	100	277	90	158	39	281
	RB04	83	453	313	421	195	202
	RB05	130	287	161	487	58	350
	RB06	187	89	179	322	243	177
	RB30	236	269	171	297	358	334
	RB31	337	395	496	505	344	431
	RC01	96	76	46	182	137	368
Jumbo	JD01	172	256	4	245	379	551
	JD02	291	409	326	472	497	316
	JD03	311	374	194	277	201	453
	JD04	163	380	600	600	407	504
	JD05	161	172	96	220	317	444
	JD06	550	497	497	256	188	385
	JD07	246	376	170	322	352	455
Simba	LH01	378	505	481	459	316	352
	LH02	214	132	145	206	133	341
	LH03	439	469	436	378	215	220
	LH04	482	409	416	443	106	305
Cubex	PD11	359	550	452	357	380	529
	PD12	454	361	499	429	355	533

Fuente: elaboración propia.

Estos tiempos muertos se atribuyen a inactividad de equipos, (ojo esto no quiere decir que el equipo este inoperativo por mantenimiento) esto se debe a que la operación de ese equipo no fue necesario y se queda en espera, pueden influir varios factores como el traslado de equipo de un sector a otro o la falta de operario.

2.1.1. Disponibilidad

Conocer los datos anteriores e implementar la formula:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas de trabajo} - \text{Horas de mantenimiento}}{\text{Horas de trabajo}}$$

Horas de trabajo = horas mensuales de trabajo = 600 horas

Horas de mantenimiento = tabla II horas de mantenimiento

Calculando disponibilidad para Boltec RB01 en el mes de enero:

$$D = \frac{(600-209)}{600}$$

$$D = 0,65 * 100 = 65 \%$$

Con esto se indica que la disponibilidad para este equipo en enero del 2017 fue de 65 %.

Tabla V. Disponibilidad de equipos

Familia	Equipo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Boltec	RB01	65%	75%	75%	75%	68%	99%
	RB02	55%	56%	76%	73%	72%	51%
	RB03	67%	78%	65%	62%	70%	72%
	RB04	58%	92%	64%	88%	74%	68%
	RB05	62%	83%	67%	92%	56%	79%
	RB06	63%	68%	76%	67%	75%	67%
	RB30	74%	73%	68%	95%	83%	83%
	RB31	75%	84%	94%	95%	87%	88%
	RC01	65%	69%	69%	75%	79%	85%

Continuación de tabla V.

Jumbo	JD01	79%	84%	56%	88%	90%	93%
	JD02	70%	87%	77%	94%	97%	60%
	JD03	70%	85%	71%	78%	73%	93%
	JD04	78%	88%	100%	100%	88%	96%
	JD05	79%	68%	68%	80%	89%	78%
	JD06	95%	93%	90%	92%	72%	83%
	JD07	77%	92%	71%	88%	88%	87%
Simba	LH01	78%	93%	93%	86%	78%	75%
	LH02	76%	67%	72%	86%	69%	79%
	LH03	83%	90%	86%	77%	82%	72%
	LH04	94%	80%	83%	86%	64%	77%
Cubex	PD11	82%	93%	84%	85%	88%	96%
	PD12	92%	83%	92%	88%	89%	97%

Fuente: elaboración propia.

Filtrando la información de los equipos por familias utilizando Microsoft Excel se tendrá una vista más depurada de los equipos.

Tabla VI. **Disponibilidad por familia de equipos**

Familia	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Boltec	65%	75%	73%	80%	74%	77%
Jumbo	78%	85%	76%	89%	85%	84%
Simba	82%	82%	84%	84%	73%	76%
Cubex	87%	88%	88%	86%	88%	97%

Fuente: elaboración propia.

2.1.2. Mantenibilidad o TMR

Dado que se conoce el concepto de la mantenibilidad, se deben tomar en cuenta los tiempos de reparación o mantenimiento:

Tabla VII. **Tiempos de reparación por fallas e intervenciones**

Familia	Equipo	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio	
		intervenciones	horas	intervenciones	horas	intervenciones	horas	intervenciones	horas	intervenciones	horas	intervenciones	horas
Boltec	RB01	6	24	11	35	5	39	7	22	14	45	1	1
	RB02	9	46	7	50	6	40	12	83	6	47	5	69
	RB03	10	40	4	22	5	53	7	39	10	57	13	27
	RB04	9	40	1	2	2	6	8	29	9	37	27	54
	RB05	13	65	2	13	5	39	10	41	13	69	11	32
	RB06	8	35	5	20	5	13	11	28	6	20	19	45
	RB30	3	9	1	4	11	40	9	23	7	27	21	49
	RB31	3	16	2	19	1	8	2	6	4	8	9	14
	RC01	7	34	6	21	4	28	7	53	5	24	13	31
Jumbo	JD01	7	21	10	31	3	23	9	28	6	20	0	0
	JD02	11	40	9	20	8	24	4	15	2	5	2	15
	JD03	6	21	11	44	11	42	9	44	9	27	2	3
	JD04	5	28	7	18	0	0	0	0	8	25	2	3
	JD05	6	15	3	10	8	31	9	42	6	13	11	27
	JD06	0	0	2	3	3	18	5	16	6	23	10	30
	JD07	4	20	9	14	6	41	6	24	7	19	2	26
Simba	LH01	3	28	3	11	1	6	5	16	7	24	18	26
	LH02	4	24	4	22	8	26	7	43	14	56	8	17
	LH03	1	6	2	18	7	23	9	31	7	18	23	44
	LH04	2	6	1	6	5	32	1	17	14	45	16	46
Cubex	PD11	3	27	0	0	3	32	3	9	4	23	5	10
	PD12	1	6	4	12	1	3	4	25	5	8	1	1

Fuente: elaboración propia.

Con la información de la tabla anterior se aplica la fórmula de TMR:

$$TMR = \frac{\text{Tiempo total de reparaciones correctivas}}{\text{No. de reparaciones correctivas}}$$

Se calcula TMR para el Boltec RB01 en enero:

$$\text{TMPR} = \frac{24}{6}$$

TMPR = 4 horas

El TMPR durante el mes de enero del 2017 que posee el Boltec RB01 es de 4 horas.

Tabla VIII. **Tiempo medio para reparar (TMPR)**

Familia	Equipo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Boltec	RB01	4	3	8	3	3	1
	RB02	5	7	7	7	8	14
	RB03	4	6	11	6	6	2
	RB04	4	2	3	4	4	2
	RB05	5	7	8	4	5	3
	RB06	4	4	3	3	3	2
	RB30	3	4	4	3	4	2
	RB31	5	10	8	3	2	2
	RC01	5	4	7	8	5	2
Jumbo	JD01	3	3	8	3	3	0
	JD02	4	2	3	4	3	8
	JD03	4	4	4	5	3	2
	JD04	6	3	0	0	3	2
	JD05	3	3	4	5	2	2
	JD06	0	2	6	3	4	3
	JD07	5	2	7	4	3	13
Simba	LH01	9	4	6	3	3	1
	LH02	6	6	3	6	4	2
	LH03	6	9	3	3	3	2
	LH04	3	6	6	17	3	3
Cubex	PD11	9	0	11	3	6	2
	PD12	6	3	3	6	2	1

Fuente: elaboración propia.

Se filtra la tabla con Microsoft Excel para observar el promedio por familia:

Tabla IX. **Promedio TMPR por familia de equipos**

Familia	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Boltec	4	5	6	4	4	3
Jumbo	3	3	4	3	3	4
Simba	6	6	5	7	3	2
Cubex	8	2	7	5	4	2

Fuente: elaboración propia.

2.1.3. Tiempo medio entre fallas (TMEF)

Con los datos de la tabla I y VII, se aplica la fórmula de TMEF:

$$TMEF = \frac{\text{No. de horas de operación}}{\text{No. de intervenciones correctivas}}$$

Se encuentra TMEF para el Boltec RB01 en el mes de enero:

$$TMEF = \frac{321}{6}$$

$$TMEF = 53,5 \text{ horas}$$

Esto indica que el tiempo promedio para una falla no programada es de 53,5 horas.

Tabla X. TMEF de equipos

Familia	Equipo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Boltec	RB01	54	22	55	30	20	8
	RB02	26	38	40	22	46	37
	RB03	30	47	61	30	38	12
	RB04	30	96	37	13	28	8
	RB05	18	107	48	6	21	11
	RB06	24	63	55	7	34	12
	RB30	69	172	22	31	20	8
	RB31	38	55	68	34	45	11
	RC01	42	56	92	39	67	11
Jumbo	JD01	43	25	110	32	26	0
	JD02	12	13	17	23	42	23
	JD03	18	12	21	21	26	52
	JD04	62	21	0	0	15	35
	JD05	52	79	39	29	36	2
	JD06	0	30	15	59	41	11
	JD07	54	19	43	35	25	34
Simba	LH01	29	17	77	11	22	6
	LH02	60	67	36	45	20	17
	LH03	57	34	12	9	40	9
	LH04	40	71	17	73	20	10
Cubex	PD11	44	0	17	51	37	10
	PD12	99	34	55	25	36	50

Fuente: elaboración propia.

