

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Trabajo de Investigación

**Propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento  
de la bomba pistón-diafragma en empresa del  
rubro minero basado en la metodología  
RCM Marcona, 2020**

Melissa Katherine Gamarra Roque

Para optar el Grado Académico de  
Bachiller en Ingeniería Industrial

Arequipa, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Trabajo de investigación



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

# **ASESOR**

Ing. Julio Efraín Postigo Zumarán

## **Agradecimiento**

Agradecer a Dios Todopoderoso por brindarme la fortaleza y sabiduría con la que vivo día a día, a mis padres pilares importantes en mi formación y ejemplo de vida, que con su amor y enseñanzas logramos cumplir un objetivo.

A mis maestros que con sus enseñanzas a lo largo de mi formación académica me guiaron y compartieron sus conocimientos, al profesor Julio Efraín Postigo Zumaran por su apoyo en este proyecto.

Melissa Katherine Gamarra Roque

## **Dedicatoria**

“Dedico este documento a mi familia que continúan a mi lado apoyándome y motivándome a seguir adelante. A mi amigo Yencco fuiste un gran compañero y seguirás cuidándome”

*Melissa Katherine Gamarra Roque*

## RESUMEN

La investigación tiene como título “Propuesta de mejora en la Gestión de mantenimiento de la bomba Pistón-Diafragma en empresa del rubro minero basado en la Metodología RCM”, el objetivo de determinar en qué manera la mejora la gestión de mantenimiento por medio de la aplicación de la metodología RCM aumentara la disponibilidad de equipos en el área de bombeo de relave.

El planteamiento del problema se da a partir de situación actual del área de bombeo de relave que presenta una baja disponibilidad de los equipos de bombeo que afecta la producción continua en la planta concentradora, ante esto se plantean identificar y eliminar las fallas existentes en los equipos.

Para poder lograr el objetivo se muestra la aplicación de la metodología RCM, realizando un análisis de fallas en las bombas de relave pistón- diafragma.

Como resultado se espera tener una reducción en los tiempos de parada no programada de las bombas pistón-diafragma y mejoras en la logística y gestión de la empresa.

### **Palabras claves:**

Confiabilidad, RCM, relave, mantenimiento, disponibilidad, criticidad.

## **ABSTRACT**

The research is entitled “Proposal for improvement of the Maintenance Management of the Piston-Diaphragm pump in Empresa rubro minera based on the RCM Methodology”, with the aim of determining in what way maintenance management improves through the application of The RCM methodology will increase the availability of equipment in the tailings pumping area.

The problem statement is based on the current situation of the tailings pumping area, which has a low availability of pumping equipment, which affects the continuous production of the concentrator plant, in view of this, it is proposed to identify and eliminate the existing faults in the teams.

To achieve the objective, the application of the reliability-based maintenance RCM methodology is shown, performing a failure analysis of the piston-diaphragm tailings pumps.

As a result, it is expected to have a reduction in the unscheduled downtime of piston-diaphragm pumps and to improve the company's maintenance management system.

Keywords:

Reliability, RCM, tailings, maintenance, availability.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los pilares de las empresas mineras es el mantenimiento, el mismo que asegura la correcta operatividad de sus equipos y por ende la continua operación en la producción, pero en empresas nuevas aún no se tiene implementado un sistema de gestión de mantenimiento, presentando fallas constantes en los equipos lo que lleva a pérdidas económicas en la producción por paradas de los equipos.

El presente trabajo de investigación “Propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento del área de bombeo de relave en empresa del rubro minero”, cuyo problema fue ¿De qué manera la mejora de la gestión de mantenimiento puede aumentar la confiabilidad de los equipos? Con el objetivo de Determinar de qué manera mejora en la gestión de mantenimiento aumentara la disponibilidad de equipos en el área de bombeo de relave.

Por medio de la metodología RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) con el que se aplicara un análisis estadístico del historial de fallas de los equipos de esta manera optimizar el proceso de la empresa, fortaleciendo la ingeniería de mantenimiento de los equipos a través de equipos técnicos mejorando diseños, compras, ventas e instalaciones.

En el primer Capítulo I, se define el planteamiento del problema, los objetivos generales y específicos, la justificación e importancia. El Capítulo II está compuesto por el marco teórico donde se muestra la filosofía del RCM y los pasos para la aplicación, antecedentes, bases teóricas, definición de términos. En el Capítulo III se compone de la metodología de la investigación y el diseño de la misma. El Capítulo IV muestra los resultados y el desarrollo de la metodología al análisis realizado de las fallas presentes en las bombas, así como también la discusión de los resultados obtenidos.



## INDICE

Agradecimiento.....	iii
Dedicatoria .....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT .....	vi
INTRODUCCIÓN.....	vii
CAPITULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	1
1.1.2. Formulación del problema.....	3
1.1.2.1. Pregunta general .....	3
1.1.2.2. Preguntas específicas .....	3
1.2. Objetivos .....	3
1.2.2. Objetivos específicos .....	4
1.3. Justificación e importancia.....	4
1.3.1. Justificación.....	4
1.3.2. Importancia .....	4
1.4. Hipótesis y descripción de variables .....	5
1.4.1. Hipótesis.....	5
1.4.2. Variables.....	5
1.4.2.1. Variable Independiente.....	5
1.4.2.2. Variable dependiente.....	5

1.4.2.3. Operacionalización de Variables.....	6
CAPITULO II.....	7
MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. Antecedentes del problema .....	7
2.1.1. Antecedentes Internacionales .....	7
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	8
2.2. Bases Teóricas.....	9
2.2.1. Gestión de mantenimiento .....	9
2.2.2. Tipos de Mantenimiento .....	10
2.2.3. Indicadores de mantenimiento.....	11
2.2.4. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.....	12
2.3. Conceptos Básicos .....	15
2.3.1 Disponibilidad.....	15
2.3.2 Confiabilidad .....	15
2.3.3 Relave.....	15
2.3.4 Bomba Piston-Diafragma .....	15
CAPÍTULO III.....	17
METODOLOGÍA .....	17
3.1. Métodos y alcance de la investigación.....	17
3.1.1. Método de la investigación.....	17
3.1.2. Diseño de la investigación.....	17
3.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	17

CAPÍTULO IV .....	18
DIAGNÓSTICO Y RESULTADOS .....	18
4.1.    Procedimientos.....	18
4.1.1.    Análisis y diseño de la metodología RCM .....	18
4.2.    Resultados y discusión .....	29
4.2.1.    Resultados y análisis de la información.....	29
CONCLUSIONES .....	31
RECOMENDACIONES.....	32
BIIOGRAFIA.....	33
ANEXOS.....	36

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cuadro estadístico horas perdidas por paradas no programadas de la bomba pistón-diafragma .....	2
Tabla 1. Cuadro estadístico horas perdidas por paradas no programadas de la bomba pistón diafragma.....	2
Tabla 2. Cuadro de operacionalización de variables.....	6
Tabla 3. Asignación de sistemas y subsistemas.....	18
Tabla 4. Identificación de criticidad de los sistemas.....	19
Tabla 5. Análisis FMECA.....	21
Tabla 6. Análisis FMECA medidas preventivas.....	23
Tabla 7. Análisis FMECA procedimientos.....	25
Tabla 8. Hoja de información RCM de un sistema.....	27
Tabla 9. Análisis de resultados.....	28

## Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de Ishikawa.....	13
Figura 2. Diagrama del proceso RCM.....	21
Figura 3. Bomba pistón-diafragma, área de relave.....	23
Figura 4. Diagrama de lubricación bomba pistón-diafragma.....	26

# CAPITULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1. Planteamiento y formulación del problema

#### 1.1.1. Planteamiento del problema

Con la revolución industrial en el siglo XIX, nació también la necesidad de realizar reparaciones a los equipos. Por esos tiempos, las fallas que presentaban los equipos podían ser solucionadas por el mismo operador, pero conforme fue evolucionando el funcionamiento de los equipos y maquinas este se volvió más complejo, que ya requería especialistas para su reparación. Es así que se crean los departamentos y áreas dentro de las empresas dedicadas al mantenimiento para asegurar la disponibilidad de un equipo.

La mayoría de industrias en el Perú invierten en calidad y mantenimiento de sus productos y equipos, de esta manera aseguran la continuidad de su producción, esta continuidad se ve reflejada económicamente en las utilidades generando sostenibilidad.

Pero nos preguntamos ¿Por qué es importante realizar una gestión de mantenimiento en una empresa? ¿Por qué no simplemente repararlo cuando fallen?

La mayor razón son los costos, la parada de un equipo por falla genera pérdidas a la empresa, incluso la falla puede ser tan grave que se requiera cambiar el equipo completamente, generando una perdida enorme a la empresa, cuando a este equipo se le pudo realizar un monitoreo y muestreo de parámetros para verificar su correcto funcionamiento.

En febrero del 2019 se presentó un incendio en la sala eléctrica principal de la empresa del rubro minero, parando totalmente la producción por un tiempo de 15 días, tiempo en el que se realizaron las reparaciones respectivas, este tiempo significo \$ 3750000 de pérdidas económicas para la empresa. Luego de las investigaciones realizadas, el incendio fue causado por un corto circuito en el tablero de fuerza producto de la humedad y sulfatación de los conectores de potencia, cabe mencionar que en los 3 años de operación no se había realizado ningún mantenimiento eléctrico a dicho tablero.

