



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

**INDICADORES DE CLASE MUNDIAL UTILIZADOS COMO HERRAMIENTA DE
CONTROL EN LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO
DE EQUIPO PESADO, EN MINERÍA SUBTERRÁNEA DE ORO**

Otto Edmundo Soria Medina

Asesorado por el Ing. Jaime Enrique Cáceres Díaz

Guatemala, mayo de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

INDICADORES DE CLASE MUNDIAL UTILIZADOS COMO HERRAMIENTA DE CONTROL EN LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE EQUIPO PESADO, EN MINERÍA SUBTERRÁNEA DE ORO

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

OTTO EDMUNDO SORIA MEDINA

ASESORADO POR EL ING. JAIME ENRIQUE CÁCERES DÍAZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MAYO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. José Ismael Véliz Padilla
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

INDICADORES DE CLASE MUNDIAL UTILIZADOS COMO HERRAMIENTA DE CONTROL EN LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE EQUIPO PESADO, EN MINERÍA SUBTERRÁNEA DE ORO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 18 de septiembre de 2014.

Otto Edmundo Soria Medina



Guatemala, 6 de noviembre de 2014

Ingeniero
Julio Cesar Campos Paiz
Director de la escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Ingeniero Campos:

Por este medio informo, como Asesor del estudiante Otto Edmundo Soria Medina, quién se identifica con carné universitario 200714323, de la carrera de Ingeniería Mecánica, tuve a bien revisar y corregir el trabajo de Graduación con el tema: **"INDICADORES DE CLASE MUNDIAL UTILIZADOS COMO HERRAMIENTA DE CONTROL EN LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE EQUIPO PESADO, EN MINERÍA SUBTERRÁNEA DE ORO"**, el cual a mi criterio cumple con los requerimientos de un trabajo de esta índole.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,



Jaime Enrique Cáceres Díaz
Ingeniero Mecánico
Colegiado No. 2105

JAIME ENRIQUE CÁCERES DÍAZ
INGENIERO MECÁNICO
COLEGIADO No. 2105



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.306.2014

El Coordinador del Área de Complementaria, de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado **INDICADORES DE CLASE MUNDIAL UTILIZADOS COMO HERRAMIENTA DE CONTROL EN LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE EQUIPO PESADO, EN MINERÍA SUBTERRÁNEA DE ORO**. Del estudiante **Otto Edmundo Soria Medina**, recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador del Área de Complementaria
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, noviembre de 2014.



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.171.2015

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 **INDICADORES DE CLASE MUNDIAL UTILIZADOS COMO HERRAMIENTA DE CONTROL EN LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE EQUIPO PESADO, EN MINERÍA SUBTERRÁNEA DE ORO** Del estudiante **Otto Edmundo Soria Medina**, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"

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



Guatemala, mayo de 2015.

Universidad de San Carlos
de Guatemala

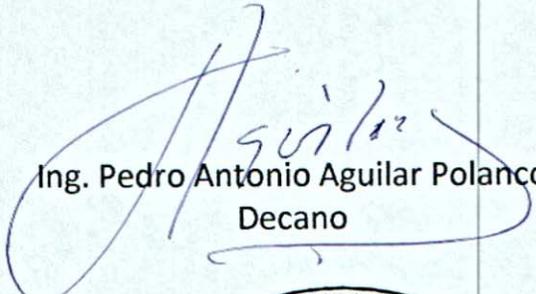


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 211.2017

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: **INDICADORES DE CLASE MUNDIAL UTILIZADOS COMO HERRAMIENTA DE CONTROL EN LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE EQUIPO PESADO, EN MINERÍA SUBTERRÁNEA DE ORO**, presentado por el estudiante universitario: **Otto Edmundo Soria Medina**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, mayo de 2017

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser la base de mi vida, por sus bendiciones y permitirme alcanzar este logro.
Mis padres	Otto Soria y Rebeca Medina, por ser los guías de mi vida. Por el amor y el apoyo incondicional que me han brindado.
Mis hermanas	Paola y Cynthia Soria Medina, por el apoyo que siempre me han dado.
Mi sobrino	Matías Soria, por ser la luz y alegría de mi vida.
Mis tíos	Por ayudarme a alcanzar esta meta. Por abrir las puertas de su casa y no dejarme solo en ningún momento.
Mis primos	Por su compañía a lo largo de estos años. Que este logro los motive a alcanzar los propios.
Mis abuelos	Por estar al pendiente de mí y apoyarme en el transcurso de mi vida.
Mis amigos	Por estar conmigo en los momentos buenos y malos, haciendo de estos años los mejores.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mí casa de estudios y permitirme ser un sancarlista.
Facultad de Ingeniería	Por los conocimientos adquiridos a través de los años de estudio.
Mis amigos de la Facultad	Por salir adelante juntos durante estos años.
Jaime Cáceres	Por su ayuda y apoyo en la culminación de mi carrera.

	1.2.6.7.2.	Licencias de exploración.....	12
	1.2.6.7.3.	Licencias de explotación	13
	1.2.6.8.	Estadísticas mineras en Guatemala	13
1.3.		Mantenimiento de equipo pesado en mina subterránea.....	14
	1.3.1.	¿Qué es el mantenimiento?	14
	1.3.2.	Gestión del mantenimiento.....	15
	1.3.3.	Análisis funcional de la gestión del mantenimiento.....	17
	1.3.4.	Evolución de la gestión del mantenimiento	19
	1.3.5.	Rentabilidad y disminución de costos	20
	1.3.6.	Situación existente	22
	1.3.7.	Tipos de mantenimiento	24
	1.3.7.1.	Mantenimiento correctivo	24
	1.3.7.2.	Mantenimiento preventivo	25
	1.3.7.3.	Mantenimiento predictivo.....	26
1.4.		Indicadores de gestión	26
	1.4.1.	Indicadores de clase mundial.....	28
	1.4.2.	Qué se debe medir y por qué	28
	1.4.3.	Criterios para establecer indicadores	30
	1.4.4.	Datos e información útil.....	31
2.		SITUACIÓN ACTUAL	35
	2.1.	Grupo EMO, S. A.	35
	2.1.1.	Principios.....	36
	2.1.1.1.	Productividad.....	36
	2.1.1.2.	Confiabilidad.....	36

	2.1.1.3.	Seguridad industrial y salud ocupacional.....	37
	2.1.1.4.	Equipo especializado y maquinaria	37
	2.1.2.	Historia	37
	2.1.3.	Misión	38
	2.1.4.	Visión.....	38
	2.1.5.	¿Qué hacemos?	39
2.2.		Estado del área de Mantenimiento de Maquinaria Pesada	39
2.3.		Condiciones y tipos de máquinas	41
	2.3.1.	Equipo de perforación.....	42
	2.3.2.	Equipo de anclaje o sostenimiento	43
	2.3.3.	Equipos de carga y transporte	44
2.4.		Sistemas de los equipos.....	46
	2.4.1.	Motor	46
		2.4.1.1. Alimentación de combustible	47
	2.4.2.	Transmisión	54
	2.4.3.	Corriente eléctrica.....	55
	2.4.4.	Dirección.....	57
	2.4.5.	Frenos	58
	2.4.6.	Sistema de suspensión.....	59
	2.4.7.	Ruedas	60
	2.4.8.	Chasis.....	60
	2.4.9.	Perforación	60
2.5.		Condiciones de trabajo de las máquinas en minería subterránea	61
2.6.		Rutinas de mantenimiento	66
	2.6.1.	Diariamente o cada 10 horas.....	66
	2.6.2.	Cada 250 horas	67
	2.6.3.	Cada 500 horas	67

2.6.4.	Cada 1 000 horas.....	68
2.6.5.	Cada 2 000 horas.....	68
2.6.6.	Consecuencias de frecuencias inadecuadas en el mantenimiento preventivo.....	69
2.6.6.1.	Bajo mantenimiento.....	69
2.6.6.2.	Sobre mantenimiento	69
3.	PLAN DE MANTENIMIENTO.....	71
3.1.	Generación de un plan de mantenimiento.....	71
3.1.1.	Objetivo	71
3.1.2.	Definición.....	72
3.1.3.	Alcances.....	72
3.1.4.	Estrategias de implementación	72
3.1.5.	Resultados esperados.....	73
3.2.	Pasos para la implementación de un plan de mantenimiento.....	73
3.2.1.	Definición de objetivos, estrategias y responsabilidades de mantenimiento	73
3.2.2.	Jerarquización de equipos.....	74
3.2.3.	Análisis de puntos débiles en equipos de alto impacto.....	75
3.2.4.	Diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios	76
3.2.5.	Programación del mantenimiento y optimización en la asignación de recursos.....	77
3.2.6.	Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento.....	78
3.2.7.	Análisis del ciclo de vida y de la posible renovación de equipos	78

3.3.	Implementación	79
4.	HERRAMIENTA DE CONTROL.....	89
4.1.	Indicadores	89
4.1.1.	Indicador de disponibilidad mecánica	89
4.1.2.	Indicador de utilización	90
4.1.3.	Indicador de tiempo medio entre fallas	91
4.1.4.	Indicador de tiempo medio para reparaciones.....	91
4.2.	Fallas en las máquinas.....	92
4.2.1.	Definición	92
4.2.2.	Origen de las fallas	93
4.2.3.	Diagnóstico de fallas.....	93
4.3.	Clasificación de las fallas.....	94
4.3.1.	Fallas tempranas	94
4.3.2.	Fallas adultas.....	94
4.3.3.	Fallas tardías	94
4.3.4.	Estadística real de fallas en las máquinas.....	95
4.4.	Desarrollo de tablero control de indicadores	97
4.5.	Interpretación de resultados y toma de decisiones.....	99
	CONCLUSIONES	101
	RECOMENDACIONES.....	103
	BIBLIOGRAFÍA.....	105
	ANEXOS.....	107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa catastral de Guatemala	11
2.	Estadísticas en Guatemala 2014	13
3.	Costos de mantenimiento.....	21
4.	Organigrama gerencial.....	40
5.	Personal administrativo de proyectos.....	40
6.	Personal de campo en proyectos.....	41
7.	Equipo de perforación	43
8.	Equipo de sostenimiento	44
9.	Equipo de acarreo	45
10.	Equipo de carga	45
11.	Motor diésel Cummins.....	47
12.	Bomba de cebado	48
13.	Bombas de inyección para motores diésel.....	51
14.	Diagrama del circuito de lubricación diésel	53
15.	Motor de arranque.....	55
16.	Alternador.....	56
17.	Pistolas de perforación.....	61
18.	Disposición típica de una mina.....	63
19.	Derrumbe de material en túneles	64
20.	Condición en interior de túnel.....	65
21.	Accidente en descarga de material	65
22.	Análisis causa-efecto	81
23.	Diagrama de procesos en mantenimiento.....	86

24.	Fallas en equipo 1.....	95
25.	Fallas en equipo 2.....	96
26.	Fallas en equipo 3.....	96
27.	Fallas en equipo 4.....	97
28.	Tablero control de indicadores.....	98

TABLAS

I.	Tiempo de vida útil de maquinaria pesada y subterránea.....	42
II.	Costos máximos para maquinaria.....	87

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm²	Centímetro cuadrado
DM	Disponibilidad Mecánica
kg	Kilogramo
RCM	Método de implementación de un plan de mantenimiento
OT	Orden de trabajo
H200	Pistola de equipo de percusión
HLX5	Pistola de equipo de perforación
MTBF	Tiempo medio entre fallas
MTTR	Tiempo medio para reparaciones
U	Utilización
V	Voltio

GLOSARIO

Bomba	Máquina que se usa para extraer, elevar o impulsar líquidos y gases de un lugar a otro.
Combustión	Reacción química que se produce entre el oxígeno y un material oxidable, que va acompañada de desprendimiento de energía y habitualmente se manifiesta por incandescencia o llama.
Compresor	Un compresor es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tal como gases y los vapores.
Eficiencia	La eficiencia de una máquina térmica es un coeficiente o ratio adimensional calculado como el cociente de la energía producida (en un ciclo de funcionamiento) y la energía suministrada a la máquina.
Fiabilidad	Probabilidad de que un sistema, aparato o dispositivo cumpla una determinada función bajo ciertas condiciones durante un tiempo determinado.
Gestión	Conjunto de operaciones que se realizan para dirigir y administrar un negocio o una empresa.

Hidráulica	Parte de la mecánica que estudia el equilibrio y el movimiento de los fluidos.
Hidrocarburos	Compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno.
Indicadores	Son puntos de referencia, que brindan información cualitativa o cuantitativa, conformada por uno o varios datos, constituidos por percepciones, números, hechos, opiniones o medidas, que permiten seguir el desenvolvimiento de un proceso y su evaluación, deben guardar relación con el mismo.
Mantenibilidad	Propiedad de un sistema que representa la cantidad de esfuerzo requerida para conservar su funcionamiento normal o para restituirlo una vez se ha presentado un evento de falla.
Minerales	Sustancia natural que se diferencia del resto por su origen inorgánico, su homogeneidad, composición química preestablecida y que corrientemente ostenta una estructura de cristal.
Minería	Actividad de explotar las minas, extraer minerales.
Motor	Un motor es la parte sistemática de una máquina capaz de hacer funcionar el sistema, transformando algún tipo de energía (eléctrica, de combustibles

fósiles, otros), en energía mecánica capaz de realizar un trabajo.

Overhaul

Reparación realizada en motores de combustión al momento de presentar una falla que le impida seguir con su buen funcionamiento.

Parámetros

Dato que se considera como imprescindible y orientativo para lograr evaluar o valorar una determinada situación.

Petróleo

Sustancia compuesta por una mezcla de hidrocarburos, de color oscuro y olor fuerte, de color negro y más ligera que el agua, que se encuentra en estado natural en yacimientos subterráneos de los estratos superiores de la corteza terrestre. Su destilación fraccionada da productos de gran importancia industrial como la gasolina, el queroseno, el alquitrán, los disolventes, otros.

Planificación

Es un proceso de toma de decisiones para alcanzar un futuro deseado, teniendo en cuenta la situación actual y los factores internos y externos que pueden influir en el logro de los objetivos.

Presión

Fuerza que ejerce un gas, un líquido o un sólido sobre una superficie.

Sensor	Dispositivo que capta magnitudes físicas (variaciones de luz, temperatura, sonido, otros) u otras alteraciones de su entorno.
Tacómetro	Instrumento para medir la velocidad de rotación de un mecanismo de la máquina al que va acoplado. Generalmente, indica la velocidad en revoluciones por minuto.
Termómetro	Instrumento que sirve para medir la temperatura. El más habitual consiste en un tubo capilar de vidrio cerrado y terminado en un pequeño depósito que contiene una cierta cantidad de mercurio o alcohol, el cual se dilata al aumentar la temperatura o se contrae al disminuir y cuyas variaciones de volumen se leen en una escala graduada.
Túnel	Un túnel es una obra subterránea de carácter lineal que comunica dos puntos para el transporte de personas o materiales.
Turbocompresor	Sistema de sobrealimentación que usa una turbina centrífuga para accionar mediante un eje coaxial con ella, un compresor centrífugo para comprimir gases.
Velocímetro	Es un medidor que indica la velocidad de un vehículo de motor u otro medio de transporte.

Vibraciones

Propagación de ondas elásticas produciendo deformaciones y tensiones sobre un medio continuo.

RESUMEN

En Guatemala, en la última década, se ha desarrollado a grandes pasos la industria minera, esto se debe a la apertura de proyectos y a la ampliación de los existentes para la extracción de oro y otros metales. El área de Mantenimiento de Maquinaria pesada es de suma importancia, ya que del buen funcionamiento de esta área depende en gran parte la producción que se obtenga en el proyecto. Dicho funcionamiento se relaciona con varias áreas internas, la cual es medida en base a indicadores para reflejar la realidad en la que se encuentra la misma.

En mantenimiento es fundamental tener en cuenta que la inteligencia, imaginación y prontitud en la toma de decisiones para solucionar los innumerables problemas que se presentan en el quehacer diario, son esenciales, únicamente la efectividad en el medio y largo plazo los convierte en resultados duraderos. Ello exige medidas objetivas que permitan evaluar situaciones de partida y proyecciones en el medio y largo plazo.

A través del tiempo se ha dado gran importancia a la optimización de costos para la generación de sus productos, es aquí donde la función mantenimiento juega un papel destacado en el cumplimiento de esta meta. Esto debido a que se pretende mayor disponibilidad de los sistemas productivos, para que la producción sea alta con un mínimo de retrocesos y paradas no programadas que afectan la capacidad de respuesta. Es así, como la función del mantenimiento debe estar en una continua evaluación para lograr la optimización del mismo. Una forma de encontrarlo es por medio de la generación, aplicación y evaluación de indicadores de gestión, a fin de llevar un

control que permita minimizar los tiempos de entrega, lo que traerá como consecuencia mayor margen de ganancia o beneficio a través de mínimos costos operacionales.

Lo que se debe definir es, cuáles serán esos indicadores. Hay que tener cuidado en la elección, pues se corre el riesgo de utilizar como tales una serie de números que no nos aporten ninguna información útil. Se requiere tomar datos, procesarlos y obtener a cambio otra información. La magnitud de los indicadores sirve para comparar con un valor o nivel de referencia, con el fin de adoptar acciones correctivas, modificativas, predictivas, según sea el caso. Los indicadores de gestión aportan una visión completa que evalúa diversos aspectos de la gestión del Departamento.

OBJETIVOS

General

Determinar los indicadores de clase mundial para el control en la gestión de mantenimiento preventivo y correctivo de equipo pesado en la minería subterránea de oro.

Específicos

1. Obtener el conocimiento mínimo necesario para interpretar los indicadores y de esta forma determinar con facilidad las fortalezas y debilidades del área.
2. Determinar las formas de cálculo más eficientes para cada tipo de indicador.
3. Inducir al estudiante de la carrera de Ingeniería Mecánica al estudio de indicadores de gestión.
4. Establecer un control completo, preciso y práctico a través de los indicadores de gestión, aplicado al área de Mantenimiento.

INTRODUCCIÓN

La industria minera es una de las de mayor producción a nivel mundial, esto debido a los altos precios que son cotizados los minerales que se extraen en estos procesos, entre los cuales se encuentran oro, plata, bronce, níquel, diamante, carbón, hierro, otros.

En Guatemala, en la última década esta industria ha crecido de una forma acelerada, una de las áreas más importantes es la de mantenimiento del equipo de minería, ya que sin máquinas en buen estado, sería difícil efectuar las tareas de extracción y producción.

Debido a esto nace la necesidad de establecer un control eficiente, práctico y confiable, sobre el estado y rendimiento de las máquinas y lo que tenga relación al área de mantenimiento. Este control se puede llevar a cabo a través de los indicadores de gestión, que constituyen una herramienta muy útil y práctica para medir con números el estado en que se encuentran los procesos y/o trabajos realizados en la gestión.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Minería extractiva de oro en Guatemala

En Guatemala, la explotación de metales se remonta a los períodos previos a la colonización. Originalmente los metales se usaban como materia prima para la elaboración de herramientas, armamentos, elementos de trueque u objetos ornamentales. La explotación de los minerales, con fines de lucro, tal y como se practica hoy, proviene de la explotación de oro y plata en la época colonial. Una de las características a destacar sobre la extracción de minerales ha sido sobre explotación que la población indígena sufrió en los centros de producción. Hoy día estos centros en su mayoría son desconocidos por haber sido ocultados por los explotadores de aquellos tiempos. Algunos se han descubierto en los alrededores de Huehuetenango, ciudad de Guatemala o Zunil.

Los conflictos posteriores a la independencia de Guatemala (1821) desencadenaron un descenso en las actividades mineras del país. Ello se debió a los disturbios generados en la región por los repetidos enfrentamientos entre los diferentes movimientos independentistas. Las actividades mineras empezaron entonces a depender de los precios de los metales en el mercado internacional.

A mediados del siglo XX se intensificó la extracción de metales (principalmente de oro y plata), dando origen a los fundamentos legales que han regulado la actividad hasta la fecha. A partir de 1954, se promulgaron de manera sistemática códigos de extracción minera, lo que puso en evidencia, la

tendencia del Estado guatemalteco a facilitar los intereses de las empresas mineras.

A finales de 1965, por sugerencia de la empresa International Nickel Company (INCO), fue aprobado un código de minería donde se acreditaban grandes beneficios a las empresas extranjeras. Durante la época de 1970 a 1980, se tuvo un auge en la explotación en el país. Tras un aparente paréntesis durante las décadas de 1980 y 1990, marcado por el conflicto armado interno y las primeras negociaciones hacia la paz, la problemática de la minería de metales regresó públicamente a la coyuntura guatemalteca a finales del 2003, debido a que el Estado guatemalteco otorgó una licencia de explotación de metales a la compañía Glamis Gold Ltd.