Esta tabla muestra el tiempo medio entre fallas que sufrieron los equipos durante el periodo.

Luego, se filtra con Microsoft Excel para encontrar el promedio de TMEF por familia:

Tabla XI. **Promedio TMEF por familia de equipos**

Familia	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Boltec	37	73	53	24	35	13
Jumbo	34	28	35	28	30	22
Simba	47	47	35	34	25	10
Cubex	72	17	36	38	36	30

Fuente: elaboración propia.

2.1.4. Confiabilidad

Utilizando la fórmula de confiabilidad y los datos de las tablas VIII y X, se inicia encontrando la confiabilidad para el Boltec RB01 en el mes de enero:

$$\text{Confiabilidad} = \frac{54}{(54+4)}$$

$$\text{Confiabilidad} = 0,93 * 100 = 93 \%$$

Este porcentaje indica la confiabilidad de los mantenimientos correctivos no programados realizados en ese mes.

Tabla XII. **Confiabilidad del mantenimiento**

Familia	Equipo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Boltec	RB01	93%	87%	88%	91%	86%	89%
	RB02	84%	84%	86%	76%	85%	73%
	RB03	88%	90%	85%	84%	87%	85%
	RB04	87%	98%	92%	79%	87%	79%
	RB05	79%	94%	86%	61%	80%	80%
	RB06	85%	94%	95%	74%	91%	83%
	RB30	96%	98%	86%	92%	84%	77%
	RB31	88%	85%	89%	92%	96%	87%
	RC01	90%	94%	93%	84%	93%	82%
Jumbo	JD01	93%	89%	93%	91%	89%	0%
	JD02	77%	85%	85%	86%	94%	75%
	JD03	83%	76%	85%	81%	90%	97%
	JD04	92%	89%	0%	0%	83%	96%
	JD05	95%	96%	91%	86%	94%	45%
	JD06	0%	95%	71%	95%	91%	79%
	JD07	91%	93%	86%	90%	90%	72%
Simba	LH01	76%	83%	93%	78%	86%	79%
	LH02	91%	92%	92%	88%	83%	89%
	LH03	90%	79%	78%	72%	94%	83%
	LH04	93%	92%	72%	81%	86%	77%
Cubex	PD11	83%	0%	61%	94%	86%	83%
	PD12	94%	92%	95%	80%	96%	98%

Fuente: elaboración propia.

2.2. Recurrencia de fallas en equipos

Se realizó un resumen del registro de la fallas encontradas por medio del historial y las entrevistas a los supervisores y técnicos, se agruparon de forma diaria, semanal, quincenal y mensual dentro de las familias de equipos.

Las fallas de los equipos Boltec, Jumbo, Simba y Cubex están ligados a los brazos telescópicos y los sistemas de avance donde se encuentra el mecanismo de perforación.

2.2.1. Boltec

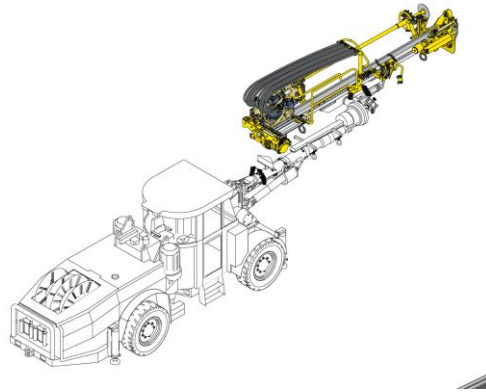
Fallas detectadas en equipos Boltec RB:

Tabla XIII. Tipos de fallas en equipos Boltec

	No.	Día	Cantidad	Semana	Cantidad
Boltec	1	Mangueras hidráulicas	2	Punta de barrido	2
	2	Nivelación de hidráulico	2	Mesa de avance	2
	3	Fallas electromecánicas	2	Cambio o ajuste de cables guías	1
	4	Alineación de manitas <i>Swellex</i>	1	Ajuste de presiones hidráulicas de barrenacion	1
	5	Torqueo y cambio de tornillería	2	Cambio de shank	2
		Quincenal		Mensual	
	1	Acumuladores de perforadora	2	Mordazas centralizadoras de barras	1
	2	Daño en <i>Tubo magazín</i>	1	Ajustes de sistema de lubricación y compresor	2
	3	Cilindro de selección de perforadora	1	_____	___
	4	Espiral protector de mangueras	2	_____	___

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Boltec MD, brazo apernador**



Fuente: Atlas Copco. *Manual de partes Atlas Copco Boltec MD*. p. 650.

Figura 13. **Brazo apernador Boltec**



Fuente: elaboración propia, Minera San Rafael.

Las fallas ocurren en el brazo apernador del equipo.

2.2.2. Jumbo

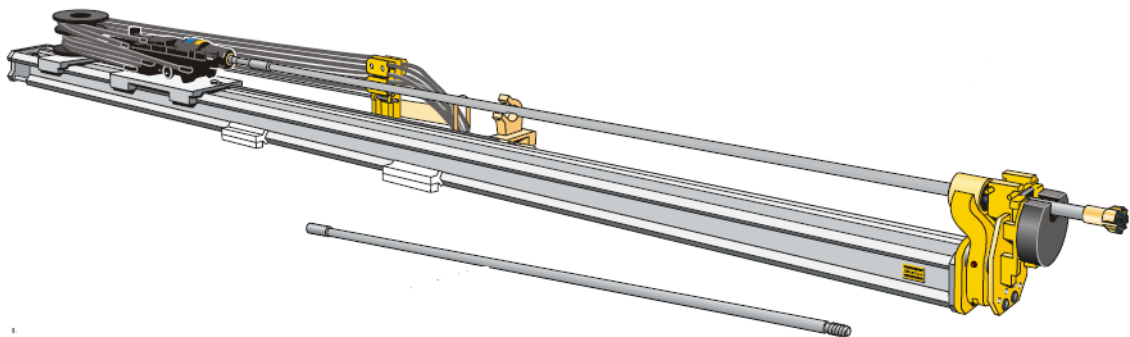
Fallas detectadas en equipos Jumbo JD.

Tabla XIV. Tipos de fallas en equipos Jumbo

	No.	Diaria	Cantidad	Semanal	Cantidad
	Jumbos	1	Mangueras hidráulicas	1	Cables de avance o retroceso de perforadora
2		Puntas de barrido	1	Acumuladores de perforadoras	1
3		Fallas electromecánicas	1	Cambio de shank	1
4		Torqueo de tornillería	1	Ajuste de presiones hidráulicas de barrenacion	1
5		Nivelación de hidráulico	1	Centralizadores de barras	1
		Quincenal	Cantidad	Mensual	Cantidad
1		Cilindro de avance de perforadora	1	Pines y bujes de cilindro de oscilación	1
2				Ajuste o cambio de patines de perforadoras	1

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Viga de avance Boomer 281/282



Fuente: Atlas Copco. *Manual de operación Atlas Copco Boomer 281/282 DC15*. p. 70.

Figura 15. Brazo telescópico Boomer 281/282



Fuente: elaboración propia, Minera San Rafael.

2.2.3. Simba

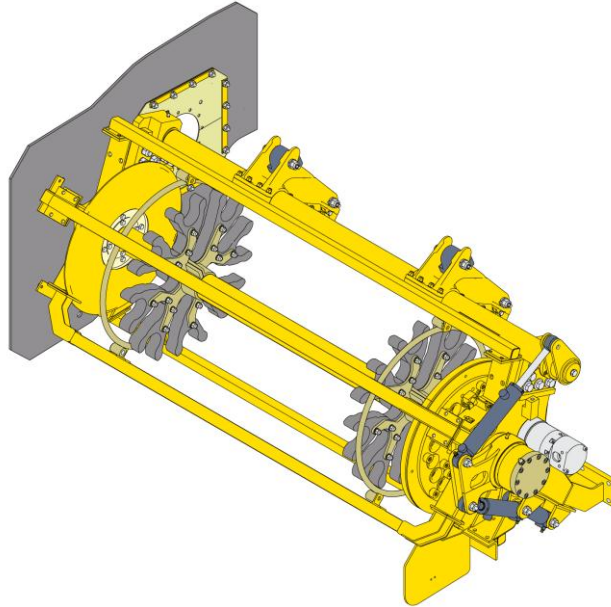
Fallas detectadas en equipos Simba LH:

Tabla XV. Tipos de fallas en equipos Simba

	No.	Diaria	Cantidad	Semanal	Cantidad	
Simba	1	Mangueras hidráulicas	1	Punta de barrido	1	
	2	Tornillos de perforadora	1	Cambio de shank	1	
	3	Nivelación de hidráulico	1	Fallas electromecánicas	1	
	4	Ajuste de presiones hidráulicas	1			
		Quincenal		Cantidad	Mensual	Cantidad
	1	Espiral protector de mangueras	1	Cambio de segmentos	1	
2	Potenciómetro de avance	1	Bomba de mezcla de agua para barrenación	1		

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Brazo manipulador Simba H1354**



Fuente: Atlas Copco. *Manual de partes Atlas Copco Simba H1354*. p. 124.

