

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y
FORMALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



“PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANIFICADO EN EL ÁREA DE CHANCADO PRIMARIO EN UNA EMPRESA MINERA DE COBRE”

Tesis presentada por la Bachiller:
ANDREA CAROLINA ESCALANTE LUNA
Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO INDUSTRIAL

AREQUIPA – PERÚ
2016

AGRADECIMIENTO

Este proyecto no se hubiera podido realizar sin el apoyo de muchas personas que me dieron las fuerzas para lograr este proyecto, por lo tanto quiero agradecer a todas y a todos ellos cuanto han hecho por mí, para que este proyecto saliera adelante.

Primeramente quiero agradecer a Dios por ser la fuente de motivación y fortaleza para lograr este objetivo, asimismo agradezco a mi familia por siempre apoyarme en seguir adelante y por siempre darme una buena educación en el transcurso de mi vida.



DEDICATORIA

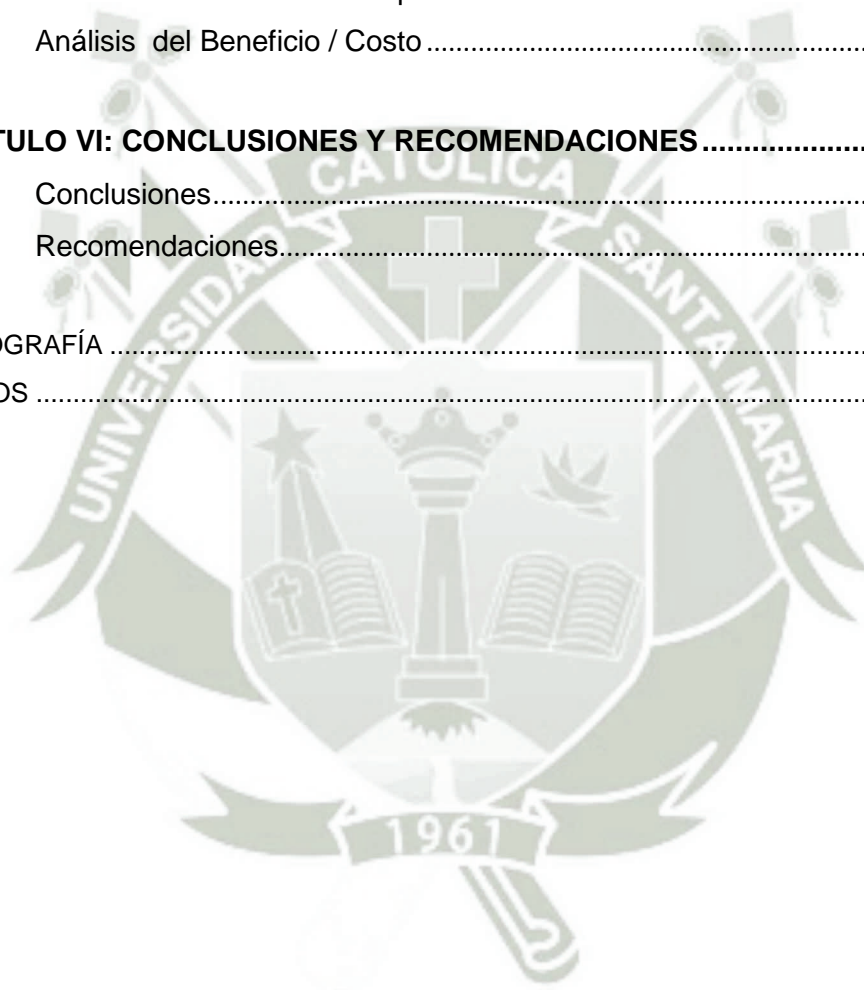
A mi familia, por el apoyo incondicional y por su constancia para lograr mi titulación, a mis amigos que me apoyaron a ser mejor cada día y a mi Universidad Católica por darme la formación para mejorar profesionalmente.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	xiv
CAPITULO I: GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	1
1.1.1 Identificación del Problema.....	1
1.1.2 Descripción del Problema.....	1
1.1.3 Campo, área y línea.....	2
1.1.4 Tipo de investigación.....	2
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 Justificación.....	3
1.4 Variables, indicadores y concepto.....	4
1.5 Hipótesis.....	4
1.5.1 Hipótesis de la investigación (Hi):.....	4
1.5.2 Hipótesis nula (Ho):.....	5
1.5.3 Hipótesis alternativa (Ha):.....	5
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Descripción del área de Chancado Primario.....	6
2.1.1 ¿Qué es el área de chancado?.....	6
2.1.2 ¿Qué se hace en el área de chancado?.....	7
2.1.3 ¿De qué consta el área de chancado?.....	8
2.1.4 ¿Cómo funciona el área de chancado primario?.....	14
2.2 Herramientas de análisis de Confiabilidad.....	17

2.2.1	Disponibilidad.....	17
2.2.2	Tiempo medio entre fallas (MTBF)	17
2.2.3	Tiempo medio entre reparación (MTTR)	17
2.2.4	Análisis Pareto	17
2.2.5	Análisis del diagrama de Jack knife	19
2.3	Optimización del plan de Mantenimiento	23
2.3.1	¿Qué es el PMO?.....	24
2.3.2	¿Qué es el RCM?.....	25
2.3.3	Patrones de fallas.....	27
2.3.4	Pasos del PMO	28
CAPITULO III: DIAGNOSTICO SITUACIONAL.....		42
3.1	Jerarquización y datos técnicos de los equipos del área de Chancado Primario.....	42
3.1.1	Chancadora Primaria (CR001).....	42
3.1.2	Apron Feeder (FE001).....	44
3.1.3	Faja de sacrificio (CV001).....	44
3.1.4	Faja Overland (CV002).....	46
3.2	Análisis de confiabilidad del área de Chancado Primario.....	47
3.2.1	Disponibilidad del área de Chancado Primario	47
3.2.2	Análisis de Pareto de Mantenimiento Correctivo	51
3.2.3	Análisis Jack Knife Mantenimiento Correctivos	57
CAPITULO IV: PROPUESTA DE OPTIMIZACION DEL MANTENIMIENTO PLANIFICADO.....		62
4.1	Recopilación de tareas.....	63
4.1.1	Reunir información de las actividades de Mantenimiento Preventivo.....	63
4.1.2	Organizar las tareas de mantenimiento de forma adecuada para el análisis	64
4.2	Análisis de modos de falla (FMEA)	66
4.3	Racionalización y Revisión del FMEA.....	68
4.4	Análisis Funcional	70
4.5	Evaluación de Consecuencias	72
4.6	Definición de la Política de Mantenimiento	78
4.6.1	Análisis aplicando RCM.....	78

4.6.2	Propuesta de Plan de Mantenimiento	83
4.7	Revisión y Agrupación	85
CAPITULO V: ANALISIS DE VIABILIDAD TECNICA Y ECONÓMICA.....		87
5.1	Análisis técnica de los equipos de medición de Mantenimiento	87
5.1.1	Equipo de medición de espesores por Ultrasonido UT	87
5.1.2	Equipo de medición Termográfico	89
5.2	Análisis de Disponibilidad de la implementación del Plan de Mantenimiento	90
5.3	Análisis económico de la implementación del Plan de Mantenimiento	93
5.4	Análisis del Beneficio / Costo	100
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		101
5.1	Conclusiones.....	101
5.2	Recomendaciones.....	102
BIBLIOGRAFÍA		103
ANEXOS		104



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: Variables, indicadores e Concepto	4
TABLA N° 2: Análisis de modos de falla.	31
TABLA N° 3: Paso 3 del PMO.....	32
TABLA N° 4: Análisis de función de activos.	33
TABLA N° 5: Datos técnicos y Jerarquización de Chancadora Primaria.	43
TABLA N° 6: Datos técnicos y Jerarquización de Apron Feeder.	44
TABLA N° 7: Datos técnicos y Jerarquización de Faja de Sacrificio.	45
TABLA N° 8: Datos técnicos y Jerarquización de Faja Overland.....	46
TABLA N° 9: Disponibilidad anual 2012.....	48
TABLA N° 10: Disponibilidad anual 2013.....	49
TABLA N° 11: Disponibilidad anual 2014.....	50
TABLA N° 12: Fallas críticas del área de Chancado Primario.....	63
TABLA N° 13: Fallas críticas vs Planes de Mantenimiento del área de Chancado Primario.....	65
TABLA N° 14: Modos de Fallas PMO.....	66
TABLA N° 15: Identificación de Modos de Fallas	67
TABLA N° 16: Racionalización y Revisión del FMEA	68
TABLA N° 17: Racionalización y Revisión del FMEA de fallas críticas.....	69
TABLA N° 18: Análisis Funcional de fallas críticas.....	71
TABLA N° 19: Análisis de Efecto y Consecuencia de Fallas críticas – Chancadora Primaria.....	73
TABLA N° 20: Análisis de Efecto y Consecuencia de Fallas críticas – Apron Feeder. 74	
TABLA N° 21: Análisis de Efecto y Consecuencia de Fallas críticas – Faja de Sacrificio	75
TABLA N° 22: Análisis de Efecto y Consecuencia de Fallas críticas – Faja Overland 76	
TABLA N° 23: Definición de la Política de Mantenimiento – Chancadora Primaria	79
TABLA N° 24: Definición de la Política de Mantenimiento – Apron Feeder	80
TABLA N° 25: Definición de la Política de Mantenimiento – Faja de Sacrificio	81
TABLA N° 26: Definición de la Política de Mantenimiento – Faja Overland.....	82
TABLA N° 27 : Mantenimiento Proactivo Planificado Propuesto.....	83
TABLA N° 28: Mantenimiento Proactivo Planificado Propuesto.....	84
TABLA N° 29: Programa de Mantenimiento Anual de Chancado Primario	86

TABLA N° 30: Comparación Disponibilidad real y Disponibilidad Propuesta.....	91
TABLA N° 31: Pérdida de Producción por fallas Críticas	92
TABLA N° 32: Costo unitario de cambio de repuestos	93
TABLA N° 33: Costo total de Mantenimiento Correctivo y pérdida de producción de fallas críticas.....	94
TABLA N° 34: Costo total de Mantenimiento Preventivo existente de fallas críticas ...	96
TABLA N° 35: Costo total de fallas críticas.....	97
TABLA N° 36: Costo total de Mantenimiento Planificado Propuesto.....	98
TABLA N° 37: Ahorro por implementación de Plan de Mantenimiento mejorado.....	99
TABLA N° 38: Análisis del Flujo de caja.....	100



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1: Chancadora primaria giratoria.....	7
FIGURA N° 2: Esquema de recepción de mineral.....	11
FIGURA N° 3: Pila de acopio de mineral grueso (stockpile).....	13
FIGURA N° 4: Corte 3D del Circuito de Chancado Primario.....	16
FIGURA N° 5: Digrama de Pareto.....	18
FIGURA N° 6: Diagrama de dispersión de MTTR vs Número de fallas	20
FIGURA N° 7: Logaritmo de Diagrama de dispersión de MTTR vs Número de fallas..	21
FIGURA N° 8: Límites del Diagrama de dispersión de MTTR vs Número de fallas.....	22
FIGURA N° 9: Secuencia del PMO	25
FIGURA N° 10: Secuencia del RCM.....	26
FIGURA N° 11: Comparación del RCM y PMO.....	27
FIGURA N° 12: Patrones de falla	28
FIGURA N° 13: Antes y después del PMO	29
FIGURA N° 14: Pasos del PMO	29
FIGURA N° 15: Paso 1 del PMO	30
FIGURA N° 16: Paso 4 del PMO	33
FIGURA N° 17: Paso 5 del PMO	35
FIGURA N° 18: Paso 6 del PMO	36
FIGURA N° 19: Disponibilidad anual 2012.....	48
FIGURA N° 20: Disponibilidad anual 2013.....	49
FIGURA N° 21: Disponibilidad anual 2014.....	50
FIGURA N° 22: Diagrama de Pareto de Chancadora Primaria - Acumulación de fallas (Hrs).....	53
FIGURA N° 23: Diagrama de Pareto de Apron Feeder - Acumulación de fallas (Hrs) .	54
FIGURA N° 24: Diagrama de Pareto de Faja de Sacrificio - Acumulación de fallas (Hrs).....	55
FIGURA N° 25: Diagrama de Pareto de Faja Overland - Acumulación de fallas (Hrs).	56
FIGURA N° 26: Diagrama Jack Knife Chancadora Primaria.....	58
FIGURA N° 27: Diagrama Jack Knife Apron Feeder	59
FIGURA N° 28: Diagrama Jack Knife Faja de Sacrificio.....	60
FIGURA N° 29: Diagrama Jack Knife Faja Overland	61
FIGURA N° 30: Equipo de participación.....	66

FIGURA N° 31: Análisis Funcional	70
FIGURA N° 32: Clasificación de Consecuencias.....	72
FIGURA N° 33: Clasificación de Consecuencias - Evidentes	72
FIGURA N° 34: Equipo de Ultrasonido	89
FIGURA N° 35: Equipo de Cámara Termográfica	90
FIGURA N° 36: Comparación de Disponibilidad Real y Disponibilidad Propuesta	91
FIGURA N° 37: Comparación de Costo de fallas y Costo del Plan Propuesto	99



LISTA DE ANEXOS

Anexo N° 1: Diagrama de flujo de circuito de Chancado Primario.....	105
Anexo N° 2: Diagrama de ubicación de Chancado Primario	106
Anexo N° 3: Formato de Análisis de Fallas y Efectos	107
Anexo N° 4: Formato de Análisis de Fallas y Efectos	108
Anexo N° 5: Base de datos de fallas de Chancadora Primaria	109
Anexo N° 6: Base de datos de fallas de Apron Feeder.....	110
Anexo N° 7: Base de datos de fallas de Faja 01 Sacrificio	111
Anexo N° 8: Base de datos de fallas de Faja 02 Overland	112



RESUMEN

La presente tesis denominada: "PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANIFICADO EN EL ÁREA DE CHANCADO PRIMARIO EN UNA EMPRESA MINERA DE COBRE", tiene como propósito analizar la gestión de los planes de mantenimiento de una área de Chancadora Primaria donde abarca el análisis de la disponibilidad, los costos de producción y de Confiabilidad para lo cual se aplicara la metodología del PMO (Optimización del mantenimiento Planificado)

El PMO es un proceso que se basa en los principios del RCM para racionalizar los programas existentes de mantenimiento, historial de fallas y otra información técnica y así eliminar defectos.

Esta metodología tiene como finalidad de mejorar la disponibilidad y los costos de mantenimiento, donde se requiere el fortalecimiento de las fallas críticas identificadas en base al análisis situacional del área de Chancado Primario, se utilizaran herramientas como el diagrama de Pareto y el Diagrama de dispersión Jack Knife,

Para lograr los objetivos se deberá realizar la metodología del PMO para una mejora continua en los planes de mantenimiento logrando tener un plan de mantenimiento Optimizado que garantice un aumento en la producción de mineral.

ABSTRACT

This project entitled: "PROPOSAL OF OPTIMIZATION MAINTENANCE PLANNED IN THE AREA OF CRUSHING PRIMARY IN A MINING COMPANY COPPER", aims to analyze the management of maintenance plans an area of Chancadora Primary which covers the analysis of availability, production costs and reliability for which the methodology of the PMO (Planned maintenance optimization) is applied

The PMO is a process based on the principles of RCM to streamline existing maintenance programs, fault history and other technical information and eliminate defects.

This methodology aims to improve the availability and maintenance costs, where the strengthening of critical failures identified based on the situation analysis of area Chancado Primary is required, tools should be used as the Pareto chart and scatter diagram Jack Knife,

To achieve the objectives should make PMO methodology for continuous improvement in managing maintenance plans to have a maintenance plan to ensure Optimized increased ore production.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento se ha ganado el papel protagónico en el desarrollo y crecimiento de las organizaciones a nivel mundial, el desarrollo y aplicación de nuevas técnicas de mantenimiento, la creación de cátedras universitarias referentes a la conservación de activos nos dan un pequeño abrebocas acerca de la importancia que cada día toman los departamentos de mantenimiento en las empresas.

En este caso el área de Chancado Primario de una empresa minera tiene como propósito de evaluar su proceso de mantenimiento buscando herramientas de gestión que lleven esta actividad al aumento de la eficiencia, la maximización de recursos y la disminución de los costos estableciendo el mejoramiento del plan de mantenimiento. Actualmente no se cuenta con un modelo moderno y unificado de la gestión de mantenimiento acorde con el tamaño de la organización, las necesidades de producción.

El alcance es mejorar el plan de mantenimiento actual que permite al área de mantenimiento, modernizar su modelo de gestión de mantenimiento, administrando de manera eficiente el ciclo de vida de los activos a su cargo. Evaluando el costo de mantenimiento presupuestado y ejecutado, además de costos de paradas de fallas en equipos, determinando el impacto real sobre los indicadores financieros.

El método que se aplicara para mejoramiento de la confiabilidad de los equipos será el PMO (Optimización de mantenimiento planificado) que se desarrolla en Australia entre el año 1996 y el 2000; y se ofrece como una alternativa para el aumento de la confiabilidad en un proceso de mantenimiento, con la ventaja frente al RCM

CAPITULO I: GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Planteamiento del Problema

1.1.1 Identificación del Problema

Los problemas principales en una organización es entrar en el Ciclo Vicioso de Mantenimiento Reactivo, esto genera un dilema para el mejoramiento de la productividad, ya que por más que la planeación y la programación sean perfectas, no ayudaran a mejorar un programa de mantenimiento que por sí mismo es ineficiente. ¿Cómo trabajar con un programa 50% útil y 50% inútil con la esperanza de alcanzar el 100% de cumplimiento efectivo del mantenimiento?

1.1.2 Descripción del Problema¹

Estadísticas comparadas de encuesta sobre eficacia del mantenimiento en procesos industriales, han demostrado que existen Problemas con la mayoría de los programas de Mantenimiento Preventivo a pesar de que los responsables de su administración cumplen estrictamente los calendarios y sus ejecuciones, tanto en plantas, procesos y flotas de equipos.

El problema más común con los programas de mantenimiento de las plantas maduras que no fueron diseñados sólidamente desde un principio, es que entre el 40% y 60% de las tareas de Mantenimiento Preventivo hacen muy poco por el desempeño de la planta (Moubray 1997). Las conclusiones de varios estudios son:

1. Existen tareas duplicadas.
2. Algunas tareas se hacen muy frecuentemente y otras muy distantemente.

¹ Tomado por el RCM Realiability Centered Maintenance - Moubray

3. Algunas tareas no generan beneficios más bien acumulan gastos.
4. Se presentan muchas fallas que son costosas y fácilmente han podido ser prevenibles
5. Algunas tareas son intrusivas o basadas en overhauls, cuando deberían ser basadas en condición.

1.1.3 Campo, área y línea

Campo : Industria Minera

Área : Mantenimiento

Línea : Planificación y Confiabilidad de Mantenimiento

1.1.4 Tipo de investigación

El tipo de investigación tiene un enfoque cuantitativo y descriptivo. Cuantitativo porque recoge y analiza datos cuantificables sobre variables y descriptivo la cual mide y recoge información de manera independiente sobre las variables a las que se refieren.

El diseño metodológico es experimental porque modifica los parámetros definidos, se investiga, analiza y se explica.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

“Mejoramiento de la disponibilidad y reducción de costo de mantenimiento enfocándose en las áreas del mantenimiento preventivo y la eliminación de fallas mediante la optimización del mantenimiento planeado (PMO) en el área de chancado primario de una empresa minera de cobre.”

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar un estudio de Optimización del actual Plan de Mantenimiento de los equipos de Chancado Primario CH-I, aplicando metodologías de confiabilidad y riesgo.
- Asegurar la efectiva implementación de las tareas de mantenimiento producto del análisis realizado, mediante la adecuada revisión, agrupación y aprobación de los resultados de los estudios realizados.
- Definir las ventanas de mantenimiento necesarias para mantener la integridad de los equipos, de tal forma de afectar lo menos posible a la producción.
- Estimar el plan de costo tanto para el gasto operativo del mantenimiento como para el gasto de capital de inversión

1.3 Justificación

Los estudios de PMO indican que se debe implementar un proceso que:

1. Pueda definir la mezcla apropiada entre mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo.
2. Pueda generar un programa de mantenimiento en donde las tareas y sus frecuencias sean sólidas y aporten valor agregado.
3. Ofrezca diferentes opciones para la minimización o eliminación de fallas.

La recomendación, para implementar todas las estrategias es asegurar que las decisiones se toman basadas en un análisis de RCM, realizado en la fase de diseño de una planta nueva y para la planta en funcionamiento, PMO es el medio para racionalizar todo el Mantenimiento Preventivo (PM) y así asegurar que existe valor agregado y es costo efectivo para la organización

1.4 Variables, indicadores y concepto

TABLA N° 1: Variables, indicadores e Concepto

	VARIABLE	INDICADORES	CONCEPTO
INDEPENDIENTE	Fallas de los equipos	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad 	Condición no deseada que hace que el elemento estructural no desempeñe una función para la cual existe
	Optimización de Mantenimiento Optimizado (PMO)	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión 	Conjunto de tareas programadas no siguiendo algún tipo de criterio e incluye a una serie de equipos en planta
DEPENDIENTE	Disponibilidad de equipos	<ul style="list-style-type: none"> • Rendimiento 	Medida que indica cuanto tiempo el equipo está operativo sin presentarse alguna falla
	Costo de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Costo 	Salida de dinero por reparación de alguna falla de un equipo

Fuente: Elaboración Propia

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis de la investigación (Hi):

Es probable que la implementación del PMO (Optimización del mantenimiento planeado) en el área de chancado primario de una empresa minera, disminuya los costos de mantenimiento y aumentará la disponibilidad de los equipos.

1.5.2 Hipótesis nula (Ho):

Es probable que la implementación del PMO (Optimización del mantenimiento planeado) en el área de chancado primario de una empresa minera, no disminuya los costos de mantenimiento y no aumentará la disponibilidad de los equipos.

1.5.3 Hipótesis alternativa (Ha):

Es probable que la implementación del PMO (Optimización del mantenimiento planeado) en el área de chancado primario de una empresa minera, servirá para conocimiento de estrategias al personal de mantenimiento del área de chancado primario.



CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Descripción del área de Chancado Primario²

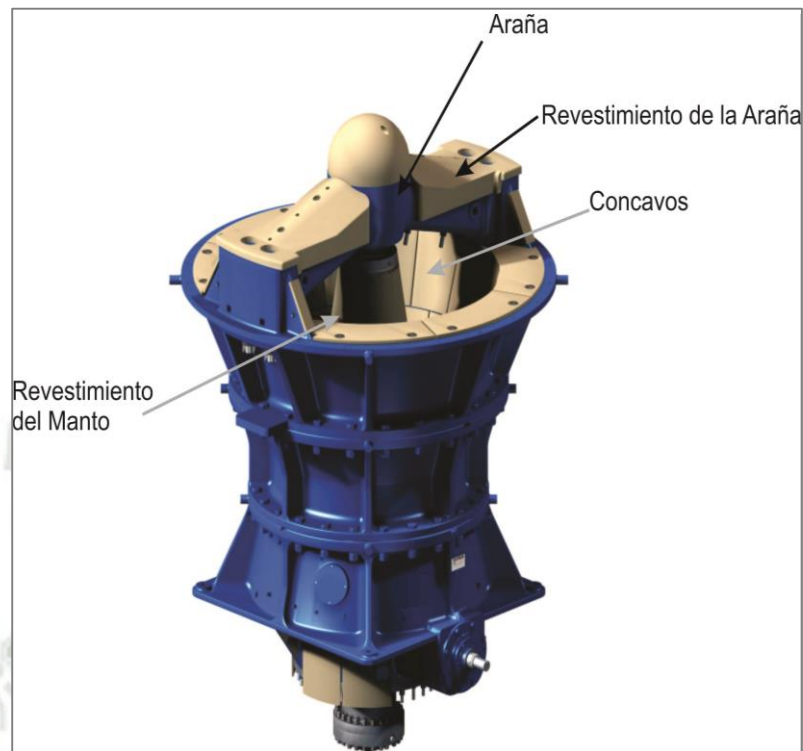
2.1.1 ¿Qué es el área de chancado?

