

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE MECÁNICA Y DE ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



INFORME DE TESIS

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE
MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA
CONFIABILIDAD PARA EQUIPOS DE
SOSTENIMIENTO BOLTER 88”**

**SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO**

**CESAR AUGUSTO ESCARCENA PEÑA
RODOLFO CARRILLO ARENAS**

Callao, Octubre, 2019

PERÚ

**HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN
INFORMACIÓN BÁSICA**

- **FACULTAD:**
INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
- **UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:**
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
- **TÍTULO:**
“IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN MANTENIMIENTO CENTRADO
EN LA CONFIABILIDAD PARA EQUIPOS DE SOSTENIMIENTO
BOLTER 88”
- **EJECUTOR (es):**
CESAR AUGUSTO ESCÁRCENA PEÑA
RODOLFO CARRILLO ARENAS
- **ASESOR:**
ING. PEDRO BALTAZAR DE LA CRUZ CASTILLO
- **LUGAR DE EJECUCIÓN:**
EMPRESA RESEMIN S.A.
- **TIPO DE INVESTIGACIÓN:**
APLICADA
- **UNIDADES DE ANÁLISIS:**
EQUIPOS DE SOSTENIMIENTO BOLTER 88.

DEDICATORIA

A mis padres y a mi hermano quienes siempre me alientan a seguir adelante para lograr mis metas.

A mi abuela Teodomira, Cusinga Jeri quien siempre me guio y apoyo en el transcurso de mi vida. A la Universidad Nacional Del Callao, por haberme educado en mi carrera profesional como Ingeniero Mecánico, enseñándome responsabilidad, ética y compromiso en todo momento.

Rodolfo Carrillo Arenas

DEDICATORIA

A mis padres Augusto y Rosa quienes siempre me alientan a seguir adelante para lograr mis metas.

A mi abuelo Felix quien me brindo todo su apoyo desde pequeño.

A Mishelle, por su apoyo permanente. A la Universidad Nacional Del Callao, por haberme educado en mi carrera profesional como Ingeniero Mecánico, enseñándome responsabilidad y compromiso en todo momento.

César Augusto Escarcena Peña

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Callao y a mis catedráticos quienes fueron los Pilares fundamentales en el crecimiento académico y profesional. Al ingeniero Julio Portocarrero (ex gerente general de resemín) por el apoyo en el estudio realizado dentro de la empresa. Al ingeniero Luis Ramos quién nos asesoro y apoyo en el desarrollo del presente trabajo. A los ingenieros Felix Guerrero Roldan y Pedro De la Cruz Castillo por sus aportes y recomendaciones en la realización de está investigación. A todas las personas que nos apoyaron de forma directa e indirecta en la realización de esta tesis.

INDICE

RESUMEN.....	8
I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.1 Descripción de la realidad problemática	10
1.2 Formulación del problema.....	10
1.2.1 Problema General:	10
1.2.2 Problemas Específicos:.....	10
1.3 Objetivos de la investigación:	11
1.3.1 Objetivo General:.....	11
1.3.2 Objetivos Específicos:.....	11
1.4 Justificación.....	11
1.4.1 Justificación Productiva:	11
1.4.2 Justificación Seguridad:	11
1.4.3 Justificación Económica:	11
1.5. Limitantes de la investigación (teórica, temporal, espacial).....	12
II: MARCO TEÓRICO	13
2.1 Antecedentes del estudio.....	13
2.1.1 Matriz nacional	13
2.1.2 Matriz internacional:	15
2.2 Bases teóricas.....	16
2.2.1 Teorico.....	16
2.3 Conceptual.....	23
2.3.1. Teorico conceptual.....	30
2.4 Definiciones de términos básicos	35
III: HIPOTESIS Y VARIABLES.....	38
3.1 Hipotesis.....	38
3.1.1 Hipótesis general.....	38

3.1.2	Hipótesis específicas.....	38
3.2	Definición conceptual de las variables.....	38
3.2.1.	Variable independiente	38
3.2.2.	Variable dependiente	38
3.3.	Operacionalización de las variables.....	38
IV:	METODOLOGIA.....	40
4.1	Tipo y diseño de investigación.....	40
4.2	Método de investigación.....	40
4.2.1.	Conformación de los equipos natural de trabajo.....	42
4.2.2.	Especificaciones técnicas, sistemas, funciones, contexto operacional del bolter 88.....	43
4.2.3.	Contexto operacional.....	48
4.2.4.	Sistemas y funciones del equipo BOLTER 88.....	49
4.3	Población y Muestra.....	72
4.4	Lugar de estudio y periodo desarrollado	72
4.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	72
4.6.	Plan de trabajo de campo.....	72
4.7.	Análisis y procesamiento de datos.....	72
4.7.1.	Analizar la criticidad aplicando el método de factores ponderados basado en el concepto del riesgo.....	73
4.7.2.	Indicadores de mantenimiento a medir antes y después de la implementación.....	80
4.7.3	Análisis de modos , efectos y criticidad de falla.....	81
4.7.4.	Efectos de modo de falla.....	84
4.7.5.	Diagrama de decisiones	91
V:	RESULTADOS.....	94
5.1.	Resultados descriptivos.....	94
5.2.	Resultados estadísticos	98
VI:	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	124
6.1.	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados...124	
6.2.	Contrastación de resultados con otros estudios similares	128

VII: CONCLUSIONES	129
VIII: RECOMENDACIONES	138
IX: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	139
ANEXOS	
• MATRIZ DE CONSISTENCIA	
• OTROS ANEXOS NECESARIOS PARA EL RESPALDO DE LA INVESTIGACIÓN	

TABLAS DE CONTENIDO

Tabla 1. Factores ponderados a ser evaluados.....	32
Tabla 2. Matriz general de criticidad.....	33
Tabla 3. Operacionalización de las variables.....	39
Tabla 4. Volumen y tipo de aceite hidráulico.....	55
Tabla 5. Unidad de potencia POWER PACK.....	55
Tabla 6. Clase de aceite recomendado.....	59
Tabla 7. Presiones de perforación.....	71
Tabla 8. Presiones de empernado.....	71
Tabla 9. Criticidad de sistemas en el BOLTER 88 tipo A.....	76
Tabla 10. Criticidad de sistemas en el BOLTER 88 tipo B.....	81
Tabla 11. Fallas funcionales de los subsistemas.....	82
Tabla 12. Modos de falla de los subsistemas.....	82
Tabla 13. Efectos de modos de falla del sistema de perforación.....	84
Tabla 14. Subsistemas críticos a evaluar.....	86
Tabla 15. Efectos de modos de falla de los subsistemas críticos.....	87
Tabla 16. Criticidad de los modos de falla (NPR) del sistema y de los subsistemas.....	88
Tabla 17. Escala NPR.....	89
Tabla 18. Diagrama de decisiones.....	91
Tabla 19. Cartilla de mantenimiento.....	94
Tabla 20. Valores de CF-01.....	99
Tabla 21. Valores de CF-02.....	101
Tabla 22. Valores de CF-03.....	103
Tabla 23. Valores de CF-04.....	105
Tabla 24. Valores de CF-05.....	107
Tabla 25. Valores de CF-06.....	109
Tabla 26. Valores de CF-07.....	111

Tabla 27. Valores de CF-08.....	113
Tabla 28. Valores de CF-09.....	115
Tabla 29. Valores de CF-10.....	117
Tabla 30. Valores de CF-11.....	119
Tabla 31. Valores de CF-12.....	121
Tabla 32. Monitoreo antes de aplicar el estudio.....	124
Tabla 33. Monitoreo después de aplicar el estudio.....	126
Tabla 34. Comparativa antes y después de aplicar el estudio.....	127

LISTA DE GRÁFICOS

Fig.1. Minería a cielo abierto.....	17
Fig.2. Esquema del ciclo de minado para minería subterránea.....	19
Fig.3. Loader marca schopf	21
Fig.4. Equipo de desatado de rocas Scalemin.....	22
Fig.5. Equipo de sostenimiento Bolter 88.....	23
Fig.6. Identificación de las consecuencias de los modos de falla.....	34
Fig.7. Flujograma de selección de actividades de mantenimiento.....	35
Fig.8. Pasos para la aplicación de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad.....	41
Fig. 9. Fases de implantación de la metodología MCC.....	42
Fig. 10. Estructura del equipo natural de trabajo.....	43
Fig. 11. Diagrama del BOLTER 88.....	44
Fig. 12. Diagrama de partes del BOLTER 88.....	45
Fig. 13. Diagrama de movimientos.....	46
Fig. 14. Diagrama de perforación	48
Fig. 15. Diagrama de sostenimiento con split set.....	49
Fig. 16. Circuito de combustible.....	50
Fig. 17. Sistema de tren de fuerza.....	51
Fig. 18. Sistema de dirección.....	52
Fig. 19. Tanque del aceite hidráulico.....	54

Fig. 20. Sentido de rotación del motor eléctrico y las bombas.....	56
Fig. 21. Sistema de agua y aire.....	57
Fig. 22. Componentes principales del sistema de agua.....	60
Fig. 23. Componentes principales del sistema eléctrico I (380 – 690 VAC).....	62
Fig. 24. Componentes principales del sistema eléctrico II (380 – 690 VAC).....	64
Fig. 25. Ubicación de la válvula reguladora de flujo del sistema de rotación de la perforadora.....	65
Fig. 26. Válvula reguladora de flujo del sistema de rotación de la perforadora.....	66
Fig. 27. Válvula reguladora de flujo (throttle valve).....	66
Fig. 28. Válvula piloto de control de presión de avance.....	67
Fig. 29. Válvula piloto de control de presión de avance.....	67
Fig. 30. Válvula máxima de avance.....	69
Fig. 31. Esquema hidráulico del sistema de avance.....	70
Fig. 32. Ubicación de la válvula máxima de avance en la máquina.....	70
Fig.33. Gráfico de criticidades.....	79
Fig.34. Parámetros de mantenimiento.....	98

RESUMEN

Para el presente proyecto se implemento un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) para los equipos de sostenimiento Bolter 88 en la empresa RESEMIN. El objetivo principal fue mejorar la gestión de mantenimiento aplicando la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad. Se aplico la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad que consiste en los siguientes pasos: conformar el equipo natural de trabajo , describir la máquina, funciones principales y definir contexto operacional , analizar la criticidad aplicando el método de factores ponderados , realizar el diagrama de entrada ,proceso y salida , realizar el AMFE , y aplicar el árbol lógico de decisiones. Con esto se incremento la disponibilidad mecánica en un 6.68 % y la confiabilidad en un 10.88 %. Además realizando un análisis de criticidad se identificaron los sub-sistemas más críticos del equipo los cuales son: sistema de lubricación diesel, power pack, bomba de agua y compresor de agua y un sistema crítico: sistema de perforación. Se determinaron 13 fallas funcionales y 44 modos y efectos de fallas mediante la aplicación del análisis modal de fallas y efectos (AMFE). Asimismo se determinaron 44 actividades de mantenimiento: 2 predictivas, 34 preventivas y 8 correctivas, aplicando el árbol lógico de fallas.

Palabras clave: AMEF, Equipos de sostenimiento, Mantenimiento centrado en la confiabilidad, Análisis de criticidad, Disponibilidad mecánica, Confiabilidad, minería subterránea.

ABSTRACT

For this project, a reliability-centered maintenance program (RCM) was implemented for Bolter 88 bolting equipment in the company RESEMIN. The main objective was to improve the maintenance management by applying the reliability-centered maintenance methodology. The reliability-centered maintenance methodology was applied, consisting of the following steps: forming the natural work team, describing the machine, main functions and define operational context, analyze the criticality by applying the weighted factors method, make the input, process and output diagram, perform the FMEA, and apply the logical decision tree. This increased mechanical availability by 6.68% and reliability by 10.88%. Besides performing a criticality analysis, the most critical sub-systems of the equipment were identified, which are: diesel lubrication system, power pack, water pump and water compressor and a critical system: drilling system. 13 functional failures and 44 failure modes and effects were determined through the application of modal failure and effects analysis (FMEA). Also 44 maintenance activities were determined: 2 predictive, 34 preventive and 8 corrective, applying the logical fault tree.

Keywords: AMEF, bolting equipment, Reliability centered maintenance, Criticality analysis, Mechanical availability, Reliability, underground mining.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

El sostenimiento mecanizado de la minería subterránea es muy importante, y cabe recalcar que por la naturaleza del trabajo, toda labor que se hace en el interior de la mina se realiza en espacios vacíos, con inestabilidades, producto de la rotura de la roca o mineral extraído; para lograr que se mantenga nuevamente estable la zona y en condiciones de trabajarla, la zona debe de redistribuir las fuerzas, para ello es necesario apoyar inmediatamente con el refuerzo o el sostenimiento adecuado, considerando el tipo de rocas, fallas con relleno, fallas abiertas, entre otros.

Debido a las condiciones de trabajo, las empresas mineras condicionan que los equipos para minería subterránea sub-contratados mantengan un mínimo de 80% de disponibilidad mecánica, si esta condición no se cumple, entonces se aplica una penalización en la facturación del servicio, por tanto la empresa Resemin S.A en su servicio de mantenimiento post-venta de equipos mineros debe cumplir con este requisito para mantener su competitividad en el mercado. Por ello se implemento un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para equipos Jumbo Empernador Minero Bolter 88, y se evaluo mediante indicadores de gestión de mantenimiento.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema General

¿Cómo mejorar la gestión de mantenimiento de los equipos de sostenimiento Bolter 88?

1.2.2 Problemas Específicos

- ¿Cómo se identifico los sistemas críticos en el equipo Bolter 88?
- ¿Cómo determinar los modos y efectos de falla que se presentan en el equipo?
- ¿Cómo se puede reducir la cantidad de mantenimientos correctivos en

los equipos?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

Mejorar la gestión de mantenimiento de los equipos de sostenimiento Bolter 88 aplicando la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar los sistemas críticos del equipo mediante un análisis de criticidad.
- Determinar los modos y efectos de falla del equipo en determinadas condiciones de operación.
- Reducir la cantidad de mantenimientos correctivos en el equipo.

1.4 Justificación

El presente proyecto de tesis se justifica por los siguientes motivos:

1.4.1 Justificación Productiva

Este proyecto redujo los tiempos de parada de la máquina Bolter 88 obteniendo así más horas de producción por ende mayor rentabilidad en el negocio.

1.4.2 Justificación Seguridad

Este proyecto incremento la confiabilidad operacional de la máquina Bolter 88 obteniendo un proceso mas seguro para un equipo que es crítico en el ciclo de minado.

1.4.3 Justificación Económica:

Aplicando esta metodología de gestión se redujo los costos en mantenimiento, optimizando el stock de repuestos y además de aprovechar mejor las horas hombre, y también obtener menos paradas de máquina que se convierten en mayor rentabilidad para el proceso.

1.5. Limitantes de la investigación (teórica, temporal, espacial)

Para la realización de la presente investigación se ejecuto un plan de trabajo con el fin de no interferir con las actividades de la empresa y de los colaboradores, por lo tanto, el análisis de la información de las fuentes bibliográficas, la recopilación de los datos, interpretación de datos y aplicación de la metodología, se realizo en horarios preestablecidos.

II. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se exponen los diferentes aspectos teóricos en los que se ha sustentado la investigación. También el proceso en la minería subterránea, la importancia de la gestión de mantenimiento, cual es la problemática de la gestión y los casos donde ya se han aplicado está nueva propuesta de gestión.

2.1 Antecedentes del estudio

2.1.1 Matriz nacional

- Becerra y Paulino (2012) desarrollaron la tesis titulada “El análisis de confiabilidad como herramienta para optimizar la gestión del mantenimiento preventivo de los equipos de la línea de flotación en un centro minero”, en ese trabajo los autores evalúan y analizan la relación causa- efecto de las variables: “El Análisis de Confiabilidad” y “Optimizar la Gestión del Mantenimiento de los Equipos de la Línea de Flotación de la Planta Concentradora Berna II” en el Centro Minero Casapalca, encontrando como resultado, una deficiente Gestión del Mantenimiento de los equipos críticos de la línea de flotación, como consecuencia de la falta de conocimiento del personal de mantenimiento de la planta, referente a las técnicas cualitativas y cuantitativas o estadísticas del mantenimiento, que involucran el análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de equipos y sistemas, entre otros conceptos.
- Palomares (2015) desarrolló la tesis titulada “Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) al sistema de izaje mineral, de la Compañía Minera Milpo, unidad “El Porvenir”, en este trabajo el autor realiza una investigación cuantitativa, cuyas etapas fueron de recolección de datos, evaluación y elaboración del plan aplicando la metodología del RCM.
- Gago (2017) desarrolló la tesis titulada “Optimización del plan de mantenimiento aplicando el análisis de confiabilidad a los equipos críticos

del sistema eléctrico de la oficina principal de Petroperú S.A”, este trabajo consistió en la implementación de un plan de mantenimiento al sistema eléctrico de un edificio de entidad del estado, aplicando la herramienta del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), la cual permite optimizar las actividades y frecuencias de mantenimiento en función al análisis de fallos, tiempos medios entre fallos, el ciclo de vida, diagrama de decisiones y confiabilidad de los equipos a estudiar.

- Villalobos (2006) desarrolló la tesis titulada “Mantenimiento centrado a la confiabilidad para transformadores de potencia” en este trabajo el autor aplica el mantenimiento centrado a la confiabilidad aplicado a transformadores de potencia, basado en tres técnicas generales del mantenimiento correctivo, preventivo y basado en la condición del equipo. Además se compara económicamente su impacto en los programas de mantenimiento de los transformadores.
- Pérez y Cáceres (2017) desarrollaron la tesis titulada “Aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para la mejora del mantenimiento de una prensa de rodillos HPGR”, en este trabajo realizaron el análisis de criticidad de los equipos de la planta de chancado, escoge el equipo crítico y lo divide en subsistemas para así poder describir la función y los modos de fallo que evitarían que el subsistema no cumpla con su función requerida. Finalmente se presenta el análisis RCM, logrando determinar las tareas de mantenimiento necesarias para conservar la función del subsistema analizado.
- Blancas (2017) desarrolló la tesis titulada “Diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para mejorar el mantenimiento preventivo de las metradoras automáticas de la empresa Indeco S.A”, en ella se investiga la relación entre “Diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad” como base fundamental del mantenimiento con la finalidad de “Mejorar el Mantenimiento de las metradoras automáticas de la Empresa Indeco S.A.”, así también que se ajuste a la necesidad de la empresa, como optimizar los costos a través de la sistemática reducción de

la ocurrencia de fallas y eventos no deseados, y minimizar el impacto en el negocio medular que es la fabricación de conductores eléctricos utilizados frecuentemente en la construcción.

2.1.2 Matriz internacional

- Bernal (2012) desarrolló la tesis titulada “Diseño y evaluación económica de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para sistema de puertas de tren NS93”, en ella desarrolla el diseño y evaluación económica de un plan de mantenimiento, para componentes críticos, del sistema de puertas del tren NS93 mediante la herramienta RCM (mantenimiento basado en la confiabilidad).
- Barreda (2015) desarrolló la tesis titulada “Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (R.C.M.) en la EDAR De Nules-Vilavella, en ella realizó el estudio y la aplicación de la metodología R.C.M (“Reliability Centered Maintenance” o Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) para establecer el plan de mantenimiento más apropiado para la EDAR de Nules-Vilavella. La finalidad del estudio, fue aumentar la fiabilidad de la instalación, es decir, reducir el tiempo de parada por avería inesperada en la EDAR.
- Medina (2018) desarrolló la tesis titulada “Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en Schlumberger Wireline”, en ella el autor elabora un plan para el proceso de implementación del servicio de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) a los equipos, con la finalidad de minimizar sus fallas, reducir el costo del mantenimiento y la racionalización de los equipos en las operaciones. Establece el criterio para iniciar la implementación del RCM en Schlumberger Wireline (SLB-WL). Selecciona una herramienta de SLB-WL a la que se le aplicará el proceso RCM y que servirá de piloto para replicarlo dentro de la organización. Analiza los modos de fallas de la herramienta, a partir de los incidentes reportados y de los altamente probables que puedan ocurrir. Elabora las

instrucciones de trabajo estándar SWI (Standard Work Instruction) para el mantenimiento de la herramienta seleccionada.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Teórico

a. Minería

La minería es la actividad de extracción de minerales del subsuelo que es realizada mediante diferentes tipos de procesos de extracción, el cual involucra: recurso humano, equipos especializados, conocimiento de extracción, etc.

Es una fuente económica de crecimiento y desarrollo del país, el Perú tiene una variedad considerable de minas polimetálicas, lo cual lo hace interesante al inversionista extranjero.

Está reglamentada mediante la ley general de la minería que fue promulgada en el decreto supremo D.S. N° 014-92. Donde se estipula las actividades mineras, formas de ejercer la minería, concesiones mineras, etc.

b. Métodos de minería

Se dividen en:

- Explotación superficial: Es empleado por la gran minería e implica alta producción, denominados como mina a cielo abierto o mina a tajo abierto (open pit). El proceso cíclico en mina superficiales comprende de: perforación, voladura, carguío y transporte.

FIGURA N° 1
MINERÍA A CIELO ABIERTO



Fuente: Revista Rumbo minero 2017

- Explotación subterránea: También denominada minería a socavón o minería underground, es el proceso de extracción de mineral que se realiza por debajo de la corteza terrestre mediante vías o socavones que son realizados con equipos especializados para este tipo de extracción.

c. Procesos de la minería subterránea

Los procesos que implican la extracción en minería subterránea son los siguientes:

➤ Exploración

La exploración minera es la etapa inicial del proceso de extracción del mineral, esta etapa nos brinda el estudio del suelo que nos arroja la dimensión, características de los minerales, reserva y valores de los yacimientos.

➤ Explotación

Después de culminada la etapa de la exploración y luego de aprobar el

estudio de factibilidad económica, empieza la etapa de explotación que involucra grandes inversiones como:

- Permisos para realizar la exploración.
- Negociación con las comunidades.
- Vías de acceso para la nueva mina.
- Campamentos-viviendas para los trabajadores.
- Construcción de comedores, oficinas.
- Adquisición o alquileres de maquinarias.
- Transporte.
- Obras civiles.
- Mini centrales eléctricas, etc.

➤ Ciclo de minado para minería subterránea

Es el proceso de extracción de mineral realizado por el área de operaciones de mina en coordinación con las diferentes áreas involucradas tales como el área de seguridad, área de mantenimiento y área de planeamiento; este proceso se realiza mediante equipos o maquinarias especialmente diseñados para trabajar en las condiciones severas de mina y estos cumplan su función de diseño para ser aplicados o trabajados en un determinado tipo de galería.

Este ciclo de minado es un ciclo de producción en cadena, el cual es utilizado en mina para la extracción del mineral. Los equipos trabajan dependiendo del cumplimiento del proceso anterior, es decir, si un equipo no cumple su trabajo asignado, entonces la cadena se paraliza y para la empresa encargada de la extracción del mineral significa pérdida por falta de producción.

FIGURA N° 2

ESQUEMA DEL CICLO DE MINADO PARA MINERÍA SUBTERRÁNEA



Fuente: Gestión de mantenimiento 2017 – GERENS

Los equipos se dimensionan de acuerdo al tipo de galería y método de extracción del mineral a utilizar.

d. Equipos que se involucran en el ciclo de minado para la minería subterránea.

• Equipos de perforación

Son maquinarias de perforación electro-hidráulicos denominados en la minería subterránea como jumbos, los cuales tienen diferentes tipos de aplicaciones, dimensiones y alcances de perforación. También existen equipos mixtos con viga fija, con viga retráctil, para vetas más pequeñas que requieren sostenimiento.

Los equipos de perforación jumbo realizan su trabajo mediante 02 motores, un motor diésel que es utilizado para la traslación del equipo, para el posicionamiento del brazo, y un motor eléctrico de 440 V que

es utilizado para la perforación de los taladros en el frente de trabajo.

- **Equipos de carga de anfo**

Son equipos utilitarios electrohidráulicos que sirven para realizar la carga del explosivo o llenado de explosivo en los taladros realizados por el equipo jumbo.

Estos equipos son de gran importancia en el ciclo de minado ya que tienen que realizar la carga del explosivo en la malla de perforación realizada por el equipo jumbo.

- **Equipos de acarreo o transporte**

Está conformado por los equipos:

- Dumper(camiones de bajo perfil)
- Loaders(cargadores frontales de bajo perfil)

a. Dumper

Son camiones de bajo perfil capaces de transportar en su tolva los diferentes tipos de materiales y minerales de acuerdo a la capacidad de diseño de tonelaje, con gran versatilidad y maniobrabilidad dentro de las galerías de las minas, es un medio de transporte que traslada el material y lo descarga en un lugar determinado.

b. Loaders

Son cargadores frontales de bajo perfil conocidos en la minería subterránea con el nombre de scooptram que realiza el trabajo de carga y acarreo mediante su cuchara o bucket, trasladando los diferentes tipos de minerales en distancias cortas; realizándolo con gran versatilidad y maniobrabilidad dentro de las galerías de las minas que se encuentran en la unidad de producción.

FIGURA N° 3
LOADER MARCA SCHOPF



Fuente: SCHOPF (2018)

- **Equipo de desatado de rocas**

Son equipos utilitarios o multiusos, en el cual se instala un martillo hidráulico en el brazo y su función principal es desatar las rocas que quedaron sueltas debido a la explosión, este trabajo es también conocido como desquinchado de rocas.

El trabajo se realiza cuando la punta del martillo percute en las rocas sueltas o fracturadas, haciendo que estas rocas caigan por gravedad y no sea un peligro para los operarios que trabajan en la zona y quede el área de trabajo despejada para el siguiente proceso.

Estos equipos pueden ser trasladados mediante cadenas o neumáticos dependiendo de las vías.

FIGURA N° 4
EQUIPO DE DESATADO DE ROCAS SCALEMIN



Fuente: RESEMIN (2018)

- **Equipos de sostenimiento**

Son equipos que brindan la seguridad en el proceso de extracción del mineral, asegurando el techo y las cajas de las galerías, tienen como propósito dar solidez a las paredes del socavón y evitar que se derrumben o se cierren las galerías por efecto de las presiones internas de las rocas.

