



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

“Elaboración de un plan de mantenimiento con fines de reducción de costos utilizando la metodología del RCM para el área de molienda de la planta concentradora de minera Chinalco Perú”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico

AUTOR:

García Asmad, Jhonn Paul (ORCID: 0000-0002-8473-0515)

ASESOR:

Dr. Inciso Vasquez Jorge Antonio (ORCID: 0000-0001-8798-1283)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistema y planes de mantenimiento

TRUJILLO – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A mi Abuelo Juan Asmad Nuevo que, aunque ya no se encuentre entre nosotros, siempre me apoyó con sus consejos, gracias abuelito.

A mi madre; por demostrarme que los frutos se consiguen con esfuerzo; porque supo apoyarme al darme una nueva oportunidad, espero no haberla defraudado, gracias mamá.

A mis hermanos, primos, tíos; gracias por su apoyo desinteresado, permaneciendo siempre cerca y pendientes de mis logros y dificultades.

Esto va para ustedes, Gracias a todos.

AGRADECIMIENTO

Debo agradecer de manera especial y sincera al Ing. Jorge Inciso. Por su dirección en este trabajo de tesis. Su apoyo para guiar mis ideas en el desarrollo de esta tesis, y en la formación como Ingeniero Mecánico.

Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento al Ing. Víctor Mejía. Por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis. No cabe duda que su participación ha enriquecido el trabajo realizado.

A la UCV por su excelente plana Docente. Y a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

Agradezco a Dios por llenar mi vida de dicha y bendiciones. A mis queridos padres por forjarme con buenos principios, creer en mí y darme la oportunidad de realizarme en esta profesión.

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado, presento ante ustedes la tesis titulada *”Elaboración De Un Plan De Mantenimiento Con Fines De Reducción De Costos Utilizando La Metodología Del Rcm Para El Área De Molienda De La Planta Concentradora De Minera Chinalco Perú “LAS BAMBAS”*, en cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, la cual someto a vuestra consideración y esperando que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico-Electricista.

El autor

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
PRESENTACIÓN	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	V
RESUMEN.	VI
ABSTRACT.....	VII
I. INTRODUCCIÓN	8
II. MARCO TEÓRICO	9
A) PARTES PRINCIPALES DE UN MOLINO	15
2.1. <i>Formulación del Problema.</i>	22
2.2. <i>Justificación del Estudio.</i>	22
2.3. <i>Hipótesis</i>	22
2.4. <i>Objetivos</i>	23
III. METODOLOGÍA	24
3.1. <i>Diseño de Investigación</i>	24
3.2. <i>Variables</i>	25
3.2.1. Variables Independientes	25
3.2.2. Variables dependientes.....	25
3.3. <i>Operacionalización de Variables.</i>	26
3.4. <i>Población y Muestra</i>	27
3.4.1. Población	28
3.4.2. Muestra	28
3.5. <i>Técnica de recolección de Datos</i>	28
3.6. <i>Método de Análisis de Datos</i>	28
IV. RESULTADOS.....	29
4.1. <i>Diagnóstico del área de Molienda:</i>	29
4.2. <i>Lista de Equipos:</i>	29
4.3. <i>Frecuencia de fallas y Tiempo de paradas por reparación.</i>	34
4.4. <i>Diagrama de Pareto</i>	35
4.4.1. Número de fallas	35
4.5. <i>Diagrama de Pareto (Grafica)</i>	37
4.6. <i>Análisis de Criticidad</i>	38
4.7. <i>Determinación de los indicadores de mantenimiento KPIs en condiciones actuales</i>	49
4.8. <i>Planes de mantenimiento de equipos críticos:</i>	53
4.9. <i>Determinación de los indicadores de mantenimiento aplicando la metodología RCM.</i>	66
4.10. <i>Análisis de Inversión</i>	73
4.10.1. Precio de los Repuestos y Mano de Obra Directa	73
V. DISCUSIÓN.....	77
VI. CONCLUSIONES.	78
VII. RECOMENDACIONES.....	79
VIII. REFERENCIAS	80
IX. ANEXOS:	82

RESUMEN.

Este trabajo de investigación se fundamenta en un Diseño de mantenimiento y reducción de costos utilizando la Metodología del RCM para la planta concentradora de minera Chinalco Perú del área de molienda, la finalidad es contundente pues trata de reducir las paradas de planta no programadas, con ello se estable tareas que garanticen la disponibilidad y la confiabilidad de sus Equipos críticos en el Área de Molienda.

Para alcanzar el objetivo fue importante recaudar datos importantes para ver el historial de fallas de las maquinas más importantes tales como: Molinos SAG, Molino de Bolas ML 002 , Molino de Bolas ML 003 , Zaranda 4.2 x 8.5 M SN 001 , Bomba Sumergible 200 MCH 009 brindada gracias al área de mantenimiento de la minera, para lo cual se determinó a través de un análisis de Pareto que los 3 Molinos son los equipos más críticos (Molino Sag , Molino de Bolas ML 002 y Molino de Bolas ML 003).

Luego hemos realizado un cálculo detallado para los indicadores de mantenimiento quedando una disponibilidad (82.3 %) y confiabilidad (71.6%) , una vez que se determinaron los indicadores hemos procedido a analizar la criticidad para los diversos sistemas.

Con el desarrollo de la metodología hemos determinado lo siguiente:

- ✓ Procedimiento para el mantenimiento preventivo en base a MTBF.
- ✓ Como resultado del PMP se espera incrementar la disponibilidad y confiabilidad de la Planta Concentradora en el Área de Molienda.

Palabras Claves: Mantenimiento preventivo, confiabilidad, disponibilidad, criticidad.

ABSTRACT.

This thesis project is based on an implementation of Maintenance Management and Cost Optimization using the RCM (Reliability Centered Maintenance) for the chinalco Peru concentrator plant in the grinding area, in order to reduce the number of shutdowns And establish maintenance tasks that ensure the availability and reliability of your Critical Equipment in the Grinding Area.

In order to achieve this objective, it was necessary to collect fault history information from all major machines such as: SAG mills, ML 002 Ball Mill, NL 003 Ball Mill, 4.2 x 8.5 M SN 001, 200 MCH Submersible Pump 009 provided by the maintenance area of the mine, for which it was determined through a Pareto analysis that the most critical machine Ball Mill NL 003.

Then the maintenance indicators were calculated, obtaining as results an availability (82.3%) and reliability (71.6%) in the Ball Mill NL 003, once the indicators were determined, a criticality analysis was carried out To different systems.

Through the development of the methodology for the preventive maintenance plan throughout the development of the Thesis were determined:

- ✓ Procedure for preventive maintenance based on MTBF.
- ✓ As a result of the preventive maintenance plan, it is expected to increase the availability and reliability of the Concentrator Plant.

Keywords: Preventive maintenance, reliability, availability, criticality.

I. INTRODUCCIÓN

Minera Chinalco Perú con su Proyecto Toromocho es una mina de tajo abierto con reservas de cobre, molibdeno, se encuentra ubicada en la parte central de los andes en Perú, distrito de Morococha, provincia de Yauli, departamento de Junín.

Minera Chinalco Perú es una nueva operación minera con equipos nuevos recientemente catalogados, la cual inicio sus actividades en planta concentradora a inicios del año 2014, por lo cual en la actualidad no se tienen planes de mantenimiento de planta y a la vez no se tiene una buena gestión de activos.

Uno de los principales problemas que tiene Minera Chinalco es el elevado costo de mantenimiento del área de Molienda ya que es un área crítica de toda la planta concentradora.

Se tiene en la actualidad en planta concentradora de Minera Chinalco – Perú una matriz de criticidad la cual solo nos da los equipos a intervenir mas no, los índices de disponibilidad, confiabilidad, etc. Lo que se pretende hacer en el presente proyecto para los equipos críticos es diseñar un plan de mantenimiento, ya que el costo que se tiene por segundo de parada equivale a un promedio de 3000 dólares americanos.

La principal causal que presenta el área de molienda es el mantenimiento correctivo, es decir mantenimiento a la falla lo cual incurre en costos elevados tanto en horas hombre como en recambio de piezas y equipos.

-LAUREANO LUNA, Manuel Cristian. Tesis para Optar por el Título de Ingeniero Industrial “Propuesta de mejora del sistema de mantenimiento de una maestranza de metalmecánica”. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas – Lima, 2009.

El tema de la tesis es la GM, Esta investigación es de mucho aporte ya que nos habla sobre las paradas de máquinas no planificadas, en el cual plantea hacer un cambio de mantenimiento con lo cual pretende aumentar la disponibilidad de los equipos y maquinarias. También nos explica cómo debemos planificar los tiempos muertos

para intervenir los equipos, así de tal manera reducir los costos de operación. (Laureano Luna, 2009)

- VARGAS PEREZ, Welder Ulisser. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico “Programa de Mantenimiento para la Maquinaria Pesada de la Zonal Vial 11, de Caminos, en el Departamento de Izabal.” Universidad San Carlos de Guatemala, 2004.

La presente tesis se destaca por el contenido, es decir podemos encontrar información sobre planes de mantenimiento, en donde se realiza el plan de mantenimiento a la maquinaria.

II. MARCO TEÓRICO

Mantenimiento Industrial:

Es aplicado a nivel industrial, difícil de reconocer o establecer.

Mantenimiento Correctivo:

consiste en reparar las fallas de equipos El mantenimiento correctivo se subdivide en:

Mantenimiento correctivo programado:

Se aplica solo cuando se encuentran los elementos indicados ya sean personal, herramientas información detallada.

Mantenimiento correctivo no programado:

Aquí se aplica el mantenimiento de forma inmediata ya que es muy fundamental que la plantaq siga en marcha para su producción.

b) Mantenimiento Preventivo (Dufua, 2000):

Este tipo de mantenimiento se define como la planificación de las actividades que se van a realizar y programar durante un periodo de tiempo en que el equipo o maquina ha trabajado, es decir se va a intervenir y cambiar piezas por sustitución cíclica.

Con el mantenimiento preventivo se logra:

- Reducción de fallas en los equipos
- Planificación de horas de paradas para los equipos y maquinarias.
- Planes de mantenimiento y cambio de piezas desgastadas.

Gestión del Mantenimiento

Esto implica el rol que cumple la empresa para dar a conocer la importancia de mantenimiento en la empresa.

Lo fundamental y primordial de toda empresa son:

- Mayor producción
- Minimizar tiempo en la producción.
- Óptima calidad en producto y servicio.
- Tener una línea de producción sin errores.
- Evitar los accidentes laborales.
- Mejorar costos
- Eficiencia en los recursos.
- Optimizar el flujo de la data en todas las áreas.

Los objetivos del mantenimiento son:

- Conservar los equipos.
- Reducir fallas.
- Garantizar la calidad y seguridad.
- Mejorar la efectividad.
- Reducir los costos.
- Reducir la depreciación.
- Mantener la disponibilidad.
- Mejorar la productividad.

Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (Moubray, 2004).

Este tipo de mantenimiento tiene como origen en el área aeronáutica, se dice que para optimizar las plantas industriales se debería hacer un mantenimiento proactivo de rutina. (Moubray, 2004).

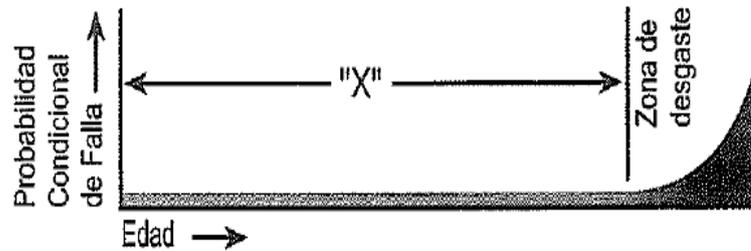


Figura 01 - Perspectiva tradicional de la falla.

Fuente: John Moubray , RCM 2004.

La anterior figura se basa en la presunción de que los equipos operan confiablemente y luego se desgastan. Los registros de fallas nos permiten establecer o saber antes de que suceda un evento no deseado.

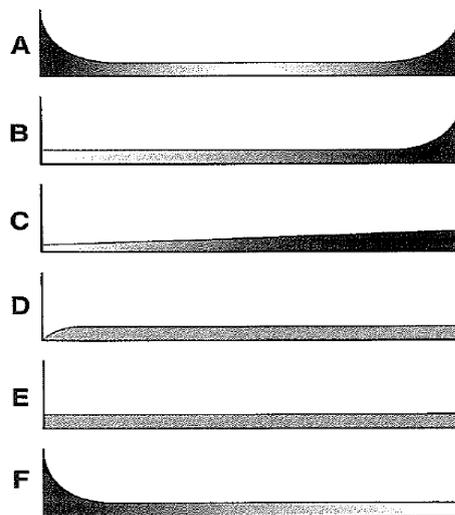


Figura 02 - Curvas de fallas en la actualidad.