En sus tres años de operación esta empresa viene presentando problemas constantes con la disponibilidad de equipos, los equipos que se tienen en operación tanto como los stands by presentan fallas cada vez más constantes, donde solo se realiza la reparación al equipo que falle, a lo que se suma restricciones como el stock de repuestos de los mismos. Esto conlleva a la parada de la planta concentradora generando pérdidas para la empresa. Tabla 1

*Tabla 1: Cuadro estadístico horas perdidas por paradas no programadas de la bomba pistón-diafragma*

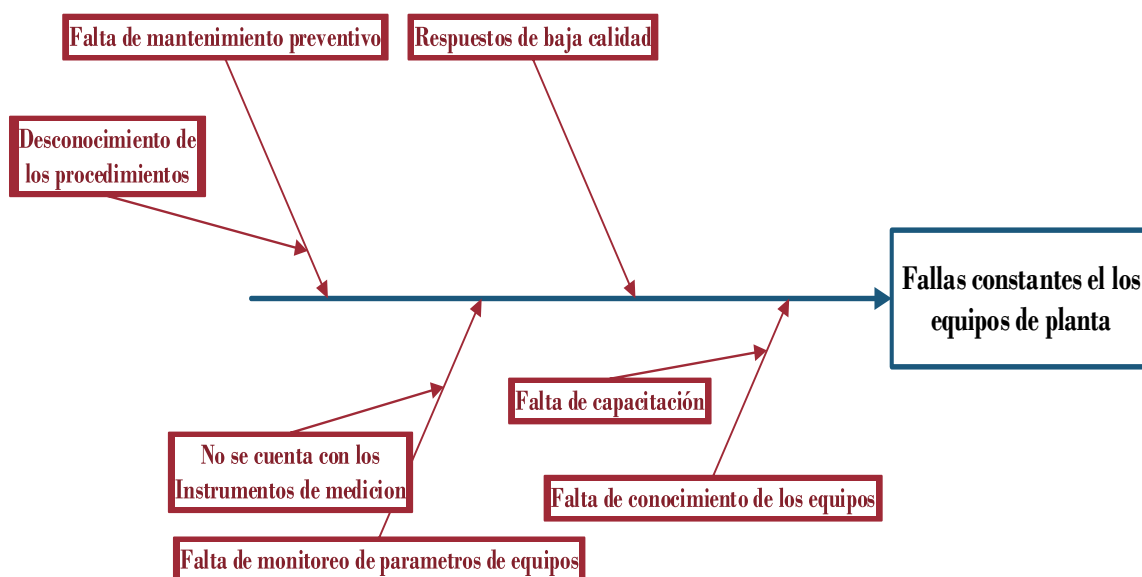
	Paradas programadas bomba pistón	Paradas no programadas bomba pistón
2018	286h	400h
2019	116h	384h

*Fuente reportes del área de relave*

La falta de un sistema de mantenimiento dirigido a cada área y equipo no permite realizar un mantenimiento programado, por lo general se realiza un mantenimiento correctivo a los equipos, teniendo además la restricción de repuestos, a lo que se da soluciones improvisadas que poniendo en peligro la seguridad del factor humano.

En la empresa no se está dando la debida importancia al mantenimiento de los equipos, no se tiene implementado un Plan de Mantenimiento, tampoco el monitoreo de parámetros de funcionamiento de los equipos críticos de la empresa. Realizamos un diagrama de Ishikawa para identificar las posibles causas de este problema

Figura 1 Diagrama de Ishikawa



Fuente. Elaboración propia

## 1.1.2. Formulación del problema

### 1.1.2.1. Pregunta general

- ¿De qué manera la mejora en la gestión de mantenimiento por medio de la aplicación de la metodología RCM puede aumentar la disponibilidad de la bomba pistón –diafragma?

### 1.1.2.2. Preguntas específicas

- ¿Cómo mejorar la gestión de mantenimiento de la empresa?
- ¿En qué medida la aplicación de la metodología RCM mejoraría productividad de la empresa?
- ¿Cómo asegurar la operación continua de la bomba pistón -diafragma?

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

Determinar en qué manera la mejora en la gestión de mantenimiento por medio de la aplicación de RCM aumentara la disponibilidad de la bomba pistón-diafragma  
Marcona-2020



### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Aumentar la disponibilidad de los equipos.
- Determinar el porcentaje del aumento de la producción por la disponibilidad de la bomba pistón-diafragma.
- Diseñar una propuesta de gestión que para asegurar la operación continua.

## **1.3. Justificación e importancia**

### **1.3.1. Justificación**

Basándonos en una justificación técnicamente por el grado de utilidad para diagnosticar la situación actual de la gestión de mantenimiento de la empresa del rubro minero haciendo uso de diferentes herramientas para lograr la identificación de las fallas e implementación de un plan de mantenimiento, dentro de la metodología RCM.

También se justifica económicamente ya que reduce paradas de los equipos y esto conduce a pérdidas en horas de producción e incumplimiento de las metas, para la empresa va a significar un mejor manejo de los activos.

Finalmente se justifica socialmente porque va a generar puestos de empleo para el área de mantenimiento ya que también se requiere personal con conocimiento y experiencia en el área.

### **1.3.2. Importancia**

Con este análisis se pretende mejorar en programa de mantenimiento, aplicando herramientas de gestión que nos permitan obtener una producción constante, con menor tiempo perdido.

Se desea reducir costos que actualmente conlleva la ejecución del mantenimiento correctivo, mediante la aplicación de la metodología RCM.

Se quiere evitar las paradas no programadas por la no disponibilidad de equipos, y seguir un cronograma de trabajos programados, reduciendo costos innecesarios.

## **1.4. Hipótesis y descripción de variables**

### **1.4.1. Hipótesis**

La Optimización del sistema de gestión de mantenimiento por medio de la metodología RCM aumenta la disponibilidad de la bomba pistón-diafragma en la empresa del rubro minero.

### **1.4.2. Variables**

#### **1.4.2.1. Variable Independiente**

Sistema de gestión de mantenimiento del área de bombe relave, basada en metodología RCM

#### **1.4.2.2. Variable dependiente**

Disponibilidad de equipos

### 1.4.2.3. Operacionalización de Variables

*Tabla 2: Matriz de operacionalización de variables*

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	OPERACIONALIZACIÓN		
			SUBDIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
Sistema gestión de mantenimiento del área de bombeo relave, basada en metodología RCM	El mantenimiento centrado en la confiabilidad se basa en el análisis de la falla que se tienen registradas de cada activo, y también las futuras fallas que se pueden presentar en la operación del activo.	Gestión de mantenimiento	administrativo	seguimiento y verificación	Recolección de datos
			producción	Tiempo de paradas por mantenimiento	Recolección de datos
		Metodología RCM	mantenimiento	Tiempo medio entre fallas	Recolección de datos
			fiabilidad	Tiempo promedio para reparaciones	Recolección de datos
Disponibilidad de equipos	Es la cualidad temporal de la maquinaria de estar lista para ser usado en cualquier momento.	Disponibilidad	Disponibilidad	Frecuencia de fallas	Recolección de datos
				horas de operación	Recolección de datos

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del problema**

##### **2.1.1. Antecedentes Internacionales**

- Zabala Medina Cristóbal (2018) en su tesis “Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para el chancador primario Fuller, operación Manto verde” en la ciudad de Valparaíso – Chile, “Universidad Técnica Federico Santa María” “cuyo objetivo fue proponer un plan de mantenimiento preventivo basado en RCM de un chancador primario” (pp.1-60)  
Al realizar este análisis de fallas del chancador primario y proponer un “Plan de mantenimiento se logró una reducción de costos del mantenimiento correctivo” hasta US\$200.000 anuales en la empresa representando un logro positivo para la misma.
- Farfán Bertín Fabián (2019) en la tesis “Plan de mantención preventiva del chancador primario Fuller en división Codelco Andina” en Valdivia – Chile, Universidad Austral de Chile.  
“El objetivo general implementar un plan de mantenimiento preventivo en el chancador primario Fuller 54” x 74” TC, al implementar este estudio por un periodo de 6 meses como resultado el costo anual de implementación de este plan es de 2935 KUSD anuales, lo que significa un ahorro de 435 KUSD anuales aproximadamente, ya que el costo actual del mantenimiento realizado por el mismo periodo de tiempo es de 4320 horas y un mantenimiento preventiva de 339,7197 USD costo por hora” (pp. 1-100)
- Pacheco Valencia María (2015) en la tesis “Plan de mantenimiento preventivo para los procesos de trituración y molienda de la planta beneficio María Dama Frontino Gold Mines” para optar por el título de ingeniero mecánico en la ciudad de Bucaramanga – Colombia, tiene por objetivo principal de implementar un plan de mantenimiento y lograr organizar los trabajos de mantenimiento, realizando un diagnóstico del sistema actual y aplicando las actividades correctivas, preventivas del TPM, demostrando que esta metodología es un trabajo en conjunto de todas las áreas en la empresa y la importancia de la implementación de un plan de mantenimiento.