Estos equipos realizan perforaciones verticales en techo y piso, también realizan perforaciones horizontales, el cual los hace muy versátiles en la perforación.

A diferencia de los equipos jumbo frontoneros, estos equipos están proveídos de una doble viga en el cual va instalado, en una viga una perforadora hidráulica que realiza el taladro, y en la otra viga una perforadora hidráulica que realiza el trabajo de empuje e instalado de pernos en la roca.

FIGURA N° 5
EQUIPO DE SOSTENIMIENTO BOLTER 88



Fuente: RESEMIN (2018)

2.3. Conceptual

a. Mantenimiento

La European Federation of National Maintenance Societies (1970) define mantenimiento como todas las acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida. Estas acciones incluyen la combinación de las acciones técnicas y administrativas correspondientes.

Según la Norma CEI 60050-191 E.2: 1990. Vocabulario electrotécnico internacional, mantenimiento es la combinación de todas las acciones técnicas y de gestión destinadas a mantener o restaurar un elemento en un estado que le permita funcionar como lo requerido.

Según la Norma Francesa AFNOR NF X 60-010, el mantenimiento es “El conjunto de acciones que permiten conservar o restablecer un bien a un estado especificado o a una situación tal que pueda asegurar

un servicio determinado”.

- **Mantenimiento correctivo:**

Según Carlos (2014), el mantenimiento correctivo consiste en ir reparando las averías a medida que se van produciendo.

El personal encargado de avisar de las averías es el propio usuario de las máquinas y equipos, y el encargado de realizar las reparaciones es el personal de mantenimiento.

- **Mantenimiento preventivo:**

Es la ejecución planificada de un sistema de inspecciones periódicas, cíclicas y programadas y de un servicio de trabajos de mantenimiento previsto como necesario, para aplicar a todas las instalaciones, máquinas o equipos, con el fin de disminuir los casos de emergencias y permitir un mayor tiempo de operación en forma continua.

- **Mantenimiento predictivo:**

Este mantenimiento consiste en el análisis de parámetros de funcionamiento cuya evolución permite detectar un fallo antes de que este tenga consecuencias más graves.

En general, el mantenimiento predictivo, consiste en estudiar la evolución temporal de ciertos parámetros y asociarlos a la evolución de fallos, para así determinar en qué periodo de tiempo, ese fallo va a tomar una relevancia importante, y así poder planificar todas las intervenciones con tiempo suficiente, para que ese fallo nunca tenga consecuencias graves.

- **Mantenimiento proactivo:**

Se ha desarrollado como complemento a la evolución del mantenimiento predictivo. Este concepto engloba los tipos de mantenimiento detallados anteriormente elevándolos a otra

dimensión; el análisis de causas. El mantenimiento predictivo puede determinar si algún elemento de la máquina puede fallar, pero no estudia la causa raíz del fallo. El mantenimiento predictivo no la causa por la cual un rodamiento falla repetidamente aunque si nos indique cuando puede fallar. Para cubrir esta incertidumbre, el mantenimiento proactivo o también conocido como fiabilidad de máquina analiza la causa raíz de la repetitividad de la avería, resolviendo aspectos técnicos responde a de las mismas.

b. Mantenimiento centrado en confiabilidad (Reliability Centered Maintenance)

- **Antecedentes del MCC o RCM**

Según Parra (2006). El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad se originó hacia el final de la década de los años 60, en un esfuerzo conjunto del gobierno y la industria aeronáutica norteamericana, a fin de establecer un proceso lógico y diseñar actividades de mantenimiento apropiadas con frecuencias óptimas para estas actividades, para atender el advenimiento de nuevas aeronaves de mayor tamaño, capacidad y complejidad, así como el crecimiento del parque aéreo. La complejidad de los nuevos sistemas hacía casi imposible que los mismos fueran mantenidos con los antiguos conceptos y políticas. El objetivo de este grupo de trabajo fue establecer procedimientos de mantenimiento apropiados que permitieran reducir los tiempos de parada por mantenimiento, reducir los costos de mantenimiento e incrementar la seguridad de los vuelos. Como resultado de este esfuerzo se publicó el documento “MSG-1: Maintenance Evaluation and Program Development”, el cual formaliza y establece nuevos criterios para el desarrollo de programas de mantenimiento. Anterior a la publicación del MSG-1, los programas de mantenimiento estaban diseñados para ser ejecutados en cada equipo sin considerar la importancia del mismo en el

funcionamiento del sistema. La importancia de este documento radica en el cambio de los paradigmas existentes hasta ese momento para la conceptualización de las políticas de mantenimiento. A partir de este documento la orientación cambia desde la evaluación de las funciones del equipo hacia el análisis de las funciones del sistema.

Posteriormente, se publicó el documento MSG-2 para generalizar en toda la industria aeronáutica el uso de los procedimientos desarrollados en el MSG-1. En este segundo documento se incorporó una herramienta simple pero poderosa, llamada árbol de decisión lógico. Un árbol de decisión lógico es un diagrama que provee una secuencia de preguntas acerca de una serie de posibles eventos y sus consecuencias, estructurado de manera lógica y jerárquica. Cada pregunta en el árbol de decisión sólo puede ser contestada con un SI ó NO. La respuesta a cada pregunta puede conducir a una acción ó a la próxima pregunta en la secuencia.

El árbol es semejante a un mapa lógico de carreteras. Cada posible falla de un sistema es categorizada mediante la aplicación del árbol lógico de preguntas, conduciendo al evaluador a un análisis lógico que finaliza al obtener una respuesta SI. En cada respuesta NO, el evaluador continúa con la siguiente pregunta en la secuencia. Si se alcanza el final del árbol, entonces la conclusión lógica es que no se requiere ninguna actividad para la falla bajo evaluación.

El documento MSG-2 se convirtió en un estándar de la industria aeronáutica para el diseño y ejecución de políticas de mantenimiento, el cual contiene los lineamientos de lo que actualmente se denomina mantenimiento centrado en confiabilidad.

El éxito del RCM en la industria aeronáutica no tuvo precedentes. En un período de 16 años posterior a su implantación, las aerolíneas comerciales no tuvieron incremento en los costos unitarios de mantenimiento, aun cuando el tamaño y complejidad de las aeronaves,

así como los costos de labor se incrementaron durante el mismo período. También, para el mismo período, se incrementaron los records de seguridad de las aerolíneas.

Los beneficios obtenidos por la industria aeronáutica no fueron un secreto y pronto el MCC fue adaptado y adecuado a las necesidades de otras industrias, tales como la de generación de potencia mediante energía nuclear y solar, manufacturera, de procesamiento de alimentos, minera, transporte marítimo, de procesamiento de hidrocarburos y productos químicos, así como el DRAFT 7 en el ambiente militar. En todas ellas se presentan resultados exitosos en mantener ó incrementar la disponibilidad y al mismo tiempo obtener ahorros en los costos del mantenimiento, mediante la aplicación del MCC. Todavía, algunos detalles del método se encuentran en desarrollo para adaptarse a las cambiantes necesidades de una amplia variedad de industrias, aún cuando los principios básicos se mantienen.

- **Concepto del MCC o RCM**

El MCC sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias de los activos más importantes en un contexto operacional. Esta no es una fórmula matemática y su éxito se apoya principalmente en el análisis funcional de los activos en un determinado contexto operacional, realizado por un equipo natural de trabajo. “El esfuerzo desarrollado por el equipo natural permite generar un sistema de gestión de mantenimiento flexible, que se adapta a las necesidades reales de mantenimiento de la organización, tomando en cuenta, la seguridad personal, el ambiente, las operaciones y la razón costo/beneficio” (*Jones, Richard, “Risk - Based Management: A Reliability - Centered Approach”, Gulf Publishing Company, First Edition, Houston, Texas 1995, Pág:1*).

Moubray (2000) define el MCC como “un proceso utilizado para

determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual”.

En otras palabras el MCC es una metodología que permite identificar estrategias efectivas de mantenimiento garantizando el cumplimiento de los estándares requeridos por los procesos de producción.

Características generales del MCC:

- Metodología basada en un procedimiento sistemático que permite diseñar planes óptimos de mantenimiento para programar las acciones de control de fallas (estrategias de mantenimiento).
- Los resultados de la aplicación del MCC, tendrán su mayor impacto en sistemas complejos con diversidad de modos de falla (ejemplo: equipos rotativos grandes).
- **Maduración:** Se verán los resultados a mediano plazo o largo plazo, la metodología propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales del mantenimiento de los activos en un contexto operacional a partir del análisis de las siguientes siete preguntas:

1. ¿Cuáles son las funciones del equipo o sistema en su propio contexto operacional? (Estándares de funcionamiento)
2. ¿De qué manera el equipo o sistema puede dejar de cumplir sus funciones? (Fallas funcionales)
3. ¿Qué causa cada falla funcional? (Modos de falla)
4. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional? (Efectos de falla)
5. ¿En qué manera afecta cada falla funcional? (Consecuencias de la falla)
6. ¿Qué se puede hacer para prevenir la falla?
7. ¿Qué sucede si no se puede prevenir la falla?

- **El Análisis de modos y efectos de fallas potenciales (AMEF)**

Es un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un producto o de un proceso antes de que éstas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas.

Por lo tanto, el AMEF puede ser considerado como un método analítico estandarizado para detectar y eliminar problemas de forma sistemática y total.

Cuyos objetivos principales son:

- Reconocer y evaluar los modos de fallas potenciales y las causas asociadas con el diseño y manufactura de un producto.
- Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema.
- Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial.
- Analizar la confiabilidad del sistema.
- Documentar el proceso

Aunque el método del AMEF generalmente ha sido utilizado por las industrias automotrices, éste es aplicable para la detección y bloqueo de las causas de fallas potenciales en productos y procesos de cualquier clase de empresa, ya sea que estos se encuentren en operación o en fase de proyecto; así como también es aplicable para sistemas administrativos y de servicios.

- **Análisis de equipos críticos**

Según la norma SAE JA1011. (1999) el análisis de criticidad es una herramienta que permite identificar y jerarquizar por importancia los elementos de una instalación sobre los cuales vale la pena dirigir recursos (humanos, económicos y tecnológicos). En otras palabras, el análisis de criticidad ayuda a determinar eventos potenciales

indeseados, en el contexto de la confiabilidad operacional, entendiéndose confiabilidad operacional como: la capacidad de una instalación (procesos, tecnología, gente) para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico en un tiempo determinado.

El término “crítico” y la definición de criticidad pueden tener diferentes interpretaciones y van a depender de los objetivos que se van a jerarquizar. Desde esta óptica existen una gran diversidad de herramientas de criticidad, según las oportunidades y las necesidades de la organización:

- Flexibilidad operacional (disponibilidad de función alterna o de respaldo)
- Efecto en la continuidad operacional / capacidad de producción
- Efecto en la calidad del producto
- Efecto en la seguridad, ambiente e higiene
- Costos de paradas y del mantenimiento
- Frecuencia de fallas / confiabilidad
- Condiciones de operación (temperatura, presión, fluido, caudal, velocidad).
- Flexibilidad / accesibilidad para inspección & mantenimiento
- Requerimientos / disponibilidad de recursos para inspección y mantenimiento.
- Disponibilidad de repuestos

2.3.1. Teorico conceptual

- Modelo de criticidad de factores ponderados basado en el concepto del riesgo

Este método fue desarrollado por un grupo de consultores de consultoría inglesa denominado: The Woodhouse Partnership Limited [Woodhouse Jhon. “Criticality Analysis Revisited”, the Woodhouse Partnership Limited, Newbury, England 1994].

Este es un método semi-cuantitativo bastante sencillo y práctico, soportado en el concepto del riesgo (Frecuencia de fallas x consecuencias).

A continuación se presenta de forma detallada la expresión utilizada para jerarquizar sistemas:

Criticidad total = Frecuencia x Consecuencias de fallas

Frecuencia = Rango de fallas en un tiempo determinado (fallas/año)

Consecuencias = ((Impacto Operacional x Flexibilidad)+Costos de Mtto +Impacto Seguridad Ambiental & Higiene) (Soles)

Los factores ponderados de cada uno de los criterios a ser evaluados por la expresión del riesgo se presentan a continuación:

TABLA N° 1
FACTORES PONDERADOS A SER EVALUADOS

Frecuencia de Fallas:		Costo de Mto.:	
Pobre mayor a 2 fallas/año	4	Mayor o igual a 20000 \$	2
Promedio 1 - 2 fallas/año	3	Inferior a 20000 \$	1
Buena 0.5 -1 fallas/año	2		
Excelente menos de 0.5 falla/año	1		
Impacto Operacional:		Impacto en Seguridad Ambiente Higiene (SAH):	
Pérdida de todo el despacho	10	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	8
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas.	7	Afecta el ambiente /instalaciones	7
Impacta en niveles de inventario o calidad	4	Afecta las instalaciones causando daños severos	5
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1	Provoca daños menores (ambiente - seguridad)	3
		No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente	1
Flexibilidad Operacional:			
No existe opción de producción y no hay función de repuesto.	4		
Hay opción de repuesto compartido/almacen	2		
Función de repuesto disponible	1		

Fuente: Gerens (2017)

Criticidad Total = Frecuencia de fallas x Consecuencia

Consecuencia = ((Impacto OperacionalxFlexibilidad)+Costo Mto.+ Impacto SAH)

Estos factores se evalúan en reuniones de trabajo con la participación de las distintas personas involucradas en el contexto operacional (operaciones, mantenimiento, procesos, seguridad y ambiente). Una vez que se evalúan en consenso, cada uno de los factores presentados en la tabla anterior, se introducen en la fórmula de Criticidad Total (I) y se obtiene el valor global de criticidad.

El máximo valor de criticidad que se puede obtener a partir de los factores ponderados evaluados = 200.

Para obtener el nivel de criticidad de cada sistema se toman los valores

totales individuales de cada uno de los factores principales: frecuencia y consecuencias y se ubican en la matriz de Criticidad: valor de frecuencia en el eje Y, valor de consecuencias en el eje X.

La matriz de criticidad mostrada permite jerarquizar los sistemas en tres áreas:

Área de sistemas No Críticos (NC)

Área de sistemas de

Media Criticidad (MC)

Área de sistemas

Críticos (C)

TABLA N° 2
MATRIZ GENERAL DE CRITICIDAD

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Fuente: Gerens (2017)

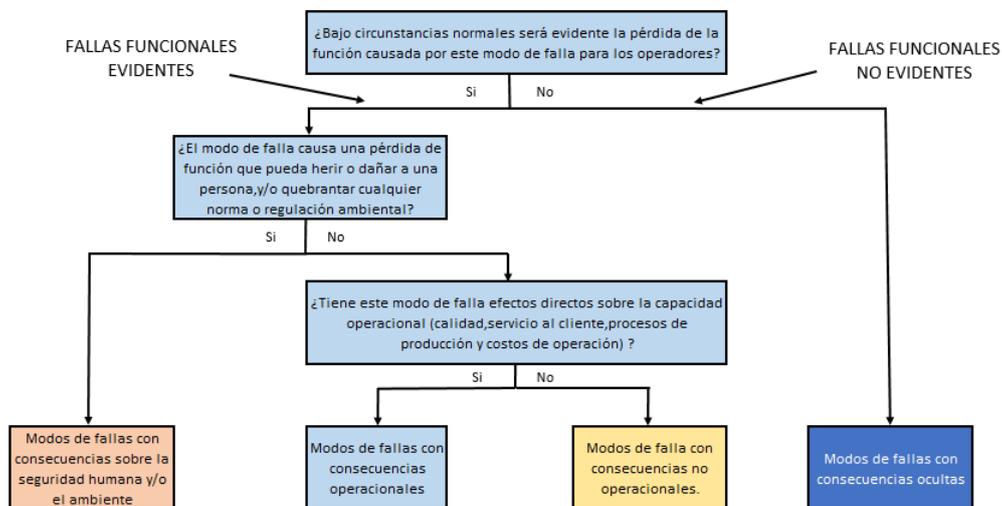
- Proceso de selección de actividades de mantenimiento bajo el enfoque MCC

Una vez realizado el AMEF, el equipo natural de trabajo MCC, deberá seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento que ayude a prevenir la aparición de cada modo de falla previamente identificado, a partir del árbol lógico de decisión (herramienta diseñada por el MCC, que permite seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento más adecuada para

evitar la ocurrencia de cada modo de falla o disminuir sus posibles efectos). Luego de seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento a partir del árbol lógico de decisión, se tiene que especificar la acción de mantenimiento a ejecutar asociada al tipo de actividad de mantenimiento seleccionada, con su respectiva frecuencia de ejecución, teniendo en cuenta que uno de los objetivos principales del MCC, es evitar o al menos reducir las posibles consecuencias a la seguridad humana, al ambiente y a las operaciones, que traerán consigo la aparición de los distintos modos de fallas.

El primer paso para seleccionar las actividades de mantenimiento, consiste en identificar las consecuencias que generan los modos de fallas:

FIGURA N° 6
IDENTIFICACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS DE LOS MODOS DE FALLA

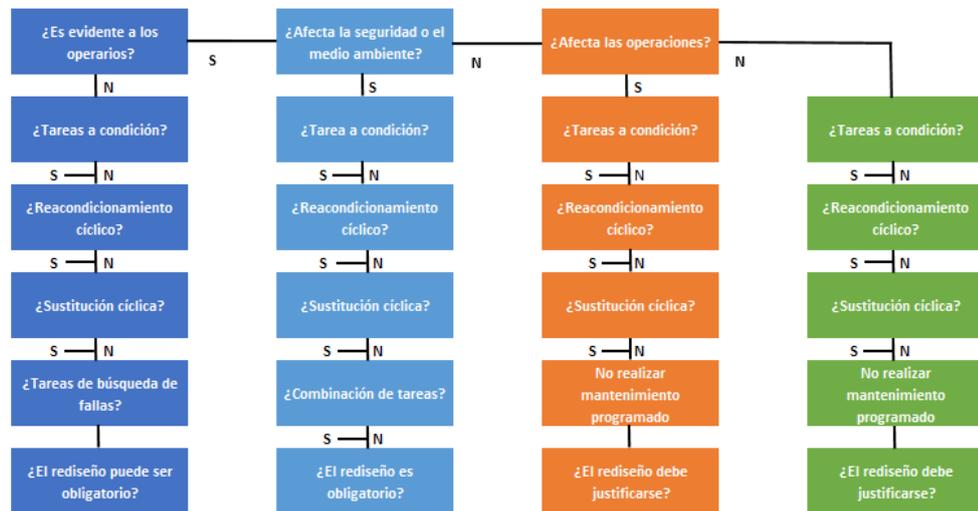


Fuente: Manual del RCM – ASME (2006)

Una vez, identificadas las consecuencias por cada modo de falla, el equipo natural de trabajo debe identificar el tipo de actividad de mantenimiento, apoyándose en el árbol lógico de decisión del MCC.

FIGURA N° 7

FLUJOGRAMA DE SELECCIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO



Fuente: Moubray J. (1997)

2.4 Definiciones de términos básicos

- **AMEF (Análisis modal de efectos y fallas):** El análisis de modos y efectos de fallas (AMEF), constituye una herramienta principal del MCC, para la optimización de la gestión de mantenimiento en una organización determinada. El AMEF es un método sistemático que permite identificar los problemas antes que estos ocurran y pueden afectar o impactar a los procesos y productos en una área determinada, bajo un contexto operacional dado.
- **Anfo:** Proviene del inglés Ammonium Nitrate – Fuel Oil , es un explosivo de alto orden. Consiste en una mezcla de nitrato de amonio y un combustible derivado del petróleo. Estas mezclas son muy utilizadas principalmente por las empresas mineras y de demolición, debido a que son muy seguras, baratas y sus componentes se pueden adquirir con mucha facilidad.
- **Jumbo Empernador:** Máquina electro-hidráulica que sirve para asegurar techos y paredes en la minería subterránea mediante la

colocación de diversos tipos de pernos especiales para el sostenimiento.

- **Mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC o RCM):** Proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.
- **Ciclo de minado:** Es el conjunto de labores necesarias para explotar un yacimiento.
- **Modelo de criticidad de factores ponderados basado en el concepto del riesgo:** Método de evaluación de riesgos desarrollado por “The Woodhouse Partnership Limited” (empresa de consultoría inglesa).
- **Taladros:** Es la perforación realizada en el frente asignado, el diámetro dependerá de la broca a utilizar y el proyecto.
- **Galería:** Es la vía de acceso al mineral, sus dimensiones de altura y ancho y profundidad, dependerán del proyecto, la galería va siguiendo a la veta del mineral.
- **Veta:** Lugar donde se aloja el mineral.
- **Contexto operacional:** Condiciones ambientales a la que trabaja una flota o equipo.
- **Electro hidráulico:** Equipo capaz de trabajar mediante un generador eléctrico y componentes hidráulicos.
- **Disponibilidad mecánica:** Es un indicador de tiempo del equipo expresado y medido en porcentaje (% D.M.) que está disponible para trabajar o ser operado para producir, en relación al tiempo total.
- **Tiempo medio entre fallas (MTBF):** Es una medida de la frecuencia de una falla, es la relación del tiempo de operación al número de fallas.
- **Tiempo medio para la reparación (MTTR):** Es una medida del tiempo que dura la reparación, es la relación entre el tiempo de parada por reparación al número de fallas.

- **Mantenimiento:** Asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan.
- **Reparación mayor:** Servicio de mantenimiento de los equipos, que interrumpen la producción.
- **Stand by:** Es el tiempo contabilizado por la no utilización del equipo por falta de operación o frente de operación.
- **Falla:** Finalización de un ítem para desempeñar una función requerida.
- **Caja:** Paredes laterales en una galería.

III. HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

La implementación de un plan de mantenimiento aplicando la metodología RCM permite mejorar la gestión de mantenimiento de los equipos de sostenimiento Bolter 88.

3.1.2. Hipótesis Específicas

- Mediante el análisis de la criticidad se identifican los sistemas más críticos.
- Los modos y efectos de falla se determina con ayuda de la metodología AMEF.
- La cantidad de mantenimientos correctivos se reduce empleando estrategias de mantenimiento apropiadas con la aplicación del árbol lógico de fallas.

3.2 Definición conceptual de las variables

Dentro de la presente investigación, se ha definido una variable independiente y otra dependiente, las cuales son:

3.2.1 Variable independiente:

Implementación del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

3.2.2 Variable dependiente:

Mejora de la gestión de mantenimiento de equipos de sostenimiento Bolter 88

3.3 Operacionalización de las variables

Para la operacionalización de las variables se ha elaborado la siguiente

tabla, donde podremos apreciar la relación de variables con sus dimensiones y sus indicadores.

TABLA N° 3
OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
VD: Mejora de la gestión de mantenimiento de los equipos de sostenimiento BOLTER 88	Indicadores de Gestión de mantenimiento	Confiabilidad	Tipo de investigación: Investigación aplicada Diseño de la investigación Ex-Post-Facto Población y Muestra Para el presente estudio y análisis se considerarán las máquinas producidas entre el 2017-2018 siendo un total de 150 equipos. De los cuales se seleccionarán 36 equipos BOLTER 88 como muestra para la presente investigación.
		Disponibilidad Mecánica	
VI: Implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad	Críticidad de los factores ponderados	Críticidad	Técnicas e instrumentos de recolección de datos - Documentación técnica. - Entrevistas no estructuradas y observación.
	Análisis de modos y efectos de fallas	Número de prioridad de riesgo	
	Diagrama de decisiones	Frecuencia y tipo de actividad de mantenimiento	

Fuente: Elaboración propia

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo y diseño de la investigación

La investigación es aplicada, porque es apoyada en la modalidad del proyecto factible, el cual consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de un plan de mantenimiento basado en la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

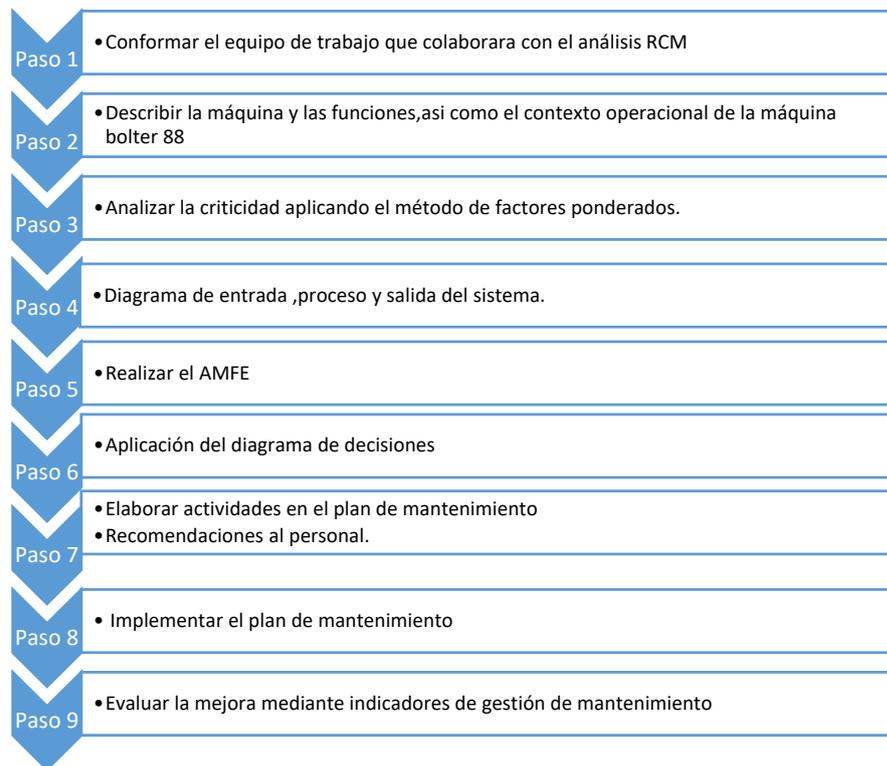
Según Rodríguez (2005) la investigación aplicada se le denomina también activa o dinámica, aquí se aplica la investigación a problemas concretos, en circunstancias y características concretas (p. 23).