Fuente: John Moubray , RCM 2004.

Indicadores de Mantenimiento

- Tiempo medio entre falla (MTBF)

Tiempo que transcurre en una falla y la siguiente.

$$MTBF = \frac{\sum_0^n TBF_i}{n} = \frac{\text{tpo. de operación}}{\# \text{ de fallas}}$$

- **Tiempo medio para reparar (MTTR)**

Es lo que se toma para reparar lo que ha fallado.

$$MTTR = \frac{\sum_0^n TTR_i}{n} = \frac{\text{tpo. muerto de reparación}}{\# \text{ de fallas}}$$

- **Tiempo medio hasta la falla (MTTF)**

Es el tiempo desde el inicio hasta el final de su funcionamiento en un equipo.

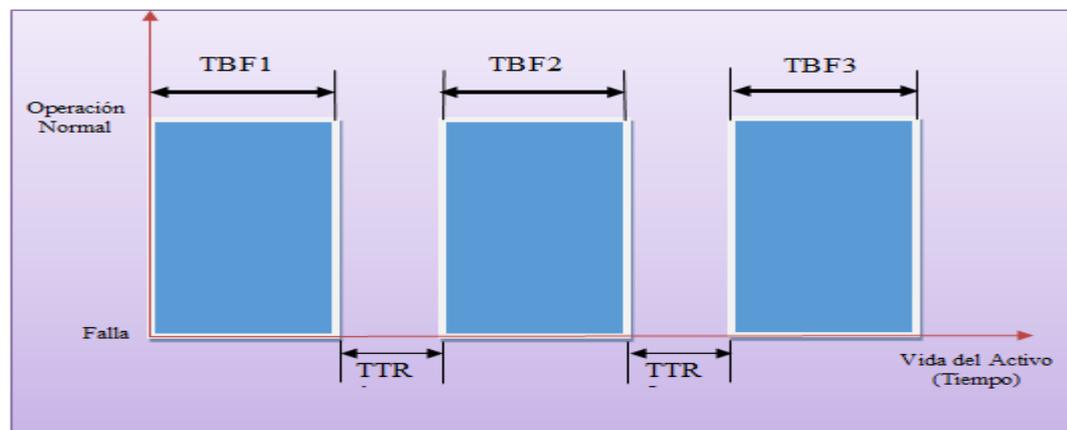


Figura 03 - Vida útil de activos vs. Operante normal.

Fuente: <http://www.noria/sp/conferencia.aps>

- **Confiabilidad**

Se llama así a un equipo que funciones adecuadamente durante períodos largos, es decir que funcione adecuadamente sin ocurrir fallas.

$$R(t) = e^{-\lambda.t}$$

Dónde:

$R(t)$ = Función confiabilidad.

e = Numero neperiano

t = Periodo libre de fallos

λ = tasa de fallas.

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

- **Mantenibilidad.**

Se puede decir que es la expectativa de que un equipo pueda ser instalado durante un periodo programado.

$$M(t) = 1 - e^{-\mu.t}$$

Dónde:

$M(t)$ = Indica que la reparación inicie en tiempo cero.

e = Numero neperiano

t = tiempo previsto de reparación

μ = Número total de reparaciones.

$$\mu = \frac{\# \text{ de reparaciones indicadas}}{\text{tiempo total de reparaciones de la unidad}}$$

Sabiendo que:

$$MTTR = \frac{1}{\mu}$$

- Disponibilidad

Capacidad que tiene un equipo para llevar una función determinada en un tiempo determinado.

$$D_{(t)} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{tpo.programado - tpo.de demoras}{tpo.programado}$$

- Comparativo entre mantenimiento y disponibilidad vs. Confiabilidad.

Para aumentar la producción es necesario que la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad se relacionen entre si

- Recomendaciones en la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad.

- Lo que se toma a continuación puede ser tomado como recomendaciones con ello se tendrá un buen plan de mantenimiento el cual puede ser desarrollado en cualquier empresa.

Molinos

Es el proceso final en la conminación en la cual las partículas son reducidas a tamaños diminutos mediante la combinación de impacto y abrasión.

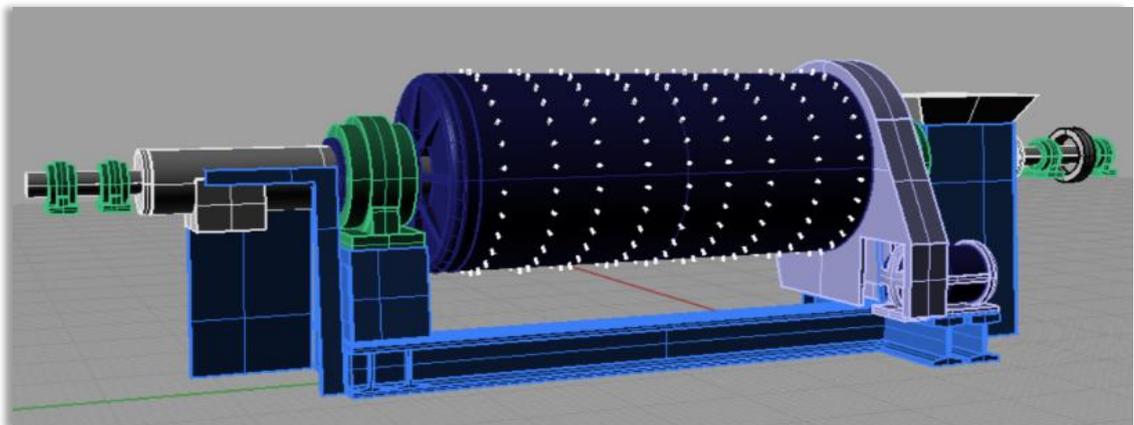


Figura 04 (Molino triturador de Mineral)

Fuente: <http://es.proensi.com/2012/10/molinos-de-bolas/>

a) Partes Principales de un Molino

Las partes ideales indispensables son: Casco, cuerpos trituradores, dispositivos de carga, accionamiento del molino. (Rodas Barriento, 2006).

b) Trunión de alimentación (muon de entrada)

c) Chumaceras

d) Piñón y catalina

e) Cuerpo o casco del molino o Shell

f) Tapas

g) Forros o Chaquetas

Son los que protegen la estructura del molino, el cual cumple un papel importante al resistir el impacto de las bolas, así como del fluido del mineral, además el molino cuenta con pernos los sostienen los forros y estos son de

h) Trunión de descarga

Es el parte de descarga del fluido del mineral ya como pulpa, por esta parte ingresan las bolas al molino en pleno funcionamiento. (Rodas Barriento, 2006).

i) Cucharón de Alimentación

O scoop feeders que normalmente forma parte del muñón de entrada del molino (Rodas Barriento, 2006).

j) Trommel

Es el que se encarga retener las bolas desgastadas debido al trabajo y a la carga de mineral que han sido expuestos, lo mismo ocurre con el mineral no pueden ser triturados (molidos completamente) debido a que presentan granulometría considerable por lo cual quedan dentro en el trommel. De esta manera se trata de controlar bolas como partículas minerales con gran volumen pasen a las bombas.

k) Ventana de inspección

H) Rejillas de los molinos

En la mayoría de los molinos cuentan con rejillas las cuales cumplen con la función de retener a las bolas del molino (cuerpos trituradores) así también como desprendimientos de mineral grueso, durante el traslado del mineral molido a los dispositivos de descarga.

I) Cuerpos trituradores (bolas)

Los cuerpos trituradores también conocidos como bolas del molino los cuales su acción es la transmisión de carga de los cuerpos que molerán los productos.

Figura 05: Bolas Desgastadas



Fuente: <http://www.minerachinalco.com.pe>

Marco Conceptual

Molino: molino proviene del latín “molinum” y es la parte fundamental y crítica en el área de molienda en plantas concentradoras cuyo objetivo es moler o triturar.

Molino Sag: Dicho equipo es usado en plantas mineras (plantas concentradoras de mineral), sirve para moler rocas de siendo su principal objetivo disminuir el diámetro el mineral para seguir con el proceso.

Análisis de Pareto

Es la gráfica de la base de datos obtenidos de una planta en mantenimiento el cual nos ayuda a identificar cuáles son equipos a intervenir en el estudio.

A continuación, se puede apreciar las características de un diagrama Pareto.

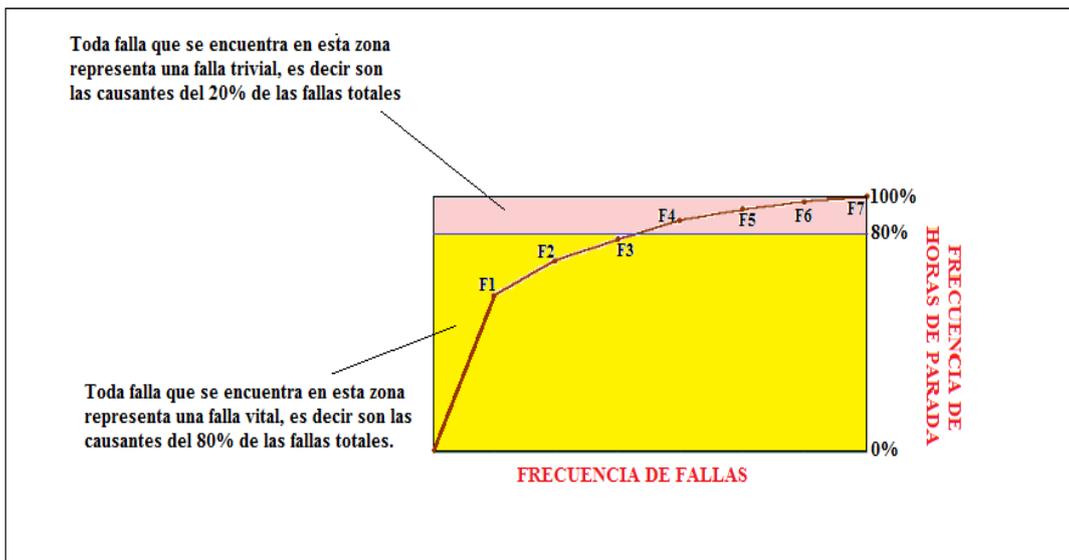


Figura 06: Diagrama de Pareto.

Fuente: John Moubray , RCM 2004.

Para realizar un diagrama de Pareto se lleva a cabo lo siguiente:

- ✓ Determinar los equipos a estudiar.
- ✓ Indagar que factores o causas provocan el problema
- ✓ Se debe ordenar los equipos en función a su magnitud.

Criterios para un análisis de criticidad

Se relaciona comúnmente con lo siguiente:

- Frecuencias de fallas (F.f).
- Impacto operacional (I.o).

a). Frecuencia de fallas (F.f):

Es la cantidad de veces que se repite un evento

Tabla 01- Frecuencias de falla

Ponderación	Frecuencia de fallas
4	Alto, Mayor a 2 fallas/año.
3	Promedio, de 1-2 fallas/año
2	Buena, de 0.5-1 falla/año
1	Excelente, menos de 0.5 falla/ año.

b). Impacto operacional (I.o):

Son aquellos efectos causados a toda la producción.

Tabla 02- Impacto operacional

Ponderación	Impacto operacional
10	Para inmediata de toda la empresa.
7	Para inmediata de un sector de la línea productiva.
4	Impacta los niveles de producción y calidad.
1	No genera ningún efecto significativo sobre producciones y operación.

c). Flexibilidad operacional (F.o):

Es la posibilidad de realizar un cambio oportuno y rápido sin generar perdidas ya sea de tiempo o costo.

Tabla 03 - Flexibilidad operacional

Ponderación	Flexibilidad operacional
4	No existe opción de producción y no existe función de respaldo/repuesto.
2	Existe opción de repuesto compartido/almacén.
1	Existe opción de respaldo/repuesto disponible.

d). Costos de mantenimiento (C.m):

Es todo lo que pueda generar en el mantenimiento.

Tabla 04- Costos de mantenimiento

Ponderación	Costos de mantenimiento
2	Mayor a S./10000.00
1	Inferior a S./10000.00

e). Impacto de seguridad y medio ambiente:

Se evalúa el posible daño que pueda generar al medio ambiente y personas.

Tabla 05 – Efecto de seguridad y medio ambiente (I.s.m.a)

Ponderación	Impacto de seguridad y medio ambiente
8	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna.
7	Afecta al medio ambiente produciendo daños severos.
5	Afecta las instalaciones causando daños severos.
3	Provoca daños menores (Seguridad - ambiente).
1	No provoca ningún daño a las personas, instalaciones ni ambiente.