- Castillo Santillán Ángel (2017) en su tesis “Propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad de las unidades de bombeo horizontal multietapas del sistema Power oil de la estación Atacapi del B57-LI de Petroamazonas EP” en la ciudad de Riobamba – Ecuador.  
*“Tiene por objetivo proponer un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad en la unidad de bombeo horizontal, basándose en el análisis de modos de falla según la norma ISO 14224-2006. Con la aplicación del RCM se obtiene un tiempo medio entre fallas de 29 a 69 días y una reducción de la tasa de fallas del 57%”* (pp. 1-80)

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

- Palomares Quintanilla Elvis (2015) en su tesis “Implementación del mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) al Sistema de Izaje Mineral en la compañía Milpo Unidad el Porvenir” en la ciudad de Lima, Universidad Nacional de Ingeniería, cuyo objetivo general fue elaborar un *“Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), el cual aumente el tiempo medio entre fallas del sistema de Izaje Mineral”*(pp. 1-80)  
Luego de la aplicación de RCM se tuvo resultados positivos de un 2.1% en la disponibilidad de los equipos.
- Cruz Agustín Percy (2019) en su tesis “Propuesta de implementación un sistema de gestión de mantenimiento preventivo para optimizar la disponibilidad de equipos en el área de chancado de la planta concentradora” en la ciudad de Huancayo, Universidad Continental.  
*“Objetivo general de optimizar la disponibilidad de los equipos de chancado, con la implementación del sistema de gestión de mantenimiento preventivo. Con la implementación del sistema de gestión se logró reducir las horas perdidas en un 3%, mejorando la producción mensual de la empresa”* (pp. 1-90)
- Melchor Cahuaya Rogger (2016) en su tesis “Programa de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de la bomba Mars III en la Compañía Minera Santa Luisa S.A.” en la ciudad Huancayo, Universidad Nacional del Centro del Perú.  
*“Con el objetivo general de elaborar un programa de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de la Bomba Mars III. Se concluyó elaborando el*

programa de mantenimiento preventivo. La disponibilidad de la Bomba Mars III se incrementa de 51.4% a 80.4%, extendiendo este programa a las 3 bombas existentes en la planta para tener una mejor producción” (pp.1-100 (Villegas Arenas, 2016))

- Villegas Arenas Juan (2016) “Propuesta de mejora en la gestión del área de mantenimiento para la optimización del desempeño de la empresa MANFER S.R.L. Contratistas Generales” en la ciudad de Arequipa, Universidad Católica San Pablo.

*“Plantea como objetivo una propuesta de mejora en la gestión del área de mantenimiento que optimice el desempeño de la empresa. Se concluye que con la gestión que permitirá optimizar el desempeño de la constructora mediante la elevación de la disponibilidad de los equipos desde un 68.27% a un 78.47% lo cual disminuye los costos de alquiler en S/.198,577.80 en el periodo de 02 años. Además, se implementará un proceso de gestión de mantenimiento y procesos de gestión logística que ambos en conjunto incrementarán la efectividad en la empresa” (pp.1-100)*

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Gestión de mantenimiento**

Definimos como mantenimiento al conjunto de técnicas para la conservación por un mayor tiempo de los equipos e instalaciones y a la vez con el máximo rendimiento.

“No es posible gestionar adecuadamente un departamento de mantenimiento si no se establece un sistema que permita atender las necesidades de mantenimiento correctivo de forma eficiente” (Garrido, 2003).

La Gestión de mantenimiento en procesos mineros es mantener los recursos de la empresa y de esta manera asegurar la producción continua, esta gestión esta asociada a la dirección y organización de los recursos para controlar la disponibilidad y rendimiento de los equipos en la planta minera. Los objetivos principales de la administración estratégica de mantenimiento son los costos y

asignación de recursos. Se refiere a los repuestos de los equipos, hay repuestos costosos, y otros más baratos, pero a su vez los baratos ofrecen un menor tiempo de vida, generando mayores costos en vez de una solución, con este ejemplo se comprueba que el mantenimiento es un trabajo en conjunto de varias disciplinas y para que se cumpla el objetivo se deben cumplir tiempos y reglas.

Todo este conjunto de acciones integrales garantiza la máxima disponibilidad del activo que satisface las necesidades de los niveles de calidad y seguridad.

### **2.2.2. Tipos de Mantenimiento**

Esta clasificación responde al libro de Santiago García (2003) en su libro "Organización y gestión integral del mantenimiento" (Garrido, 2003)

#### **A. Mantenimiento correctivo**

Consiste en una intervención del equipo por una avería manifestada que puede producir el colapso del equipo, este es aplicado en gran parte de los equipos cuando no se tiene un plan de mantenimiento programado.

Decimos de este tipo de mantenimiento que es un conjunto de acciones o tareas para poder corregir las falencias que se empiezan a evidenciar en los equipos y estos defectos deben ser comunicados rápidamente por el encargado del equipo al área de mantenimiento de la empresa.

#### **B. Mantenimiento preventivo**

La finalidad es mantener un determinado nivel de disponibilidad de los equipos, para esto se debe programar revisión periódicas de los equipo y realizar alas correcciones respectivas, es decir de las fallas más comunes en el momento programado para evitar paradas del equipo.

#### **C. Mantenimiento predictivo**

Este mantenimiento pretende conocer e informar constantemente el estado y operatividad de los equipos, con el monitoreo de los datos e información de las variables mas representativas de operación. Para esto se debe identificar las variables físicas como temperatura, amperaje, vibración, etc. La variación de estos valores va a indicar el problema que puede tener el equipo.

### 2.2.3. Indicadores de mantenimiento

Para determinar la función de mantenimiento, se selecciona un determinado número de indicadores en cuatro áreas de la gestión. Estos indicadores en conjunto pueden mostrar la gestión de mantenimiento de la empresa y también dar a conocer el desempeño en el tiempo.

Las cuatro áreas son:

Efectividad

Rendimiento

Coste

Seguridad

El cálculo de estos indicadores debe estar sujeto a un análisis particular de los equipos de criticidad alta de la empresa, estos indicadores son calculados a un nivel macro de la gestión en la empresa.

Tiempo medio entre fallas (TMEF), es el tiempo promedio en la que el equipo puede trabajar en ausencia de fallas.

$$\text{TMEF} = \frac{\sum \text{horas en marcha de los equipos en el periodo}}{\text{cantidad de fallas de ese grupo de equipos}}$$

Tiempo medio para reparar (TMPR), nos indica el tiempo promedio que demora entre una reparación hasta su mantenimiento.

$$\text{TMPR} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \text{Horas de enido por correctivos}_i}{\text{Cantidad de OT Correctivas}}$$

Confiabilidad, es la probabilidad de que un equipo funcione en las condiciones de trabajo normales sin presentar fallas durante un determinado tiempo.



$$CONF = \frac{\text{Hrs. Período} - \sum \text{Hrs. Mtto Corr}}{\text{Hrs. Período}}$$

Sumamos las horas de parada en todas las OT Correctivas
  
Calculamos las horas entre las fechas seleccionadas

#### 2.2.4. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

“El RCM por sus siglas en inglés (*Reliability Centered Maintenance*), es una metodología con la que se pretende determinar el procedimiento para asegurar la continuidad del activo físico y así este equipo realice su función de manera óptima”

Según (Mourbray, 2000) el mantenimiento centrado en la confiabilidad se sustenta en el análisis de la falla que se tienen registradas de cada activo, y también las futuras fallas que se pueden presentar en la operación del activo. Para este análisis se realizan 7 preguntas clave que ayudan analizar la situación:

- “¿Cuál es la función del equipo?
- ¿Cuál es la falla funcional?
- ¿Qué causa la falla?
- ¿Cuál es el efecto de la falla?
- ¿Cuál es la consecuencia de la falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir la falla?
- ¿Qué se puede hacer si no se conoce una tarea de prevención?” (p.8)

##### 2.2.4.1. Funciones y sus Estándares de Funcionamiento

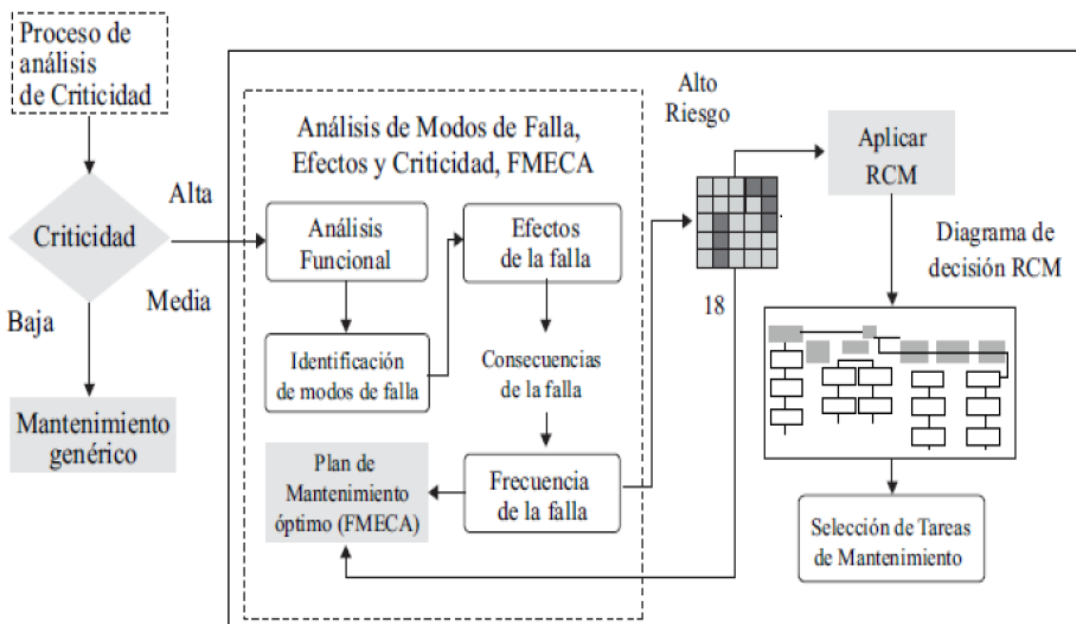
Cada elemento del equipo tiene una función específica, la pérdida total o parcial de determinadas funciones afecta a la empresa, la influencia total depende de:

- La función de los equipos en el ámbito operacional.