El diseño de la investigación se realizó mediante un diseño Ex-Post-Facto porque las variables independientes no se manipulan, si no se observan; y mediante la observación se determinará los efectos que han tenido las variables independientes sobre la variable dependiente.

4.2 Método de investigación

Para la investigación se realizaron los siguientes pasos según la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

FIGURA N° 8
PASOS PARA LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL
MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

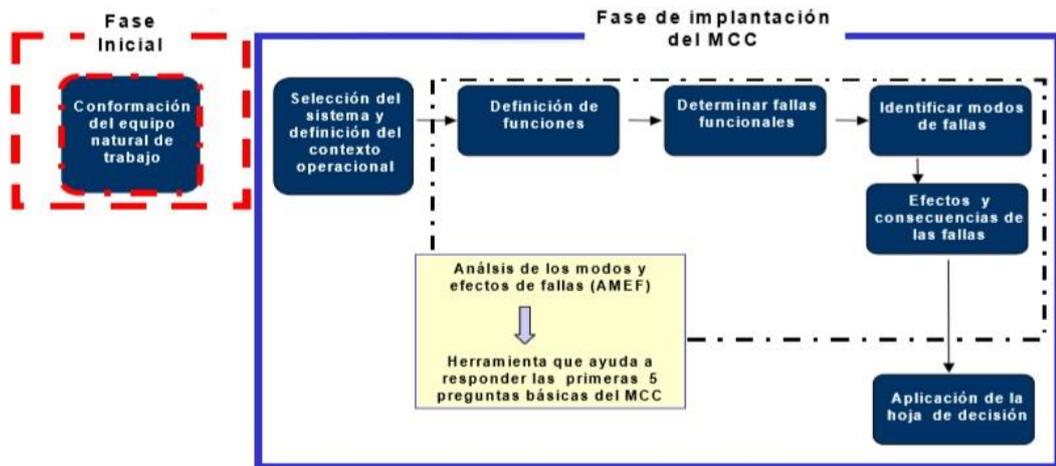


Fuente: Elaboración propia

A continuación en la figura 4.2 se muestran las fases para implantación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC), el cual dependerá básicamente del desempeño del equipo de trabajo siguiendo el esquema a continuación:

FIGURA N° 9

FASES DE IMPLANTACION DE LA METODOLOGÍA MCC

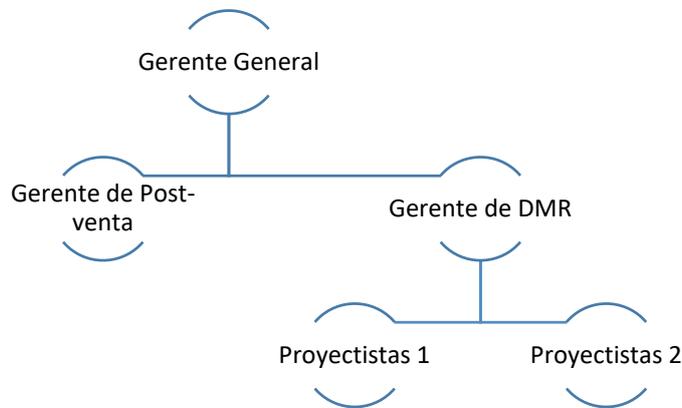


Fuente: Manual del MCC –ASME (2006)

4.2.1. Conformación de los equipos natural de trabajo

Para la investigación se conformó un grupo natural de trabajo, estructurado por personas relacionadas directamente con la operación y mantenimiento del equipo, luego se realizó un análisis a los procedimientos a realizar para llevar a cabo el presente estudio. .

Fig. 10. Estructura del equipo natural de trabajo



Fuente : Elaboración propia

Los facilitadores: En el presente trabajo los facilitadores organizaron las actividades para la ejecución de la investigación y los encargados son los proyectistas.

Asesores: Son las personas que coordinaron para asesorar y hacer seguimiento al proyecto, estuvo conformado por: el gerente general, gerente DMR y gerente post-ventas.

Técnicos de DMR y Post-venta: Ellos tiene conocimiento del equipo, sus funciones, fallas, causas de fallas. Se realizó reuniones para definir las funciones, fallas de la maquina bolter junto con ellos.

4.2.2. Especificaciones técnicas, sistemas, funciones, contexto operacional del bolter 88

Especificaciones técnicas

Fig. 11. Diagrama del BOLTER 88



Fuente : Manual de operación del BOLTER 88

APLICACIÓN

El jumbo empernador BOLTER 88 es una máquina básicamente para sostenimiento.

Es compacto, con un boom 14.2 equipada con una torreta de empernado con alcance de 1 000 mm hacia el punto de trabajo, también cuenta con un brazo enmallador con alcance de 5 577 mm.

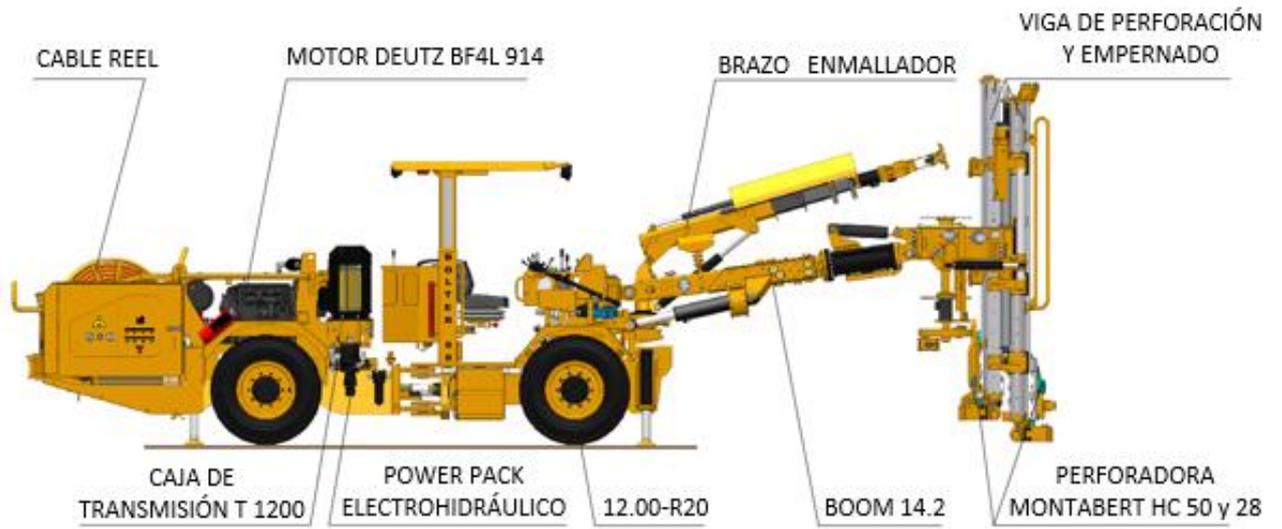
La máquina está diseñada para las secciones desde 4 X 4 hasta labores de 7 m para fortificación y enmallado mecanizado en minas subterráneas.

La cabina es adaptable para el operador, brindando visibilidad adecuada en operación, también cuenta con una certificación FOPS/ROPS de su cabina.

ESPECIFICACIONES PRINCIPALES

Perforadora	HC 50
Perforadora	HC 28
Viga	RE BD10 08
Boom	14.2
Control de perforación	K-18/HC50
Carrier	C66.3
Compresor de aire	G 11P
Bomba de agua	CR5-9
Techo de protección	FOPS/ROPS
Unidad de potencia	75 HP (55 kW)
Lubricación del Hank	SKF
Cable eléctrico	3 X 1/0 AWG 2 kV 90 mts
Longitud	10623 mm
Ancho	1877 mm
Altura máxima	3022 mm
Peso	14330 kg
N° de serie de la máquina	JMC-467
Nivel de ruido	<99 Db

Fig. 12. Diagrama de partes del BOLTER 88



Fuente : Manual de operación del Bolter 88

PERFORADORA HC 50

Modelo/marca	HC50/Montabert
Potencia máxima de la perforadora	13 kW
Precarga del acumulador de alta	35 bar
Precarga del acumulador de baja	4 bar
Presión máxima de percusión	130 bar
Presión máxima de rotación	150 bar
Frecuencia máxima de percusión	3700 BPM
Aceite de lubricación del shank	0.8 cm ³ /min
Presión de aire de lubricación del shank	3 bar
Longitud sin el shank	833 mm
Shank	hembra R-32

PERFORADORA HC 28

Modelo/marca	HC 28/Montabert
Potencia máxima de la perforadora	9,5 kW
Precarga del acumulador de alta	60 bar
Presión máxima de percusión	130-170 bar
Presión máxima de rotación	210 bar
Frecuencia máxima de percusión	2800-3200 BPM
Aceite de lubricación del shank	0.8 cm ³ /min
Presión de aire de lubricación del shank	3 bar
Longitud sin el shank	800 mm
Shank	hembra R-32

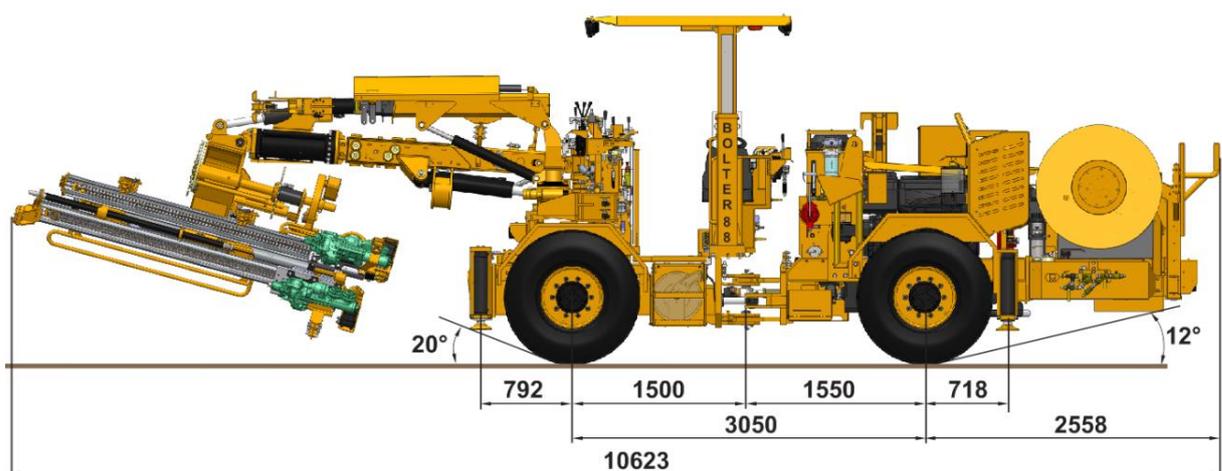
BRAZOS

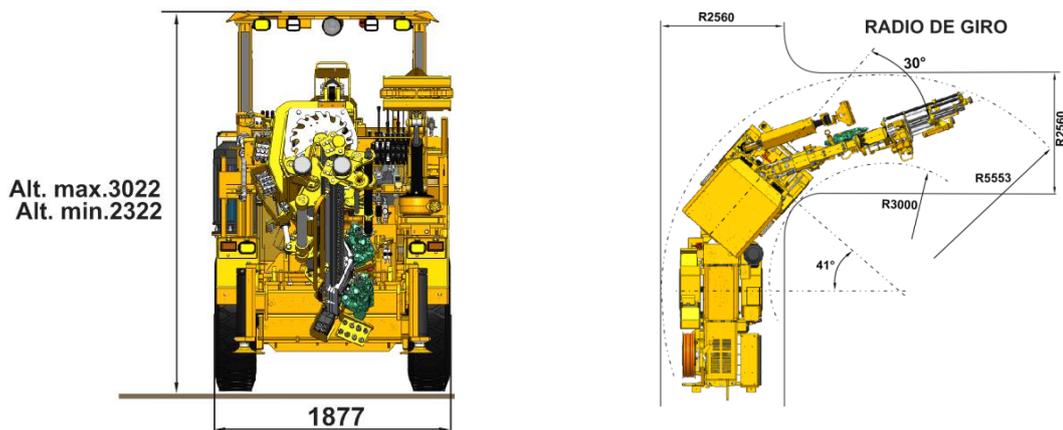
Brazo de la torreta	
Modelo	Boom 14.2
Extensión del boom	1 000 mm
Dimensión total extendido	3 160 mm
Ángulo de giro lateral	<-30°-0> ; <0°-30°>
Unidad de rotación	L30-95-S-RF-360
Peso	1170 Kg
Brazo enmallador	
Extensión total	5 577 mm
2 x unidad de rotación	L10-5-5-M 360°

TORRETA

Modelo	T88
Sistema de alimentación	Carrusel de pernos X 9
Unidad de rotación	L30-95-S-RL-360°
Presión máxima de trabajo	210 bar
Viga de perforación	
Tipo de avance	con cadena 100H
Aplicación	barra de 9 pies
Motor de avance	OMT-500 S/F
Peso	370 Kg
Extensión de la viga	400 mm
Viga de empernado	
Modelo	RE BD10 08
Tipo de avance	con cadena 100H
Aplicación	para pernos de 08 pies
Motor de avance	OMT-500 S/F
Peso	290 Kg
Extensión de columna	350 mm

Fig. 13. Diagrama de movimientos





Fuente: Manual de operación del BOLTER 88

CARRIER

Modelo	C66.3
Motor diésel	Deutz BF4L914
Potencia	72.4 kW (90 HP)
Sistema de transmisión	Hidrodinámico
Caja de transmisión power shift	Dana T 12000
Ejes diferenciales	Dana 112/367-368
Oscilante posterior	15° +/- 7.5°
Llantas	12.00-R20 (aro 20" Ø)
Sistema hidráulico del carrier	
Articulación de la dirección	+/- 40°
Bomba de posicionamiento	Engranaje simple
Sistema eléctrico del carrier	
Tensión	24 VDC
Potencia del arrancador	4.0 Kw
Faros led	70 W, 24 VDC
Batería	2 X 70 Ah
Luces de marcha	8 X halógenos 50W HD
Cabina del operador (canopy)	FOPS/ROPS
Tanque de combustible	65 litros
Tanque hidráulico	130 litros
Sistema de extinción	Ansul 16 Kg (4 boquillas)
Extintor manual	1 X 9 Kg (tipo ABC)

SISTEMA DE CONTROL

Modelo	K-18-HC50
Power pack	Electrohidráulico
Motor eléctrico	de aluminio de 75 HP
Frecuencia	60 Hz
Voltaje	440 V
Cable eléctrico	3X1/0 AWG 2 kV (90 mts)
Bombas hidráulicas	
1 X pistones axiales	desplazamiento variable (percusión, avance y posicionamiento)
Desplazamiento variable máximo	71 cm³
1 X engranaje doble	(rotación, bomba de agua)
Desplazamiento fijo	50 cm³/rev - 11 cm³/rev
Máxima presión	210 bar - 250 bar

SISTEMA DE AGUA Y AIRE

Compresor	
Modelo	G 11P
Tipo	de tornillo
Presión máxima de trabajo	9.1 bar
Caudal	56 CFM
Potencia del motor	11 kW
Nivel sonoro	68 dB
Peso	250 Kg
Bomba de agua con motor hidráulico	
Tipo	CR5-9
Caudal	6.9 m³/h
Tipo de motor	Pistones de eje inclinado
Velocidad máx. de operación	3540 rpm
Desplazamiento	5 cm³/rev
Enfriador tubular	FG 120-1427
Presión de trabajo máx. del aceite	20 bar
Temperatura de trabajo máx. del aceite	120°C
Presión de trabajo máx. del agua	20 bar
Delta de temperatura	8°C

SISTEMA HYDRABOLT (OPCIONAL)

Bomba cat	
Modelo	66DX30G11
Flujo	3.0 gpm (11.4 lpm)
Rango de presión	7 a 275 bar
Carreta	8.6 mm
Desplazamiento volumétrico	3.35 cm³/rev

INFORMACIÓN ADICIONAL

Peso total de máquina	14330 kg
-----------------------	----------

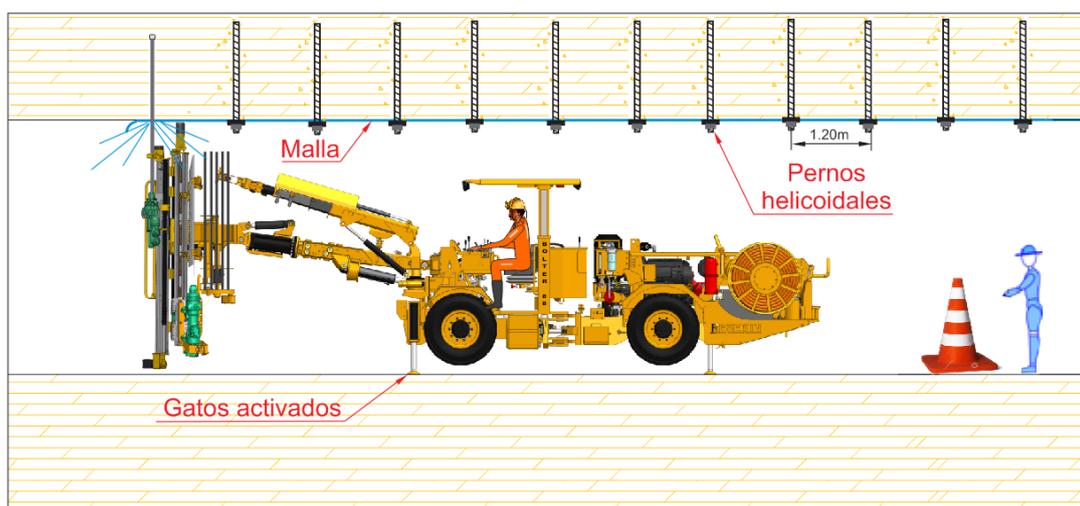
4.2.3. Contexto operacional

La máquina ha sido diseñada exclusivamente para trabajos de perforación, empernado y enmallado; para el sostenimiento de labores, tajos, galerías para minería subterránea y túneles. La máquina es multifuncional en las operaciones de empernado y enmallado, con capacidad para instalar y trabajar con distintos tipos de accesorios de sostenimiento como son: perno de anclaje split set, perno de anclaje helicoidal (cartucho de cemento o resinas) con sus respectivos acoplamientos (driver) para el sostenimiento.

Las figuras 4.7. y 4.8. indican algunas funciones y aplicaciones de la máquina, considerándose el resto de aplicaciones como poco apropiadas, como por ejemplo:

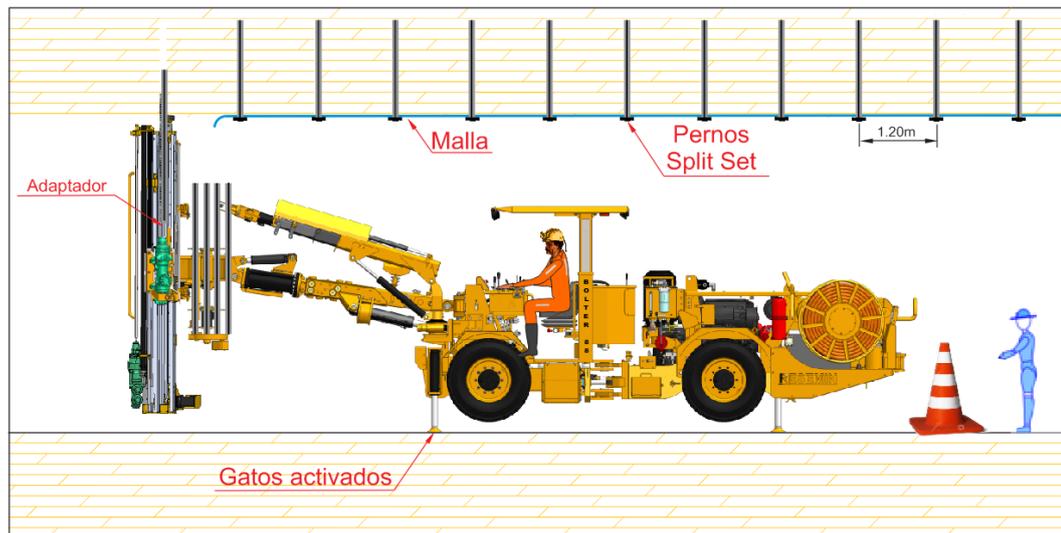
- Perforación de taladros largos.
- Elevación y transporte de cargas y personas.
- Soporte de objetos.
- Transporte de rocas.
- Desate de rocas.

Fig. 14. Diagrama de perforación



Fuente: Manual de operación del BOLTER 88

Fig. 15. Diagrama de sostenimiento con split set



Fuente : Manual de operación del BOLTER 88

4.2.4. Sistemas y funciones del equipo BOLTER 88

• Motor diésel

El motor Diesel, llamado también motor de ignición por compresión recibe su nombre por el doctor Rudolf Diesel quien patentó un motor del tipo de ignición por compresión en Alemania en 1893. Es un motor de combustión interna, es decir, la combustión tiene lugar dentro del motor. En sus aspectos básicos es similar en diseño y construcción a un motor de gasolina, que también es de combustión interna. Sin embargo, en el motor Diesel hay diferencias en el método de hacer llegar el combustible a los cilindros del motor y en la forma en que ocurre la combustión.

El motor diésel en este caso, tiene la función principal de trasladar el equipo hacia sus labores de operación, luego sigue encendido en el posicionamiento del equipo, una vez que se inicia el trabajo de perforación, el motor diesel es apagado.

Aceites lubricantes

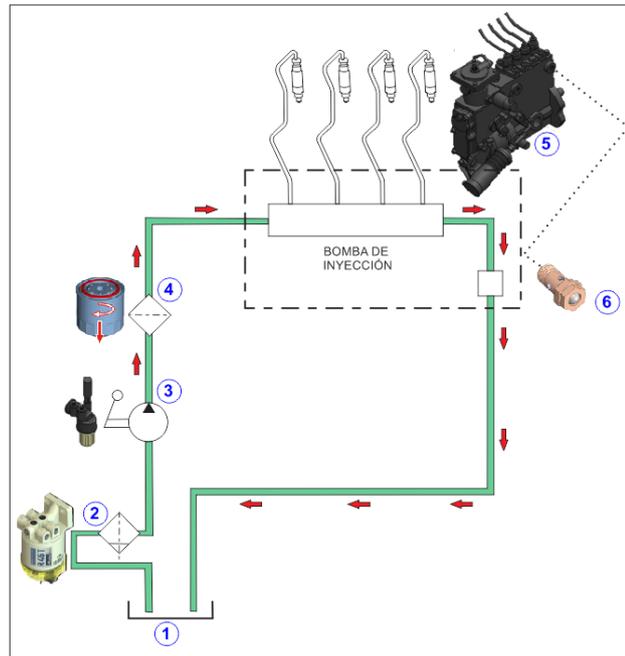
Los aceites del motor tienen distintas propiedades y se clasifican en distintas clases de calidad.

Normalmente se aplica el sistema de clasificación según API (American Petroleum Institute). Para esta clase se permiten las clases de calidad siguiente: CH-4 y CI-4.

La viscosidad del aceite del motor diésel es modificada según la temperatura circundante. A la hora de elegir la clase de viscosidad (clase SAE), se debe tener en cuenta el límite de temperatura de ambiente inferior, el límite inferior de la temperatura dificulta el arranque en frío ocasionando daños en el motor, tampoco se deberá exceder el límite de temperatura superior debido a los daños.

Componentes del sistema de combustible

Fig. 16. Circuito de combustible



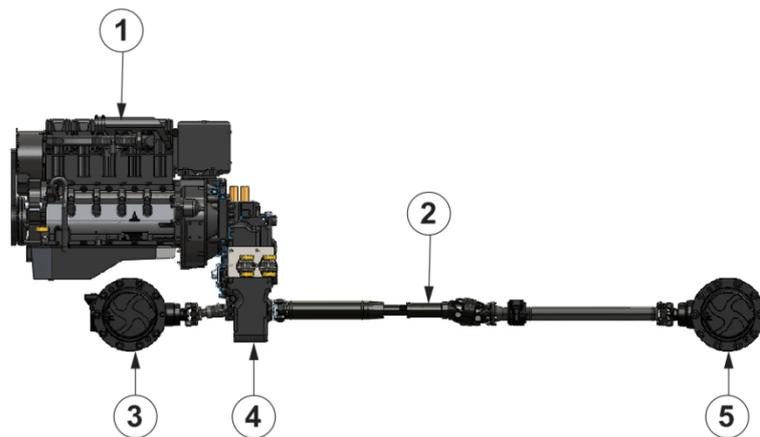
1. Tanque de combustible.
2. Filtro primario separador agua del combustible.
3. Bomba de transferencia.
4. Filtro secundario de combustible.

5. Bomba de inyección de combustible.
6. Válvula de retención de combustible.

Fuente: Manual de mantenimiento del BOLTER 88

• **Sistema de transmisión**

Fig. 17. Sistema de tren de fuerza



1. Motor diésel DEUTZ BF4L914.
2. Eje cardán.
3. Eje diferencial posterior 112 - 368.
4. Sistema de transmisión Power Shift Dana T12000.
5. Eje diferencial delantero 112 - 367.

Fuente: Manual de mantenimiento del BOLTER 88

Datos técnicos

➤ **Ruedas**

- ✓ Neumáticos (Parte delantera y posterior) 12.00 x R20 (Aro 20" de diámetro)
- ✓ Presión de las llantas delanteras: 10 bar (En la mina 9 bar).
- ✓ Presión de las llantas posteriores: 10 bar (En la mina 8 bar).
- ✓ Par de apriete de las tuercas de la rueda: 570 Nm.

➤ **Dirección**

- ✓ Válvula de dirección orbitrol series 10.
- ✓ Bomba dirección 24.5 Cm³/rev.
- ✓ Presión de trabajo máx. 200 bar.