El valor de la criticidad se determina mediante:

$$Crt = Ff * C$$

Dónde:

- Crt.: Criticidad
- Ff: Frecuencia de falla
- C: Consecuencia

Donde la consecuencia se determinaría por los siguientes criterios:

$$C = (I. o) * (F. o) * (C. m) * (I. s. m. a)$$

Dónde:

- Frecuencias de fallas.
- Impacto operacional.
- Flexibilidad operacional.
- Costo de mantenimiento.
- Impacto de seguridad y medio ambiente.

Matriz de criticidad:

En ella se mide los riesgos con ello nos ayuda a clasificar los niveles de peligrosidad según los equipos.

- Área de No Críticos (NC).
- Área de Semi Críticos (MC).
- Área de Críticos (C).

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				

Figura 07: Matriz de criticidad

Fuente: Huertas Mendoza , Análisis de criticidad , 2012.

2.1. Formulación del Problema.

¿Cuál será el plan de mantenimiento con fines de Reducción de costos utilizando la Metodología del RCM para el Área de Molienda de la Planta Concentradora de Minera Chinalco Perú?

2.2. Justificación del Estudio.

➤ Justificación tecnológica:

El presente trabajo se justifica por su gran utilidad para la empresa del rubro minero con ello se lograra incrementar la disponibilidad de los equipos y maquinas críticas se utilizan los insumos adecuados para el desarrollo de un buen trabajo a bajo costo de mantenimiento.

➤ Justificación institucional:

El presente estudio se justifica usando las técnicas de Mantenimiento, se busca la reducción de fallos lo que conllevará a consolidar un efectivo y sostenido desempeño de la operación, permitiendo así alcanzar las metas de producción de la Organización.

➤ Justificación Económica:

La implementación del mantenimiento busca la optimización en el control de fallas en los equipos, máquinas y/o sistemas para la reducción de costos y maximizar las ganancias para la empresa.

2.3. Hipótesis

Es posible la Elaboración del plan de mantenimiento con fines de Reducción de

costos utilizando la Metodología del RCM para el Área de Molienda de la Planta Concentradora de Minera Chinalco Perú.

2.4. Objetivos

General

Elaborar un Plan de mantenimiento con fines de Reducción de costos utilizando la metodología del RCM para el Área de Molienda de la planta Concentradora de Minera chinalco Perú.

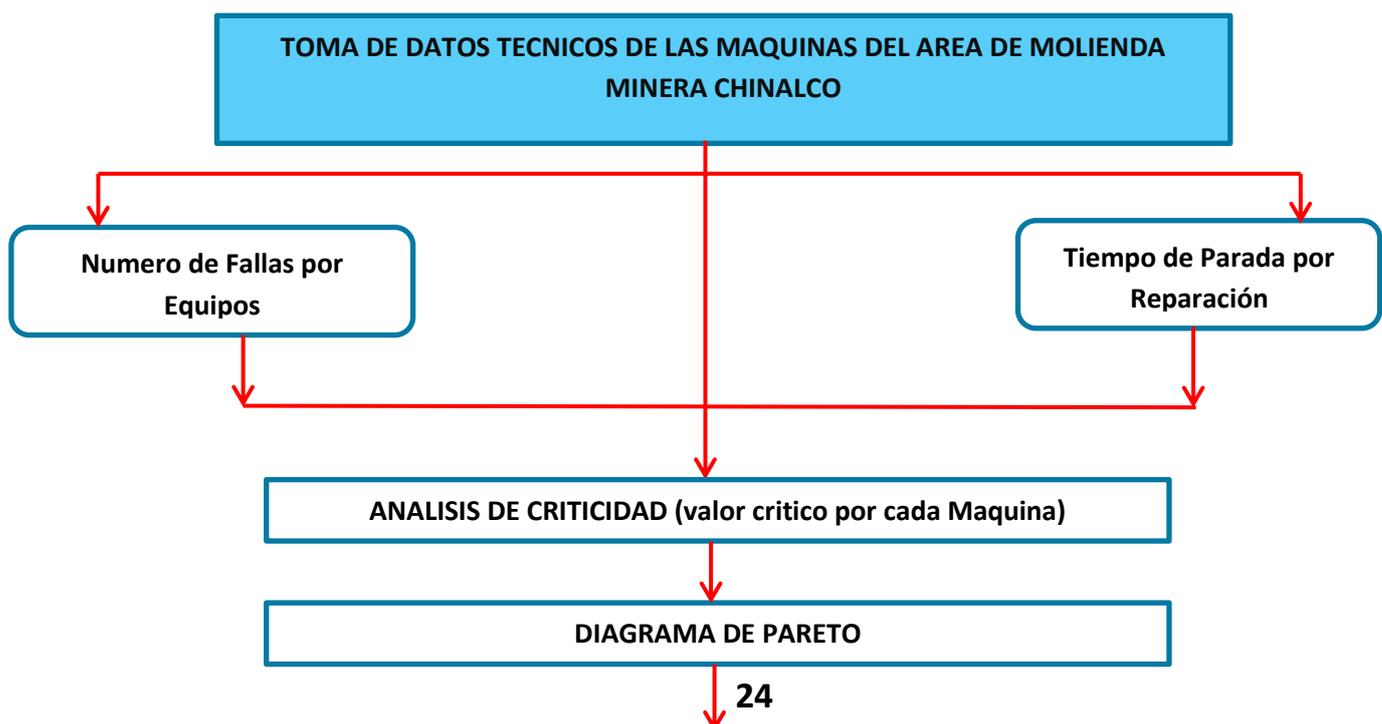
Específicos

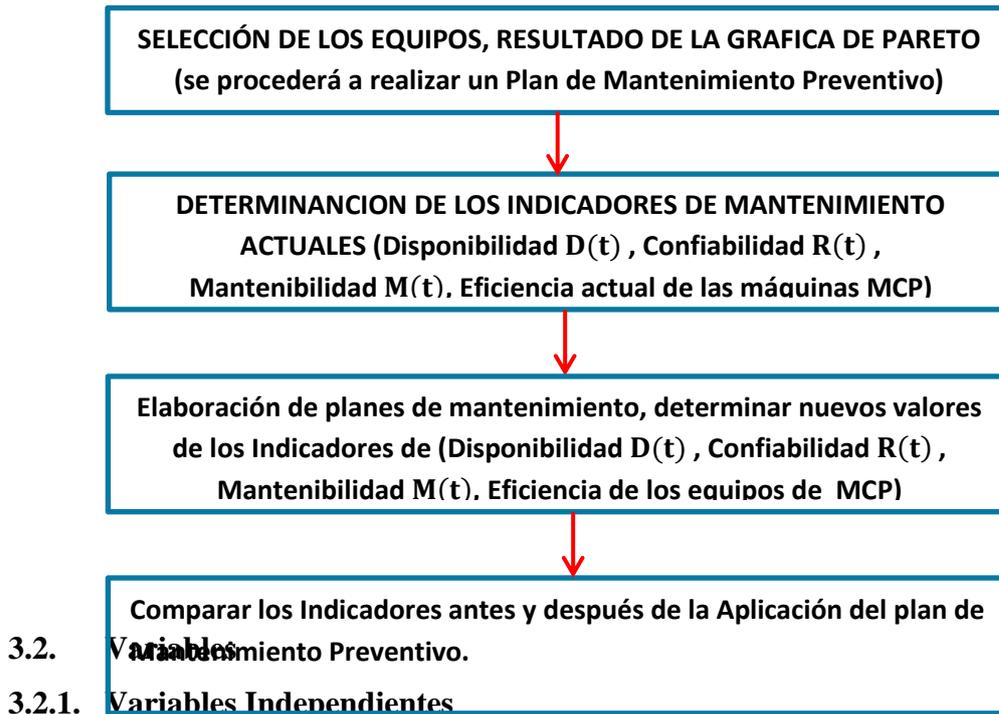
1. Diagnóstico de la situación actual del área de Molienda de Minera Chinalco-Perú
2. Realizar diagrama de Pareto para los equipos del área de Molienda de Minera Chinalco - Perú
3. Realizar el análisis de criticidad para e Área de Molienda de la planta Concentradora de minera Minera Chinalco Perú.
4. Establecer los KPIs – Indicadores Claves de Desempeño para el seguimiento y control de los procesos y de mantenimiento antes de realizar el plan de mantenimiento y después haber elaborado el plan de mantenimiento (Disponibilidad, Confiabilidad, Mantenibilidad).
5. Realizar planes de mantenimiento preventivo a los equipos críticos del área de Molienda de planta concentradora de Minera Chinalco - Perú
6. Reducir costos de Mantenimiento del área de Molienda de planta Concentradora de Minera Chinalco Perú.

III. METODOLOGÍA

3.1. Diseño de Investigación

Experimental Aplicada, Metodología cuantitativa, de acuerdo al manejo de variables.



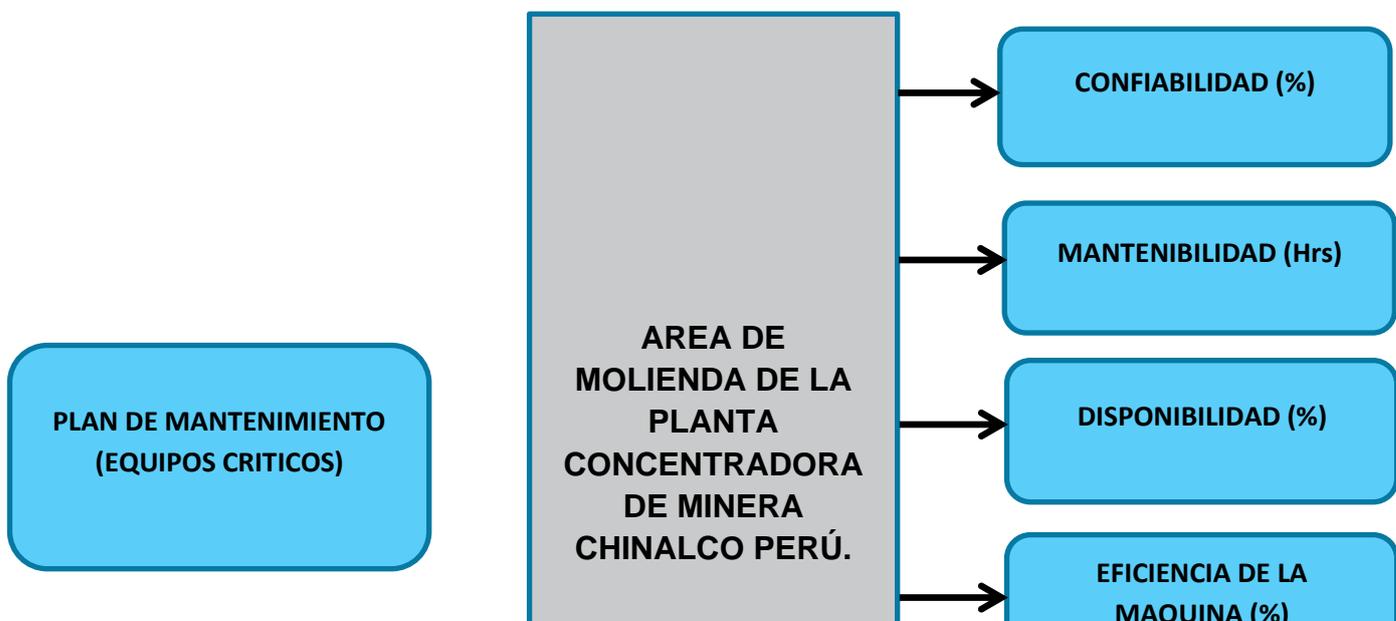


- Plan de mantenimiento (Equipos Críticos).

3.2.2. Variables dependientes

- Confiabilidad.
- Mantenibilidad.
- Disponibilidad de la máquina.
- Eficiencia de la máquina.
- Reducción de Costos (VAN, TIR).

ENTRADA - PROCESO - SALIDA





3.3. Operacionalización de Variables.

Variables Independientes	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Plan de Mantenimiento (Equipos Críticos)	Números de estrategias basadas en modos de fallas que en conjunto hacen un plan de mantenimiento	Conjunto de actividades de Mantenimiento ordenadas según su criticidad.	Confiabilidad Disponibilidad Mantenibilidad	Intervalos de Tiempo.