- El comportamiento funcional de los equipos en el ámbito operacional.

El proceso de RCM empieza a desarrollar con la definición de las funciones y estándares del comportamiento de los equipos de la planta, asociados a cada elemento de los equipos. Una vez establecido el funcionamiento óptimo, RCM cuantifica los estándares de funcionamiento, dichos estándares están principalmente relacionados con la producción, la calidad del producto, servicio al cliente, costo operacional y seguridad. (Garrido, 2003)

Figura 2\_Diagrama de proceso RCM



Fuente Aguilar Otero, Torres Arcique 2010

## A. Componentes principales del RCM

### Función

Son los requerimientos que necesitamos para que el activo continúe realizando su función de diseño dentro del contexto operacional del equipo.

Se puede dividir en funciones primarias (es el porqué de la adquisición del activo) y secundarias (son las que indican que se espera que todo bien produzca más que la función primaria). (3)

## Fallas funcionales

Es un suceso o falla producida que puede desencadenar en que un equipo ya no opere al nivel requerido de diseño, estas fallas deben ser identificadas para poder aplicar herramientas apropiadas.

## Causa de falla

Una vez identificada la falla funcional, se debe de identificar los hechos que posiblemente causaron la falla, lo que denominamos modos de falla, es importante identificar la causa de modo que se optimice tiempos y esfuerzo en tratar indicios de fallas en el equipo.

## Efecto de falla

En esta fase se realiza un listado de los efectos que pueden producir si se producen las fallas. Este listado debe ser bien detallado e incluir la mayor cantidad de información.

## Consecuencia del fallo

Las consecuencias encontradas pueden ser desde simples hasta el colapso del equipo que es la mayor pérdida, estas fallas afectan a la empresa de algún modo, en que cada caso y en cada equipo los efectos son diferentes, ya que pueden afectar la operatividad, la calidad y la seguridad de los equipos. Tenemos cuatro tipos que clasifican según las consecuencias:

- “Consecuencias de las fallas no evidentes: No tienen un impacto directo, pero exponen a la empresa a fallas graves. En la metodología RCM se da una prioridad alta a este tipo de fallas y diseñando un proceso práctico en relación al mantenimiento”
- “Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente: Una falla en el equipo puede traer consecuencias a la integridad física del operario, también puede generar impacto ambiental, RCM considera estas repercusiones poniendo primero la producción”
- “Consecuencias operacionales: Afecta la producción (capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o costos industriales) tienen un valor económico que refleja cuanto se gasta en prevenirlas”

- “Consecuencias que no son operacionales: Estas fallas no afectan la seguridad o la producción, se refleja en el gasto de la reparación del equipo”

Si se identifica una de estas fallas se debe tratar de prevenirlas, y si la consecuencia no es significativa no merece un tipo de mantenimiento sistemático que puede ser las rutinas básicas de lubricación y servicio (Mourbray, 2000)

## **2.3. Conceptos Básicos**

### **2.3.1 Disponibilidad**

Es un cálculo porcentual del tiempo contra la disponibilidad del equipo al 100% para su operación normal y continua, sin presentar fallas o inconvenientes en la operación cotidiana.

### **2.3.2 Confiabilidad**

Es la probabilidad de que una parte del equipo o el producto funcionen adecuadamente en un determinado momento y bajo las condiciones normales de operación.

### **2.3.3 Relave**

Son los desechos finales de los procesos mineros, contienen los minerales sin valor ganga, que ya no fueron recuperado en el proceso. Estos son dispuestos en tanques o pampa protegidas geologicamente, finalmente el contenido mineral cae en la base y el agua de la superficie es recuperada mayormente y una parte se evapora.

En la empresa del rubro minero este relave sirve como el alimento de la planta concentradora, que procesa el mismo para extraer el cobre, hierro y zinc que aun contiene.

### **2.3.4 Bomba Piston-Diafragma**

Bomba reciprocante de diafragma de pistón de efecto simple triple, equipada con el diafragma de caucho para separar el pistón, casquillo de cilindro y otros componentes móviles de la bomba desde la pulpa transportada, para que funcione

en el aceite limpio, lo que garantiza la vida útil de las piezas, además las piezas de fácil desgaste de repuesto de la bomba solo son la válvula, diafragma y pieza de sellado de cabeza de bomba; mientras tanto la estructura de montaje de piezas de fácil desgaste esta razonablemente diseñada de modo que la revisión y el reemplazo sean convenientes y rápidos. Esta bomba de diafragma se caracteriza por alta eficiencia, ahorro energético, funcionamiento estable, convirtiéndose en el equipo de transporte de pulpa ideal del sistema tecnológico de alta tasa de operación continua. (COLTD, 2014)

*Figura 3 Bomba pistón-diafragma, área de relave*



*Fuente\_ imagen tomada en la sala de bombas pistón-diafragma*

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Métodos y alcance de la investigación**

##### **3.1.1. Método de la investigación**

Este es un trabajo de investigación es de tipo aplicada por qué pretende dar solución a situaciones o problemas identificables. Según Cesar Bernal (2010) “La investigación de tipo aplicada parte del conocimiento generado por la investigación básica, tanto para identifica problemas sobre los que se debe intervenir para definir las estrategias de solución” (Roberto Hernandez Sampieri, 2014)

El nivel de investigación es aplicativo ya que se describe a los equipos del área de relave en su condición actual para poder mejorar la disponibilidad de los equipos.

##### **3.1.2. Diseño de la investigación**

La investigación es cuantitativa no experimental según H. Sampieri (2014) “el enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías” (Roberto Hernandez Sampieri, 2014)

Diseño de investigación de tipo no experimental transversal ya que como se define Cesar Bernal (2010), “el tipo correlacional busca determinar el grado de intensidad existente de dos o más variables, o el grado de relación existente entre dos fenómenos o realidades”. (Roberto Hernandez Sampieri, 2014)

#### **3.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La recolección de datos se realiza de los reportes diarios del operador del equipo y reportes mensuales del área de mantenimiento, dichos reportes se encuentran en cuadernos y registrados en computador.

## CAPÍTULO IV

### DIAGNÓSTICO Y RESULTADOS

#### 4.1. Procedimientos

##### 4.1.1. Analisis y diseño de la metodología RCM

A. Elaboración de lista de equipos y sistemas funcionales.

La bomba pistón-diafragma 10x10 fabricado por Chongqing Pump Industry Co, ltd. Es una bomba de pistón de efecto simple triple, bombea 440m<sup>3</sup>/h es el equipo de mayor criticidad de la planta concentradora ubicada en el área de bombeo de relave, cuya función principal es bombear el relave con un porcentaje de solidos de 60% a lo largo de 4Km hacia la relavera Chocon2.

En el área se tienen 4 bombas piston idénticas y de operación continua, se va a tomar para el análisis una bomba. Asignaremos una codificación 610PU009 como sistema y subsistemas para su fácil identificación y procesamiento de datos en Tabla 3.

*Tabla 3. Asignación de sistemas y subsistemas*

Código de equipos	Equipo	Sistema funcional	Código sistema funcional
610PU009	Bomba pistón diafragma	Sistema de lubricación bomba	9100
		Sistema hidráulico	9200
		Sistema de lubricación del reductor	9300
		Reductor	9400
		Bomba	9500
		Eléctrico	9600
		Motor principal	

*Fuente: elaboración propia*

## B. Análisis de criticidad

Con la codificación de equipos se va a realizar un análisis de criticidad de los sistemas, donde se va a evaluar producción, calidad, mantenimiento y seguridad, como resultado del análisis se muestra la Tabla 4.

Tabla 4. Identificación de criticidad de los sistemas

Código sistema	Equipo	Criticidad	Criticidad
9100	Sistema de lubricación bomba	C	bajo
9200	Sistema hidráulico	A	alto
9300	Sistema de lubricación del reductor	B	medio
9400	Reductor	B	medio
9500	Bomba	A	alto
9600	Eléctrico	B	medio
9700	Motor principal	B	medio

Fuente: elaboración propia

Como resultado tenemos que los sistemas críticos según el análisis ANEXO2, son el sistema hidráulico y bomba.

## C. Análisis de modo de falla y efectos FMECA

“Por medio del análisis de modo de falla, efecto y criticidad, analizamos los sistemas prioritarios obtenidos en la tabla anterior, bomba y sistema de lubricación que son los sistemas criticidad A, se va identificar las fallas y las posibles consecuencias que puedan causar” (Mourbray, 2000)

“Este análisis se divide en 4 fases:

“Fase 1. Selección de la maquina critica”

“Fase 2. Descomposición de la máquina”

“Fase 3. Individualización del modo de falla y evaluación de la criticidad de los elementos”

“Fase 4. Análisis de las causas de fallas e individualización de los componentes críticos” (Garrido, 2003)



El equipo de trabajo conformado por los operadores, técnicos de mantenimiento y supervisores en conjunto realizara el análisis de cada equipo y sus subsistemas, elaborando una lista de las fallas documentadas en los historiales del equipo que son reportados por los operadores.