➤ **Ejes Diferenciales**

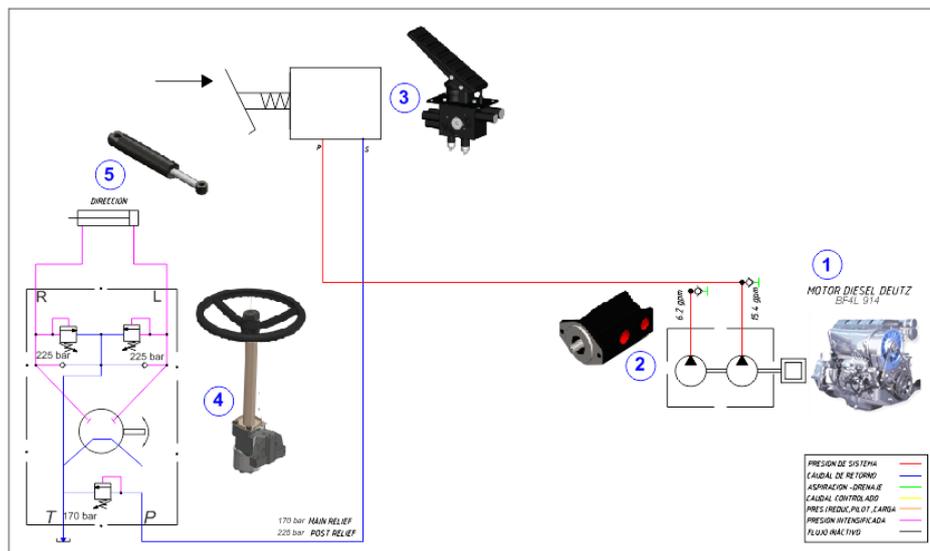
- ✓ Eje diferencial delantero: DANA 112/367
- ✓ Eje Diferencial posterior: DANA 112/368

➤ **Caja de Transmisión power shift**

- ✓ Transmisión power shift - Modelo T12000

● **Sistema de dirección de la máquina**

Fig. 18. Sistema de dirección



1. Motor diésel DEUTZ BF4L914.
2. Bomba hidráulica de posicionamiento. series 10.
3. Válvula de freno/pedal.
4. Válvula de dirección orbital
5. Cilindro hidráulico de dirección.

- ✓ El chasis está conformado por dos cuerpos unidos a través de una articulación central, que une a los dos cuerpos (chasis delantero y chasis posterior), El giro de la máquina se realiza con un cilindro hidráulico de doble efecto (5) (Ver Fig.4.11.).
- ✓ El aceite se distribuye al cilindro hidráulico de dirección al momento de arrancar el motor diésel (1), accionando la bomba hidráulica de posicionamiento (2), circulando hacia la válvula de freno y luego a la válvula orbital de dirección(4) que está a una presión de trabajo de 170 bar(Ver Fig.4.11)..

- ✓ La bomba hidráulica de posicionamiento está conformado por una bomba del tipo tándem, el cual una línea es para el accionamiento del sistema de posicionamiento y otro para el cilindro de dirección.
- ✓ La velocidad de accionamiento del cilindro de dirección depende del régimen en el motor diésel (1) (*Ver Fig.4.11.*).

Fuente: Manual de mantenimiento BOLTER 88

- **Sistema hidráulico**

Resemin establece los mismos requisitos de alta calidad técnica para los aceites biodegradables como para los aceites minerales convencionales. Además deberán ser compatibles con el entorno, cumpliendo con los requisitos de calidad con respecto a:

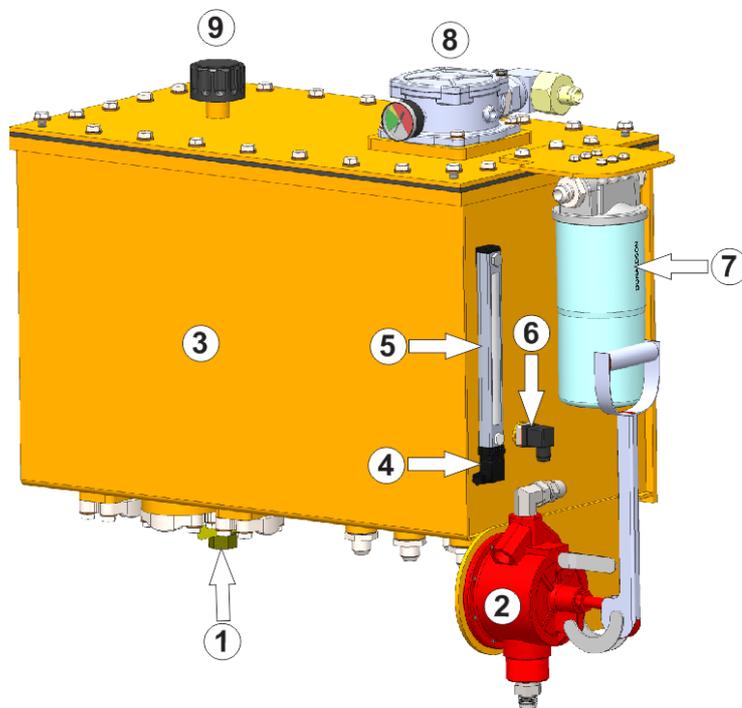
- Bio-degradabilidad.
- Eco-toxicidad.
- Utilización y desecho.

El estándar internacional ISO 15380 especifica los requisitos para los líquidos hidráulicos adecuado en el medio ambiente.

Componentes del tanque hidráulico

El tanque del aceite hidráulico de la máquina, abastece de aceite a los Sistemas de perforación y posicionamiento, está conformado de la siguiente manera:

Fig. 19. Tanque del aceite hidráulico



Fuente : Manual de mantenimiento BOLTER 88

1. *Válvula de drenaje.*
2. *Bomba manual de llenado.*
3. *Tanque hidráulico.*
4. *Sensor de nivel del aceite hidráulico.*
5. *Visor de nivel del aceite hidráulico.*
6. *Sensor de temperatura del aceite hidráulico.*
7. *Filtro de llenado del aceite hidráulico.*
8. *Filtro de retorno del sistema hidráulico.*
9. *Filtro respiradero.*

Especificación técnica del aceite hidráulico

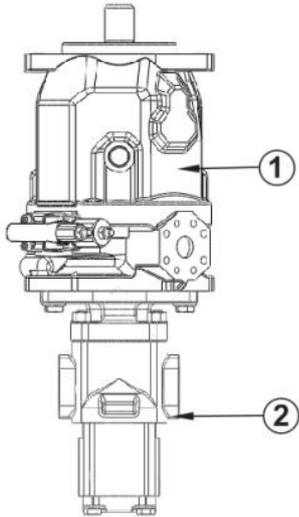
Tabla 4 – Volumen y tipo de aceite hidráulico

DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACION TÉCNICA	CAPACIDAD DEL TANQUE
ACEITE HIDRÁULICO	FLUIDO LUBRICANTE PARA SISTEMAS HIDRÁULICOS ISO VG 68	130 L

Fuente: Manual de mantenimiento del BOLTER 88

Unidad de potencia hidráulica (power pack)

Tabla 5 – Unidad de potencia POWER PACK

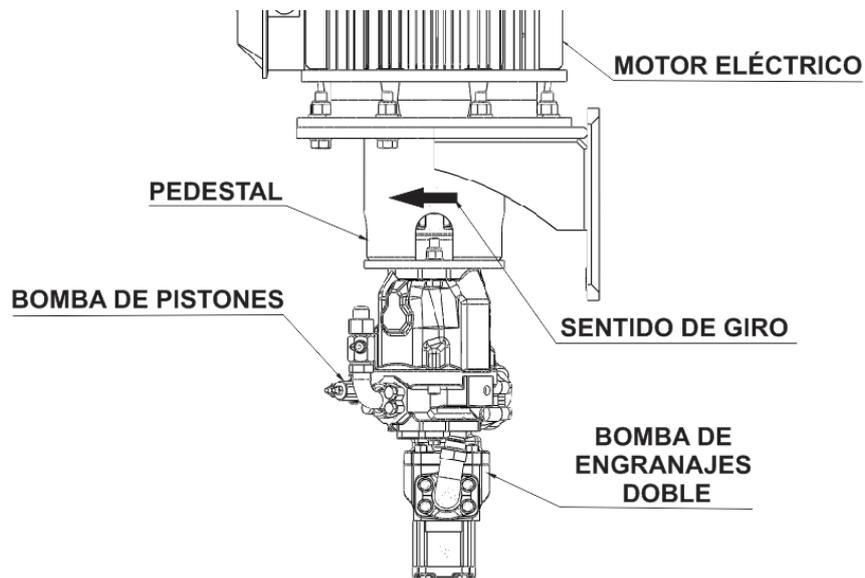
POWER PACK	
	<ol style="list-style-type: none">1. Bomba de pistones axiales del sistema de perforación (percusión y avance) y posicionamiento (boom)2. Bomba doble de engranajes del sistema de rotación de la perforadora, y de la bomba de agua.

Fuente: Manual de mantenimiento del BOLTER 88

Control de dirección de rotación de las bombas

En la caja de acoplamiento de las bombas existe una flecha que indica la dirección de rotación correcta.

Fig. 20. Sentido de rotación del motor eléctrico y las bombas

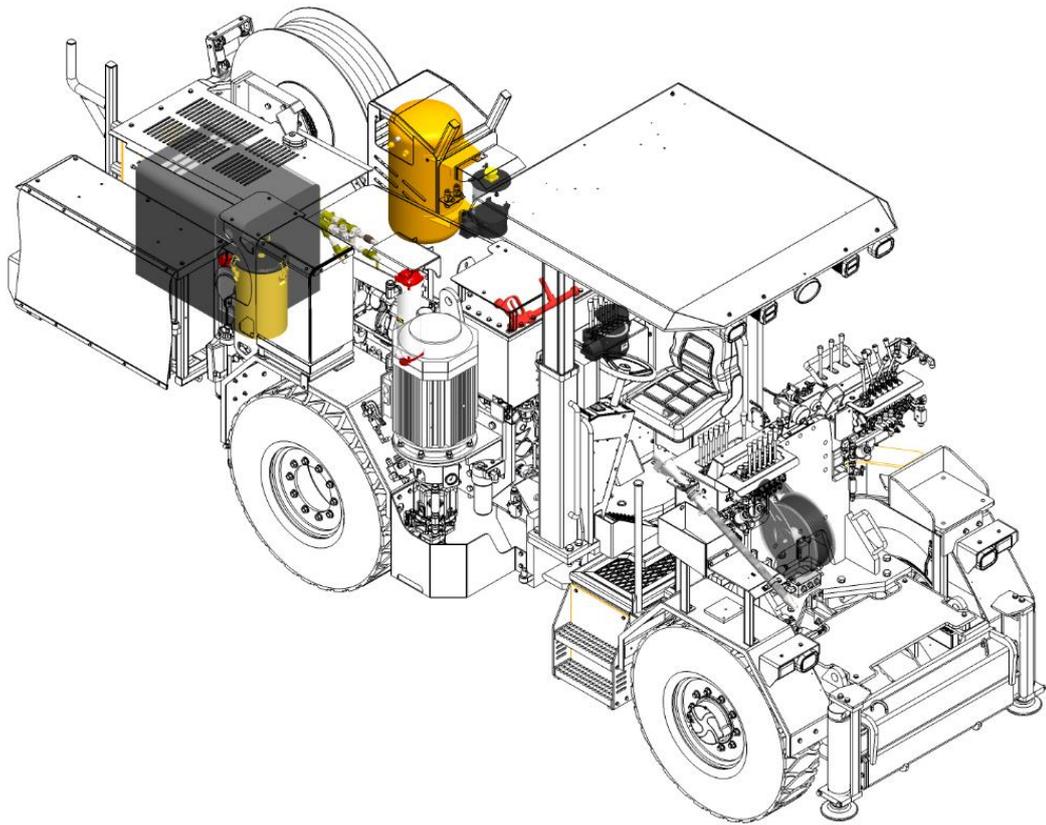


Fuente: Manual de mantenimiento del BOLTER 88

1. Poner en marcha la bomba y detenerla inmediatamente, de manera que sólo gire unas pocas revoluciones. Controlar al mismo tiempo el sentido de la rotación en el acoplamiento entre el motor y la bomba.
2. Si la bomba gira en sentido incorrecto, deberán conmutarse solo dos cables de fase en el cable de conexión.

- **SISTEMA DE AGUA Y AIRE**

Fig.21. Sistema de agua y aire

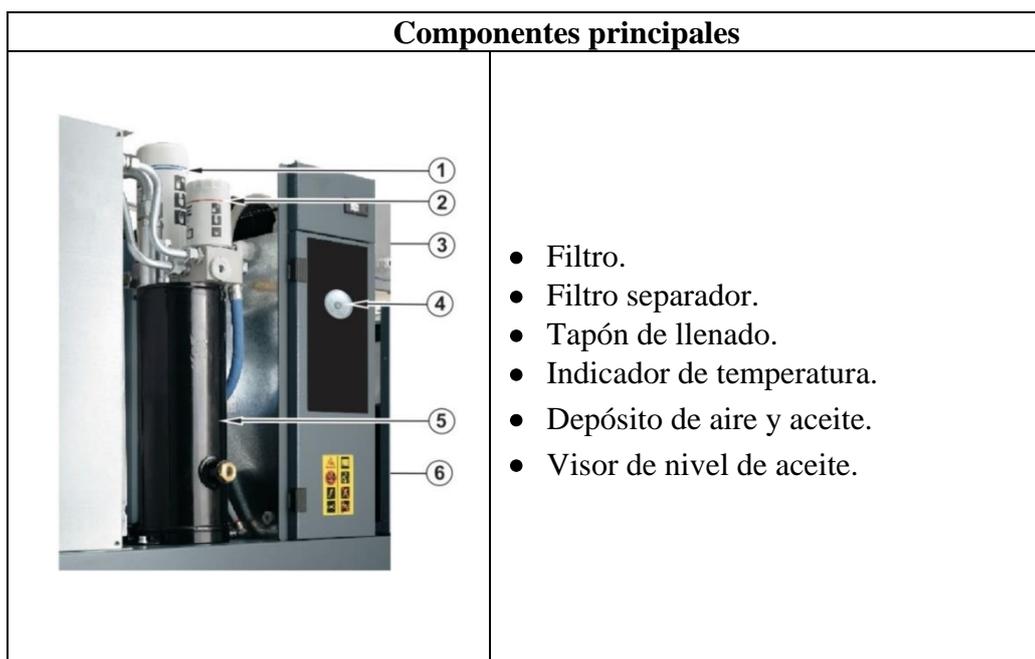


Fuente: Manual de mantenimiento del BOLTER 88

Compresor G11P

El G11P es un compresor de tornillo de una etapa, refrigerados por aire, con inyección de aceite y accionado por un motor eléctrico.

Componentes principales



Datos técnicos

- Presión máxima : 9.1 bar
- Capacidad : 52,3 CFM
- Velocidad : 3500 rpm
- Potencia del motor : 11 kW
- Nivel sonoro : 68 dB

Roto-Inject Fluid

Roto-Inject Fluid es lubricante especialmente desarrollado para usar en compresores de tornillo de una etapa con inyección de aceite. Su composición específica ayuda a mantener el compresor en condiciones óptimas. Roto Inject Fluid se puede utilizar para compresores que funcionen a temperaturas ambiente de entre 0° C (32° F) y 40° C (104° F). Si el compresor funciona normalmente a temperaturas de ambiente de 40° C a 46° C (115° F), la vida útil del aceite se reduce considerablemente. En tal caso se recomienda usar Roto Xtend Duty Fluid.

Roto-Xtend Duty Fluid

Roto Xtend Duty Fluid es lubricante sintético de alta calidad para compresores de tornillo con inyección de aceite que mantiene el compresor en excelente estado. Gracias a su extraordinario estabilidad a la oxidación, Roto Xtend Fluid puede utilizar para compresores que funcionen a temperaturas ambiente de entre 0° C (32° F) y 46° C (115° F).

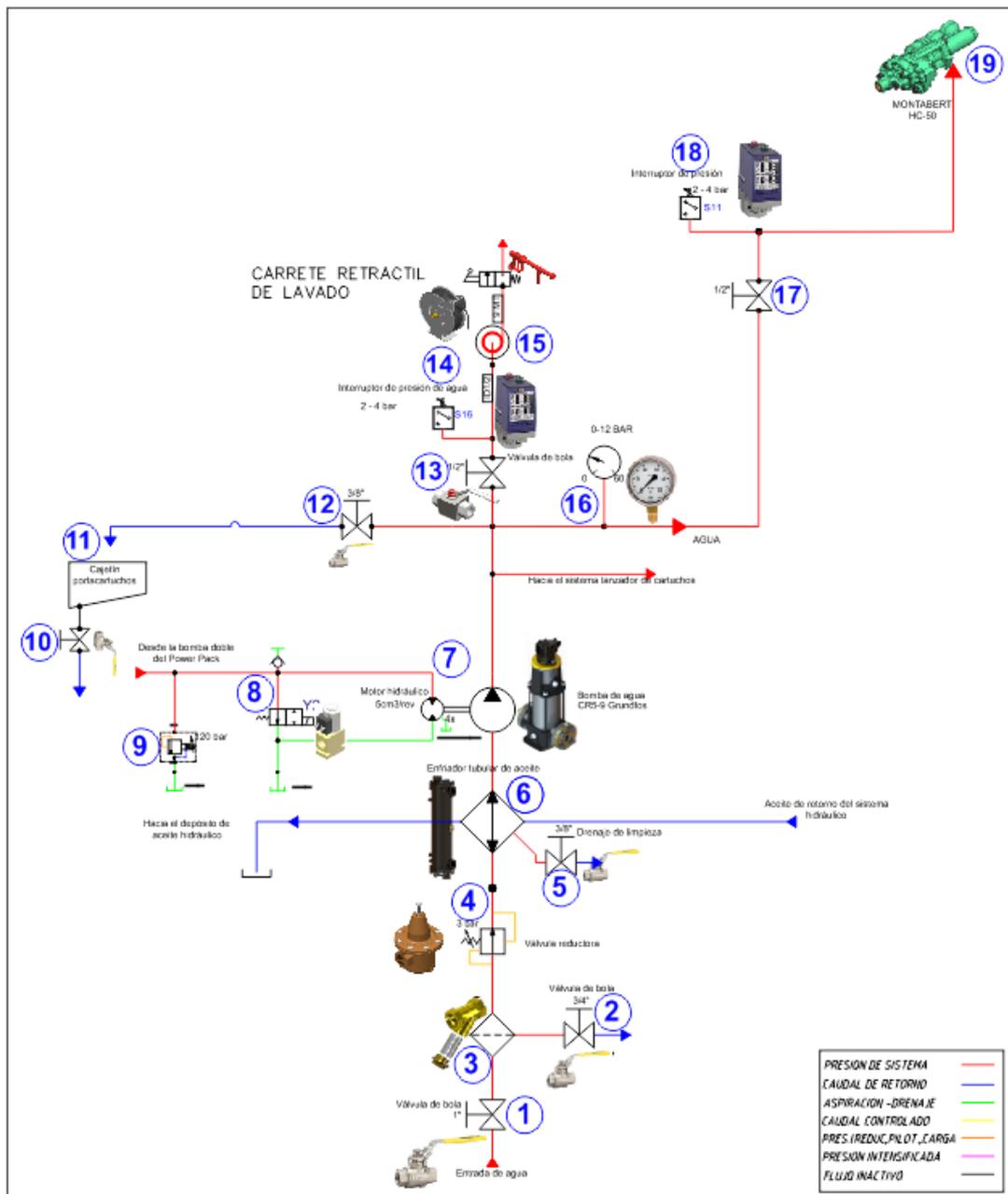
Tabla 6 – Clase de aceite recomendado

DESCRIPCION	ESPECIFICACION TECNICA	CAPACIDAD RESERVORIO
COMPRESOR	ACEITE ROTO INJ.FLUID	3.2 LITROS

Fuente: Manual de mantenimiento del BOLTER 88

Componentes principales del sistema del agua

Fig. 22. Componentes principales del sistema de agua



Fuente: Manual de mantenimiento del BOLTER 88

Componentes:

1. Válvula de bola de 1" para suministro del agua de mina.

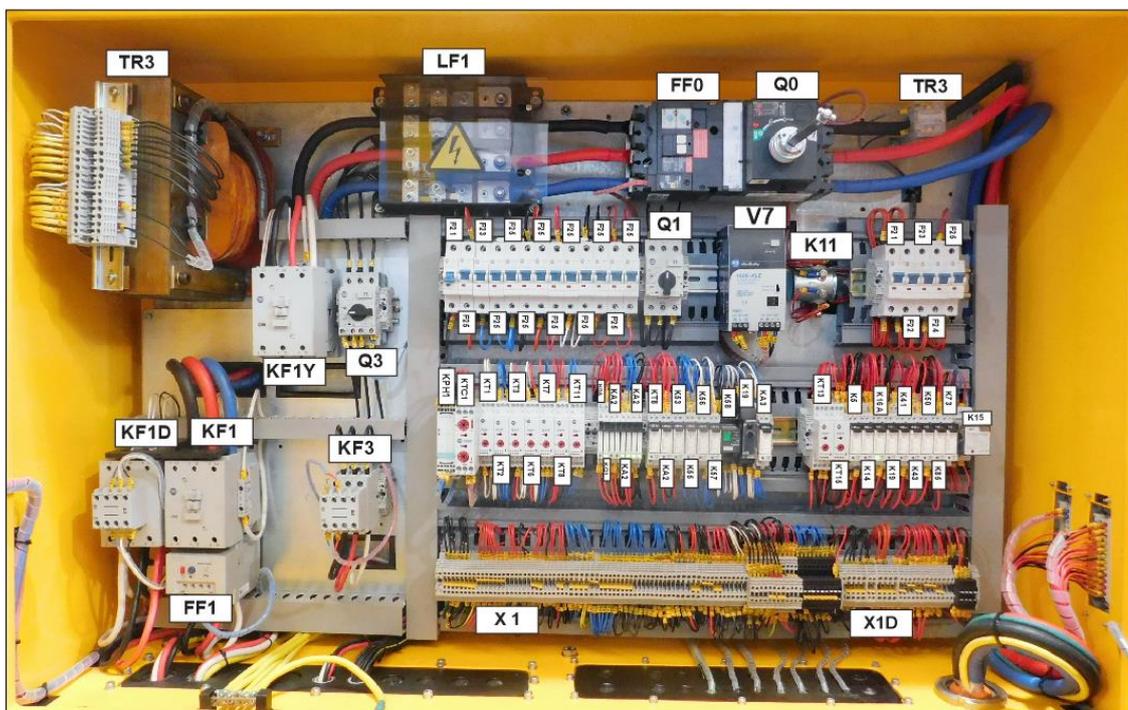
2. Válvula de bola de 3/4" para limpieza del filtro cedazo.
3. Filtro cedazo.
4. Válvula reductora de presión de agua.
5. Válvula de bola de 3/8" para drenaje del enfriador (Aplicación para aumentar el enfriamiento).
6. Enfriador tubular del aceite hidráulico.
7. Bomba de agua con motor hidráulico.
8. Electroválvula 2/2 normalmente abierta (N/A).
9. Válvula de alivio.
10. Válvula de bola 3/8" para drenaje del agua del cajetín porta cartuchos.
11. Cajetín porta cartuchos.
12. Válvula de bola de 3/8" para suministrar agua al cajetín porta cartuchos.
13. Válvula de bola de 1/2" para suministrar agua para el sistema de lavado de la máquina.
14. Presostato de presión para activar la bomba de agua para el sistema de lavado de la máquina.
15. Carrete con manguera (retráctil) y válvula de lavado.
16. Manómetro del sistema de barrido de agua para la perforación (0-20 bar).
17. Válvula de bola de 3/4" para suministrar agua y aire.
18. Presostato de presión para activar la bomba de agua del sistema de barrido de agua para la perforación.
19. Perforadora HC50.

- SISTEMA ELÉCTRICO

Generalidades

El sistema eléctrico consta de un tablero eléctrico principal lo cual están compuesto por el interruptor principal, guarda motores, contactor principal, relé, diodos y transformadores, etc.

Fig. 23. Componentes principales del sistema eléctrico I (380 – 690 VAC)



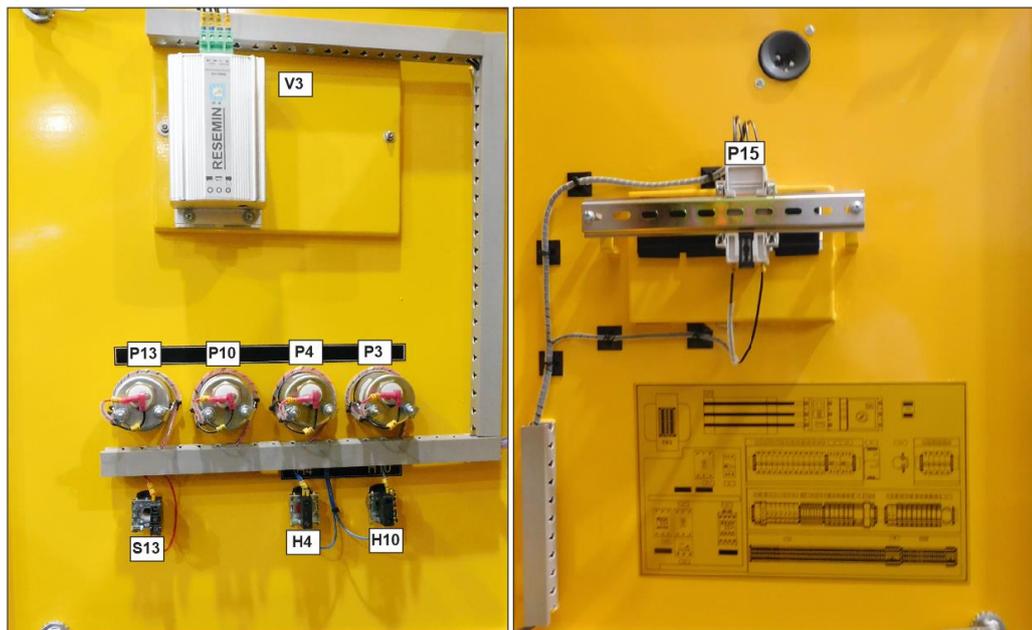
Fuente: Manual de mantenimiento del BOLTER 88

- TR3** Transformador de voltaje.
- LF1** Puente para conexión de voltaje.
- FF0** Modulo vigui (falla a tierra).
- Q0** Interruptor principal.
- TR4** Transformador de corriente 150-5 Amperios.
- F1** Interruptor termomagnético de control de alimentación del transformador TR3.
- F4** Interruptor termomagnético de control del rele y solenoide de 32 VDC (ingresos al cargador de baterías).
- F5** Interruptor termomagnético de control de 24 VDC de la batería.
- F7** Interruptor termomagnético de control de pilotos de señalización.