El chancado primario es la primera etapa de reducción de tamaño de la planta concentradora, sin embargo, es en realidad la segunda etapa de conminución ya que está posterior al minado. La conminución es un término general utilizado para indicar la reducción de tamaño de un material y que puede ser aplicado sin importar el mecanismo de fractura involucrado. El propósito del chancado primario es reducir el tamaño del mineral proveniente directamente de mina a un tamaño menor de 7" para que pueda ser transportado fácilmente por las fajas de sacrificio y Overland, hacia el Stockpile.

El rango y distribución de tamaños de las partículas del mineral (granulometría) dependerá principalmente de la dureza y la composición mineralógica del mineral así como también del proceso de voladura, siendo este último proceso el principal responsable de la adecuada fragmentación inicial del mineral.

² Tomado de la Empresa Minera del Sur de Producción de Cobre

FIGURA N° 1: Chancadora primaria giratoria



Fuente: Empresa Minera de Producción de Cobre

En la figura N°1, se muestra el chancador primario que se utilizara en la planta concentradora, también se hace referencia a las principales partes que tiene el chancador, en donde se realizará la fragmentación del mineral

2.1.2 ¿Qué se hace en el área de chancado?

Para poder tener un trabajo constante y sin sobresaltos de la chancadora se deberá tener un suministro constante de mineral en el foso de descarga; El foso de descarga está diseñado para recibir 02 camiones de 250 t de capacidad cada uno en forma simultánea, esto para lograr fragmentar el tonelaje máximo que es de 70 000 tmd.

Todo el mineral procedente de mina tendrá un tamaño de partícula aproximado de 1200 mm (47.2 pulg.) como máximo y será reducido por la chancadora a un tamaño de 178 mm (7.0 pulg.) aproximadamente, teniendo una razón de

reducción de 7 aproximadamente, con esto se inicia la liberación de las partículas valiosas del mineral que posteriormente, serán recuperadas. Se denomina razón de reducción a la relación entre el tamaño de alimentación y descarga de la chancadora.

2.1.3 ¿De qué consta el área de chancado?

En el circuito de chancado primario encontraremos el edificio de chancado primario, la faja transportadora de mineral grueso y la pila de acopio de mineral grueso y sus respectivos elementos.

2.1.3.1 Edificio de Chancado Primario

El edificio de chancado primario es una estructura convencional fija, la cual cuenta con un dump pocket de 500 toneladas de capacidad viva, ubicada en la parte superior de la chancadora primaria en ambas líneas. El dump pocket está diseñado para recibir 02 camiones de 250 toneladas de capacidad cada uno en forma simultánea, almacenando temporalmente 500 toneladas de mineral, esto permite que los camiones descarguen rápidamente y retornen por otra carga mientras que la chancadora continúa procesando el material almacenado, con un flujo más bajo que la descarga del camión de acarreo. El surge pocket de 500 toneladas de capacidad viva ubicado debajo de la chancadoras absorbe las variaciones instantáneas del flujo de descarga del mineral triturado por la chancadora para mantener una transferencia de mineral constante a la faja transportadora de sacrificio a través del apron feeder.

Un romperocas hidráulico está montado sobre un soporte de concreto entre los puntos de descarga de los camiones. Además de fragmentar las rocas de mayor tamaño dentro del dump pocket, el romperocas está diseñado para la

remoción de revestimientos durante el mantenimiento de la chancadora.

El apron feeder ubicado por debajo de la chancadora, tiene una capacidad nominal de descarga de 4187 tmph. Figura N°2

Si el nivel en el surge pocket de la chancadora tiene un nivel bajo o está vacío se puede generar un daño como rotura de las placas del apron feeder por el impacto del mineral que descarga la chancadora, para evitar este daño se dispone de sensores de nivel que detienen el apron feeder cuando este llega a un nivel bajo, dicho valor de nivel bajo es seteado por el operador.

El chute de descarga de la chancadora cuenta con barras corta flujo en la salida del mineral, para detener el flujo de este durante el mantenimiento de las orugas del apron feeder.

Un sistema automático de atomizadores de agua (sprays) ubicado en el dump pocket de las chancadoras, ayuda a reducir las emisiones de polvo.

Este sistema es activado solo cuando los camiones se aproximan a descargar el mineral a las chancadoras e incluye controles manuales que permiten al operador ajustar la duración y la sincronización de los sprays de acuerdo con las condiciones imperantes. Ver figura N°2.

2.1.3.2 Fajas transportadoras de mineral

Las fajas transportadoras CVB-0001 y CVB-0002 transportan el mineral del edificio de chancado primario hacia el stockpile a una distancia de aproximadamente de 7.0 km.

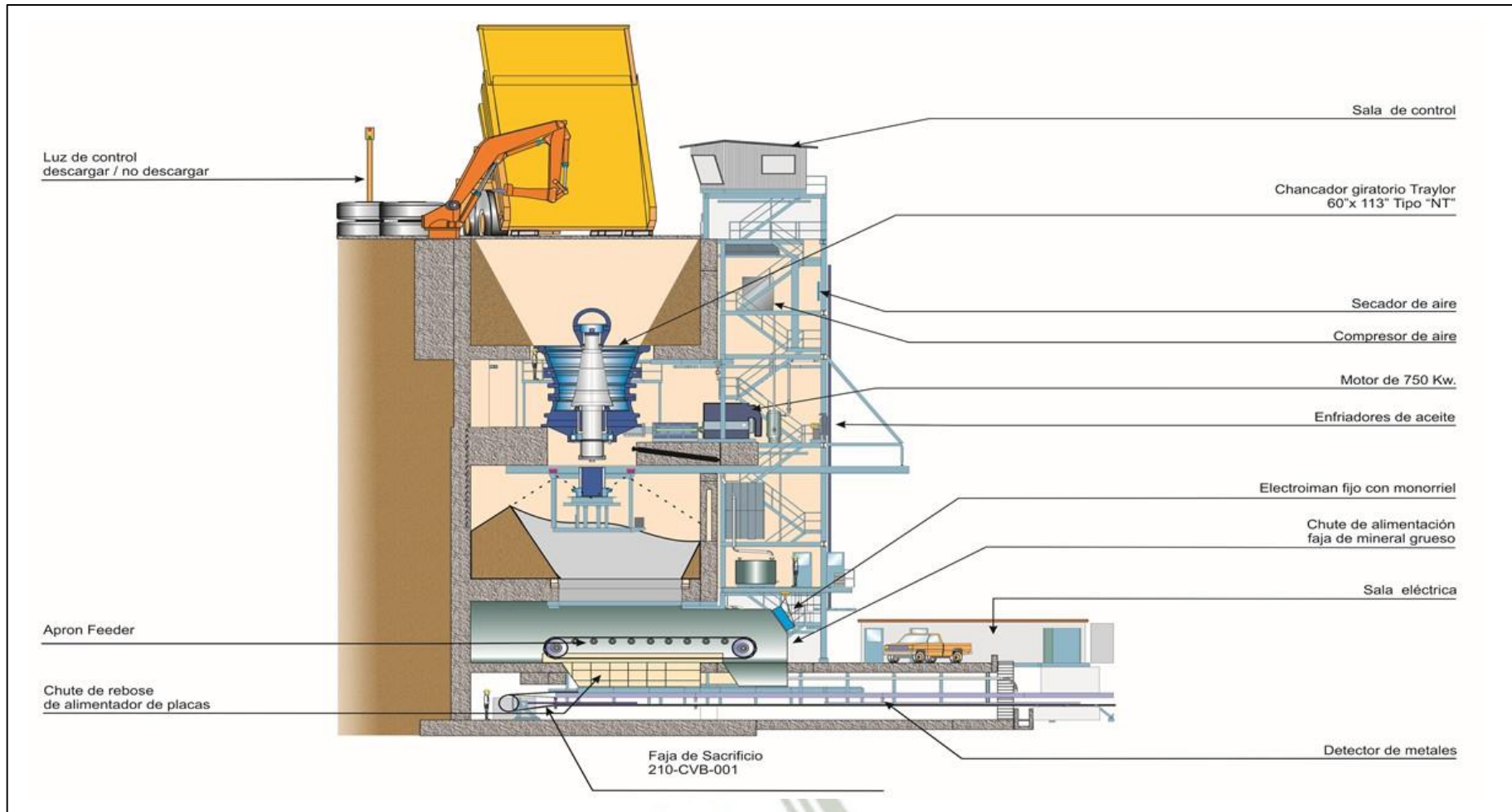
Estas fajas, transportan el mineral a una velocidad variable controlable, son cargadas a un 80% de su capacidad volumétrica recomendada; esto reduce el riesgo de derrames debido a un desalineamiento temporal de la carga o sobrecargas en el flujo del apron feeder.

Se cuenta con un pesometro (balanza), que proporcionará al operador en la sala de control una lectura instantánea de la cantidad de mineral que está siendo transportado, así como también registra la masa total de mineral que pasa por la faja.

Un detector de metales sobre la faja transportadora activará una alarma de sonido y detiene la faja si un trozo de metal que no pudo ser retirado por el electroimán, es detectado. Se puede ajustar la sensibilidad del detector para reducir la frecuencia de falsas alarmas. Adicionalmente se desprenderá un banderín sobre el mineral para señalar la zona donde el metal ha sido detectado a un metro de distancia aproximadamente, esto permitirá su rápida ubicación y remoción por parte del operador de campo. Una vez retirado el metal se procederá arrancar nuevamente la faja transportadora.

Estas fajas también cuentan con un sistema de detección de corte incorporado, sensores de velocidad, así como también interruptores normales de seguridad. También existe un sensor en la cabeza de la faja transportadora que determina el nivel del stockpile. Si un nivel alto es detectado, entonces una señal de alarma llegará al operador y la faja transportadora se detendrá cuando el stockpile alcance su nivel máximo. Una cámara en circuito cerrado proporcionará al operador en la sala de control una imagen en vivo del mineral que está siendo transportado.

FIGURA N° 2: Esquema de recepción de mineral



Fuente: Empresa Minera de Producción de Cobre

2.1.3.3 Pila de acopio de mineral grueso

El área de acopio de mineral está compuesta de mineral grueso (stockpile), con una capacidad de acopio aproximado de 55000 toneladas total. La capacidad viva de almacenamiento del stockpile es la cantidad de mineral que se puede extraer mediante los apron feeders que se encuentran ubicados por debajo de la pila, quedando el resto del mineral como carga muerta, la cual en caso de ser necesario, se podrá llevar hacia el centro del stockpile mediante el uso de bulldozer para que pueda ser alimentado a los apron feeders (Ver Figura N°3). En caso de paradas programadas o inesperadas de las chancadoras primarias, el stockpile se podrá manipular mediante los bulldozer para aumentar la capacidad de almacenamiento vivo o para que pueda ser aprovechado todo el material del stockpile.

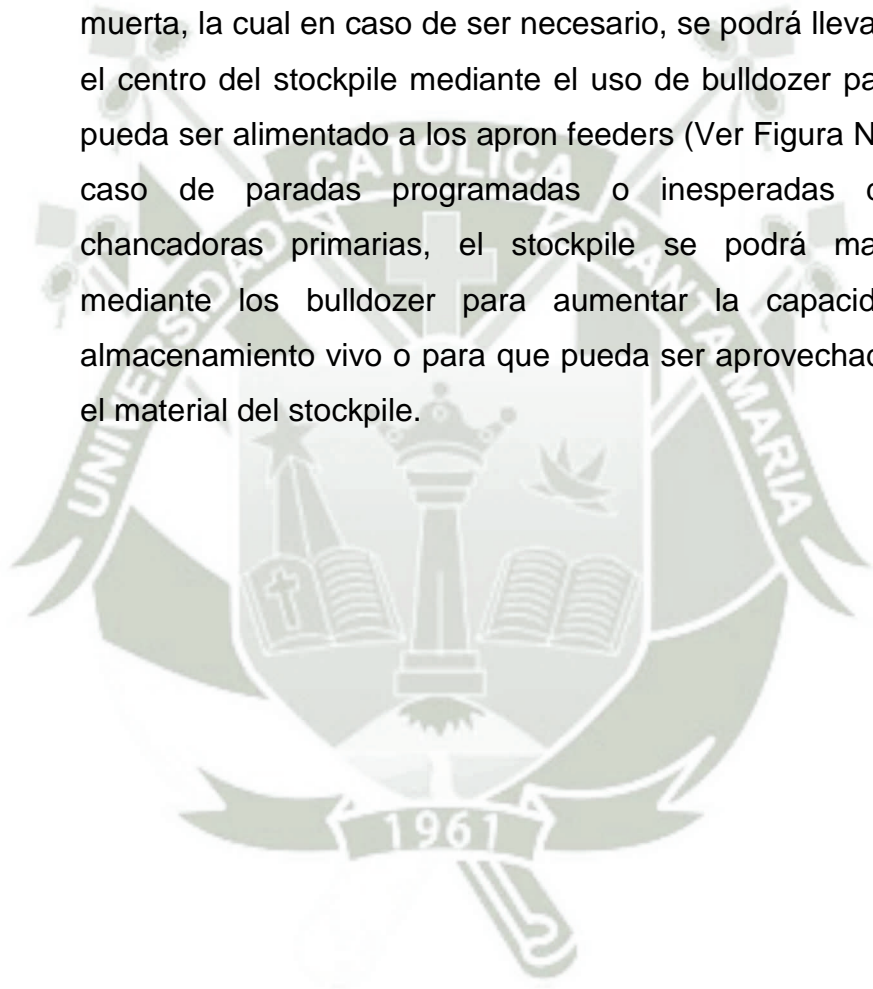
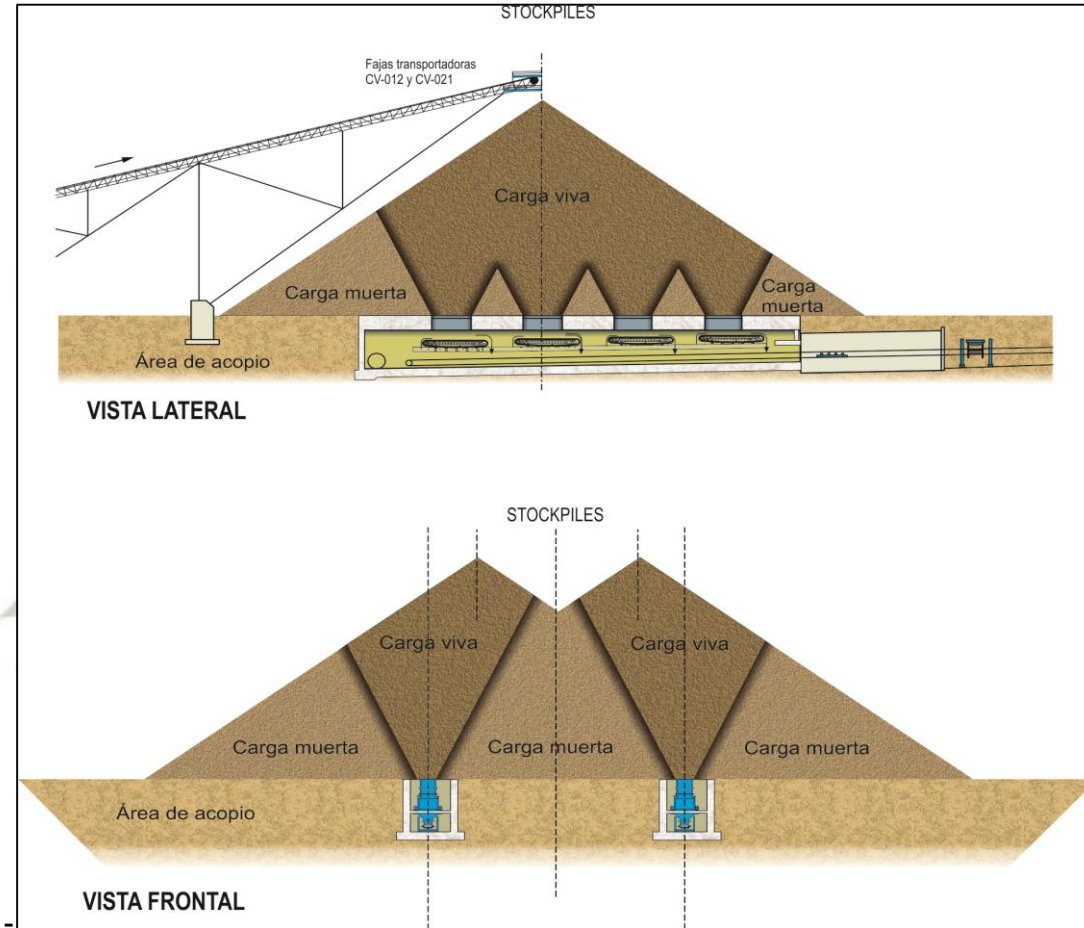


FIGURA N° 3: Pila de acopio de mineral grueso (stockpile).



Fuente: Empresa Minera de Producción de Cobre

2.1.4 ¿Cómo funciona el área de chancado primario?

El mineral ROM (Run of Mine), es transportado por camiones de 250 toneladas de capacidad; estos llegan hasta una tolva de alimentación (0210-BNS-0001), la cual tiene dos frentes paralelos de descarga y una capacidad aproximada de 500 toneladas.

En la figura N° 5 se observa un corte en 3D del circuito de Chancado Primario; donde el mineral es alimentado a un chancador tipo giratorio (210-CRG-0001), de marca FLSmidth modelo Traylor Type NT, de 1.525 m x 2.870 m (60" X 113") de dimensión y una capacidad de tratamiento en el rango de los 4,167 a 7,500 t/h dependiendo de las características del mineral.

Este chancador es accionado por un motor eléctrico de 750 kW (1005.75 HP) de potencia.

Cuando el mineral que se alimenta al chancador desde mina es de gran tamaño y no puede pasar por la chancadora, se procede a fragmentar por medio de un picador de rocas, ubicado en la parte superior (210-CNL-0001), el cual fragmentará el mineral hasta lograr que pase por el chancador, y así continuar con el proceso.

Una vez reducido el mineral, es descargado por gravedad en la tolva de compensación (surge pocket), la cual tiene una capacidad de almacenamiento aproximada de 500 toneladas, el tamaño aproximado máximo de descarga del mineral es de 7".

Posteriormente este mineral se descarga, de igual forma por gravedad sobre un alimentador de placas, el cual tiene una capacidad aproximada de 4167 t/h, con un ancho de 2.134 m y un largo de 11 m. este alimentador es accionado por un motor

hidráulico, cuenta con una unidad de potencia hidráulica que cuenta con un motor eléctrico de 250 kW (335.25 HP) de potencia.

Este alimentador, transporta el mineral hacia la faja de sacrificio, la que se encarga de amortiguar la caída de mineral y transportarlo hacia la faja transportadora Overland. La faja sacrificio tiene una longitud de 100 metros, un ancho de 1.8 m y una velocidad de 2.0 m/s, de igual forma, tiene una capacidad en un rango de 4167 a 7500 t/h.

La faja transportadora Overland, es la que se encarga de transportar el mineral desde la descarga de la faja transportadora sacrificio, hasta la ruma de gruesos (stock pile). Esta tiene un ancho de 1.4 m, y un largo de 6700 m. Es accionada por un motor eléctrico de 6860 kW (9200 HP) de potencia, puede llegar a una velocidad de 4.8 m/s, y tiene una capacidad de 5263 a 7500 t/h.

La ruma de gruesos (stock pile), es una pila de acopio de 55,000 toneladas de capacidad viva. Desde aquí el mineral es alimentado para la siguiente etapa de tratamiento de este, que es la molienda.

Adicionalmente podemos observar que en la descarga del alimentador de placas encontramos un electroimán, el que permite el retiro oportuno de metales que puedan producir algún daño, tanto en la faja de sacrificio como en la faja Overland. También podemos ver que la correa sacrificio, cuenta con un detector de metales, la función de este es de detectar presencia en la faja de sacrificio de objetos metálicos (restos de planchas, uñas de cargador, etc.) los cuales no han podido ser retirados por el electroimán, y puedan producir daño en la correa Overland. En caso de detectar presencia de estos objetos, la correa se detendrá a fin de que el objeto metálico, sea retirado posteriormente por el

operador, esto siguiendo el procedimiento correspondiente de retiro de metales de fajas transportadoras.

La faja sacrificio, también cuenta con una balanza, la cual indica el tonelaje que va pasando hacia la faja overland.

En la figura N° 4, se detalla la secuencia del proceso de chancado primario.

FIGURA N° 4: Corte 3D del Circuito de Chancado Primario



Fuente: Empresa Minera de Producción de Cobre

2.2 Herramientas de análisis de Confiabilidad

Las herramientas a analizar son los siguientes:

2.2.1 Disponibilidad

La disponibilidad de un equipo o activo se define como el porcentaje de tiempo en que está operativo, o disponible a funcionar en cualquier instante. Las unidades de medida pueden ser horas, días, etc.

$$DISP = \frac{\text{Tiempo de Operación} - \text{Tiempo de Parada}}{\text{Tiempo de Operación}}$$

2.2.2 Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Es el promedio de tiempo transcurrido entre una falla y la siguiente. Usualmente se considera el tiempo promedio que un equipo o componente funciona hasta que falla y necesita ser reparado otra vez

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento del equipo}}{\# \text{ de Fallas}}$$

2.2.3 Tiempo medio entre reparación (MTTR)

Es el tiempo promedio que tomar reparar un equipo o componente después de una falla

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de inactividad del equipo}}{\# \text{ de Fallas}}$$

2.2.4 Análisis Pareto

En un ambiente de escasez de recursos (humanos, materiales, tiempo, etc.), la priorización es un tema clave para enfrentar los desafíos existentes en la administración de activos físicos.

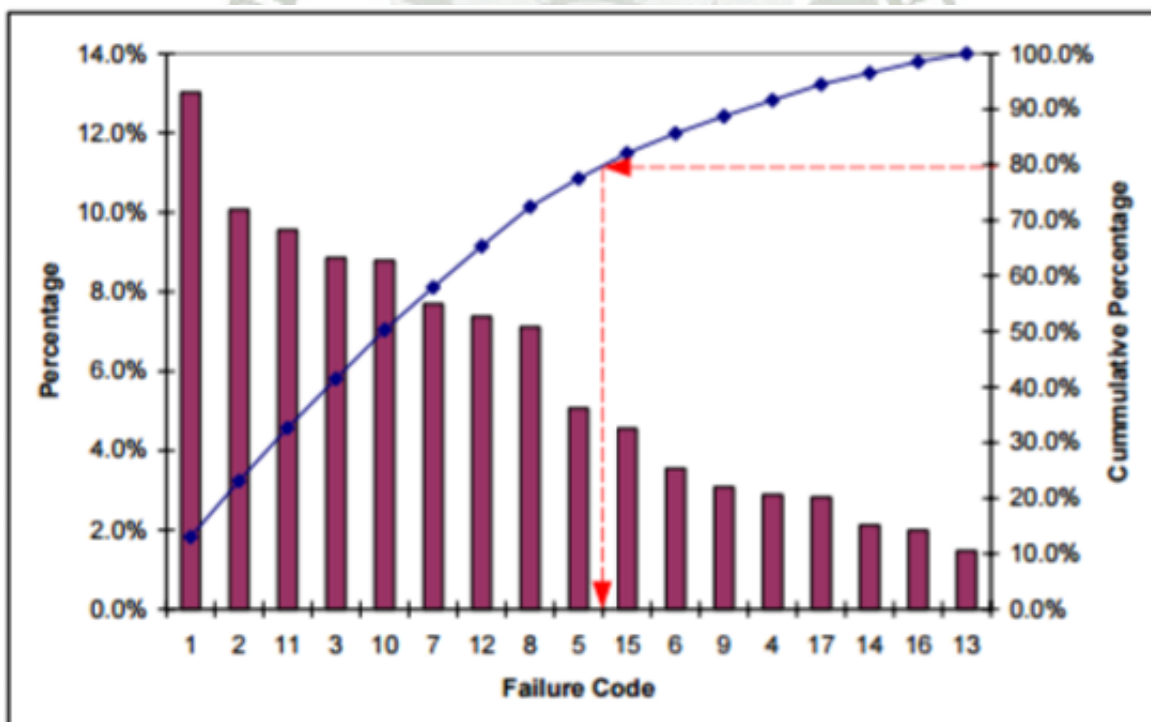
El diagrama de Pareto es una herramienta estándar para tal efecto pero en general dan información en dos dimensiones y no son capaces de discernir que factor (frecuencia: λ , duración: TFS) es dominante.