Figura 4. Diagrama de lubricación bomba pistón-diafragma

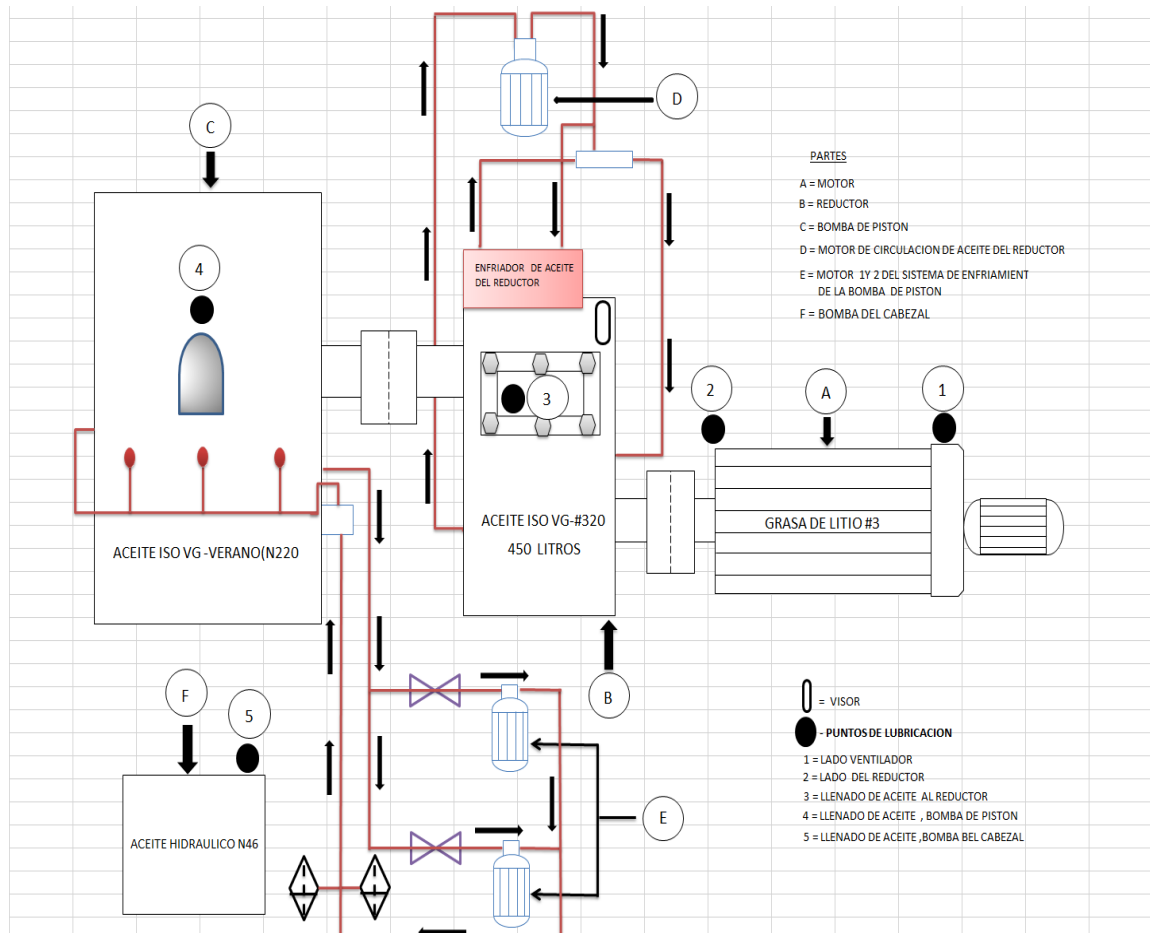


Tabla 5. Análisis FMECA

Sistema	subsistema	función	Modos de Falla Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales	Causas Potenciales	SEV	OCU	DET	NPR
9200 sistema hidráulico	bomba de rellenado	bompear el aceite hidráulico hacia el pistón para su desplazamiento	baja presión de bombeo	parada de la bomba de rellenado	aceite contaminado	3	3	8	72
	bomba de inyección	bompear el aceite hidráulico hacia el pistón para su desplazamiento	baja presión de bombeo	parada de la bomba de inyección	aceite contaminado	4	3	8	96
	9203 diafragmas	división entre el aceite y relave, ejerce la fuerza de bombeo sobre la cámara	rotura del diafragma	Contaminación de aceite con relave	rotura o quiebre de diafragma	8	6	9	432
	cilindro hidráulico	contiene los pistones y aceite hidráulico	golpes en el interior del cilindro hidráulico	daños en los pistones	contaminación de aceite	5	2	8	80
	filtros de aceite	baja de presión del aceite	obstrucción de filtros	parada del equipo	contaminación de aceite	4	2	5	40
9500 bomba	9501 valvulas unidireccionales alimentación	guía el movimiento de apertura y cierre de la válvula	rotura de vástago	cambio de válvula	cuerpos extraños en el relave	8	7	5	280
		es la base del cuerpo de la válvula, contiene el movimiento de la válvula	daño de asiento de válvula	cambio de asiento	cuerpos extraños en el relave	8	7	5	280

		realiza la apertura y cierre de la válvula unidireccional	rotura de resorte	cambio de resorte	cuerpos extraños en el relave, mala calidad del repuesto	8	7	5	280
	válvulas unidireccionales descarga	guía el movimiento de apertura y cierre de la válvula	rotura de vástago	cambio de válvula	cuerpos extraños en el relave	8	3	5	120
		es la base del cuerpo de la válvula, contiene el movimiento de la válvula	daño de asiento de válvula	cambio de asiento	cuerpos extraños en el relave	8	3	5	120
		realiza la apertura y cierre de la válvula unidireccional	rotura de resorte	cambio de resorte	cuerpos extraños en el relave, mala calidad del repuesto	8	3	5	120
	eje de bomba	contiene las bielas de la bomba y realiza el movimiento de bombeo	golpes en caja fuerza	parada del equipo	cuerpos extraños en el relave, mala calidad del repuesto	8	3	3	72
	cámaras de nitrógeno	amortiguan el flujo de descarga de bombeo del relave	fuga de nitrógeno	golpes en bomba	fisura de la cámara de nitrógeno	2	2	5	20
	tanque amortiguador de presión	amortiguan el flujo de alimentación de bombeo del relave	fuga de pulpa	golpes en bomba	desgaste del material	5	2	5	50

*Fuente\_ Elaboración propia*

Con los modos de falla que identificamos en el cuadro anterior, vamos a proponer medidas de control y medidas correctivas de los sistemas prioritarios, identificando el tipo de mantenimiento que se va aplicar.

Tabla 6. Análisis FMECA medidas preventivas

Sistema	subsistema	función	Modos de Falla Potenciales	Controles de Ocurrencia	tipo de mantenimiento
9200 sistema hidráulico	9201 bomba de rellenado	bompear el aceite hidráulico hacia el pistón para su desplazamiento	baja presión de bombeo	monitoreo de aceite	mantenimiento predictivo
	9202 bomba de inyección	bompear el aceite hidráulico hacia el pistón para su desplazamiento	baja presión de bombeo	monitoreo de aceite	mantenimiento predictivo
	9203 diafragmas	división entre el aceite y relave, ejerce la fuerza de bombeo sobre la cámara	rotura del diafragma	sensores de sensibilidad química	mantenimiento preventivo
	9204 cilindro hidráulico	contiene los pistones y aceite hidráulico	golpes en el interior del cilindro hidráulico	monitoreo de aceite	mantenimiento predictivo
	9205 filtros de aceite	baja de presión del aceite	obstrucción de filtros	limpieza de filtro y/o cambio	mantenimiento preventivo
9500 bomba	9501 válvulas unidireccionales alimentación	guía el movimiento de apertura y cierre de la válvula	rotura de vástago	mantenimiento periódico de válvulas	mantenimiento preventivo
		es la base del cuerpo de la válvula, contiene el movimiento de la válvula	daño de asiento de válvula	mantenimiento periódico de válvulas/ filtrar de impurezas el relave	mantenimiento preventivo
		realiza la apertura y cierre de la válvula unidireccional	rotura de resorte	mantenimiento periódico de válvulas/ filtrar de impurezas el relave	mantenimiento preventivo
	9502 valvulas unidireccionales descarga	guía el movimiento de apertura y cierre de la válvula	rotura de vástago	mantenimiento periódico de válvulas	mantenimiento preventivo
		es la base del cuerpo de la válvula, contiene el movimiento de la válvula	daño de asiento de válvula	mantenimiento periódico de válvulas/ filtrar de impurezas el relave	mantenimiento preventivo

		realiza la apertura y cierre de la válvula unidireccional	rotura de resorte	mantenimiento periódico de válvulas/ filtrar de impurezas el relave	mantenimiento preventivo
	eje de bomba	contiene las bielas de la bomba y realiza el movimiento de bombeo	golpes en caja fuerza	filtro al ingreso de la bomba	mantenimiento preventivo
	cámaras de nitrógeno	amortiguan el flujo de descarga de bombeo del relave	fuga de nitrógeno	monitoreo de la presión de nitrógeno	mantenimiento predictivo
	tanque amortiguador de presión	amortiguan el flujo de alimentación de bombeo del relave	fuga de pulpa	monitoreo de espesor de tuberías	mantenimiento predictivo

Fuente\_ Elaboración propia

#### D. Estudio de medidas a adoptar

Determinado los sistemas y modos de falla, se procede analizar las medidas preventivas que se pueden adoptar para eliminar la falla o reducir el impacto. Estas medidas se clasifican en cuatro tipos: (Garcia Carrillo, 2003)

“Tareas de mantenimiento”

“Mejoras y/o modificaciones de la instalación”

“Cambios en los procedimientos de operación”

“Cambios en los procedimientos de mantenimiento”

Se analizan las fallas potenciales y las posibles medidas a tomar para evitar la falla, a continuación, se muestran las propuestas tanto para el área de operaciones como para mantenimiento, está demostrado que una mala operación y desconocimiento de los equipos puede producir fallas en el funcionamiento del equipo, se debe tener un trabajo en conjunto entre las dos áreas producción y mantenimiento para conseguir la confiabilidad del equipo.