F8	Interruptor termomagnético de control de 24 VDC (faros de traslado).
F10	Interruptor termomagnético de control del cargador de batería 32 V.
F11	Interruptor termomagnético de control de salida de la batería.
F12	Interruptor termomagnético de control del rele de parada de emergencia.
F13	Interruptor termomagnético de control del contactor principal.
F14	Interruptor termomagnético de control del compresor.
F15	Interruptor termomagnético de control de la fuente de alimentación.
F16	Interruptor termomagnético de control de los faros de trabajo.
F18	Interruptor termomagnético de control de señalización de emergencia.
Q1	Guarda motor de protección de secuencia de fase.
V7	Fuente de alimentación.
K11	Rele principal de control del arranque del motor diésel.
F21	Rele principal de control de 50 Amperios.
F22	Rele principal de control del sistema diésel 10 Amperios.
F23	Rele principal de control de pilotos de señalización del sistema diésel.
F24	Rele principal de control de posicionamiento con sistema diésel.
F25	Rele principal de control de los faros de traslado.
KF1, KF1D, KF1Y	Arranque estrella triangulo del motor principal.
Q3	Guarda motor para el compresor.
KF3	Contactor principal del compresor.
KPH1	Rele de secuencia de fase.
KTC1	Rele auxiliar de temporizado para purga del tanque de aire.
KT2	Rele temporizador de nivel y temperatura del aceite hidráulico.
KT3	Temporizador auxiliar del sistema hidráulico.
KT6	Temporizador auxiliar de encendido de la bomba de agua.
KT7	Rele temporizador del nivel de aceite de lubricación de la perforadora.
KT8	Rele temporizador del engrase de la torreta.
KT11	Rele auxiliar de carga y descarga del compresor.
K0A	Rele auxiliar de parada del motor diésel.
KQ1	Rele auxiliar para alimentación del Q0.
K0	Rele auxiliar de alimentación de los pilotos/luz de parada de emergencia.
K12	Rele auxiliar de bloqueo del sistema eléctrico de 380-600 VAC y 24 VDC (automotriz).
K16	Rele auxiliar de bajo nivel del aceite hidráulico (sistema eléctrico 380-600 VAC).
K18	Rele auxiliar de control del bloqueo de presurización.
KA2	Rele auxiliar de control de la bomba de agua.
K53	Rele auxiliar de control del engrase automático de la columna.
K55	Rele auxiliar de control de carga y descarga del compresor.
K56	Rele auxiliar de control de presión mínima del compresor.
K57	Rele auxiliar de control de temperatura alta del compresor.
K58	Rele auxiliar de control principal del compresor.
K19	Rele auxiliar de control de rotura de faja.
KA3	Rele auxiliar de control del compresor.

- KT13** Rele auxiliar de presión baja del motor diésel.
- KT15** Rele auxiliar de control del temporizador de posicionamiento.
- K5** Rele auxiliar de control de conmutación
- K14** Rele auxiliar de control de baja presión de aceite del motor diésel.
- K16A** Rele auxiliar de control del nivel de aceite hidráulico con sistema diésel.
- K41** Rele auxiliar de control de presión baja de la transmisión.
- K43** Rele auxiliar de control del solenoide del combustible.
- K50** Rele auxiliar de control de temporizado del posicionamiento.
- K73** Rele auxiliar de control del solenoide del arrancador.
- K15** Rele auxiliar de control de los faros.
- X1** Borneras.
- X1D** Diodos de control de pilotos.

Fig. 24. Componentes principales del sistema eléctrico II (380 – 690 VAC)



Fuente : Manual de mantenimiento del BOLTER 88

- V3** Cargador de baterías.
- P13** Indicador de horas de funcionamiento del compresor.
- P10** Indicador de horas de funcionamiento de la perforadora de empernado.
- P4** Indicador de horas de funcionamiento del motor eléctrico.
- P3** Indicador de horas de funcionamiento de la perforadora.
- S13** Parada de emergencia.
- H4** Piloto indicador de fase invertida.
- H10.1** Piloto de señalización del tablero energizado.
- P15** Indicador de voltaje y amperaje.

- **SISTEMA DE PERFORACIÓN**

Presión y velocidad de rotación de la perforadora

La velocidad de rotación durante la perforación deberá ajustarse en función del diámetro de la broca, el tipo de roca. (la calidad y condición de la roca) y la frecuencia de percusión corregida, según la presión de percusión de trabajo regulado.

1. Active la rotación de perforación con la palanca de control del panel de control de perforación .
2. Mida la velocidad de rotación con un tacómetro en el shank o la barra y ajuste la velocidad deseada, con la perilla de la válvula reguladora de flujo, la válvula está ubicada al costado del power pack electrohidráulico (*Ver Fig.4.18.*), la velocidad recomendada se encuentra en el rango de **230 a 270 rpm** (este dato es referencial pues variara según la dureza del terreno, diámetro de la broca y frecuencia a la que está percutando la perforadora), la presión de rotación para este rango de velocidades debe marcar entre **35 - 60 bar (según la resistencia de la rotación que se presente durante la perforación)**.
3. Verificar la presión en el manómetro correspondiente.

Fig. 25. Ubicación de la válvula reguladora de flujo del sistema de rotación de la perforadora



Fuente: Manual de mantenimiento del BOLTER 88

Fig. 26. Válvula reguladora de flujo del sistema de rotación de la perforadora

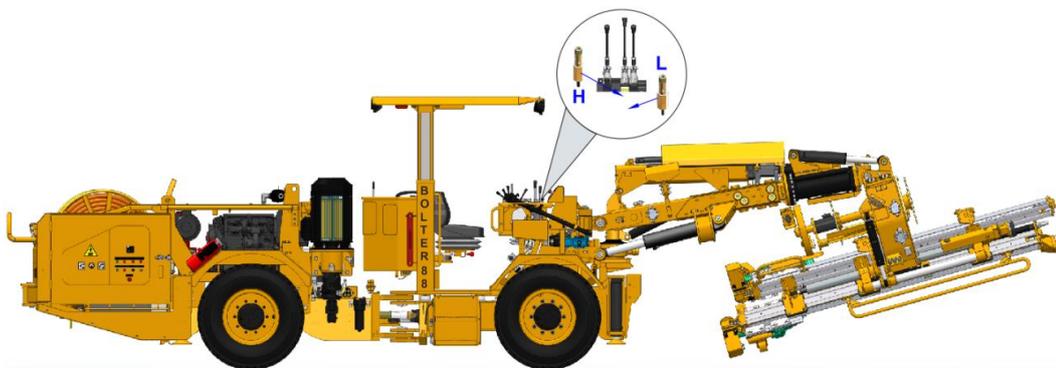


Fuente: Manual de mantenimiento del BOLTER 88

Presión de percusión de la perforadora (viga de perforacion)

1. Poner en marcha la bomba principal (power pack).
2. Coloque la palanca de control de percusión en la posición B (percusión en baja).
3. Verificar la presión en el manómetro de percusión y ajuste la válvula reguladora de flujo (L) en **90 bar**, esta válvula está ubicada debajo del panel de perforación (Ver Fig.4.20).
4. Para la percusión en alta, colocar la palanca de control de percusión en la posición A, ajuste la válvula reguladora de flujo (H) a un valor de **115 a 130 bar** (Ver Fig. 4.20).
5. Verificar la presión en el manómetro.

Fig. 27. Válvula reguladora de flujo (throttle valve)

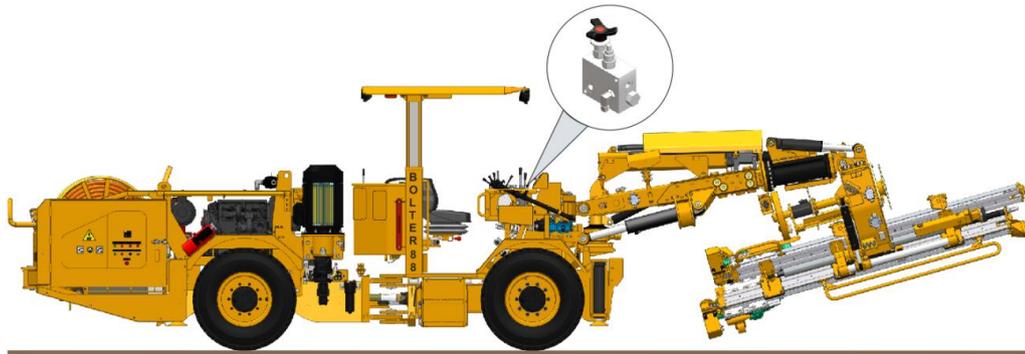


Fuente: Manual de mantenimiento del BOLTER 88

Presión de avance de la perforadora (viga de perforacion)

La regulación de la presión del sistema de avance está en función a varios factores como: la calidad de la roca, el diámetro y tipo de la broca, la presión de percusión, la velocidad de rotación, etc. Debe regularse de tal forma que los aceros de perforación no se suelten fácilmente, la presión no debe ser tan elevada para que no soporten altas cargas y no se incremente el riesgo de atascamiento de la barra.

Fig. 28. Válvula piloto de control de presión de avance

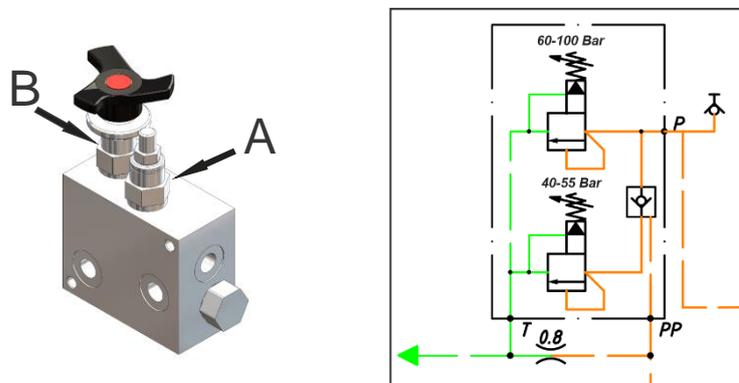


Fuente: Manual de mantenimiento del BOLTER 88

Presión de avance en baja (emboquillado)

1. Poner en marcha la bomba principal (power pack).
2. Coloque la palanca de control de percusión en la posición B, luego ubique la palanca de control de avance en la posición A (Ver Fig.4.22), cuando la palanca de se encuentra en baja, automáticamente se tiene una presión de avance en baja.

Fig. 29. Válvula piloto de control de presión de avance



Fuente : Manual de mantenimiento del BOLTER 88

3. Desajuste la contratuerca (A) del regulador (B) y empiece a regular la válvula en sentido horario, el rango de presión debe estar entre **40 ó 55 bar** (dependiendo de los factores mencionados).
4. Verificar la presión en el manómetro.

Presión de avance en alta (perforación)

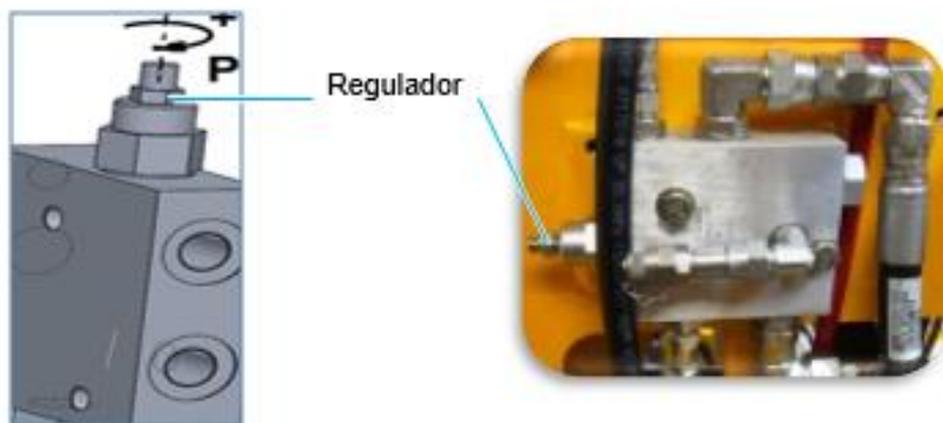
1. Active el power pack con el pulsador de color verde.
2. Coloque la palanca de control de percusión en la posición B.
3. Coloque la palanca de control de avance en la posición A, al colocar la palanca de control de percusión en la posición A (percusión en alta) automáticamente se tiene una presión de avance en alta.
4. Verificar el manómetro del sistema de avance en el panel de perforación.
5. Desajuste la perilla de contratuerca (A) de la válvula de avance y ajuste manualmente en sentido horario, compruebe la presión, debe estar entre **60 - 100 bar**.
6. Verificar la presión en el manómetro.

Regulación de la válvula máxima de avance

a) Procedimiento:

1. Desactive el power pack con el pulsador de color rojo.
1. Anule o tapone los puertos (A y B) (*Ver Fig. 4.24*) de la válvula máxima de avance y de la línea de avance.
2. Active el Power Pack con el pulsador de color verde.
3. Regule la presión máxima de avance P (*Ver Fig.4.23*) hasta alcanzar la presión deseada (100 bar). Giro en sentido horario aumenta la presión.
4. Esta regulación proporciona el máximo valor que puede alcanzar el avance. Una vez habilitada el piloto al puerto P, el valor de la presión de avance depende del piloto proveniente de la válvula de alta y baja (*Ver Fig. 4.24*).

Fig. 30. Válvula máxima de avance



Fuente : Manual de mantenimiento del BOLTER 88

Fig. 31. Esquema hidráulico del sistema de avance

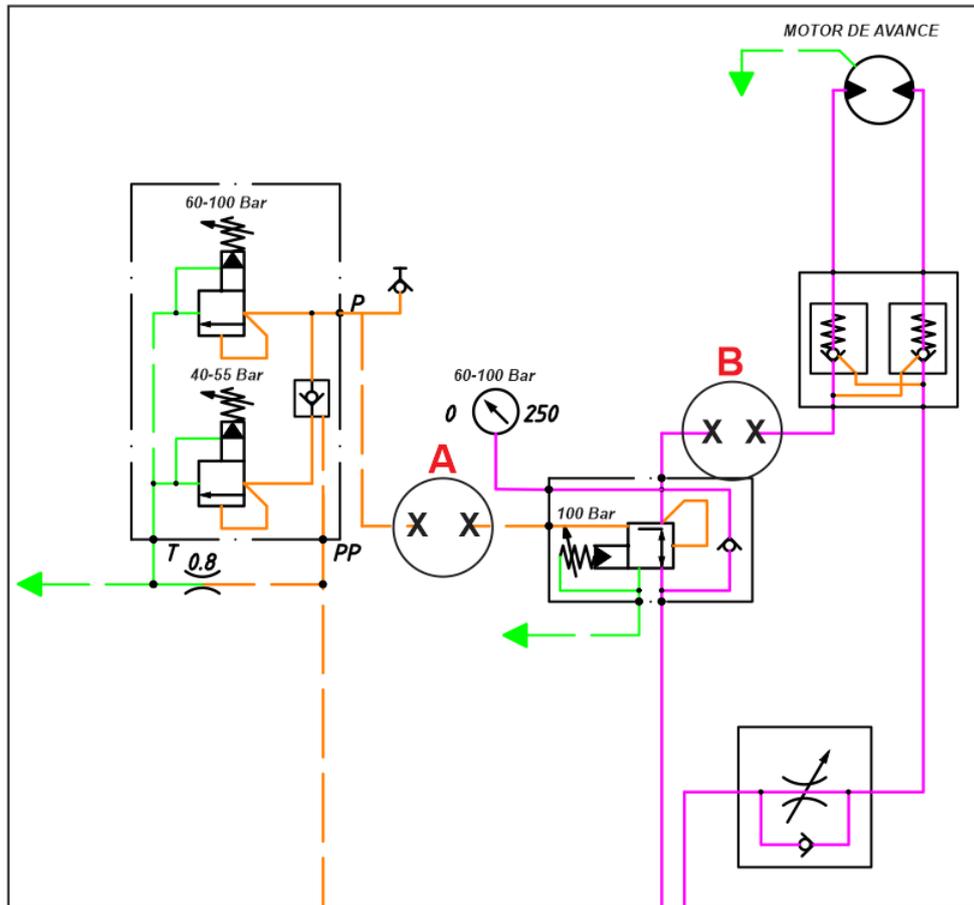


Fig. 32. Ubicación de la válvula máxima de avance en la máquina



Fuente: Manual de mantenimiento del BOLTER 88

- **Presión de perforación**

Tabla 7. Presiones de perforación

DESCRIPCIÓN		PERFORADORA HC 50
PRESIÓN DE PERCUSIÓN	BAJA (EMBOQUILLADO)	90 bar
	ALTA	115 - 130 bar
PRESIÓN DE AVANCE	BAJA (EMBOQUILLADO)	40 - 55 bar
	ALTA	60 – 100 bar
PRESIÓN ROTACIÓN		35 - 60 bar
RPM DE ROTACIÓN (Broca de D = 38 mm y D =41 mm)		(216 – 324 rpm)
PRESIÓN DE BARRIDO DE AGUA		12 – 20 bar
PRESIÓN DEL AIRE DE LUBRICACIÓN DE LAS PERFORADORAS		3 bar

Fuente: Manual de mantenimiento del BOLTER 88

- **Presión de empernado**

Tabla 8 – Presiones de empernado

DESCRIPCIÓN	PERFORADORA MONTABERT HC 28
SISTEMA DE EMPERNADO (válvula reductora de presión)	130 bar
CILINDRO INYECTOR (válvula reductora de presión)	45 bar
EXTENSIÓN DE LA CLAVIJA DE GOMA (válvula reductora de presión)	40 bar
PRESIÓN ROTACIÓN	25 - 35 bar
VELOCIDAD DE ROTACIÓN (RPM)	100 - 120 rpm
PRESIÓN PERCUSIÓN	40 -90 bar
PRESIÓN AVANCE	50 - 70 bar
PRESIÓN DEL AIRE DE LUBRICACIÓN DE PERFORADORA	3 bar
PRESIÓN LADO CILINDRO INYECTOR DE CEMENTO	45 bar

Fuente: Manual de mantenimiento del BOLTER 88

Estas presiones pueden variar de acuerdo con el **tipo de terreno** donde se realiza el

sostenimiento y al **tipo de aplicación** (pernos split set, hydrabolt y helicoidales).

4.3. Población y Muestra

Para el presente estudio y análisis se considerarán las máquinas producidas entre 2017-2018 siendo un total de 150 equipos. De los cuales se seleccionarán 36 equipos bolter como muestra para la presente investigación.

4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

El presente proyecto se desarrolló en la empresa Resemin S.A., en la unidad de reparación y montaje con la retroalimentación de post-venta, el apoyo y colaboración de todas las áreas de la empresa durante el periodo 2017-2018.

4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Los datos serán recolectados a través de las técnicas e instrumentos siguientes: la documentación que facilite la empresa, entrevistas no estructuradas y observación.

4.6. Plan de trabajo de campo

Para la recolección de datos, se determinará la criticidad de los equipos, se diseñará el AMEF, luego se aplicará el diagrama de decisiones y finalmente se determinará los indicadores de gestión de mantenimiento.

Para la investigación se entrevistará a las personas relacionadas directamente con la operación y mantenimiento del equipo, luego se realizará un análisis a los procedimientos y acciones realizadas (historial de la máquina).

4.7. Análisis y procesamiento de datos

Para el análisis de datos se utilizó el método de factores ponderados basado en el riesgo y el árbol lógico de fallas.

4.7.1 Analizar la criticidad aplicando el método de factores ponderados basado en el concepto del riesgo

Selección de los sistemas para el análisis.

Para el caso de nuestro estudio hemos visto conveniente realizar un análisis de criticidad de todos los sistemas que posee el equipo BOLTER 88, esto con la finalidad de seleccionar algunos sistemas, el que ,en base al resultado obtenido tenga los valores más altos, a los cuales se les realizo el análisis del RCM. A continuación se presentan los criterios que se consideran para el análisis de criticidad.

CRITERIOS DE IMPACTO

IMPACTO EN SEGURIDAD

PRODUCE MUERTE	10
PRODUCE DAÑO INCAPACITANTE	8
PRODUCE LESION LEVE	4
NO PRODUCE DAÑO ALGUNA A LA PERSONA	1

IMPACTO AMBIENTAL

PROVOCA IMPACTO QUE VIOLA LAS NORMAS AMBIENTALES	8
PROVOCA UN IMPACTO QUE NO VIOLA NORMAS LEGALES	6
PROVOCA MEDIANO IMPACTO	4
PROVOCA LEVE IMPACTO	2
NO PROVOCA NINGUN IMPACTO	0

IMPACTO EN PRODUCCION

PARADA INMEDIATA DEL PROCESO	10
IMPACTA EN NIVELES DE PRODUCCION	5
NO AFECTA A LA PRODUCCION	1

FLEXIBILIDAD OPERACIONAL

NO HAY DISPONIBILIDAD DE REPUESTO	4
HAY FUNCIÓN DE REPUESTO COMPARTIDO	2
FUNCIÓN DE REPUESTO DISPONIBLE EN TODO MOMENTO	1

FRECUENCIA DE FALLAS

PROMEDIO MAYOR A 4 FALLAS/AÑO	6
PROMEDIO 2-4 FALLAS/AÑO	4
PROMEDIO 1-2 FALLAS/AÑO	3
MENORES A 1 FALLA/AÑO	1

CRITERIO OPCIONAL PARA LA FRECUENCIA DE FALLAS

MAYOR A 12 400horas	6
ENTRE 6 - 12 400horas	4
ENTRE 2 - 5 400horas	3
MENOR A 2 400horas	1

IMPACTO COSTOS DE MANTENIMIENTO

MAYOR O IGUAL A 50000 SOLES	9
ENTRE 30 000 - 50000 SOLES	6
ENTRE 15000 - 30000 SOLES	4
ENTRE 5 000 - 15000 SOLES	3
ENTRE 0 - 5000 SOLES	1

TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR

MAYOR A 7 DIAS	6
ENTRE 5 - 7 DIAS	4
ENTRE 3 -4 DIAS	2
ENTRE 1 - 2 DIAS	1

Consecuencia = {[Flexibilidad Operacional * Impacto operacional] + Costo de Mtto.+ Impacto S.A.H.}

Criticidad Total = Frecuencia de fallas x Consecuencia

Fuente: The woodhouse partnership limited (Consultora inglesa)

Tabla 9 – Criticidad de sistemas en el BOLTER 88 TIPO A

SISTEMA O SUBSISTEMA		FRECUENCIA	IMP. SEGURIDAD	IMP. AMBIENTE	FLEXIBILIDAD OP.	TPPR	IMP. PROD	IMP. MANTTO	CRITICIDAD TOTAL	CONSECUENCIA	CRITICIDAD
MOTOR	SISTEMA DE LUBRICACION	4	4	8	2	3	5	3	180	45	Critico
	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	5	1	1	2	1	10	3	125	25	Critico
	SISTEMA INYECCION	2	4	8	2	4	10	4	192	96	Critico
	ALIMENTACION	1	4	8	2	1	10	3	35	35	No Critico
	SISTEMA DE ADMISION	5	4	4	3	1	5	4	135	27	Critico
	SISTEMA DE ESCAPE	1	8	8	4	3	1	1	29	29	No Critico
TRANSMISION	MANDOS FINALES	3	1	1	2	1	10	3	75	25	SEMI CRITICO
	DIFERENCIAL	1	8	1	4	1	10	3	52	52	SEMI CRITICO
	POWER SHIFT	1	1	1	2	3	5	6	38	38	No Critico
	CONVERTIDOR	3	1	1	2	3	4	3	87	29	No Critico
SIST. HIDRAULICO	SISTEMA DIRECCION,FRENO DE SERVICIO Y PARQUEO	1	8	4	2	3	10	3	75	75	SEMI CRITICO
	POWER PACK	3	4	1	2	3	10	4	207	69	Critico
	TANQUE HIDRAULICO	1	4	8	2	3	5	3	45	45	No Critico
	ESTABILIZADORES DE GATOS	1	8	6	2	3	5	3	47	47	No Critico
SISTEMA AGUA-AIRE	BOMBA DE AGUA	3	4	1	2	3	5	3	114	38	Critico

	COMPRESOR DE AIRE	3	4	4	4	3	5	3	213	71	Critico
	BOMBA DE ENGRASE	1	4	6	1	3	1	1	14	14	No Critico
	LUBRICACIÓN DE PERFORADORA	1	4	6	1	1	1	1	12	12	No Critico
SISTEMA ELECTRICO	MOTOR ELECTRICO DE POWERPACK	1	4	4	2	1	10	6	34	34	No Critico
	TABLEROS	1	4	4	2	3	5	3	41	41	No Critico
	SENSORES	1	4	1	2	1	1		7	7	No Critico
	CAJAS DE PASES	1	1	1	1	1	1		3	3	No Critico
	CABLE REEL	3	4	4	2	3	5	3	123	41	Critico
SISTEMA DE PERFORACIÓN	SISTEMA DE VIGA (PERFORACIÓN)	3	4	4	2	3	5	3	123	41	Critico
	SISTEMA DE VIGA (EMPERNADO)	3	4	4	2	3	5	3	123	41	Critico
	INTERCAMBIADOR DE BARRAS	3	4	4	2	3	5	3	123	41	Critico
	COLUMNA DE EMPERNADO	3	4	4	2	3	5	3	123	41	Critico
	BRAZO BOOM	3	4	4	2	3	5	3	123	41	Critico
	LANZADOR DE CARTUCHOS	3	4	4	2	3	5	3	123	41	Critico
	PERFORADORA	3	4	4	2	3	5	3	123	41	Critico

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 33. Gráfico de criticidades



Fuente: Elaboración propia.