Figura 17. **Mesa de avance, brazo manipulador Simba H1354**



Fuente: elaboración propia, Minera San Rafael.

2.2.4. Cubex

Fallas detectadas en equipos Cubex PD:

Tabla XVI. Tipos de fallas en equipos Cubex

	No.	Diaria	Cantidad	Semanal	Cantidad	
Cubex	1	Falla de control y electromecánica	1	Ajuste de presiones hidráulicas de barrenacion	1	
	2	Mangueras hidráulicas	1	Ajuste de patines o cambio	1	
	3	Ajuste de presión de aire	1			
	4	Torqueo de tornillería	1			
			Quincenal	Cantidad	Mensual	Cantidad
	1	Pivote	1	Centralizadores	1	
	2	Lubricación de top drive	1			

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Sistema de avance, Cubex megamatic



Fuente: elaboración propia, Minera San Rafael.

2.2.5. Equipos con mayor incidencia de fallas

Se contabilizó el número de fallas presentadas de la tabla XIII hasta la tabla XVI para realizar un resumen y ordenar los equipos en forma descendente:

Tabla XVII. **Número de fallas recurrentes**

Equipo	Diaria	Semanal	Quincenal	Mensual
Boltec	9	8	6	3
Jumbos	5	5	1	2
Simbas	4	3	2	2
Cubex	4	2	2	1

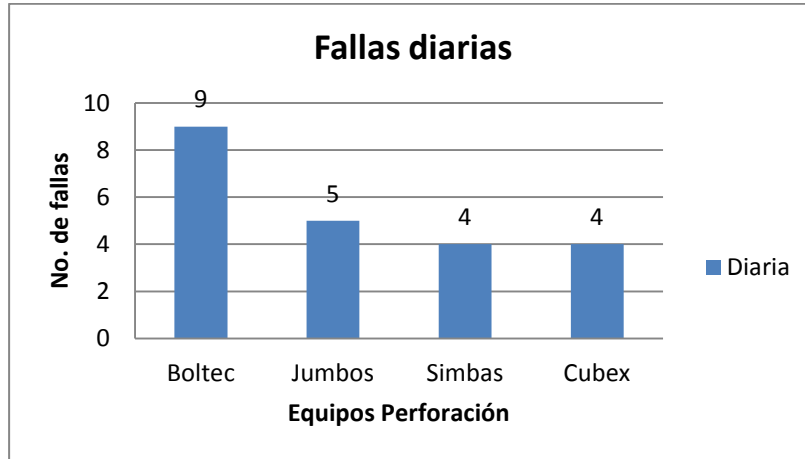
Fuente: elaboración propia.

La familia de los equipos Boltec presenta el mayor número de fallas y la familia de equipos Cubex con el menor número de fallas.

2.2.6. Gráficos de fallas recurrentes

Se presentan, a continuación, gráficas que presentan la comparación de fallas por familia de equipos tomando en cuenta la tabla XVII.

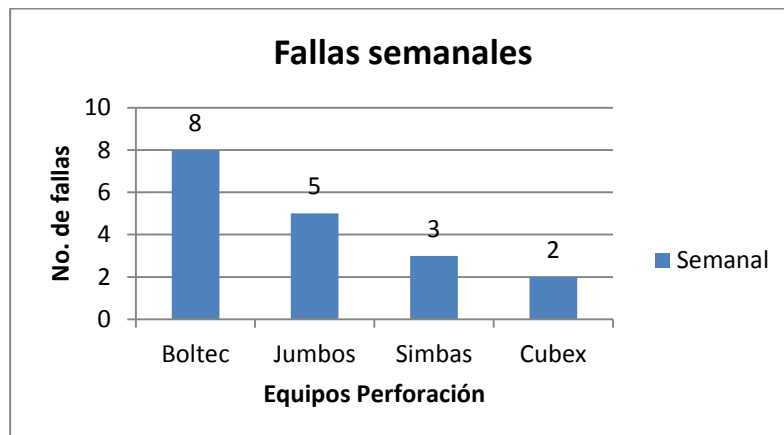
Figura 19. **Fallas diarias**



Fuente: elaboración propia, Minera San Rafael.

La familia de equipos Boltec presentan el promedio más alto de fallas encontradas.

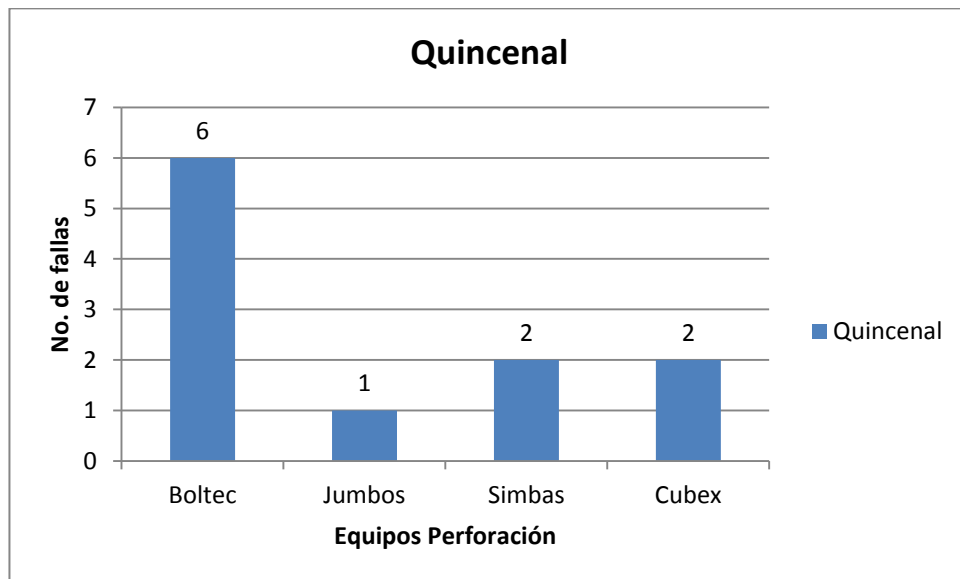
Figura 20. **Fallas semanales**



Fuente: elaboración propia, Minera San Rafael.

Entre las fallas semanales también se encuentran los equipos Boltec con el mayor número de fallas.

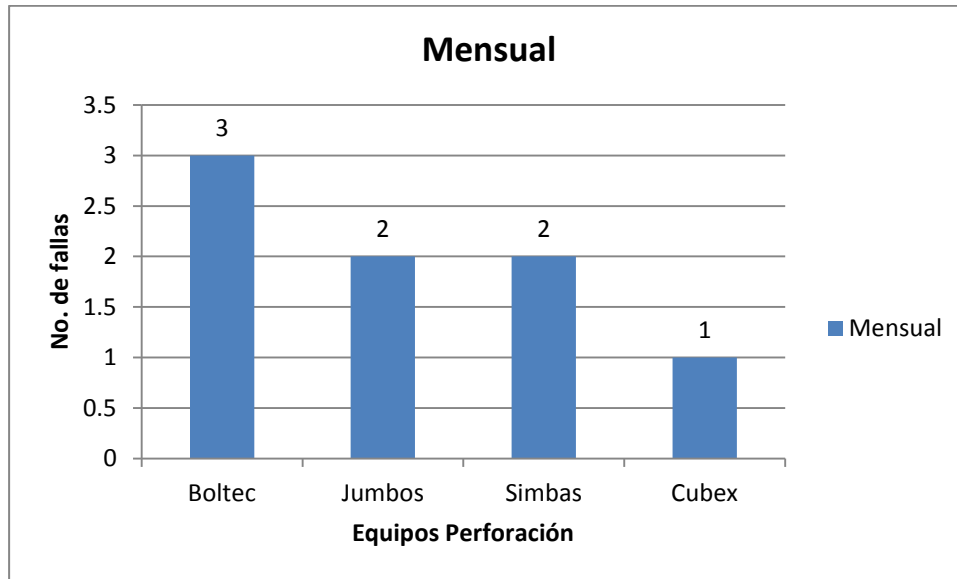
Figura 21. **Fallas quincenales**



Fuente: elaboración propia, Minera San Rafael.

Las fallas quincenales ubican a los equipos Boltec con el mayor número de fallas.

Figura 22. **Fallas mensuales**



Fuente: elaboración propia, Minera San Rafael.

Entre las fallas mensuales, los equipos se encuentran dentro de una media de 2 fallas por familia, excepto la familia Boltec que posee 3 fallas y la familia Cubex que posee solo 1 falla.