Clasificación de acuerdo con Pareto:

- Clasificación A: equipamiento que pertenece al grupo responsable por el 80% del total de las fallas.
- Clasificación B: equipamiento que pertenece al grupo responsable por el 15% del total de las fallas.
- Clasificación C: equipamiento que pertenece al grupo correspondiente al 5% del total de las fallas.

En la figura N°6 muestra un medio alternativo para presentar le historial de fallas

FIGURA N° 5: Digrama de Pareto



Fuente: Medidas de Gestión de Mantenimiento: Pagina Web:

<https://es.scribd.com/doc/216621238/Analisis-de-Fallas-Pareto-vs-Jack-Knife>

2.2.5 Análisis del diagrama de Jack knife

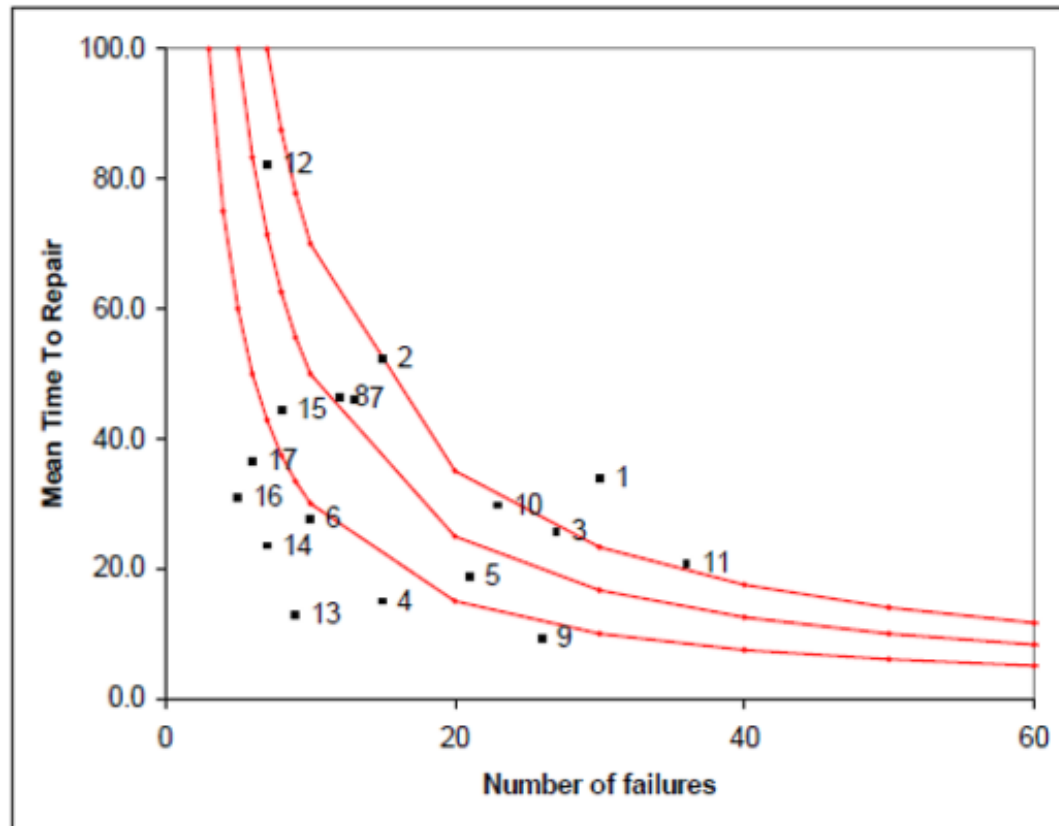
Tiempo de inactividad del equipo puede ser representado por la siguiente ecuación:

$$\text{Downtime} = n \times \text{MTTR}$$

Donde Downtime es el tiempo de inactividad asociado con el código de falla i ; n_i y MTTR_i representan el número de fallas, y el servicio de tiempo-medio-a-restaurar respectivamente.

La figura N°5 muestra un medio alternativo de presentar los datos de fallo. Un diagrama de dispersión se utiliza para representar el tiempo de inactividad medio contra el número de fallos no planificados para cada código de falla. Las curvas de tiempo de inactividad constante están representados por una familia de hipérbolas como se muestra. Se puede observar que los fallos que consumen más tiempo de inactividad son los asociados con los códigos de falla 1, 2 y 11. Así, el orden de prioridad, que se observa en el análisis de Pareto, se conserva; sin embargo, una imagen más clara está disponible en cuanto a que el factor - Frecuencia de falla o MTTR - es dominante.

FIGURA N° 6: Diagrama de dispersión de MTTR vs Número de fallas



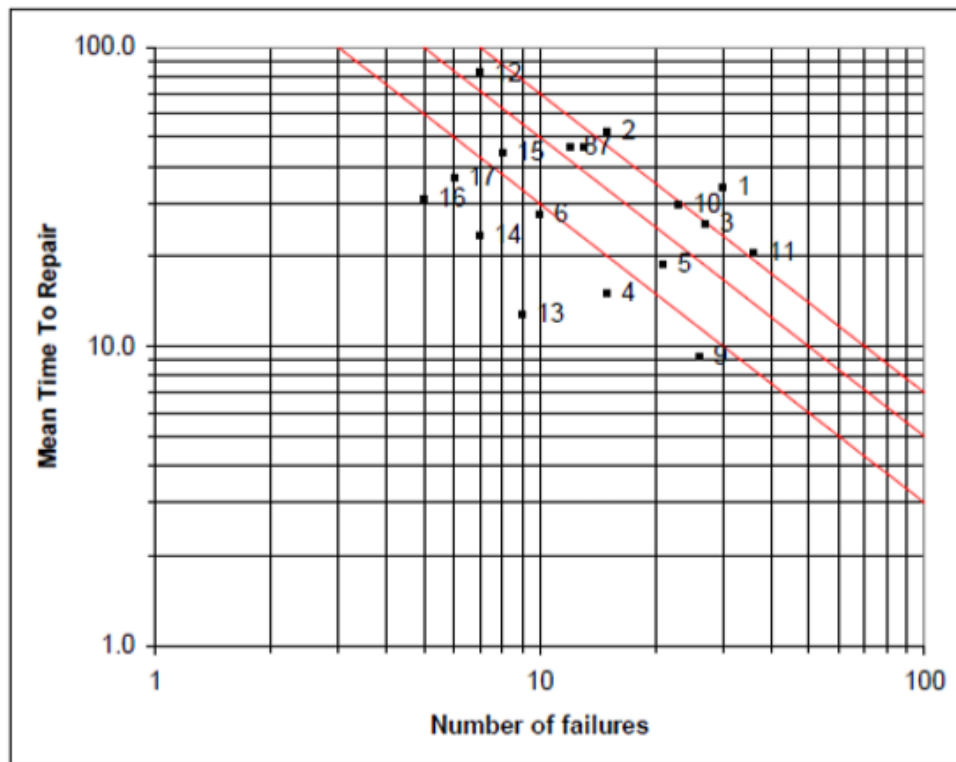
Fuente: Medidas de Gestión de Mantenimiento. Página Web:
<https://es.scribd.com/doc/216621238/Analisis-de-Fallas-Pareto-vs-Jack-Knife>

Una desventaja de la figura N°6 es que las curvas de tiempo de inactividad constante son hipérbolas y puede ser difícil de trazar. Una solución a esto es tomar el logaritmo de la ecuación anterior. Por lo tanto:

$$\text{Log(Downtime)} = \text{log}(n) + \text{log}(MTTR)$$

Si realizamos un gráfico de $\text{log}(n_i)$ vs $\text{log}(MTTR_i)$, las curvas de tiempo de inactividad constante ahora aparecen como líneas rectas con pendiente negativa uniforme (véase la Figura N°8). Diagramas de dispersión simplifican la identificación de esas fallas que más contribuyen al tiempo de inactividad del equipo, sin dejar de visualizar la influencia de la frecuencia de fallas y MTTR.

FIGURA N° 7: Logaritmo de Diagrama de dispersión de MTTR vs Número de fallas

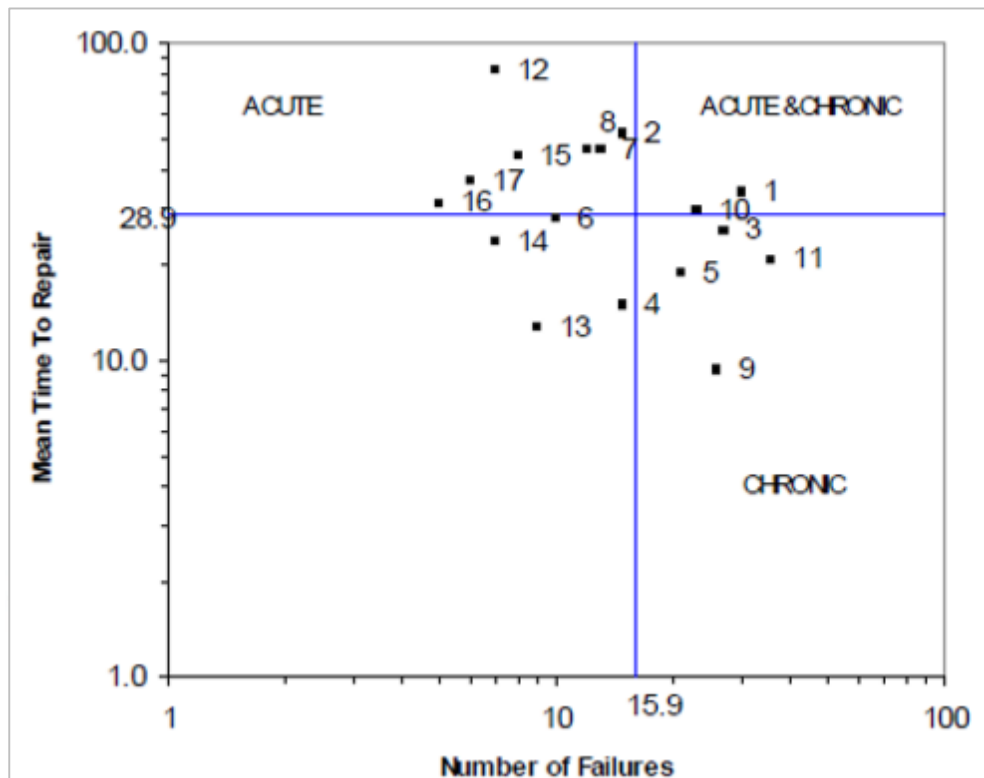


Fuente: Medidas de Gestión de Mantenimiento. Página Web:
<https://es.scribd.com/doc/216621238/Analisis-de-Fallas-Pareto-vs-Jack-Knife>

Las reparaciones que requieren largo tiempo de inactividad pueden ser consideradas problemas agudos.

Las fallas que vuelven a ocurrir con frecuencia (es decir, alta n) puede considerarse problemas crónicos. Mediante la determinación de límites de umbral, el diagrama de dispersión de registro se puede dividir en cuatro cuadrantes, como se muestra en la figura N°8. Los cuadrantes superiores denotan fallas agudas, mientras que los cuadrantes del lado derecho denotan fallas crónicas. El cuadrante superior derecho es una región de fallas agudas y crónicas.

FIGURA N° 8: Límites del Diagrama de dispersión de MTTR vs Número de fallas



Fuente: Medidas de Gestión de Mantenimiento Página Web:
<https://es.scribd.com/doc/216621238/Analisis-de-Fallas-Pareto-vs-Jack-Knife>

Los límites de umbrales en los diagramas de Dispersión Jack Knife se pueden determinar:

Umbrales bien pueden ser valores absolutos determinados por políticas de la empresa, o valores relativos que dependen de las magnitudes y cantidad de los datos relativos. Un enfoque para determinar valores relativos es utilizar valores promedio de la siguiente manera.

El tiempo de inactividad total, D, consumido por las fallas imprevistas viene dada por:

$$D = \sum Downtime$$

El número total de fallas es:

$$N = \sum n$$

Q es el número de los distintos códigos de falla utilizados para categorizar los datos de tiempo de inactividad, el umbral límite para fallos agudos se puede definir como:

$$\text{Limit}(MTTR) = \frac{D}{N}$$

Y el umbral límite para fallas crónicas puede ser determinado por:

$$\text{Limit}(n) = \frac{N}{Q}$$

2.3 Optimización del plan de Mantenimiento ³

El objetivo no es ser los mejores reparando, el Objetivo es adelantarse a las falla y esto es posible mediante el diseño del plan Óptimo de Mantenimiento.

El problema a solucionar en la Gestión de Mantenimiento consiste en dos elementos claves:

- Conocer claramente qué tipo de acciones hay que tomar sobre los activos (equipos)
- Estar en capacidad de ejecutarlas oportunamente.

En palabras sencillas: “Saber qué hacer y estar en capacidad de hacerlo”.

Las plantas requieren que las decisiones de mantenimiento:

- Puedan ser justificadas contra los objetivos del negocio.
- Puedan responder a ambientes cambiantes.

³ Tomado por la OMCS International

- Sean proactivas, no reactivas.
- Puedan ser validadas contra riesgos.
- Puedan ser desafiadas abiertamente.
- Puedan ser medidas y mejoradas.
- Puedan ser planeadas e implementadas efectivamente.

2.3.1 ¿Qué es el PMO?

PM Optimisation es un proceso que se basa en los principios de RCM para racionalizar los programas existentes de mantenimiento, historial de fallas y otra información técnica y así eliminar defectos.

Inicia con:

- El programa de mantenimiento existente para los activos en uso
- Un programa de mantenimiento para equipos similares operando en otras plantas.

El PMO es una metodología desarrollada por OMCS Australia, con más de 12 años de aplicación exitosa:

- Desarrolló la metodología de Aseguramiento de Confiabilidad, PMO2000™
- Junto con AMS Colombia aplica la metodología de PM Optimisation alrededor del mundo.
- Se ha trabajado en plantas en Australia, Nueva Zelanda, Holanda, Sur África, Arabia Saudita, Colombia, Venezuela, Perú, Chile, Filipinas, Indonesia, USA, UK, Chile, Taiwan, Rusia, entre otros.

Esta metodología inicia con tareas de Mantenimiento existentes como se muestra en la figura N°9

FIGURA N° 9: Secuencia del PMO



Fuente: OMCS International

El PMO es un método de análisis que:

- Determina las acciones efectivas de mantenimiento y sus frecuencias adecuadas para cualquier activo físico.
- Busca tareas de mantenimiento por condición en cambio de por tareas overhaul.
- Considera modificaciones cuando el mantenimiento preventivo no es apropiado.
- Es un proceso auditable en su totalidad.

2.3.2 ¿Qué es el RCM?

El RCM es una metodología que intenta determinar las tareas óptimas (en una relación costo – beneficio), que aseguran que cualquier activo físico continúe realizando su función, en su contexto operacional presente.

El RCM inicia obviando el conocimiento previo como se muestra en la figura N°10:

FIGURA N° 10: Secuencia del RCM



Fuente: OMCS International

El RCM requiere de mayor tiempo porque:

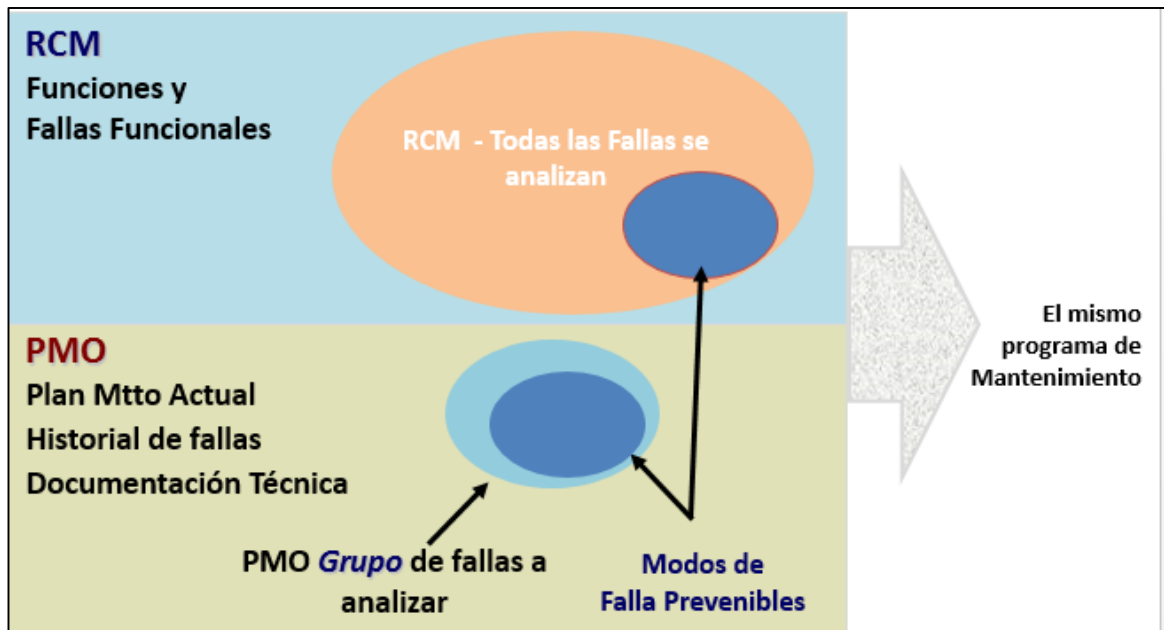
- Inicia con una hoja en blanco (base cero) ignorando por completo el programa de mantenimiento existente.
- Toma mucho tiempo (30%) del análisis definiendo funciones.
- Analiza posibles modos de falla, cuando sólo el 20% de ellos se les puede aplicar un PM costo efectivo.

La comparación con el PMO obtiene los mismo resultados en un 1/6 del tiempo básicamente por:

- Inicia con el programa, historial de fallas e información técnica.
- Se completan los análisis funcionales mucho más rápido.
- Se capturan los modos de falla a los que se les puede aplicar mantenimiento sin tener que analizar absolutamente todo.

En la figura N°11 se muestra la comparación entre la aplicación del RCM con el PMO dando el mismo resultado que es el mismo programa de Mantenimiento.

FIGURA N° 11: Comparación del RCM y PMO

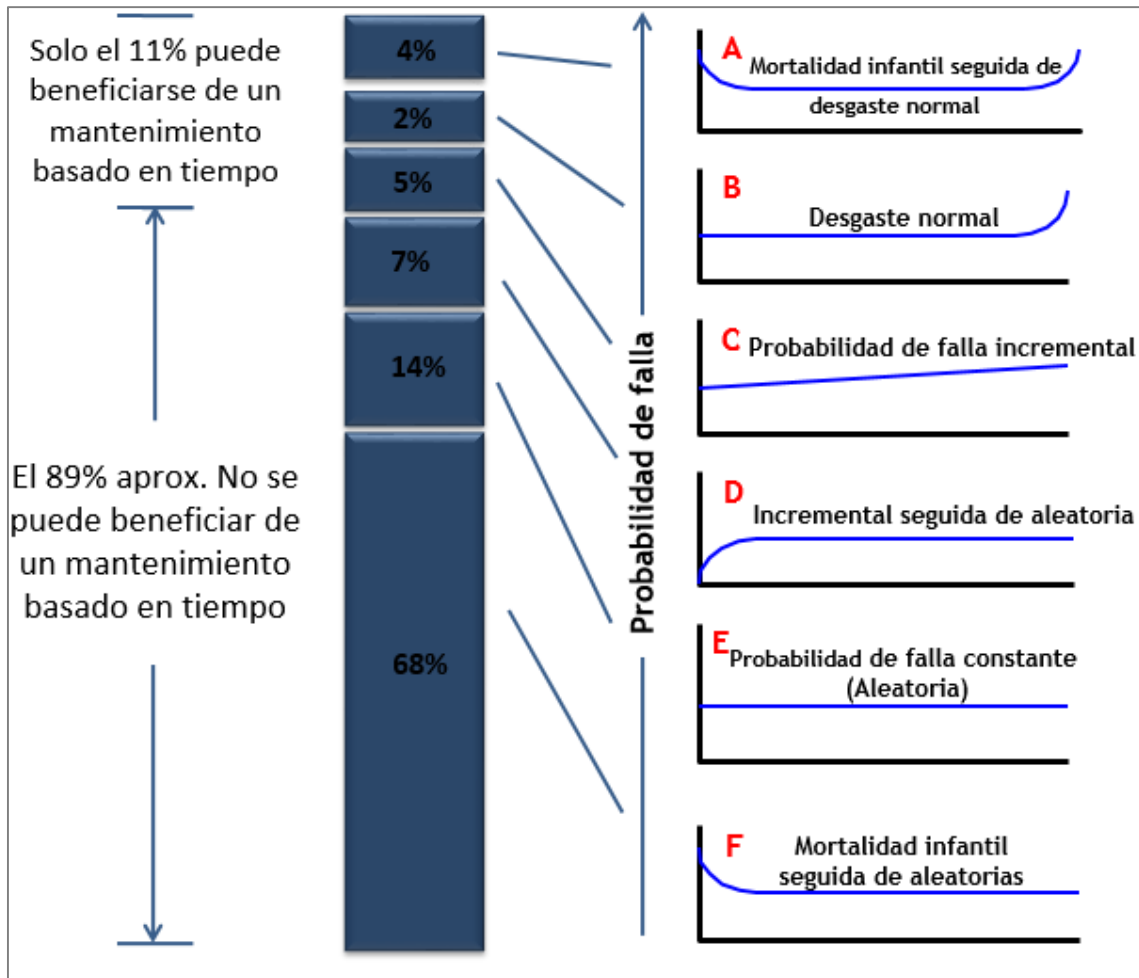


Fuente: OMCS International

2.3.3 Patrones de fallas

Como se puede en la figura N°12 se identifican todos los patrones de fallas que le puede ocurrir a un componente o equipo, el 11% se centra en mantenimiento basada en el tiempo mientras que el 89% aprox no puede beneficiarse por un mantenimiento basada en el tiempo lo cual se quieren otros tipo de mantenimiento basado en su condición.