Variables Dependientes	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Confiabilidad	Es la probabilidad de un equipo o sistema lleve a cabo su función durante un periodo de tiempo determinado y	Nivel de confianza que tiene los equipos críticos del Área de Molienda de la planta concentradora de la minera chincalco	Porcentaje de Confiabilidad de la máquina.	Intervalos.

	bajo ciertas condiciones			
Mantenibilidad.	Ver si cumple lo programado para el trabajo de mantenimiento.	Es el tiempo que se programa para realizar el mantenimiento	Porcentaje en la producción.	Intervalos.
Disponibilidad	Ver si cumple lo programado para el trabajo de mantenimiento.	Es el tiempo que se programa para realizar el mantenimiento	Porcentaje en la producción.	Intervalos.
Eficiencia de la máquina.	Resultado que se obtiene al implementar el mantenimiento	Uso de maquinaria según lo programado	Porcentaje de eficiencia para la máquina	Porcentaje.
Reducción de Costos (VAN, TIR)	Comparar si el costo hallado es menor que el costo de mantenimiento de la planta del área de molienda	Análisis de costo del mantenimiento a la falla	Evaluación económica VAN y TIR	Porcentaje.

3.4. Población y Muestra

3.4.1. Población

Se tiene una población de tres molinos.

3.4.2. Muestra

Se trabajará en la investigación las tres unidades.

3.5. Técnica de recolección de Datos

Técnica	Instrumento	Validez
2.4.1 La Entrevista	Se realizará entrevistas al personal encargado del mantenimiento del área de molienda de Minera Chinalco – Perú, logrando obtener datos sobre materiales, equipos y herramientas que utilizan proveedores. Tiempo de trabajo y otros.	Por Exponer
2.4.2 Fuente de Información	Lectura de manuales, artículos, internet, etc., relacionados al tema que faciliten la `` Implementación de la Gestión de Mantenimiento y Optimización de Costos para la Planta concentradora de Minera Chinalco Perú del área de Molienda `` y así realizar los distintos inventarios de mantenimiento y análisis en general.	Por Exponer

3.6. Método de Análisis de Datos

Los ATS nos ayudan a reducir los peligros y desarrollar los trabajos de manera segura y eficiente y se puede aplicar de la siguiente manera:

- Establecer los principales pasos para desarrollar el trabajo.
- Identificar los peligros.
- Elaborar procedimiento de trabajo seguro.
- Identificar y eliminar las posibles pérdidas.

IV. RESULTADOS

4.1. Diagnóstico del área de Molienda:

En la actualidad el área de Molienda se encuentra sin planes de mantenimiento para algún equipo. Se están realizando mantenimientos debido a la falla y aprovechando esas horas muertas se realiza la medición a los liners de los molinos mediante los NDT (ultrasonido, gammagrafía, etc.), obteniéndose la siguiente información.

4.2. Lista de Equipos:

Lista de los 18 Equipos del Área de Molienda Codificados según sus características.

TAG	EQUIPOS
210 - ML 001	MOLINO SAG
210 - ML 002	MOLINO DE BOLAS ML-002
210 - ML 003	MOLINO DE BOLAS ML-003
210 - SN 001	ZARANDA 4.2 X 8.5 M SN-001
210 - PP 009	BOMBA SUMERGIBLE 200MCH 009
210 - PP 008	BOMBA SUMERGIBLE 200MCH 008
210 - PP 049	BOMBA DE ALTA PRESION PP-049
210 - PP 050	BOMBA DE ALTA PRESION PP-050
210 - PP 051	BOMBA DE ALTA PRESION PP-051
210 - PP 050	BOMBA DE ALTA PRESION PP-050
210 - PP 097	BOMBA DE RECIRCULACION PP-097
210 - PP 096	BOMBA DE RECIRCULACION PP-096
210 - PP 095	BOMBA DE RECIRCULACION PP-095
210 - PP 085	BOMBA HIDRAULICA DE FRENO PP-085
210 - CV 005	FAJA TRANSPORTADORA CV-005
210 - CV 006	FAJA TRANSPORTADORA CV-006
210 - CV 005 - R1	REDUCTOR ROSSI (25.1:1) 71.7 RPM

210 - CV 006 - R1

REDUCTOR ROSSI (25.40:1) 71 RPM

Tabla 06 - Lista de Equipos del Área de Molienda.

3.1.2 Criterios de evaluación para la criticidad de los equipos del área de Molienda.

N°	EQUIPOS	FRECUENCIAS DE FALLAS	IMPACTO OPERACIONAL	COSTOS DE REPARACION	IMPACTO EN LA SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	CRITICIDAD	ESTADO
01	MOLINO SAG	5	7	7	9	1	29	MUY CRITICA
02	MOLINO DE BOLAS ML-002	5	7	7	9	1	29	MUY CRITICA
03	MOLINO DE BOLAS ML-003	5	7	7	9	1	29	MUY CRITICA
04	ZARANDA 4.2 X 8.5 M SN-001	5	7	7	9	1	29	MUY CRITICA
05	BOMBA SUMERGIBLE 200MCH 009	5	7	5	5	1	23	CRITICA
06	BOMBA SUMERGIBLE 200MCH 008	5	7	5	5	1	23	CRITICA
07	BOMBA DE ALTA PRESION PP-049	5	3	3	5	1	17	SEMI - CRITICA
08	BOMBA DE ALTA PRESION PP-050	3	3	3	5	1	15	SEMI - CRITICA
Tabla 07: Criterios de Evaluación de Criticidad de los Equipos del Área de Molienda en la Situación Actual antes de Aplicar la Metodología del RCM.								
09	BC 051	3						SEMI - CRITICA

10	BOMBA DE ALTA PRESION PP-050	3	3	3	5	1	15	SEMI - CRITICA
11	BOMBA DE RECIRCULACION PP-097	3	3	3	3	1	13	SEMI - CRITICA
12	BOMBA DE RECIRCULACION PP-096	3	3	3	3	1	13	SEMI - CRITICA
13	BOMBA DE RECIRCULACION PP-095	3	3	3	3	1	13	SEMI - CRITICA
14	BOMBA HIDRAULICA DE FRENO PP-085	5	1	1	3	1	11	SEMI - CRITICA
15	FAJA TRANSPORTADORA CV-005	5	5	3	3	1	17	SEMI - CRITICA
16	FAJA TRANSPORTADORA CV-006	5	5	3	3	1	17	SEMI - CRITICA
17	REDUCTOR ROSSI (25.1:1) 71.7 RPM	5	5	3	3	1	17	SEMI - CRITICA
18	REDUCTOR ROSSI (25.40:1) 71 RPM	5	5	3	3	1	17	SEMI - CRITICA

3.1.3 Criticidad de los Equipos del Área de Molienda.

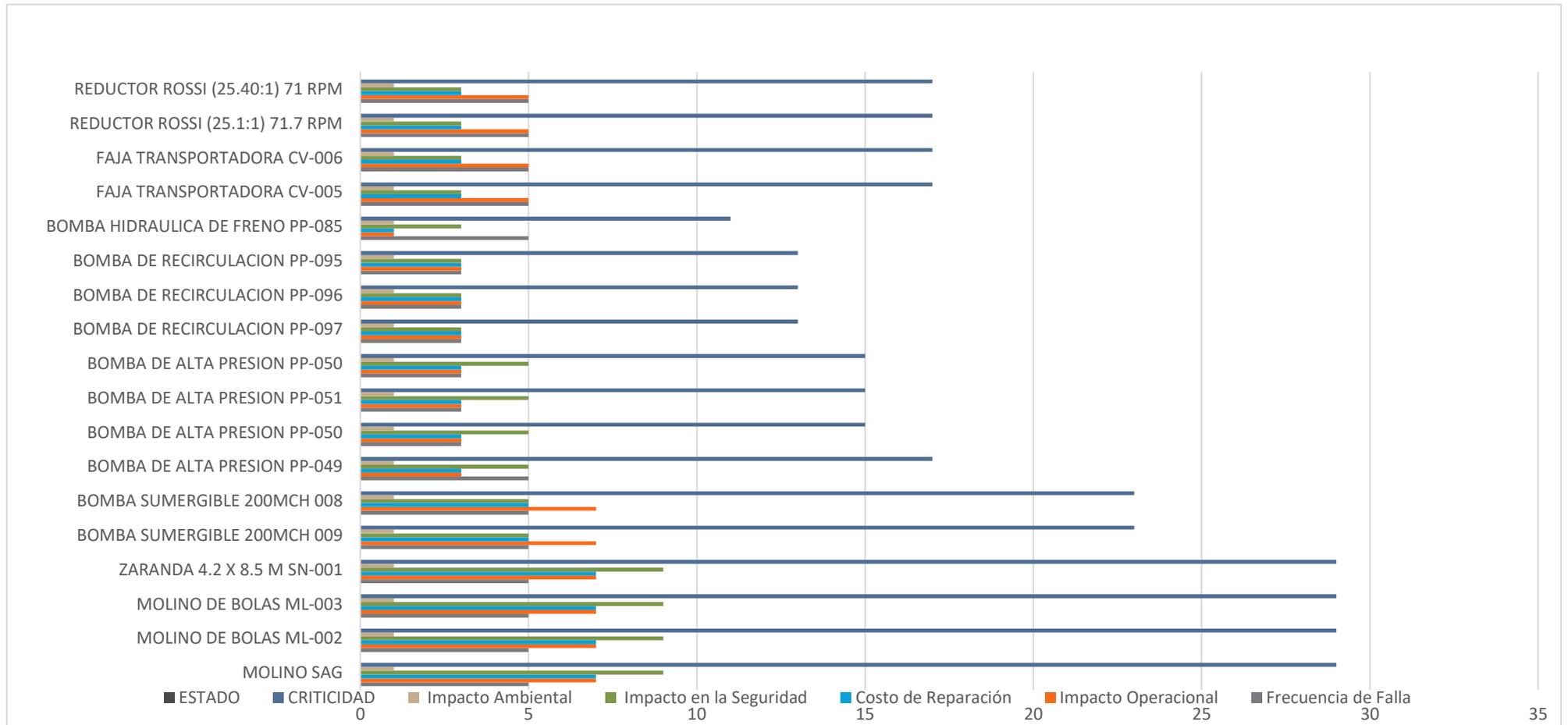


Tabla 08: Histograma de Criticidad de los Equipos del Área de Molienda en la Situación Actual antes de Aplicar la Metodología del RCM.

4.3. Frecuencia de fallas y Tiempo de paradas por reparación.

A continuación, las frecuencias de fallas y TPR (Tiempo de parada por reparación) actuales de la empresa Esta tabla se usara para para realizar posteriormente el diagrama de Pareto.

N°	MAQUINAS	FRECUENCIA DE FALLAS	TPPR HORA
01	MOLINO SAG	10	46
02	MOLINO DE BOLAS ML-002	9	45
03	MOLINO DE BOLAS ML-003	9	44
04	ZARANDA 4.2 X 8.5 M SN-001	8	4
05	BOMBA SUMERGIBLE 200MCH 009	7	7
06	BOMBA SUMERGIBLE 200MCH 008	5	5
07	BOMBA DE ALTA PRESION PP-049	4	2
08	BOMBA DE ALTA PRESION PP-050	4	1
09	BOMBA DE ALTA PRESION PP-051	4	1
10	BOMBA DE ALTA PRESION PP-050	2	1
11	BOMBA DE RECIRCULACION PP-097	2	1
12	BOMBA DE RECIRCULACION PP-096	2	1
13	BOMBA DE RECIRCULACION PP-095	2	1
14	BOMBA HIDRAULICA DE FRENO PP-085	2	1
15	FAJA TRANSPORTADORA CV-005	1	2
16	FAJA TRANSPORTADORA CV-006	1	1
17	REDUCTOR ROSSI (25.1:1) 71.7 RPM	1	1
18	REDUCTOR ROSSI (25.40:1) 71 RPM	1	2

Tabla 09: Frecuencias de Fallas y Tiempo de Paradas por Reparación.