El proyecto de explotación minera de oro y plata Marlin se localiza entre los municipios de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa en el departamento de San Marcos, y es propiedad de la empresa Glamis Gold Ltd., con sede en Reno, Nevada (Estados Unidos). Se estima que la Mina Marlin tiene un potencial de 2,3 millones de onzas de oro y 36 millones de onzas de plata, la licencia de explotación del proyecto Marlin se aprobó en noviembre de 2003 y actualmente se sigue ejecutando el proyecto. Actualmente, se cuenta con este proyecto y otros más, siendo la industria minera una de las más sólidas en el país y una de las que más problemas atraen debido a las constantes protestas en contra de esta.

1.2. Ministerio de Energía y Minas

Ente encargado de atender lo relativo al régimen jurídico aplicable a la producción, distribución y comercialización de la energía y de los hidrocarburos, y a la explotación de los recursos mineros.

1.2.1. Reseña histórica

La Dirección General de Minería, Industrias Fabriles y Comercio, adscrita a la Secretaría de Fomento, fue creada el 01 de julio de 1907, siendo nombrado el señor Manuel Lemus, como el primer director.

En la década de los años cuarenta se creó el Instituto Nacional de Petróleo. Posteriormente en los años cincuenta, la Dirección General de Minería, Industrias Fabriles y Comercio, cambió de denominación a únicamente Dirección General de Minería, fusionándose con el referido Instituto para llegar a formar la Dirección General de Minería e Hidrocarburos, adscrita al Ministerio de Economía.

Conforme la Ley que regulaba las actividades del Organismo Ejecutivo, correspondía al Ministerio de Economía conocer todo lo relativo a los hidrocarburos, minas y canteras, pero por lo creciente y complejo de tales actividades fue necesario separar de dicho Ministerio, la Dirección General de Minería e Hidrocarburos, dando vida mediante el Decreto-Ley 57-78 a la Secretaría de Minería, Hidrocarburos y Energía Nuclear, adscrita a la Presidencia de la República.

Ante el crecimiento e importancia de las actividades relativas al desarrollo de la industria petrolera y minera, y el aprovechamiento del uso pacífico de la energía nuclear y de las fuentes nuevas y renovables de energía, cambió la denominación de tal secretaría mediante el Decreto-Ley Número 86-83, llamándose Secretaría de Energía y Minas. No obstante que la emisión de este Decreto-Ley significó un avance para que dicha secretaria cumpliera en mejor forma sus funciones, se hizo necesario contar con un órgano más especializado que atendiera y dinamizara el desarrollo en el sector, dando lugar a que por

medio del Decreto Ley N° 106-83 de fecha 8 de septiembre de 1983, naciera a la vida política del país el Ministerio de Energía y Minas, tomando vigencia a partir del 10 de septiembre de ese mismo año.

1.2.2. Visión

“Institución rectora de los sectores energético y minero, que fomenta el aprovechamiento adecuado de los recursos naturales del país.

Se conforma un equipo de trabajo multidisciplinario capacitado que cumple con la legislación y la política nacional, propiciando el desarrollo sostenible; en beneficio de la sociedad.

1.2.3. Misión

Propiciar y ejecutar las acciones que permitan la inversión destinada al aprovechamiento integral de los recursos naturales, que proveen bienes y servicios energéticos y mineros velando por los derechos de sus usuarios y de la sociedad en general.

1.2.4. Objetivos estratégicos

Los objetivos presentados forman las metas estratégicas del Ministerio de Energía y Minas para el período del 2006 al 2015. Dichos objetivos están basados en alcanzar el cumplimiento de las políticas de este ente, y estos son:

- La satisfacción de los requerimientos energéticos y mineros, dentro de los estándares de calidad, en todo el país.

- Promover la diversificación de la oferta energética, con enfoque en las fuentes de energía renovables.
- Promover el consumo eficiente y productivo de los recursos energéticos y mineros.
- Adoptar las medidas que sean necesarias para la conservación, desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y no renovables en forma eficiente.
- Crear las condiciones adecuadas para promover la inversión de capitales nacionales y extranjeros dentro de los sectores energético y minero.

1.2.5. Marco legal

Proporciona las bases sobre las cuales las instituciones construyen y determinan el alcance y naturaleza de la participación política. Regularmente se encuentran provisiones regulatorias y leyes interrelacionadas entre sí. El marco legal del Ministerio de Energía y Minas está compuesto por:

- Constitución Política de la República
 - Artículo 125. Explotación de recursos naturales no renovables. Se declara de utilidad y necesidad públicas, la explotación técnica y racional de hidrocarburos, minerales y demás recursos naturales no renovables.
 - Artículo 129. Electrificación. Se declara de urgencia nacional, la electrificación del país, con base en planes formulados por el Estado y las municipalidades, en la cual podrá participar la iniciativa privada.

- Ley del Organismo Ejecutivo (Decreto 114-97)
 - Artículo 34. Ministerio de Energía y Minas. Le corresponde atender lo relativo al régimen jurídico aplicable a la producción, distribución y comercialización de la energía y de los hidrocarburos, y a la explotación de los recursos mineros.

- Reglamento Orgánico Interno del Ministerio de Energía y Minas

1.2.6. Dirección General de Minería

Este ente se encarga de velar por el estricto cumplimiento de la Ley de Minería y su Reglamento. Promover la minería en general, asesorar en materia de su competencia a las dependencias públicas que lo requieran; así como velar por el desarrollo de la pequeña minería en zonas de extrema pobreza.

Efectuar estudios sobre posibles reservas de minerales existentes en áreas de interés minero, lugares del territorio nacional en donde no existan derechos mineros o solicitudes en trámite. Inspeccionar, vigilar, supervisar y fiscalizar las actividades, los actos y el cumplimiento de las obligaciones relacionadas con los derechos de reconocimiento, exploración y explotación minera.

Recopilar y analizar los datos estadísticos referentes a la industria minera y preparar publicaciones que tiendan a difundir el conocimiento de los recursos minerales para el inversionista nacional o extranjero u otros interesados. Estudiar y preparar las guías, circulares, disposiciones y resoluciones que regulen las diferentes actividades técnicas de las operaciones mineras.

Promover la participación de las comunidades en el desarrollo de proyectos mineros.

1.2.6.1. Misión

Impulsar el desarrollo de los recursos mineros del país de una manera técnica y racional de acuerdo al marco legal vigente, velando por el cumplimiento de las normas y regulaciones aplicables en materia minera de manera que se asegure el beneficio social de los proyectos.

1.2.6.2. Visión

La Dirección General de Minerías es el órgano administrativo que promueve el desarrollo de la industria minera y el aprovechamiento de los recursos minerales del país, velando por el fiel cumplimiento de la ley de minería, con base en estándares internacionales y tecnologías que protegen el medio ambiente.

1.2.6.3. Objetivos estratégicos

Metas y estrategias planteadas para reforzar a largo plazo la posición de dicho ente. Es decir, son los resultados que se espera alcanzar en un tiempo mayor a un año. Estos objetivos se presentan a continuación.

- Propiciar que las actividades mineras se desarrollen en condiciones de mayor seguridad para los trabajadores y la sociedad, preservando el medio ambiente y fortaleciendo las actividades de monitoreo mediante la fiscalización y control en este sector.
- Promoción y divulgación de la actividad minera.

- Promover el desarrollo de la minería, impulsando la inversión privada y la certeza jurídica, fomentando la explotación racional y la introducción de tecnologías limpias en las operaciones mineras.
- Fomentar la pequeña minería mediante la explotación racional y la introducción de tecnologías limpias en el proceso productivo.
- Fortalecimiento de la capacidad de gestión del personal de la Dirección.
- Aplicar efectivamente un marco legal, reglamentario y normativo que sea competitivo, claro, coherente y sustentable.

1.2.6.4. Marco Legal

Políticas, planes, programas y estrategias que conllevan a las eficacia, racionalización y transparencia en el manejo y uso de los recursos, con la finalidad de agilizar las acciones del Ministerio de Energía y Minas. Se compone por:

- Ley de Minería y su Reglamento
- Reformada por Acuerdo legislativo No. 18-93 del 17 de Noviembre de 1993
- Ley de Protección y Mejoramiento al Medio Ambiente, Decreto 68-86
- Ley de Áreas Protegidas, Decreto 4-89
- Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán, Decreto 64-96
- Declaratoria de sectores de altos riesgos de las cuencas de Amatitlán, Villalobos y Michatoya
- Declaración de Sector de Alto Riesgo del Acueducto Nacional Xaya Pixcaya, Acuerdo 265-2004
- Supervisión e Inspección de las Operaciones Mineras. Acuerdo Gubernativo 09-2001

- Valor de cada unidad, hasta el 31 de diciembre de 1997, Acuerdo OM-318-97
- Convenio sobre pueblos indígenas y tribales en países independientes (OIT 169)
- Ley del Organismo Ejecutivo, Decreto 114-97
- Reglamento Orgánico Interno del Ministerio de Energía y Minas, Acuerdo Gubernativo 179-2006
- Código Penal, explotación ilegal de recursos naturales. Decreto 17-73, (art. 346)
- Ley Forestal, Decreto 103-96
- Declaratoria de Sectores de Alto Riesgo, CONRED. Acta 15-2001

1.2.6.5. Catastro minero

Un catastro es un registro público del valor, extensión y propiedad de la superficie de la tierra para fines de tributación. Un catastro minero digital se puede definir como un inventario de áreas mineras que cuenta con respaldo en forma gráfica y alfanumérica en una base de datos digital.

El Departamento de Derechos Mineros tiene a su cargo llevar el catastro minero nacional, el cual tiene como elemento más importante los polígonos mineros que están definidos por las coordenadas de los vértices de las áreas mineras.

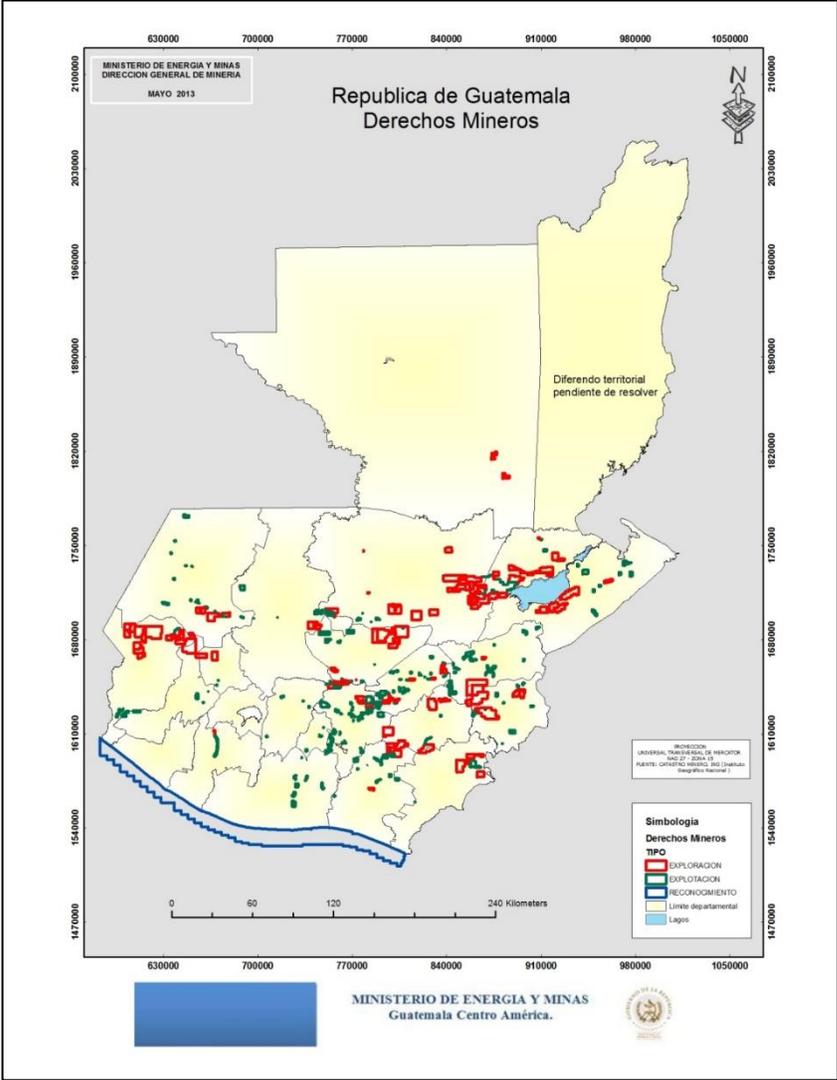
Las fuentes del catastro minero son los polígonos presentados con las solicitudes de licencias, las modificaciones de área ya registradas, las áreas de prohibición decretadas por las instituciones ambientales o por la misma Dirección General de Minería, el otorgamiento o caducidad de áreas, las capas actualizadas de áreas protegidas y otras.

Para llevar el catastro minero nacional, se mantiene el registro y documentos inherentes de la identificación, extensión y propiedad de las áreas afectas de solicitudes y derechos mineros. Esta información es utilizable por la Administración del Estado y se garantiza así certeza jurídica y la prioridad de solicitudes según el orden de ingreso. Se cuenta con las hojas cartográficas digitalizadas escala 1: 250 000 y algunas a escala 1: 50 000. Asimismo, se cuenta con las capas temáticas necesarias para cumplir con el análisis catastral requerido por ley.

1.2.6.6. Mapa catastral de la República

Catastro es el término técnico empleado para designar una serie de registros que muestran la extensión, el valor y la propiedad de la tierra. Normalmente consiste en una serie de mapas o planos a escala grande con sus correspondientes registros.

Figura 1. Mapa catastral de Guatemala



Fuente: Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. www.mem.gob.gt/viceministerio-de-mineria-e-hidrocarburos-2/direccion-general-de-mineria/catastro-minero.
[Consulta: 18 de marzo de 2014].

1.2.6.7. Licencias mineras

Son las autorizaciones otorgadas por la Dirección General de Minería o el Ministerio de Energía y Minas, a toda persona individual o jurídica, nacional o extranjera, para realizar actividades de reconocimiento, exploración o explotación de productos mineros.

Existen tres tipos de licencias mineras: reconocimiento, exploración y explotación, las cuales en su proceso de solicitud se identifican con las siglas: *SR, SEXR, SEXT* y su respectivo número correlativo, pero al otorgarse cambian a *LR, LEXR, LEXT*.

1.2.6.7.1. Licencias de reconocimiento

Confiere al titular la facultad exclusiva de identificar y localizar posibles áreas para exploración, dentro de sus respectivos límites territoriales. El área la constituirá un polígono cerrado no menor de 500 ni mayor de 3 000 kilómetros cuadrados, delimitado por coordenadas, con sus lados orientados en dirección norte-sur y este-oeste. Se otorga por un plazo de seis meses el cual puede ser prorrogado a solicitud del titular hasta por un período adicional de seis meses.

1.2.6.7.2. Licencias de exploración

Confiere al titular la facultad exclusiva de localizar, estudiar, analizar y evaluar los yacimientos para los cuales le haya sido otorgada, dentro de sus respectivos límites territoriales. El área la constituirá un polígono no mayor de 100 kilómetros cuadrados, delimitado por coordenadas UTM NAD 27 con sus lados orientados en dirección norte-sur y este-oeste. Se otorga por un plazo de

tres años y el cual puede ser prorrogado a solicitud del titular hasta por dos períodos adicionales de dos años cada uno, debiendo reducir el área vigente en un 50 por ciento en cada prórroga.

1.2.6.7.3. Licencias de explotación

Confiere al titular la facultad exclusiva de explotar los yacimientos para los cuales le haya sido otorgada, dentro de sus respectivos límites territoriales. El área la constituirá un polígono no mayor de 20 kilómetros cuadrados, delimitado por coordenadas UTM NAD 27 con sus lados orientados en dirección norte-sur y este-oeste. Se otorga hasta por un plazo de veinticinco años el cual puede ser prorrogado a solicitud del titular hasta por un periodo igual.

1.2.6.8. Estadísticas mineras en Guatemala

Indicadores basados en la producción generada, cuya finalidad es medir la evolución de los productos mineros a nivel nacional. Se actualizan los datos anualmente para obtener una visión clara del crecimiento de este sector en el país.

Figura 2. Estadísticas en Guatemala 2014

SEGÚN CATEGORÍA MINERAL				
2 de enero de 2014				
	RECONOCIMIENTO	EXPLORACIÓN	EXPLOTACIÓN	TOTAL
LICENCIAS VIGENTES TOTALES				
Materiales de construcción	0	4	117	121
Minerales metálicos	0	67	33	100
Minerales no metálicos	0	5	133	138
TOTAL	0	76	283	359
SOLICITUDES EN TRÁMITE TOTALES				
Materiales de construcción	0	59	87	146
Metálicos	6	331	18	355
No metálicos	0	61	39	100
TOTAL	6	451	144	601

Fuente: Ministerio de Energía y Minas. www.mem.gob.gt/viceministerio-de-mineria-e-hidrocarburos-2/estadisticas-mineras. [Consulta: 18 de marzo de 2014].

1.3. Mantenimiento de equipo pesado en mina subterránea

En la actualidad, el mantenimiento es una actividad que tiene no solamente un impacto directo sobre la capacidad productiva de un proyecto, sino que es un elemento clave para alcanzar condiciones de seguridad y de protección medioambiental acorde con las políticas de desarrollo sostenibles de la empresa.

1.3.1. ¿Qué es el mantenimiento?

Es el trabajo constante para cuidar y restaurar hasta un nivel económico y rentable, todos y cada uno de los medios de producción existentes en una planta.

Se puede definir el mantenimiento como 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 contar con un grupo de personas que se encarguen de ello, conformando así el Departamento de Mantenimiento en cada empresa.

En cualquier lugar, el mantenimiento debe cumplir con dos objetivos fundamentales: reducir costos de producción y garantizar la seguridad industrial. Cuando se habla de reducir los costos se deben de tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Optimizar la disponibilidad de equipos e instalaciones para la producción.
- Se busca reducir los costos de las paradas de producción ocasionadas por deficiencia en el mantenimiento de 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.

1.3.2. Gestión del mantenimiento

La época actual, debido a las altas demandas del mercado, se encuentra en un estado de transición en la que la excelencia es considerada parte del producto. Por ello, sería inconcebible que el mantenimiento, siendo función importante de apoyo a la producción y parte de la organización empresarial no la tuviera. Las empresas tienen latente el reto de cómo mejorar sus actividades de gestión del mantenimiento para ser más sostenibles. Es importante recordar que la sostenibilidad incorpora dos factores: el ambiente y la subsistencia de la Organización, aunado al indisoluble compromiso social.

El mantenimiento como estructura de apoyo es un centro de costos a efectos de los intereses de la empresa. Ciertamente, como un costo solo se justifica si perfecciona el negocio a través de la mejora de las condiciones de productividad, mediante la capacidad continua de adaptación, desarrollo y conservación. Para ello, se debe enfocar adecuadamente la visión y la misión mediante la definición clara de políticas, objetivos, valores, entre otros.

Es un hecho que, en los escenarios de hoy, las empresas se juegan su capacidad competitiva por la cantidad y calidad de los recursos que se comprometen en el área de mantenimiento, debido a la capacidad de esta para generar beneficios a su más inmediato grupo de interés como es, el área de producción. La principal ventaja que ofrece el mantenimiento, reside en la consecución de que los sistemas productivos continúen desempeñando las funciones deseadas y de esta forma contribuir a conservar las actividades productivas, de las cuáles la empresa obtiene las utilidades económicas.

Aunado a ello, se encuentran las ventajas de obtener mayor utilidad económica para la empresa, al disminuir los costos de mantenimiento por pérdidas, con lo cual se podría aumentar el margen potencial de ganancias, al sostener la influencia del costo del mantenimiento, en el costo final del producto.

Por lo tanto, es necesario gestionar correctamente las necesidades y/o prioridades de la función de mantenimiento, para lograr los efectos adecuados, a través de la mejora en cuanto a eficacia y eficiencia de procesos. De esta manera alcanzar la excelencia operativa, cuyo fundamento básico se refiere a ofrecer servicios a un precio competitivo mediante el equilibrio entre la calidad y funcionalidad, siendo la idea principal brindar el mejor costo total.

Es importante recordar, que las funciones del mantenimiento cubren dos dimensiones: la primera está formada por las funciones primarias que son las que justifican el sistema de mantenimiento implementado en una empresa, como un conjunto de elementos que generan valor claramente definido por el objetivo de asegurar la disponibilidad planteada de los sistemas productivos al menor costo posible, dentro de las recomendaciones de garantía y uso de los

fabricantes, contribuyendo a la eficacia económica dentro de su función productiva.