FIGURA N° 12: Patrones de falla



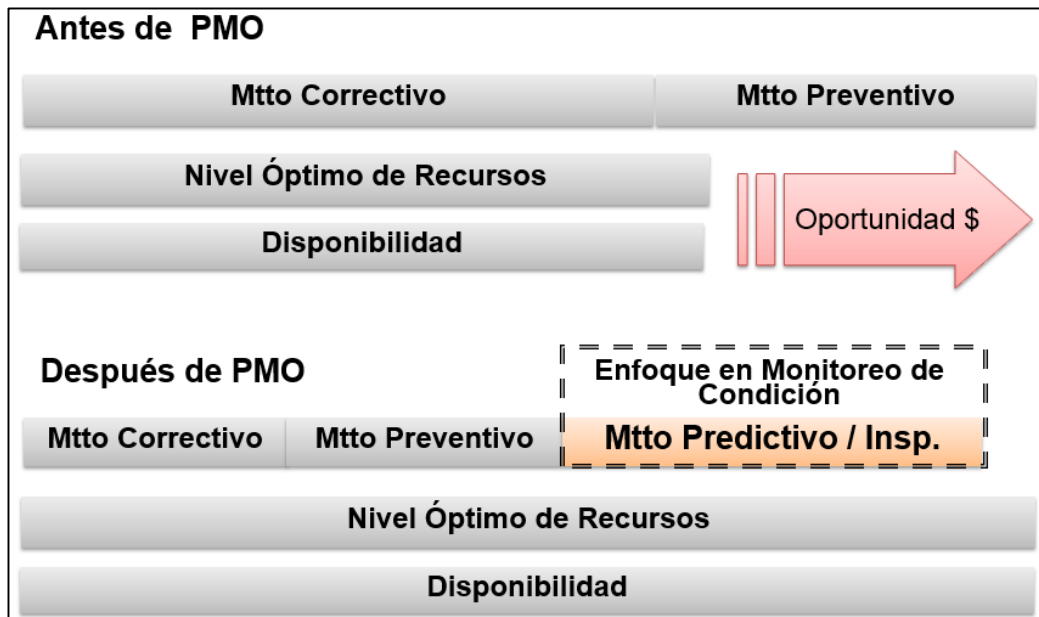
Fuente: OMCS International

2.3.4 Pasos del PMO

Para el desarrollo del PMO nos podemos dar cuenta de que se inicia de un plan existente para realizar la metodología

Haciendo una comparación de un antes y después del PMO se puede deducir en el siguiente figura N°13

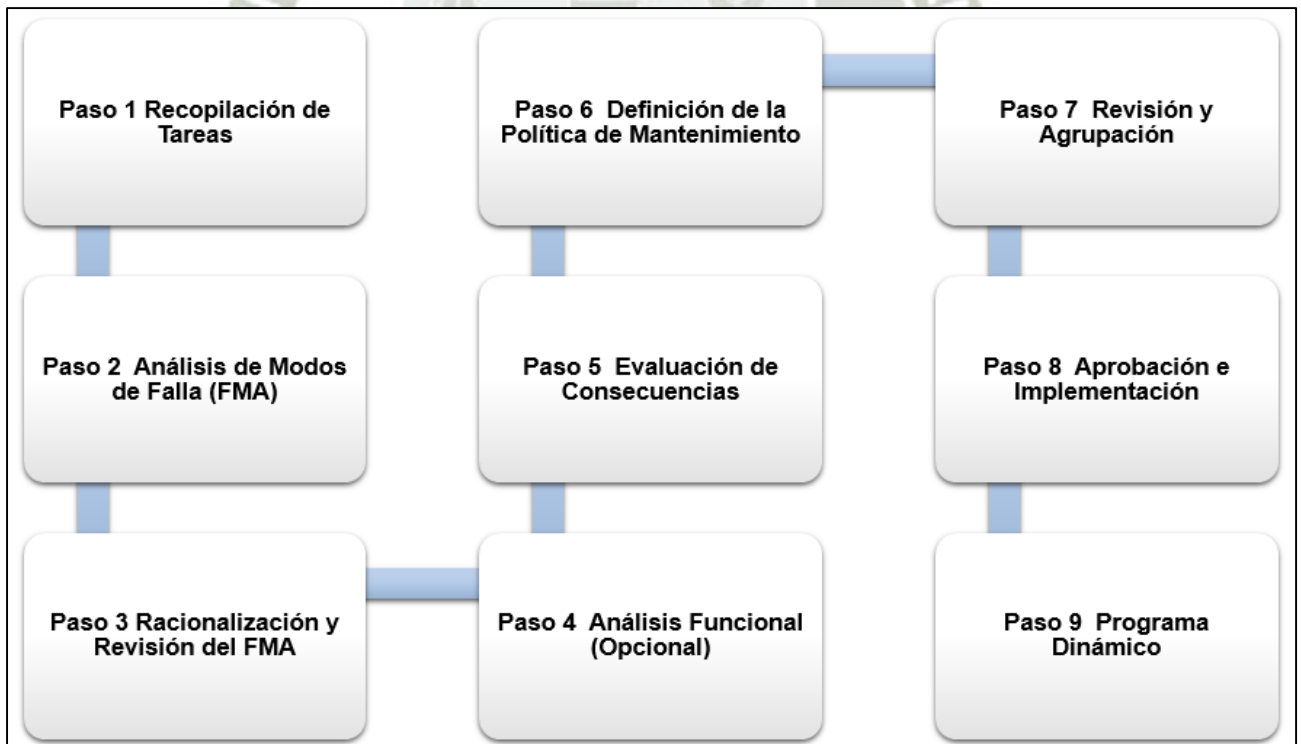
FIGURA N° 13: Antes y después del PMO



Fuente: OMCS International

Los pasos del PMO son los siguientes:

FIGURA N° 14: Pasos del PMO



Fuente: OMCS International

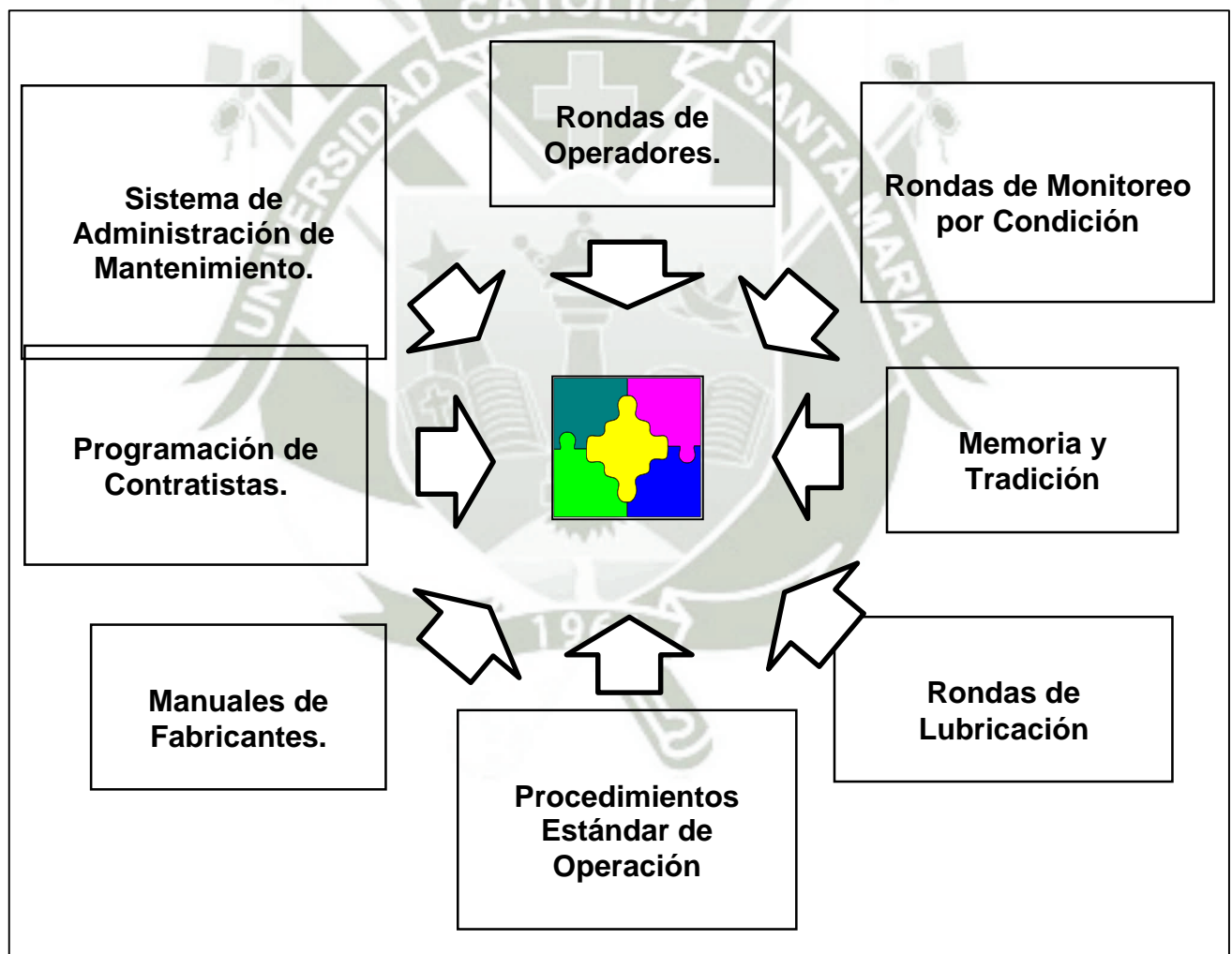
2.2.4.1 Recopilación de Tareas

Tiene como objetivo:

- Reunir en un solo lugar toda la información relacionada con todas las actividades de mantenimiento preventivo o rutinario que se ejecutan al equipo del estudio.
- Organizar las tareas de mantenimiento de forma adecuada para el análisis.

Se utiliza como fuente de información lo siguiente:

FIGURA N° 15: Paso 1 del PMO



Fuente: OMCS International

2.2.4.2 Análisis de modo de falla (FMA)

El paso dos involucra a todo el personal de la planta, se trabaja entonces en grupos multidisciplinarios quienes se encargan de identificar para qué modos de falla están enfocadas las tareas de mantenimiento.

TABLA N° 2: Análisis de modos de falla.

TAREA	FRECUENCIA	RESPONSABLE	FALLA
Tarea 1	Diario	Operador	Falla A
Tarea 2	Diario	Operador	Falla B
Tarea 3	6 meses	Mecánico	Falla C
Tarea 4	6 meses	Mecánico	Falla A
Tarea 5	Anual	Eléctrico	Falla B

Fuente: OMCS Internacional

Se requiere la denominación de modo de falla según el RCM

Modo de falla: puede ser definido como cualquier evento que causa una falla funcional. La descripción correcta de un modo de falla debe consistir de un sustantivo y un verbo.

2.2.4.3 Racionalización y revisión del FMA

La información se organiza u ordena por modos de falla que facilita la identificación de la duplicación de tareas. En este paso el equipo filtra y analiza los diferentes modos de falla que resultan del FMA y agrega aquellos faltantes, el listado de fallas se elabora a partir del historial de fallas y documentación técnica.

TABLA N° 3: Paso 3 del PMO

TAREA	RESPONSABLE	FALLA
Tarea 1	Operador	Falla A
Tarea 2	Operador	Falla B
Tarea 3	Mecánico	Falla C
Tarea 4	Mecánico	Falla A
Tarea 5	Eléctrico	Falla B
Tarea 6	Operador	Falla C
Tarea 7	Mecánico	Falla C
Tarea 8	Eléctrico	Falla B
		Falla D

Fuente: OMCS Internacional

2.2.4.4 Análisis funcional

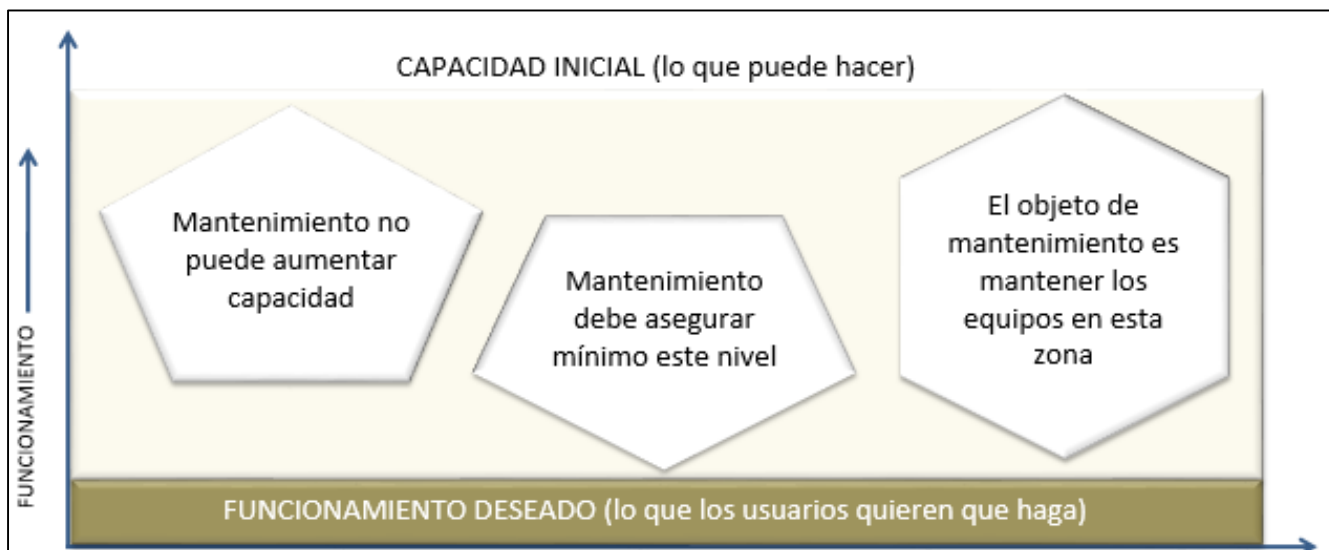
El paso 4 tiene como objetivo:

- Definir los requerimientos funcionales del activo o planta y determinar su capacidad real de cumplir con requerimientos esperados, y
- Crear una conexión entre las tareas de mantenimiento y las pérdidas de funcionalidad

En este paso se requiere el concepto según el RCM de función

La función: es asegurar que los activos o sistemas continúen haciendo lo que los usuarios quieren que haga como se muestra en la figura N°16

FIGURA N° 16: Paso 4 del PMO



Fuente: OMCS Internacional

En la tabla N°4 se indica cómo se detalla la funcionalidad de cada componente o activo

TABLA N° 4: Análisis de función de activos.

TAREA	RESPONSABLE	FALLA	FUNCIÓN
Tarea 1	Operador	Falla A	Función 1
Tarea 2	Operador	Falla B	
Tarea 3	Mecánico	Falla C	
Tarea 4	Mecánico	Falla A	Función 2
Tarea 5	Eléctrico	Falla B	
Tarea 6	Operador	Falla C	Función 2
Tarea 7	Mecánico	Falla C	
Tarea 8	Eléctrico	Falla B	
		Falla D	Función 1

Fuente: OMCS Internacional

2.2.4.5 Evaluación de Consecuencias⁴

En este paso se requiere determinar en qué forma se manifiesta el modo de falla y que clase de efecto tiene sobre la operación.

Concepto de consecuencias: Las consecuencias de las fallas se clasifican en cuatro categorías de importancia decreciente de la siguiente manera:

- **Consecuencias del Fallo Oculto:** Un modo de falla tiene consecuencias por fallas ocultas si la pérdida de función causada por este modo de fallo actuando por sí solo en circunstancias normales es evidente a los operarios.
- **Consecuencias para la Seguridad o el Medio Ambiente:** Un modo de falla tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente si causa una pérdida de función y produce daños que pudieran lesionar o matar a alguien; o infringir cualquier normativa o reglamento ambiental conocido.
- **Consecuencias operacionales:** Un modo de falla tiene consecuencias operacionales si tiene un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional afectando: el volumen de producción, calidad del producto, servicio al cliente o incrementar el costo operacional.
- **Consecuencias no operacionales:** No ejercen un efecto adverso directo sobre la seguridad, el medio ambiente o la capacidad operacional, sólo tiene consecuencias en los costos directos de reparación.

⁴ Tomado por el RCM Realiability Centered Maintenance - Moubray

FIGURA N° 17: Paso 5 del PMO



Fuente: RCM Realiability Centered Maintenance - Moubray

Asimismo se requiere el concepto de efecto de falla que va de la mano con la consecuencia

Efecto de falla: En el proceso de implementación de RCM hay que hacer una lista de lo que sucede al producirse cada modo de falla. Esto se denomina efectos de falla.

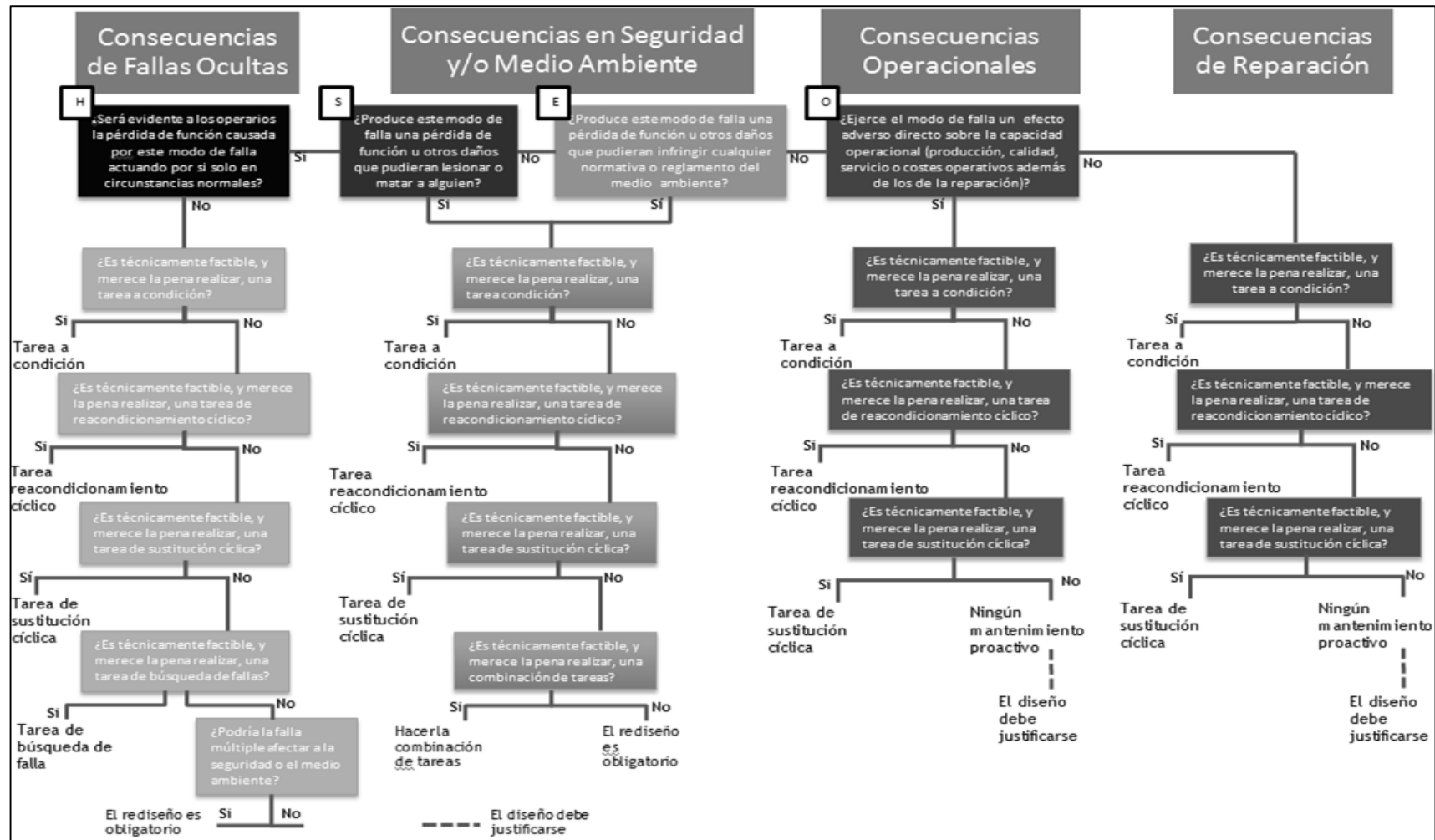
2.2.4.6 Definición de la política de mantenimiento⁵

La filosofía del mantenimiento moderno se enfoca más el estado de las consecuencias que en los mismos activos en sí, es decir, que en este paso cada modo de falla se analiza bajo los principios del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Para este paso se requiere hacer una hoja de decisiones del RCM (Moubray) para identificar cuáles son las tareas a realizar para cada falla por lo cual se requiere del árbol de decisión como se muestra en la figura N°18

⁵ Tomado por el RCM Realiability Centered Maintenance - Moubray

FIGURA N° 18: Paso 6 del PMO



Fuente: RCM Reliability Centered Maintenance - Moubray,

Para el desarrollo del árbol de decisión se definirá algunos conceptos que se requieren en este paso

- **Tareas Proactivas:**

Son tareas comenzadas antes de que ocurra una falla, con el objetivo de prevenir que el componente llegue a un estado de falla. Engloban lo que comúnmente se denomina mantenimiento preventivo y predictivo, aunque el RCM utiliza los términos de reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica, y mantenimiento a condición. Tareas de reacondicionamiento cíclico

- **Reacondicionamiento cíclico:**

Consiste en actuar periódicamente para reacondicionar a su condición original una pieza o componente existente.

Una definición específica sería: “El reacondicionamiento cíclico consiste en reconstruir un componente o hacer una gran reparación a un conjunto ensamblado completo antes de, o en el límite de edad específico, independientemente de su condición en ese momento” (Moubray, Pág. 44, 2004).

Si no puede encontrarse una tarea a condición apropiada para una falla en particular, la opción siguiente es una tarea de reacondicionamiento cíclico. Ésta también debe ser técnicamente factible, por lo que las fallas deben estar concentradas alrededor de una edad promedio. Si lo están, el reacondicionamiento cíclico antes de esta edad puede reducir la incidencia de fallas funcionales. Algunas de las ventajas del reacondicionamiento cíclico son:

- ✓ **Solamente pueden realizarse deteniendo el activo y enviándolo al taller:** por lo que estas tareas de alguna manera afectan a la producción.
- ✓ **El límite de edad se aplica a todos los elementos:** entonces muchos elementos o componentes que podrían haber sobrevivido más tiempo serán removidos.
- ✓ **Las tareas de reacondicionamiento involucran trabajos de taller:** por lo que generan una carga mucho mayor que las tareas a condición.

- **Tareas de sustitución cíclica:**

Las tareas de sustitución cíclica consisten en descartar un elemento o componente antes de, o en el límite de edad específico, independiente de su condición en el momento. La filosofía de estas tareas es reemplazar la parte usada por una nueva, la que restaurará a su condición original.

La sustitución cíclica normalmente es la menos eficaz en cuanto a costos de las tres tareas proactivas. Sin embargo cuando es técnicamente factible, posee algunas características deseables. Puede ocurrir que la sustitución de un elemento sea capaz de prevenir ciertas fallas que no estaban consideradas o se pasaron por alto críticas.

- **Tareas a condición:**

Las tareas a condición son conocidas como mantenimiento predictivo, ya que se evalúa el estado del componente y se decide cuál acción tomar.

Las tareas a condición son consideradas primero en el proceso de selección de tareas, por las siguientes razones:

- ✓ **Generalmente son realizadas sin desplazar el activo físico de su ubicación y normalmente mientras funciona:**
Rara vez interfieren en el proceso de producción y son fáciles de organizar.
- ✓ **Identifican condiciones específicas de falla potencial:** de modo que se puede definir claramente la acción correctiva antes de que comience el trabajo, lo que reduce la cantidad de trabajos de reparación, y hace posible realizarlos más rápidamente.
- ✓ **El identificar el punto de falla potencial en los equipos:** les permite cumplir con casi toda su vida útil.
- **Combinación de tareas:**

Para algunos modos de falla con consecuencias para la seguridad o el medio ambiente, no se puede encontrar una tarea que por sí sola reduzca el riesgo de falla a un nivel tolerablemente bajo, ni tampoco un rediseño adecuado. En estos casos a veces es posible encontrar una combinación de tareas, generalmente de dos categorías de tareas diferentes, lo que reduce el riesgo de falla a un nivel tolerable. Cada tarea es llevada a cabo con frecuencia propia.
- **Acciones “a falta de”:**

Este punto trata de que se debe hacer si no se encuentra una tarea proactiva adecuada. Esto comienza con una revisión de las tareas de búsqueda de falla y luego considera el rediseño.
- ✓ **Búsqueda de fallas y fallas múltiples**

Las tareas de búsquedas de falla consisten en chequear una función oculta a intervalos regulares para ver si ha fallado.

Una falla múltiple ocurre cuando falla una función protegida mientras un dispositivo de protección se encuentra en estado de falla. La probabilidad de una falla múltiple puede ser reducida aumentando la disponibilidad del dispositivo de seguridad.

✓ **Aspectos técnicos de la búsqueda de falla**

El objetivo de la búsqueda de falla es darnos la tranquilidad de que un dispositivo de seguridad proveerá la protección requerida si fuese necesario, o sea estamos chequeando que todavía funcione. Algunos de los puntos principales que se le hacen a este tema son:

- **Rediseño:**

Se refiere a cualquier cambio en la especificación de cualquier componente de un equipo. Esto significa cualquier acción que implique un cambio en un plano o una lista de piezas. Incluye una modificación en la especificación de un componente, el agregado de un elemento nuevo, la sustitución de una máquina entera por una diferente, o el cambio de lugar de una máquina.

2.2.4.7 Agrupación y revisión

El paso siete toma la producción y la eficiencia de los activos y delega las funciones del *PM* a las personas más calificadas, es decir, reasigna las labores o las necesidades de mantenimiento que se encuentran en el paso seis a las personas más idóneas, todo esto con el fin de lograr una buena administración del mantenimiento (eficaz y productiva).

2.2.4.8 Aprobación e implementación

La revisión y aceptación por parte de la alta dirección forma parte de este paso, pero se presenta dificultad en aquellas personas

que presentan muchos turnos y en aquellas organizaciones conservadoras.

2.2.4.9 Programa dinámico

El proceso presente de los pasos uno al nueve establecen una estructura racional y costo efectiva del *PM*, es entonces el plan dinámico aquel donde se consolida la información y se toma el control de la planta, cuando se planea en mantenimiento reactivo o uno planeado.



CAPITULO III: DIAGNOSTICO SITUACIONAL

El objetivo en este capítulo se centrara en identificar lo siguiente:

- Jerarquización y datos técnicos de los equipos del área de Chancado Primario.
- Análisis de confiabilidad de los equipos del área de Chancado Primario en los últimos tres años.