4.4. Diagrama de Pareto

4.4.1. Número de fallas

Agruparemos las 18 fallas en el diagrama de Pareto, como se muestra en las siguientes tablas:

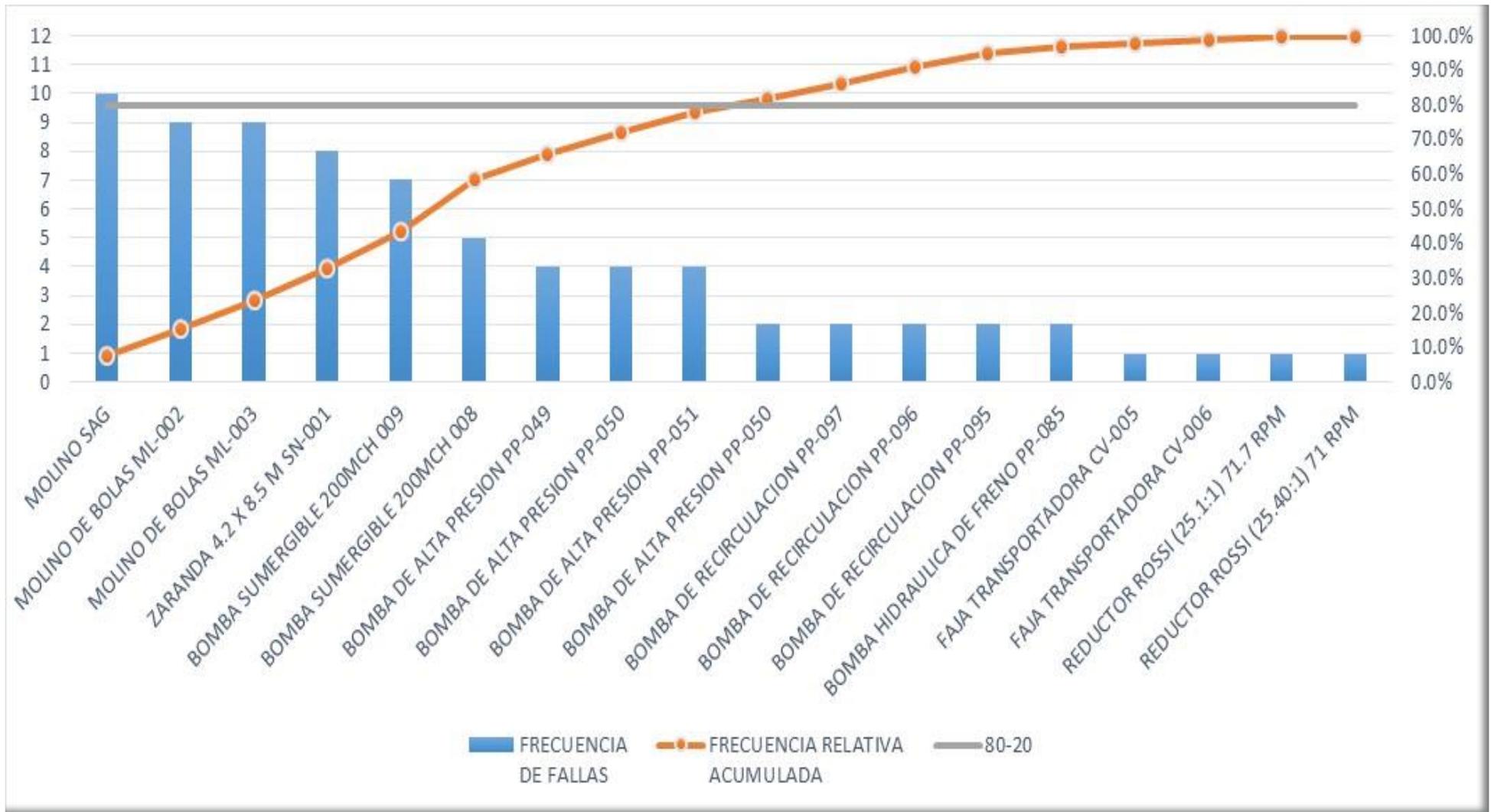
N°	MAQUINAS	FRECUENCIA DE FALLAS	FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA
01	MOLINO SAG	10	7.4%
02	MOLINO DE BOLAS ML-002	9	15.6%
03	MOLINO DE BOLAS ML-003	9	23.8%
04	ZARANDA 4.2 X 8.5 M SN-001	8	33.1%
05	BOMBA SUMERGIBLE 200MCH 009	7	43.6%
06	BOMBA SUMERGIBLE 200MCH 008	5	58.4%
07	BOMBA DE ALTA PRESION PP-049	4	66.0%
08	BOMBA DE ALTA PRESION PP-050	4	72.0%
09	BOMBA DE ALTA PRESION PP-051	4	78.0%
10	BOMBA DE ALTA PRESION PP-050	2	82.0%
11	BOMBA DE RECIRCULACION PP-097	2	86.0%
12	BOMBA DE RECIRCULACION PP-096	2	91.0%
13	BOMBA DE RECIRCULACION PP-095	2	95.0%
14	BOMBA HIDRAULICA DE FRENO PP-085	2	97.0%
15	FAJA TRANSPORTADORA CV-005	1	98.0%
16	FAJA TRANSPORTADORA CV-006	1	99.0%

17	REDUCTOR ROSSI (25.1:1) 71.7 RPM	1	100.0%
18	REDUCTOR ROSSI (25.40:1) 71 RPM	1	100.0%

Tabla 10: Frecuencia de Fallas y Frecuencia Relativa Acumulada

El procedimiento es determinar cuántas maquinas del total de las 18 son las maquinas más críticas, para lo cual utilizaremos el diagrama de Pareto con respecto para una selección de criticidad.

4.5. Diagrama de Pareto (Grafica)



4.6. Análisis de Criticidad

Aquí se tiene que tener cuidado ya que es el último filtro para hallar que maquinas son las críticas, semi críticas y no críticas. Se aplica a las primeras 5 máquinas.

Determinación de la consecuencia y el valor critico por cada máquina:

a. Molino SAG.

Frecuencia de fallas (F.f):

Ponderación	Frecuencia de fallas
4	Alto, Mayor a 2 fallas/año.
3	Promedio, de 1-2 fallas/año
2	Buena, de 0.5-1 falla/año
1	Excelente, menos de 0.5 falla/ año.

Impacto operacional (I.o):

Ponderación	Impacto operacional
10	Para inmediata de toda la empresa.
7	Para inmediata de un sector de la línea productiva.
4	Impacta los niveles de producción y calidad.
1	No genera ningún efecto significativo sobre producciones y operación.

Flexibilidad operacional (F.o):

Ponderación	Flexibilidad operacional
4	No existe opción de producción y no existe función de respaldo/repuesto.
2	Existe opción de repuesto compartido/almacén.
1	Existe opción de respaldo/repuesto disponible.

Costos de mantenimiento (C.m):

Ponderación	Costos de mantenimiento
2	Mayor a S./10000.00
1	Inferior a S./10000.00

Impacto de seguridad y medio ambiente (I.s.m.a):

Ponderación	Impacto de seguridad y medio ambiente
8	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna.
7	Afecta al medio ambiente produciendo daños severos.
5	Afecta las instalaciones causando daños severos.
3	Provoca daños menores (Seguridad - ambiente).
1	No provoca ningún daño a las personas, instalaciones ni ambiente.

La consecuencia seria:

$$C = (I. o) * (F. o) * (C. m) * (I. s. m. a)$$

$$C = 7 * 2 * 1 * 3$$

$$C = 42$$

Criticidad:

$$Crt = Ff * C$$

$$Crt = 4 * 42$$

$$Crt = 168$$

Resultado: **Crítica**

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				

b. Molino de Bolas ML002

Frecuencia de fallas (F.f):

Ponderación	Frecuencia de fallas
4	Alto, Mayor a 2 fallas/año.
3	Promedio, de 1-2 fallas/año
2	Buena, de 0.5-1 falla/año
1	Excelente, menos de 0.5 falla/ año.

Impacto operacional (I.o):

Ponderación	Impacto operacional
10	Para inmediata de toda la empresa.
7	Para inmediata de un sector de la línea productiva.
4	Impacta los niveles de producción y calidad.
1	No genera ningún efecto significativo sobre producciones y operación.

Flexibilidad operacional (F.o):

Ponderación	Flexibilidad operacional
4	No existe opción de producción y no existe función de respaldo/repuesto.
2	Existe opción de repuesto compartido/almacén.
1	Existe opción de respaldo/repuesto disponible.

Costos de mantenimiento (C.m):

Ponderación	Costos de mantenimiento
2	Mayor a S./10000.00
1	Inferior a S./10000.00

Impacto de seguridad y medio ambiente (I.s.m.a):

Ponderación	Impacto de seguridad y medio ambiente
8	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna.
7	Afecta al medio ambiente produciendo daños severos.
5	Afecta las instalaciones causando daños severos.
3	Provoca daños menores (Seguridad - ambiente).
1	No provoca ningún daño a las personas, instalaciones ni ambiente.

La consecuencia seria:

$$C = (I. o) * (F. o) * (C. m) * (I. s. m. a)$$

$$C = 7 * 2 * 1 * 3$$

$$C = 42$$

Criticidad:

$$Crt = Ff * C$$

$$Crt = 4 * 42$$

$$Crt = 168$$

Resultado: **Crítica**

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				

c. Molino de Bolas ML003

Frecuencia de Fallas (f.t)

Ponderación	Frecuencia de fallas
4	Alto, Mayor a 2 fallas/año.
3	Promedio, de 1-2 fallas/año
2	Buena, de 0.5-1 falla/año
1	Excelente, menos de 0.5 falla/ año.

Impacto operacional (I.o):

Ponderación	Impacto operacional
10	Para inmediata de toda la empresa.
7	Para inmediata de un sector de la línea productiva.
4	Impacta los niveles de producción y calidad.
1	No genera ningún efecto significativo sobre producciones y operación.

Flexibilidad operacional (F.o):

Ponderación	Flexibilidad operacional
4	No existe opción de producción y no existe función de respaldo/repuesto.
2	Existe opción de repuesto compartido/almacén.
1	Existe opción de respaldo/repuesto disponible.

Costos de mantenimiento (C.m):

Ponderación	Costos de mantenimiento
2	Mayor a S./10000.00
1	Inferior a S./10000.00

Impacto de seguridad y medio ambiente (I.s.m.a):

Ponderación	Impacto de seguridad y medio ambiente
8	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna.
7	Afecta al medio ambiente produciendo daños severos.
5	Afecta las instalaciones causando daños severos.
3	Provoca daños menores (Seguridad - ambiente).
1	No provoca ningún daño a las personas, instalaciones ni ambiente.

La consecuencia seria:

$$C = (I. o) * (F. o) * (C. m) * (I. s. m. a)$$

$$C = 10 * 4 * 2 * 3$$

$$C = 240$$

Criticidad:

$$Crt = Ff * C$$

$$Crt = 4 * 240$$

$$Crt = 960$$

Resultado: **Crítica**

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

d. Zaranda 4.2 x 8.5 M SN-001

Frecuencia de fallas (F.f):

Ponderación	Frecuencia de fallas
4	Alto, Mayor a 2 fallas/año.
3	Promedio, de 1-2 fallas/año
2	Buena, de 0.5-1 falla/año
1	Excelente, menos de 0.5 falla/ año.

Impacto operacional (I.o):

Ponderación	Impacto operacional
10	Para inmediata de toda la empresa.
7	Para inmediata de un sector de la línea productiva.
4	Impacta los niveles de producción y calidad.
1	No genera ningún efecto significativo sobre producciones y operación.

Flexibilidad operacional (F.o):

Ponderación	Flexibilidad operacional
4	No existe opción de producción y no existe función de respaldo/repuesto.
2	Existe opción de repuesto compartido/almacén.
1	Existe opción de respaldo/repuesto disponible.

Costos de mantenimiento (C.m):

Ponderación	Costos de mantenimiento
2	Mayor a S./10000.00
1	Inferior a S./10000.00

Impacto de seguridad y medio ambiente (I.s.m.a):

Ponderación	Impacto de seguridad y medio ambiente
8	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna.
7	Afecta al medio ambiente produciendo daños severos.
5	Afecta las instalaciones causando daños severos.
3	Provoca daños menores (Seguridad - ambiente).
1	No provoca ningún daño a las personas, instalaciones ni ambiente.

La consecuencia seria:

$$C = (I. o) * (F. o) * (C. m) * (I. s. m. a)$$

$$C = 7 * 4 * 2 * 1$$

$$C = 56$$

Criticidad:

$$Crt = Ff * C$$

$$Crt = 4 * 56$$

$$Crt = 224$$

Resultado: **crítica**

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

e. **Bomba Sumergible 200 MCH 009**

Frecuencia de fallas (F.f):

Ponderación	Frecuencia de fallas
4	Alto, Mayor a 2 fallas/año.
3	Promedio, de 1-2 fallas/año
2	Buena, de 0.5-1 falla/año
1	Excelente, menos de 0.5 falla/ año.

Impacto operacional (I.o):

Ponderación	Impacto operacional
10	Para inmediata de toda la empresa.
7	Para inmediata de un sector de la línea productiva.
4	Impacta los niveles de producción y calidad.
1	No genera ningún efecto significativo sobre producciones y operación.