En segundo lugar, se encuentran las funciones secundarias como consecuencia de las características particulares de cada empresa, que demandan acciones prioritarias en distintas áreas como los inventarios de materiales y de medios específicos (para el desarrollo de los trabajos, como las herramientas, instrumentos de medida, entre otros). Además de la capacitación de recursos humanos y el desarrollo de programas de mantenimiento, con el fin de reducir las restricciones que optimizan la gestión.

1.3.3. Análisis funcional de la gestión del mantenimiento

Toda empresa está dotada de sistemas que permiten su participación en un negocio particular. Estos sistemas considerados como: sistemas productivos son aquellos compuestos de dispositivos, instalaciones, equipos y/o edificaciones, capaces de producir un producto, alcanzando de esta manera el objetivo por el que fueron creados. Están sujetos a acciones de mantenimiento asegurando así su utilización durante su período de vida útil, con lo cual se espera alcanzar las metas establecidas en el negocio fomentadas por el esfuerzo de satisfacer a todos los grupos de interés. Fundamento esencial que establece el logro de la excelencia en la organización y sirve para enfocar el prestigio de la empresa.

Bajo la premisa que los sistemas productivos sufren una serie de degradaciones, causante de problemas en la producción, a lo largo de su vida útil se evidencia la necesidad del mantenimiento. Existen varios factores que generan una pérdida de productividad en el negocio, lo que puede traducirse en baja rentabilidad, de esta manera se hace necesaria la función del

mantenimiento en el campo de la ingeniería como estructura de apoyo, debido al gran interés económico derivado de la repercusión, que su carencia o insuficiencia tiene en los beneficios empresariales. Por lo tanto, esta función es admitida como un eslabón de la cadena productiva sobre la que es imperioso actuar continuamente para mejorar las condiciones del negocio.

Bajo tales consideraciones, los entes poseedores de sistemas productivos requieren realizar un mantenimiento adecuado, con el fin de conservar sus procesos productivos. Por ello, hay que tener presente los aspectos técnicos, económicos y de organización referentes a esta función, que pertenecen a los recursos estratégicos de la Gestión del Mantenimiento, mediante los cuales se enfrentará el conflicto referido a la pérdida de productividad, para obtener un nivel aceptable de la misma y con esto contribuir al logro de la excelencia.

Reconociendo lo antes expuesto, se deriva la importancia que el mantenimiento tiene dentro de una empresa, y por ello debe gestionarse bien desde el momento de su concepción, hasta el último momento que es la entrega al cliente del producto, pasando obviamente por la ejecución de las tareas que son las que agregan valor. Es importante entender por gestión, el arte donde están implícitas las actitudes y aptitudes de los individuos, para lograr que las cosas se hagan y por la Gestión del Mantenimiento, la efectiva y eficiente utilización de los recursos materiales, económicos, humanos y de tiempo para alcanzar los objetivos del mantenimiento.

Entre tanto, cuando se habla de mantenimiento parece importante entender por el mismo, el epígrafe con que se denotan a aquellas actividades necesarias y orientadas a preservar los sistemas productivos, para cumplir con el servicio que prestan en concordancia a un parámetro definido: estado de operación normal, contribuyendo de esta forma a conservar las actividades

productivas derivadas de estos, realizándolas en términos o condiciones económicamente favorables.

Actualmente a nivel mundial, el mantenimiento como estructura de apoyo, ocupa un lugar importante dentro de las organizaciones, es visto como pieza fundamental, debido a la influencia de esta función sobre los productos elaborados, reflejando sus efectos en el aumento de los costos, resultados que no satisfacen las expectativas de la organización.

1.3.4. Evolución de la gestión del mantenimiento

Para llegar al mantenimiento productivo total hubo que pasar por tres fases previas. Siendo la primera de ellas: el mantenimiento de reparaciones (o correctivo), el cual se basa exclusivamente en la reparación de averías. Solamente se procedía a labores de mantenimiento ante la detección de una falla o avería, y una vez ejecutada la reparación todo quedaba allí.

Con posterioridad y como segunda fase de desarrollo se dio lugar a lo que se denominó: el mantenimiento preventivo. Con esta metodología de trabajo se busca por sobre todas las cosas la mayor rentabilidad económica con base en la máxima producción, estableciéndose para ello funciones de mantenimiento orientadas a detectar o prevenir posibles fallos antes que tuvieran lugar.

En los años sesenta tuvo lugar la aparición del: mantenimiento productivo, lo cual constituye la tercera fase de desarrollo antes de llegar al TPM. El mantenimiento productivo influye los principios del mantenimiento preventivo, pero le agrega un plan de mantenimiento para toda la vida útil del equipo, más labores e índices destinados a mejorar la fiabilidad y mantenibilidad.

Finalmente se llega al TPM el cual comienza a implementarse en Japón durante los años sesenta. El mismo incorpora una serie de nuevos conceptos a los desarrollados a los métodos previos, entre los cuales cabe destacar el mantenimiento autónomo, el cual es ejecutado por los propios operarios de planta. También agrega a conceptos antes desarrollados como el mantenimiento preventivo, nuevas herramientas como las mejoras de mantenibilidad, la prevención del mantenimiento y el mantenimiento correctivo.

El TPM adopta como filosofía el principio de mejora continua desde el punto de vista del mantenimiento y la gestión de equipos. El mantenimiento productivo total ha recogido también los conceptos relacionados con el mantenimiento basado en el tiempo (MBT) y el mantenimiento basado en las condiciones (MBC).

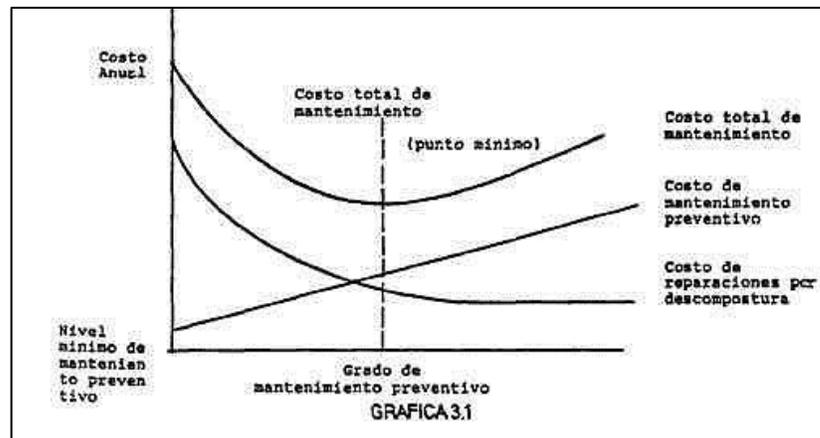
1.3.5. Rentabilidad y disminución de costos

Existen dos conceptos muy importantes que generalmente se toman como sinónimos y que, sin embargo, no lo son. Tales son la disminución de costos y la rentabilidad de la empresa. Puede interpretarse la disminución de costos como el primer y más importante factor en aumento de la rentabilidad, pero no asumirse que de manera automática si una sección logra bajar sus niveles de gastos, la rentabilidad no aumentará de forma automática y sustentable en el largo plazo.

Dentro de una organización empresarial no existen beneficios ni resultados, solo costos, ya que toda la estructura insume esfuerzos y como consecuencia produce gastos. El resultado o rentabilidad de una empresa dependerá de cómo se administran los gastos, ya que estos son los únicos factores que la organización puede controlar en forma directa, mientras que los

resultados varían según un factor sobre el que, muchas veces, la organización tiene poco o nada de influencia: el cliente representado por el mercado. No obstante, si el único factor controlable es el nivel de gasto o costo, deberán destinarse todos los esfuerzos a mantenerlos en niveles previamente determinados y considerados como costo admisibles.

Figura 3. Costos de mantenimiento



Fuente: http://www.tesis.ufm.edu.gt/adm/35426/tesis_files/image002.jpg.

[Consulta: 23 de abril de 2014].

El mantenimiento afecta al funcionamiento de la empresa, por lo que puede concluirse que tiene directa injerencia en los resultados de la compañía. Los costos pueden representarse con una curva que ilustra las relaciones inversas entre los costos debidos al mantenimiento correctivo y los originados por el mantenimiento programado.

Un cambio de actitud hacia la programación de las tareas de mantenimiento desde las aplicaciones de actividades de rutina tales como lubricación, engrases, hasta netamente predictivas como análisis de

vibraciones, de lubricantes, otros, generará un aumento en los costos totales de mantenimiento con una disminución notable de los tiempos perdidos, y pérdida de ingresos por ventas. Es necesario realizar una estimación de todos los costos involucrados en el mantenimiento para obtener el impacto real de los costos que representa el área para la empresa.

1.3.6. Situación existente

Las empresas se encuentran hoy abarrotadas de una gran cantidad de métodos de mantenimiento que se usan indiscriminadamente, como un remedio para todos los males, por el deseo de no quedarse atrás y estar dentro de las corrientes de pensamiento actual. Tomando la forma de los bienes para alcanzar un fin y no como un medio para alcanzar la excelencia. Empresas que se apoyan en viejos paradigmas de mantenimiento, y otras que ni siquiera poseen una dirección sólida de gestión de mantenimiento.

Es por ello que en la realidad se observan fracasos rotundos, debido a la visión heterogénea de los conceptos básicos, derivada de malas interpretaciones de los profesionales y cuyo principal protector son los aspectos culturales de las organizaciones donde se utilizan. Son estos conceptos los que precisan un entendimiento claro de los métodos que se tienen a la mano y, son la base de las metodologías. Por lo tanto, si no se posee un entendimiento preciso, el fundamento esencial de conocimientos no será sólido y toda la estructura que soportan tenderá a fallar, proyectando una visión poco clara de que se hará la diferencia mediante una efectiva filosofía de gestión.

El principal problema causado por el bombardeo tecnológico y el carecer de bases sólidas, se evidencia al delimitar el camino a seguir con el cual atacar los conflictos presentados, pues al implantar los métodos e implementar las

metodologías se requiere de tiempo para tratar las interrogantes que proporcionen el conocimiento necesario y respondan con las acciones correctas a tomar. Con el afán de obtener beneficios cuasi-instantáneos se toman caminos equivocados por el poco o inexistente análisis de la situación del entorno en el que se desarrollan, ocasionando peores condiciones de las que presentaba la organización. Esto conlleva a realizar grandes inversiones de recursos que generan improductividad por tomar decisiones basadas a la ligera.

En efecto, tomar caminos equivocados es una muestra directa de crisis en la dirección de la función del mantenimiento, comprometiendo seriamente el desarrollo de la gestión para afrontar los conflictos y la sostenibilidad de la organización y el negocio. Los orígenes se deben a que las apreciaciones que se realizan, no provienen del análisis objetivo, sin prejuicios y científico de la realidad que se trata de enjuiciar.

Por otra parte, cuando se habla de la calidad de la gestión del mantenimiento los enfoques son generalmente incompletos, ya que no se analizan los diversos factores o variables que inciden, con más o menos intensidad, en la manifestación de las mismas, siendo la deficiente información unas de las causas determinantes de esta situación.

En tales casos, las empresas sufren importantes daños que las limitan a alcanzar la tan anhelada excelencia. Parámetro que valora su desarrollo mediante el aumento de capacidad y deseo de satisfacer sus aspiraciones competitivas en el negocio y su crecimiento organizacional. Pues según la Fundación Europea para la Gestión de Calidad, en su criterio de orientación hacia los resultados, la excelencia consiste en alcanzar resultados que satisfagan plenamente a todos los grupos de interés de la organización.

En este sentido, para que la gestión sea efectiva y eficiente, es necesario plantear estrategias en el mantenimiento bajo la consideración, como aspecto básico para la selección del tipo de tácticas de mantenimiento, las características de las fallas.

1.3.7. Tipos de mantenimiento

Para lograr optimizar el funcionamiento de la gestión en el mantenimiento, se debe tener para iniciar un control sobre las fallas que presente cada máquina, debido a que estas en ningún momento serán iguales. Es aquí donde el mantenimiento se subdivide dependiendo de las tareas a realizar para atacar estos acontecimientos. Al momento de que el área de mantenimiento se encuentre con un buen funcionamiento, solamente se utilizarán las técnicas del mantenimiento predictivo y preventivo, dejando en el olvido el mantenimiento correctivo.

1.3.7.1. Mantenimiento correctivo

Es aquel mantenimiento encaminado a corregir una falla que se presente en determinado momento. Se puede afirmar que es el equipo quien determina cuando se debe parar, debido a que no se tiene un intervalo de tiempo, así que la ocurrencia de la falla puede ser en cualquier momento. Su función principal es poner en marcha el equipo lo más rápido posible y al mínimo costo posible.

Para que este mantenimiento tenga éxito se deberá estudiar la causa del problema. Estudiar las diferentes alternativas para su reparación y planear el trabajo con el personal y equipos disponibles.

Este mantenimiento es común encontrarlo en las empresas pequeñas y medianas, presentando una serie de inconvenientes a saber.

- Normalmente cuando se hace una reparación no se alcanzan a detectar otras posibles fallas porque no se cuenta con el tiempo disponible.
- Por lo general el repuesto no se encuentra disponible porque no se tiene un registro del tipo y cantidad necesarios.
- Generalmente la calidad de la producción cae debido al desgaste progresivo de los equipos.

1.3.7.2. Mantenimiento preventivo

Es un mantenimiento totalmente planeado que implica la reparación o reemplazo de componente a intervalos fijos, efectuándose para hacer frente a fallas potenciales. Es decir, ejecuta acciones orientadas a eliminar las consecuencias originadas por condiciones físicas identificables, que están ocurriendo o podrían ocurrir y conducirían a fallos funcionales de los sistemas productivos.

Se lleva a cabo de acuerdo al número de horas de funcionamiento establecidas en un calendario, previamente diseñado, con un alto nivel de planeación. Los procedimientos repetitivos, o como comúnmente se les llama de rutina, requieren establecer frecuencias que se ajusten a las necesidades. Para ello, se necesitan conocimientos de la distribución de fallas o la confiabilidad del equipo.

1.3.7.3. Mantenimiento predictivo

Este tipo de mantenimiento consiste en efectuar una serie de mediciones o ensayos no destructivos con equipos sofisticados a todas aquellas partes de la maquinaria susceptibles de deterioro, pudiendo con ello anticiparse a la falla catastrófica. La mayoría de estas mediciones se efectúan con los equipos en marcha y sin interrumpir la producción.

Los ensayos más frecuentes son:

- Desgaste: mediante el análisis de partículas presentes en el aceite se puede determinar dónde está ocurriendo un desgaste excesivo.
- Espesor de paredes, empleado en tanques.
- Vibraciones: utilizado para saber el estado de los rodamientos y desalineamiento en los equipos.
- Altas temperaturas.

El mantenimiento predictivo es costoso pero su información es valiosa para llevar a cabo un buen programa de mantenimiento preventivo.

1.4. Indicadores de gestión

Son parámetros numéricos que convenientemente utilizados, pueden ofrecer una oportunidad de mejora continua en el desarrollo, aplicación de nuestros métodos y técnicas específicas de mantenimiento.

La magnitud de los indicadores sirve para comparar con un valor de referencia con el fin de adoptar acciones correctivas, modificativas, predictivas según sea el caso.

La confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad son prácticamente las únicas medidas técnicas y científicas, fundamentadas en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticos, que tiene el mantenimiento para su análisis. Los indicadores de gestión (planificación, ejecución, control y evaluación), son aquellos que normalmente interrelacionan dos valores, y nos aporta una visión completa que evalúa diversos aspectos de la gestión del departamento.

Considerando que el primer objetivo de trabajo, del área de mantenimiento, es el de propiciar el logro de altos índices de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad a favor de la producción.

Para poder establecer estos factores de efectividad de mantenimiento, deberá ir acompañada de otros factores (índices secundarios), que permitan evaluar, analizar y pronosticar su comportamiento. Todas las actividades pueden medirse, así puede asegurarse que las actividades vayan en el sentido correcto y permitan evaluar los resultados de una gestión frente a sus objetivos, metas y responsabilidades.

Entre los diversos beneficios que puede proporcionar a una organización la implementación de un sistema de indicadores de gestión, se pueden mencionar a continuación.

- Monitoreo del proceso: el mejoramiento continuo solo es posible si hacen un seguimiento exhaustivo a cada eslabón de la cadena que conforma el proceso. Las mediciones son las herramientas básicas no solo para detectar las oportunidades de mejora, sino además para implementar las acciones.
- Gerencia del cambio: un adecuado sistema de medición permite a las personas conocer su aporte en las metas institucionales y cuáles son los resultados que soportan la afirmación de que los está realizando bien.

1.4.1. Indicadores de clase mundial

Los indicadores de gestión de clase mundial se pueden utilizar para el análisis de factores que interrelacionan con la función de mantenimiento y permite resaltar las principales causas de falla de los equipos, rendimiento de la mano de obra y/o recursos, frecuencia de ocurrencia de averías con vistas a establecer mejoras en los planes de inspecciones y reparaciones correspondientes para el buen desempeño de la organización. Permiten de una forma práctica identificar las debilidades y fortalezas de nuestra área, para determinar las acciones a tomar en la mejora continua.

1.4.2. Qué se debe medir y por qué

Existe mucha preocupación de la gente de mantenimiento sobre cuáles indicadores de gestión medir, pero en primer lugar debe esclarecerse para qué sirve llevar un sistema de indicadores.

Cuando se piensa en qué se debe medir en mantenimiento, se debe responder algunas preguntas básicas: ¿Deben ser los mismos los indicadores del sector, que los de los jefes, planificadores o supervisores? la respuesta es no. Cada responsable debe tener indicadores que estén incluidos en un sistema independiente, formando una estructura piramidal que alineada con la estructura de la empresa y del sector al que pertenece mantenimiento.

De esta manera, satisfaciendo los parámetros de mantenimiento se cumple con los de producción, por ejemplo: dentro del área de mantenimiento, un supervisor con varias personas a cargo podría ver indicadores de productividad de su personal. El planificador podrá medir indicadores de cumplimiento en término de las OT y de eficacia en las horas de trabajo

planificadas. Por su lado, el jefe de mantenimiento puede estar preocupado por los indicadores de costos, y por el OEE (eficiencia general de los equipos) que nos relaciona la disponibilidad con las pérdidas de calidad y de rendimiento debidas a mantenimiento. Pero justamente para que estos indicadores den buenos valores deben dar también los de los supervisores y de los planificadores.

Del mismo modo, si nosotros le damos un OEE bueno a la planta, el gerente de producción tendrá menos desperdicios. Por su parte el gerente general estará preocupado por medir la rentabilidad de la empresa, el indicador de segmento de mercado, el rol de los accionistas, entre otros. Justamente estos indicadores darán buenos resultados si todos sus colaboradores dentro de la organización obtienen indicadores alineados y con valores satisfactorios.

De esta manera el gerente general mirando, por ejemplo, su software puede encontrar que la rentabilidad cayó porque bajó la productividad, que esta última se redujo porque hubo un bajo nivel de disponibilidad de maquinaria, que dicha disponibilidad se vio afectada porque hubo muchos trabajos de mantenimiento correctivo por paradas intempestivas de maquinarias y siguiendo así se puede llegar a la conclusión que hubo un problema con la planificación porque no se cumplió con el plan de mantenimiento preventivo.

En una palabra, no se mide cualquier cosa por el simple hecho de medir. Se deben medir las cosas que son realmente útiles, es decir los factores clave de resultados.

Debido a la cantidad de indicadores que se pueden calcular, se crea la inquietud de cuántos son los que puede manejar una persona, la experiencia indica que aproximadamente 5 indicadores es un buen número. La respuesta

más prudente sería: tantos indicadores como objetivos pueda mantener bajo control para cumplir con la misión asignada. Lo cierto es que hay que plantear los objetivos adecuados de manera tal que la satisfacción de los mismos permita cumplir con la misión asignada al responsable.

Por ejemplo el hombre, para manejar un vehículo que lo lleva a una velocidad que puede exceder en más de veinte veces su propia velocidad de desplazamiento, emplea una máquina llamada automóvil que es relativamente compleja. ¿Cuántos relojes necesita el conductor para poder manejar adecuadamente dicha máquina? Básicamente un velocímetro, un medidor de nivel de combustible, un termómetro, quizás un tacómetro y varias alarmas lumínicas que nos avisan si hay algo que merece nuestra atención.

Ahora bien, si lo que estamos manejando es un avión la cantidad de relojes y alarmas que tenemos que controlar es mucho mayor. Esto se debe a que la maquinaria es más compleja, el riesgo es mucho más alto y el nivel de confiabilidad requerido es el máximo. ¿Qué pasa si manejamos una bicicleta? Por lo tanto, no todos deben medir la misma cantidad de indicadores ni el mismo tipo.