3.1 Jerarquización y datos técnicos de los equipos del área de Chancado Primario

Se determinara la jerarquización de los siguientes equipos:

- Chancador Primario (CR001)
- Apron Feeder (FE001)
- Faja de sacrificio (CV001)
- Faja Overland (CV002)

Consiste en la descomposición de los equipos para identificar los componentes de cada uno de los equipos mencionados y también identificar los datos técnicos de los mismos.

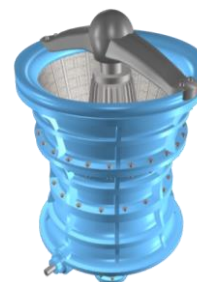
3.1.1 Chancadora Primaria (CR001)

En la siguiente Tabla N°5 se puede ver los datos técnicos y la jerarquización de la chancadora Primaria

TABLA N° 5: Datos técnicos y Jerarquización de Chancadora Primaria.

DATOS TÉCNICOS Y JERARQUIZACIÓN DE CHANCADORA PRIMARIA

DATOS TÉCNICOS	
Cod de equipo	CR001
Marca	FLSmidth
Número de modelo	Taylor tipo "NT"
Tipo	Giratoria
Capacidad	7,300 tph (húmedo)
Dimensiones	60" x 113"
Potencia	746 kW



EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE
CHACADORA PRIMARIA	Sistema de transmisión y eje principal	Eje principal
		Excéntrica
		Contraeje
		Acople lado motor
		Acople lado contraeje
		Eje flotante (intermedio)
	Sistema estructural	Araña
		Carcasa superior
		Carcasa media
		Carcasa inferior
		Carcasa del contraeje
		Carcasa del hidrosset
	Sistema de desgaste	Araña
		Carcasa superior y media
		Carcasa inferior
		Eje principal
	Sistema de lubricación excéntrica	Zona intermedia concreto
		Reservorio
		Bomba de aceite #1 (lubricación)
		Bomba de aceite #2 (lubricación)
		Enfriador aire-aceite #1
	Sistema de lubricación araña	Enfriador aire-aceite #2
		Accesorios
	Sistema de ajuste hidráulico	Bomba
		Cilindro de ajuste hidráulico (hidrosset)
		Reservorio
		Bomba de aceite #1 (hidrosset)
	Sistema de sello de polvo	Bomba de aceite #2 (hidrosset)
		Accesorios
		Soplador
	Sistema eléctrico	Accesorios
		Motor eléctrico
		Líneas de potencia
Sistema de instrumentación	Protección, medición y control (multilin)	
	Sensores de nivel	
	Sensores de temperatura	
	Sensor de posición de eje principal	
	Sensor de flujo	

Fuente: Elaboración Propia

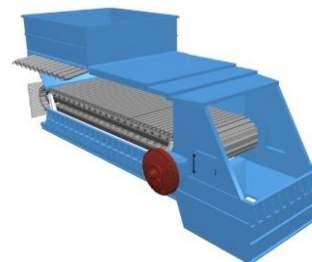
3.1.2 Apron Feeder (FE001)

En la siguiente tabla N°6 se puede ver los datos técnicos y la jerarquización del Alimentador de placas (Apron Feeder)

TABLA N° 6: Datos técnicos y Jerarquización de Apron Feeder.

DATOS TÉCNICOS Y JERARQUIZACIÓN DE APRON FEEDER

DATOS TÉCNICOS	
Cod. De equipo	FE001
Equipo	Alimentador de placas
Capacidad	4,187 tph
Dimensiones	11m x 2.13m
Potencia	250 Kw



EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE
APRON FEEDER	Sistema hidráulico	Reservorio
		Motor eléctrico
		Bomba
		Tuberías válvulas y Filtros
		Enfriador
		Motor hidráulico
		Instrumentos de sistema
	Sistema de transporte	Bandejas
		Cadena
		Ruedas, ejes y chumaceras
		Rodillos
	Sistema de carga	Elementos de desgaste
	Sistema de instrumentación	Sensores de velocidad
		Pullcord
	Sistema estructural	Estructura

Fuente: Elaboración Propia

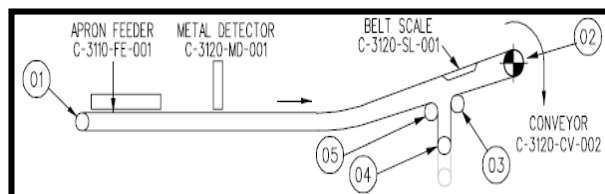
3.1.3 Faja de sacrificio (CV001)

En la siguiente tabla N°7 se puede ver los datos técnicos y la jerarquización de la faja de sacrificio

TABLA N° 7: Datos técnicos y Jerarquización de Faja de Sacrificio.

DATOS TÉCNICOS Y JERARQUIZACIÓN DE FAJA DE SACRIFICIO

DATOS TÉCNICOS	
Cod. De equipo	CV001
Equipo	Faja de Sacrificio
Velocidad	2.0 m/s
Capacidad	7,500 tph
Dimensiones	100m x 1.8 m
Potencia	220 Kw



EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE
FAJA DE SACRIFICIO	Sistema Eléctrico	Motor eléctrico
		Líneas de potencia
		Protección, medición y control (multilin)
	Sistema de transmisión	Acoples
		Reductor
	Sistema de transporte	Faja
		Poleas y chumaceras
		Polines y bastidores
		Contrapeso
		Backstop
		Pullcord
	Sistema de instrumentación	Sensor de desalineamiento
		Sensor de velocidad cero
		Detector de faja rota
		Sensor de temperatura
		Detector de metales
		Magneto
		Balanza
		Sensor de nivel
		Alarmas
		Sistema de carga
	Falderas	
	Sistema de limpieza	Raspadores
		Bota piedra
	Sistema estructural	Estructura

Fuente: Elaboración Propia

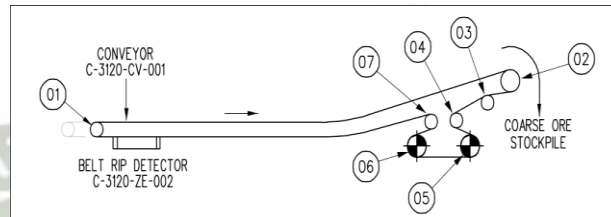
3.1.4 Faja Overland (CV002)

En la siguiente tabla N°8 se puede ver los datos técnicos y la jerarquización de la faja de Overland

TABLA N° 8: Datos técnicos y Jerarquización de Faja Overland.

DATOS TÉCNICOS Y JERARQUIZACIÓN DE FAJA OVERLAND

DATOS TÉCNICOS	
Cod. De equipo	CV002
Equipo	Faja Overland
Velocidad	4.8 m/s
Capacidad	7,500 tph
Dimensiones	7 km x 1.4 m
Potencia	6,860 Kw



EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE
FAJA OVERLAND	Sistema Eléctrico	Motores eléctricos
		Líneas de potencia
		Protección, medición y control (VFD)
	Sistema de transmisión	Acoples
		Reductores
	Sistema de transporte	Faja
		Poleas y chumaceras
		Polines y bastidores
		Contrapeso
		Backstop
	Sistema de instrumentación	Pullcord (field stop)
		Sensor de desalineamiento
		Sensor de velocidad cero
		Detector de faja rota
		Sensor de temperatura
		Sensor de nivel
	Sistema de carga	Alarmas
		Elementos de desgaste
	Sistema de limpieza	Falderas
		Raspadores
Sistema estructural	Bota piedra	
	Estructura	

Fuente: Elaboración Propia

3.2 Análisis de confiabilidad del área de Chancado Primario

Se mostrara el desempeño mediante indicadores del área de Chancado Primario en una minera de cobre en un periodo de 3 años (2012, 2013 y 2014). De tal manera que se pueda realizar un mejor análisis de productividad e identificar el perfil de pérdidas relacionadas a los tiempo de operación, detenciones operacionales y mantenimiento de equipos.

Este análisis ayudara a identificar oportunidades de mejoras que se pueden implementar en los mantenimientos planificados.

Se enfocara en medir con los siguientes métodos:

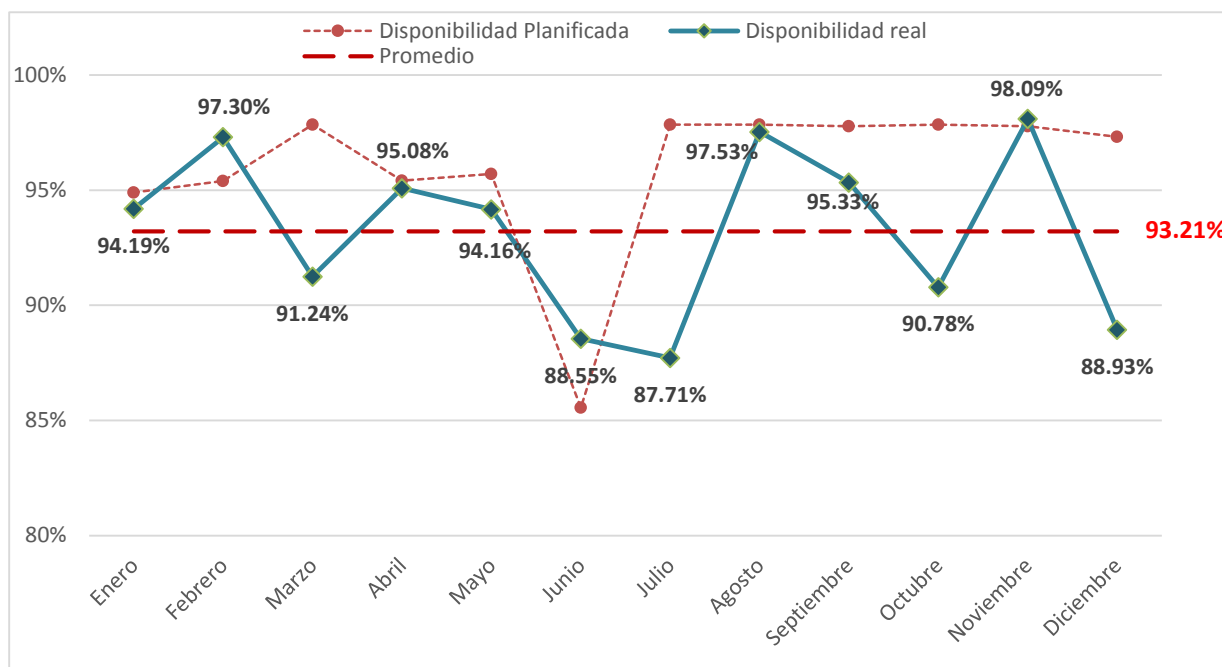
- Disponibilidad del área de chancado.
- Análisis del diagrama de Pareto de las detenciones de mantenimiento correctivo de los principales equipos del área de chancado primario
- Análisis del diagrama de Jack Knife de los principales equipos del área de chancado primario

3.2.1 Disponibilidad del área de Chancado Primario

3.2.1.1 Disponibilidad anual 2012

Según como se muestra en la gráfica se puede ver la disponibilidad promedio es de un 93.24% menor a la disponibilidad planificada en 2.69%, esta pérdida de producción se debe a los mantenimiento correctivos que sufrió en el 2012 los cuales van a ser tema de estudio para la optimización del mantenimiento planificado.

FIGURA N° 19: Disponibilidad anual 2012



Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 9: Disponibilidad anual 2012.

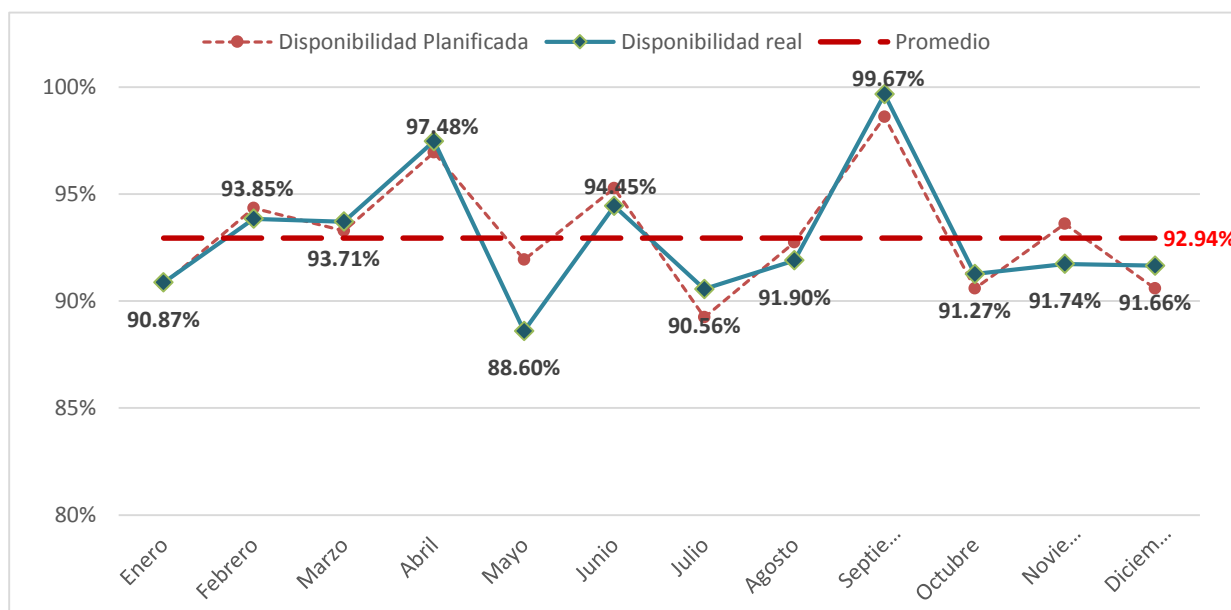
Mes	Disponibilidad Planificada	Disponibilidad real	Disp Planif - Disp Real
Enero	94.89%	94.19%	0.70%
Febrero	95.40%	97.30%	-1.89%
Marzo	97.85%	91.24%	6.61%
Abril	95.42%	95.08%	0.34%
Mayo	95.70%	94.16%	1.54%
Junio	85.56%	88.55%	-2.99%
Julio	97.85%	87.71%	10.14%
Agosto	97.85%	97.53%	0.32%
Septiembre	97.78%	95.33%	2.45%
Octubre	97.85%	90.78%	7.07%
Noviembre	97.78%	98.09%	-0.31%
Diciembre	97.31%	88.93%	8.38%
Promedio	95.94%	93.24%	2.69%

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1.2 Disponibilidad anual 2013

Según como se muestra en la gráfica se puede ver la disponibilidad promedio es de un 92.94% menor a la disponibilidad planificada en 0.18%, esta pérdida de producción se debe a los mantenimientos correctivos que sufrió en el 2013

FIGURA N° 20: Disponibilidad anual 2013



Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 10: Disponibilidad anual 2013.

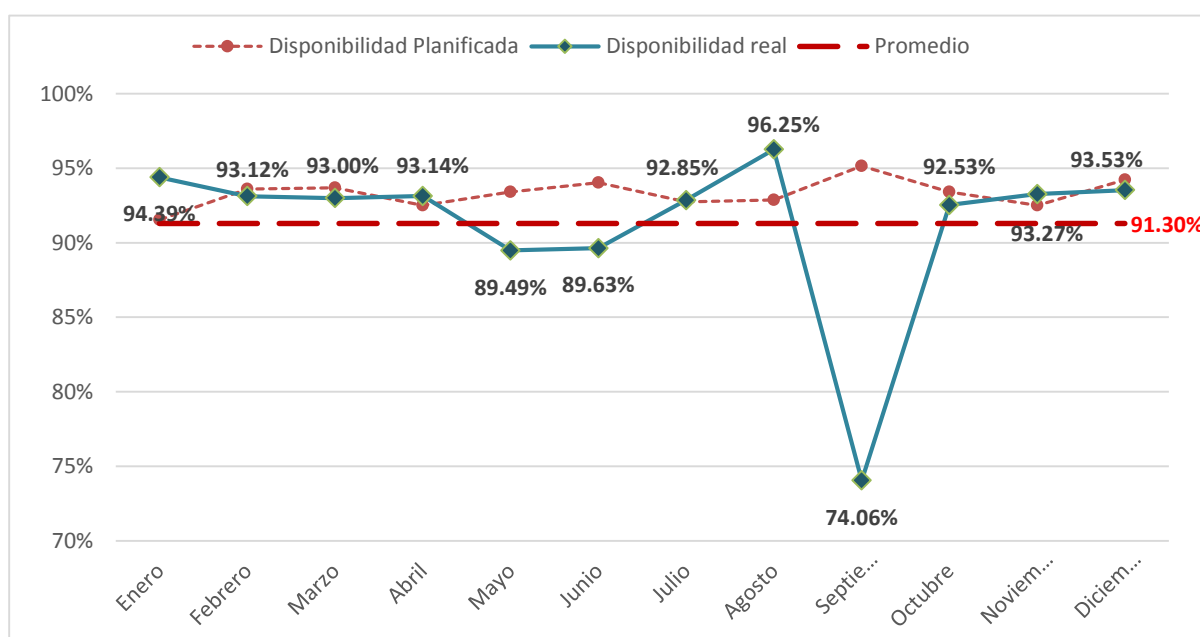
Mes	Disponibilidad Planificada	Disponibilidad real	Disp Planif - Disp Real
Enero	90.79%	90.87%	-0.08%
Febrero	94.35%	93.85%	0.50%
Marzo	93.28%	93.71%	-0.43%
Abril	96.94%	97.48%	-0.54%
Mayo	91.94%	88.60%	3.34%
Junio	95.28%	94.45%	0.83%
Julio	89.25%	90.56%	-1.31%
Agosto	92.74%	91.90%	0.84%
Septiembre	98.61%	99.67%	-1.06%
Octubre	90.59%	91.27%	-0.68%
Noviembre	93.61%	91.74%	1.87%
Diciembre	90.59%	91.66%	-1.07%
Promedio	93.16%	92.98%	0.18%

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1.3 Disponibilidad anual 2014

Según como se muestra en la gráfica se puede ver la disponibilidad promedio es de un 91.30% menor a la disponibilidad planificada en 2.0%, esta pérdida de producción se debe a los mantenimientos correctivos que sufrió en el 2014

FIGURA N° 21: Disponibilidad anual 2014



Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 11: Disponibilidad anual 2014.

Mes	Disponibilidad Planificada	Disponibilidad real	Disp Planif - Disp Real
Enero	91.53%	94.39%	-2.86%
Febrero	93.60%	93.12%	0.48%
Marzo	93.68%	93.00%	0.69%
Abril	92.50%	93.14%	-0.64%
Mayo	93.41%	89.49%	3.93%
Junio	94.03%	89.63%	4.39%
Julio	92.74%	92.85%	-0.11%
Agosto	92.88%	96.25%	-3.38%
Septiembre	95.14%	74.06%	21.08%
Octubre	93.41%	92.53%	0.89%
Noviembre	92.50%	93.27%	-0.77%
Diciembre	94.22%	93.53%	0.69%
Promedio	93.30%	91.27%	2.03%

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2 Análisis de Pareto de Mantenimiento Correctivo

Se realizara un análisis de las principales detenciones de mantenimiento correctivo por lo cual se utilizara el método de análisis de Pareto con una base de datos de 3 años. La base de datos de las fallas se encuentran en el anexo 5,6,7,8 de los equipos

3.2.2.1 Chancadora Primaria

Una de las detenciones que tiene mayor tiempo (120.9 horas) es la rotura o fisura de la excéntrica de la chancadora primaria que tiene una frecuencia de 3 veces durante los tres años de análisis, seguida de la caída del elemento de desgaste del manto que tiene una duración de 47 horas con una frecuencia de 15 veces.

3.2.2.2 Apron Feeder

La detención que tiene mayor duración en el equipo de Apron Feeder es la caída de un elemento de desgaste en el chute del Apron Feeder que tiene una duración de 13 horas con una frecuencia de 18 veces durante 3 años, seguida otra detención relevante de fisura de elemento de desgaste que se encuentra en el chute del Apron Feeder con una duración de 9.4 horas y con una frecuencia de 11 veces durante 3 años.

3.2.2.3 Faja de Sacrificio

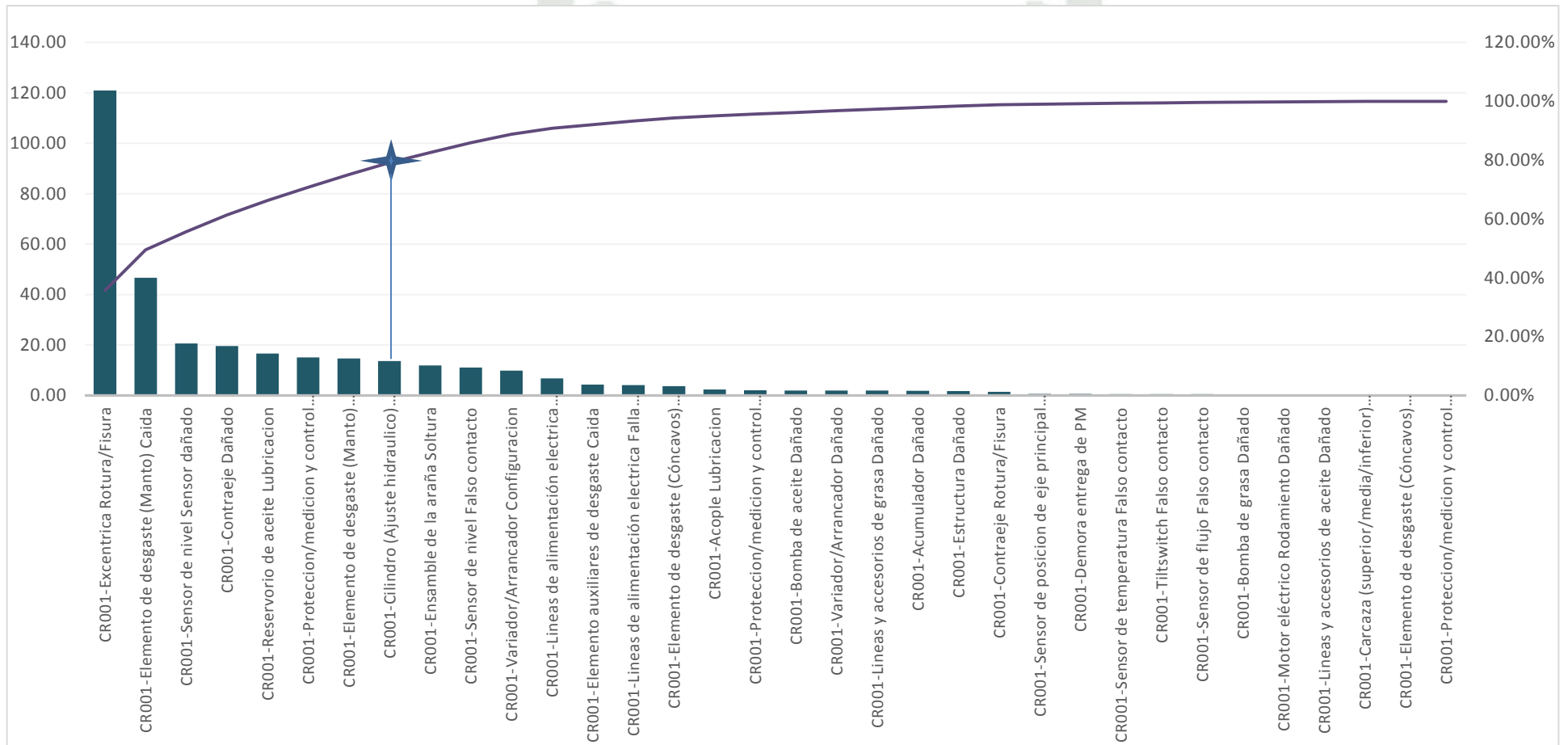
La detención que tiene mayor duración el en equipo de Faja de Sacrificio es de correa dañada que tiene una duración de 21.9 horas con una frecuencia de 13 veces durante tres años, seguida de otra detención relevante de caída de elemento de desgaste del chute de descarga de la faja de sacrificio que tiene una duración de 6.2 horas con una frecuencia de 4 veces durante 3 años

3.2.2.4 Faja Overland

La detención que tiene mayor duración en el equipo de la faja Overland es el variador dañado que tuvo una duración de 13 horas con una frecuencia de 5 veces durante 3 años, seguida de la caída de elemento de desgaste del chute de descarga de la Faja Overland que tiene una duración de 11.6 horas con una frecuencia de 11 veces durante 3 años