2.3. Análisis en resultados de tiempo medio entre fallas

Una vez desarrollados los tipos de indicadores, se analizan y resumen los resultados.

2.3.1. Tiempo medio entre fallas

Las siguientes tablas muestran el promedio de TMEF en horas por equipo y familia presentados en la sección 2.1.3.

Tabla XVIII. Promedio TMEF por equipos / horas

Familia	Equipo	TMEF
Boltec	RB30	54
	RC01	51
	RB31	42
	RB03	36
	RB05	35
	RB04	35
	RB02	35
	RB06	33
	RB01	31
Jumbo	JD05	40
	JD01	39
	JD07	35
	JD06	26
	JD03	25
	JD04	22
	JD02	22
Simba	LH02	41
	LH04	38
	LH01	27
	LH03	27
Cubex	PD12	50
	PD11	26

Fuente: elaboración propia.

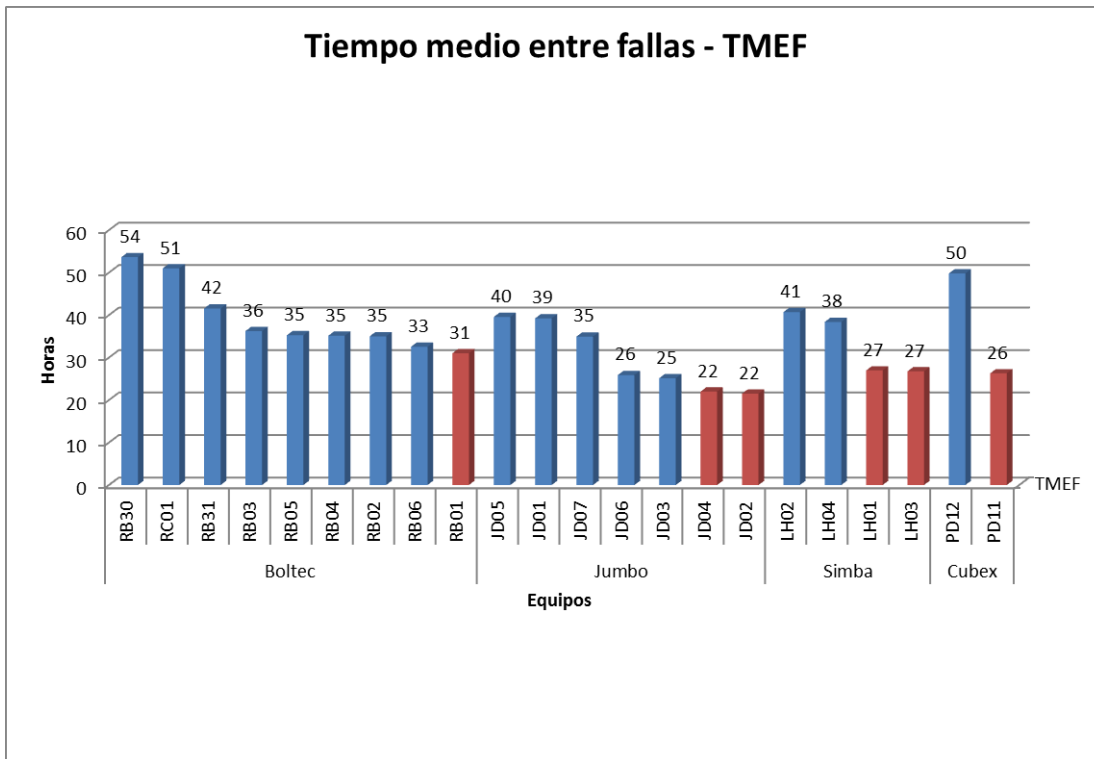
Tabla XIX. Promedio TMEF por familia

Familia	Boltec	Jumbo	Simba	Cubex
TMEF	39	30	33	38

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestra el gráfico de los datos mostrados en la tabla XVIII.

Figura 23. Gráfico de TMEF de equipos



Fuente: elaboración propia.

Según el análisis posterior, al comparar el gráfico, la familia Boltec presenta los equipos con mayor tiempo para sufrir una falla no programada son el RB30 con 54 horas y RC01 con 51 horas respectivamente. Entre la familia, el equipo RB01 posee mayor incidencia de falla y el tiempo es el más corto con 31 horas promedio por cada falla no programada.

Entre la familia Jumbo los equipos con menor incidencia de falla no programada están JD05 con 40 horas y JD01 con 39 horas, se tienen los equipos JD02 y JD04 con mayor incidencia, ambos con 22 horas cada uno.

La familia Simba muestra que los equipos LH02 con 41 horas y LH04 con 38 horas poseen mayor tiempo con menos índice de falla, los equipos LH01 y LH03 poseen mayor incidencia de falla con 27 horas para ambos, la familia Cubex posee al equipo PD11 con mayor incidencia en fallas no programadas con el tiempo más corto de 26 horas.

2.3.2. Disponibilidad

Para analizar si los datos son óptimos se comparan con el índice de disponibilidad que maneja la empresa:

Tabla XX. **Índice de disponibilidad**

Minimo	Medio	Optimo
76%	78%	80%

Fuente: Departamento de Mantenimiento, Minera San Rafael.

Se observa en la tabla VI. que la familia de los equipos Boltec es la que presenta la menor tasa de disponibilidad en el correr del tiempo, al promediar los índices de dicha tabla se tiene el siguiente resultado.

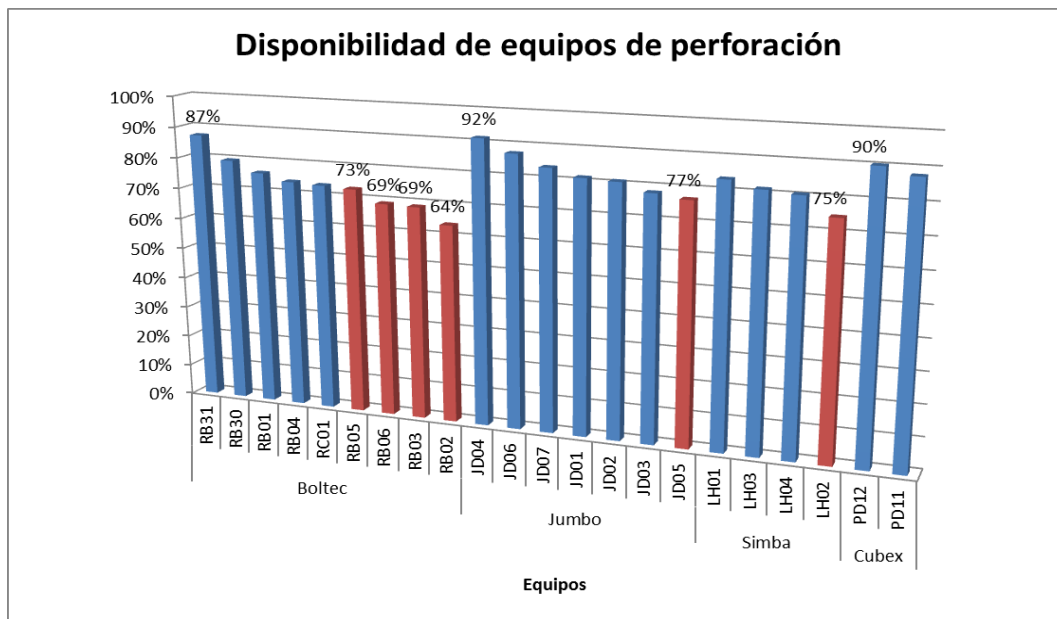
Tabla XXI. **Promedio en disponibilidad**

Familia	% Promedio
Boltec	74
Jumbo	83
Simba	80
Cubex	89

Fuente: elaboración propia.

A continuación se presenta un gráfico con el porcentaje de disponibilidad de los equipos.

Figura 24. **Porcentaje de disponibilidad de equipos**



Fuente: elaboración propia.

El análisis realizado presenta el porcentaje de disponibilidad de los equipos. Se observa que la familia Boltec posee 4 equipos con baja disponibilidad respecto al estándar establecido. Estos equipos son el RB05 con 73 %, RB06 con 69 %, RB03 con 69 % y RB02 con 64 %, por consiguiente, es necesario establecer como prioridad estos equipos para evaluar su estado. El equipo RB31 de la familia Boltec tiene 87 % de disponibilidad, es decir, la más alta en este grupo.

En la familia de equipos Jumbo muestra que el equipo JD05 se encuentra un poco arriba del mínimo establecido de disponibilidad con 77 %, el equipo JD04 es el equipo con mayor disponibilidad siendo esta 92 %.

Comparando los equipos de la familia Simba, el equipo LH02 presenta el porcentaje debajo del mínimo establecido con 75 % de disponibilidad y al equipo LH01 con el mayor porcentaje de disponibilidad con 84 %. La familia de equipos Cubex se encuentran entre el rango de disponibilidad permitido, ambos equipos PD11 con 90 % y PD12 con 88 % respectivamente.