Los indicadores sirven para distintos fines. Uno de ellos es motivar al personal. Otro muy importante es saber cómo estamos respecto de los objetivos.

1.4.3. Criterios para establecer indicadores

Para que un indicador de gestión sea útil y efectivo tiene que cumplir con una serie de características, estas se deben de cumplir a cabalidad para que

con base en estos índices se puedan tomar las mejores decisiones, entre los criterios que destacan están los siguientes:

- Relevante: que tenga que ver con los objetivos estratégicos de la organización.
- Claramente definido: que asegure su correcta recopilación y justa comparación.
- Fácil de comprender y usar: en esta parte influye el conocimiento adquirido sobre la persona que manejará el tema.
- Comparable: se puedan comparar los valores entre organizaciones, y la misma organización a lo largo del tiempo.
- Verificable y costo-efectivo: que no haya que incurrir en costos excesivos para obtenerlo.

Basados en estos lineamientos se obtendrán de una forma rápida y eficiente los indicadores de gestión, que reflejen el estado real de nuestros departamentos, y partir de acá para tomar las decisiones en busca de mejora.

1.4.4. Datos e información útil

Un sistema de procesamiento es aquel que convierte datos en información útil para tomar decisiones. Para conocer la marcha del Departamento de Mantenimiento, decidir si se deben realizar cambios o determinar algún aspecto concreto, definir una serie de parámetros que permitan evaluar los resultados que se están obteniendo en el área de Mantenimiento. Es decir, a partir de una serie de datos, el sistema de procesamiento debe devolver una información, una serie de indicadores en los que se basan para tomar decisiones sobre la evolución del mantenimiento.

Una de las cosas que se debe definir es, cuáles serán esos indicadores. Hay que tener cuidado en la elección, pues se corre el riesgo de utilizar como tales una serie de números que no aporten ninguna información útil. Se arriesga al tomar datos, procesarlos y obtener a cambio otros datos.

Imaginar el caso de elegir la disponibilidad de equipos como un indicador. Al listar todas las paradas de cada uno de los equipos de la planta, la fecha y hora en que han ocurrido y su duración, la lista resultante serán datos, pues tal y como se presenta no se podrá tomar decisiones basándose en ella. Si ahora se procesa esta lista, sumando los tiempos de parada de cada equipo y calculando el tiempo que han estado en disposición de producir, se obtiene una lista con la disponibilidad de cada equipo.

Si en esa lista se agrupan los equipos por líneas, áreas, zonas, entre otros y procesar los datos de manera que se obtenga la disponibilidad de una de las líneas, áreas o zonas en su conjunto, el nuevo listado ahora sí contendrá información. Esta información permitirá, tras un análisis más o menos rápido, tomar decisiones acertadas sobre las actuaciones que se deben realizar para mejorar los resultados.

Existe una gran cantidad de indicadores para ser utilizados en el Departamento de Mantenimiento, aunque no todos son necesarios, entre todos ellos habrá que elegir aquellos que sean realmente útiles, aquellos que aporten información, para evitar convertirlos en una larga lista de datos. Además, hay que tener en cuenta que en la mayoría de los casos es necesario adaptarlos a cada planta concreta, efectuando pequeñas modificaciones que hagan que los indicadores seleccionados estén perfectamente adaptados a las necesidades concretas de información de una planta.

Cuando se dispone de un sistema de gestión de mantenimiento asistido por ordenador (GMAO), el cálculo de estos indicadores suele ser bastante más rápido. Se debe tener la precaución de automatizar su cálculo, generando un informe que los contenga todos. Una ventaja adicional es que, una vez automatizado, se pueden generar informes con la periodicidad deseada, con un esfuerzo mínimo.

En caso de que el sistema de información sea el soporte papel, para el cálculo de estos indicadores es conveniente desarrollar pequeñas aplicaciones (una hoja de cálculo puede ser suficiente) para obtener estos índices. En este caso hay que seleccionar mucho más cuidadosamente los indicadores, pues es más costoso calcularlos. Además la frecuencia con que se obtengan deberá ser menor.

Es importante tener en cuenta que no solo es valioso conocer el valor de un indicador o índice, sino también su evolución. Por ello, en el documento en el que se expongan los valores obtenidos en cada uno de los índices que se elijan, deberán reflejar su evolución, mostrando junto al valor actual los valores de períodos anteriores (meses o años anteriores) para conocer si la situación mejora o empeora. También es importante fijar un objetivo para cada uno de estos índices, de manera que la persona que lea el documento donde se exponen los valores alcanzados en el período que se analiza comprenda fácilmente si el resultado obtenido es bueno o malo.

2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Grupo EMO, S. A.

Proveedor de servicios y soluciones integrales con eficiencia y garantía, en la construcción especializada de túneles y estructuras subterráneas, aplicando geo tecnología apropiada a cualquier tipo de subsuelo, enfocado en las áreas de minería, hidroeléctricas, vías subterráneas urbanas y ferroviarias, y conducción de aguas en grandes colectores.

Respondiendo satisfactoriamente a las exigencias de los clientes, Grupo EMO está estratégicamente conformada por 3 grandes divisiones:

- Tunnelboring S. A.: como responsable de la ejecución técnica y administrativa contractual de proyectos, fundamenta su actuación en los análisis de ingeniería y factibilidad constructiva y legal. La base de ejecución de proyectos de Tunnelboring es el reclutamiento de personal profesional y operativo a nivel nacional e internacional. La interacción se fundamenta en la confianza mutua comprobada, la experiencia de las partes y en el cumplimiento estricto de los términos negociados.
- Tunnel Tek S. A.: dentro de Grupo EMO es la división encargada de la administración de equipo y maquinaria a disposición de los proyectos del grupo en ejecución. Tunnel Tek con su departamento de ingeniería mecánica garantiza la disponibilidad de equipo necesario para la ejecución de los proyectos del Grupo, el suministro adecuado de insumos y repuestos, y el mantenimiento preventivo y correctivo adecuado a las exigencias presentadas.

- Extractora Minera de Occidente S. A.: la entidad funge como rector de los procesos, autorizaciones y licencias para las operaciones y el uso adecuado de suministros de construcción. Se tiene presencia en Guatemala y países de Centro América.

2.1.1. Principios

Son reglas o normas que orientan la acción de un ser humano. Son las bases que van orientadas a alcanzar el éxito en las empresas. En grupo EMO S. A., se tienen los siguientes:

2.1.1.1. Productividad

La meta principal es lograr la plena satisfacción de las exigencias de los clientes. Tomando en consideración que se ejecutan proyectos de construcción cuya especialidad conlleva grandes retos, se toman las medidas adecuadas que garanticen la productividad. Se pone a la disposición del mercado, soluciones técnicas adecuadas para cada proyecto de construcción subterránea. Se realiza un análisis geológico geotécnico, para adaptar la tecnología constructiva adecuada a cada proyecto, definir los procesos de calidad y seguridad a través de los más altos estándares de rendimiento, sostenibilidad y producción en cada operación gracias a él recurso humano, profesional y operativo, especialistas de alto nivel y responsabilidad en su campo de acción.

2.1.1.2. Confiabilidad

Se considera al cliente como el más valioso activo. Es por eso que uno de los objetivos principales es brindar la máxima fiabilidad en todos los procesos

de los proyectos que se desarrollan a través la experiencia y con el apoyo de tecnología de vanguardia.

2.1.1.3. Seguridad industrial y salud ocupacional

Grupo EMO ha encaminado sus procesos de trabajo basados en seguridad industrial y salud ocupacional, estableciendo normas y estándares en los procesos logísticos y administrativos en la construcción de túneles, estructuras subterráneas y obra civil de hidroeléctricas. En Grupo EMO la seguridad industrial y salud ocupacional en todos sus aspectos es requisito fundamental de toda operación de construcción.

2.1.1.4. Equipo especializado y maquinaria

Grupo EMO cuenta con equipo especializado y maquinaria para la perforación de túneles y obra civil de hidroeléctricas. Se asegura adquirir equipo y maquinaria de vanguardia, que se adapta a los requerimientos específicos de cada proyecto. Esto permite responder satisfactoriamente a las necesidades de cada uno de las obras ejecutadas, asegurando a los clientes la eficiencia en el cumplimiento de los estándares de calidad.

2.1.2. Historia

En 1997 se formó la primera entidad ejecutora de Grupo EMO, S. A. con el enfoque de realizar obras relacionadas con la excavación de subsuelo y roca. Con la demanda creciente del mercado centroamericano en la construcción de obras subterráneas, a partir del 2000, los recursos de la empresa se dirigían hacia este ramo especializado en la construcción. Sistemas de conducción de agua para plantas hidroeléctricas surgieron con el crecimiento del sector de

generación de energía eléctrica y Grupo EMO, S. A. se convirtió en el constructor por excelencia de los túneles de conducción de agua en Centroamérica.

En el 2004 inició en Guatemala la explotación minera con desarrollos subterráneos, y hoy en día tiene su participación importante como contratista de túneles mineros, además el manejo de canteras y excavaciones de roca en superficie,0 es un ramo que se ha manejado exitosamente con la participación en obra como la construcción obras en El Salvador, Honduras y Nicaragua.

Hoy en día Grupo EMO, S. A. es de los proveedores más grandes y consolidados para la construcción de cualquier tipo de estructuras subterráneas en la región centroamericana.

2.1.3. Misión

Lograr la mayor satisfacción posible en los clientes al entregarles productos y construcciones de la más alta calidad. Dando cumplimiento a las especificaciones técnicas contenidas en la relación contractual en el tiempo indicado con garantía de satisfacción a un precio competitivo y a través de un excelente servicio.

2.1.4. Visión

Penetrar al mercado nacional e internacional a través de Construcciones especializadas que garantice la presencia y existencia futura.

2.1.5. ¿Qué hacemos?

El liderazgo de Grupo EMO se fundamenta en la aplicación especializada de técnicas vanguardistas de investigación de tecnología, planificación y desarrollo en cada una de las construcciones subterráneas, construcción de túneles, operaciones a cielo abierto y obra civil de hidroeléctricas. Aplicación que es realizada por personal profesional altamente calificado y actualizado de orden nacional e internacional; utilizando como plataforma operativa el mejor equipo humano y técnico con equipo especializado y maquinaria pesada.

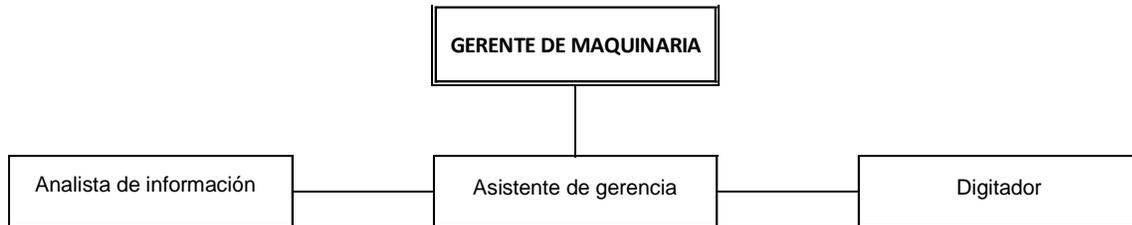
2.2. Estado del área de Mantenimiento de Maquinaria Pesada

Se encuentra organizada de una manera tal, que se prioriza la comunicación entre los distintos proyectos con la Gerencia para facilitar los trabajos que se necesiten realizar, y de esta forma atender las necesidades que se presentan con el día a día.

Debido a que se cuenta con distintos proyectos, se cae en la necesidad de adquirir equipo nuevo dependiendo de las necesidades o exigencias que se tengan en los distintos frentes de trabajo.

Se presenta un esquema de la forma en cómo se distribuye actualmente todo el Departamento de Maquinaria, tanto la Gerencia como la Dirección de los Proyectos:

Figura 4. **Organigrama gerencial**



Fuente: elaboración propia.

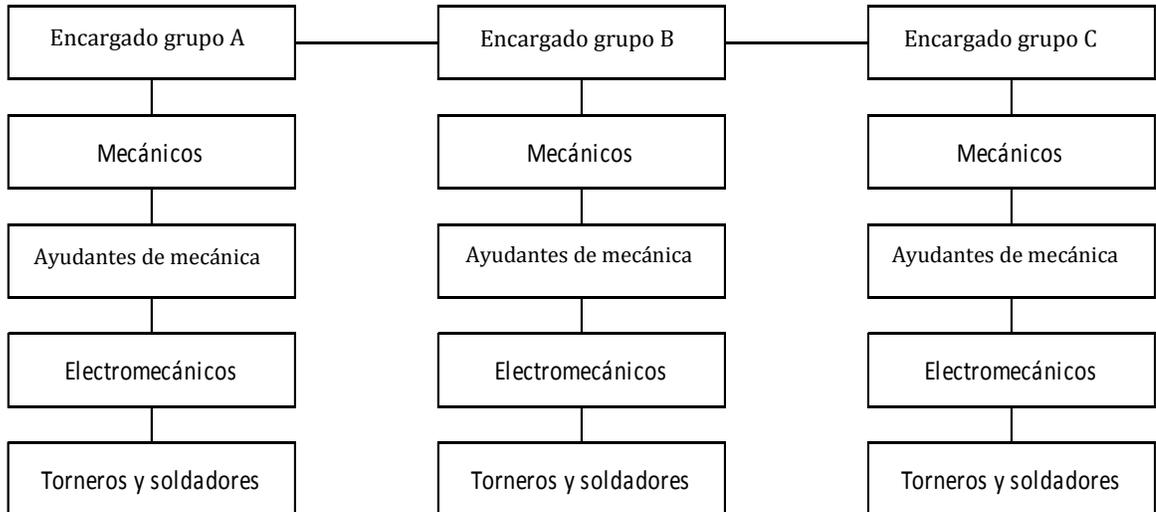
En cada proyecto se trata de obtener que el personal administrativo, así como el personal de campo labore bajo los siguientes esquemas:

Figura 5. **Personal administrativo de proyectos**



Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Personal de campo en proyectos**



Fuente: elaboración propia.

2.3. **Condiciones y tipos de máquinas**

En la actualidad se cuenta con una amplia flota de equipos, fabricados la mayoría para trabajos en túneles, se tiene un 60 por ciento de la flota con un aproximado de 10 000 horas de trabajo o más, por lo cual se incrementan los trabajos de *overhaul*, y el tiempo de vida útil disminuye.

Tabla I. **Tiempo de vida útil de maquinaria pesada y subterránea**

Equipo	Overhaul	Tiempo de vida útil restante
Camiones de perfil bajo	12 000 horas	6 000 horas
Cargadores de perfil bajo	12 000 horas	6 000 horas
Cargadores frontales	12 000 horas	6 000 horas
Equipo de lanzado	8 000 horas	4 000 horas
Equipo de perforación	6 000 horas	4 000 horas
Equipo auxiliar	10 000 horas	6 000 horas

Fuente: elaboración propia.

2.3.1. Equipo de perforación

La perforación de roca es un procedimiento fundamental para arrancar mineral en la minería subterránea. La perforación tiene una gama de aplicaciones grande y variable, por eso hoy se tiene distintos dispositivos diseñados para tratar con distintas maneras de perforar roca.

Los jumbos de perforación dan mecanización a las operaciones de perforación, y tienen la capacidad de posesionar perforadoras de avance para perforar barrenos según las órdenes del operario. Los más comunes en uso están montados en un vehículo sobre ruedas de hule, con motor diésel para la tracción y dirección articulada para dar vueltas por equinas estrechas y pueden llevar dos perforadoras de accionamiento hidráulico para alcanzar una alta productividad de perforación.

Figura 7. **Equipo de perforación**



Fuente: <http://www.directindustry.es / prod / sandvik-mining-and-sandvik-construction / perforadoras-jumbo-dos-brazos-40142-556365.html>. [Consulta: 03 de marzo de 2014].

2.3.2. Equipo de anclaje o sostenimiento

El jumbo de anclaje lleva una perforadora montada en un brazo hidráulico, preparado para perforar barrenos hacia arriba en el techo. Después de perforar se coloca el perno en el barreno y se empuja, sosteniendo así el área de trabajo.

El operador controla el procedimiento de empernado o anclaje desde una posición protegida en su equipo, a una distancia de 4 a 5 metros. El diseño de la máquina nos permite la instalación mecanizada de varios pernos en los puntos necesarios para evitar derrumbes en el interior del túnel.

Figura 8. **Equipo de sostenimiento**



Fuente: http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/roof-bolters-40142-2652557.jpg.

[Consulta: 23 de abril de 2014].

2.3.3. Equipos de carga y transporte

La carga de mineral volado en una mina está siempre conectada con algún medio para sacarlo del punto de recogida. La carga y el transporte se pueden integrar en una unidad mecánica o bien separada en una unidad de carga y un sistema de transporte independiente.

Los sistemas utilizados en las minas subterráneas se pueden definir en:

- Transporte sobre carriles
- Transporte carga-acarreo-descarga
- Transporte con cargadores y camiones de perfil bajo
- Cargadores eléctricos

Figura 9. Equipo de acarreo



Fuente: <http://www.ferreyros.com.pe/adjunto/upload/contenido/imagen/producto/Camiones.jpg>.
[Consulta: 23 de abril de 2014].

Figura 10. Equipo de carga



Fuente: <http://www.congemin.com/photos/equipos/Caterpillar%20R1600G.jpg>.
[Consulta: 23 de abril de 2014].

Se puede decir que se cuenta con la mayoría de equipos en estado, regular debido a que todos están sometidos a trabajos preventivos constantes, cayendo muchas veces a la necesidad de realizar trabajos correctivos, debido a las horas de vida útil de los componentes de los equipos y las horas de uso diarias, ya que estos prácticamente trabajan los 365 días al año.

2.4. Sistemas de los equipos

Los equipos han evolucionado constantemente, debido a las distintas funciones que se necesita realizar, cada uno varía en su estructura y en general contienen los siguientes:

2.4.1. Motor

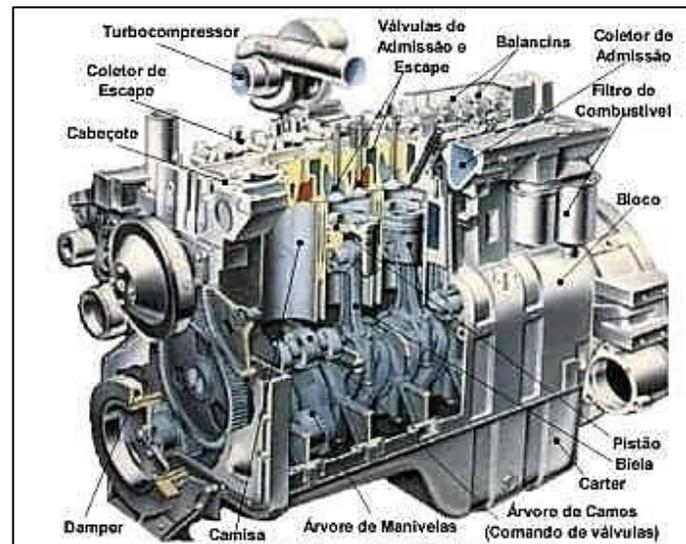
Se puede definir este sistema como el componente principal de los equipos, debido a que es el encargado de transformar la energía calorífica entregada por el combustible, en energía rotatoria.

La gran mayoría de los equipos utilizan motores diésel. Las características principales de estos motores son:

- Gran relación de compresión, que puede alcanzar a ser 18:1 cuando se utiliza ACPM (aceite combustible para motor).
- Mayor eficiencia térmica que los motores de gasolina (diésel 45 %, *gas oil* 30 %).
- Inyección directa de combustible a la cámara de combustión.
- En su mayoría son motores de cuatro tiempos, realizando el ciclo durante 2 vueltas del cigüeñal.
- Grandes y robustos.

- Bajo consumo de combustible.

Figura 11. **Motor diésel Cummins**



Fuente: <http://www.joseclaudio.eng.br/Imagens/image002.jpg>. [Consulta: 12 de mayo de 2014].

Dentro del motor diésel se pueden definir otros subsistemas que ayudan en el desempeño de la función principal y posteriormente transmitir la rotación generada desde la cámara de combustión hasta las ruedas.

2.4.1.1. Alimentación de combustible

Todo motor debe poseer un sistema capaz de llevar el combustible desde su depósito a la cámara de combustión en la cantidad y el tiempo requerido según lo exija el operador. Posiblemente es el subsistema con más innovaciones tecnológicas en los últimos años. Es comandado por la exigencia del operador, ya que de este depende la aceleración que se necesite en el equipo. Este subsistema está compuesto a su vez por tres grupos de

componentes, el circuito de baja presión, el circuito de alta presión y el conjunto admisión-escape (*turbo-intercooler*).