Flexibilidad operacional (F.o):

Ponderación	Flexibilidad operacional
4	No existe opción de producción y no existe función de respaldo/repuesto.
2	Existe opción de repuesto compartido/almacén.

1	Existe opción de respaldo/repuesto disponible.
---	--

Costos de mantenimiento (C.m):

Ponderación	Costos de mantenimiento
2	Mayor a S./10000.00
1	Inferior a S./10000.00

Impacto de seguridad y medio ambiente (I.s.m.a):

Ponderación	Impacto de seguridad y medio ambiente
8	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna.
7	Afecta al medio ambiente produciendo daños severos.
5	Afecta las instalaciones causando daños severos.
3	Provoca daños menores (Seguridad - ambiente).
1	No provoca ningún daño a las personas, instalaciones ni ambiente.

La consecuencia seria:

$$C = (I. o) * (F. o) * (C. m) * (I. s. m. a)$$

$$C = 1 * 4 * 1 * 1$$

$$C = 4$$

Criticidad:

$$Crt = Ff * C$$

$$Crt = 3 * 4$$

$$Crt = 12$$

Resultado: **semi crítica**

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				

A estas cinco maquinas se procederá a realizar plan de mantenimiento preventivo.

N°	MAQUINAS	FRECUENCIA DE FALLAS
01	MOLINO SAG	10
02	MOLINO DE BOLAS ML-002	9
03	MOLINO DE BOLAS ML-003	9
04	ZARANDA 4.2 X 8.5 M SN-001	8
05	BOMBA SUMERGIBLE 200MCH 009	7

4.7. Determinación de los indicadores de mantenimiento KPIs en condiciones actuales

Para un periodo de estudio de 8 meses (243 días), 1835 horas promedio de operación de las maquinas del año 2016, tenemos:

Tiempo promedio entre fallas TPEF:

$$TPEF = \frac{\sum_{i=1}^n TEF}{n}$$

$$TPEF = \frac{(245 + 235 + 212 + 184 + 97)\text{Hrs operativas}}{(10 + 9 + 9 + 8 + 7)\text{fallas}}$$

$$TPEF = 22.63 \text{ Hrs operativas/falla}$$

Tiempo promedio para reparar TPPR:

$$TPPR = \frac{\sum_{i=1}^n TPR}{n}$$

$$TPPR = \frac{(65 + 59 + 45 + 33 + 7)\text{Hrs reparacion}}{(10 + 9 + 9 + 8 + 7)\text{fallas}}$$

$$TPPR = 4.86 \text{ Hrs reparacion/falla}$$

Disponibilidad D(t) :

$$D(t) = \left(\frac{TPEF}{TPEF + TPPR} \right) * 100\%$$

$$D(t) = \left(\frac{22.63}{22.63 + 4.86} \right) * 100\%$$

$$D(t) = 82.3 \%$$

Confiabilidad R(t):

$$R(t) = \left(e^{\frac{-\lambda * T_{po}}{100}} \right) * 100\%$$

Tasa de fallas:

$$\lambda = \frac{1}{\text{TPEF}}$$

$$\lambda = \frac{1}{22.63\text{Hrs operativas/falla}}$$

$$\lambda = 0.0442 \text{ fallas/Hrs operativas}$$

Tiempo total de estudio: $T_{po} = 1835 \text{ Hrs}$

Remplazando:

$$R(t) = \left(e^{\frac{-0.0442 * 2352}{100}} \right) * 100\%$$

$$R(t) = 71.6\%$$

Mantenibilidad $M(t)$:

$$M(t) = \left(1 - e^{\frac{-\mu * T_{po}}{100}} \right) * 100\%$$

Tasa de reparaciones:

$$\mu = \frac{1}{\text{TPPR}}$$

$$\mu = \frac{1}{4.86 \text{ Hrs reparacion/fallas}}$$

$$\mu = 0.206 \text{ fallas/ Hrs reparaci3n}$$

Tiempo total de estudio: Tpo = 1835 Hrs

Remplazando:

$$M(t) = \left(1 - e^{\frac{-0.206 \cdot 1835}{100}}\right) * 100\%$$

$$M(t) = 78\%$$

Que en horas la mantenibilidad seria:

$$M(t) = \text{TPPR} = 4.86 \text{ Hrs}$$

Eficiencia actual de las m3quinas MCP:

$$\eta = \text{OEE} = D(t) * R(t) * M(t)$$

$$\eta = \text{OEE} = 0.82 * 0.72 * 0.78$$

$$\eta = \text{OEE} = 46.05\%$$

En la siguiente tabla, se muestra que la eficiencia actual de las máquinas de MCP es calificada como INACEPTABLE, y las consecuencias son importantes pérdidas económicas y baja competitividad.

OEE	Calificativo	Consecuencias
$\eta < 65\%$	Inaceptable	Importantes pérdidas económicas. Baja competitividad
$65 \leq \eta < 75\%$	Regular	Pérdidas económicas. Aceptable sólo si se está en proceso de mejora
$75 \leq \eta < 85\%$	Aceptable	Ligeras pérdidas económicas. Competitividad alta
$85 \leq \eta < 95\%$	Buena	Buena competitividad. Entramos ya en valores considerados 'World Class'
$\eta \geq 95\%$	Excelente	Competitividad excelente

4.8. Planes de mantenimiento de equipos críticos:

N°	MAQUINAS
01	MOLINO SAG
02	MOLINO DE BOLAS ML-002
03	MOLINO DE BOLAS ML-003
04	ZARANDA 4.2 X 8.5 M SN-001
05	BOMBA SUMERGIBLE 200MCH 009

En todas estas máquinas se planteo realizar un plan de mantenimiento preventivo, entendiendo como tal, al conjunto de lo que pretende hacerse periódicamente para fiabilizar la empresa, asegurando la producción y reducir los costos y el retraso

de la producción. Para elaborar este plan de carácter preventivo, se emplean en general dos acciones:

- La primera, se recopiló las recomendaciones del fabricante de las máquinas identificadas.
- Y la segunda: Basarse en la experiencia de los técnicos especialistas, supervisión y Jefe de mantenimiento del área.

Como parte del mantenimiento predictivo se realizará un monitoreo constante como se indica en el siguiente plan.

Se realizará un mantenimiento basados en la confiabilidad de acuerdo al siguiente plan de mantenimiento del **Molino SAG**:

INSPECCION PERIODICA	TIEMPO
Inspección del Sistema de Lubricación	2 meses
Inspeccionar y Calibrar Pads	4 meses
Inspeccionar la Carga de Bolas	1 mes
Inspección Frecuente del Molino	2 semanas

MOLINO SAG

N°	CAMBIO E INSPECCION	1 mes	2 mes	3 mes	4 mes	5 mes	6 mes	7 mes	8 mes	9 mes	10 mes	11 mes	12 mes
01	Cambiar liner de chute de alimentación				X								
02	Cambiar sello de chute de Alimentación				X								
03	Cambiar liner alim. inner y oter - 54 und							X					
04	Cambiar Shell liners – 120 und							X					
05	Cambiar Grate de descarga – 36 unid				X								
06	Cambiar Pulp Discharger – cono tapa de – 9 unid							X					
07	Cambiar Pulp Liter inner , mid y out 45 unid												X
08	Cambiar middle liner tapa descarga - 18 unid												X
09	Cambiar throat liner tapa alim - 18 unid												X
10	Cambiar feed & discharge filler ring – 60 unid												X
11	Cambiar Filler block – 36 unid												X
12	Cambiar liners de trunnion descarga												X
13	Cambiar Filtros de alta sistema de lubricacion				X								
14	Cambiar set de sellos de freno				X								X
15	Cambiar set de resortes												
16	Servicio mantenimiento menor hidráulico Freno				X								
17	Cambiar pads de Frenos		X										
18	Cambiar mallas de trommel		X										
19	Cambiar aspersores y rev. Siste de Agua		X										
20	Reparar chute superior 200CH001		X										
21	Reparar chute de alimentación 210CH008												
22	Regulacion e Inspeccion de sello del trunnion												

23	Retorqueo de pernos de liners				X								
24	Reparar chute de Finos del trommel 210CH010				X								
25	Reparar chute de gruesos del trommel 210CH010				X								
26	Realizar prueba de disparo válvulas de alivio de sala lubricación												X
27	Cambiar Filtros de baja sistema de lubricación		X										X

MOLINO SAG

N°	CAMBIO E INSPECCION	1 mes	2 mes	3 mes	4 mes	5 mes	6 mes	7 mes	8 mes	9 mes	10 mes	11 mes	12 mes
28	Cambiar divisores de flujo alta												X
29	Cambiar divisores de flujo axial												X
30	Cambiar aceite del sistema de lubricación												X
31	Dializar aceite del sistema de lubricación												X
32	Cambiar acople de bomba de alta												X
33	Cambiar acople de bomba de baja												X
34	Cambiar bomba de alta												X
35	Cambiar bomba de baja												X
36	Cambiar Trust pad												X
37	Cambiar pad												X
38	Cambiar Intercambiado de calor												
39	Calibrar pads							X					
40	Cambiar sello de trunnion de alimentación												X
41	Cambiar sello de trunion de descarga												X

MOLINO DE BOLAS ML – 002 - 003

Como parte del mantenimiento predictivo se realizar un monitoreo constante como se indica en el siguiente plan:

INSPECCION PERIODICA	TIEMPO
Regulación e Inspección de sello del Trunnion	6 meses
Inspeccionar Pads	4 meses
Inspeccionar Alimentador de carga de bolas	1 mes
Inspección Frecuente del Molino	1 mes
Inspeccionar Válvulas	1 mes

Se realizara un mantenimiento preventivo de acuerdo al siguiente plan.

MOLINO DE BOLAS ML – 002 - 003

N°	CAMBIO E INSPECCION	1 mes	2 mes	3 mes	4 mes	5 mes	6 mes	7 mes	8 mes	9 mes	10 mes	11 mes	12 mes
01	Cambiar sello de Spout ledder				X								
02	Cambiar sello de chute de alimentación				X								
03	Cambiar liner de alimentación inner y outer – 36 und												X
04	Cambiar FE Shell liners - 26 und												X
05	Cambiar CE Shell liners - 208 und												X
06	Cambiar DE Shell liners - 52 und												X
07	Cambiar liner de descarga inner y outer – 36 und												X
08	Cambiar Fe plate trunion liner Fe&De – 28 und												X
09	Cambiar Feed & Discharge Filler ring – 52 und												X
10	Cambiar liners de trunnion de descarga							X					
11	Cambiar liners de trunnion de alimentación												X
12	Cambiar set de sellos de freno												X
13	Cambiar filtros de alta sistema de lubricación				X								
14	Cambiar set de resortes												
15	Servicio mantenimiento menor hidráulico Freno				X								
16	Cambiar set de pads de frenos												X

17	Reparar chute de alimentación 210CH035		X										
18	Regulacion e inspección de sello de trunnion		X										
19	Retorqueo de pernos de liners												X
20	Reparar chute de descarga 210CH047				X								
21	Realizar prueba de disparo válvulas de alivio de sala lubricación												X
22	Cambiar filtros de baja sistema de lubricación.		x										
23	Cambiar divisores de flujo alta												x

MOLINO DE BOLAS ML – 002 - 003

N°	CAMBIO E INSPECCION	1 mes	2 mes	3 mes	4 mes	5 mes	6 mes	7 mes	8 mes	9 mes	10 mes	11 mes	12 mes
24	Cambiar divisores de flujo axial												X
25	Cambiar aceite del sistema de lubricación												X
26	Dializar aceite del sistema de lubricación												X
27	Cambiar Trust pad												X
28	Cambiar acople de bomba de alta												X
29	Cambiar acople de bomba de baja												X
30	Cambiar bomba de alta												X
31	Cambiar bomba de baja												X
32	Cambiar pad												X
33	Cambiar intercambiador de calor												X
34	Calibrar pads							X					
35	Cambiar Oring de trunnion descarga							X					
36	Cambiar sello de trunnion de alimentación												X
37	Cambiar sello de trunnion de descarga												X
38	Retoque de pernos de liners				X								
39	Cambiar acumulador de freno												X
40	Cargar nitrógeno de acumulador de freno				X								

Zaranda

Como parte del mantenimiento predictivo se realizar un monitoreo constante como se indica en el siguiente plan.

INSPECCION PERIODICA	TIEMPO
Reajuste de Elementos de Sujeción	2 meses
Medición de Resortes	2 meses
Revisión de Interferencias	2 meses
Revisión de tensión y desgaste de poleas	2 meses
Revisión de cardan	2 meses
Inspección de trolley	2 meses
Inspección de Aceite	1 semana

Se realizará un mantenimiento preventivo de acuerdo al siguiente plan.