Tabla 7. Analisis FMECA procedimientos

Sistema	subsistema	función	Modos de Falla Potenciales	Tareas de mantenimiento	Mejoras	Procedimientos de producción	Procedimientos de mantenimiento
9200 sistema hidráulico	bomba de rellenado	bombear el aceite hidráulico hacia el pistón para su desplazamiento	baja presión de bombeo	monitoreo de aceite	Instalación de sensor de presión a la descarga de la bomba	Apertura válvulas de succión y descarga al arranque	Monitorios de temperatura, aceite, limpieza de filtros.
	bomba de inyección	bombear el aceite hidráulico hacia el pistón para su desplazamiento	baja presión de bombeo	monitoreo de aceite	Instalación de sensor de presión a la descarga de la bomba	Apertura válvulas de succión y descarga al arranque	Monitorios de temperatura, aceite, limpieza de filtros.
	diafragmas	división entre el aceite y relave, ejerce la fuerza de bombeo sobre la cámara	rotura del diafragma	sensores de sensibilidad química	Mejorar la calidad del diafragma, instalar un sensor de sensibilidad química	verificar visualmente la pureza del aceite	realizar muestreos
	cilindro hidráulico	contiene los pistones y aceite hidráulico	golpes en el interior del cilindro hidráulico	monitoreo de aceite	Realizar cambio de válvulas unidireccionales según las horas de operación.	Realizar el arranque del equipo con agua, para aliviar presiones	Purgar constantemente el aceite hidráulico.
	filtros de aceite	baja de presión del aceite	obstrucción de filtros	limpieza de filtro y/o cambio	Cambio periódico de los filtros de aceite	Verificar la presión de bombeo	Limpieza de los filtros.
9500 bomba	válvulas unidireccionales alimentación	guía el movimiento de apertura y cierre de la válvula	rotura de vástago	mantenimiento periódico de válvulas	Mejorar la calidad y diseño de los vástagos y resortes de la válvula unidireccional.	Monitoreo de sonidos diferentes al funcionamiento de la bomba.	Mantenimiento de las válvulas unidireccionales según las horas de operación.

		es la base del cuerpo de la válvula, contiene el movimiento de la válvula	daño de asiento de válvula	Mantenimiento periódico de válvulas/ filtrar de impurezas el relave	Instalar mallas al ingreso de la bomba que impida el paso de cuepas extraños	Realizar el lavado de bomba y purgar al parar el equipo	Realizar cambio periódico de las válvulas unidireccionales
		realiza la apertura y cierre de la válvula unidireccional	rotura de resorte	mantenimiento periódico de válvulas/ filtrar de impurezas el relave	Instalar mallas al ingreso de la bomba que impida el paso de cuerpos extraños	Realizar el lavado de bomba y purgar al parar el equipo	Realizar cambio periódico de las válvulas unidireccionales
	válvulas unidireccionales descarga	guía el movimiento de apertura y cierre de la válvula	Rotura de vástago	Mantenimiento periódico de válvulas	Instalar mallas al ingreso de la bomba que impida el paso de cuepas extraños	Realizar el lavado de bomba y purgar al parar el equipo	Realizar cambio periódico de las válvulas unidireccionales
		es la base del cuerpo de la válvula, contiene el movimiento de la válvula	Daño de asiento de válvula	Mantenimiento periódico de válvulas/ filtrar de impurezas el relave	Instalar mallas al ingreso de la bomba que impida el paso de cuepas extraños	Realizar el lavado de bomba y purgar al parar el equipo	Realizar cambio periódico de las válvulas unidireccionales
		realiza la apertura y cierre de la válvula unidireccional	Rotura de resorte	Mantenimiento periódico de válvulas/ filtrar de impurezas el relave	Instalar mallas al ingreso de la bomba que impida el paso de cuepas extraños	Realizar el lavado de bomba y purgar al parar el equipo	Realizar cambio periódico de las válvulas unidireccionales
	eje de bomba	contiene las bielas de la bomba y realiza el movimiento de bombeo	Golpes en caja fuerza	Filtro al ingreso de la bomba	Realizar inspección interna de la bomba	Realizar el arranque con inyección de agua	Purgar el equipo, aceite hidráulico
	cámaras de nitrógeno	amortiguan el flujo de descarga de bombeo del relave	Fuga de nitrógeno	Monitoreo de la presión de nitrógeno	Cambio de los sensores de presión	Monitoreo de la presión	Revisión del diafragma de la cámara de nitrógeno

	tanque amortiguador de presión	amortiguan el flujo de alimentación de bombeo del relave	Fuga de pulpa	Monitoreo de espesor de tuberías	de	Cambio de tuberías desgaste	de por	Inspección visual antes y durante el arranque	Medición del espesor de tuberías
--	--------------------------------	--	---------------	----------------------------------	----	-----------------------------	--------	---	----------------------------------



Tabla 8. Hoja de información RCM de un sistema

Hoja de información RCM	sistema:	fecha	técnico
	9200 Sistema hidráulico	20/02/20	Salomón Lazares
subsistema	función	Modos de Falla Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales
9201bomba de rellenado	bombear el aceite hidráulico hacia el pistón para su desplazamiento	baja presión de bombeo	parada de la bomba de rellenado
9202bomba de inyección	bombear el aceite hidráulico hacia el pistón para su desplazamiento	baja presión de bombeo	parada de la bomba de inyección
9203diafragmas	división entre el aceite y relave, ejerce la fuerza de bombeo sobre la cámara	rotura del diafragma	contaminación de aceite con relave
9204cilindro hidráulico	contiene los pistones y aceite hidráulico	golpes en el interior del cilindro hidráulico	daños en los pistones
9205filtros de aceite	baja de presión del aceite	obstrucción de filtros	parada del equipo

Fuente\_ Elaboración propia

Finalmente tenemos la cartilla de información de RCM, la cual se implementó con las bombas pistón, detallando los sistemas y subsistemas. Se presenta la cartilla al equipo de mantenimiento, el cual en coordinación con el área de producción se prioriza el cumplimiento de los mantenimientos, para evitar futuras paradas del equipo por fallas graves.

## 4.2. Resultados y discusión

### 4.2.1. Resultados y análisis de la información

Luego de la aplicación de la metodología como se muestra en las tablas anteriores, se aplica por un periodo de tres meses al área de bombeo de relave, durante este tiempo el área de mantenimiento lleva un mejor control de los equipos y cumplimiento de los mantenimientos, se tiene como resultado una mejora de la disponibilidad de los equipos de un 60% a un 70% proyectado en un periodo de 6 meses.

Las cartillas de mantenimiento tienen que ser aplicadas constantemente ya que evitar un mantenimiento puede producir pérdidas en la producción.

Tabla 9. Análisis de resultados

Indicadores	Formula	Valores 2019	Resultado aplicando RCM
Tiempo de paradas por mantenimiento(hr)	Se tiene en cuenta los datos recolectados(anexos)horas de parada por mantenimientos correctivos	384	100
Tiempo medio entre fallas	$\frac{\sum \text{horas en marcha de los equipos en el periodo}}{\text{cantidad de fallas de ese grupo de equipos}}$	144	360
Tiempo promedio para reparaciones	$\frac{\sum_{i=1}^{i=n} \text{Horas det enido por correctivos}_i}{\text{Cantidad de OT Correctivas}}$	3.310	1.39
Frecuencia de fallas		50%	10%
horas de operación		8256	2060

Fuente\_ Elaboración propia

Con esta mejora de la disponibilidad de un 10%, se reducen 284 horas perdidas por paradas de fallas de las bombas, lo que es equivalente a \$2039.12 en pérdidas que se evitaron por un mantenimiento programado. Como se demuestra esta pérdida económica en la producción trae mayores ganancias para la empresa que pueden ser usadas para la misma área de mantenimiento en la compra de repuestos y

mejora de la logística que es una parte importante para el cumplimiento de este programa.

#### **4.2.2. Prueba de hipótesis**

Con la propuesta de los trabajos programados de mantenimiento se muestra un trabajo organizado y programado que evita las paradas intempestivas de la bomba pistón, evitando pérdidas en la producción.

Se demuestra el aumento de la disponibilidad de la bomba pistón-diafragma de un 60% a un 70%, mostrando un trabajo continuo del equipo, siempre y cuando se cumplan los trabajos programados.

#### **4.2.3. Discusión de resultados**

Con esta investigación se logra aumentar la disponibilidad de los equipos de un 60 a un 70%, tenemos una lista de trabajos que se implementaron el 2020, mejorando la disponibilidad de los equipos, las horas perdidas por parada de los equipos a disminuido, este trabajo es el primer aporte para empezar la gestión de mantenimiento de toda la empresa, actualmente no se tiene un control o programación de los trabajos en las diferentes áreas, debido a los resultados positivos se pretende implementar la metodología RCM para los diferentes equipos de la planta concentradora, ya que siempre se tiene problemas por falla repetitivas de los equipos.