- Circuito de baja presión: su función principal es la de llevar combustible desde su tanque o depósito hasta el circuito de alta presión, aprovechando este recorrido para separar las impurezas que puedan existir y disminuyan la eficiencia del proceso de combustión, así también dañen los componentes del motor. Sus componentes principales son:
 - Un tanque o depósito: posee un tamiz, en la boquilla por donde se deposita el combustible, un depósito de decantación para recopilar impurezas, una línea de succión con un pre filtro y otra de retorno, un tapón con un orificio de ventilación y un sensor de nivel

Figura 12. **Bomba de cebado**



Fuente: <http://www.sabelotodo.org/automovil/imagenes/inyeccion/trasiego2.jpg>.
[Consulta: 12 de mayo de 2014].

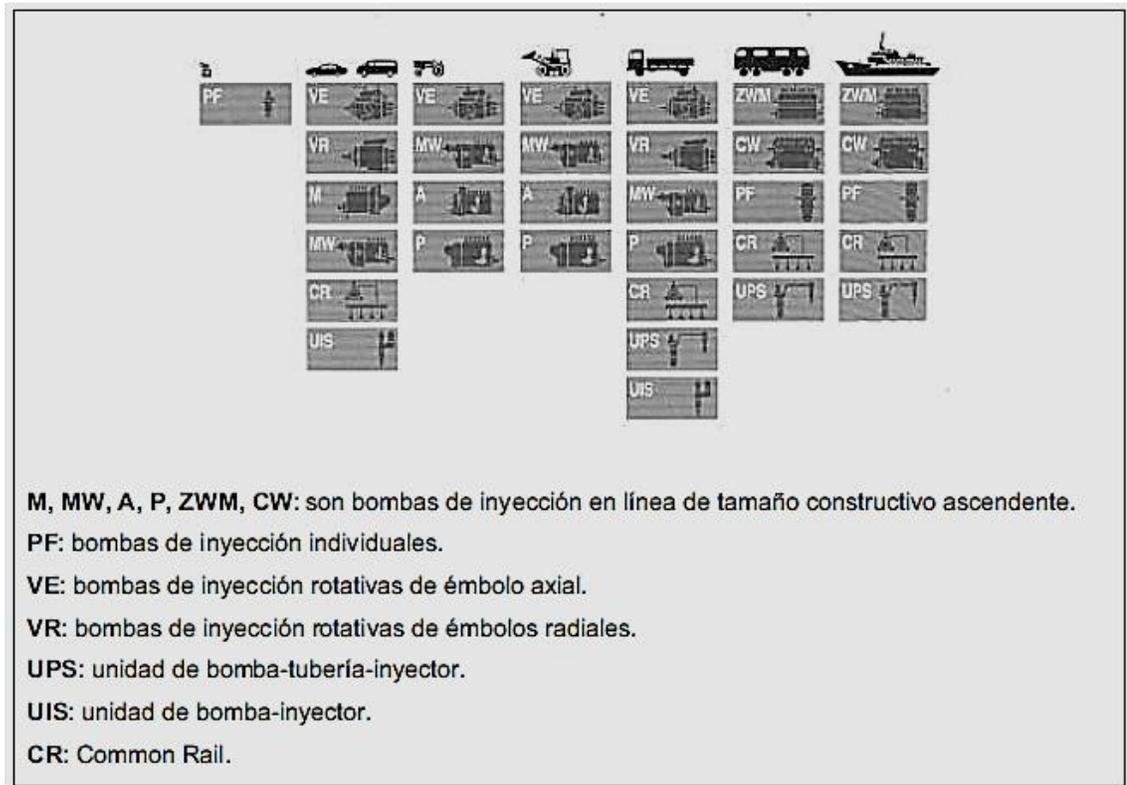
- Una bomba de cebado o de extracción: también llamada de alimentación, este elemento es el que permite llevar el combustible hasta la bomba de alta presión. Por lo general son bombas de desplazamiento positivo. La mayoría cuenta con un cebador manual para llenar la tubería de combustible antes del arranque o bien para expulsar el aire presente. La característica primaria de su funcionamiento es que debe llevar el combustible a la bomba de inyección a una presión constante que se encuentre entre 1 y 2 kg/cm².

- Elementos filtrantes: su función principal es retener partículas contenidas en el combustible que puedan ocasionar desgaste en otras piezas del motor y generar problemas en la combustión. También, y en especial en los motores diésel, se debe procurar que el filtro retenga la mayor cantidad de agua posible. Sus características principales son:
 - Larga vida útil.
 - Contención de partículas y agua, por el orden de una micra.
 - Trabajar bajo presión.
 - Gran capacidad de filtración con el menor volumen posible.
 - Dependiendo si están antes o después de la bomba de alimentación, se les llama prefiltros o filtros.

El filtro convencional, posee un sedimentador, el cual es el encargado de separar el agua del combustible y un sensor que alerta sobre el nivel de esta, para que pueda ser eliminado cualquier exceso por medio de una bomba de cebado manual. Existen 3 tipos de filtros que se pueden clasificar según su composición y método de filtrado, se presentan a continuación.

- De papel o cartón
 - De tándem o por etapas
 - De tamiz metálico
- Válvulas de retención, descarga y rebose: para asegurar su correcto funcionamiento, los sistemas de inyección deben contar con aditamentos que controlen su forma adecuada el flujo y la presión del combustible como lo son este tipo de válvulas.
- Circuito de alta presión: luego de extraer el combustible del tanque o depósito, se debe llevar este a altas presiones y en la cantidad requerida hasta la cámara de combustión. Los componentes del circuito de alta son:
 - Bomba de inyección: también llamada bomba de alta presión, es la encargada directamente de enviar el combustible a través de la tubería de alta hasta los inyectores. Estas bombas, en el caso de motores diésel pueden ser de los siguientes tipos:
 - En línea
 - Rotativas (axiales y radiales)
 - Bomba individual
 - Inyector bomba
 - Unidad bomba tubería inyector

Figura 13. **Bombas de inyección para motores diésel**



Fuente: Sistema Inyección Diésel Bosch. www.emagister.com. [Consulta: 13 de mayo de 2014].

- Tuberías de alta presión: tubos de pared gruesa y diámetro interior calibrados, diseñados para soportar las grandes presiones de que requiere la cámara de combustión. Conectan la bomba de inyección con los inyectores.
- Inyectores: su función es pulverizar el combustible en las cantidades requeridas y entregarlo a la cámara de combustión. El inyector está compuesto por la tobera y el porta inyector. Cuando se realizan reparaciones y reposición de piezas en el inyector, lo

que se cambia esencialmente es la tobera. Los inyectores pueden ser:

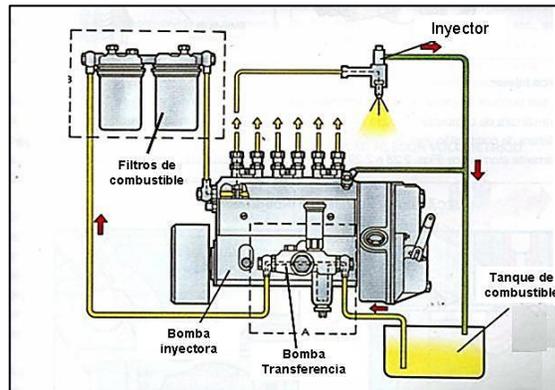
- Tobera de orificios
 - Tobera de orificio refrigerado
 - Tobera de combustión
-
- Cámara de combustión: es donde se realiza la conversión de energía química en energía mecánica. Debe tener un conducto de admisión de aire y otro para el escape de los gases de combustión. Cuenta con válvulas para abrir y cerrar estos orificios, las cuales están gobernadas de forma mecánica y electrónica. La inyección cuando es directa, se realiza en la cámara y cuando no es directa, usa una pequeña cámara de pre mezcla. Dentro de la cámara de combustión se desliza un pistón, con un ajuste muy preciso, lo cual permite su movimiento, y a la vez, concentrar toda la energía producida después de encender la mezcla.

 - Conjunto turbo-compresor *intercooler*: con el fin de incrementar la eficiencia del ciclo del motor por medio del aumento del volumen de aire admitido a la entrada de la cámara de combustión, se usa un turbo compresor, el cual es básicamente un compresor accionado por el flujo de los aires de escape producidos durante la combustión. Está compuesto de una rueda de turbina y eje, una rueda de compresor, un alojamiento central que sirve para sostener el conjunto rotatorio, cojinetes, un alojamiento de turbina y un alojamiento de compresor. El sistema debe contar para su buen rendimiento, con un inter enfriador o también llamado *intercooler*,

el cual enfría el aire proveniente del compresor, lo cual disminuye su densidad y permite mayor volumen de aire en la admisión de la cámara de combustión. El incremento de temperatura de aire se debe al calor generado en la cámara de combustión y que se transmite a la turbina, el cual llega hasta el rodete del compresor y aumenta la densidad del aire.

- Lubricación: el circuito de lubricación debe alcanzar aquellos componentes del motor que están sometidos a fricción y que puede desgastarse y recalentarse por su continuo movimiento y roce con otras superficies. Por eso se puede afirmar que la lubricación se debe dar en casi todos los mecanismos envueltos no solo en el funcionamiento del motor sino del vehículo como tal.

Figura 14. **Diagrama del circuito de lubricación diésel**



Fuente: http://dc220.4shared.com/doc/x5_V8grF/preview_html_m4a36a76b.jpg.
[Consulta: 13 de mayo de 2014].

- En general los sistemas de lubricación de los motores diésel cuentan con:

- Cárter
 - Bomba de aceite
 - Elementos filtrantes
- Refrigeración: con el fin de mantener en óptimo estado los componentes, los motores diésel deben contar con un adecuado sistema de refrigeración de sus componentes. Por lo general se usa agua, aire y en cierta medida el aceite lubricante. Los sistemas de lubricación por líquido deben contar con:
- Cámaras
 - Radiador
 - Bomba de agua
 - Ventilador
 - Termostato
 - Bomba de agua
 - Líquido de refrigeración

2.4.2. Transmisión

Una vez se pone el cigüeñal en movimiento, después de realizada la combustión, el operador requiere variar la velocidad y de igual forma se debe asegurar que el movimiento llegue hasta las llantas, que serán las encargadas de mover el equipo. Estas son las funciones principales del sistema de transmisión.

Los componentes primarios son:

- Embrague (*clutch*)

- Caja de cambios o velocidades
- Cardán o eje cardánico
- Diferencial
- Convertidor

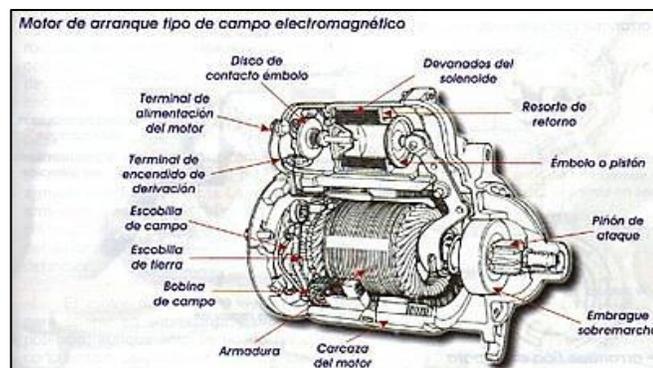
2.4.3. Corriente eléctrica

Existen dos tipos usados comúnmente, corriente continua y corriente alterna, la más común utilizada en los equipos es la primera, ya que no varía el voltaje proporcionado a los equipos y las baterías que utilizan suministran este tipo de corriente.

Sus componentes principales son:

- Motor de arranque: A diferencia de los motores eléctricos, los de combustión interna, necesitan una fuerza externa para iniciar su movimiento, la cual es entregada por el motor de arranque.

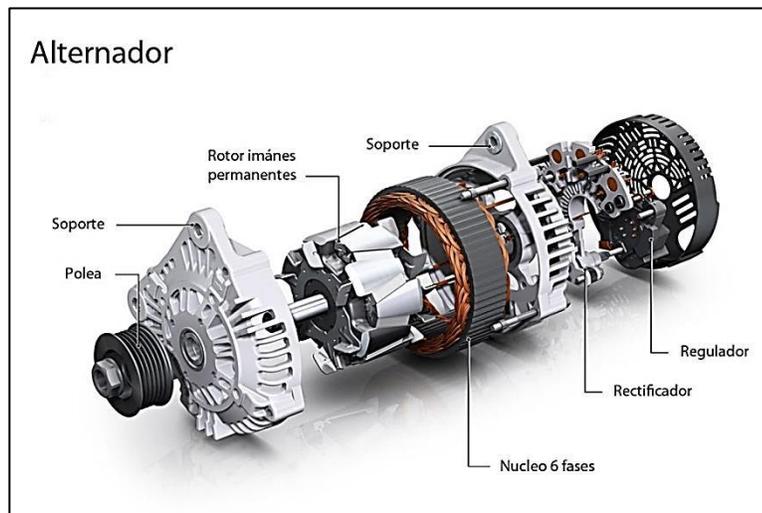
Figura 15. Motor de arranque



Fuente: <http://4.bp.blogspot.com/s400/ARA.bmp>. [Consulta: 13 de mayo de 2014].

- Las características principales que debe poseer el motor son las siguientes:
 - Debe desarrollar el máximo par inicial para poder vencer la resistencia pasiva del motor de combustión.
 - Reducción gradual del par de giro a medida que aumenta la velocidad y se va poniendo en marcha el motor.
 - El motor puede contar con un reductor de velocidad incorporado.
- Alternador: su función principal es transformar la energía mecánica entregada por el cigüeñal en energía eléctrica que será acumulada por la batería y funciona por el principio de inducción electromagnética

Figura 16. **Alternador**



Fuente: <http://www.arpem.com/coches/fotos/2011/4p-alternador.jpg>.
 [Consulta: 13 de mayo de 2014].

Sus componentes principales son:

- Conjunto inductor formado en el rotor
 - Inducido formado en el estator
 - Puente rectificador
 - Carcasa y elementos complementarios
 - Regulador electrónico
-
- **Batería:** elemento encargado de acumular energía eléctrica convirtiéndola en energía química, por medio de placas de plomo, electrolitos de ácido sulfúrico y agua. Alimenta los componentes que funcionan independientemente a la marcha del motor, como el radio, las luces, el tablero de alarmas y el motor de arranque.

 - **Instalación eléctrica:** conjunto de medios que permite conducir la corriente eléctrica hasta los consumos del vehículo. En la mayoría de equipos, es de 24 voltios. Los principales componentes son:
 - Caja de fusibles
 - Fusibles
 - Conexiones y conectores
 - Conmutadores
 - Relés
 - Tablero de alarmas

2.4.4. Dirección

Este mecanismo se encarga de dar la orientación deseada por el operador al equipo. Su principio constructivo está dado por el trapecio de *Jeantaud*, el

cual afirma que la perpendicular a los ángulos formados por las llantas del eje delantero y la prolongación del eje trasero, deben unirse en un centro común. Las direcciones para equipos pequeños están compuestas básicamente por:

- Un volante
- Una columna de dirección
- Caja de dirección
- Barras o terminales de dirección

Los equipos de mayor dimensión o pesados, debido al peso que deben transportar y la dimensión de las llantas, deben usar sistemas de dirección hidráulicos, los cuales contienen:

- Bomba hidráulica
- Cilindros hidráulicos de dirección
- Depósito de aceite
- Válvula de regulación

2.4.5. Frenos

Un freno es un dispositivo utilizado para detener o disminuir el movimiento de algún cuerpo, generalmente, un eje, árbol o tambor. Los frenos son transformadores de energía, por lo cual pueden ser entendidos como una máquina *per se*, ya que transforman la energía cinética de un cuerpo en calor o trabajo y en este sentido pueden visualizarse como extractores de energía. A pesar de que los frenos son también máquinas, generalmente se les encuentra en la literatura del diseño como un elemento de máquina y en literaturas de teoría de control pueden encontrarse como actuadores. Entre los tipos de frenos se encuentran los siguientes:

- Frenos de fricción.
- Frenos neumáticos.
- Frenos mecánicos.
- Frenos hidráulicos: es el que aprovecha la acción multiplicadora del esfuerzo ejercido sobre un líquido oleoso incompresible. Utilizan la presión de un líquido para forzar las zapatas de freno hacia fuera, contra los tambores. El sistema consta esencialmente de dos componentes: el pedal del freno con un cilindro maestro y el mecanismo de freno de ruedas, junto con los tubos o conductos correspondientes y las piezas de sujeción.
- Freno de estacionamiento.
- Freno eléctrico.
- Freno de motor.

2.4.6. Sistema de suspensión

Es el conjunto de elementos encargados de absorber las reacciones producidas por el suelo sobre las llantas, para minimizar su efecto sobre los elementos rígidos del vehículo como lo son el chasis, los bastidores, donde van montados los otros sistemas. Entre sus principales componentes se encuentran los siguientes:

- Elementos elásticos
- Amortiguadores
- Elementos estabilizadores
- Subsistema de suspensión neumático

2.4.7. Ruedas

Las ruedas o llantas son un contenedor de aire que funciona como enlace entre la superficie del camino y el vehículo. Existen dos grandes tipos de llantas, las que pueden funcionar con neumático y las que lo hacen sin ayuda de estos.

2.4.8. Chasis

El chasis es la estructura principal de los equipos, en cual van sujetos todos sus componentes principales, tales como suspensión, caja, motor, otros, generalmente está compuesto por 2 vigas principales en C unidas por vigas transversales llamadas puentes. Estos elementos están fabricados en acero estructural templado y su dimensión depende de la capacidad de carga que tenga el equipo.

2.4.9. Perforación

En los equipos de perforación y sostenimiento, estos son los componentes en los que recae la mayor parte del trabajo, la forma de trabajo es un tanto compleja ya que el sistema está gobernado por bancos hidráulicos de válvulas, las cuales se encuentran reguladas para que el desempeño del equipo sea el óptimo.

Figura 17. **Pistolas de perforación**



Fuente: http://www.minconmining.com/images/products/product_103/1.jpg.
[Consulta: 13 de mayo de 2014].

En el caso de los equipos de perforación, la mayoría cuenta con dos brazos y en cada uno de estos una pistola de perforación, los modelos pueden variar pero una de las más conocidas es la HLX5, en los peradores se utiliza solamente un brazo, pero se encuentran dos pistolas de perforación en cada uno, siendo estas las H200 o HH200 y tienen distintos fines, ya que una se utiliza para perforar y la otra para asegurar el terreno.

2.5. Condiciones de trabajo de las máquinas en minería subterránea

Todos los yacimientos mineros requieren un modelo específico de excavaciones de preparación, que se disponen en una fase separada, antes de la producción del mineral. Esta fase efectúa en conexión con el método de explotación seleccionado.

Existen componentes básicos de excavación de roca para la producción eficiente de un yacimiento mineralizado, y está dado por:

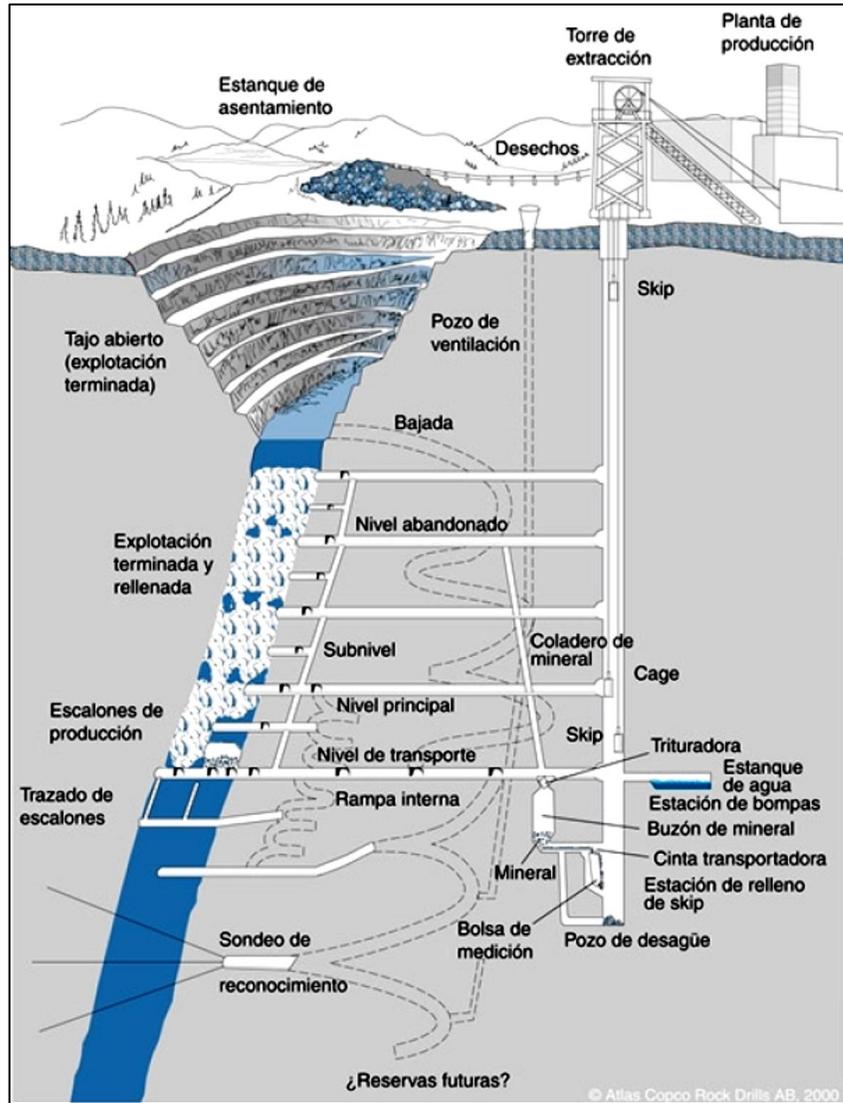
- Accesos
- Preparación de la mina
- Métodos de explotación

Los accesos son labores mineras que abren el camino desde la superficie a los frentes donde se encuentra el mineral para su explotación.