ZARANDA

N°	CAMBIO E INSPECCION	1 mes	2 mes	3 mes	4 mes	5 mes	6 mes	7 mes	8 mes	9 mes	10 mes	11 mes	12 mes
01	Cambiar Disco succión		X										
02	Cambiar Wet End				X								
03	Cambiar Camisa de Eje								X				
04	Armar Wet End		X										
05	Ajustar plato de succión	X											
06	Cambiar estopa		X										
07	Cambiar anillo de junta de descarga						X						
08	Cambiar acople de baja						X						
09	Cambiar acople de alta						X						
10	Cambiar anillo linterna						X						
11	Cambiar camisa de eje						X						
12	Cambiar sutting box						X						
13	Cambiar sello gland						X						
14	Cambiar porta rodamiento						X						
15	Reparar porta rodamiento						X						
16	Cambiar aceite de caja reductora						X						
17	Cambiar reductor												X
18	Cambiar filtro de aceite del reductor		X										
19	Cambiar filtro desecante del reductor		X										
20	Cambiar goma de acople de baja						X						
21	Cambiar goma de acople de alta						X						
22	Cambiar bomba de aceite del reductor												X

20	Cambiar goma de acople de baja						X						
21	Cambiar goma de acople de alta						X						
22	Cambiar bomba de aceite del reductor												X
23	Cambiar ventilador												X
24	Reparar reductor												X
25	Cambiar aceite de motor eléctrico						X						

4.9. Determinación de los indicadores de mantenimiento aplicando la metodología RCM.

Para un periodo de estudio de 8 meses (243 días), 1835 horas promedio de operación de las maquinas del año 2016, tenemos:

Tiempo promedio entre fallas TPEF:

$$TPEF = \frac{\sum_{i=1}^n TEF}{n}$$

$$TPEF = \frac{(260 + 245 + 225 + 200 + 120)\text{Hrs operativas}}{(9 + 8 + 8 + 8 + 6)\text{fallas}}$$

$$TPEF = 26.93 \text{ Hrs operativas/falla}$$

Tiempo promedio para reparar TPPR:

$$TPPR = \frac{\sum_{i=1}^n TPR}{n}$$

$$TPPR = \frac{(50 + 50 + 35 + 23 + 4)\text{Hrs reparacion}}{(9 + 8 + 8 + 8 + 6)\text{fallas}}$$

$$TPPR = 4.205 \text{ Hrs reparacion/falla}$$

Disponibilidad D(t) :

$$D(t) = \left(\frac{TPEF}{TPEF + TPPR} \right) * 100\%$$

$$D(t) = \left(\frac{26.93}{26.93 + 4.205} \right) * 100\%$$

$$D(t) = 0.93.6\%$$

Confiabilidad R(t):

$$R(t) = \left(e^{\frac{-\lambda * Tpo}{100}} \right) * 100\%$$

Tasa de fallas:

$$\lambda = \frac{1}{TPEF}$$

$$\lambda = \frac{1}{22.63\text{Hrs operativas/falla}}$$

$$\lambda = 0.037 \text{ fallas/Hrs operativas}$$

Tiempo total de estudio: Tpo = 1835 Hrs

Reemplazando:

$$R(t) = \left(e^{\frac{-0.037*1835}{100}} \right) * 100\%$$

$$R(t) = 0.82.7\%$$

Mantenibilidad M(t):

$$M(t) = \left(1 - e^{\frac{-\mu * T_{po}}{100}} \right) * 100\%$$

Tasa de reparaciones:

$$\mu = \frac{1}{TPPR}$$

$$\mu = \frac{1}{4.205 \text{ Hrs reparacion/fallas}}$$

$$\mu = 0.238 \text{ fallas/ Hrs reparaci3n}$$

Tiempo total de estudio: $T_{po} = 1835$ Hrs

Reemplazando:

$$M(t) = \left(1 - e^{\frac{-0.238*1835}{100}} \right) * 100\%$$

$$M(t) = 0.88\%$$

Que en horas la mantenibilidad seria:

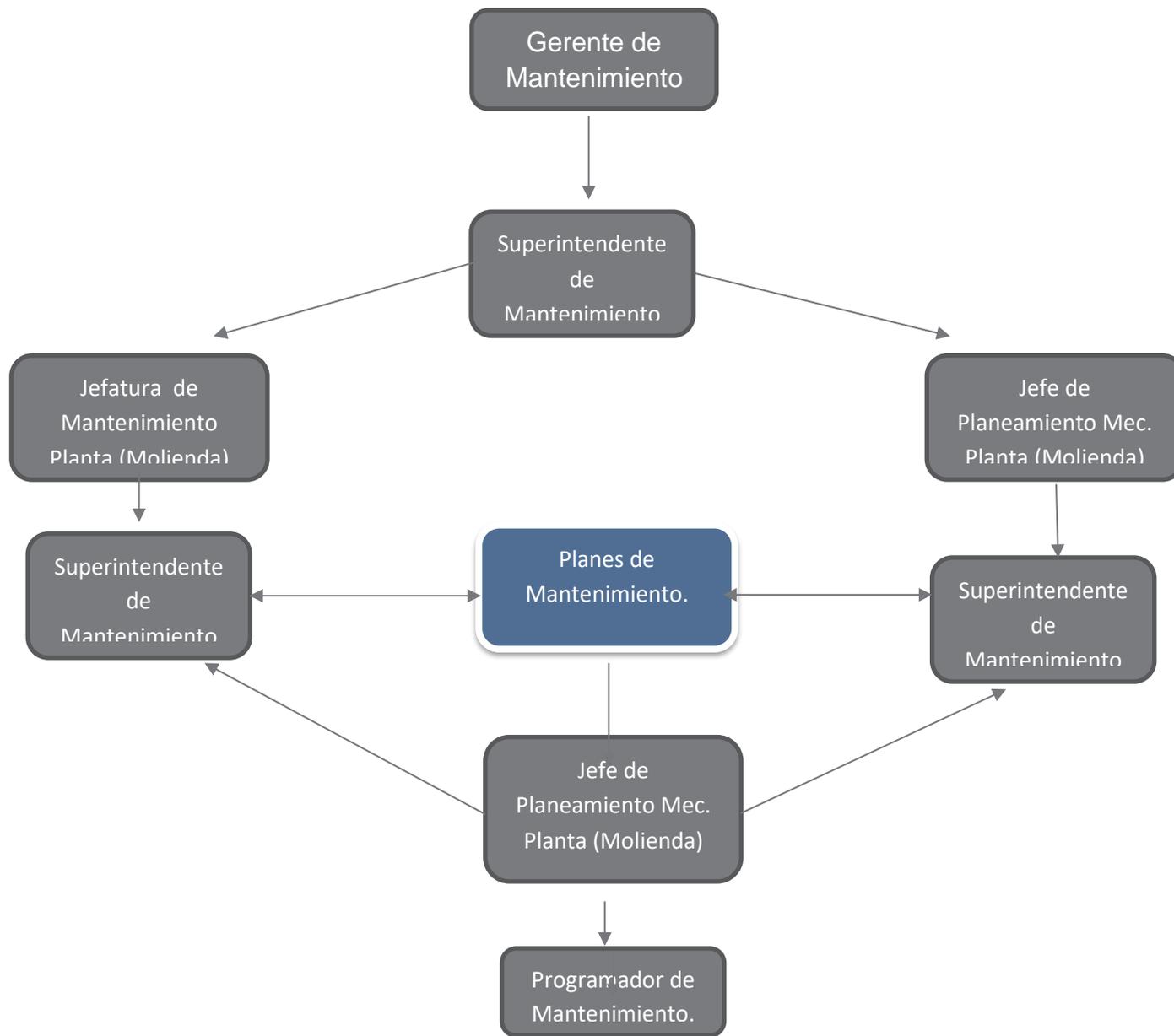
$$M(t) = TPRR = 4.205 \text{ Hrs}$$

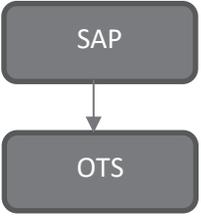
Eficiencia actual de las máquinas MCP :

$$\eta = OEE = D(t) * R(t) * M(t)$$

$$\eta = OEE = 0.94 * 0.83 * 0.88$$

$$\eta = OEE = 0.68\%$$





Requisitos para el Perfil del Supervisor de Confiabilidad en el Área de Molienda para la Planta Concentradora de Minera Chinalco Perú.

- Ingeniero Mecánico, Mecánico-Eléctrico o ramas afines.
- Experiencia mínimo 03 años en labores de Mantenimiento Industrial y 04 años en Gestión de Mantenimiento o de Activos asistida por computadora en actividades propias de Mantenimiento, de preferencia en compañías del Sector Minero.
- Cursos de especialización y/o tener certificaciones en técnicas de gestión de activos, RCM, CRMP, RCFA.
- Conocimientos de Inglés a Nivel Intermedio.

FUNCIONES

- Análisis de aceite usado, rodamientos, metrología, análisis vibracional, termografía, etc.
- Diagnóstico y análisis de fallas, liderando los análisis causa-raíz que se presenten.
- Conocimientos básicos de software de diseño como Autocad, Solid Work o similar.
- Realizar análisis de falla de los equipos.
- Uso de Microsoft Office a Nivel Intermedio y software de Gestión de Mantenimiento como SAP.
- Realizar indicadores de desempeño de mantenimiento y de confiabilidad.
- Redacción de informes técnicos.

Cuadro Comparativo cuando se utilizaba el mantenimiento a la falla (correctivo) y luego cuando se implementó la metodología del RCM.

INDICADORES DE MANTENIMIENTO	ANTES	DESPUES	MEJORA
Disponibilidad	82.3 %	93.6%	11.3%
Confiabilidad	71.6%	82.6%	11%
Mantenibilidad	74%	88%	14%

4.10. Análisis de Inversión

4.10.1. Precio de los Repuestos y Mano de Obra Directa

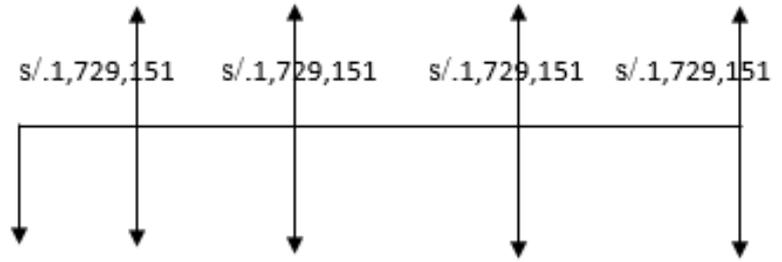
MAQUINAS Y REPUESTOS	PRECIOS
MOLINO SAG	
Pads de Frenos	\$28,000.00
Mallas de trommel	\$39,000.00
Aspersores y rev. Siste de Agua	\$18,000.00
liners de Chute de alimentación	\$9,000.00
Liners de Chute de salida	\$9,000.00
Liners de Molino.	\$2,500,000.00
Filtros de baja sistema de lubricación	\$17,000.00
ZARANDA	
Cambiar Disco succión	\$5,600.00
Wet End	\$6,000.00
Estopa	\$4,000.00
Cambiar filtro de aceite del reductor	\$7,000.00
Cambiar filtro desecante del reductor	\$7,000.00
Mallas de zaranda	\$150,000.00
MOLINOS DE BOLAS	
Filtros de baja sistema de lubricación. X2	\$28,000.00
Liners chute de alimentación X2	\$18,000.00
Liners chute de salidaX2	\$19,000.00
sello de trunnionX2	\$26,000.00
liners de Molino de BolasX2	\$2,800,000.00
BOMBA	\$45,000.00
TOTAL REPUESTOS	\$5,735,600.00

➤ Mano de obra es el 0.21 % del costo de los repuestos. (\$1,175,798.00)

Inversión = S/ 6,916,604.01

N = 4

i = 0.14%



Flujo de Salida = S/ 6,916,604.01

Valor Actual Neto:

$$VAN = -I + \sum \frac{VF}{(1+i)^n}$$

$$VAN = 37,166.4 + \frac{1,729,151}{(1+0.14)^1} + \frac{1,729,151}{(1+0.14)^2} + \frac{1,729,151}{(1+0.14)^3} + \frac{1,729,151}{(1+0.14)^4}$$

$$VAN = S/. 1,878,355.46$$

Tasa Interna de Retorno:

$$0 = VAN = -I + \sum \frac{VF}{(1+TIR)^n}$$

$$0 = 6,916,604.01 + \frac{1,729,151}{(1 + \text{TIR})^1} + \frac{1,729,151}{(1 + \text{TIR})^2} + \frac{1,729,151}{(1 + \text{TIR})^3} + \frac{1,729,151}{(1 + \text{TIR})^4}$$

$$\text{TIR} = 15\%$$

Se estima que el tiempo de recuperación de la Inversión

- Se de en 8 meses con 6 días.