4.7.2. Indicadores de mantenimiento a medir antes y después de la implementación

TMEF: Tiempo medio entre fallas

$$TMEF = \frac{\textit{Tiempo total de funcionamiento}}{\textit{Número de fallas}}$$

TMPR: Tiempo medio para reparaciones

$$TMPR = \frac{\textit{Tiempo total de inactividad}}{\textit{Número de fallas}}$$

DM: Disponibilidad mecánica

Disponibilidad mecánica

$$= \frac{\textit{Horas Totales} - \textit{Horas de parada por mantenimiento}}{\textit{Horas Totales}}$$

C : Confiabilidad

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

4.7.3. Análisis de modos , efectos y criticidad de falla

Determinación de las funciones primarias y/o secundarias

En esta sección se describe las funciones principales de todo el subsistema del equipo, cabe resaltar que jerarquizamos solo el elemento crítico a evaluar que es para nosotros la perforación:

Tabla 10 – Criticidad de sistemas en el BOLTER 88 TIPO B

SUBSISTEMA	CODIGO	FUNCION PRINCIPAL
4.A SISTEMA DE VIGA (PERFORACIÓN)	2-A	Es el sistema encargado de guiar y dirigir la perforadora para poder realizar la perforación de la roca
4.B SISTEMA DE VIGA (EMPERNADO)	2-B	Es el sistema encargado de guiar y dirigir la perforadora para poder colocar los pernos para el sostenimiento
4.C INTERCAMBIADOR DE BARRAS	2-C	La principal función de la Intercambiador de Barras es el sistema encargado de direccionar y colocar los pernos a la perforadora de empernado.
4.D COLUMNA DE EMPERNADO	2-D	La principal función de la Columna de empernado es el sistema encargado del sostenimiento y posicionamiento; de las viga de perforación y viga de empernado.
4.E BRAZO BOOM	2-E	La principal función del Brazo Boom, es el sistema encargado de la rotación y posicionamiento, de la columna de empernado.
4.F LANZADOR DE CARTUCHOS	2-F	La principal función del lanzador de cartuchos es el sistema encargado de inyectar resina antes de colocar los pernos helicoidales.
4.G PERFORADORA	2-G	La principal función de la perforadora es realizar la percusión ,rotación y avance a una determinada presión de trabajo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11 . Fallas funcionales de los subsistemas

COD.	FALLA FUNCIONAL
2-A	Desalineado de la meza de aluminio, incapacidad para realizar la perforación.
2-B	Desalineado de la meza de aluminio, incapacidad para realizar la empernado.
2-C	Desajuste del carrusel, incapacidad para colocar los pernos en la viga de empernado.
2-D	Fuga interna del cilindro pivot, inadecuado posicionamiento de las vigas.
2-E	Fuga interna de los actuadores , inadecuado posicionamiento de la columna de empernado
2-F	Incapacidad para inyectar resina para el empernado de pernos helicoidales.
2-G	Incapacidad para realizar la percusión, rotación y avance con la presión adecuada

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12 . Modos de falla de los subsistemas

CODA42:H68	MODO DE FALLA
2-A	Desgaste prematuro de los Sprokets
	Desajuste de alojamientos de insertos de la meza.
	Rotura de placa deslizante de la perforadora.
	Rotura de pernos de centralizador.
	Rotura de cadena.
	Desgaste de las lanas.
	Recalentamiento del motor de avance
2-B	Desgaste prematuro de los Sprokets
	Desajuste de alojamientos de insertos de la meza.
	Rotura de placa deslizante de la perforadora.
	Rotura de pernos de centralizador.
	Rotura de cadena.
	Desgaste de las lanas.
	Recalentamiento motor de avance
2-C	Falla del sistema de rotación del intercambiador de barras.
	No extensión adecuada eje central y lateral.
	Desgaste en los guidores de pernos
2-D	Desajuste de los pernos de sincronización
	Desgaste en el Cilindro hidraulico de extensión de viga empernado

	Desgaste en el Cilindro hidraulico de extención de viga perforación	
	Desgaste en el Cilindro hidraulico de pivot doble vástago	
2-E	Desgaste del tubo macho	
	Desgaste del tubo hembra	
	Desgaste en los Cilindros hidráulicos gemelos del brazo	
	Fuga de aceite en el Cilindro hidráulico de levante	
	Pérdida de vida útil en la Unidad de rotación	
2-F	Bloqueo del inyector de resina	
	Desgaste de las mangueras	
2-G	Desgaste en los sellos de agua	
	Desgaste del shank	
	Desperfecto en el sistema hidráulico	
	Desgaste de diafragmas (falla del diafragma por regulación incorrecta)	
	Desgaste de componentes internos.	Desgaste de Down cylinder
		Desgaste de Hydraulic stop pistón
		Desgaste de stop shank
		Desgaste de straking pistón

Fuente: Elaboración propia

4.7.4. Efectos de modo de falla

Tabla 13 . Efectos de modos de falla del sistema de perforación

COD.	Falla COD.	EFFECTOS EN LOS MODOS DE FALLAS	CAUSA DE LOS MODOS DE FALLAS
2-A	2-A.1	Inmovilización de la perforadora	Oxidación prematura de sproket o mal diseño
	2-A.2	Sujeción imperfecta de la perforadora	Torque excesivo en el ajuste.
	2-A.3	Detención del deslizamiento de perforadora	Desgaste por uso o mantenimiento
	2-A.4	Salida de bocina de centralizador	Pernos socket mal ajustados o desgastados
	2-A.5	Inmovilización de la perforadora	Desgaste por uso o inadecuado mantenimiento
	2-A.6	No hay avance de la perforadora	Desgaste por uso o inadecuado mantenimiento
	2-A.7	Avance lento o nulo de perforadora	Fuga interna de aceite por desgaste.
2-B	2-B.1	Inmovilización de la perforadora	Oxidación prematura de sproket o mal diseño
	2-B.2	Sujeción imperfecta de la perforadora	Torque excesivo en el ajuste.
	2-B.3	Detención del deslizamiento de perforadora	Desgaste por uso o mantenimiento
	2-B.4	Salida de bocina de centralizador	Pernos socket mal ajustados o desgastados
	2-B.5	Inmovilización de la perforadora	Desgaste por uso o inadecuado mantenimiento
	2-B.6	No hay avance de la perforadora	Desgaste por uso o inadecuado mantenimiento
	2-B.7	Avance lento o nulo de perforadora	Fuga interna de aceite por desgaste.
2-C	2-C.1	Rotación de la perforadora nula o lenta	Fuga interna por desgaste.
	2-C.2	Raspado de los ejes impidiendo su normal función de expansión	Debido a la contaminación de nitrito y falta de mantenimiento.
	2-C.3	Des configuración del sistema de carrusel	Debido al cambio constante de mordazas

2-D	2-D.1	Des configuración del sistema de 3 tiempos	Vibraciones mecánicas
	2-D.2	Raspado de los ejes impidiendo su normal función de expansión	Debido a la contaminación de nitrito y inadecuado mantenimiento
	2-D.3	Raspado de los ejes impidiendo su normal función de expansión	Debido a la contaminación de nitrito y inadecuado mantenimiento
	2-D.4	Des configuración del sistema de 3 tiempos	falla de los pernos de sincronización
2-E	2-E.1	Desalineado del levante del brazo boom	Suciedad causada por el nitrito
	2-E.2	Desalineado del levante del brazo boom	Suciedad causada por el nitrito
	2-E.3	Falta de levante de los cilindros gemelos	Fuga interna por desgaste o falla de fabrica.
	2-E.4	Falta de levante de los cilindros de expansión	Fuga interna por desgaste o falla de fabrica.
	2-E.5	Rotación nula o lenta	Golpe de la unidad de rotación
2-F	2-F.1	Imposibilidad de inyectar resina	Vibraciones mecánicas
	2-F.2	Rotura de mangueras	Manguera mal dimensionamiento
2-G	2-G.1	Contaminacion de sistema hidráulico con agua	Diseño inadecuado de cabezal,Desgaste de los sellos de agua
	2-G.2	Imposibilidad de uso de la perforadora	Oxidación de shank
	2-G.3	Se reduce el tiempo de vida de la perforadora	Mal dimensionamiento de la manguera
	2-G.4	Pérdida de la amortiguación interna de la perforadora	Mala regulacion de la perforadora
	2-G.5	Pérdida de las funciones de la perforadora	Degaste por el tiempo de uso

Fuente : Elaboración Propia

Tabla 14. Subsistemas críticos a evaluar

Sistema	Subsistema	Funcion	Codigo
MOTOR	SISTEMA DE LUBRICACION	Lubricar las partes del motor.	1.A
	SISTEMA INYECCION	Inyectar combustible al motor.	1.B
Sistema hidraulico	POWER PACK	Proporcionar presion al sistema hidraulico.	1.C
SISTEMA AGUA-AIRE	BOMBA DE AGUA	Proporcionar un suministro de agua a alta presion al sistema.	1.D
	COMPRESOR DE AIRE	Proporcionar un suministro de aire a alta presion.	1.E
SISTEMA ELECTRICO	CABLE REEL	Es el encargado de conectar la unidad que suministra energia con el tablero de control.	1.F
	Caja electrica	Es el encargado de control.	

Fuente : Elaboración Propia

Tabla 15. Efectos de modos de falla de los subsistemas críticos

Codigo	Falla Funcional	Codigo	Modo de Falla	Efecto de falla	S	O	D	NPR
1.A	Parada del motor	1.A.1	Fundición del motor	Deterioro del motor	7	6	7	294
1.B	Parada del motor	1.B.1	Obstrucción de inyectores	Parada del motor	5	3	5	75
1.C	Pérdida de las líneas de presión	1.C.1	Aceite contaminado	Destrucción de los componentes	7	6	6	252
		1.C.2	Filtros obstruidos	Obstrucción del sistema de hidráulico	4	4	5	80
1.D	Pérdida de las líneas de presión de agua	1.D.1	Desgaste interno de sellos	Fuga de agua y contaminación del sistema hidráulico	4	5	7	140
		1.D.2	Falla del motor Hidráulico	No accionamiento de la bomba de agua	3	5	6	90
1.E	Pérdida de las líneas de presión de aire.	1.E.1	Desgaste de anillos de cilindros	Baja compresión de aire, no se puede lubricar la perforadora	4	6	7	168
		1.E.2	Quemado del bobinado	No gira motor y no se puede accionar el compresor	3	5	6	90
1.F	Parada del motor eléctrico.	1.F.1	Seccionamiento	Corto circuito	4	8	9	288
		1.F.2	Corto circuito del colector	No hay alimentación eléctrica al equipo	3	4	8	96
		1.F.3	Desgaste de contactores o relays	No arrancan los motores eléctricos	3	5	7	105

Fuente : Elaboración Propia

Tabla 16. Criticidad de los modos de falla (NPR) del sistema y de los subsistemas

COD.	Falla COD.	SEVERIDAD(S)	OCURRENCIA(O)	DETECCION(D)	NPR
2-A	2-A.1	7	8	4	224
	2-A.2	4	6	4	96
	2-A.3	4	4	3	48
	2-A.4	5	7	2	70
	2-A.5	7	7	4	196
	2-A.6	6	7	4	168
	2-A.7	8	3	4	96
2-B	2-B.1	7	8	4	224
	2-B.2	4	6	4	96
	2-B.3	4	4	3	48
	2-B.4	5	7	2	70
	2-B.5	7	7	4	196
	2-B.6	6	7	4	168
	2-B.7	8	3	4	96
2-C	2-C.1	3	5	5	75
	2-C.2	5	4	4	80
	2-C.3	6	6	5	180
2-D	2-D.1	6	8	4	192
	2-D.2	5	6	4	120
	2-D.3	5	6	4	120
	2-D.4	5	7	5	175
2-E	2-E.1	9	4	4	144
	2-E.2	9	4	4	144
	2-E.3	6	4	4	96
	2-E.4	7	4	3	84
	2-E.5	7	4	3	84
2-F	2-F.1	5	7	4	140
	2-F.2	5	5	3	75
2-G	2-G.1	8	7	4	224
	2-G.2	6	5	3	90
	2-G.3	8	5	6	240
	2-G.4	7	7	5	245
	2-G.5	7	6	3	126

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Escala NPR

ESCALA SEVERIDAD	
CRITERIO	PUNTAJE
Peligro sin aviso	10
Peligro con aviso	9
Muy alta(Tiempo muerto 8hrs,defecto 4hrs)	8
Alta(Tiempo muerto 4-8hrs,defecto 2-4hrs)	7
Moderada(Tiempo muerto 1-4hrs,defectos 1-2hrs)	6
Bajo(Tiempo muerto 0.5-1hr, defecto 0-1hr)	5
Muy bajo(Tiempo muerto 10-30 min.,0 defectos)	4
Menor(Tiempo muerto 0-10 min.,0 defectos)	3
Muy menor(0 Tiempo muerto,0 defectos)	2
Ninguno	1

ESCALA OCURRENCIA	
CRITERIO	PUNTAJE
1 en 1 hora, 1 en 90 ciclos	10
1 en 8 horas,1 en 900 ciclos	9
1 en 24 horas, 1 en 36 000 ciclos	8
1 en 80 horas , 1 en 90 000 ciclos	7
1 en 350 horas , 1 en 180 000 ciclos	6
1 en 1000 horas , 1 en 270 000 ciclos	5
1 en 2500 horas, 1 en 360 000 ciclos	4
1 en 5000 horas, 1 en 540 000 ciclos	3
1 en 10 000 horas , 1 en 900 000 ciclos	2
1 en 25 000 horas , 1 en > 900 000 ciclos	1

ESCALA DETECCIÓN	
CRITERIO	PUNTAJE
Absolutamente imposible	10
Muy remota	9
Remota	8
Muy baja	7
Baja	6
Moderada	5
Moderadamente alta	4
Alta	3
Casi certeza	2
Certeza	1

Fuente: The woodhouse partnership limited

4.7.5. Diagrama de decisiones

Tabla 18. Diagrama de decisiones

REFERENCIA				CONSECUENCIAS				ARBOL LÓGICO DE DECISIÓN					
								E1	E2	E3	E4	E5	
								SA1	SA2	SA3	SA3	SA4	
								P1	P2	P3	P4	P5	
F	FF	MF	NPR	NE	SA	P	M	M1	M2	M3	M4	M5	
1	1-A	1-A-1	294		SI		SI		X				
	1-B	1-B-1	75		SI				X				
	1-C	1-C-1	252		SI						X		
		1-C-2	80		SI						X		
	1-D	1-D-1	140		SI						X		
		1-D-2	90		SI						X		
	1-E	1-E-1	168		SI						X		
		1-E-2	90				SI					x	
	1-F	1-F-1	288				SI				X		
		1-F-2	96			SI					X		
		1-F-3	105				SI				X		

2	2-A	2-A.1	224		SI					X		
		2-A.2	32		SI				X			
		2-A.3	48		SI			X				
		2-A.4	40		SI	SI				X		
		2-A.5	168			SI				X		
		2-A.6	96			SI					X	
		2-A.7	84	SI		SI				X		
	2-B	2-B.1	224			SI					X	
		2-B.2	32			SI				X		
		2-B.3	48		SI			X				
		2-B.4	40		SI	SI				X		
		2-B.5	168			SI				X		
		2-B.6	96			SI					X	
		2-B.7	84	SI		SI				X		
	2-C	2-C.1	75		SI	SI				X		
		2-C.2	80			SI				X		
		2-C.3	180		SI	SI		X				
	2-D	2-D.1	192			SI				X		
		2-D.2	120		SI	SI				X		
		2-D.3	120		SI	SI				X		
		2-D.4	175		SI	SI		X				
	2-E	2-E.1	120		SI	SI		X				
		2-E.2	120		SI	SI				X		
		2-E.3	96		SI	SI				X		

		2-E.4	84		SI	SI			X			
		2-E.5	84			SI				X		
	2-F	2-F.1	120			SI				X		
		2-F.2	80	SI	SI				X			
	2-G	2-G.1	224			SI				X		
		2-G.2	90			SI				X		
		2-G.3	240			SI				X		
		2-G.4	175		SI	SI			X			
		2-G.5	60			SI				X		

Fuente: Elaboración propia

V: RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad

Tabla 19. Cartilla de mantenimiento

REFERENCIA				ESTRATEGIA		
				TIPO DE MANTTO	TAREA	FRECUENCIA (horas)
F	FF	MF	NPR			Accion de mantenimiento a ejecutar
1	1-A	1-A-1	294	Mantenimiento preventivo	1) verificación del nivel de lubricante. 2) Seguimiento del estado del aceite.	125HRS. ,DIARIO NIVEL
	1-B	1-B-1	75	Mantenimiento preventivo	1) Seguimiento al filtro Y cambio	500 Hrs
	1-C	1-C-1	252	Mantenimiento predictivo	1) Chequear el estado del aceite periodicamente.	Semanal al inicio después se acomodo al contexto
				Mantenimiento preventivo	1) Seguimiento al filtro.	
	1-D	1-D-1	140	Mantenimiento preventivo	1) Seguimiento de sellos de agua.	
				Mantenimiento Correctivo	2) Cambio de bomba Hidraulica.	Correctivo
	1-E	1-E-1	168	Mantenimiento preventivo	1) Seguimiento al compresor.	

		1-E-2	90	Mantenimiento Correctivo	1) Rebobinado de motor eléctrico	Correctivo
	1-F	1-F-1	288	Mantenimiento preventivo	1) Instructivo de un correcto uso del cable reel .	Seguir el programa del instructivo(intermitente)
		1-F-2	96	Mantenimiento preventivo	1) Instructivo de un correcto uso del cable reel .	Seguir el programa del instructivo(intermitente)
		1-F-3	105	Mantenimiento preventivo	1) Instructivo de un correcto lavado .	Correctivo
2	2-A	2-A.1	224	Mantenimiento Correctivo	1) Cambio de Sproket.	18 hrs
		2-A.2	32	Mantenimiento preventivo	1) Inspeccionar la meza antes y después de cada frente.	Rutinario
		2-A.3	48	Mantenimiento preventivo	1) Inspeccionar la meza antes y después de cada frente.	Rutinario
		2-A.4	40	Mantenimiento preventivo	1) Realiza un limpiado y engrase.	Verificación Rutinaria
		2-A.5	168	Mantenimiento preventivo	1) verificar el correcto ajustar antes de cada frente. 2) Realiza un limpiado y engrase.	Rutinario
		2-A.6	96	Mantenimiento preventivo	1) Realiza un limpiado y engrase.	Inspección rutinaria
		2-A.7	84	Mantenimiento Correctivo	2) Cambio de bomba Hidraulica.	Correctivo
	2-B	2-B.1	224	Mantenimiento Correctivo	1) Cambio de Sproket.	18 hrs
		2-B.2	32	Mantenimiento preventivo	1) Inspeccionar la meza antes y después de cada frente.	Rutinario
		2-B.3	48	Mantenimiento preventivo	1) Inspeccionar la meza antes y después de cada frente.	Rutinario
		2-B.4	40	Mantenimiento preventivo	1) Realiza un limpiado y engrase.	Verificación Rutinaria
		2-B.5	168	Mantenimiento preventivo	1) verificar el correcto ajustar antes de cada frente. 2) Realiza un limpiado y engrase.	Rutinario
2-B.6		96	Mantenimiento preventivo	1) Realiza un limpiado y engrase.	Inspección rutinaria	

	2-B.7	84	Mantenimiento Correctivo	2) Cambio de bomba Hidraulica.	Correctivo
2-C	2-C.1	75	Mantenimiento Correctivo	1) Cambio de bomba y engrase.	Intermitente
	2-C.2	80	Mantenimiento preventivo	1) Realiza limpieza, engrase antes y después de los frentes de trabajo.	
	2-C.3	180	Mantenimiento preventivo	1) regular antes de cada frente de trabajo los pernos de sincronización.	Rutinario
2-D	2-D.1	192	Mantenimiento preventivo	1) regular antes de cada frente de trabajo los pernos de sincronización.	Rutinario
	2-D.2	120	Mantenimiento preventivo	1) Realiza limpieza, engrase antes y después de los frentes de trabajo.	Inspección
	2-D.3	120	Mantenimiento preventivo	1) Realiza limpieza, engrase antes y después de los frentes de trabajo.	Inspección
	2-D.4	175	Mantenimiento preventivo	1) regular antes de cada frente de trabajo los pernos de sincronización.	Inspección
2-E	2-E.1	120	Mantenimiento preventivo	1) Realiza limpieza, engrase antes y después de los frentes de trabajo.	10 hrs
	2-E.2	120	Mantenimiento preventivo	1) Realiza limpieza, engrase antes y después de los frentes de trabajo.	10 hrs
	2-E.3	96	Mantenimiento preventivo	1) Chequear el estado del levante y funciones periodicamente.	1000 hrs
	2-E.4	84	Mantenimiento preventivo	1) Chequear el estado del levante y funciones periodicamente.	1000 hrs
	2-E.5	84	Mantenimiento preventivo	1) Desatar el área de trabajo antes que la jumbo opere. 2) Chequear el estado del levante y funciones periodicamente.	10 hrs

2-F	2-F.1	120	Mantenimiento preventivo	1) Realiza limpieza, engrase antes y después de los frentes de trabajo.	SEGÚN SATURACIÓN
	2-F.2	80	Mantenimiento preventivo	1) Inspeccionar las mangueras periódicamente.	RUTINARIO
2-G	2-G.1	224	Mantenimiento Correctivo	1) Cambio de los sellos de agua.	SEGÚN SATURACIÓN
	2-G.2	90	Mantenimiento preventivo	1) Verificar el estado del shank adapter	10 hrs
	2-G.3	240	Mantenimiento predictivo	1) Chequear el estado del aceite periódicamente.	
	2-G.4	175	Mantenimiento preventivo	1) Verificar que las presiones sean las adecuadas antes de cada frente de trabajo.	RUTINARIO
	2-G.5	60	Mantenimiento preventivo	1) Inspección de partes y mantenimiento general	400 hrs

Fuente: Elaboración propia

5.2 Resultados estadísticos

Confiabilidad: Es la capacidad de un activo o componente para realizar una función requerida bajo condiciones dadas para un intervalo de tiempo dado.

La confiabilidad operacional C_o

$$C_o = \text{MTBF}/(\text{MTBF}+\text{MTTR})$$

Disponibilidad: Es la capacidad de un activo o componente para estar en un estado (arriba) para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo o durante un determinado intervalo de tiempo, asumiendo que los recursos externos necesarios se han proporcionado

La disponibilidad Operacional D_o

$$D_o = \text{MUT}/(\text{MUT}+\text{MTTR})$$

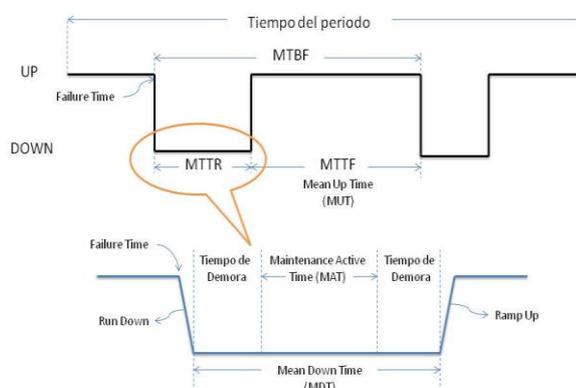
Donde:

MTBF (Mean Time Between Failures): Es el Tiempo promedio entre Fallas

MTTR (Mean Time To Repair): Es el Tiempo Promedio para Reparar

MUT (Mean Up Time): es Tiempo Promedio en Operación (arriba) o Tiempo promedio para fallar (MTTF)

Fig.34. Parámetros de mantenimiento.