La preparación se define como una red cuidadosamente planificada de desarrollos mineros, como galerías, socavones, piques, chimeneas, rampas, o toda forma básica de excavación de rocas. La preparación está íntimamente conectada con los métodos de explotación y define la infraestructura de la mina.

Los métodos de explotación son la forma o el sistema asociado a la explotación del yacimiento, y dependerá de factores relacionados con la naturaleza, el depósito mineralizado y de consideraciones técnicoeconómicas, siendo las principales: potencia del yacimiento, forma y extensión del cuerpo, distribución de la mineralización, propiedades geomecánicas, entre otros. El equipo pesado se distribuye por todas las áreas del yacimiento o mina, expuesto en la mayoría de casos a sufrir daños debido a las adversidades que se pudieran encontrar en el interior de los túneles.

Figura 18. Disposición típica de una mina



Fuente: MUÑOZ DEL PINO, Erick. *Riesgos en la Minería Subterránea*. p. 05.

El equipo de perforación así como el de sostenimiento, son los que transitan menos distancias debido al tipo de trabajo que ejecutan, y esto beneficia al sistema de traslación (llantas, orugas, entre otros), pero se exponen a caídas de rocas o derrumbes, y estos inconvenientes causan grandes fallas

en los equipos, esto debido a que la mayoría de los componentes poseen una alta dureza y a la vez son frágiles.

Figura 19. **Derrumbe de material en túneles**



Fuente: <http://2.bp.blogspot.com/s320/para+construir+tuneles.jpg>.
[Consulta: 05 de mayo de 2014].

Los equipos de acarreo de material no están exentos a estos accidentes, pero estos se ven más afectados por el estado de las vías, ya que dependiendo del lugar se pueden encontrar terrenos con demasiada agua, con roca demasiado dura y esto daña considerablemente el sistema de traslación, así también materiales que se utilizan para el sostenimiento de los frentes (mallas, marcos, pernos, entre otros), para disminuir esto en varios casos se pueden utilizar cadenas de protección para alargar la vida útil de los neumáticos.

Figura 20. **Condición en interior de túnel**



Fuente: http://www.archivohistoricominerio.org/images/20080929145125_150f3a.jpg.
[Consulta: 05 de mayo de 2014].

Figura 21. **Accidente en descarga de material**



Fuente: <http://www.eluniversal.com.mx/img/2009/01/Est/010alud-NL-nota.jpg>.
[Consulta: 05 de mayo de 2014].

Otro problema que afecta es el tamaño de los accesos y vías, ya que hay lugares en los que los equipos por su dimensión transitan con lentitud, debido a que existe el riesgo que hagan contacto con las paredes del túnel y dañen la

carrocería. Al salir a superficie a descargar el material también hay riesgo de que los equipos tengan accidentes, esto debido a la topografía del terreno y a las habilidades de los operadores.

2.6. Rutinas de mantenimiento

Los fabricantes de maquinaria y equipos proporcionan especificaciones del funcionamiento, temperaturas de operación, presión de aceites, velocidad máxima e instrucciones mecánicas precisas para el montaje. Estas especificaciones deben ser observadas, ya que la lubricación no corrige defectos mecánicos. Los servicios que se deben hacer a las máquinas, cuando sea necesario, son aquellos en que se realizan operaciones que no están programadas específicamente en un tiempo determinado.

Las rutinas que siguen son las siguientes:

2.6.1. Diariamente o cada 10 horas

En el servicio diario, se tiene que realizar una inspección alrededor de la máquina para mantener un estricto control respecto a fugas, se necesita que se encuentre la causa y se corrijan las mismas. Se debe reparar toda falla que se encuentre en el compartimiento del motor, por lo regular en esta inspección los mayores inconvenientes siempre serán las fugas antes mencionadas. Así también verificar los niveles de los fluidos.

Se debe inspeccionar y reparar toda fuga que se encuentre en el sistema hidráulico, como son: mangueras, sellos, bridas, cilindros, entre otros y determinar si es una avería o un desgaste excesivo por el tiempo de trabajo. Estas pruebas se deben de realizar sin presión en el sistema. En la transmisión

también se deben verificar posibles fugas en los sellos, tapas y mangueras, así también en los mandos finales, y verificar los niveles de aceite que tienen. Se deben revisar las herramientas de corte, en el sistema eléctrico se inspeccionan las luces, indicadores, medidores, bocinas, baterías, entre otros, el tanque de combustible de tiene que drenar, para eliminar la humedad y sedimentos.

2.6.2. Cada 250 horas

En el período de servicio de 250 horas, el cambio de aceite del motor es factor esencial en la conservación de los motores. Es esencial prestar importancia para no sobrepasar el nivel de aceite al momento del cambio, ya que las partes internas del motor pueden sufrir daño. Es necesario que se verifique el radiador, para comprobar que no existe ninguna fuga en él.

El sistema de frenos en la maquinaria juega un papel de suma importancia, ya que de ello depende la seguridad del operador, como también la de las personas que trabajan cerca de ellas. Los frenos se pueden probar en una superficie horizontal y seca, teniendo el cuidado que no haya personas ni obstáculos en el área alrededor de la máquina. Se deben inspeccionar las fajas tanto de motor y unidades de compresor, así también el nivel de electrolito de las baterías y realizar una limpieza a estas. Realizar las tareas del mantenimiento de 10 horas.

2.6.3. Cada 500 horas

El filtro y el aceite de la transmisión en algunas de las máquinas es recomendable que sea cambiado cada 500 horas, sin embargo, cualquier irregularidad en el sistema hidráulico que pueda causar daño a la máquina es necesario que sea atendido de inmediato. Esto se hace si se observa que la

máquina no está trabajando en óptimas condiciones y el indicador muestra un aumento en la temperatura.

El aumento de la temperatura son signos de que pueda haber problemas en los filtros, que haya una fuga interna en la transmisión, que una bomba no esté trabajando bien, es entonces necesario hacer el servicio antes del tiempo estimado y se repararán las fallas. A estas tareas se agregan la de los mantenimiento de 10 y 250 horas.

2.6.4. Cada 1 000 horas

En este servicio, se deben realizar las tareas de los servicios anteriores sumando el sistema hidráulico, se debe de hacer un cambio del aceite completo así como los filtros. Debe ponerse énfasis en la limpieza de las líneas hidráulicas para evitar inconvenientes futuros y que la máquina pueda llegar a fallar debido a partículas metálicas que se encuentran en el sistema por trabajos mal realizados. Inspeccionar toda la estructura de la máquina para verificar si hay pernos flojos o dañados y reemplazar componentes en mal estado.

2.6.5. Cada 2 000 horas

Al sistema de refrigeración se le hace un servicio, drenando el refrigerante y limpiando el enfriador. Se debe comprobar el juego de válvulas del motor, la calibración varía dependiendo el tipo y marca de motor, así como de las recomendaciones del fabricante. Es necesario realizar el cambio de aceite a los mandos finales y diferenciales en los equipos que aplique este caso.

2.6.6. Consecuencias de frecuencias inadecuadas en el mantenimiento preventivo

El exceso o la insuficiencia de mantenimiento preventivo aplicado a los equipos tendrá consecuencias negativas que afectarán tanto a la disponibilidad como a la confiabilidad, por lo anterior es de vital importancia determinar la frecuencia óptima de mantenimiento a los equipos y evitar un sobre mantenimiento o en un bajo mantenimiento, que en ambos casos reflejan altos costos y baja disponibilidad.

2.6.6.1. Bajo mantenimiento

Este inconveniente se da debido a una mala planificación y una reducción de costos, puede ser también las horas entre cada mantenimiento realizado al equipo. Entre las consecuencias encontramos las siguientes:

- Bajo costo de mantenimiento preventivo.
- Alto costo de mantenimiento correctivo.
- Pérdidas productivas por baja disponibilidad a causa de fallas en el equipo.
- Alto costo por consumo de inventario.

2.6.6.2. Sobre mantenimiento

Este problema también es debido a una mala planificación, pero también a un exceso de costos, se disminuyen las horas entre cada mantenimiento y entre las consecuencias están las siguientes:

- Alto costo de mantenimiento preventivo.
- Bajo costo de mantenimiento correctivo.
- Pérdidas productivas por baja disponibilidad debido al exceso de paros programados de mantenimiento.

3. PLAN DE MANTENIMIENTO

3.1. Generación de un plan de mantenimiento

La generación de un plan de mantenimiento obedece a una necesidad. Toda necesidad genera la asignación de recursos y toda asignación de recursos genera erogaciones de dinero. Dicho de otra manera, se generarán costos de implementación de manera que los costos generales se vean reducidos en el largo y mediano plazo. Puede ocurrir que los costos de mantenimiento se vean aumentados, pero en la ecuación general, de costos de la empresa, estos tenderán a bajar y a contribuir a una mayor rentabilidad.

Además la rentabilidad se verá ampliada en muchos casos por la eliminación de los costos ocultos que casi nunca se tienen en cuenta cuando se analizan los costos de mantenimiento, tales como evitar duplicidad de procesos, baja calidad en los servicios prestados, otros.

3.1.1. Objetivo

El mantenimiento ha crecido a un ritmo vertiginoso en la industria, especialmente en aquellas que utilizan activos de precios elevados y altos lucros cesantes tales como las constructoras, mineras y petroleras. Todas estas empresas tienen un denominador común: el uso de máquinas pesadas tales como cargadores, camiones, perforadoras, entre otros.

Debe quedar claro que el mantenimiento hace al negocio y a la rentabilidad, por lo que si realmente se lo comprende, debe ser incluido dentro

de la estrategia global de la empresa, pues tiene incidencia en la cantidad, calidad de los productos y servicios que una empresa ofrece en el mercado. Por lo tanto, el objetivo principal de la generación de un plan de mantenimiento consiste en ser una fuente de ingresos con incidencia directa en el resultado de una empresa.

3.1.2. Definición

Un plan de mantenimiento es el conjunto de tareas de mantenimiento programado, agrupadas o no siguiendo algún tipo de criterio, y que incluye a una serie de equipos de la planta, que habitualmente no son todos.

3.1.3. Alcances

Al realizar la propuesta del plan de mantenimiento se verán involucradas todas las áreas de la empresa, ya que es de interés global el que se alcance una estabilidad verdadera en el mantenimiento de equipos, siempre y cuando el principal administrador y ejecutor de este sea el gerente de maquinaria apoyado de sus colaboradores.

3.1.4. Estrategias de implementación

Está enfocada en la puesta en práctica. En términos empresarios se puede definir como la relación entre la visión de la empresa y los planes operativos que deben seguirse diariamente.

3.1.5. Resultados esperados

Con la elaboración e implementación del plan de mantenimiento, se espera aumentar la disponibilidad global de la flota de equipos de la empresa, con lo cual disminuir los tiempos perdidos en producción y aumentar las ganancias generales de la empresa.

3.2. Pasos para la implementación de un plan de mantenimiento

Se debe de estructurar un conjunto de tareas que comprende las actividades, los procedimientos, los recursos tanto económicos como laborales y la duración necesaria para ejecutar el plan de mantenimiento.

3.2.1. Definición de objetivos, estrategias y responsabilidades de mantenimiento

Para lograr un correcto desempeño en la gestión global del mantenimiento en una organización resulta imprescindible definir previamente los objetivos que se persiguen, estableciendo una estrategia orientada a esos objetivos y determinando las responsabilidades del personal implicado a nivel operacional y gerencial. El proceso de definición de una estrategia de mantenimiento requiere:

- Determinar, con base en los objetivos corporativos del negocio, los objetivos de mantenimiento, por ejemplo: valores estimados y realistas para los indicadores de gestión seleccionados. Determinar el desempeño o rendimiento de los equipos, comparando los datos con las respectivas capacidades nominales.

La gestión del mantenimiento debe conseguir alinear todas las actividades de mantenimiento con la estrategia definida a nivel estratégico o de dirección, táctico y operativo. Una vez que se han transformado las prioridades del negocio en prioridades de mantenimiento, se procederá a la elaboración de la estrategia, de acuerdo con los objetivos. De esta forma se obtiene un plan de mantenimiento genérico en la empresa que se desarrollará y enfocará a aquellos activos considerados críticos.

Las acciones a nivel táctico determinarán la correcta asignación de los recursos (habilidades, materiales, equipos de pruebas y medida, entre otros) para la consecución del plan de mantenimiento. El resultado final será la creación de un programa detallado con todas las tareas a desarrollar y con los recursos asignados para la realización de las mismas.

Las acciones a nivel operativo deben asegurar que las tareas de mantenimiento se llevan a cabo adecuadamente por los técnicos seleccionados, en el tiempo acordado, siguiendo los procedimientos establecidos y utilizando las herramientas adecuadas.

3.2.2. Jerarquización de equipos

Una vez que se han definido los objetivos, las responsabilidades y se ha diseñado una estrategia de mantenimiento, resulta de vital importancia clasificar los activos físicos de la organización con base en su criticidad, es decir, su mayor o menor impacto en el sistema productivo.

Existen numerosas técnicas cualitativas, cualitativo-cuantitativas y cuantitativas que nos ofrecen una base sistemática sobre la cual clasificar un activo como crítico, semi-crítico y no crítico. El método cualitativo está basado

en opiniones de especialistas, donde se combinan criterios técnicos y financieros para jerarquizar equipos. Se caracterizan por ser subjetivos y efectivos para procesos simples, por lo que se requiere en algunos casos métodos más rigurosos para validar la información.

3.2.3. Análisis de puntos débiles en equipos de alto impacto

Realizada la clasificación de los activos en función de su criticidad, el siguiente paso debe ser la realización de una inspección técnica-visual a detalle de todos los equipos considerados críticos para la empresa. Los equipos semicríticos serán inspeccionados someramente, con un menor nivel de detalle mientras que a los activos no críticos no será estrictamente necesario asignarles recursos de inspección dado que su impacto en el sistema, en caso de falla, no es significativo y, por tanto, a los equipos no críticos se les permitirá operar hasta que tenga lugar la falla.

La identificación de las causas raíces que provocan este tipo de fallos crónicos permitirá, en el mejor de los casos, eliminar el modo de falla o, si no fuera posible debido a por ejemplo que el costo de eliminación supera en gran medida al costo por falla del equipo, se podría controlar dicho modo de falla. La eliminación o en su defecto el control de los modos de fallo contribuye a lograr un alto retorno inicial a la inversión en el programa de mantenimiento, asimismo, facilita las fases sucesivas de análisis y diseño de planes de mantenimiento, que requieren de una importante inversión de tiempo y recursos.

3.2.4. Diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios

El diseño de los planes de mantenimiento preventivo es fundamental, ya que se deben de tomar en cuenta todos los factores que ayudarán y los que afectarán al desarrollo del mismo, esto se puede dividir en dos partes fundamentales:

- La información, la cual recopila los datos de los equipos a analizar. Se determinan las distintas funciones del equipo analizado en su contexto operacional. Posteriormente, se determinan para cada función las posibles fallas; a continuación se identifican los modos de falla, es decir, el evento que precede a la falla. Por último, y solo si fuera necesario, se analizarían las causas raíces de las fallas que así lo requieran.
- La decisión, donde se establecen tareas de prevenciones de las consecuencias de los modos de falla. Se determinan para cada modo de falla o causa raíz la tarea de mantenimiento a realizar, la frecuencia con que se va a llevar a cabo, el responsable de ejecutarla, así como el nuevo riesgo resultante de aplicar el plan de mantenimiento.

Una de las estrategias más utilizadas en la industria para el diseño de estrategias y planes de mantenimiento denominada como RCM. Este método es de amplia utilización ya que permite determinar convenientemente las necesidades de mantenimiento de cualquier equipo en operación. También se ha definido como un método que identifica las funciones de un sistema y la forma en que esas funciones pueden fallar, estableciendo a priori tareas de mantenimiento preventivo aplicables y efectivas.

Concretamente, la metodología de análisis RCM propone un procedimiento, por medio de la formulación de siete preguntas que permiten identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos.

- ¿Cuáles son las funciones que debe cumplir el equipo y cuál es el desempeño esperado estando en operación?
- ¿De qué forma puede fallar completa o parcialmente el equipo?
- ¿Cuál es la causa origen del fallo funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre un fallo?
- ¿Cuál es la consecuencia de cada fallo?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir o predecir la ocurrencia de cada fallo funcional?
- ¿Qué puede hacerse si no es posible prevenir o predecir la ocurrencia del fallo funcional?

Al definir las repuestas a estas preguntas, se obtienen recomendaciones, estas serán las bases para la redacción del plan o la estrategia de mantenimiento propuesta. La implantación del programa de mantenimiento preventivo generado permitirá anticiparse a los fallos para subsanarlos con el mínimo impacto en el funcionamiento del sistema, eliminar las causas de algunos fallos e identificar aquellos fallos que no comprometan la seguridad del sistema.

3.2.5. Programación del mantenimiento y optimización en la asignación de recursos

En esta etapa se debe realizar una programación detallada de todas las actividades de mantenimiento, considerando para ello las necesidades de

producción. Se puede tomar como base las recomendaciones hechas por los fabricantes de los equipos.

3.2.6. Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento

La ejecución de las actividades de mantenimiento, debe ser evaluada y las desviaciones controladas para perseguir continuamente los objetivos de negocio y los valores estipulados para los indicadores de mantenimiento seleccionados por la organización. El control de la ejecución permite realimentar y optimizar el diseño de los planes de mantenimiento mejorando de este modo su eficacia y eficiencia.

El diseño del sistema de información están encaminado a recoger y procesar los datos preciso para satisfacer las necesidades de información que lleven a alcanzar los objetivos básicos de la gestión de mantenimiento, que son el aumento de la eficacia y la disminución de costos.

3.2.7. Análisis del ciclo de vida y de la posible renovación de equipos

La gran cantidad de variables que se deben manejar a la hora de estimar los costos reales de un activo a lo largo de su vida útil, generan un escenario de alta incertidumbre. A menudo el costo total del sistema de producción no es visible, en particular aquellos costos asociados con: la operación, el mantenimiento, las pruebas de instalación, la formación del personal, entre otros.

Una vez definidos los costos globales, se pueden analizar las distintas alternativas de equipo y de configuraciones del sistema de forma que la

alternativa técnica más recomendable será aquella que tenga el mínimo costo global.

3.3. Implementación

Se divide en 7 pasos, los cuales contendrán toda la información posible para lograr un resultado óptimo, en estos se determinan las reglas y normas a seguir en cada momento de la implementación.

- Paso 1

Los objetivos trazados para la implementación son los siguientes:

- Implementar los mantenimientos preventivos a los equipos a las 250 horas de trabajo en motor diésel, 250 horas para los compresores y 500 horas para las perforadoras.
- Los indicadores a utilizar serán los siguientes:
 - Disponibilidad mecánica, el valor óptimo de este será de 80 por ciento.
 - Utilización, valor óptimo para producción será de 90 por ciento.
 - Tiempo medio entre fallas, se espera alcanzar un mínimo de 65 horas.
 - Tiempo medio para reparación, el valor máximo de este valor debe de ser de 3 horas.