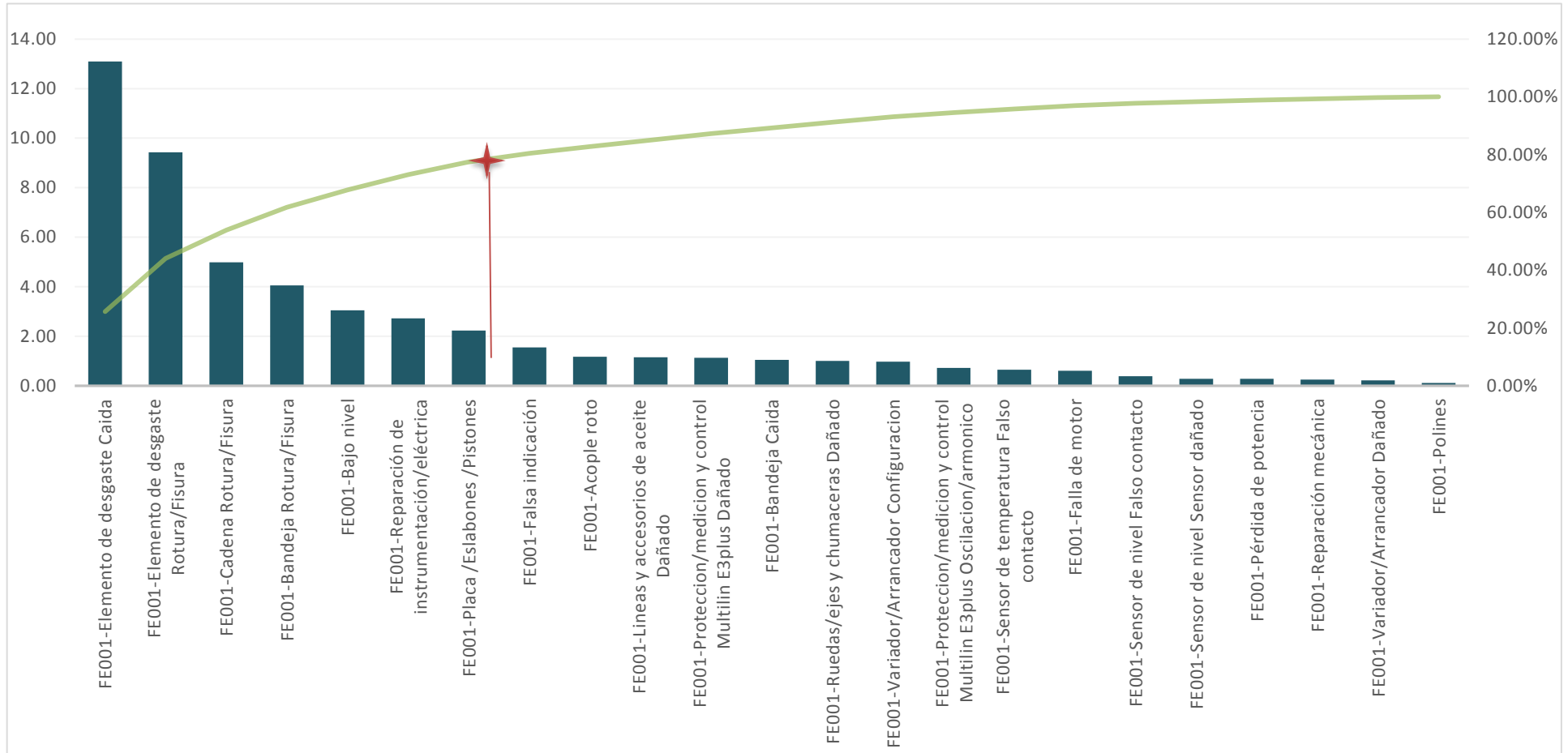


FIGURA N° 22: Diagrama de Pareto de Chancadora Primaria - Acumulación de fallas (Hrs)



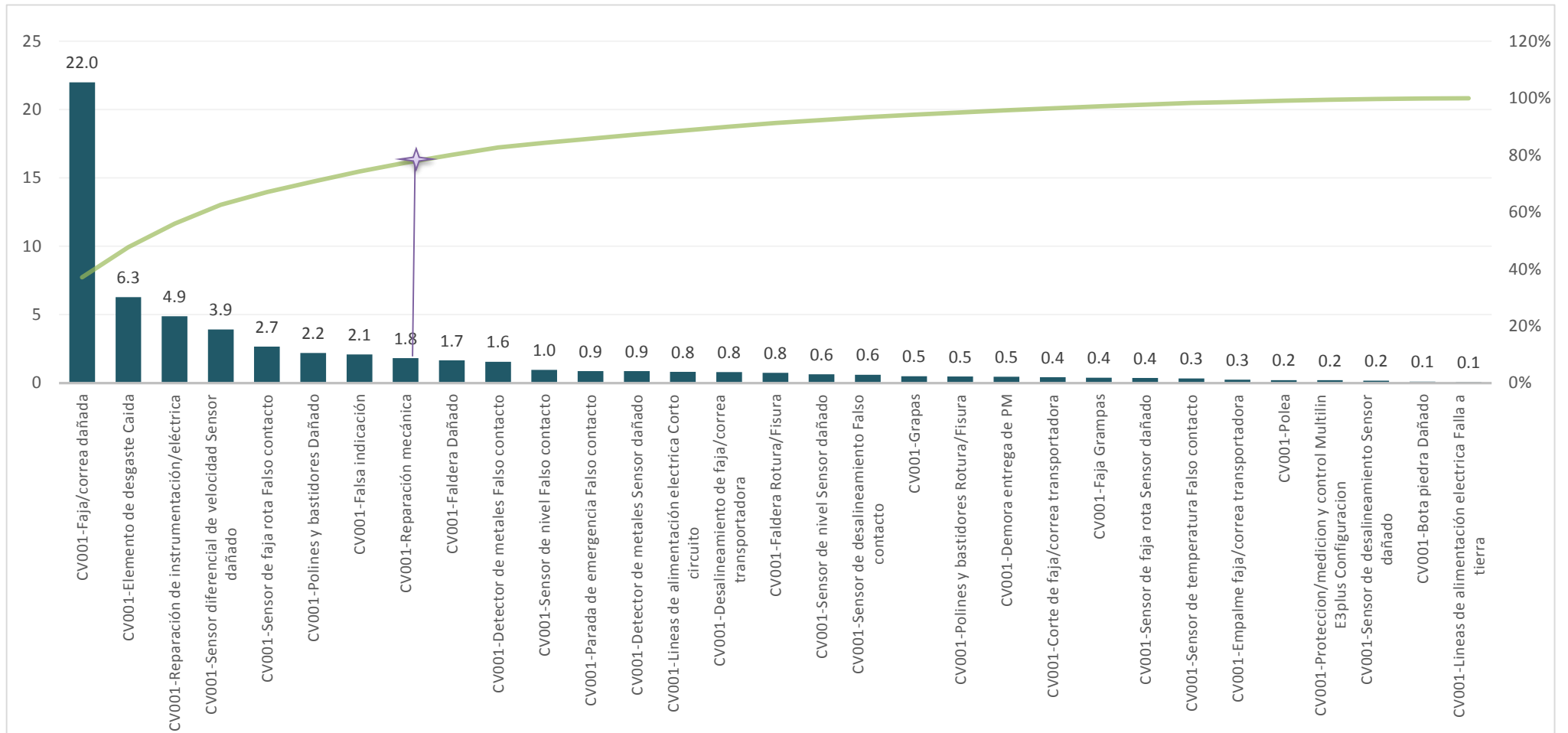
Fuente: Elaboración Propia

FIGURA N° 23: Diagrama de Pareto de Apron Feeder - Acumulación de fallas (Hrs)



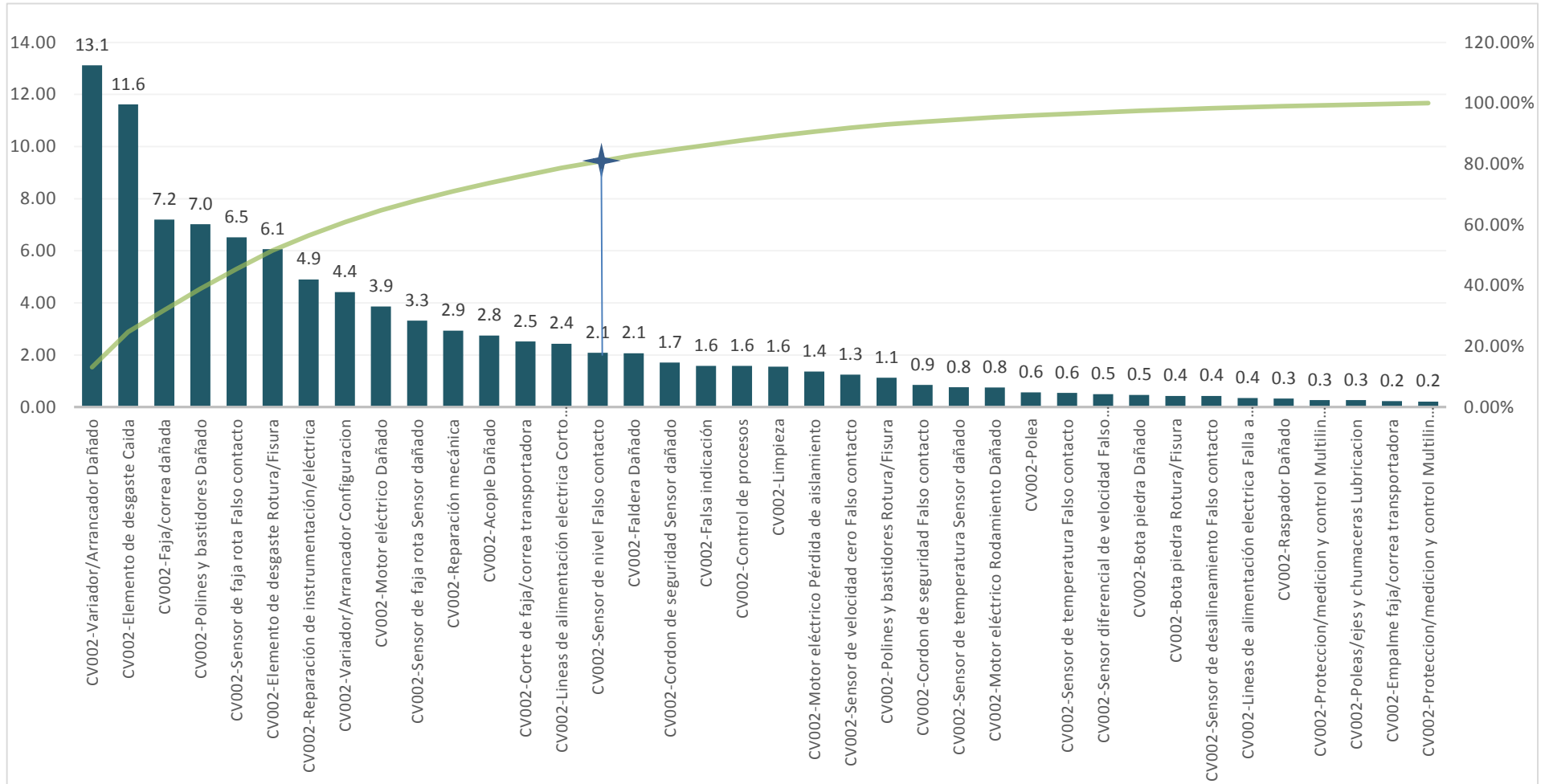
Fuente: Elaboración Propia

FIGURA N° 24: Diagrama de Pareto de Faja de Sacrificio - Acumulación de fallas (Hrs)



Fuente: Elaboración Propia

FIGURA N° 25: Diagrama de Pareto de Faja Overland - Acumulación de fallas (Hrs)



Fuente: Elaboración Propia

3.2.3 Análisis Jack Knife Mantenimiento Correctivos

Jack Knife es una herramienta de trabajo de mantenimiento, su fin es determinar las prioridades de mantenimiento. Es básicamente un gráfico de dispersión, donde se grafican puntos basados en 2 parámetros; duración de paradas (Y), y números de paradas (X), este análisis ayuda para identificar oportunidades de mejoras.

Se tomaran en cuenta todas las fallas que se encuentran en el cuadrante crónico- agudo, por que indican ser los más críticos que tienen una mayor duración de parada y con mayor frecuencia de repetición.

Se analizara los equipos de chancado primario con una base de datos de tres años para identificar las fallas correctivas representativas en los equipos.

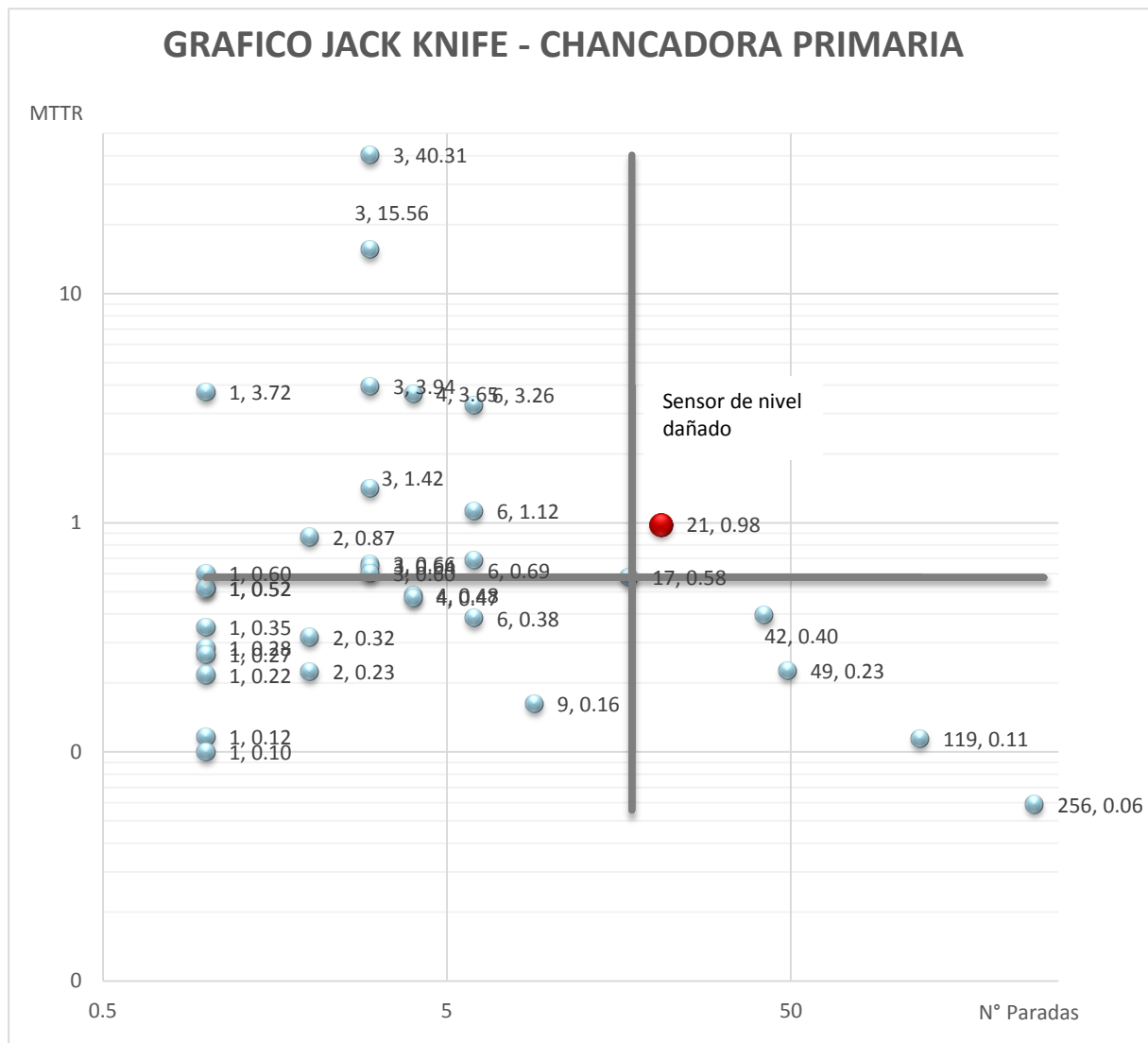
3.2.3.1 Jack Knife Chancadora Primaria

En la gráfica se puede mostrar que la falla que se debe de tomar más en consideración es:

- **Sensor de nivel dañado:** que tiene un tiempo de reparación (MTTR) de 0.98 horas con una frecuencia de 21 veces

Sensor de nivel está ubicado en la cámara de compensación de la chancadora donde indica el nivel de material que se encuentra.

FIGURA N° 26: Diagrama Jack Knife Chancadora Primaria



Fuente: Elaboración Propia

3.2.3.2 Jack Knife Apron Feeder

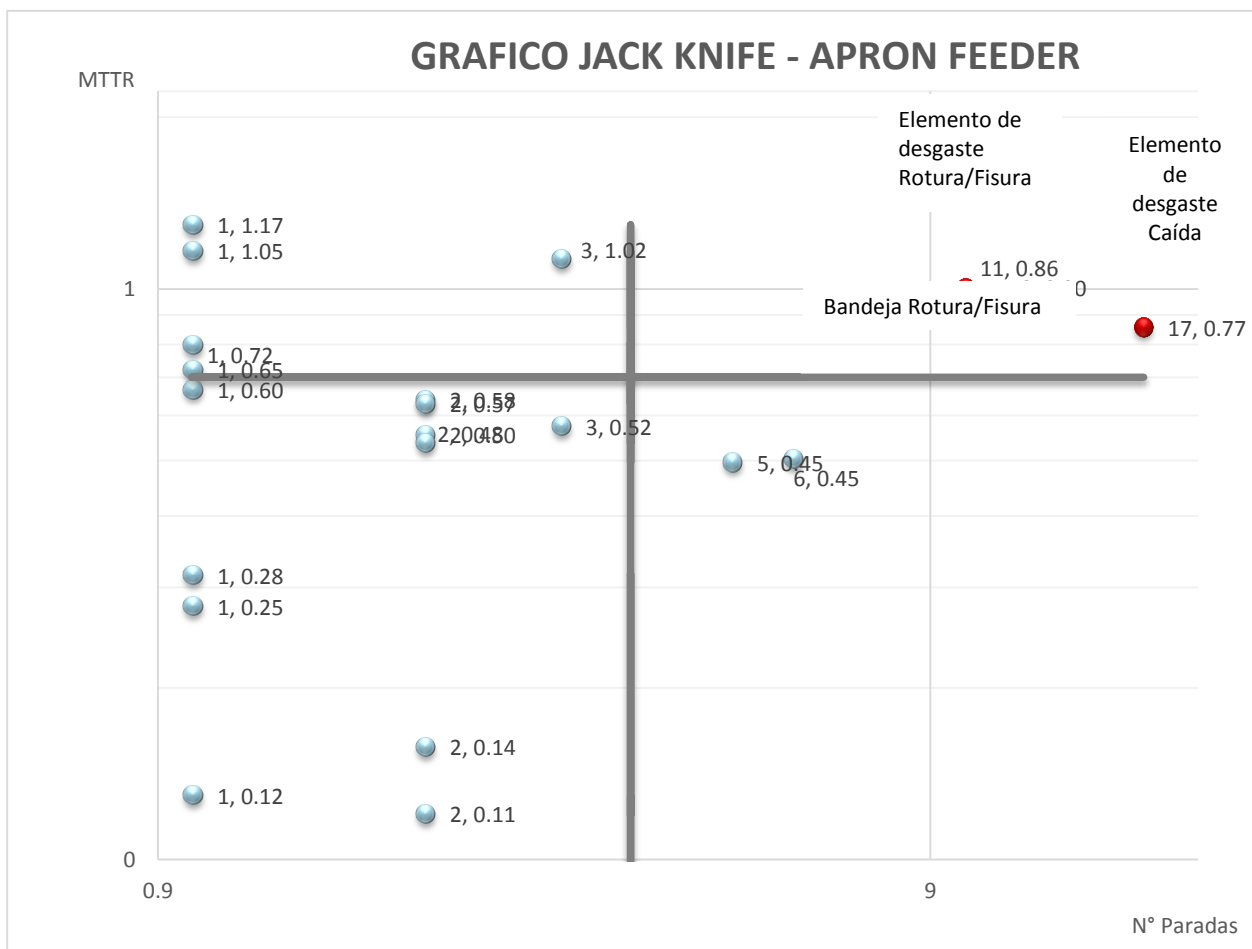
En la gráfica se puede mostrar que la falla que se debe de tomar más en consideración es:

- **Bandeja rotura/fisura:** tiene un tiempo de reparación (MTTR) de 0.9 horas con una frecuencia de 10 veces. La bandeja del Apron Feeder se encarga de transportar el mineral.
- **Elemento de desgaste rotura/Fisura:** tiene un tiempo de reparación (MTTR) de 0.86 horas con una frecuencia de 11

veces. Elemento de desgaste conocido como liner se encarga de proteger a la estructura del equipo.

- **Elemento de desgaste caída:** tiene un tiempo de reparación (MTTR) de 0.77 horas con una frecuencia de 17 veces
- Elemento de desgaste conocido como liner se encarga de proteger a la estructura del equipo.

FIGURA N° 27: Diagrama Jack Knife Apron Feeder



Fuente: Elaboración Propia

3.2.3.3 Jack Knife Faja de Sacrificio

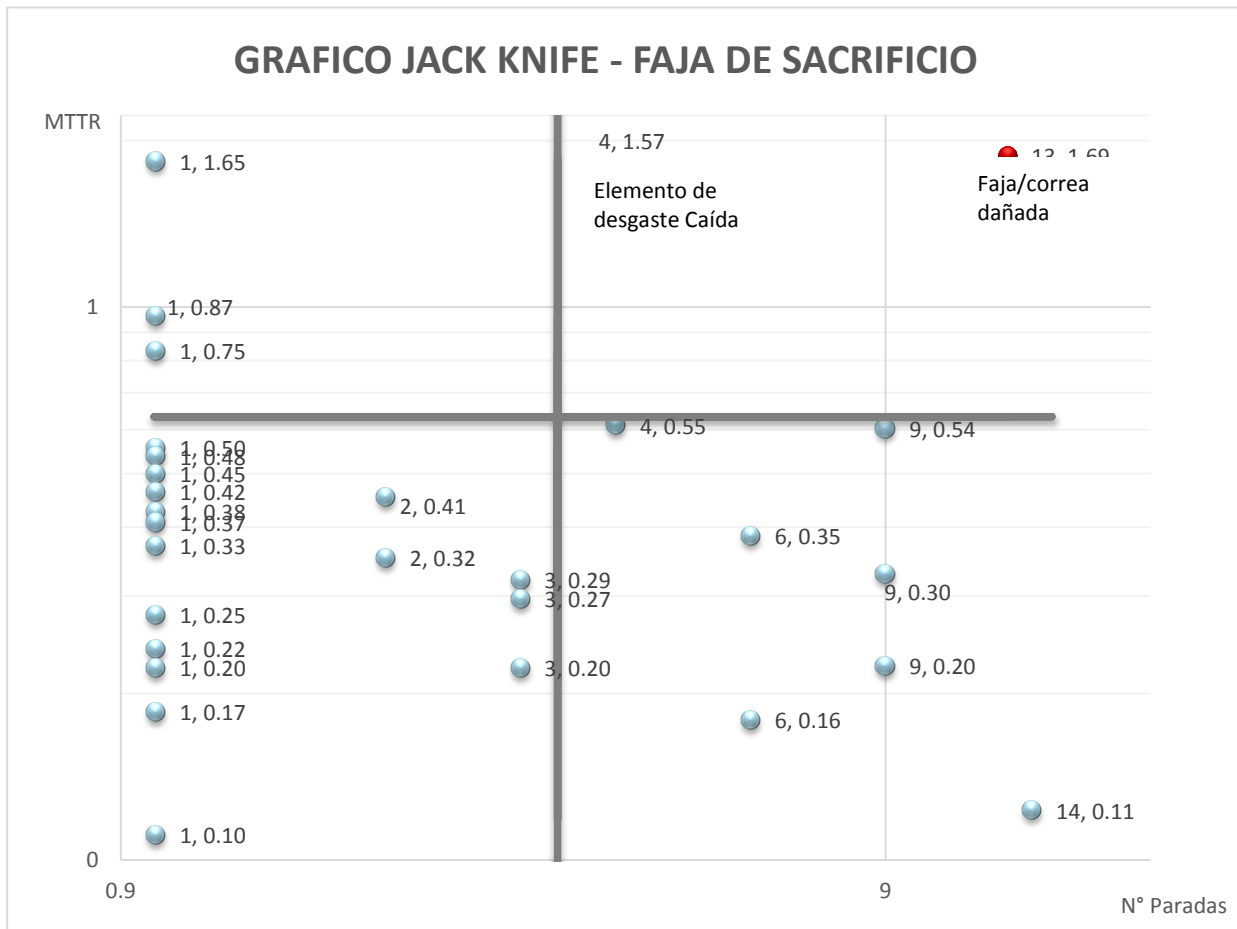
En la gráfica se puede mostrar que la falla que se debe de tomar más en consideración es:

- **Elemento de desgaste caída:** tiene un tiempo de reparación (MTTR) de 1.57 horas con una frecuencia de 04 veces.