2.3.3. Mantenibilidad o TMPR

A continuación, se presenta el promedio de mantenibilidad o tiempo medio de reparación para los mantenimientos no programados analizados en la sección 2.1.2. por equipos y familia.

Tabla XXII. Promedio de horas en mantenibilidad de equipos

Familia	Equipo	TMPR
Boltec	RB01	4
	RB02	8
	RB03	6
	RB04	3
	RB05	5
	RB06	3
	RB30	3
	RB31	5
	RC01	5
Jumbo	JD01	3
	JD02	4
	JD03	3
	JD04	2
	JD05	3
	JD06	3
	JD07	6
Simba	LH01	5
	LH02	5
	LH03	4
	LH04	6
Cubex	PD11	5
	PD12	3

Fuente: elaboración propia.

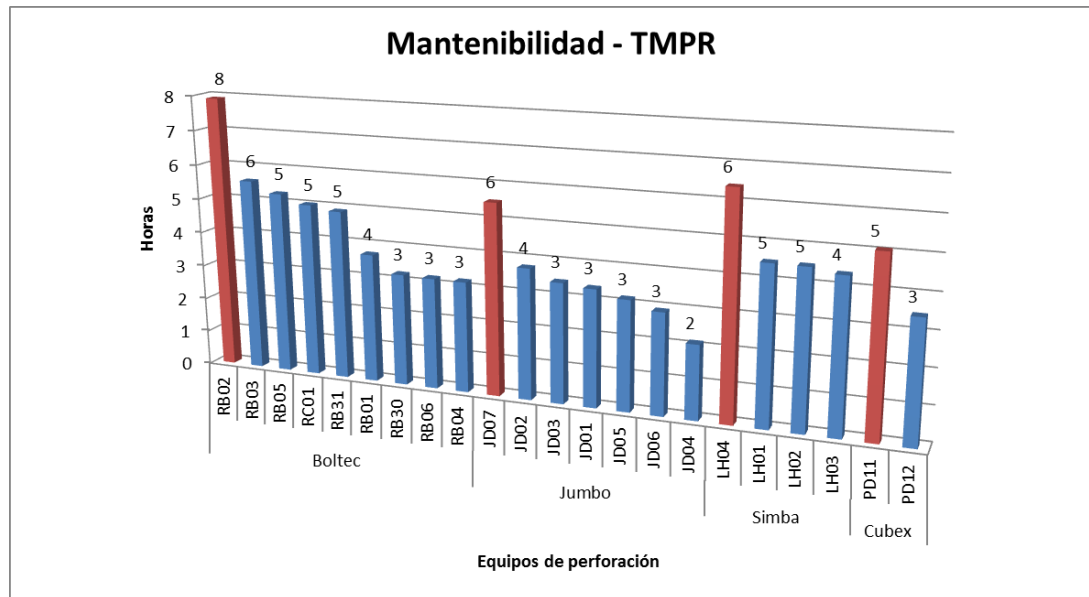
Tabla XXIII. Promedio de horas en mantenibilidad por familia

Familia	TMPR
Boltec	5
Jumbo	3
Simba	5
Cubex	4

Fuente: elaboración propia.

Se presenta un gráfico con los datos analizados en anterior tabla XXII.

Figura 25. **Gráfico tiempo de mantenibilidad de equipos**



Fuente: elaboración propia.

Al comparar se observa que, en la familia Boltec, el equipo RB02 presenta el tiempo más largo de reparación con 8 horas y los equipos RB06, RB04 ambos con 3 horas para reparar.

La familia de equipos Jumbo posee el equipo JD07 como el equipo con mayor tiempo para reparación (6 horas) y al equipo JD02 con menor tiempo (2 horas). En la familia Simba el equipo LH04 presenta el mayor tiempo de reparación (6 horas) y el menor LH03 (4 horas).

Por último, la familia de Cubex presenta al equipo PD11 con mayor tiempo para reparar (5 horas) y el menor PD12 (3 horas).

2.3.4. Confiabilidad

Porcentaje promedio de confiabilidad de los equipos y familias de equipos vistos en la sección 2.1.4.

Tabla XXIV. **Porcentaje promedio de confiabilidad por equipos**

Familia	Equipo	Confiabilidad
Boltec	RB01	89%
	RB02	81%
	RB03	87%
	RB04	87%
	RB05	80%
	RB06	87%
	RB30	89%
	RB31	90%
	RC01	89%
Jumbo	JD01	76%
	JD02	84%
	JD03	85%
	JD04	60%
	JD05	85%
	JD06	72%
	JD07	87%
Simba	LH01	82%
	LH02	89%
	LH03	83%
	LH04	84%
Cubex	PD11	68%
	PD12	92%

Fuente: elaboración propia.

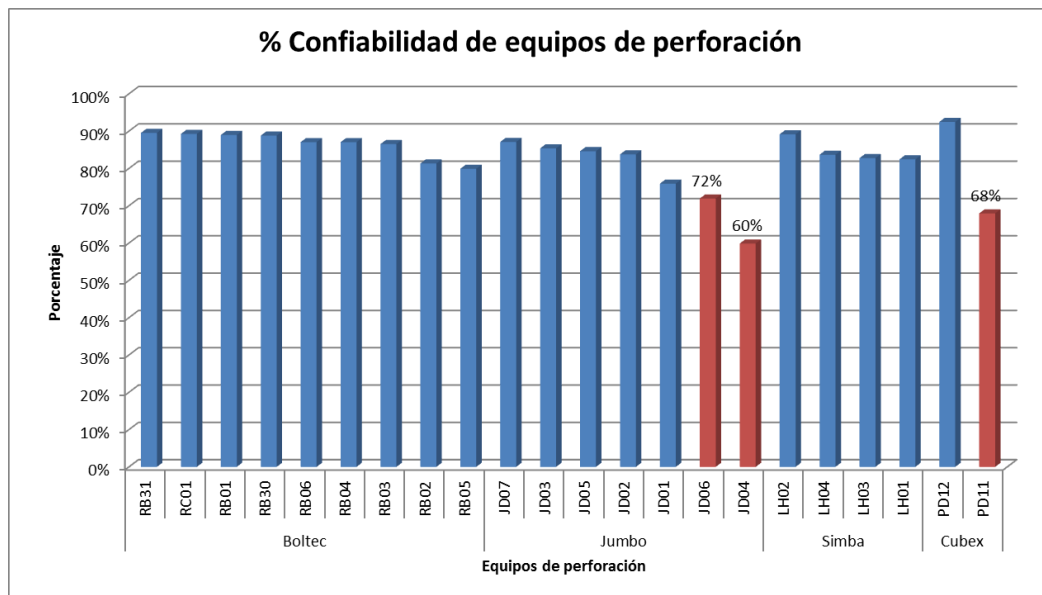
Tabla XXV. **Porcentaje promedio de confiabilidad por familia**

Familia	Confiabilidad
Boltec	86%
Jumbo	78%
Simba	84%
Cubex	80%

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta el gráfico de los valores mostrados en la tabla XXIV.

Figura 26. **Gráfico porcentaje de confiabilidad en mantenimiento**



Fuente: elaboración propia.

La gráfica muestra el análisis de confiabilidad que existe en los mantenimientos no programados realizados en los equipos. Para la familia

Boltec el porcentaje de confiabilidad de los equipos está por arriba del 80 %, por lo tanto, es aceptable según la tabla XX. de la sección 2.3.2.

En la familia de Jumbo se presentan los equipos JD06 con un 72 % y el equipo JD04 con un 60 % con bajo porcentaje de confiabilidad.

La familia de equipos Simba, igual que la Boltec presentan un alto porcentaje de confiabilidad arriba del 80 % por lo tanto presentan una alta confianza.

El equipo Cubex que presenta bajo porcentaje es el PD11 con 68 % de confiabilidad y, por lo tanto, no es aceptable, mientras que el equipo PD12 presenta una alta confianza del 92 %.

2.4. Costo de mantenimiento de equipos

Existen muchos factores para analizar el costo por mantenimiento de equipos, por lo tanto, se limitó al análisis de repuestos e insumos, ya que son las variables más importantes en el trabajo de mantenimiento. La mano de obra se compara con el tiempo de mantenimiento invertido en los equipos, que ya fue descrita en la tabla II.