La mayor responsabilidad en la implementación del plan de trabajo se distribuirá de la siguiente forma:

- Gerencia de Mantenimiento: verificar el buen funcionamiento de las gestiones de cada proyecto, analizar los informes presentados y exigir que los objetivos trazados en la implementación del plan sean cumplidos.
- Encargados de proyecto: estos deben de realizar una planificación de los mantenimientos y trabajos a ejecutar, supervisar que estos sean realizados de la mejor forma posible y apoyar con información técnica al personal que ejecuta los trabajos, y solicitar soporte técnico en casos que sea necesario. La labor de estos será evaluada en base a los informes mensuales, semanales o diarios que presenten.
- Personal operativo: en ellos recaerá la obligación de cumplir con la planificación de trabajos y mantenimientos que se realice en cada proyecto, dar solución pronta a los problemas que se presenten día a día con los equipos, y en caso de no ser así solicitar soporte técnico a sus superiores.
- Departamento de Compras: este se encargará de abastecer con la solicitud de repuestos que se realicen en los distintos proyectos, y el proceso de compra debe de realizarse de una manera en la cual se evite tener equipos inoperativos por falta de repuestos.
- Departamento de Recursos Humanos: estos se encargarán de realizar una evaluación general al personal que se contratará, para que el nivel de estas personas sea el indicado para las tareas que realizarán, y al momento de que trabajadores presenten su renuncia sean suplidos con prontitud y evitar que se presente una escasez de personal operativo y administrativo en los distintos frentes de trabajo.

- Paso 2

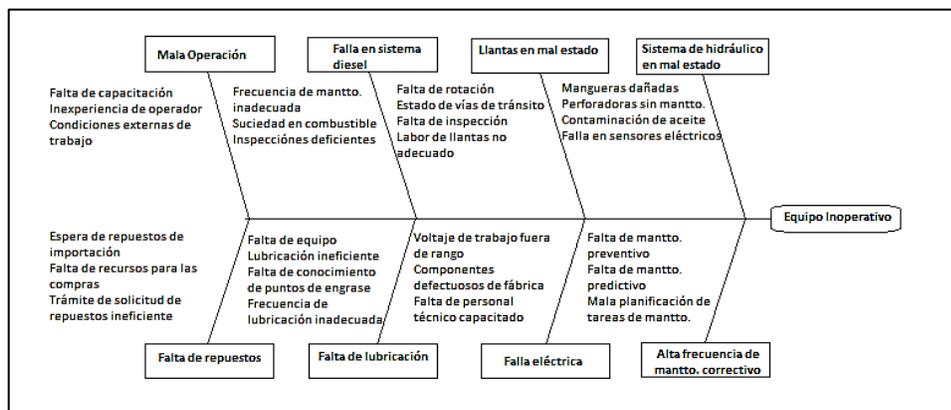
Según la opinión de los distintos trabajadores en los proyectos y por el historial que se tiene de fallas, la clasificación en importancia de los equipos se da de la siguiente forma:

- Equipo de anclaje o sostenimiento
- Equipo de perforación
- Equipo de carga
- Equipo de acarreo
- Equipo auxiliar

- Paso 3

Con base en las inspecciones con que se cuenta, se realizó un análisis causa-efecto para identificar los principales problemas con los que se cuenta en los equipos críticos.

Figura 22. Análisis causa-efecto



Fuente: elaboración propia.

- Paso 4

El método a utilizar para continuar con la implementación es el denominado RCM, por medio de este se podrá determinar con mayor facilidad las necesidades que se tienen en el Departamento. Las respuestas obtenidas son las siguientes:

- ¿Cuáles son las funciones que debe cumplir el equipo y cuál es el desempeño esperado estando en operación?
 - Dar seguridad en las distintas áreas de trabajo de la mina.
 - Habilitar los frentes de trabajo.
 - Evitar derrumbes en áreas de mucha humedad por medio de las mallas de protección que coloca y con evitar atrasos.

El desempeño esperado es que operen sin mayores contratiempos, y efectúen las distintas tareas asignadas por el Departamento de Producción.

- ¿De qué forma puede fallar completa o parcialmente el equipo?

Las fallas más comunes y que detienen parcialmente la operación son:

- Daño en mangueras
- Falla de material en componentes de alta rotación
- Daño en sellos de cilindros

Las fallas que ocasionan que el equipo quede inoperativo completamente y por tiempo prolongado, son las que se dan en componentes mayores de los distintos sistemas:

- Motor diésel.
 - Sistema hidráulico.
 - Bombas hidráulicas
 - Válvulas electrohidráulicas
 - Sistema de aire comprimido.
 - Sistema eléctrico.
 - Sistema electrónico.
- ¿Cuál es la causa origen del fallo funcional?

Pueden ser varias las causas origen de las fallas funcionales, se mencionan las principales:

- Mala operación.
 - Mala planificación de programas de mantenimiento.
 - Horas de operación de los equipos, ya que existen varios que ya superan el tiempo de vida estipulado por el fabricante.
 - Mala calidad de material utilizado en piezas que son fabricadas por el torno.
 - Reparaciones defectuosas en el equipo.
 - Falta de *stock* tanto en bodegas propias como en las de los proveedores, y prolongado tiempo de espera al solicitar repuestos de importación.
- ¿Qué sucede cuando ocurre un fallo?

El procedimiento a seguir al momento de tener una falla es el siguiente:

- Evaluación y diagnóstico de la falla.

- Verificación en bodega de repuestos necesarios para realizar la reparación.
 - Si se cuenta con los repuestos en bodega se procede a realizar la reparación.
 - Si no se cuenta con los repuestos, se realiza una requisición con los repuestos e insumos que se necesiten para realizar la reparación.
 - El tiempo necesario para completar el proceso de compra varía dependiendo el lugar donde se encuentran los repuestos solicitados, debido a que muchos están en el extranjero.
- ¿Cuál es la consecuencia de cada fallo?

Las consecuencias principales son:

- Pérdida de avance en la producción.
 - Baja disponibilidad del equipo.
 - Disminuyen los ingresos al departamento debido a una baja en la renta de equipo.
 - Incremento en costos de mantenimiento.
- ¿Qué se puede hacer para prevenir o predecir la ocurrencia de cada fallo funcional?
- Establecer un programa de mantenimientos preventivos en los equipos y cumplirlo en su totalidad.
 - Realizar inspecciones constantes a los equipos.
 - Definir horas de trabajo para los componentes de los equipos, y en base a esta información establecer un programa de mantenimiento predictivo para toda la flota.

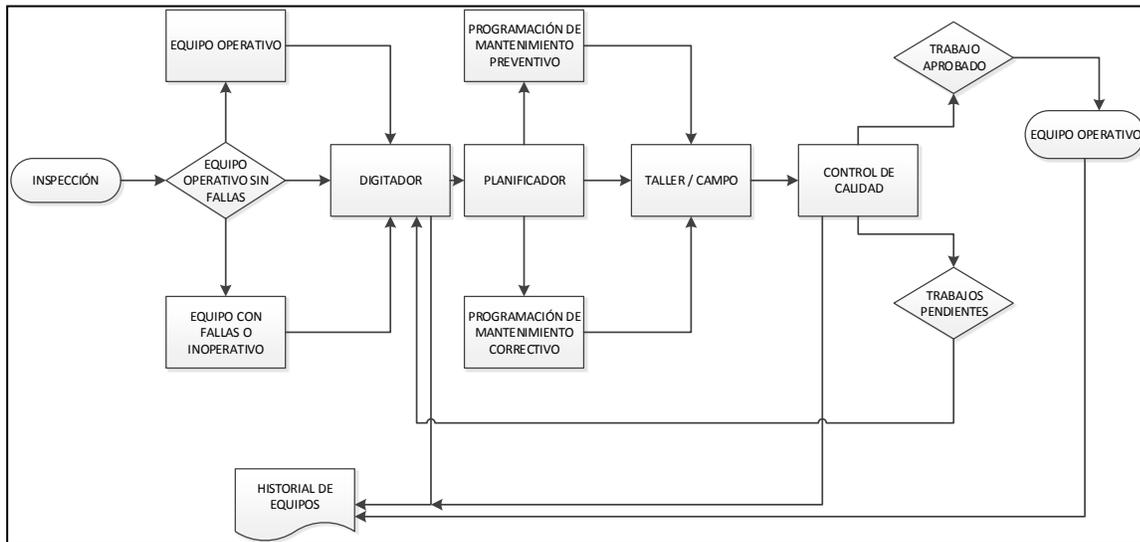
- ¿Qué puede hacerse si no es posible prevenir o predecir la ocurrencia del fallo funcional?

Si no se pueden prevenir o predecir las fallas, se debe de contar con un amplio *stock* de repuestos para poder atender cualquier emergencia, acá cobra importancia el historial de fallas de cada máquina ya que en base a esta información se podrá establecer un *stock* mínimo a mantener en cada una de las bodegas de los proyectos.

- Paso 5

Para la implementación del plan de mantenimiento, se seguirán las indicaciones realizadas por los proveedores de las máquinas, para realizar las acciones preventivas, y se basarán en los criterios del personal para determinar al momento de la ejecución si son necesarios hacer todos los cambios que en estos manuales se indican. El proceso interno queda definido de la siguiente forma:

Figura 23. Diagrama de procesos en mantenimiento



Fuente: elaboración propia.

- Paso 6

El control a implementar se basará en los indicadores de clase mundial, ya que a través de estos, se logrará verificar tanto la disponibilidad como los tiempos muertos de producción debido a las máquinas. Se nos facilitarán las medidas a tomar y las decisiones serán en un corto plazo, obteniendo así conclusiones claras sobre lo que se obtendrá conforme avance la implementación.

- Paso 7

Tabla II. **Costos máximos para maquinaria**

Equipo	Costo por hora (máximo)
Equipo de perforación	265,00 \$
Equipo de sostenimiento	235,00 \$
Equipo de carga	350,00 \$
Equipo de acarreo	295,00 \$

Fuente: elaboración propia.

Con base en los valores establecidos de costos por hora para los equipos, se define que al alcanzar algún equipo un valor mayor a estos, se tomará la decisión de realizar una reparación mayor dependiendo de las horas de trabajo, un reclamo formal al fabricante o el cambio de la unidad.

4. HERRAMIENTA DE CONTROL

4.1. Indicadores

Para medir el rendimiento y la eficacia del área de Mantenimiento, se deben conocer, controlar e interpretar diversos índices de un modo sencillo y práctico, entre los que destacan los siguientes.

4.1.1. Indicador de disponibilidad mecánica

Es sin duda el indicador más importante en mantenimiento, y por supuesto, el que más posibilidades de manipulación tiene. Si se calcula correctamente, es muy sencillo ya que es el cociente de dividir el número de horas que un equipo ha estado disponible para producir y el número de horas totales de un período de trabajo.

- Disponibilidad mecánica

$$DM = \frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{Horas trabajadas} + \text{Horas Paradas}}$$

En plantas que estén dispuestas por líneas de producción en las que la parada de una máquina supone la paralización de toda la línea, es interesante calcular la disponibilidad de cada una de las líneas, y después calcular la media aritmética.

En plantas en las que los equipos no estén dispuestos por líneas, es interesante definir una serie de equipos significativos, pues es seguro que calcular la disponibilidad de absolutamente todos los equipos será largo, laborioso y no aportará ninguna información valiosa. Del total de equipos de la planta, se debe seleccionar aquellos que tengan alguna entidad o importancia dentro del sistema productivo.

Una vez obtenida la disponibilidad de cada uno de los equipos significativos, debe calcularse la media aritmética, para obtener la disponibilidad total de la planta.

4.1.2. Indicador de utilización

Este indicador es de mucha utilidad, ya que se podrá verificar de una forma sencilla el uso de los equipos, el dato se obtiene de dividir las horas que realmente utilizan el equipo sobre las horas disponibles.

- Utilización

$$U = \frac{\text{Horas utilizadas}}{\text{Horas de disponibilidad}}$$

Con este valor, al realizar un cierre mensual o anual según se necesite se podrá justificar un avance o un retroceso en los procesos de producción, ya que de esta área dependerá el uso que se le pueda dar a cada equipo, por lo cual es aquí donde cobra importancia la implementación de este indicador en los controles a llevar.

4.1.3. Indicador de tiempo medio entre fallas

Uno de los indicadores más útiles para el estudio del comportamiento de los equipos en el tiempo medio entre fallas, ya que facilita evaluar la eficiencia del mantenimiento preventivo.

Este indicador permite realizar estudios para la mejora de la fiabilidad y mantenibilidad. Para preparar estos indicadores se requieren adecuados reportes de mantenimiento, intervenciones, partes utilizadas, tiempos empleados, entre otros, sin esta información el diagnóstico se hace más complejo y no garantiza identificar las causas profundas del problema. Es frecuente en las empresas partir del análisis de este indicador para la identificación de la situación actual del estado de los equipos en una planta o proyecto de construcción.

El cálculo de este indicador es simple, ya que se utilizan las horas trabajadas por las máquinas y el número de veces que tiene que detenerse por una falla mecánica.

- Tiempo medio entre fallas MTBF

$$MTBF = \frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{Número de paradas}}$$

4.1.4. Indicador de tiempo medio para reparaciones

Es el tiempo que se invertirá en reparar una falla mecánica en los equipos, este indicador permite disminuir aún más los tiempos de parada, ya que al conocer el tiempo que tardará en hacer el mantenimiento se pueden realizar estudios para conocer cuáles son los materiales, repuestos, equipos,

herramientas, instrumentos y personal necesario para ello y así no divagar acerca de los recursos a utilizar para realizar una reparación.

- Tiempo medio para reparaciones MTTR

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Horas en reparación}}{\text{Número de paradas}}$$

4.2. Fallas en las máquinas

Estas pueden ser causadas por distintos factores, tales como mala operación, un mal mantenimiento, entre otros. Independientemente la causa, se debe prevenir llegar a estas instancias por medio de distintas técnicas que ayudarán a prolongar el buen funcionamiento de un equipo.

4.2.1. Definición

Se define como la finalización de la capacidad de la máquina, sistema o elemento para realizar la función requerida, definida según criterios de diseño, seguridad, mantenimiento, sin que este deje de funcionar o lo haga en condiciones críticas, también se puede definir como la pérdida de disponibilidad de una pieza o máquina.

Las condiciones críticas de funcionamiento que determinan la presencia de fallas son diferentes en cada caso y dependen de los siguientes aspectos:

- Las características del equipo y sus elementos
- Las condiciones y lugar de funcionamiento
- La disponibilidad de síntomas que permita evaluar el estado del equipo

- La disponibilidad de medir y evaluar dichos síntomas
- La presencia de sistemas de control y protección

4.2.2. Origen de las fallas

Debido al tiempo de operación de un equipo, mala operación, mala utilización, falta de mantenimiento preventivo y predictivo, el inicio u origen de las fallas comienza bajo las siguientes condiciones:

- Cuando los esfuerzos de trabajo superan la resistencia del material de los elementos de las máquinas.
- La existencia en la máquina de un elemento débil o que no sea el indicado.
- Por diseño y construcción del equipo.

4.2.3. Diagnóstico de fallas

El diagnóstico de fallas o es más que una investigación cuidadosa de los síntomas y hechos que llevan a la detección y aislamiento de la falla causante de una anomalía en el equipo.

La investigación de los síntomas y hechos, y su relación con las fallas pueden hacerse de dos formas distintas. Primero, a partir de un conocimiento lógico del comportamiento del equipo y sus partes en situación de funcionamiento normal y anormal, y segundo utilizando el conocimiento adquirido mediante la experiencia en diagnóstico y mantenimiento de máquinas. El proceso de diagnóstico requiere en primer lugar la detección e identificación de los síntomas originados por las fallas y en segundo lugar, la identificación de la falla mediante una evaluación de dicho síntoma.

4.3. Clasificación de las fallas

Debido a que las fallas pueden tener distintas causas que la provocan, estas se deben de clasificar según sea conveniente para también clasificar las medidas a tomar para reparar los daños. Entre los tipos de fallas existen:

4.3.1. Fallas tempranas

Ocurren al principio de la vida útil y constituyen un porcentaje pequeño del total de fallas. Pueden ser ocasionadas por problemas de materiales, de diseño o montaje.

4.3.2. Fallas adultas

Son las que presentan mayor frecuencia durante la vida útil. Son derivadas de las condiciones de operación y se presentan más lentamente que las anteriores. Los trabajos correctivos necesarios no necesitan de mucho tiempo.

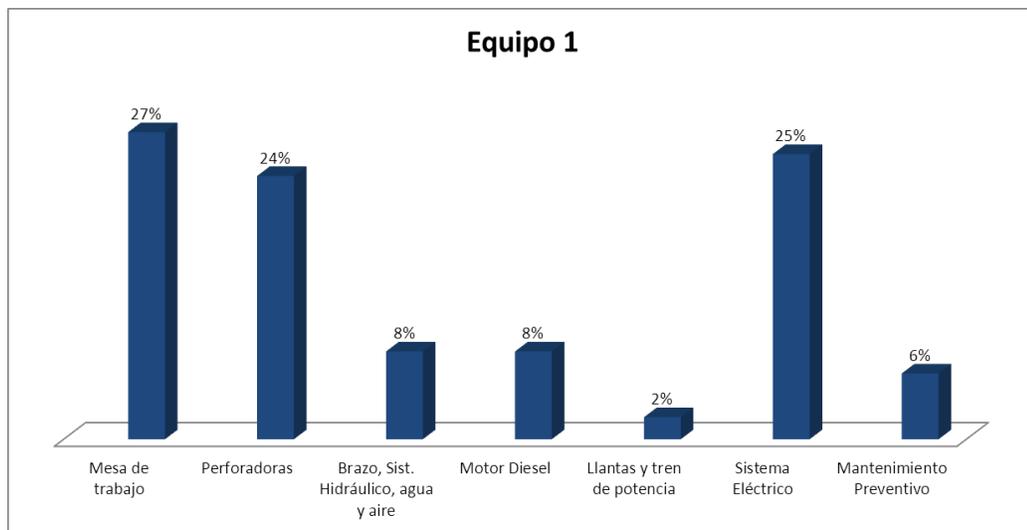
4.3.3. Fallas tardías

Representan una pequeña fracción de las fallas totales, aparecen en forma lenta y ocurren en la etapa final de la vida útil de la máquina, representan un alto costo debido a la gravedad y el tiempo empleado para su reparación es prolongado.

4.3.4. Estadística real de fallas en las máquinas

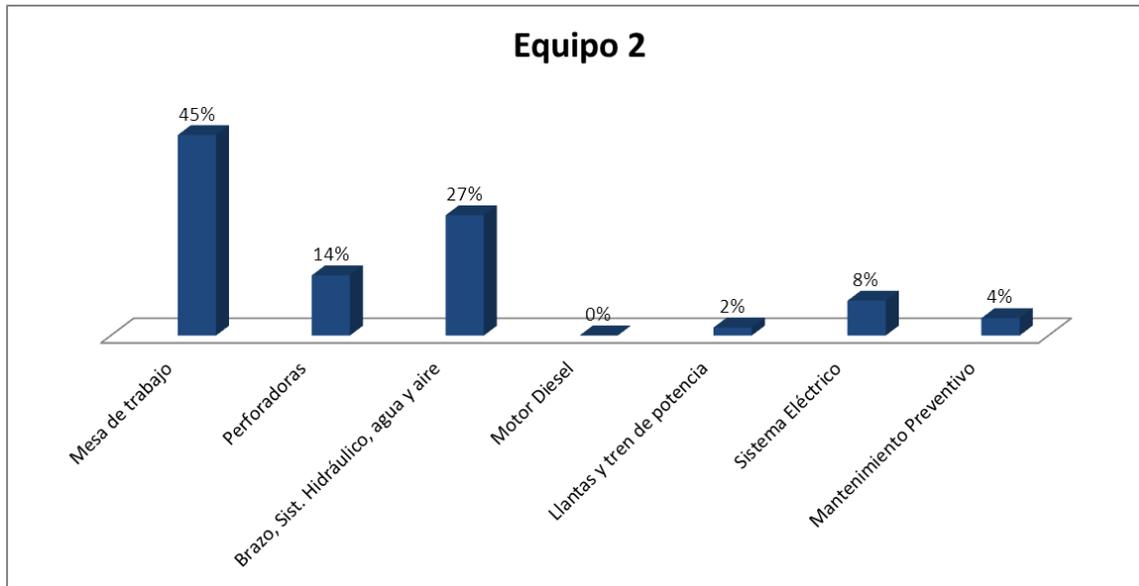
Se analizan los pernadores, ya que estos fueron definidos como los equipos críticos. Los datos utilizados son tomados en tiempo real, y con estos se podrán analizar las posibles soluciones a cada problema presentado.