Elemento de desgaste conocido como liner se encarga de proteger al chute de descarga de la faja.

- **Faja dañada:** tiene un tiempo de reparación (MTTR) de 1.69 horas con una frecuencia de 13 veces. Faja se encarga de transportar mineral.

FIGURA N° 28: Diagrama Jack Knife Faja de Sacrificio



Fuente: Elaboración Propia

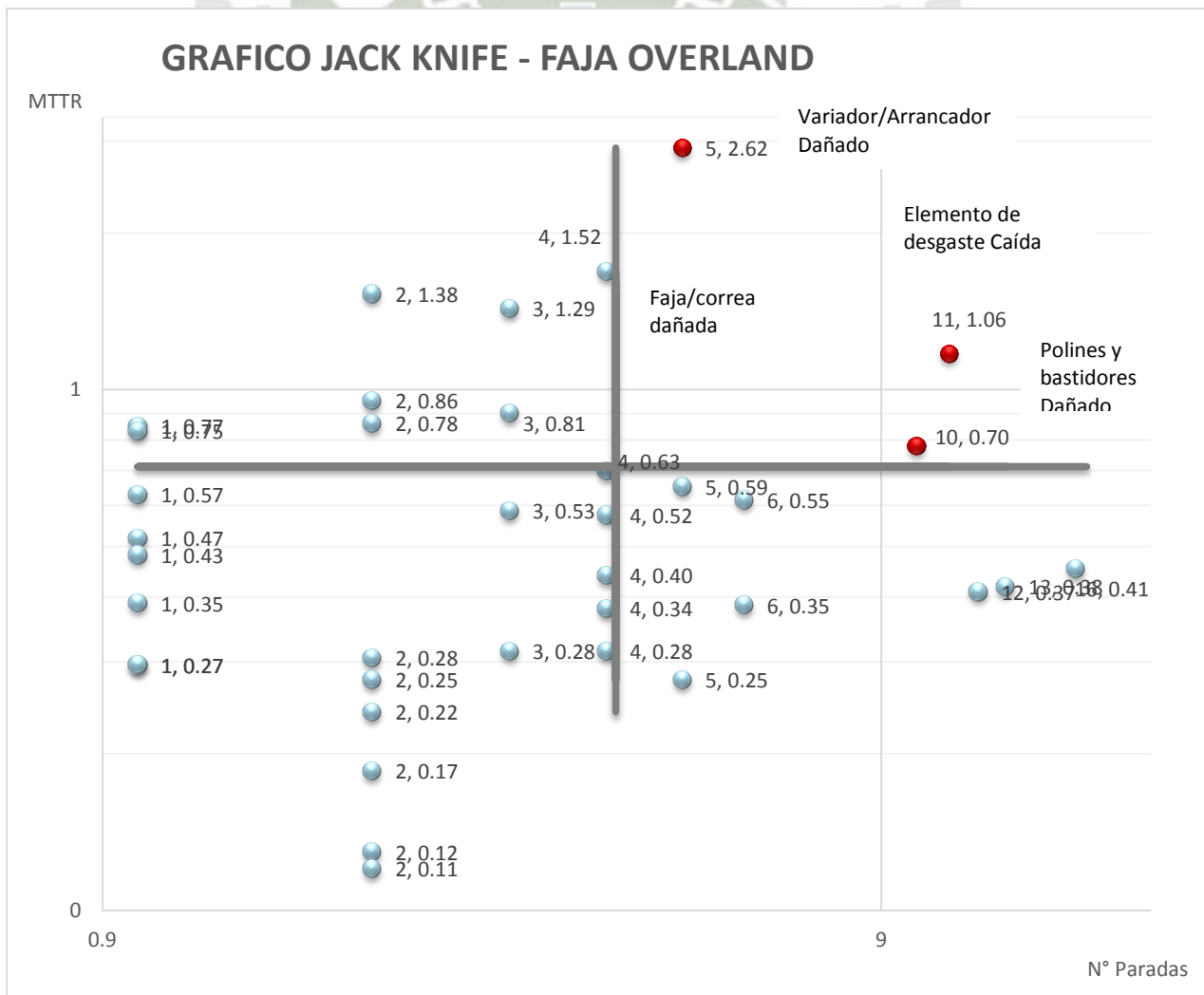
3.2.3.4 Jack Knife Faja Overland

En la gráfica se puede mostrar que la falla que se debe de tomar más en consideración es:

- **Variador dañado:** tiene un tiempo de reparación (MTTR) de 2.62 horas con una frecuencia de 05 veces. Variador se encarga de la regulación de la velocidad de la faja.

- **Faja dañada:** tiene un tiempo de reparación (MTTR) de 1.44 horas con una frecuencia de 05 veces. Faja se encarga de transportar mineral
- **Elemento de desgaste:** tiene un tiempo de reparación (MTTR) de 1.06 horas con una frecuencia de 11 veces. Elemento de desgaste conocido como liner se encarga de proteger al chute de descarga de la faja.
- **Polines/ bastidor dañado:** tiene un tiempo de reparación (MTTR) de 0.70 horas con una frecuencia de 10 veces. Polines son el soporte y ayuda a la faja a transportar el mineral.

FIGURA N° 29: Diagrama Jack Knife Faja Overland



Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO IV: PROPUESTA DE OPTIMIZACION DEL MANTENIMIENTO PLANIFICADO

El objetivo de este capítulo es mejorar los planes de mantenimiento enfocándose en las detenciones críticas que ocurrieron en los tres últimos años para mejorar la disponibilidad y disminuir los costos de mantenimiento.

Ya identificadas las fallas críticas de los equipos de Chancado Primario (ver en capítulo anterior) se aplicará la metodología de Optimización del Mantenimiento Planificado conocido como el PMO, esta metodología consta de 7 pasos las cuales son:

1. Recopilación de tareas
2. Análisis de modos de fallas
3. Racionalización y revisión del FMEA
4. Análisis funcional
5. Evaluación de consecuencias
6. Definición de política de mantenimiento
7. Agrupación y revisión
8. Aprobación
9. Implementación

El análisis se realizará hasta el paso 7, dado que los siguientes pasos 8 y 9 es la implementación en la empresa.

Las fallas críticas identificadas en el análisis de Jack Knife en el capítulo anterior se muestran en la tabla N°12:

TABLA N° 12: Fallas críticas del área de Chancado Primario.

EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE	CAUSA FALLA CRITICA
Chancadora Primaria	Instrumentación	Sensor de nivel	Sensor de nivel dañado
Apron Feeder	Transporte	Bandeja	Bandeja rotura/fisura
Apron Feeder	Chute de carga	Elemento de desgaste	Elemento de desgaste rotura/Fisura
Apron Feeder	Chute de carga	Elemento de desgaste	Elemento de desgaste caída
Faja de Sacrificio	Chute de carga	Elemento de desgaste	Elemento de desgaste caída
Faja de Sacrificio	Transporte	Faja	Faja dañada
Faja Overland	Eléctrico	Variador	Variador dañada
Faja Overland	Transporte	Faja	Faja dañada
Faja Overland	Chute de carga	Elemento de desgaste	Elemento de desgaste caída
Faja Overland	Transporte	Polín/ Bastidor	Polines/ bastidor dañado

Fuente: Elaboración Propia

4.1 Recopilación de tareas

El primer paso del PMO consiste en:

- Reunir en un solo lugar toda la información relacionada con las detenciones críticas definidas bajo el análisis del Jack knife como las actividades de mantenimiento preventivo o rutinario que se ejecutan al equipo del estudio.
- Organizar las tareas de mantenimiento de las detenciones críticas de forma adecuada para el análisis.

4.1.1 Reunir información de las actividades de Mantenimiento Preventivo

Una de las herramientas de información que ayudara a conocer las actividades relacionadas con las detenciones críticas será el software SAP donde se registran todas las actividades de mantenimiento de los equipos de Chancado Primario

4.1.2 Organizar las tareas de mantenimiento de forma adecuada para el análisis

Se organizara las tareas de mantenimiento de forma adecuada para el análisis según la metodología del PMO, se realizara relacionando las tareas de mantenimiento preventivo con las fallas críticas identificadas bajo el análisis de Jack knife (capitulo anterior) como se muestra en la figura:



TABLA N° 13: Fallas críticas vs Planes de Mantenimiento del área de Chancado Primario

EQUIPO	FALLA CRITICA	PLAN DE MANTENIMIENTO EXISTENTE	RESPONSABLE	FRECUENCIA	DURACION (Horas)	PERSONAL
Chancadora Primaria	Sensor de nivel dañado	No se encontró ninguna tarea planificada	Instrumentación	No	No	No
Apron Feeder	Bandeja rotura/fisura	Inspección visual de soldadura de pernos y fuga de material de bandeja	Mecánico	30 días	0.5	1
	Elemento de desgaste rotura/Fisura	Cambio de liners/ elemento de desgaste del Apron Feeder	Mecánico	75 días	8	8
	Elemento de desgaste caída	Cambio de liners/ elemento de desgaste del Apron Feeder	Mecánico	75 días	8	8
Faja de Sacrificio	Elemento de desgaste caída	Inspección visual de pernos y liners	Mecánico	15 días	0.5	1
	Faja dañada	Inspección visual de buen estado de faja	Mecánico	15 días	1	1
Faja Overland	Variador dañada	No se encontró ninguna tarea planificada	Eléctrico	No	No	No
	Faja dañada	Inspección visual de buen estado de faja	Mecánico	15 días	1	1
	Elemento de desgaste caída	Inspección visual de pernos y liners	Mecánico	15 días	0.5	1
	Polines/ bastidor dañado	No se encontró ninguna tarea planificada	Mecánico	No	No	No

Fuente: Elaboración propia

4.2 Análisis de modos de falla (FMEA)

El objetivo del segundo paso de PMO es determinar para cada tarea el modo de falla que intenta prevenir o detectar

TABLA N° 14: Modos de Fallas PMO

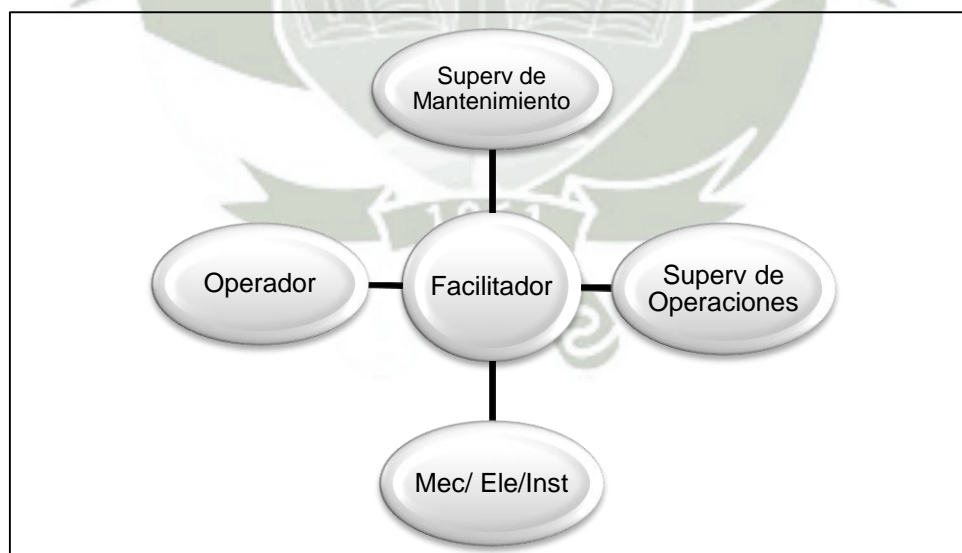
TAREA	FRECUENCIA	RESPONSABLE	FALLA
Tarea 1	Diario	Operador	Falla A
Tarea 2	Diario	Operador	Falla B
Tarea 3	6 meses	Mecánico	Falla C
Tarea 4	6 meses	Mecánico	Falla A
Tarea 5	Anual	Eléctrico	Falla B

Fuente: Análisis PMO

Para determinar los modos de falla de cada tarea se requiere la participación de las personas que mejor conocen a los equipos como son el área de Operaciones y Mantenimiento.

Por el cual se requirió el apoyo de los siguientes participantes:

FIGURA N° 30: Equipo de participación



Los modos de falla identificados para las fallas críticas se muestran en la tabla N°15:

TABLA N° 15: Identificación de Modos de Fallas

EQUIPO	FALLA CRITICA	PLAN DE MANTENIMIENTO EXISTENTE	RESPONSABLE	FRECUENCIA	DURACION (Horas)	PERSONAL	MODO DE FALLA
Chancadora Primaria	Sensor de nivel dañado	No se encontró ninguna tarea planificada	Instrumentación	No	No	No	* Contaminación excesiva a sensor de nivel en la cámara de compensación *Golpe de mineral excesiva a sensor de nivel
Apron Feeder	Bandeja rotura/fisura	Inspección visual de soltura de pernos y fuga de material de bandeja	Mecánico	30 días	0.5	1	*Desgaste excesivo *Pérdidas o solturas de pernos de fijación
	Elemento de desgaste rotura/Fisura	Cambio de liners/ elemento de desgaste de Apron Feeder	Mecánico	75 días	8	8	*Desgaste excesivo *Desgaste excesivo *Pérdidas o solturas de pernos de fijación as o solturas de pernos de fijación
	Elemento de desgaste caída	Cambio de liners/ elemento de desgaste de Apron Feeder	Mecánico	75 días	8	8	*Desgaste excesivo *Pérdidas o solturas de pernos de fijación
Faja de Sacrificio	Elemento de desgaste caída	Inspección visual de pernos y liners	Mecánico	15 días	0.5	1	*Desgaste excesivo *Pérdidas o solturas de pernos de fijación
	Faja dañada	Inspección visual de buen estado de faja	Mecánico	15 días	1	1	*Corte transversal o longitudinal de la faja por desgaste, impactos o adhesión de material *Desalineamiento de faja *Estiramiento excesivo de la faja
Faja Overland	Variador dañada	No se encontró ninguna tarea planificada	Eléctrico	No	No	No	*Mal funcionamiento de Tiristores y diodos
	Faja dañada	Inspección visual de buen estado de faja	Mecánico	15 días	1	1	*Corte transversal o longitudinal de la faja por desgaste, impactos o adhesión de material *Desalineamiento de faja *Estiramiento excesivo de la faja
	Elemento de desgaste caída	Inspección visual de pernos y liners	Mecánico	15 días	0.5	1	*Desgaste excesivo *Pérdidas o solturas de pernos de fijación
	Polines/ bastidor dañado	No se encontró ninguna tarea planificada	Mecánico	No	No	No	*Rotura de polines *Deformación de bastidor *Atascamiento de polines

Fuente: Elaboración Propia

4.3 Racionalización y Revisión del FMEA

El objetivo del paso 3 del análisis PMO es crear una lista única de modos de fallas para cada tarea o rutina de mantenimiento

TABLA N° 16: Racionalización y Revisión del FMEA

TAREA	RESPONSABLE	FALLA
Tarea 1	Operador	Falla A
Tarea 2	Operador	Falla B
Tarea 3	Mecánico	Falla C
Tarea 4	Mecánico	Falla A
Tarea 5	Eléctrico	Falla B
Tarea 6	Operador	Falla C
Tarea 7	Mecánico	Falla C
Tarea 8	Eléctrico	Falla B
		Falla D

Fuente: OMCS Internacional

Este paso ayuda a identificar la duplicidad de tareas, se presenta cuando el mismo modo de falla se le aplica varias rutinas de PM de las diferentes especialidades.

La evaluación de los modos de falla se identificara por equipo del área de Chancado Primario como se muestra en la tabla.

TABLA N° 17: Racionalización y Revisión del FMEA de fallas críticas

EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE	CAUSA FALLA CRITICA	PLAN DE MANTENIMIENTO EXISTENTE	FREC.	DURACION (Horas)	PERSONAL	MODO DE FALLA	
Chancadora Primaria	Instrumentación	Sensor de nivel	Sensor de nivel dañado	No se encontró ninguna tarea planificada	No	No	No	* Contaminación excesiva a sensor de nivel en la cámara de compensación *Golpe de mineral excesiva a sensor de nivel	A
Apron Feeder	Transporte	Bandeja	Bandeja rotura/fisura	Inspección visual de soldadura de pernos y fuga de material de bandeja	30 días	0.5	1	*Desgaste excesivo *Perdidas o soldaduras de pernos de fijación	A
	Chute de carga	Elemento de desgaste	Elemento de desgaste rotura/Fisura	Cambio de liners/ elemento de desgaste de Apron Feeder	75 días	8	8	*Desgaste excesivo *Perdidas o soldaduras de pernos de fijación	B
	Chute de carga	Elemento de desgaste	Elemento de desgaste caída	Cambio de liners/ elemento de desgaste de Apron Feeder	75 días	8	8	*Desgaste excesivo *Perdidas o soldaduras de pernos de fijación	B
Faja de Sacrificio	Chute de carga	Elemento de desgaste	Elemento de desgaste caída	Inspección visual de pernos y liners	15 días	0.5	1	*Desgaste excesivo *Perdidas o soldaduras de pernos de fijación	A
	Transporte	Faja	Faja dañada	Inspección visual de buen estado de faja	15 días	1	1	*Corte transversal o longitudinal de la faja por desgaste, impactos o adhesión de material *Desalineamiento de faja *Estiramiento excesivo de la faja	B
Faja Overland	Eléctrico	Variador	Variador dañada	No se encontró ninguna tarea planificada	No	No	No	*Mal funcionamiento de Tiristores y diodos	A
	Transporte	Faja	Faja dañada	Inspección visual de buen estado de faja	15 días	1	1	*Corte transversal o longitudinal de la faja por desgaste, impactos o adhesión de material *Desalineamiento de faja *Estiramiento excesivo de la faja	B
	Chute de carga	Elemento de desgaste	Elemento de desgaste caída	Inspección visual de pernos y liners	15 días	0.5	1	*Desgaste excesivo *Perdidas o soldaduras de pernos de fijación	C
	Transporte	Polín/ Bastidor	Polines/ bastidor dañado	No se encontró ninguna tarea planificada	No	No	No	*Rotura de polines *Deformación de bastidor *Atascamiento de polines	D

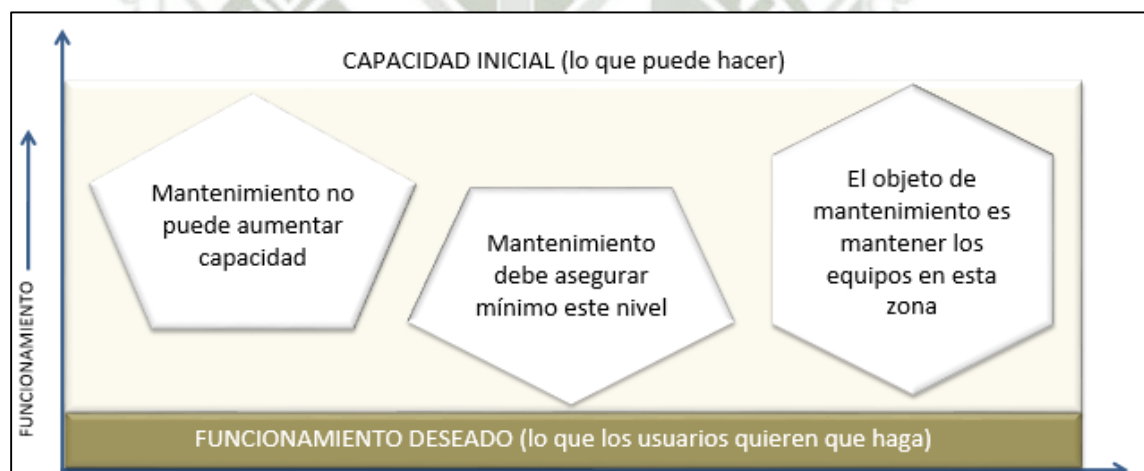
Fuente: Elaboración Propia

Como se puede ver en el tabla N°17 se identificó una duplicidad en el equipo del Apron Feeder en las fallas críticas de “Elemento de desgaste caída” y “Elemento de desgaste rotura/ fisura” que las tareas preventivas son las mismas para las dos fallas críticas, por lo cual se realizara la unificación de ambas.

4.4 Análisis Funcional

El objetivo de este paso es definir los requerimientos funcionales del activo o planta y determinar su capacidad real de cumplir con requerimientos esperados, es crear una conexión entre las tareas de mantenimiento y las pérdidas de funcionalidad

FIGURA N° 31: Análisis Funcional



Fuente: OMCS Internacional

Las funciones serán determinadas por cada falla crítica que se está analizando para tener una visión clara de cuáles son las funciones primarias y secundarias de los componentes analizar como se muestra en la tabla siguiente:

TABLA N° 18: Análisis Funcional de fallas críticas

EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE	FALLA CRITICA	MODO DE FALLA	FUNCION
Chancadora Primaria	Instrumentación	Sensor de nivel	Sensor de nivel dañado	* Contaminación excesiva a sensor de nivel en la cámara de compensación *Golpe de mineral excesiva a sensor de nivel	A Indicar el volumen de mineral y alertar el nivel máximo de carga que se encuentra en la cámara de compensación en un rango de 0% a 100% de capacidad
Apron Feeder	Transporte	Bandeja	Bandeja rotura/fisura	*Desgaste excesivo *Pérdidas o solturas de pernos de fijación	A Dosificar el mineral que descarga de la Chancadora Primaria que tiene una capacidad de 4,167 tn/h
	Chute de carga	Elemento de desgaste	Elemento de desgaste rotura/Fisura	*Desgaste excesivo *Pérdidas o solturas de pernos de fijación	B Protección de las paredes de la estructura del Apron Feeder
	Chute de carga	Elemento de desgaste	Elemento de desgaste caída		
Faja de Sacrificio	Chute de carga	Elemento de desgaste	Elemento de desgaste caída	*Desgaste excesivo *Pérdidas o solturas de pernos de fijación	A Protección de las paredes de la estructura del chute de descarga de la Faja de Sacrificio
	Transporte	Faja	Faja dañada	*Corte transversal o longitudinal de la faja por desgaste, impactos o adhesión de material *Desalineamiento de faja *Estiramiento excesivo de la faja	B Transporte de mineral que descarga hacia la faja Overland a una velocidad de 2,0 m/s
Faja Overland	Eléctrico	Variador	Variador dañada	*Mal funcionamiento de Tiristores y diodos	A Incrementar y disminuir la velocidad del motor de la Faja Overland para controlar el flujo de mineral que oscila entre 4,0 m/s y 4,8 m/s
	Transporte	Faja	Faja dañada	*Corte transversal o longitudinal de la faja por desgaste, impactos o adhesión de material *Desalineamiento de faja *Estiramiento excesivo de la faja	B Transporte de mineral que descarga hacia el Stock Pile a una velocidad de 4,8 m/s
	Chute de carga	Elemento de desgaste	Elemento de desgaste caída	*Desgaste excesivo *Pérdidas o solturas de pernos de fijación	C Protección de las paredes de la estructura del chute de descarga de la Faja Overland
	Transporte	Polín/ Bastidor	Polines/ bastidor dañado	*Rotura de polines *Deformación de bastidor *Atascamiento de polines	D Soporte para el deslizamiento de faja que transporta mineral

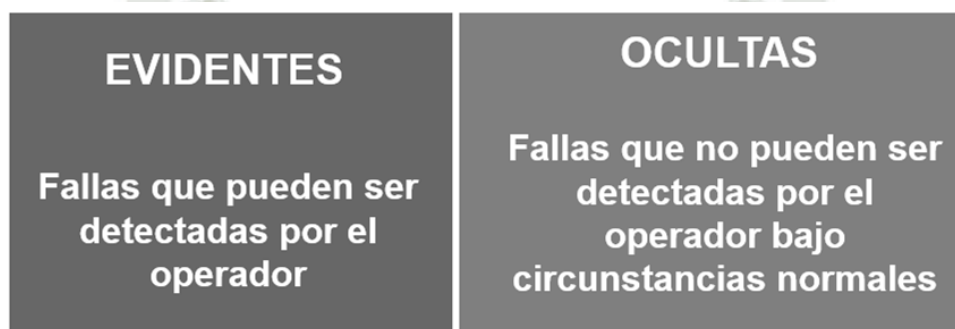
Fuente: Elaboración Propia

4.5 Evaluación de Consecuencias

El objetivo del paso 5 es de determinar en qué forma se manifiesta el modo de falla y que clase de efecto tiene sobre la operación.