Melchor Cahuaya Rogger (2016) en su tesis “Programa de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de la bomba Mars III en la Compañía Minera Santa Luisa S.A.” implementa un plan de mantenimiento desde cero de la bomba Mars que son críticas en el área, son 3 bombas que trabajan constantemente, y los tiempos de mantenimiento tienen que ser óptimos para no tener pérdidas en la producción, Al igual que las bombas pistón-diafragma que son 3 bombas que trabajan constantemente no se cuenta con equipo stand by, para de esta manera poder dar un mantenimiento completo al equipo, que desde el primer día de trabajo no han recibido un mantenimiento preventivo.

En esa tesis se elaboró el programa de mantenimiento preventivo incrementando la disponibilidad de 51.4% a 80.4%, la disponibilidad de los equipos en una empresa es fundamental para asegurar la operación, en nuestra investigación también se

aplica el método para las 3 bombas pistón, teniendo buenos resultado en la producción de la empresa.

## **CONCLUSIONES**

### **PRIMERA**

El objetivo del plan de mantenimiento es garantizar un equipo capaz de trabajar con alto rendimiento y calidad, evitar daños a los equipos y factor humano, establecer trabajos estándares en un tiempo establecido, una mejor planificación y control de las paradas de los equipos, esto reduce en un gran porcentaje las pérdidas en la producción, con el análisis realizado se logró aumentar a un 80.4% la disponibilidad de las bombas Pistón, las cuales representaban siempre una parada de planta no programada.

### **SEGUNDA**

Para poder aumentar la eficiencia de la bomba pistón, fue importante el registro de información de los equipos, con información de calidad se asegura que el analista conozca bien el equipo para realizar el análisis, antes de iniciar las 7 preguntas del RCM. Se debe empezar por los equipos críticos de la planta, como se realizó este plan de mantenimiento empezando por bombas pistón que es el equipo más crítico de la planta, realizando el análisis de modos y causas de falla, se puede identificar las causas raíz de los problemas del equipo que causan la parada, se proporciona una visión rápida y clara de los efector relacionados a la falla principal.

### **TERCERA**

Se concluye que un análisis de las fallas y la implementación de un plan de mantenimiento reducen los costos en el equipo y aumenta la producción, no solo se centra en el mantenimiento, la propuesta de gestión también nos indica que es importante revisar los procedimientos de operación, ya que muchas veces un mal paso puede estar produciendo fallas en el equipo, mayormente el operador es el que conoce más el equipo operacionalmente y se puede implementar mejoras. La implementación de este plan de mantenimiento también involucra al área logística que también tiene que brindar los repuestos en los tiempos indicados para el mantenimiento del equipo, como se ve la conservación y buena operación del equipo es un trabajo en conjunto de varias áreas involucradas con un fin común, es así que esta propuesta de gestión asegura una operación continua del equipo, evitando paradas no planificadas.

## **RECOMENDACIONES**

### **PRIMERA**

Para una exitosa implementación del RCM en la empresa se recomienda el apoyo de la dirección de la empresa, considerarse como una estrategia de la empresa, no debe verse como un tema aislado del área de mantenimiento, ya que esta no va a trabajar sola, se va a requerir el apoyo del área de logística y un presupuesto asignado para poder cumplir los mantenimientos programados, se tiene un detalle de componentes y repuestos con los que se debe contar en stock para los trabajos rutinarios,

### **SEGUNDA**

La recolección de datos es importante, se debe contar con una base de datos, historiales de los equipos más importantes de la planta, no se debe pretender aplicar RCM a todos los equipos de la planta, se debe analizar cada equipo y solo se puede aplicar mantenimientos preventivos o correctivos. En la actualidad tenemos también software que se pueden instalar para un mejor control ya con una base y organización del mantenimiento de las bombas pistón.

### **TERCERA**

Se recomienda también tener en cuenta el factor humano, contar con personal capacitado y conocedor de los equipos, ya que de nada serviría tener el plan de mantenimiento para las bombas pistón y no contar con personal de mantenimiento que conozca el funcionamiento y el mantenimiento que debe realizar a la bomba, realizar un mal mantenimiento puede producir el doble de fallas en el equipo y puede conllevar a dañar otros componentes, las fallas y/o problemas que se arrastran en un equipo comúnmente llevar a dañar partes más importantes en el equipo y puede llevar a una parada con un problema más complejo de resolver.

## BIIOGRAFIA

1. **Alexander Bustamante. 2019.** *Reporte de horas de operaciones de equipos* . Marcona : Minera Shouxin, 2019. 01.
2. **COLTD, Chongqing Pump Industry. 2014.** *Manual de uso bomba Pistón-Diafragma.* China : s.n., 2014.
3. **Cruz Agustin, Percy. 2019.** *Propuesta de implementacion un sistema de gestion de mantenimiento preventivo para optimizar la disponibilidad de equipos en el area de chancado de la planta concentradora.* Huancayo : Universidad Continental, 2019.
4. **Farfan Berlin, Fabian. 2019.** *Plan de mantencion preventiva del chancador primario Fuller en diviion Codelco Andina.* Valdivia - Chile : Universidad Austral de Chile, 2019.
5. **Garcia Carrillo, Santiago. 2003.** *Organizacion y gestion integral de mantenimmiento.* Chile : s.n., 2003.
6. **Garrido, Santiago Garcia. 2003.** *Organizacion y gestion integral del mantenimiento.* Madrid : s.n., 2003.
7. **Manzaneda, Jose. 2000.** *Procesamiento de minerales.* Peru : s.n., 2000.
8. **Melchor Cahuaya, Rogger. 2016.** *Programa de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de la bomba Mars III en la Compañia Minera Santa Luia.* Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Peru, 2016.
9. **Mourbray, John. 2000.** *RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.* Gran Bretaña : s.n., 2000.
10. **Pacheco Valencia, Maria. 2015.** *Plan de mantenimiento preventivo para los procesos de trituracion y molienda de la planta beneficio Mari Dama Frontino Gold Mines.* Colombia : s.n., 2015.

11. **Palomares Quintanilla, Elvis. 2015.** *Implementacion del mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) al Sistema de Izaje Mineral en la compañía Milpo Unidad el Porvenir.* Lima : Univeridad Nacional de Ingenieria, 2015.
12. **Pacheco Valencia, Maria. 2015.** *Plan de mantenimiento preventivo para los procesos de trituracion y molienda de la planta beneficio Maria Dama Frontino Gold Mines.* Colombia : s.n., 2015.
13. **Roberto Hernandez Sampieri, P. Baptista. 2014.** *Metodologia de la Investigacion.* Mexico : s.n., 2014.
14. **Shouxin, Operaciones Minera. 2018.** *Status de produccio, Operaciones planta.* Marcona : s.n., 2018.
15. **Villegas Arenas, Juan. 2016.** *Propuesta de mejora en la gestion del area de mantenimiento para la optimizacion del deempeño de la empresa MANFER S. R. L. Contratistas Generales.* Arequipa : Universidad Catolica San Pablo, 2016.
16. **Zabala Medina, Critobal. 2018.** *Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para el chancador primario Fuller, operacion Manto Verde.* Universidad Tecnica Federico Santa Maria. Valparaiso - Chile : Universidad Tecnica Federico Santa Maria, 2018. 1.
17. **Reportes de campo del área de relave 2018-2020,** cuadernos de reporte de operaciones y mantenimiento mecánico.
18. **Status de producción, Operaciones planta concentradora 2018-2020,** documentos digitales de producción mensual.
19. **Moubray John,** Mantenimiento centrado en la confiabilidad Rcm2, 2013.  
[http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos\\_rcm\\_archivos/RCM\\_2%20EXPLICACION.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos_rcm_archivos/RCM_2%20EXPLICACION.pdf)
20. **Omar Campos,** Metodologia de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, Mexico 2016.  
<https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61458265006/html/index.html>

**21. Portal Ingeniería del mantenimiento**, Plan de mantenimiento basado en RCM. <http://ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/26-articulos-destacados/17-plan-de-mantenimiento-basado-en-rcm>



## **ANEXOS**

\_ Matriz de consistencia

TITULO: PROPUESTA DE MEJORA EN LA GESTION DE MANTENIMIENTO DE LA BOMBA PISTON-DIAFRAGMA EN EMPRESA DEL RUBRO MINERO BASADO EN LA METODOLOGIA RCM				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<b>1. Problema general</b>	<b>1. Objetivo General</b>	<b>1. Hipótesis General</b>	<b>V. Independiente</b>	1. Enfoque de investigación Cuantitativo 2. Tipo de Investigación Aplicada 3. Método Inductivo 4. Diseño No experimental-transversal 5. Unidad de estudio Objetos 6. Técnica Observación 7. Instrumento Recolección de datos
¿De que manera la mejora en la gestión de mantenimiento por medio de la aplicación de la metodología RCM puede aumentar la disponibilidad de la bomba pistón -diafragma .?	Determinar en que manera la mejora en la gestión de mantenimiento por medio de la aplicación de la metodología RCM aumentara la disponibilidad de la bomba pistón-diafragma.	La Optimización del sistema de gestión de mantenimiento por medio de la metodología RCM aumenta la disponibilidad de la bomba pistón- diafragma.	Sistema gestión de mantenimiento del área de bombeo relave, basada en metodología RCM	
<b>2. Problemas Específicos</b>	<b>2. Objetivos Específicos</b>		<b>V. Dependiente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo mejorar la gestión de mantenimiento de la empresa?</li> <li>• ¿En que medida la aplicación de la metodología RCM mejoraría productividad de la empresa?</li> <li>• ¿Cómo asegurar la operación continua de la bomba piston-diafragma?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar la disponibilidad de los equipos.</li> <li>• Determinar el porcentaje del aumento de la producción por la disponibilidad de la bomba piston-diafragma.</li> <li>• Diseñar una propuesta de mantenimiento para asegurar la operación continua.</li> </ul>		Disponibilidad de equipos	