Figura 24. Fallas en equipo 1



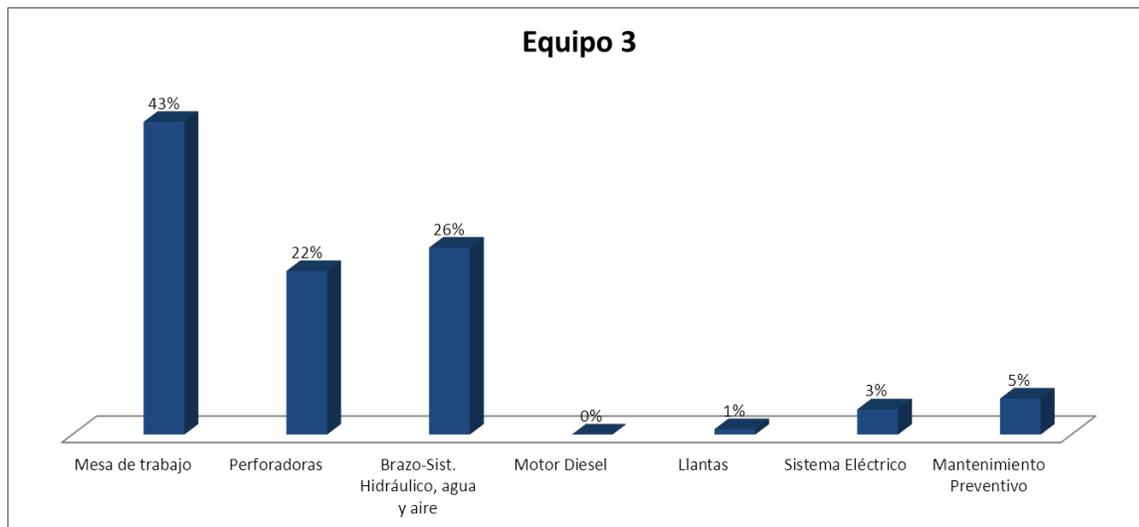
Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Fallas en equipo 2**



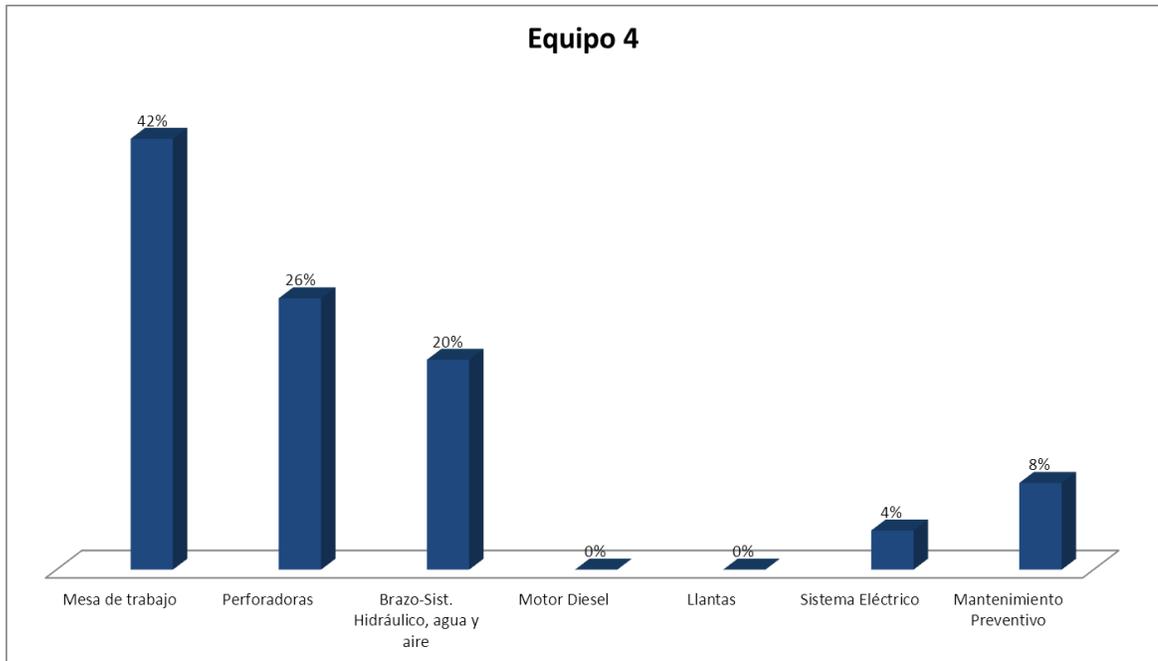
Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Fallas en equipo 3**



Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Fallas en equipo 4

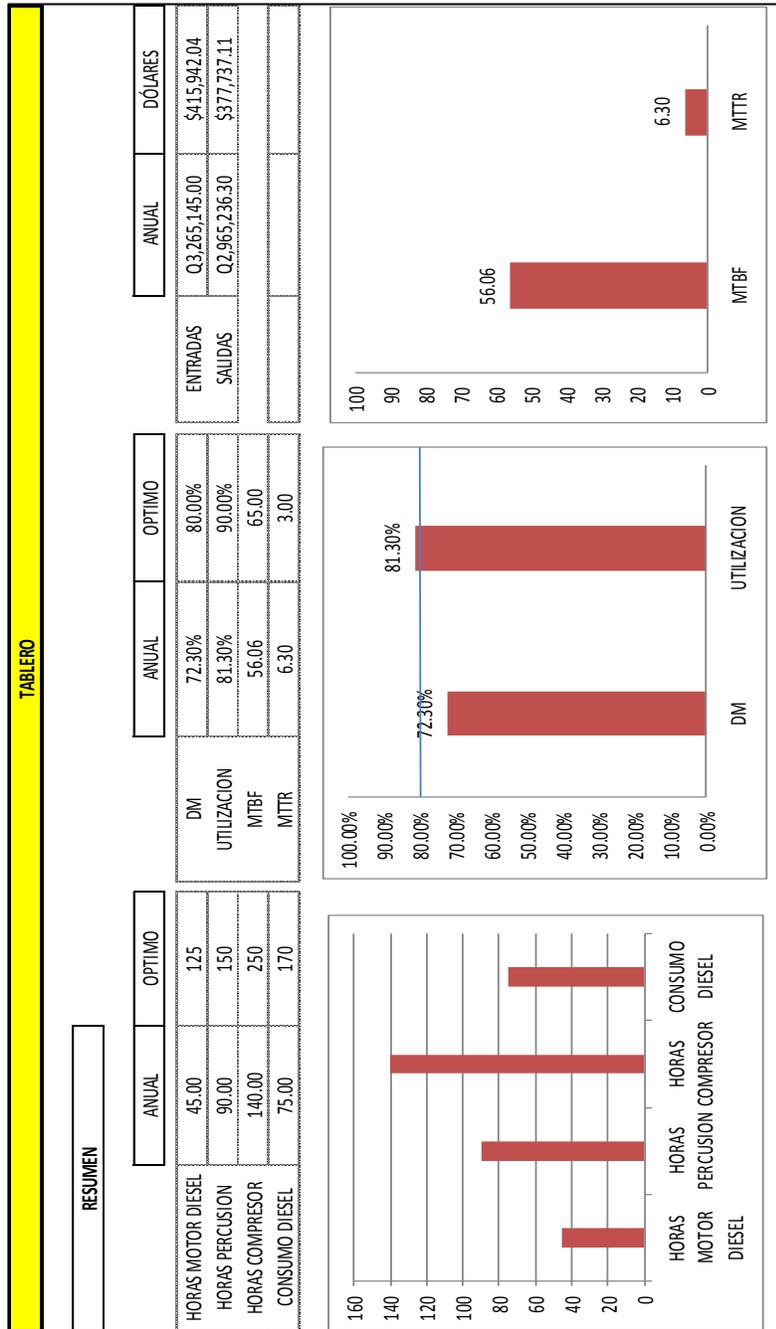


Fuente: elaboración propia.

4.4. Desarrollo de tablero control de indicadores

Este es de suma importancia ya que se podrá apreciar el rendimiento de cada equipo, con base en los 4 indicadores mencionados anteriormente y el costo que representará a la empresa mantenerlos en operación. Con este se podrán obtener resultados claros y se logrará una rápida toma de decisiones.

Figura 28. **Tablero control de indicadores**



Fuente: elaboración propia.

4.5. Interpretación de resultados y toma de decisiones

Luego de un análisis de las fallas presentadas se llegan a establecer las principales causas de las mismas, las posibles soluciones, y los procesos a seguir para disminuir los porcentajes presentados.

- Según las gráficas de fallas se puede establecer que el mayor problema que se presenta con los equipos críticos es la mesa de trabajo y esto se debe al tipo de operación, tipo de roca a perforar, por lo cual se deberá de poner énfasis en este tema para aumentar la disponibilidad de la flota.
- Según los valores obtenidos del tablero de indicadores, la disponibilidad mecánica garantiza que la producción se mantenga, aunque no de una forma ideal, pero se debe poner mucho énfasis al índice de tiempo medio entre fallas, debido a que este debe tener un valor mínimo de 60 horas, lo cual se está lejos de alcanzar, por lo que se debe trabajar en el aumento de este valor, ya que se logrará la mejoría en el resto de indicadores y un aumento significativo en la producción.
- Evaluando los costos obtenidos de los equipos, se puede establecer que no es necesario el cambio de alguna unidad, pero se debe aumentar el mantenimiento preventivo para que el costo del mantenimiento correctivo disminuya y de esta forma aumentar el rendimiento y eficiencia de las unidades que redundará en las ganancias de la empresa.

CONCLUSIONES

1. Por medio de la implementación de un plan de mantenimiento basado en pasos puntuales, se logra obtener un control más estricto, completo y práctico para la gestión del área y de esta forma lograr su mejoría.
2. Se lograron identificar las debilidades, amenazas y fortalezas del área de Mantenimiento, con lo cual se encuentran las oportunidades de mejora para los procesos establecidos.
3. Se define una política de costos, con la cual se simplificará la toma de decisiones respecto al cambio de equipos.
4. Se estableció un diagrama de flujo para las actividades a realizar, y de esta forma simplificar y mejorar los procesos de trabajo del área.
5. Se obtiene un conocimiento y manejo básico de los indicadores de clase mundial, los parámetros de medición, así como su análisis e interpretación, y con esto mejorar en la atención asignada a la flota de equipos.

RECOMENDACIONES

1. Por medio de la gestión de mantenimiento establecer un plan de inspecciones para reducir el impacto económico del mantenimiento correctivo y aumentar de esta forma las ganancias.
2. Crear un manual de funciones para cada puesto de trabajo y de esta forma eliminar la duplicidad de funciones en los procesos.
3. Reducir la cantidad de equipos que sobrepasan las horas de operación recomendadas por el fabricante.
4. Realizar capacitaciones constantes al personal técnico y administrativo para mejorar la calidad de los servicios prestados por el área en general.

BIBLIOGRAFÍA

1. CASTAGNINO, Vincent. *Minería de metales y derechos humanos en Guatemala. La mina Marlin en San Marcos*. Guatemala: Piedra Santa, 35 p.
2. CUARTAS, L. *Qué es el mantenimiento mecánico*. Venezuela: Corporación Venezolana de Fomento, 2008. 92 p.
3. HERNÁNDEZ CRUZ, Víctor Armando. *Plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la zona vial No. 14, Dirección General de Caminos, Salamá, Baja Verapaz*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2010. 160 p.
4. KLIMASAUSKAS, Rubén Eduardo. *Mantenimiento en minería*. Argentina: Exincor SRL, 2008. 48 p.
5. LEAL, S. *Índices e indicadores de gestión de mantenimiento en las pymes del estado Táchira*. Uruguay: Congreso Uruguayo de Mantenimiento, 2012. 49 p.
6. MUÑOZ DEL PINO, Erik *Riesgos en la minería subterránea*. Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería, 2012. 73 p.

7. NAVA, J. *Teoría de mantenimiento. Definiciones y organización*. Mérida: Universidad de los Andes. Consejo de Publicaciones Venezuela. 1992. 78 p.
8. PAURO, R. *Indicadores de mantenimiento*. Argentina: Pauro & Asociados, 2011. 85 p.

ANEXOS

Anexo 1. Inspección de equipos de acarreo

Operador/inspector _____ Fecha _____ Hora _____
 Número de serie _____ Horas de la máquina _____

¿Qué está inspeccionando?	¿Qué está buscando?	Comentarios del evaluador
Para obtener más información, consulte el Manual de Operación y Mantenimiento y cualquier otro manual correspondiente e instrucciones para este producto. Si desea realizar alguna pregunta, comuníquese con su distribuidor local de Caterpillar. DESDE EL SUELO		
Neumáticos, ruedas, tapas de los vástagos	Inflado, fugas, daño, desgaste	
Área del sello duo-cone	Daños, fugas	
Debajo de la máquina	Fugas, daños	
Brazos del bastidor del cargador	Desgaste en exceso, daños	
Diferenciales, frenos, transmisión	Fugas	
Cilindros de la suspensión delantera	Fugas, altura apropiada de los cilindros	
Área del motor	Fugas, daños, condición de mangueras/correas	
Aceite del motor	Nivel de fluido (registrar las adiciones de aceite si tiene sistema de renovación de aceite)	
Filtros de combustible/separador de agua	Fugas/agua de drenaje (si tiene)	
Tanques de combustible	Soportes de montaje, soldaduras, fugas; drenar agua y sedimentos	
Cilindros del dispositivo de levantamiento	Desgaste, daños, fugas	
Caja y bastidor del camión	Daño, desgaste, distorsión, presencia de tacos de soporte del bastidor y de la caja	
Cilindros de la placa de empuje en la caja expulsora	Desgaste, daños, fugas	
Peldaños y agarraderas	Condición y limpieza	
Tanque de aceite hidráulico, aceite de la transmisión	Nivel de fluido, daños, fugas	
Luces, delanteras y traseras	Funcionamiento, daños de lentes, caja o cables	
Radiador	Escombros entre el radiador y la rejilla, obstrucción de aletas, fugas	
ROPS	Daños, pernos de montaje flojos	
COMPARTIMIENTO DEL MOTOR		
Aceite del motor	Nivel de fluido (registrar las adiciones de aceite si tiene sistema de renovación de aceite)	
Refrigerante del motor	Nivel de fluido (agua de las camisas, poseñfriador)	
Radiador	Obstrucción de aletas, fugas	
Todas las mangueras	Fisuras, marcas de desgaste, fugas	
Todas las correas	Tensión, desgaste, fisuras	
Compartimiento del motor en general	Acumulación de residuos o tierra, fugas	
EN LA MÁQUINA, FUERA DE LA CABINA		
Agarraderas	Condición y limpieza	
Espejos	Daños, ajustar para mejor visibilidad	
Caja del camión sobre la plataforma	Daños, desgaste, distorsión	
Antefiltro	Suciedad	
Filtro de aire	Indicador de obstrucción, válvulas contra polvo desconectadas	
Sistema hidráulico	Nivel de fluido, daños, fugas	
Extintor/sistema contra incendios	Carga, daños	
Parabrisas, ventanas	Vidrios rotos, limpieza	
Limpia/Lavaparabrisas	Desgaste, daños/nivel de fluido	
Puertas	Abren apropiadamente, vidrios rotos	
Filtro de aire acondicionado	Tierra, polvo	
Compartimiento de la batería	Limpieza, tuercas y pernos flojos	
DENTRO DE LA CABINA		
Asiento	Ajuste, se pueden alcanzar los pedales	
Cinturón de seguridad y montaje	Daño, desgaste, ajuste, antigüedad	
Bocina, alarma de retroceso, luces	Funcionamiento correcto	
Espejos	Daños, ajustar para mejor visibilidad	
Filtro de recirculación de aire de la cabina	Tierra, polvo	
Medidores, indicadores, interruptores, controles	Daños, funcionamiento	
Interior de la cabina en general	Limpieza	

Fuente: <https://safety.cat.com/>

Anexo 2. Inspección de equipos de perforación

REALIZADO:		FECHA	HORA
	INICIO:		
	FINAL:		
TAREAS TIPO "A" (hrs)			
GENERAL			
Limpiar por completo el equipo			
Engrasar el equipo en general.			
Revisar y ajustar pernos, tuercas en general			
Eliminar todo tipo de fugas de aceite, petróleo y aire			
Revisar y ajustar conexiones en general			
Examinar cables eléctricos en general (desgaste, flojo, uniones)			
Verificar niveles de aceite de todos los sistemas			
Examinar mangueras en general			
MOTOR DIESEL BF4L2011			
Pulverizado de aletas de refrigeración del motor			
Tomar muestra de aceite			
Cambiar aceite motor			
Cambiar filtro de aceite motor			
Limpiar tamiz de la bomba de transferencia			
Drenar agua del tanque de petróleo			
Cambiar filtro de petróleo			
Limpiar y cambiar aceite al filtro admisión de aire			
Revisar hermeticidad del sistema de admisión de aire			
Revisar fugas en sistema de gases de escape			
Revisar estado del silenciador de gases de escape			
Revisar jebes soportes de motor			
Revisar sistema de apagado de motor			
Revisar estado y templado de faja de ventilador			
Revisar presión de aceite de motor			
SISTEMA DE TRANSMISION			
Revisar funcionamiento del sistema hidrostático			
Revisar nivel de aceite de caja reductora			
Revisar pernos de soportes de caja reductora			
Revisar crucetas de cardanes delanteros y posteriores			
Revisar chumaceras de cardán			
Revisar pernos de eje oscilante			
Revisar niveles de los diferenciales			
Revisar niveles de mandos finales			
Revisar ajuste de tuercas de llantas			
Revisar desgaste de llantas delanteras y posteriores:			

Fuente: GRUPO EMO, S. A.

Anexo 3. Control de combustible y horas de trabajo

EQUIPO DE FORTIFICACION					
HORAS MOTOR DIESEL	1767.72		CONSUMO DE DIESEL / HORA	1.43	
HORAS PERCUSION	2663.30				
HORAS COMPRESOR	6111.90				
CONSUMO DIESEL	2525.50				
EQUIPO DE PERFORACION					
HORAS MOTOR DIESEL	1612.3		CONSUMO DE DIESEL / HORA	1.20	
HORAS PERCUSION	4113.8				
HORAS COMPRESOR	4124.38				
CONSUMO DIESEL	1931.9				
EQUIPO DE ACARREO					
HORAS MOTOR DIESEL	17057.5		CONSUMO DE DIESEL / HORA	6.85	
CONSUMO DIESEL	116815.69				
EQUIPO DE CARGA DE MATERIAL					
HORAS MOTOR DIESEL	6771.9		CONSUMO DE DIESEL / HORA	5.87	
CONSUMO DIESEL	39739.7				
EQUIPO DE CARGA Y SERVICIOS					
HORAS MOTOR DIESEL	13779.85		CONSUMO DE DIESEL / HORA	2.12	
CONSUMO DIESEL	29159.20				
EQUIPO DE LANZADO					
HORAS MOTOR DIESEL	3809.34		CONSUMO DE DIESEL / HORA	1.17	
CONSUMO DIESEL	4464.70				

Fuente: GRUPO EMO, S. A.

Anexo 4. **Reporte de horas trabajadas y actividades realizadas**

REPORTE DIARIO DE EQUIPOS											
FECHA:											
ITEM	EQUIPOS MODELO	CODIGO	GUARDIAS		TOTAL HORAS	HOROMETRO DE LOS EQUIPOS	ESTADO		TRABAJO REALIZADOS		UBICAC. EQUIPO PARADO
			A	B			OP	INOP	GUARDIA "A" : (6 a.m. - 6p.m.)	GUARDIA "B" : (06 p.m. a 06 a.m.)	
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											

Fuente: GRUPO EMO, S. A.

Anexo 5. Ciclo Deming de planificación

Planificar	Definir los objetivos que se deben alcanzar
	Determinar las tareas que deben llevarse a cabo para alcanzar los objetivos.
	Determinar el cronograma de aplicación
	Determinar los recursos que deben disponerse para alcanzar los objetivos.
	Determinar los costos ligados a los puntos anteriores.
	Determinar los indicadores que monitorearán la marcha del plan.
Ejecutar	Implementación de las tareas.
	Disponer de los recursos para que las tareas puedan llevarse a cabo.
Controlar	Verificar la implementación del plan.
	Verificar los resultados.
	Verificar resultados de cambios implementados.
	Verificar resultados parciales y globales del plan.
Actuar	Implementar cambios.
	Reforzar procedimientos exitosos.

Fuente: KLIMASAUSKAS, Rubén. *Mantenimiento de máquinas pesadas* (parte II). p. 15.