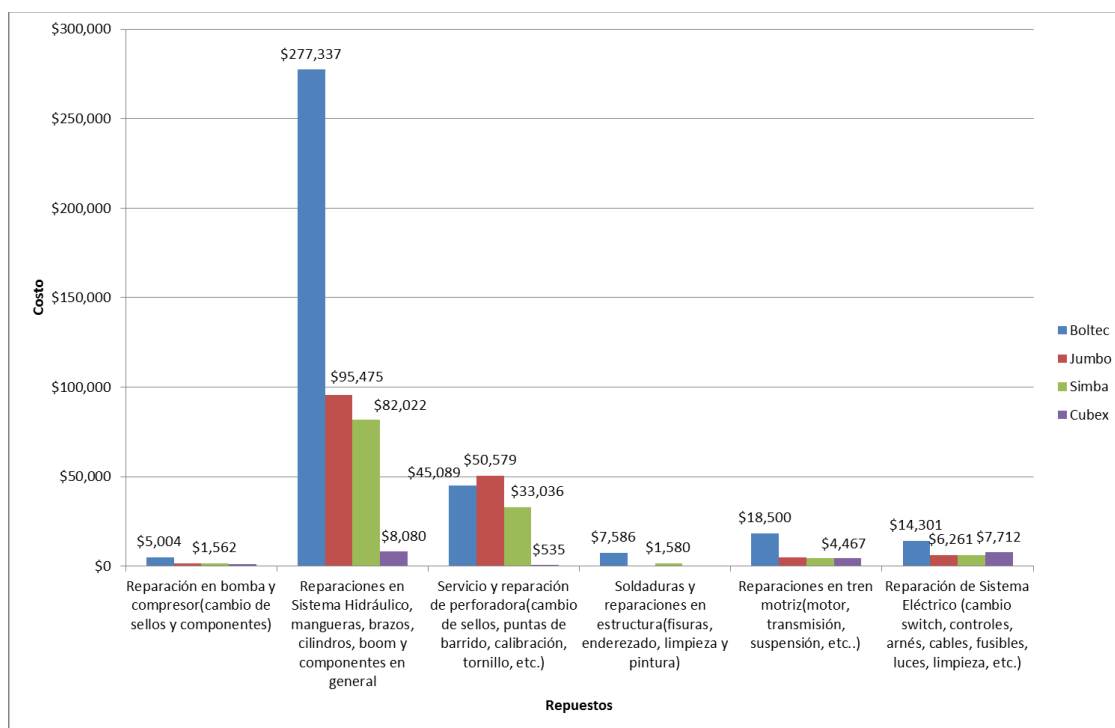
Los equipos conllevan un gasto a través del tiempo, se debe tomar en cuenta que, a mayor tiempo de trabajo, mayor será el desgaste, por lo tanto, el costo es mayor. No obstante, si el costo se mantiene esto indica que el equipo o los equipos aún se encuentran dentro de su periodo de vida útil.

También se deben considerar que los daños causados por mala operación influyen también en el desgaste.

2.4.1. Repuestos

Se recopiló información de los costos en repuestos utilizados para el mantenimiento. Se clasifico por componentes y familia de equipos. A continuación, se presenta el gráfico respectivo.

Figura 27. Gráfico costo repuestos



Fuente: elaboración propia.

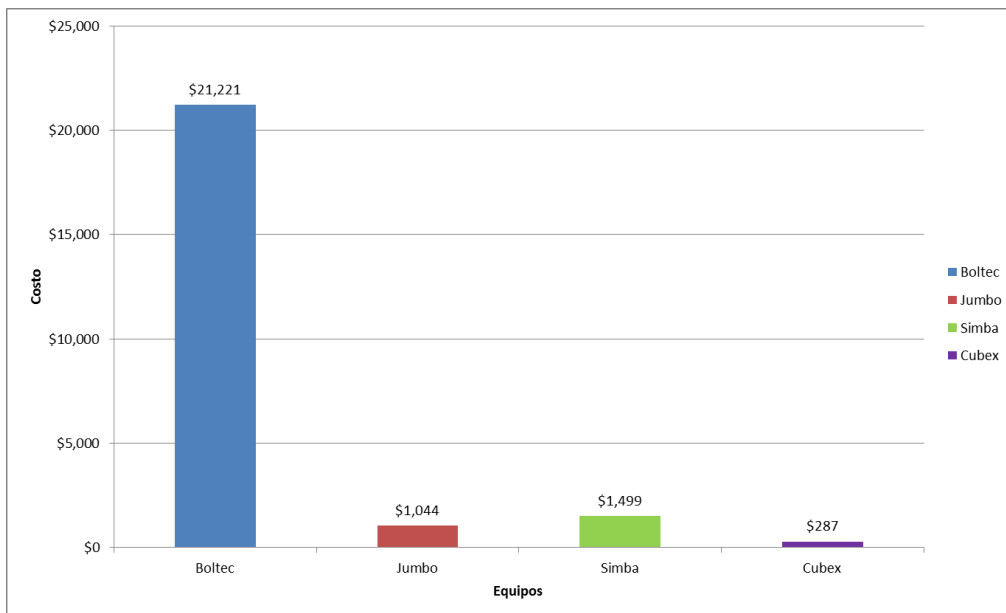
La gráfica muestra el costo de repuestos utilizados en componentes y subcomponentes de los sistemas principales de los equipos empleados en la perforación. La familia de equipos Boltec presenta mayor costo en repuestos, luego, están las familia Jumbo, Simba y Cubex.

El sistema hidráulico y la reparación de perforadoras requieren de los repuestos más caros.

2.4.2. Insumos

El costo de insumos es una parte muy importante en el mantenimiento, por lo tanto, hay que tomar en cuenta cuántos recursos son necesarios, esto contabiliza lo que es herramienta, waype, equipo de protección personal (solo si fuera necesario), grasas, aceites, entre otros.

Figura 28. **Gráfico costo insumos**



Fuente: elaboración propia.

El costo más alto de insumos lo comprende la familia de equipos Boltec.

2.5. Operación y mantenimiento de equipos

A continuación se describe un resumen sobre la operación mecanizada y los servicios de mantenimiento preventivos ejecutados en los equipos de perforación minera.

2.5.1. Operación

La perforación es una de las operaciones más importantes dentro de la actividad minera. Cualquiera que sea el método que se utilice, la perforación se basa en el principio de la percusión y el giro continuo de un barreno, de tal manera que cada giro produce un corte en la roca en diferente posición.

El propósito es abrir en la roca, huecos cilíndricos llamados taladros para alojar o colocar explosivo y sus accesorios en su interior.

El objetivo de la perforación es arrancar o volar la máxima cantidad de roca o mineral situando el explosivo en el lugar apropiado (en este caso el taladro). El fin es lograr el objetivo con el mínimo de explosivos que se pueda.

En otras palabras, la perforación debe volar cierta porción de roca o mineral, ya sea en un frente o en un *stopeo* tajeo. Para ello, primero se analiza la roca y luego se perfora una serie de taladros. De este modo, se podrá usar relativamente poco explosivo para poder volar un gran volumen.

Los equipos Boltec, Jumbo y Simba utilizan perforadoras hidráulicas para los trabajos de perforación. Utiliza la energía hidráulica para la transmisión, control de fuerzas y movimientos en la perforación.

Poseen un tablero de control computarizado, equipado con un software de perforación donde se gráfica el trazo de perforación requerido.

El equipo Cubex, es de tipo neumático su perforadora se emplea para la construcción de chimeneas y tajeado en labores de explotación.

2.5.2. Mantenimiento

La buena planificación y pronta ejecución genera altos índices de disponibilidad y reparación de equipos.

Es necesario saber con certeza qué clase de servicios se manejan en los equipos para tener una idea más amplia del estado en que se pueden encontrar y de qué manera se mantienen.

A continuación, se presenta una lista de los servicios que se aplican como mantenimiento preventivo por horas.

Tabla XXVI. **Listado de servicios preventivos por horas**

Equipos	Servicio	Servicio	Servicio	Servicio	Servicio
Boltec	50	100	250	500	1000
Jumbos	50	100	250	500	1000
Simba	50	100	250	500	1000
Cubex	---	100	250	500	1000
Equipo	Servicio	Servicio	Servicio		
Perforadoras	40	400	800		

Fuente: elaboración propia.

3. FASE DE DOCENCIA

3.1. Plan de contenido en charlas y capacitación

Se realizaron charlas sobre puntos a mejorar y sobre concientización. Estas charlas fueron impartidas a la parte operativa con ayuda de técnicos y supervisores.

Se sugiere realizar periódicamente este tipo de capacitaciones y charlas, para mantener al día al personal de los diferentes conceptos que se deben tener en cuenta, para mejorar y cuidar su proceso, sin importar cuál sea su área.

Tabla XXVII. **Plan de charlas y capacitación**

Tema	Definición	Método
Importancia y manejo de indicadores	Conceptos básicos	Magistral
	Concientización	
Importancia de los historiales de operación y mantenimiento	Conceptos para el uso adecuado	Magistral y practico

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Plan capacitación de controlador**

Presentación de mejoras y deficiencias a mejorar		
Controlador	Definición	Método
Introducción	Concepto teórico	Magistral
	Qué es, cómo funciona, para qué sirve	
Desarrollo	Concepto de indicadores para el manejo	Magistral y practico
	Orientación y pasos a seguir durante la operación y ejecución	
Ensayo y puesta a prueba	Ejecución de lo aprendido durante el proceso magistral	Práctica

Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Ejecución de charlas y capacitaciones**



Fuente: elaboración propia.