Fuente: Estándar ISO/DIS 14224 – 200

TABLA 20.
VALORES DE CF-01

CF-01													
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	ANTES
CF-01	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	8.00	104.00	45.00	13.00	32.00	12 horas	77.59%	71.11%	JULIO
CF-01	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	7.00	105.00	50.00	15.00	35.00	12 horas	76.92%	70.00%	AGOSTO
CF-01	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	6.00	96.00	55.00	16.00	39.00	12 horas	77.46%	70.91%	SETIEMBRE
CF-01	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	6.00	102.00	58.00	17.00	41.00	12 horas	77.33%	70.69%	OCTUBRE
CF-01	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	5.00	90.00	62.00	18.00	44.00	12 horas	77.50%	70.97%	NOVIEMBRE
CF-01	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	5.00	95.00	65.00	19.00	46.00	12 horas	77.38%	70.77%	DICIEMBRE
PROMEDIOS ANUALES 2018 CF-01					6.17	98.67	55.83	16.33	39.50	12 horas	77.36%	70.74%	
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	DESPUES
CF-01	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	6.00	78.00	60.00	13.00	47.00	12 horas	82.19%	78.33%	ENERO
CF-01	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	5.00	65.00	62.00	13.00	49.00	12 horas	82.67%	79.03%	FEBRERO

CF-01	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	5.00	70.00	65.00	14.00	51.00	12 horas	82.28%	78.46%	MARZO
CF-01	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	5.00	70.00	68.00	14.00	54.00	12 horas	82.93%	79.41%	ABRIL
CF-01	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	5.00	75.00	72.00	15.00	57.00	12 horas	82.76%	79.17%	MAYO
CF-01	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	4.00	64.00	75.00	16.00	59.00	12 horas	82.42%	78.67%	JUNIO
PROMEDIOS ANUALES 2019 CF-01					5.00	70.33	67.00	14.17	52.83	12 horas	82.54%	78.85%	

**TABLA 21.
VALORES DE CF-02**

CF-02													
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	ANTES
CF-02	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	5.00	65.00	45.00	13.00	32.00	8 horas	77.59%	71.11%	JULIO
CF-02	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	5.00	70.00	48.00	14.00	34.00	8 horas	77.42%	70.83%	AGOSTO
CF-02	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	60.00	52.00	15.00	37.00	8 horas	77.61%	71.15%	SETIEMBRE
CF-02	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	64.00	55.00	16.00	39.00	8 horas	77.46%	70.91%	OCTUBRE
CF-02	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	68.00	58.00	17.00	41.00	8 horas	77.33%	70.69%	NOVIEMBRE
CF-02	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	72.00	60.00	18.00	42.00	8 horas	76.92%	70.00%	DICIEMBRE
PROMEDIOS ANUALES 2018 CF-02					4.33	66.50	53.00	15.50	37.50	8 horas	77.39%	70.78%	
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	DESPUES
CF-02	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	48.00	55.00	12.00	43.00	8 horas	82.09%	78.18%	ENERO
CF-02	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	48.00	57.00	12.00	45.00	8 horas	82.61%	78.95%	FEBRERO

CF-02	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	48.00	58.00	12.00	46.00	8 horas	82.86%	79.31%	MARZO
CF-02	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	52.00	60.00	13.00	47.00	8 horas	82.19%	78.33%	ABRIL
CF-02	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	3.00	39.00	62.00	13.00	49.00	8 horas	82.67%	79.03%	MAYO
CF-02	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	3.00	42.00	65.00	14.00	51.00	8 horas	82.28%	78.46%	JUNIO
PROMEDIOS ANUALES 2019 CF-02					3.67	46.17	59.50	12.67	46.83	8 horas	82.45%	78.71%	

TABLA 22.
VALORES DE CF-03

CF-03													
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	ANTES
CF-03	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	7.00	175.00	50.00	25.00	25.00	12 horas	66.67%	50.00%	JULIO
CF-03	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	7.00	175.00	51.00	25.00	26.00	12 horas	67.11%	50.98%	AGOSTO
CF-03	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	6.00	156.00	52.00	26.00	26.00	12 horas	66.67%	50.00%	SETIEMBRE
CF-03	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	6.00	156.00	53.00	26.00	27.00	12 horas	67.09%	50.94%	OCTUBRE
CF-03	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	6.00	162.00	54.00	27.00	27.00	12 horas	66.67%	50.00%	NOVIEMBRE
CF-03	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	6.00	162.00	55.00	27.00	28.00	12 horas	67.07%	50.91%	DICIEMBRE
PROMEDIOS ANUALES 2018 CF-03					6.33	164.33	52.50	26.00	26.50	12 horas	66.88%	50.47%	
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	DESPUES
CF-03	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	4.00	68.00	80.00	17.00	63.00	12 horas	82.47%	78.75%	ENERO
CF-03	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	4.00	64.00	75.00	16.00	59.00	12 horas	82.42%	78.67%	FEBRERO

CF-03	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	4.00	68.00	80.00	17.00	63.00	12 horas	82.47%	78.75%	MARZO
CF-03	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	4.00	72.00	82.00	18.00	64.00	12 horas	82.00%	78.05%	ABRIL
CF-03	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	4.00	68.00	78.00	17.00	61.00	12 horas	82.11%	78.21%	MAYO
CF-03	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	4.00	72.00	85.00	18.00	67.00	12 horas	82.52%	78.82%	JUNIO
PROMEDIOS ANUALES 2019 CF-03					4.00	68.67	80.00	17.17	62.83	12 horas	82.33%	78.54%	

**TABLA 23
VALORES DE CF-04**

CF-04													
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	ANTES
CF-04	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.00	170.00	85.00	34.00	51.00	16 horas	71.43%	60.00%	JULIO
CF-04	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	6.00	192.00	80.00	32.00	48.00	16 horas	71.43%	60.00%	AGOSTO
CF-04	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	6.00	168.00	70.00	28.00	42.00	16 horas	71.43%	60.00%	SETIEMBRE
CF-04	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	6.00	192.00	80.00	32.00	48.00	16 horas	71.43%	60.00%	OCTUBRE
CF-04	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.00	180.00	90.00	36.00	54.00	16 horas	71.43%	60.00%	NOVIEMBRE
CF-04	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.00	170.00	85.00	34.00	51.00	16 horas	71.43%	60.00%	DICIEMBRE
PROMEDIOS ANUALES 2018 CF-04					5.50	178.67	81.67	32.67	49.00	16 horas	71.43%	60.00%	
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	DESPUES
CF-04	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	6.00	102.00	80.00	17.00	63.00	16 horas	82.47%	78.75%	ENERO
CF-04	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	6.00	96.00	75.00	16.00	59.00	16 horas	82.42%	78.67%	FEBRERO

CF-04	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	6.00	102.00	80.00	17.00	63.00	16 horas	82.47%	78.75%	MARZO
CF-04	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.00	90.00	82.00	18.00	64.00	16 horas	82.00%	78.05%	ABRIL
CF-04	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	6.00	102.00	78.00	17.00	61.00	16 horas	82.11%	78.21%	MAYO
CF-04	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.00	90.00	85.00	18.00	67.00	16 horas	82.52%	78.82%	JUNIO
PROMEDIOS ANUALES 2019 CF-04					5.67	97.00	80.00	17.17	62.83	16 horas	82.33%	78.54%	

**TABLA 24
VALORES DE CF-05**

CF-05													
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	ANTES
CF-05	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	5.00	60.00	42.00	12.00	30.00	8 horas	77.78%	71.43%	JULIO
CF-05	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	5.00	65.00	44.00	13.00	31.00	8 horas	77.19%	70.45%	AGOSTO
CF-05	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	5.00	65.00	45.00	13.00	32.00	8 horas	77.59%	71.11%	SETIEMBRE
CF-05	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	60.00	50.00	15.00	35.00	8 horas	76.92%	70.00%	OCTUBRE
CF-05	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	64.00	55.00	16.00	39.00	8 horas	77.46%	70.91%	NOVIEMBRE
CF-05	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	64.00	54.00	16.00	38.00	8 horas	77.14%	70.37%	DICIEMBRE
PROMEDIOS ANUALES 2018 CF-05					4.50	63.00	48.33	14.17	34.17	16 horas	77.35%	70.71%	
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	DESPUES
CF-05	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	44.00	50.00	11.00	39.00	8 horas	81.97%	78.00%	ENERO

CF-05	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	48.00	55.00	12.00	43.00	8 horas	82.09%	78.18%	FEBRERO
CF-05	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	48.00	56.00	12.00	44.00	8 horas	82.35%	78.57%	MARZO
CF-05	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	48.00	57.00	12.00	45.00	8 horas	82.61%	78.95%	ABRIL
CF-05	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	52.00	60.00	13.00	47.00	8 horas	82.19%	78.33%	MAYO
CF-05	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	3.00	39.00	62.00	13.00	49.00	8 horas	82.67%	79.03%	JUNIO
PROMEDIOS ANUALES 2019 CF-05					3.83	46.50	56.67	12.17	44.50	8 horas	82.31%	78.51%	

TABLA 25
VALORES DE CF-06

CF-06													
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	ANTES
CF-06	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	6.00	126.00	70.00	21.00	49.00	16 horas	76.92%	70.00%	JULIO
CF-06	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	6.00	132.00	75.00	22.00	53.00	16 horas	77.32%	70.67%	AGOSTO
CF-06	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	6.00	138.00	78.00	23.00	55.00	16 horas	77.23%	70.51%	SETIEMBRE
CF-06	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	6.00	138.00	79.00	23.00	56.00	16 horas	77.45%	70.89%	OCTUBRE
CF-06	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.00	120.00	82.00	24.00	58.00	16 horas	77.36%	70.73%	NOVIEMBRE
CF-06	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.00	125.00	85.00	25.00	60.00	16 horas	77.27%	70.59%	DICIEMBRE
PROMEDIOS ANUALES 2018 CF-06					5.67	129.83	78.17	23.00	55.17	16 horas	77.26%	70.56%	
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	DESPUES
CF-06	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	6.00	90.00	70.00	15.00	55.00	16 horas	82.35%	78.57%	ENERO
CF-06	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	6.00	90.00	72.00	15.00	57.00	16 horas	82.76%	79.17%	FEBRERO

CF-06	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	8.00	104.00	60.00	13.00	47.00	16 horas	82.19%	78.33%	MARZO
CF-06	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	6.00	102.00	80.00	17.00	63.00	16 horas	82.47%	78.75%	ABRIL
CF-06	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.00	90.00	85.00	18.00	67.00	16 horas	82.52%	78.82%	MAYO
CF-06	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.00	95.00	90.00	19.00	71.00	16 horas	82.57%	78.89%	JUNIO
PROMEDIOS ANUALES 2019 CF-06					6.00	95.17	76.17	16.17	60.00	16 horas	82.48%	78.76%	

**TABLA 26
VALORES DE CF-07**

CF-07													
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	ANTES
CF-07	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	6.00	90.00	52.00	15.00	37.00	12 horas	77.61%	71.15%	JULIO
CF-07	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	6.00	96.00	55.00	16.00	39.00	12 horas	77.46%	70.91%	AGOSTO
CF-07	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	7.00	98.00	48.00	14.00	34.00	12 horas	77.42%	70.83%	SETIEMBRE
CF-07	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	7.00	98.00	48.00	14.00	34.00	12 horas	77.42%	70.83%	OCTUBRE
CF-07	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	8.00	104.00	45.00	13.00	32.00	12 horas	77.59%	71.11%	NOVIEMBR E
CF-07	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	8.00	104.00	44.00	13.00	31.00	12 horas	77.19%	70.45%	DICIEMBRE
PROMEDIOS ANUALES 2018 CF-07					7.00	98.33	48.67	14.17	34.50	12 horas	77.45%	70.88%	
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	DESPUES
CF-07	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	6.00	78.00	60.00	13.00	47.00	12 horas	82.19%	78.33%	ENERO

CF-07	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	6.00	72.00	58.00	12.00	46.00	12 horas	82.86%	79.31%	FEBRERO
CF-07	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	5.00	65.00	62.00	13.00	49.00	12 horas	82.67%	79.03%	MARZO
CF-07	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	6.00	72.00	59.00	12.00	47.00	12 horas	83.10%	79.66%	ABRIL
CF-07	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	6.00	72.00	55.00	12.00	43.00	12 horas	82.09%	78.18%	MAYO
CF-07	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	6.00	72.00	58.00	12.00	46.00	12 horas	82.86%	79.31%	JUNIO
PROMEDIOS ANUALES 2019 CF-07					5.83	71.83	58.67	12.33	46.33	12 horas	82.63%	78.97%	

TABLA 27
VALORES DE CF-08

CF-08													
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	ANTES
CF-08	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	5.00	60.00	43.00	12.00	31.00	8 horas	78.18%	72.09%	JULIO
CF-08	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	5.00	65.00	44.00	13.00	31.00	8 horas	77.19%	70.45%	AGOSTO
CF-08	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	5.00	65.00	45.00	13.00	32.00	8 horas	77.59%	71.11%	SETIEMBRE
CF-08	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	6.00	72.00	40.00	12.00	28.00	8 horas	76.92%	70.00%	OCTUBRE
CF-08	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	6.00	66.00	39.00	11.00	28.00	8 horas	78.00%	71.79%	NOVIEMBRE
CF-08	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	5.00	60.00	42.00	12.00	30.00	8 horas	77.78%	71.43%	DICIEMBRE
PROMEDIOS ANUALES 2018 CF-08					5.33	64.67	42.17	12.17	30.00	8 horas	77.61%	71.15%	
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	DESPUES
CF-08	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	48.00	55.00	12.00	43.00	8 horas	82.09%	78.18%	ENERO
CF-08	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	44.00	52.00	11.00	41.00	8 horas	82.54%	78.85%	FEBRERO

CF-08	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	44.00	50.00	11.00	39.00	8 horas	81.97%	78.00%	MARZO
CF-08	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	48.00	56.00	12.00	44.00	8 horas	82.35%	78.57%	ABRIL
CF-08	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	44.00	50.00	11.00	39.00	8 horas	81.97%	78.00%	MAYO
CF-08	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	5.00	50.00	48.00	10.00	38.00	8 horas	82.76%	79.17%	JUNIO
PROMEDIOS ANUALES 2019 CF-08					4.17	46.33	51.83	11.17	40.67	8 horas	82.28%	78.46%	

TABLA 28
VALORES DE CF-09

CF-09													
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	ANTES
CF-09	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	64.00	54.00	16.00	38.00	12 horas	77.14%	70.37%	JULIO
CF-09	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	64.00	55.00	16.00	39.00	12 horas	77.46%	70.91%	AGOSTO
CF-09	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	60.00	50.00	15.00	35.00	12 horas	76.92%	70.00%	SETIEMBRE
CF-09	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	5.00	70.00	48.00	14.00	34.00	12 horas	77.42%	70.83%	OCTUBRE
CF-09	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	56.00	49.00	14.00	35.00	12 horas	77.78%	71.43%	NOVIEMBRE
CF-09	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	64.00	56.00	16.00	40.00	12 horas	77.78%	71.43%	DICIEMBRE
PROMEDIOS ANUALES 2018 CF-09					4.17	63.00	52.00	15.17	36.83	12 horas	77.42%	70.83%	
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	DESPUES
CF-09	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	48.00	55.00	12.00	43.00	12 horas	82.09%	78.18%	ENERO
CF-09	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	44.00	52.00	11.00	41.00	12 horas	82.54%	78.85%	FEBRERO

CF-09	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	44.00	50.00	11.00	39.00	12 horas	81.97%	78.00%	MARZO
CF-09	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	48.00	56.00	12.00	44.00	12 horas	82.35%	78.57%	ABRIL
CF-09	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	44.00	50.00	11.00	39.00	12 horas	81.97%	78.00%	MAYO
CF-09	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	5.00	50.00	48.00	10.00	38.00	12 horas	82.76%	79.17%	JUNIO
PROMEDIOS ANUALES 2019 CF-09					4.17	46.33	51.83	11.17	40.67	12 horas	82.28%	78.46%	

TABLA 29
VOALORES DE CF-10

CF-10													
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	ANTES
CF-10	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	6.00	144.00	80.00	24.00	56.00	16 horas	76.92%	70.00%	JULIO
CF-10	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.00	140.00	95.00	28.00	67.00	16 horas	77.24%	70.53%	AGOSTO
CF-10	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	4.00	120.00	100.00	30.00	70.00	16 horas	76.92%	70.00%	SETIEMBRE
CF-10	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	4.00	144.00	120.00	36.00	84.00	16 horas	76.92%	70.00%	OCTUBRE
CF-10	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.00	140.00	95.00	28.00	67.00	16 horas	77.24%	70.53%	NOVIEMBRE
CF-10	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	6.00	144.00	80.00	24.00	56.00	16 horas	76.92%	70.00%	DICIEMBRE
PROMEDIOS ANUALES 2018 CF-10					5.00	138.67	95.00	28.33	66.67	16 horas	77.03%	70.18%	
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	DESPUES
CF-10	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.00	95.00	95.00	19.00	76.00	16 horas	83.33%	80.00%	ENERO

CF-10	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	4.00	80.00	100.00	20.00	80.00	16 horas	83.33%	80.00%	FEBRERO
CF-10	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.00	85.00	85.00	17.00	68.00	16 horas	83.33%	80.00%	MARZO
CF-10	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.00	95.00	95.00	19.00	76.00	16 horas	83.33%	80.00%	ABRIL
CF-10	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.00	95.00	96.00	19.00	77.00	16 horas	83.48%	80.21%	MAYO
CF-10	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	4.00	80.00	100.00	20.00	80.00	16 horas	83.33%	80.00%	JUNIO
PROMEDIOS ANUALES 2019 CF-10					4.67	88.33	95.17	19.00	76.17	16 horas	83.36%	80.03%	

TABLA 30
VOALORES DE CF-11

CF-11													
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	ANTES
CF-11	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	64.00	55.00	16.00	39.00	8 horas	77.46%	70.91%	JULIO
CF-11	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	60.00	50.00	15.00	35.00	8 horas	76.92%	70.00%	AGOSTO
CF-11	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	5.00	65.00	45.00	13.00	32.00	8 horas	77.59%	71.11%	SETIEMBRE
CF-11	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	5.00	70.00	48.00	14.00	34.00	8 horas	77.42%	70.83%	OCTUBRE
CF-11	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	64.00	55.00	16.00	39.00	8 horas	77.46%	70.91%	NOVIEMBRE
CF-11	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	5.00	60.00	43.00	12.00	31.00	8 horas	78.18%	72.09%	DICIEMBRE
PROMEDIOS ANUALES 2018 CF-11					4.50	63.83	49.33	14.33	35.00	8 horas	77.51%	70.98%	
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	DESPUES
CF-11	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	40.00	53.00	10.00	43.00	8 horas	84.13%	81.13%	ENERO
CF-11	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	44.00	55.00	11.00	44.00	8 horas	83.33%	80.00%	FEBRERO

CF-11	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.00	40.00	50.00	10.00	40.00	8 horas	83.33%	80.00%	MARZO
CF-11	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	5.00	45.00	45.00	9.00	36.00	8 horas	83.33%	80.00%	ABRIL
CF-11	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	6.00	48.00	40.00	8.00	32.00	8 horas	83.33%	80.00%	MAYO
CF-11	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	5.00	40.00	43.00	8.00	35.00	8 horas	84.31%	81.40%	JUNIO
PROMEDIOS ANUALES 2019 CF-11					4.67	42.83	47.67	9.33	38.33	8 horas	83.63%	80.42%	

TABLA 31
VOALORES DE CF-12

CF-12													
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	ANTES
CF-12	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	6.00	126.00	70.00	21.00	49.00	16 horas	76.92%	70.00%	JULIO
CF-12	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	7.00	133.00	65.00	19.00	46.00	16 horas	77.38%	70.77%	AGOSTO
CF-12	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	8.00	128.00	55.00	16.00	39.00	16 horas	77.46%	70.91%	SETIEMBRE
CF-12	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	6.00	126.00	70.00	21.00	49.00	16 horas	76.92%	70.00%	OCTUBRE
CF-12	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	8.00	128.00	55.00	16.00	39.00	16 horas	77.46%	70.91%	NOVIEMBRE
CF-12	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	7.00	133.00	65.00	19.00	46.00	16 horas	77.38%	70.77%	DICIEMBRE
PROMEDIOS ANUALES 2018 CF-12					7.00	129.00	63.33	18.67	44.67	16 horas	77.26%	70.56%	
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co	DESPUES
CF-12	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	6.00	96.00	80.00	16.00	64.00	16 horas	83.33%	80.00%	ENERO
CF-12	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.00	85.00	85.00	17.00	68.00	16 horas	83.33%	80.00%	FEBRERO

CF-12	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.00	90.00	90.00	18.00	72.00	16 horas	83.33%	80.00%	MARZO
CF-12	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.00	85.00	86.00	17.00	69.00	16 horas	83.50%	80.23%	ABRIL
CF-12	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.00	90.00	90.00	18.00	72.00	16 horas	83.33%	80.00%	MAYO
CF-12	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.00	85.00	89.00	17.00	72.00	16 horas	83.96%	80.90%	JUNIO
PROMEDIOS ANUALES 2019 CF-12					5.17	88.50	86.67	17.17	69.50	16 horas	83.47%	80.19%	

Luego de haber trabajado por 6 meses en la elaboración de un plan de mantenimiento mediante la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad, se exponen los siguientes resultados:

1. Se elaboró el plan de mantenimiento en base al estudio de criticidad, que dio como resultado: 6 sub-sistemas y 1 sistema de alta criticidad.
2. Se tiene 6 sub-sistemas y 1 sistema con alta criticidad, a los cuales se les aplicó la metodología RCM para planificar las actividades de mantenimiento.
3. Se determinaron 13 fallas funcionales, 44 modos y efectos de fallas.
4. Se determinó por lo tanto 44 actividades de mantenimiento, de las cuales 2 son predictivas, 34 preventivas y 8 correctivas.

VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contratación y demostración de la hipótesis con los resultados

Contratación con la hipótesis general:

Con la metodología RCM se elaboró las actividades de mantenimiento necesarias y adecuadas, lo que reduce las paradas innecesarias, aumentando la disponibilidad del equipo en 6.68% y la confiabilidad en 10.88%.

TABLA 32
MONITOREO ANTES DE APLICAR EL ESTUDIO

ANTES											PROMEDIOS ANTES	
ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	Do	Co
CF-01	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	6.17	98.67	55.83	16.33	39.50	12 horas	77.36%	70.74%
CF-02	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.33	66.50	53.00	15.50	37.50	8 horas	77.39%	70.78%
CF-03	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	6.33	164.33	52.50	26.00	26.50	12 horas	66.88%	50.47%
CF-04	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.50	178.67	81.67	32.67	49.00	16 horas	71.43%	60.00%
CF-05	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.50	63.00	48.33	14.17	34.17	16 horas	77.35%	70.71%
CF-06	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.67	129.83	78.17	23.00	55.17	16 horas	77.26%	70.56%

CF-07	Bolter 88	resemín	VOLCAN	360.00	7.00	98.33	48.67	14.17	34.50	12 horas	77.45%	70.88%
CF-08	Bolter 88	resemín	VOLCAN	240.00	5.33	64.67	42.17	12.17	30.00	8 horas	77.61%	71.15%
CF-09	Bolter 88	resemín	VOLCAN	240.00	4.17	63.00	52.00	15.17	36.83	12 horas	77.42%	70.83%
CF-10	Bolter 88	resemín	VOLCAN	480.00	5.00	138.67	95.00	28.33	66.67	16 horas	77.03%	70.18%
CF-11	Bolter 88	resemín	VOLCAN	240.00	4.50	63.83	49.33	14.33	35.00	8 horas	77.51%	70.98%
CF-12	Bolter 88	resemín	VOLCAN	480.00	7.00	129.00	63.33	18.67	44.67	16 horas	77.26%	70.56%

TABLA 33
MONITOREO DESPUES DE APLICAR EL ESTUDIO

ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Hop	N° FALLAS	H.R	TMEF	TMPR	MUT	Horas/d	PROMEDIOS Despues	
											Do	Co
CF-01	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	5.00	70.33	67.00	14.17	52.83	12 horas	82.54%	78.85%
CF-02	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	3.67	46.17	59.50	12.67	46.83	8 horas	82.45%	78.71%
CF-03	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	4.00	68.67	80.00	17.17	62.83	12 horas	82.33%	78.54%
CF-04	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.67	97.00	80.00	17.17	62.83	16 horas	82.33%	78.54%
CF-05	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	3.83	46.50	56.67	12.17	44.50	8 horas	82.31%	78.51%
CF-06	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	6.00	95.17	76.17	16.17	60.00	16 horas	82.48%	78.76%
CF-07	Bolter 88	resemin	VOLCAN	360.00	5.83	71.83	58.67	12.33	46.33	12 horas	82.63%	78.97%
CF-08	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.17	46.33	51.83	11.17	40.67	8 horas	82.28%	78.46%
CF-09	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.17	46.33	51.83	11.17	40.67	12 horas	82.28%	78.46%
CF-10	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	4.67	88.33	95.17	19.00	76.17	16 horas	83.36%	80.03%
CF-11	Bolter 88	resemin	VOLCAN	240.00	4.67	42.83	47.67	9.33	38.33	8 horas	83.63%	80.42%
CF-12	Bolter 88	resemin	VOLCAN	480.00	5.17	88.50	86.67	17.17	69.50	16 horas	83.47%	80.19%

TABLA 34
COMPARATIVA DEL ANTES Y DESPUES DE APLICAR EL ESTUDIO

ID - Equipo	Modelo	Marca	UNIDAD	Disponibilidad O. (Do) INICIAL	Confiabilidad O. (Do) INICIAL	Disponibilidad O. (Do) FINAL	Confiabilidad O. (Do) FINAL	Do	Co
CF-01	Bolter 88	resemin	VOLCAN	77.36%	70.74%	0.83	0.79	0.05	0.08
CF-02	Bolter 88	resemin	VOLCAN	77.39%	70.78%	0.82	0.79	0.05	0.08
CF-03	Bolter 88	resemin	VOLCAN	66.88%	50.47%	0.82	0.79	0.15	0.28
CF-04	Bolter 88	resemin	VOLCAN	71.43%	60.00%	0.82	0.79	0.11	0.19
CF-05	Bolter 88	resemin	VOLCAN	77.35%	70.71%	0.82	0.79	0.05	0.08
CF-06	Bolter 88	resemin	VOLCAN	77.26%	70.56%	0.82	0.79	0.05	0.08
CF-07	Bolter 88	resemin	VOLCAN	77.45%	70.88%	0.83	0.79	0.05	0.08
CF-08	Bolter 88	resemin	VOLCAN	77.61%	71.15%	0.82	0.78	0.05	0.07
CF-09	Bolter 88	resemin	VOLCAN	77.42%	70.83%	0.82	0.78	0.05	0.08
CF-10	Bolter 88	resemin	VOLCAN	77.03%	70.18%	0.83	0.80	0.06	0.10
CF-11	Bolter 88	resemin	VOLCAN	77.51%	70.98%	0.84	0.80	0.06	0.09
CF-12	Bolter 88	resemin	VOLCAN	77.26%	70.56%	0.83	0.80	0.06	0.10
PROMEDIO								6.68%	10.88%

Contrastación con las hipótesis específicas:

1. Con el análisis de criticidad se determinaron los equipos con mayor riesgo de falla, como se puede apreciar en el cuadro de criticidad de equipos (ver tabla n °18).
2. Con la identificación de los modos de falla se determine los efectos de cada falla (44 modos y efectos de falla), se observan en el cuadro de efectos de modo de falla (ver tabla n°17).
3. Con las actividades de mantenimiento preventivas y predictivas, se logrará disminuir las fallas imprevistas (44 fallas), estas actividades se encuentran el la tabla del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (ver tabla n° 21).

6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares

Se contrasta con los tres estudios mencionados en la parte de antecedentes del estudio en la tesis. Entonces decimos:

1. Se ha tenido estudios de plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos pesados como referente nacional, donde se utilizan herramientas y metodologías de clase mundial como el RCM.
2. Se tiene como referencia nacional el estudio de incrementos de la disponibilidad de equipos mineros subterráneos.
3. Se tiene como referencia internacional el estudio de indicadores de clase mundial utilizados como herramienta de control de mantenimiento.