V. DISCUSIÓN.

- Se pudo realizar el diagnóstico del diagnóstico del área de molienda de Minera Chinalco, porque en la actualidad la empresa cuenta con una matriz de criticidad y listado de equipos del área de Molienda, la cual fue corroborado en el desarrollo del presente estudio.
- Se logró realizar el estudio de Pareto (80-20) para las maquinas del área de Molienda de Minera Chinalco Perú, el cual los contribuyo a la selección de las máquinas para e l presente estudio.
- Se realizó el estudio de criticidad para los cinco equipos seleccionados por la metodología de Pareto.
- Se lograron establecer kpis de mantenimiento actuales como disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad. Los cuáles serán mejorados aplicando los planes de mantenimiento sugeridos en el presente estudio.
- Se logró realizar los planes de mantenimiento para los cinco equipos críticos del área de Molienda.
- El costo del presente proyecto es de: S/ 6,916,604.01, También se tiene que el proyecto es viable ya que se realizaron los estudios de VAN y TIR.
- Se tuvo principal limitación no estar en las paradas de planta para poder tomar datos que contribuyan mejorar el presente estudio.

VI. CONCLUSIONES.

- Se realizó el diagnóstico de la situación actual del área de molienda de Minera Chinalco – Perú, dando como resultado que no se cuenta con un plan mantenimiento para intervenir los equipos críticos de dicha área.
- Se realizó el estudio de Pareto dando como resultado cinco equipos a intervenir en el área de Molienda: como son el Molino sag, Molino de Bolas ML-002, Molino de Bolas ML-003, Zaranda 4.2x8M SN – 001, Bomba Sumergible 200MCH 009.
- Se logró realizar el estudio de análisis de criticidad para los equipos seleccionados a través del estudio se realizó con el diagrama de Pareto, teniendo como resultado cuatro máquinas CRITICAS (Molino sag, Molino de Bolas ML-002, Molino de Bolas ML- 003, Zaranda 4.2x8M SN) y una maquina SEMI-CRITICA (Bomba Sumergible 200MCH 009).
- Se determinaron los kpis de mantenimiento para los equipos críticos del área de molienda de Minera Chinalco – Perú, teniendo como resultado de disponibilidad un incremento de 11,3 % es decir un 93.6% como resultado después del presente estudio, de igual manera se obtuvo un incremento de 11% es decir un 82.6 % como resultado del presente estudio, también se obtuvo un incremento de la mantenibilidad en 14% es decir un 88% como resultado del presente estudio.
- Se realizaron los planes de mantenimiento para los equipos críticos del área de Molienda de Minera Chinalco -. Perú.
- Se realizó el análisis de VAN y TIR demostraron la rentabilidad del proyecto pues obtuvimos como resultado:

➤ **VAN= S/. 1,878,355.46.**

➤ **TIR = 15%**

VII. RECOMENDACIONES.

- Se recomienda a Minera Chinalco tener que implementar posteriormente los planes de mantenimiento en un sistema computarizado de mantenimiento (CMMS), con lo cual se puede llevar el control de los mantenimientos y emitir órdenes de trabajo automáticamente.
- Se recomienda capacitación constante para su staff y equipo técnico del área de Mantenimiento y personal del área de Operaciones, ya que según manuales de la empresa FLSMIDTH (proveedor de los molinos), el 10% de fallas o problemas de los molinos es por mala operación.
- Se recomienda hacer un análisis de proyección de desgaste de liners de acuerdo al tonelaje que pasa por el Molino Sag para su cambio respectivo, debido a que esta máquina es la más crítica.
- Se recomienda tener un programa de monitoreo y revisiones periódicas para los equipos seleccionados.

N°	MAQUINAS
01	MOLINO SAG
02	MOLINO DE BOLAS ML-002
03	MOLINO DE BOLAS ML-003
04	ZARANDA 4.2 X 8.5 M SN-001
05	BOMBA SUMERGIBLE 200MCH 009

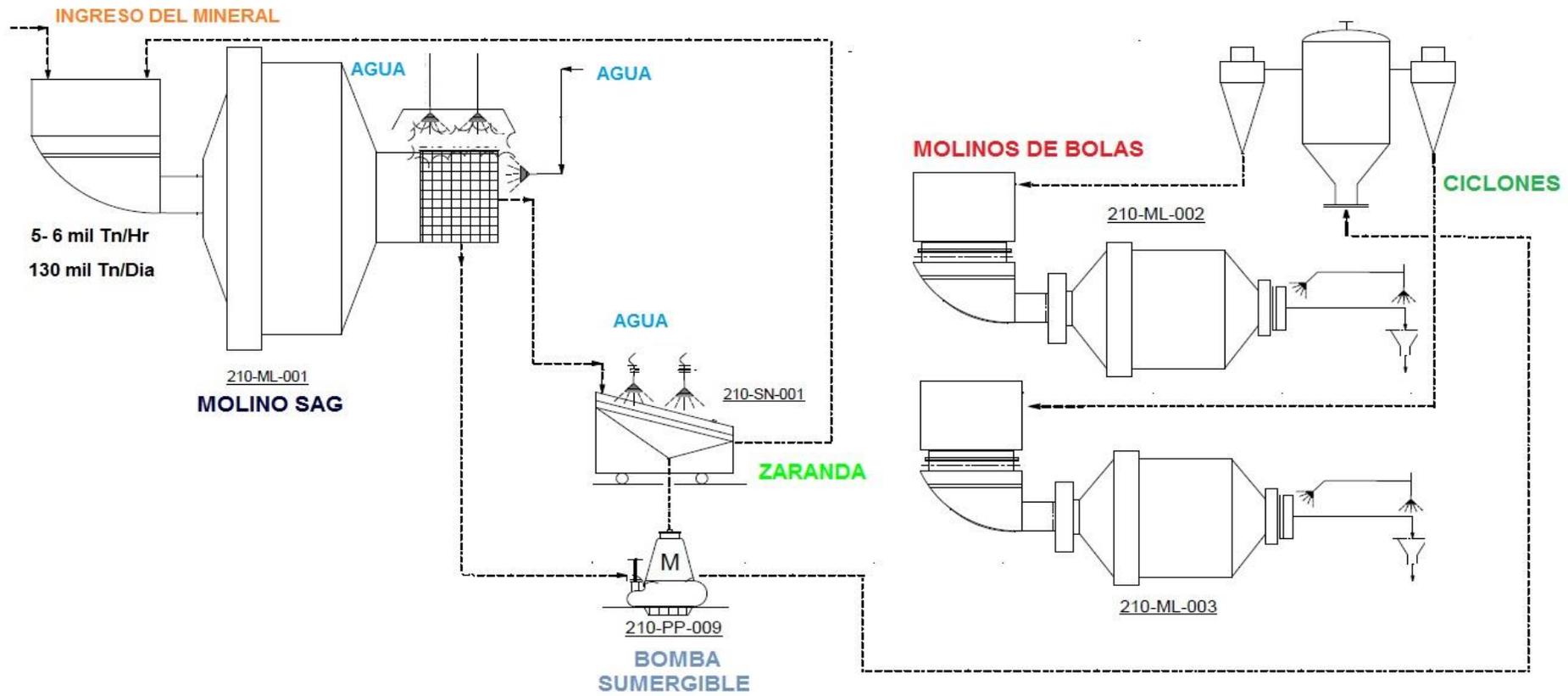
VIII. REFERENCIAS

- Aguilar Rodriguez, S. (2010). *Plan de mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en la reducción, Control de fallas y Optimización de Costos en el Area de Azucar en el Complejo Agroindustrial cartavio S.A.A.* Trujillo: Cesar Vallejo.
- BERENDSON, a. (2013). *academia de natacion BERENDSON*. Obtenido de www.berendsonnatacion.com
- Charles J. Latino, F. &. (15 de 12 de 2006). *La cultura de confiabilidad*. Recuperado el 15 de 06 de 2016, de <http://confiabilidad.net/articulos/definicion-de-las-frecuencias-para-un-plan-de-mantenimiento/>
- CLAVIJO, J. A. (2007). *PROYECTO DE REDUCCION DE PERDIDAS DE ENERGIA TERMICA EN LA PISCINA OR. DURAN DURAN*. CUENCA - ECUADOR.
- cubiertas, A. d. (2009). *Ahorro de energia en piscinas cubiertas*. Obtenido de <http://www.caloryfrio.com/archivos-cyf/pdf/dossiers/foroclima2007/19-B.EvaMALbarracin-CIATESA.pdf>
- Dufua, S. O. (2000). *Sistema de mantenimiento planeación y Control*. Limusa S.A.
- Española, R. A. (2000). Real Academia Española. españa.
- Farro, J. y. (2013). *Plan de Mantenimiento Preventivo basado en un Modelo de Simulacion Discreto, aplicado al área de bloques y adoquines de concreto de una Empresa Productora de Cemento*. Trujillo.
- Huerta Mendoza, R. (2012). Analisis de Criticidad, Una Metodologia para mejorar la Confiabilidad Operacional. 1-7.
- Huerta Mendoza, R. (2012). *Analisis de Criticidad, Una Metodologia para mejorar la Confiabilidad Operacional*.
- INCROPERA, F. (2003). *Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ta ed.*
- Laureano Luna, M. C. (2009). *Propuesta de Mejora del Sistema de Mantenimiento de una Maestranza de Metalmecánica*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Mesa Grajales, D. H., ortiz Sánchez, Y., & Pinzón, M. (2006). *La Confiabilidad , La Disponibilidad y La Mantenibilidad, Disciplinas*. España - Portugal: Scientia et Technica Año XII.
- Mesa Grajales, D. H., ortiz Sánchez, Y., & Pinzón, M. (2006). LA CONFIABILIDAD, LA DISPONIBILIDAD Y LA MANTENIBILIDAD, DISCIPLINAS.

- *Monografias.com*. (22 de 10 de 2012). Recuperado el 15 de 07 de 2016, de <http://www.monografias.com/trabajos28/reingenieria/reingenieria.shtml>
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad* (Vol. II). Argentina - España: Aladon Ltd.
- Piscinas, M. d. (2013). *Manual de Piscinas*. Obtenido de <http://www.cuesasport.com/download//manual.PDF>
- Rodas Barriento, G. (09 de 16 de 2006). <http://www.monografias.com/>. Recuperado el 13 de 05 de 2016, de <http://www.monografias.com/>: http://www.monografias.com/usuario/perfiles/gianny_rodas_barrientos/monografias
- Shapiro, M. M. (2006). "*Fundamentals of Engineering Thermodynamics: SI version*".
- Shuña, A. (2015). *plan de mantenimiento*. Trujillo: Universidad Cesar vallejo.
- Shuña, A. (2015). *Reducción de Costos de mantenimiento con la Implementación del Mantenimiento planeado para Cargadores Frontales en la Empresa Cepromin – Cajamarca*. Trujillo: Universidad Cesar vallejo.
- STREETER, A. I. (2009). *ANALISIS EXERGO-ECONOMICO DE UN SISTEMA DE COLECTORES SOLARES PARA UNA PISCINA MUNICIPAL*. SANTIAGO DE CHILE - CHILE.
- TIXE, G. A. (2011). *USO EFICIENTE DE LA ENERGIA EN COMPLEJOS HIDROTERMALES*. RIOBAMBA - ECUADOR.
- Vargas Perez, w. U. (2004). *Programa de Mantenimiento para la Maquinaria Pesada de la Zonal Vial 11, de Caminos en el Departamento de Izabal*. Guatemala: Universidad San carlos.
- WoodHouse, J. (1994). *Criticality Analysis Revisited*. Newbury.

IX. ANEXOS:

Proceso Productivo de los cinco equipos críticos del Área de Molienda de Minera Chinalco Perú.



Mejora en Horas :

N	HORAS OPERATIVAS		
	EQUIPOS	ANTES	DESPUES
1	MOLINO SAG	245	260
2	M. BOLAS ML-002	235	245
3	M. BOLAS ML-003	212	225
4	ZARANDA SN -001	184	200
5	BOMBA S. 200 MCH 009	97	120

Fotografías:

<http://www.chinalco.com.pe/>



Molino SAG



<http://www.chinalco.com.pe/>

Molinos de Bolas



<http://www.chinalco.com.pe/>

Tromel de descarga del Molino SAG.



<http://www.chinalco.com.pe/>

Zaranda