3.2. Importancia en el manejo de indicadores

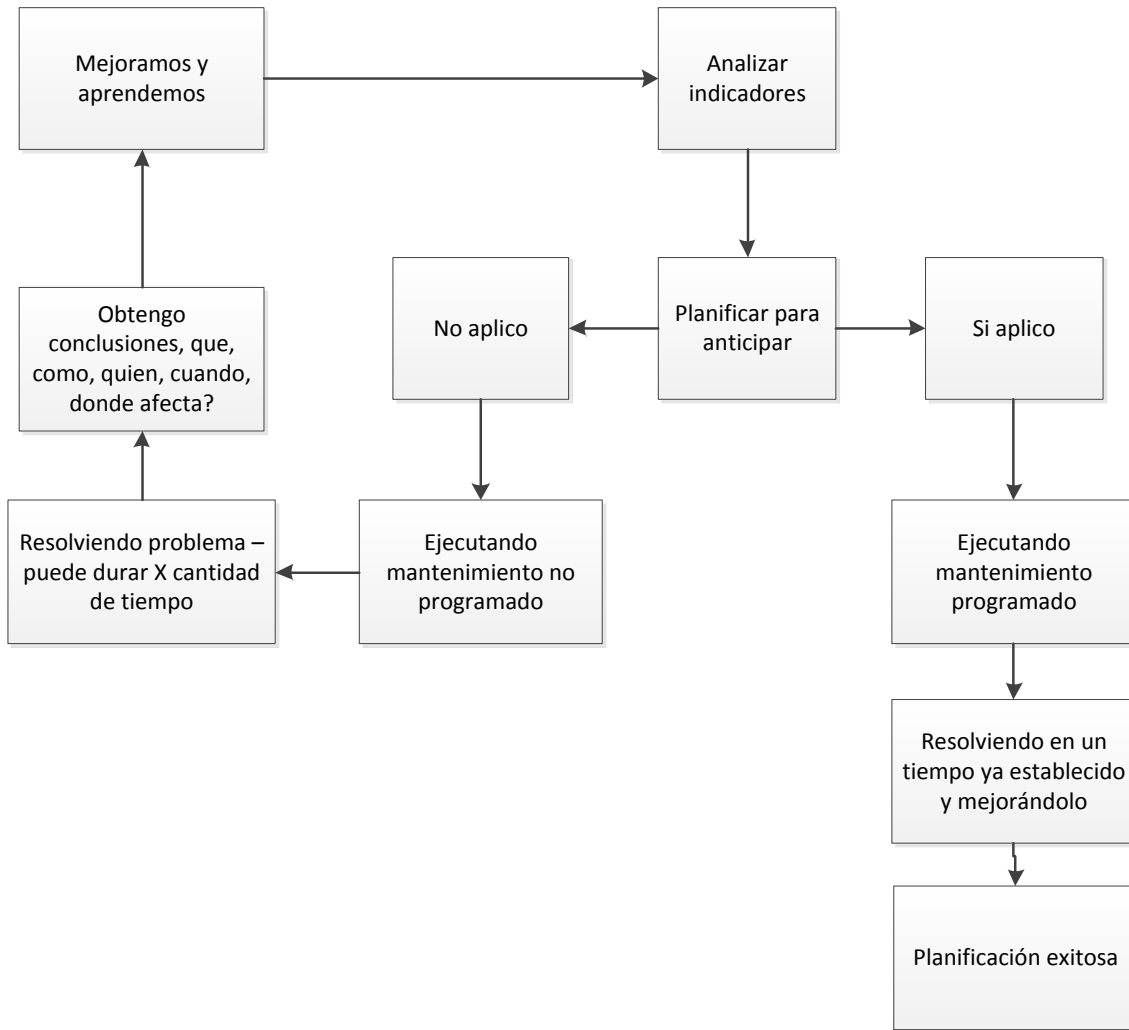
El manejo de indicadores es muy importante ya que miden la efectividad de un trabajo, saben si se está cumpliendo con los objetivos o incluso para motivar al personal.

Los indicadores varían dependiendo la estructura que posea la empresa y el departamento. El planificador puede estar interesado en las horas eficaces o invertidas en el trabajo para comparar con las planificadas, mientras que el supervisor operativo necesite saber las horas productivas de su personal, el jefe de supervisores y/o gerente esté interesado en los costos de mantenimiento.

Para que estos indicadores den un buen valor, deben ser tomados y leídos con suma responsabilidad y eficiencia para generar buenos resultados para cumplir las metas trazadas, por lo tanto, los técnicos, supervisores, planificadores y gerentes mantienen su trabajo en conjunto.

Siempre es necesario medir la información clave que nos permita generar resultados.

Figura 30. **Importancia de indicadores – mejora continua**



Fuente: elaboración propia.

El buen manejo de indicadores permite trazar un modelo de mejora continua para resolver problemas.

3.3. Importancia de los historiales de operación y funcionamiento

El servicio del mantenimiento comprende actividades que, al ejecutarse, proveen ese indicador que demuestra qué tan eficiente es el servicio.

Por lo tanto, los historiales de operación y funcionamiento de los equipos aportan ese dato necesario para la planificación del mantenimiento. El tiempo de vida útil que recorren los equipos y su funcionabilidad son importantes, por ello, deben medirse y registrarse de manera óptima.

Documentación que debe ser supervisada para lograr un buen historial de operación y funcionamiento:

- *Checklist* de los equipos
- Registro de backlogs
- Registro de horómetros
- Óptima toma de datos

La óptima toma de los datos es el factor principal que influye en los historiales de mantenimiento.

3.4. Presentación de mejoras y deficiencias a mejorar

Se presentan las mejoras realizadas y las deficiencias encontradas en el departamento de mantenimiento.

3.4.1. Mejoras

Se plantearon mejoras relacionadas con el control de tiempos de paro de equipo por mantenimiento durante la operación.

Los controles ejecutados obedecen a órdenes de trabajo registradas por los técnicos cuando realizan sus tareas. En ellas, indican el tiempo que dura la tarea de mantenimiento, pero estas órdenes miden el tiempo de trabajo en mano de obra (horas hombre), pero no cuentan el tiempo certero del paro de equipo, esto crea incertezas en los tiempos de las tareas registradas.

Por lo tanto, se propuso y se aprobó un formato para registrar los paros de equipos de manera paralela a las órdenes de trabajo, con esto, se establece un control individual que contabiliza, duración del mantenimiento, tipo de mantenimiento y falla encontrada.

Así mismo, se capacitó a las personas asignadas para realizar la tarea denominada controlador, para usar el nuevo formato. Este controlador controlará los paros por mantenimiento que surjan durante la operación de equipo.

A continuación, se presentan 2 formatos, el primero es dedicado al área de mina subterránea y el segundo al área de superficie:

Estos formatos ayudarán a retroalimentar el conocimiento del área operativa con respecto al tipo de trabajo que ejecutan.

Figura 33. Charlas de concientización

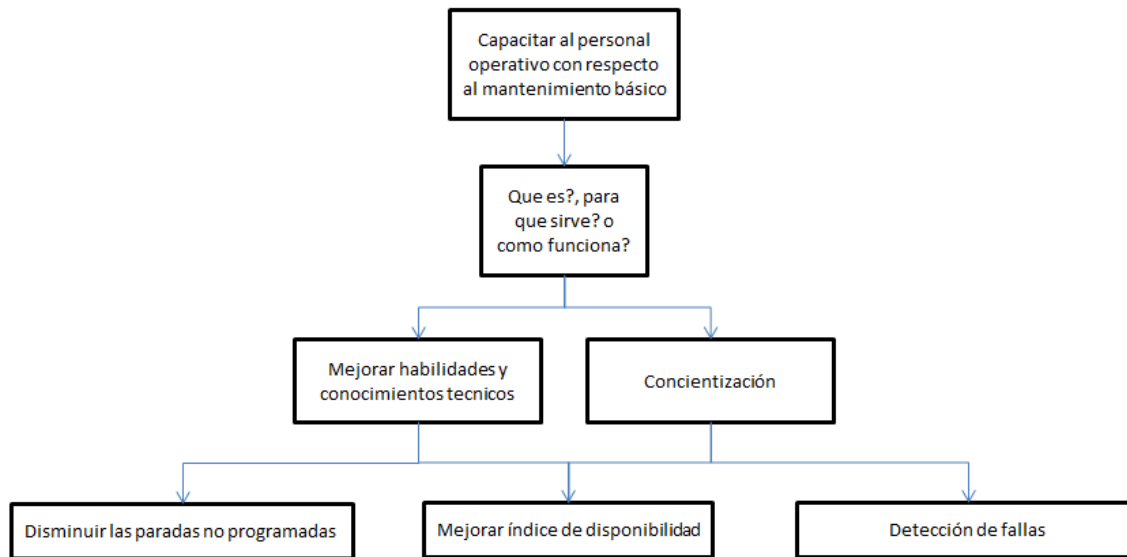


Fuente: charla de concientización y capacitación, Taller de Mantenimiento.