## ANEXO2. Historial de fallas bombas pistón-diafragma 2019-2020

CONTROL DE MANTENIMIENTO POR EQUIPO									
TAG DE EQUIPO :		610PU007 BOMBA PISTON							
Item	FECHA	MANTENIMIENTO		MOTIVO		HORAS DE OPERACION ACUMULADAS	DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO	OBSERVACION	HORAS EQUIPO PARADO
		MECANICO	ELECTRICO	PREVENTIVO	CORRECTIVO				
1	11/21/2019	X			X	196	cambiaron 06 valvulas y 03 bocinas		
2	12/10/2019	x		x			se inspeccionaron y cambiaron valvulas unidireccionales de succion se cambio vastago, asientos resorte	pendiente descarga x plataforma dañada	Salomon.
3	1/3/2020		x		x		Se realizo cambio convertidor de señal de temperatura (q sensa el motor electrico)		jose mego
4	1/10/2020	x		x			Se cambiaron vástagos bocina y resorte (Valvula #1.2.3.4.5.6) y se cambiaron los asientos (4.5.6)		Salomon.
5	2/12/2020		x				se para equipo por alarma falla convertidor de frecuencia	por sobretension	
6	2/15/2020	x		x			Se cambiaron vástagos bocina y resorte (Valvula #1.2.3.4.5.6)		
7	7/5/2020	X		X			se cambiaron vastagos y resortes de las 6 valvulas, bocina válvula 2/4,,, y se modificaron las tapas de las valvulas 1 y 3 a prueba		salomon
-									

CONTROL DE MANTENIMIENTO POR EQUIPO									
TAG DE EQUIPO :		610PU008 BOMBA PISTON							
Item	FECHA	MANTENIMIENTO		MOTIVO		HORAS DE OPERACION ACUMULADAS	DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO	OBSERVACION	RESPONSABLE
		MECANICO	ELECTRICO	PREVENTIVO	CORRECTIVO				
1	11/18/2019	X				X	Se cambiaron los vastagos de succion 1,2 y 3. Se cambiaron los asientos 1 y 3. Se ha reforzado la tubería de succion, presentaba hueco.	presenta golpes en las valvulas unidireccionales 2,4 y 5	presenta golpes en las valvulas unidireccionales
2	12/16/2019	X			X		se cambiaron los resortes , valvulas conicas y bocinas de las 6 valvulas unidireccionales		
3	1/14/2020	x		x			Mecanicos cambiaron vastago , bocinas, resortes, asientos en las 06 valvulas unidireccionales.	componentes nuevos	salomon
4	2/12/2020		x				se para equipo por alarma falla convertidor de frecuencia	por sobretension	
5	2/28/2020	x		x			cambio de vastagos resortes y bocina de las 6 valvulas unidireccionales		
6	7/12/2020	x		x			mantenimiento preventivo		

TAG DE EQUIPO : 610PU009 BOMBA PISTON									
tem	FECHA	MANTENIMIENTO		MOTIVO		HORAS DE OPERACION ACUMULADAS	DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO	OBSERVACION	RESPONSABLE
		MECANICO	ELECTRICO	PREVENTIVO	CORRECTIVO				
1	12/2/2019	X	X		X	630	se interviene camara N° 2 y 3. se cambia diafragma de la camara 2. se limpia sistema hidraulico. Revisaron las 03 valvulas unidireccionales 1,2 y 3, se cambio bocina en la valvula N° 1. se cambio los 03 sensores de sensibilidad quimica. Destaparon la camara N° 1 se encontro sucio en la parte interior. Se rellena 6 1/4 de cilindros de aceite.	retorque de perneria de la camara N° 3. se purga el aire de las 3 camaras	salomon
2	1/5/2020	X			X		Se cambio valvula conica completa (mas resortes) N°1 y N° 2.	se inspecciono la 3 todo ok	salomon
3	1/15/2020		X	X			se cambio cable profibus por problemas de comunicaci3n y mantenimiento al tablero, megado de motor equipos auxiliares	cambiar valvula cuchilla succion	
4	1/29/2020	x		x			Se realizo cambio total : asiento resorte bocina valvula conica : 1,2,3,4,5y 6	accesorios nueviss	Galindo
5	2/6/2020	X					SE REALIZO CAMBIO DE LOS COMPONENTES DE LAS 6 VALVULAS UNIDIRECCIONALES, CAMBIO DE ACEITE HIDRAULICO		
6	2/12/2020		x				se para equipo por alarma falla convertidor de frecuencia	por sobretension	
7	2/22/2020	x	x		x		revisi3n de diafragma 1/2 por contaminaci3n de aceite		
8	3/1/2020	x			x		se cambiaron resortes valvulas 1,2,,4,5,6,y vastago de #1		
9	6/30/2020	X	X				Se realiza mantenimiento preventivo, v3lvula 3,4,5 se cambio vastagos		

Anexo 3. Programa de mantenimiento RCM bombas Pistón Diafragma

Sistema	subsistema	funcion	Modos de Falla Potenciales	Tareas de mantenimiento	Mejoras	Procedimientos de produccion	Procedimientos de mantenimiento
9200 sistema hidraulico	bomba de rellenado	bompear el aceite hidraulica hacia el piston para su desplazamiento	baja presion de bombeo	monitoreo de aceite	Instalacion de sensor de presion a la descarga de la bomba	Aperturar valvulas de succion y descarga al arranque	Monitoreos de temperatura, aceite, limpieza de filtros.
	bomba de inyeccion	bompear el aceite hidraulica hacia el piston para su desplazamiento	baja presion de bombeo	monitoreo de aceite	Instalacion de sensor de presion a la descarga de la bomba	Aperturar valvulas de succion y descarga al arranque	Monitoreos de temperatura, aceite, limpieza de filtros.
	diafragmas	division entre el aceite y relave, ejerce la fuerza de bombeo sobre la camara	rotura del diafragma	sensores de sensibilidad quimica	Mejorar la calidad del diafragma, instalar un sensor de sensibilidad quimica	verificar visualmente la pureza del aceite	realizar muestreos
	cilindro hidraulico	contiene los pistones y aceite hodraulico	golpes en el interios del cilindro hidraulico	monitoreo de aceite	Realizar cambio de valvulas unidireccionales según las horas de operación.	Realizar el arranque del equipo con agua, para aliviar presiones	Purgar constantemente el aceite hidraulico.
	filtros de aceite	baja de presion del aceite	obstruccion de filtros	limpieza de filtro y/o cambio	Cambio periodico de los filtros de aceite	Verificar la presion de bombeo	Limpieza de los filtros.

9500 bomba	valvulas unidireccionales alimentacion	guia el movimiento de apertura y cierre de la valvula	rotura de vastago	mantenimiento periodico de valvulas	Mejorar la calidad y diseño de los vastagos y resortes de la valvula unidireccional.	Monitoreo de sonidos diferentes al funcionamiento de la bomba.	Mantenimiento de las valvulas unidireccionales según las horas de operación.
		es la base del cuerpo de la valvula, contiene el movimiento de la valvula	daño de asiento de valvula	Mantenimiento periodico de valvulas/ filtrar de impuresas el relave	Instalar mallas al ingreso de la bomba que impida el paso de cuerpos extraños	Realizar el lavado de bomba y purgar al parar el equipo	Realizar cambio periodico de las valvulas unidireccionales
		realiza la apertura y cierre de la valvula unidireccional	rotura de resorte	mantenimiento periodico de valvulas/ filtrar de impuresas el relave	Instalar mallas al ingreso de la bomba que impida el paso de cuerpos extraños	Realizar el lavado de bomba y purgar al parar el equipo	Realizar cambio periodico de las valvulas unidireccionales
	valvulas unidireccionales descarga	guia el movimiento de apertura y cierre de la valvula	Rotura de vastago	Mantenimiento periodico de valvulas	Instalar mallas al ingreso de la bomba que impida el paso de cuerpos extraños	Realizar el lavado de bomba y purgar al parar el equipo	Realizar cambio periodico de las valvulas unidireccionales
		es la base del cuerpo de la valvula, contiene el movimiento de la valvula	Daño de asiento de valvula	Mantenimiento periodico de valvulas/ filtrar de impuresas el relave	Instalar mallas al ingreso de la bomba que impida el paso de cuerpos extraños	Realizar el lavado de bomba y purgar al parar el equipo	Realizar cambio periodico de las valvulas unidireccionales
		realiza la apertura y cierre de la valvula unidireccional	Rotura de resorte	Mantenimiento periodico de valvulas/ filtrar de impuresas el relave	Instalar mallas al ingreso de la bomba que impida el paso de cuerpos extraños	Realizar el lavado de bomba y purgar al parar el equipo	Realizar cambio periodico de las valvulas unidireccionales
	eje de bomba	contiene las vielas de la bomba y realiza el movimiento de bombeo	Golpes en caja fuerza	Filtro al ingreso de la bomba	Realizar inspeccion interna de la bomba	Realizar el arranque con inyeccion de agua	Purgar el equipo, aceite hidraulico
	camaras de nitrogeno	amortiguan el flujo de descarga de bombeo del relave	Fuga de nitrogeno	Monitoreo de la presion de nitrogeno	Cambio de los sensores de presion	Monitoreo de la presion	Revision del diafragma de la camara de nitrogeno