VII: CONCLUSIONES

- 1) Se implementó un plan de mantenimiento para la máquina BOLTER 88 usando la metodología del RCM, que nos permitió seleccionar las actividades de mantenimiento adecuadas incrementando la disponibilidad mecánica en 6.68% y la confiabilidad en 10,88%.
- 2) Se realizó un análisis de criticidad, obteniendo como resultado los siguientes sub-sistemas críticos: sistema de lubricación diesel, sistema de combustible (inyección) diesel, sistema de admisión diesel, power pack, bomba de agua y compresor de aire y un 1 sistema crítico: sistema de perforación.
- 3) Se determinaron 13 fallas funcionales, 44 modos y efectos de fallas.(Ver tablas 11,12,13 y 15),siendo las más críticas : las fallas del subsistema de inyección diesel , el subsistema hidráulico power pack y el compresor de aire.
- 4) Se determinó 44 actividades de mantenimiento, de las cuales 2 son predictivas ,34 preventivas y 8 correctivas (Ver tabla 19).

VIII: RECOMENDACIONES

- 1) Considerando el plan de mantenimiento que se realizó, la empresa fabricante debería de tenerlo como base para elaborar el manual de mantenimiento de sus equipos del mismo modelo; asimismo, se recomienda que este plan se actualice en forma periódica cada 2 años, debido a la nueva tecnología usada en el diseño de la máquina año tras año.
- 2) Los indicadores de mantenimiento deben ser monitoreados constantemente para controlar el eficiente rendimiento del equipo modelo BOLTER 88, y así evitar paros imprevistos que afecten la productividad.
- 3) Las capacitaciones al personal de operación del equipo deben ser constantes, sobre todo culturizarlos sobre el uso correcto de las máquinas, muchas de las fallas son por manipulación errónea por parte de nuevos trabajadores.
- 4) Se recomienda usar la formula original para calcular el riesgo en un siguiente estudio, para este caso se adapto por juicio de expertos agregando un parámetro adicional.
- 5) Se sugiere utilizar solo un criterio para calcular el riesgo, ya que, aplicar dos criterios para calcular el riesgo resulta innecesario.

IX: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. BARREDA Beltran, Salvador. Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (R.C.M.) en la EDAR de Nules-Vilavella. Tesis (Titulo de ingeniero mecánico). Castellón: Universat Jaume-I. Castellón. 2015. 174 pp. Disponible en: <http://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/128127>
2. BECERRA Arevalo, Gilberto y PAULINO Romero, Jony. El análisis de confiabilidad como herramienta para optimizar la gestión del mantenimiento preventivo de los equipos de la línea de flotación en un centro minero. Tesis (Magister en gerencia de mantenimiento).Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. 2012. Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1475>
3. BERNAL Núñez, Cristian. Diseño y evaluación económica de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para sistema de puertas de tren NS93.Tesis (Título de ingeniero mecánico).Santiago: Universidad Técnica Federico Santa María. 2017.95 pp. Disponible en: <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/21619/3560902038393UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
4. BLANCAS Hidalgo, José. Diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para mejorar el mantenimiento preventivo de las metradoras automáticas de la empresa Indeco S.A. Tesis (Magister en gerencia de mantenimiento). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. 2017. Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/9694>
5. BUELVAS Diaz, Camilo y MARTINEZ Figueroa, Kevin. Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa L & L. Tesis (Titulo de ingeniero mecánico).Barranquilla: Universidad Autonoma del Caribe. 2014.76 pp.
6. Parra, Carlos. Mantenimiento centrado en confiabilidad.Lima: IPEMAN.2010.70 pp.
7. GAGO Chávez, Joaquin.Optimización del plan de mantenimiento aplicando

el análisis de confiabilidad a los equipos críticos del sistema eléctrico de la oficina principal de Petroperú. Tesis (Titulo de ingeniero mecánico-eléctrico).Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. 2017.

Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/6153>

8. GARCIA Esteban, Eduardo. Gestión del mantenimiento para la operatividad de la maquinaria de movimientos de tierras ICCGSA en la via Huancayo-Ayacucho. Tesis (Titulo de ingeniero mecánico). Huancayo: Universidad Nacional de Centro. Huancayo. 2017.132 pp.
9. LEANDRO, Daniel. Mantenimiento su implementación y gestión. Segunda edición.Lima: Córdova Universitas. 2010.186 pp.
ISBN: 987-9406-81-8.
10. MEDINA Tuesta, Manuel Antonio. Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en Schlumberger Wireline. Tesis (Título de ingeniero electrónico). Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2018.
Disponible en:
http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/7531/Medina_tm%20-%20Resumen.pdf?sequence=3&isAllowed=y
11. MORA Gutierrez, Alberto. Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. D.F México: Editorial Alfaomega. 2009.528 pp.
ISBN: 978-958-682-769-0.
12. MOUBRAY, John. Reliability Centered Maintenance (RCM) II. Segunda edición. London: Butterworth - Heinemann.1997.440 pp.
ISBN: 978-149-330-0283-3.
13. CAMBA Reyes, Nemesio José. Plan de Mantenimiento Basado En Confiabilidad en el Equipo más Crítico del Área De Molinos de Planta Monaca Maracaibo I. Tesis (Master en ingniería mecánica).Caracas: Universidad Simón Bolivar. 2011.169 pp.
Disponible en:
<https://docplayer.es/22979676-Trabajo-especial-de-grado-plan-de-mantenimiento-basado-en-confiabilidad-en-el-equipo-mas-critico-del-area->

de-molinos-de-planta-monaca-maracaibo-i.html

14. SOCIETY of automotive engineers. SAE JA1011. Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. USA:SAE ,1999.12 pp.
15. SOCIETY of automotive engineers.SAE JA1012. Una Guía para la Norma de Mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC). USA:SAE,2002.57 pp.
16. PALOMARES Quintanilla, Elvis David.Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) al sistema de izaje mineral, de la Compañía Minera Milpo, Unidad “El Porvenir “. Tesis (Master en ingeniería de mantenimiento). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. 2015.
Disponible en:
<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3214>
17. PÉREZ Camarena, Iván Adolfo.Incremento de la disponibilidad del equipo mecánico subterráneo mediante la aplicación de la pirámide de mantenimiento en Unidad Minera Contonga-Huari.Tesis (Título de ingeniero mecánico).Huancayo: Universidad Nacional del Centro.2013.
Disponible en:
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3902>
18. PÉREZ Negreiros, Raúl y Cáceres Torres, Paúl .Aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para la mejora del mantenimiento de una prensa de rodillos HPGR. Tesis (Master en ingeniería de mantenimiento). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. 2017.
Disponible en:
<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/7004>
19. RESEMIN [en línea] [fecha de consulta: 5 de abril del 2016]. Disponible en:
<http://www.resemin.com/pe/es/nosotros/empresa/>
20. RODRÍGUEZ Moguel, Ernesto.Metodología de la Investigación.Quinta edición. Tabasco: Univ. J. Autónoma de Tabasco.2005.183 pp.
ISBN: 968-5748-66-7
21. SCHOPF [en línea] [fecha de consulta: 5 abril 2016]. Disponible en:
<http://www.schopf-mining.com/>

22. THE WOODHOUSE PARTNERSHIP LIMITED [en línea][fecha de consulta: 6 de abril del 2016].Disponible en:
<http://www.twpl.com/whoweare/>
23. VILLALOBOS Linares, Pedro. .Mantenimiento centrado a la confiabilidad para transformadores de potencia. Tesis (Título de ingeniero electricista). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.2006.
Disponible en:
<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/10494>

ANEXOS

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA “IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPOS DE SOSTENIMIENTO BOLTER 88”

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
Problema General PG: ¿Cómo mejorar la gestión de mantenimiento de los equipos de sostenimiento Bolter 88 ?	Objetivo General OG: Mejorar la gestión de mantenimiento de los equipos de sostenimiento Bolter 88 aplicando la metodología RCM.	Hipótesis General HG: La implementación de un plan de mantenimiento aplicando la metodología RCM permite mejorar la gestión de mantenimiento de los equipos de sostenimiento Bolter 88.	Variables de la investigación Dentro de la presente investigación, se ha definido una variable independiente y otra dependiente, las cuales son:	Tipo de investigación: Investigación aplicada Diseño de la investigación Ex-Post-Facto Población y Muestra Para el presente estudio y análisis se

<p>Problemas Específicos (P)</p> <p>P1.- ¿Cómo se identifico los sistemas críticos en el equipo Bolter 88?</p> <p>P2.- ¿Cómo determinar los modos y efectos de falla que se presentan en el equipo?</p> <p>P3.- ¿Cómo se puede reducir la cantidad de mantenimientos correctivos en los equipo?</p>	<p>Objetivos Específicos (O)</p> <p>O1.- Identificar los sistemas críticos del equipo mediante un análisis de criticidad.</p> <p>O2.- Determinar los modos y efectos de falla del equipo en determinadas condiciones de operación.</p> <p>O3.- Reducir la cantidad de mantenimientos correctivos en el equipo.</p>	<p>Hipótesis Especificas (H)</p> <p>H1.-Mediante el análisis de la criticidad se identifica el sistema más críticos.</p> <p>H2.-El modo y efecto de falla se determina con ayuda de la metodología AMEF.</p> <p>H3.-La cantidad de mantenimientos correctivos se reduce empleando estrategias de mantenimiento apropiadas con la aplicación del árbol lógico de fallas.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE:</p> <ul style="list-style-type: none"> Implementación del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad. <p>VARIABLE DEPENDIENTE:</p> <ul style="list-style-type: none"> Mejora de la gestión de mantenimiento de los equipos de sostenimiento Bolter 88 	<p>considerarán las máquinas producidas entre 2017-2018 siendo un total de 150 equipos. De los cuales se seleccionarán 36 equipos BOLTER 88 como muestra para la presente investigación.</p> <p>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Documentación técnica - Entrevistas no estructuradas y observación
---	--	---	--	--



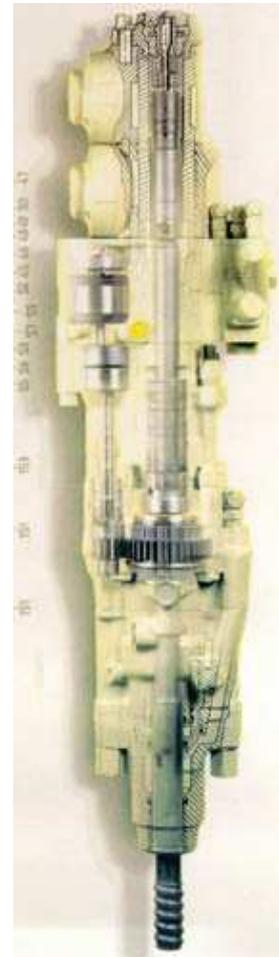
PERFORADORAS MONTABERT

El corazón del sistema:

La perforadora MONTABERT

- **Ventajas del pistón progresivo:**
 - Energía de impacto máxima por cada golpe
 - Onda de choque superior para una mejor transmisión de energía y una eficaz penetración de la broca.
- **La válvula de recuperación de energía, recupera la energía de rebote de la onda de choque, retornando para ayudar al golpe siguiente..**
- **El golpeo en retroceso, permite evitar problemas en la perforación en terrenos muy fracturados.**

Este sistema mejora la producción y disminuye el tiempo de perforación, reduce los costos y aumenta la vida de las barras guía y todos los accesorios de perforación.



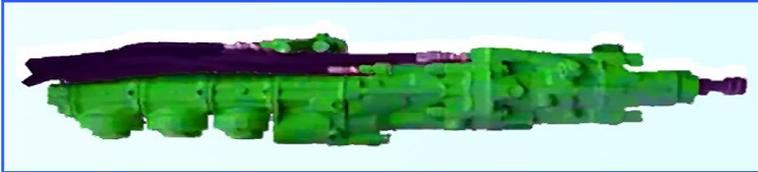
HC40



- *Perforadora Montabert HC40*
- *Sistema de recuperación de energía*
- *Pistón progresivo, tecnología Montabert*



HC150RP



Perforador potente

- *Perforadora Montabert HC150RP*
- *Sistema de recuperación de energía*
- *Piston progresivo, tecnología Montabert*
- *Golpeo en retroceso (percusión reversible)*

HC160RP



CAPÍTULO 5

PROCESO DE SELECCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO BAJO EL ENFOQUE DEL MCC

Una vez realizado el AMEF, el equipo natural de trabajo MCC, deberá seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento que ayude a prevenir la aparición de cada modo de falla previamente identificado, a partir del árbol lógico de decisión (herramienta diseñada por el MCC, que permite seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento más adecuada para evitar la ocurrencia de cada modo de falla o disminuir sus posibles efectos). Luego de seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento a partir del árbol lógico de decisión, se tiene que especificar la acción de mantenimiento a ejecutar asociada al tipo de actividad de mantenimiento seleccionada, con su respectiva frecuencia de ejecución, teniendo en cuenta que uno de los objetivos principales del MCC, es evitar o al menos reducir las posibles consecuencias a la seguridad humana, al ambiente y a las operaciones, que traerán consigo la aparición de los distintos modos de fallas.

El primer paso para seleccionar las actividades de mantenimiento, consiste en identificar las consecuencias que generan los modos de fallas :

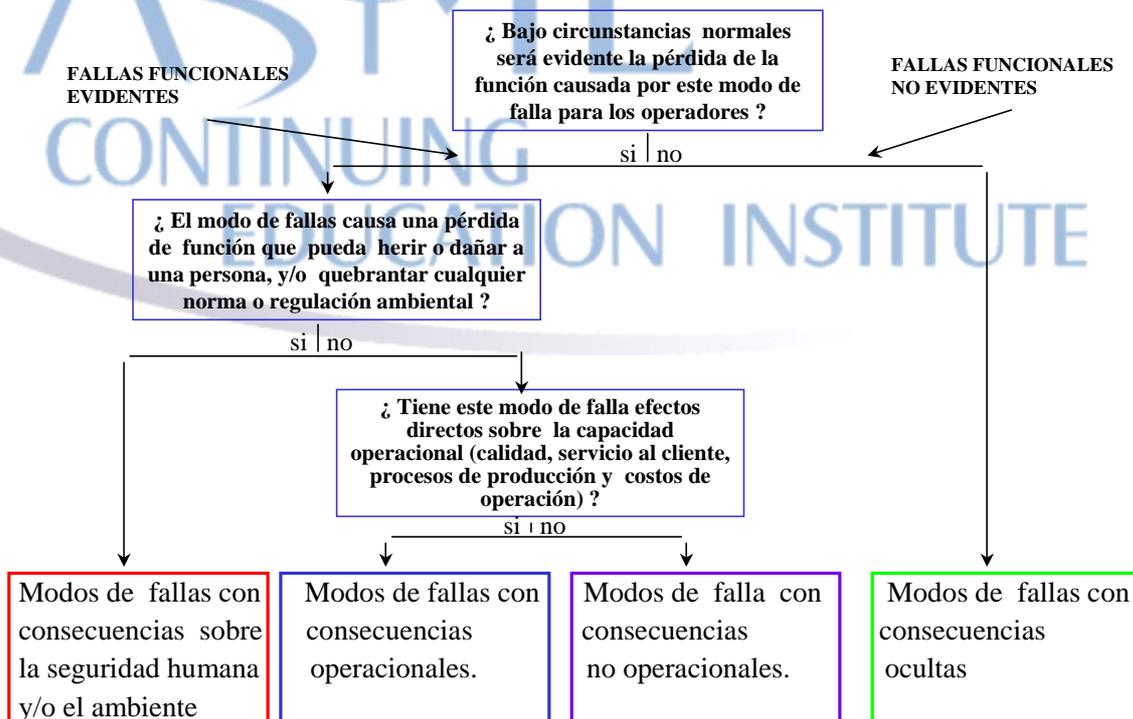


Figura # 16: Identificación de las consecuencias de los modos de fallas.

Una vez, identificadas las consecuencias por cada modo de falla, el equipo natural de trabajo debe identificar el tipo de actividad de mantenimiento, apoyándose en el árbol lógico de decisión del MCC.

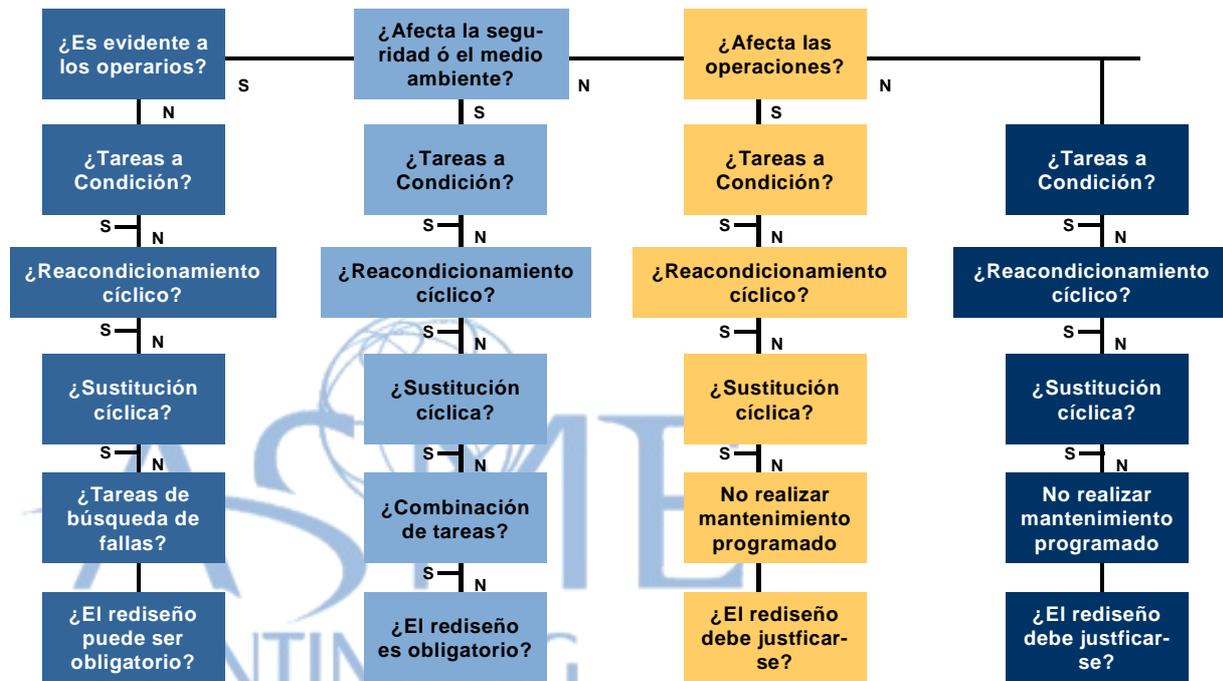


Figura # 17: Flujograma de selección de las actividades de mantenimiento

El MCC clasifica las actividades de mantenimiento a ejecutar en dos grandes grupos, las actividades preventivas y las actividades correctivas, estas últimas, se ejecutarán sólo en el caso de no encontrar una actividad efectiva de mantenimiento preventivo. Cada grupo de actividades de mantenimiento, tiene sus respectivos tipos de tareas de mantenimiento, los cuales se mencionan a continuación:

5.1.Actividades Preventivas

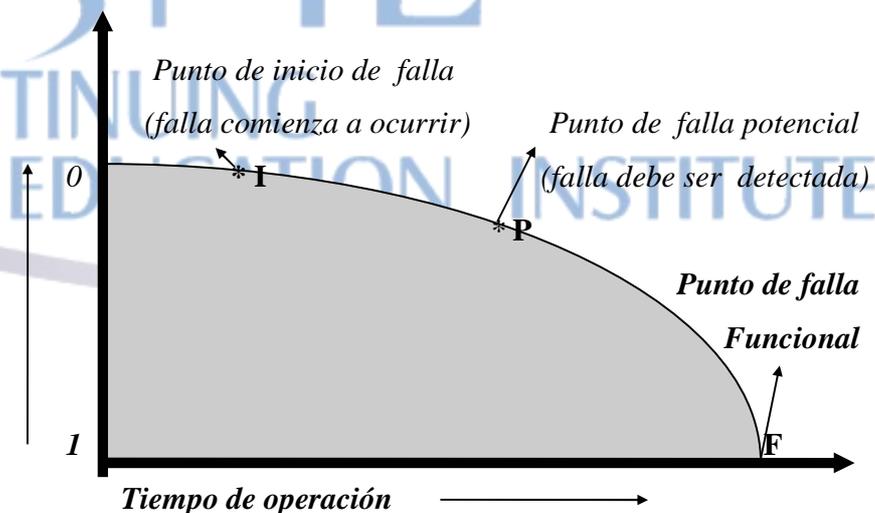
5.1.1.Tareas programadas en base a condición

Las actividades programadas en base a condición (predictivas), se basan en el hecho de que la mayoría de los modos de fallas no ocurren instantáneamente, sino que se desarrollan progresivamente en un período de tiempo. Si la evidencia de este tipo de modos de fallas puede ser detectada bajo condiciones normales de operación, es posible que se puedan tomar acciones programadas en base a la condición del activo, que ayuden a prevenir estos modos de fallas y/o eliminar sus consecuencias.

El momento en el proceso en el cual es posible detectar que la falla funcional esta ocurriendo o esta a punto de ocurrir es conocido como **falla potencial**. De esta forma se puede definir **falla potencial: como una condición física identificable la cual indica que la falla funcional esta a punto de ocurrir o que ya esta ocurriendo dentro del proceso**. Entre los ejemplos más comunes de fallas potencial tenemos:

- * Lecturas de vibración que indiquen inminentes fallas en el cojinetes.
- * Grietas existentes en metales indican inminentes fallas por metales fatigados.
- * Partículas en el aceite de una caja de engranajes, indican inminentes fallas en los dientes de los engranajes.
- * Puntos calientes indican deterioro en el material refractario del hogar de una caldera, etc.

El comportamiento en el tiempo de gran parte de los distintos tipos de modos de fallas se ilustra en la Figura # 18: Curva del comportamiento de las fallas potenciales. En esta figura, se muestra como una falla comienza a ocurrir (punto de inicio "I", muchas veces este punto no puede ser detectado), incrementado su deterioro hasta el punto en el cual la falla puede ser detectada (punto de falla potencial "P"). Si en este punto la falla no es detectada y corregida, continua aumentando su deterioro (usualmente de forma acelerada) hasta que alcanza el punto donde se produce la falla funcional (punto "F", el activo ha dejado de cumplir su función).



0 = Condición operativa.

1 = Condición no operativa.

Figura # 18: Curva de comportamiento de las fallas potenciales.

5.1.2.Tareas de reacondicionamiento

Como su nombre lo indica, las tareas de reacondicionamiento, se refieren a las actividades periódicas que se llevan a cabo para restaurar un activo (sistema, equipo, parte) a su condición original. En otras palabras las actividades de restauración programada , *son aquellas actividades de prevención realizadas a los activos (en la mayoría de los casos equipos mayores) a un intervalo frecuencial menor al límite de vida operativo del activo, en función del análisis de sus funciones en el tiempo.* En este tipo de actividades de mantenimiento preventivo, los activos son puestos fuera de servicio, se desarman, se desmontan, se inspeccionan de forma general y se corrigen y reemplazan de ser necesario, partes defectuosas, con el fin de prevenir la aparición de posibles modos de fallas. Las tareas de restauración programadas son conocidas como “overhauls” , y su aplicación más común es en equipos mayores: compresores, turbinas, calderas, hornos, bombas de múltiples etapas, etc.

5.1.2.Tareas de sustitución – reemplazo programado

Este tipo de actividad preventiva esta orientada específicamente hacia el reemplazo de componentes o partes usadas de un activo, por unos nuevos, a un intervalo de tiempo menor al de su vida útil (antes de que fallen). Las actividades de descarte programado le devolverán la condición original al componente, ya que el componente viejo será reemplazado por uno nuevo. La diferencia entre las tareas de descarte programado y las tareas de restauración programada es que las primeras son aplicadas a componentes y/o partes de un activo y no a activos complejos (activos con varios componentes), y a su vez la acción a ejecutar en las tareas de descarte programado es específicamente el reemplazo de un componente viejo por uno nuevo. En el caso de las tareas de restauración programada las acciones a ejecutar pueden ser: ajustar, inspeccionar, mejorar, limpiar, restaurar y hasta cambiar partes viejas por nuevas.

5.1.3.Tareas de búsqueda de fallas ocultas

Como se definió anteriormente los modos de fallas ocultos no son evidentes bajo condiciones normales de operación, por lo cual este tipo de fallas no tienen consecuencias directas, pero las mismas propician la aparición de fallas múltiples en un determinado contexto operacional. Uno de los caminos que puede ayudar a minimizar los posibles efectos de una falla múltiple es tratar de disminuir la probabilidad de ocurrencia de las fallas ocultas, chequeando periódicamente si la función oculta esta trabajando correctamente. Estos chequeos son conocidos como las tareas de pesquisa de fallas ocultas.

En conclusión, las tareas de pesquisa de fallas ocultas consisten en acciones de chequeo a los activos con funciones ocultas, a intervalos regulares de tiempo, con el fin de detectar si dichas funciones ocultas se encuentran en estado normal de operación o en estado de falla.

5.2.Actividades Correctivas

Cuando las actividades de prevención para un determinado modo de falla, no son técnicamente factibles o no son efectivas, las actividades correctivas serán las que se apliquen. Las acciones correctivas a ser ejecutadas en el caso de no conseguir ninguna actividad de prevención serán:

5.2.1.Rediseño, en el caso que no se consigan actividades de prevención que ayuden a reducir los modos de fallas que afecten a la seguridad o al ambiente a un nivel aceptable, es necesario realizar un rediseño que minimize o elimine las consecuencias de los modos de fallas.

5.2.2.Actividades de mantenimiento no programado, en el caso que no se consigan actividades de prevención económicamente más baratas que los posibles efectos que traerán consigo los modos de fallas con consecuencias operacionales o no operacionales, se podra tomar la decisión de esperar que ocurra la falla y actuar de forma correctiva.