Se debe dar seguimiento al mantenimiento básico diario en los equipos, por ello, se propone que se ejecute una inspección diaria antes de operar. Este trabajo se debe planificar conjuntamente con los operadores de maquinaria y personal de mantenimiento.

El mantenimiento básico consiste en la lubricación y engrase de equipo e inspección del mismo, para la reducción del mantenimiento no programado, elevando el índice de disponibilidad y mantenibilidad.

Figura 34. **Objetivos plan mantenimiento básico**



Fuente: elaboración propia.

3.4.2. Deficiencias a mejorar

Si existen deficiencias, lo mejor es siempre colaborar en la mejora continua, por lo tanto, se deben realizar las siguientes acciones:

- Mejorar la mano de obra, sea esta propia o de terceros, se puede contratar personal especializado, o capacitar a los que ya laboran. Esto permitirá elevar la calidad del servicio y mantener al personal al día con las nuevas tecnologías.
- Reducir el tiempo de mantenimiento con un buen *stock* de repuestos, es necesario mantener la cantidad de repuestos que sean críticos para la ejecución de servicios de mantenimiento, por lo que es necesario revisar periódicamente los recursos y la programación. Las reparaciones no deben tardar más tiempo que el que necesiten para ejecutar la tarea y obviar el

tiempo de parada por haber dispuesto de repuestos e insumos, pues estos deben solicitarse con anticipación y los trabajos no deberían comenzar sin haber comprobado que estos aun estuviesen en el almacén.

- Mejorar el control del personal operativo en la ejecución de tareas por órdenes de trabajo, las inspecciones o las tareas no deben obedecer a un orden aleatorio, sino a un programa previamente acordado, porque esto genera descontrol e incerteza.
- Mejorar la comunicación entre los supervisores operativos y personal de planificación, dar seguimiento a tareas para encontrar soluciones y programar.

3.5. Ahorro de energía eléctrica en taller mina

Para una disminución de la intensidad eléctrica mediante el cambio de actividades que requieren insumos de energía, se puede ahorrar energía adoptando medidas técnicas, organizativas, institucionales y estructurales.

El consumo de energía se reduce si se utiliza de forma más eficiente, invirtiendo en equipamiento energéticamente eficiente y en medidas de ahorro energético. Además, adoptando un estilo de vida responsable con el uso de energía, por ejemplo, dejar apagada la luz de la oficina o bodega cuando no se está usando, reducir el uso de aire acondicionado, optimizar uso de la grúa puente.

Factores por revisar:

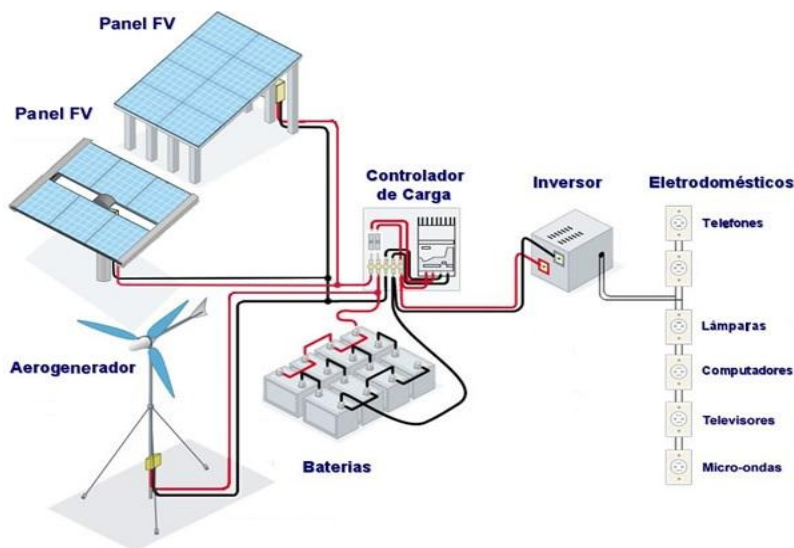
- Medidores de energía que ayuden a optimizar costos.

- Registros o historiales de equipos activados continuamente, como compresores, aires acondicionados, bombas, grúas, para realizar un control de equipos, que generan consumo de energía.
- Consultar variaciones de tensión al proveedor, para maximizar la eficiencia energética.

Se puede construir un panel solar que suministre energía durante la noche para alimentar la iluminación del taller.

Se considerará realizar un estudio para utilizar energía eólica, ya que durante el periodo de octubre a enero, el aire en esa región aumenta considerablemente, por lo que se podría construir una pequeña estación para alimentar la iluminación del edificio y aparatos como microondas, refrigerador, computadoras y ventiladores.

Figura 35. **Opciones de ahorro de energía**



Fuente: Solventoenergia. solventoenergia.blogspot.com/2013/11/sistema-de-geracao-fotovoltaica-eolico.html. Consulta: abril de 2018.

CONCLUSIONES

1. Se observó que los equipos Boltec son prioridad para la planificación del mantenimiento, ya que presentan la mayor incidencia de fallas, mayor tiempo de operación y mantenimiento, por tanto es necesario reforzar los controles con respecto a la planificación.
2. Por medio del análisis se observa que la mantenibilidad en los mantenimientos no programados es óptima, pero cabe resaltar que equipos Boltec y Simba poseen un tiempo óptimo pero por debajo de los equipos Jumbo y Cubex.
3. Detectar posibles fallas futuras y resolver trabajos pendientes es muy importante, por lo que es necesario mejorar la ejecución de los *backlogs* que se encuentran pendientes. Se debe cumplir con los trabajos críticos e inmediatos, pero es necesario concluir con los que se encuentran en espera para evitar acumulación y fallas, por lo tanto, es necesario mejorar el seguimiento en la planificación de los *backlogs* atrasados.
4. A través de los costos de mantenimiento se observa que el sistema hidráulico y perforadoras, son prioritarios en el manejo de presupuesto y *stock* en bodega.
5. Con el registro del controlador, se podrá dar un mejor seguimiento para el análisis de fallas y tiempos de paradas por mantenimiento de equipos, ya que actualmente no existe un registro que permita facilitar dicho análisis de una manera certera.

RECOMENDACIONES

1. Dar seguimiento a las tareas de mantenimiento que surjan durante la operación, para aumentar la eficiencia del mantenimiento preventivo.
2. Capacitar continuamente al personal y fomentar la mejora continua dentro del departamento para aumentar las habilidades y el conocimiento.
3. Para el desarrollo de planes, es necesario involucrar a todos los miembros del grupo, para dar seguimiento a las tareas y realizar consultas o sugerencias.
4. Priorizar los planes de mantenimiento en los equipos Boltec para mejorar el índice de disponibilidad y optimizar el tiempo en mantenimientos no programados.
5. Ejecutar periódicamente el análisis de fallas para optimizar el mantenimiento no programado e identificar las causas que generan dicha parada que a su vez ayudará a optimizar el *stock* de componentes.

BIBLIOGRAFÍA

1. PASCUAL, Rodrigo. *Gestión Moderna del Mantenimiento*. Santiago de Chile: U. de Chile, 2002. 280 p.
2. Tahoe Resources. *Escobal Mine Guatemala*. [en línea]. <www.tahoeresources.com/wp-content/uploads/2014/11/EM_FeasibilityCOMPLETE.zip> [Consulta: 10 noviembre de 2017].
3. GARRIDO, Santiago. *Mantenimiento su implementación y gestión*. [en línea]. <<https://es.scribd.com/doc/136615587/Mantenimiento-su-implementacion-y-su-gestion>> [Consulta: 02 de diciembre 2017].
4. Municipalidad de San Rafael las Flores. *Municipio de San Rafael las Flores*. [en línea]. <<http://www.munisanrafaellasflores.gob.gt/m/>> [Consulta: octubre 2017].
5. OLCOT EJCALÓN, Henry. *Implementación de un análisis de fallas recurrentes para los telares de la empresa Sacos Agro-Industriales, S.A.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2010. 284 p.
6. LÓPEZ GONZÁLEZ, Julio. *Programa de mantenimiento preventivo en los equipos críticos de Lancasco, S.A.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 87 p.

7. AMENDOLA, L. *Indicadores de confiabilidad, propulsores en la gestión del mantenimiento*. Universidad Politécnica Valencia España. [en línea]. <www.mantenimientomundial.com> [Consulta: 5 de enero 2018].

8. NUÑEZ, Mauricio. *Desarrollo de un estudio de fallas en una flota de camiones blindados bajo la filosofía de confiabilidad operacional*. Informe de graduación de Ing. Mecánica. Universidad Simón Bolívar, Facultad de Ingeniería, 2006. 77 p.