Cabe señalar que las consecuencias de falla se dividen en dos grupos:

FIGURA N° 32: Clasificación de Consecuencias



Fuente: OMCS Internacional

La clasificación de las consecuencias de fallas ocultas y evidentes es:

FIGURA N° 33: Clasificación de Consecuencias - Evidentes



Fuente: OMCS Internacional

Los efectos y consecuencias de las fallas críticas se detallarán por equipo del área de Chancado Primario, como se muestran en las tablas siguientes:

TABLA N° 19: Análisis de Efecto y Consecuencia de Fallas críticas – Chancadora Primaria

EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE	FUNCION	MODO DE FALLA	EFFECTO Y CONSECUENCIA DE FALLA
Chancadora Primaria	Instrumentación	Sensor de nivel	Indicar el volumen de mineral y alertar el nivel máximo de carga que se encuentra en la cámara de compensación en un rango de 0% a 100% de capacidad	Contaminación excesiva a sensor de nivel en la cámara de compensación	<p>Consecuencia: Evidente - Operacional (Afecta al volumen de producción total)</p> <p>Efecto: Se detiene Chancadora Primaria por la activación de alerta de alto nivel de carga en la cámara de compensación.</p> <p>Descripción: En el momento que la carga de material que se encuentra en la cámara de compensación supera el límite permisivo se activa la alerta pero si se encuentra con polución el sensor dará señales erróneas de la carga de material</p> <p>Actividad: Limpieza de sensor</p> <p>Tiempo muerto: para limpieza de sensor es de 0.5 horas</p>
				Golpe de mineral excesiva a sensor de nivel	<p>Consecuencia: Evidente - Operacional (Afecta al volumen de producción total)</p> <p>Efecto: Se detiene Chancadora Primaria por la activación de alerta de alto nivel de carga en la cámara de compensación.</p> <p>Descripción: En el momento que la carga de material que se encuentra en la cámara de compensación supera el límite permisivo se activa la alerta pero si se encuentra dañado el sensor por golpes de material se dará señales erróneas de la carga de material</p> <p>Actividad: Limpieza de sensor</p> <p>Tiempo muerto: para cambio de sensor es de 1 hora</p>

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 20: Análisis de Efecto y Consecuencia de Fallas críticas – Apron Feeder

EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE	FUNCION	MODO DE FALLA	EFECTO Y CONSECUENCIA DE FALLA
Apron Feeder	Transporte	Bandeja	Dosificar el mineral que descarga de la Chancadora Primaria que tiene una capacidad de 4,167 tn/h	Desgaste excesivo de bandeja	<p>Consecuencia: Evidente - Operacional (Afecta al volumen de producción total)</p> <p>Efecto: Se detiene Apron Feeder para el cambio de bandejas</p> <p>Descripción: Los golpes y fricciones que se generan en las bandejas en el Apron Feeder provocan desgaste o rotura de bandeja.</p> <p>Actividad: Cambio de bandeja</p> <p>Tiempo muerto: Depende de la cantidad de bandeja que requieran cambio, aproximadamente es de 1 hora/ bandeja</p>
				Pérdidas o solturas de pernos de fijación de bandeja	<p>Consecuencia: Evidente - Operacional (Afecta al volumen de producción total)</p> <p>Efecto: Se detiene Apron Feeder para el cambio de pernos de sujeción</p> <p>Descripción: Mala sujeción de las bandejas provoca que, por los golpes de material al pasar por el Apron Feeder, se desprendan de su posición, dejando fugas de material.</p> <p>Actividad: Cambio de pernos de sujeción de bandeja</p> <p>Tiempo muerto: Depende de la cantidad de bandeja que requieran cambio, aproximadamente es de 0.5 hora/ bandeja</p>
	Estructural	Elemento de desgaste	Protección de las paredes de la estructura del Apron Feeder	Desgaste excesivo de liners	<p>Consecuencia: Oculta</p> <p>Efecto: Se detiene Apron Feeder para el cambio de liners</p> <p>Descripción: Los golpes y fricciones que se generan en los elementos de desgaste del Apron Feeder provocan desgaste o rotura de liners, dejando expuesta la estructura del equipo.</p> <p>Actividad: Cambio de liners</p> <p>Tiempo muerto: Depende de la cantidad de liners que requieran cambio, aproximadamente es de 1.5 hora/ liner</p>
				Pérdidas o solturas de pernos de fijación de liners	<p>Consecuencia: Oculta</p> <p>Efecto: Se detiene Apron Feeder para el cambio de pernos de sujeción</p> <p>Descripción: Mala sujeción de los elementos de desgaste en la estructura del Apron Feeder provoca que, por los golpes de material al pasar por el equipo, se desprendan de su posición, dejando libre y sin protección a la estructura, se activa alarma parando la faja al caer liners provocando atoro o corte de faja.</p> <p>Actividad: Cambio de pernos de sujeción de liners</p> <p>Tiempo muerto: Depende de la cantidad de liners que requieran cambio, aproximadamente es de 0.5 hora/ liner</p>

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 21: Análisis de Efecto y Consecuencia de Fallas críticas – Faja de Sacrificio

EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE	FUNCION	MODO DE FALLA	EFECTO Y CONSECUENCIA DE FALLA
Faja de Sacrificio	Chute de carga	Elemento de desgaste	Protección de las paredes de la estructura del chute de descarga de la Faja de Sacrificio	Desgaste excesivo de liners	<p>Consecuencia: Oculta)</p> <p>Efecto: Se detiene Faja de Sacrificio para el cambio de liners</p> <p>Descripción: Los golpes y fricciones que se generan en los elementos de desgaste de la faja de sacrificio provocan desgaste o rotura de liners, dejando expuesta la estructura del equipo.</p> <p>Actividad: Cambio de liners</p> <p>Tiempo muerto: Depende de la cantidad de liners que requieran cambio, aproximadamente es de 1.5 hora/ liner</p>
				Pérdidas o solturas de pernos de fijación de liners	<p>Consecuencia: Oculta</p> <p>Efecto: Se detiene Faja de Sacrificio para el cambio de pernos de sujeción</p> <p>Descripción: Mala sujeción de los elementos de desgaste en la estructura de los chute provoca que, por los golpes de material al pasar por el chute, se desprendan de su posición, dejando libre y sin protección la estructura del chute, se activa alarma parando la faja al caer liners provocando atoro o corte de faja.</p> <p>Actividad: Cambio de pernos de sujeción de liners</p> <p>Tiempo muerto: Depende de la cantidad de liners que requieran cambio, aproximadamente es de 0.5 hora/ liner</p>
	Transporte	Faja	Transporte de mineral que descarga hacia la faja Overland a una velocidad de 2,0 m/s	Corte transversal o longitudinal de la faja por desgaste, impactos o adhesión de material	<p>Consecuencia: Evidente - Operacional (Afecta al volumen de producción total)</p> <p>Efecto: Se detiene Faja de Sacrificio para el cambio/reparación de faja</p> <p>Descripción: Caída de liners o material cortante provocando corte transversal o longitudinal en la faja, de activa la alarma y se para motor de la faja.</p> <p>Actividad: Cambio o reparación de faja</p> <p>Tiempo muerto: Depende del tipo de reparación que requiere la faja, aproximadamente fluctúan entre 4 a 15 horas</p>
				Desalineamiento de faja	<p>Consecuencia: Evidente - Operacional (Afecta al volumen de producción total)</p> <p>Efecto: Se detiene Faja de Sacrificio para la reparación de faja</p> <p>Descripción: El desalineamiento total provoca que la faja se salga de la guía de los polines y poleas, generando caída del material fuera de la faja y deje de ser transportado. La alarma se enciende y se para el motor de la faja.</p> <p>Actividad: Cambio o reparación de faja</p> <p>Tiempo muerto: Depende del tipo de reparación que requiere la faja, aproximadamente fluctúan entre 4 a 15 horas</p>
				Estiramiento excesivo de la faja	<p>Consecuencia: Evidente - Operacional (Afecta al volumen de producción total)</p> <p>Efecto: Se detiene Faja de Sacrificio para el cambio o reparación de faja</p> <p>Descripción: El estiramiento de la faja se debe al tensado excesivo de la faja provocando rotura de faja, activando la alarma y parando la faja</p> <p>Actividad: Cambio o reparación de faja</p> <p>Tiempo muerto: Depende del tipo de reparación que requiere la faja, aproximadamente fluctúan entre 4 a 15 horas</p>

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 22: Análisis de Efecto y Consecuencia de Fallas críticas – Faja Overland

EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE	FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFEECTO Y CONSECUENCIA DE FALLA
Faja Overland	Eléctrico	Variador	Incrementar y disminuir la velocidad del motor de la Faja Overland para controlar el flujo de mineral que oscila entre 4,0 m/s y 4,8 m/s	Mal funcionamiento de Tiristores y diodos	<p>Consecuencia: Evidente - Operacional</p> <p>Efecto: Se detiene Faja Overland para reparación de variador</p> <p>Descripción: Sobretensión en el variador provocando calentamiento en los fusibles</p> <p>Actividad: Reparación de variador</p> <p>Tiempo muerto: Depende del tipo de reparación que requiere el variador aproximadamente de 3 horas</p>
	Transporte	Faja	Transporte de mineral que descarga hacia el Stock Pile a una velocidad de 4,8 m/s	Corte transversal o longitudinal de la faja por desgaste, impactos o adhesión de material	<p>Consecuencia: Evidente - Operacional (Afecta al volumen de producción total)</p> <p>Efecto: Se detiene Faja Overland para el cambio/reparación de faja</p> <p>Descripción: Caída de liners o material cortante provocando corte transversal o longitudinal en la faja, de activa la alarma y se para motor de la faja.</p> <p>Actividad: Cambio o reparación de faja</p> <p>Tiempo muerto: Depende del tipo de reparación que requiere la faja, aproximadamente fluctúan entre 4 a 15 horas</p>
				Desalineamiento de faja	<p>Consecuencia: Evidente - Operacional (Afecta al volumen de producción total)</p> <p>Efecto: Se detiene Faja Overland para la reparación de faja</p> <p>Descripción: El desalineamiento total provoca que la faja se salga de la guía de los polines y poleas, generando caída del material fuera de la faja y deje de ser transportado. La alarma se enciende y se para el motor de la faja.</p> <p>Actividad: Cambio o reparación de faja</p> <p>Tiempo muerto: Depende del tipo de reparación que requiere la faja, aproximadamente fluctúan entre 4 a 15 horas</p>
				Estiramiento excesivo de la faja	<p>Consecuencia: Evidente - Operacional (Afecta al volumen de producción total)</p> <p>Efecto: Se detiene Faja Overland para el cambio o reparación de faja</p> <p>Descripción: El estiramiento de la faja se debe al tensado excesivo de la faja provocando desgaste prematuro y rotura de faja, activando la alarma y parando la faja</p> <p>Actividad: Cambio o reparación de faja</p> <p>Tiempo muerto: Depende del tipo de reparación que requiere la faja, aproximadamente fluctúan entre 4 a 15 horas</p>

EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE	FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFFECTO Y CONSECUENCIA DE FALLA
	Chute de carga	Elemento de desgaste	Protección de las paredes de la estructura del chute de descarga de la Faja Overland	Desgaste excesivo de liners	<p>Consecuencia: Oculta</p> <p>Efecto: Se detiene Faja Overland para el cambio de liners</p> <p>Descripción: Los golpes y fricciones que se generan en los elementos de desgaste de la faja Overland provocan desgaste o rotura de liners, dejando expuesta la estructura del equipo.</p> <p>Actividad: Cambio de liners</p> <p>Tiempo muerto: Depende de la cantidad de liners que requieran cambio, aproximadamente es de 1.5 hora/ liner</p>
				Pérdidas o solturas de pernos de fijación de liners	<p>Consecuencia: Oculta</p> <p>Efecto: Se detiene Faja Overland para el cambio de pernos de sujeción</p> <p>Descripción: Mala sujeción de los elementos de desgaste en la estructura de los chute provoca que, por los golpes de material al pasar por el chute, se desprendan de su posición, dejando libre y sin protección la estructura del chute, se activa alarma parando la faja al caer liners provocando atoro o corte de faja.</p> <p>Actividad: Cambio de pernos de sujeción de liners</p> <p>Tiempo muerto: Depende de la cantidad de liners que requieran cambio, aproximadamente es de 0.5 hora/ liner</p>
Transporte	Polín/ Bastidor	Soporte para el deslizamiento de faja que transporta mineral	Rotura de polines	<p>Consecuencia: Evidente - Operacional (Afecta al volumen de producción total)</p> <p>Efecto: Se detiene Faja Overland para el cambio de polín/bastidor</p> <p>Descripción: Rotura de polines por desgaste excesivo de polín provocando rotura dañando la faja.</p> <p>Tiempo muerto: Depende de la cantidad de polines requiera su cambio, aproximadamente es 0.5 horas/polín</p>	
			Deformación de bastidor	<p>Consecuencia: Evidente - Operacional (Afecta al volumen de producción total)</p> <p>Efecto: Se detiene Faja Overland para el cambio de polín/bastidor</p> <p>Descripción: Deformación de bastidor por tiempo de operación de bastidor y por golpes de materia.</p> <p>Tiempo muerto: Depende de la cantidad de polines requiera su cambio, aproximadamente es 2 horas/bastidor</p>	
			Atascamiento de polines	<p>Consecuencia: Evidente - Operacional (Afecta al volumen de producción total)</p> <p>Efecto: Se detiene Faja Overland para el cambio de polín/bastidor</p> <p>Descripción: Atascamiento de polines por material apelmazado en polines, provocando daño y desalineamiento de faja.</p> <p>Tiempo muerto: Depende de la cantidad de polines requiera su cambio, aproximadamente es 0.5 horas/polín</p>	

Fuente: Elaboración Propia

4.6 Definición de la Política de Mantenimiento

El objetivo del paso 6 del análisis es seleccionar las tareas de mantenimiento que cumplan con controlar los modos de fallas identificados, asimismo analizar cada modo de falla bajo los principios del RCM para establecer la nueva política de mantenimiento (Diagrama de Decisión-Jhon Moubray).

Existen tres estrategias de mantenimiento para mitigar o eliminar los modos de falla evidentes:

- Tarea a condición (Mantenimiento Predictivo)
- Reacondicionamiento Cíclico (Reparación Programada)
- Sustitución Cíclica (Reemplazo programado)
- Llevar a la falla

4.6.1 Análisis aplicando RCM

Se realizara el análisis para cada equipo del área de Chancado Primario como se muestra a continuación.

Para la realización del análisis se requiere utilizar el árbol de decisión que se muestra en la figura N°18 del Capítulo 2 para poder desarrollar y determinar la mejor estrategia de mantenimiento.

TABLA N° 23: Definición de la Política de Mantenimiento – Chancadora Primaria

REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCIÓN A FALTA DE				TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	REALIZARLO POR:
							S1	S2	S3							
SISTEMA	COMPONENTE	MODO DE FALLA	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
Instrumentación	Sensor de nivel	Contaminación excesiva a sensor de nivel en la cámara de compensación	S	N	N	S	N	S						Limpeza de sensor de nivel. Verificar estado	Quincenal	M. Eléctrico
		Golpe de mineral excesiva a sensor de nivel	S	N	N	S	N	N	N					Diseñar protección contra golpes de material para el sensor de nivel dentro de la cámara de compensación	-	M. Eléctrico M. Mecánico

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 24: Definición de la Política de Mantenimiento – Apron Feeder

REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCIÓN A FALTA DE				TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	REALIZARLO POR:			
SISTEMA	COMPONENTE	MODO DE FALLA	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4				H5	S4	
Transporte	Bandeja	Desgaste excesivo de bandeja	S	N	N	S	S										-Monitoreo de ultrasonido en bandejas. -Inspección de bandejas. <i>*Cambio si es necesario</i>	3 Meses Quincenal	M. Predictivo
		Pérdidas o solturas de pernos de fijación de bandeja	S	N	N	S	S										Inspección de pernos de sujeción de bandejas. <i>*Cambio de pernos suelto o desgastados o retorqueo de pernos si es necesario</i>	Semanal	M. Predictivo
Estructural	Elemento de desgaste	Desgaste excesivo de liners	N				S										-Monitoreo de ultrasonido -Inspección de elementos de desgaste. <i>*Cambio de liners si es necesario</i>	Mensual Quincenal	M. Predictivo
		Pérdidas o solturas de pernos de fijación de liners	N				S										Inspección de pernos de sujeción de liners. <i>*Cambio de pernos sueltos o desgastados o retorqueo de pernos si es necesario</i>	Quincenal	M. Predictivo

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 25: Definición de la Política de Mantenimiento – Faja de Sacrificio

REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCIÓN A FALTA DE				TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	REALIZARLO POR:		
SISTEMA	COMPONENTE	MODO DE FALLA	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4				H5	S4
Chute de carga	Elemento de desgaste	Desgaste excesivo de liners	N				S									-Monitoreo de ultrasonido -Inspección de elementos de desgaste. <i>* Cambio de liners si es necesario</i>	Mensual Quincenal	M. Predictivo
		Pérdidas o solturas de pernos de fijación de liners	N				S									Inspección de pernos de sujeción de liners. <i>* Cambio de pernos sueltos o desgastados o retorqueo de pernos si es necesario</i>	Quincenal	M. Predictivo
Transporte	Faja	Corte transversal o longitudinal de la faja por desgaste, impactos o adhesión de material	S	N	S		S									- Monitorear desgaste de faja con ultrasonido. -Inspección visual de faja; presencia de cortes y/o desgaste excesivo. <i>*Reacondicionar si es necesario.</i>	3 meses Semanal	M. Predictivo
		Desalineamiento de faja	S	N	S		S									Inspección de desalineamiento de faja. <i>* Alinear si es necesario</i>	Mensual	M. Predictivo
		Estiramiento excesivo de la faja	S	N	S		S									Inspección de tensado de faja transportadora. <i>*Tensar faja si es necesario</i>	Mensual	M. Predictivo

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 26: Definición de la Política de Mantenimiento – Faja Overland

REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCIÓN A FALTA DE			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	REALIZARLO POR:
SISTEMA	COMPONENTE	MODO DE FALLA	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
							O1	O2	O3						
Eléctrico	Variador	Mal funcionamiento de Tiristores y diodos	N				S						- Monitoreo Termográfico del variador -Inspección de componentes del variador. *Reacondicionar si es necesario.	Mensual Semanal	M. Predictivo
Transporte	Faja	Corte transversal o longitudinal de la faja por desgaste, impactos o adhesión de material	S	N	S		S						- Monitorear desgaste de faja con ultrasonido. -Inspección visual de faja; presencia de cortes y/o desgaste excesivo. *Reacondicionar si es necesario.	3 Meses Semanal	M. Predictivo
		Desalineamiento de faja	S	N	S		S						Inspección de desalineamiento de faja. * Alinear si es necesario	Mensual	M. Predictivo
		Estiramiento excesivo de la faja	S	N	S		S						Inspección de tensado de faja transportadora. *Tensar faja si es necesario	Mensual	M. Predictivo
Chute de carga	Elemento de desgaste	Desgaste excesivo de liners	N				S						-Monitoreo de ultrasonido -Inspección de elementos de desgaste. *Cambio de liners si es necesario	Mensual Quincenal	M. Predictivo
		Pérdidas o solturas de pernos de fijación de liners	N				S						Inspección de pernos de sujeción de liners. *Cambio de pernos sueltos o desgastados o retorqueo de pernos si es necesario	Quincenal	M. Predictivo
Transporte	Polín/ Bastidor	Rotura de polines	S	N	N	N	S						Inspección visual de polines. *Cambio de polines si se requiere	Semanal	M. Predictivo
		Deformación de bastidor	S	N	N	N	S						Inspección visual de bastidores. *Cambio de polines si se requiere	Semanal	M. Predictivo
		Atascamiento de polines	S	N	N	N	N	S					Limpeza de polines de faja	Quincenal	M. Mecánico

Fuente: Elaboración Propia

4.6.2 Propuesta de Plan de Mantenimiento

Teniendo las tareas identificadas bajo los principios del RCM se consolida los planes de mantenimiento para cada equipo, como se muestra en el Tabla N°28.

En la tabla del plan de mantenimiento propuesto se especifican cuáles son las tareas que se deben de implementar así como también la frecuencia, los responsables a ejecutar el trabajo y si requiere parada la tarea de mantenimiento.

En la tabla también se muestra que tareas no se eliminaron del plan existente, dado que son relevantes que se realicen esos mantenimientos para esos equipos (sombreado de color rojo), con respecto al personal propuesto se adicionaron personal especializado en mantenimiento predictivo como se muestra en la siguiente tabla:

TABLA N° 27 : Mantenimiento Proactivo Planificado Propuesto

ESPECIALIDAD	PERSONAL EXISTENTE	PERSONAL PROPUESTO
M. Mecánico	4	1
M. Eléctrico	2	1
M. Predictivo	4	19
M. Eléctrico M. Mecánico	0	1
TOTAL	10	22

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 28: Mantenimiento Proactivo Planificado Propuesto

EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE	PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO	FRECUENCIA	EQUIPOS/ HERRAMIENTAS	DURACION (H)	PERSONAL	H-H	REQUIERE PARADA	RESPONSABLE
CHANCADOR PRIMARIA	Instrumentación	Sensor de nivel	Limpieza de sensor de nivel. Verificar estado	Quincenal	-	0.5	2	1	SI	M. Eléctrico
APRON FEEDER	Transporte	Bandeja	Monitoreo de ultrasonido en bandejas. *Programar reacondicionamiento de bandejas	3 Meses	Medidor de Ultrasonido	2	2	4	SI	M. Predictivo
			Inspección visual: -Desgaste de bandejas. -Pernos de sujeción. *Cambio de bandejas/pernos si es necesario	Quincenal	-	0.5	2	1	NO	M. Predictivo
	Estructural	Elemento de desgaste	Monitoreo de ultrasonido de elementos de desgaste *Programar reacondicionamiento de elementos de desgaste	Mensual	Medidor de Ultrasonido	1	2	2	SI	M. Predictivo
			Inspección visual: -Elementos de desgaste -Pernos de sujeción. *Cambio de elementos de desgaste (liners) si es necesario	Quincenal	-	0.5	2	1	SI	M. Predictivo
FAJA DE SACRIFICIO	Chute de carga	Elemento de desgaste	Monitoreo de ultrasonido de elementos de desgaste *Programar reacondicionamiento de elementos de desgaste	Mensual	Medidor de Ultrasonido	1	2	2	SI	M. Predictivo
			Inspección visual: -Elementos de desgaste -Pernos de sujeción. *Cambio de elementos de desgaste (liners) si es necesario	Quincenal	-	0.5	2	1	SI	M. Predictivo
	Transporte	Faja	Monitorear desgaste de faja con ultrasonido. *Programar reacondicionamiento de tramo de faja o reparación de faja	3 meses	Medidor de Ultrasonido	2	2	4	SI	M. Predictivo
			Inspección visual de faja; presencia de cortes y/o desgaste excesivo. *Reacondicionar si es necesario	Semanal	-	1	2	2	NO	M. Predictivo
			Inspección visual de desalineamiento de faja. *Alinear si es necesario	Mensual	-	0.5	2	1	NO	M. Predictivo
		Inspección visual de tensado de faja transportadora *Tensar si es necesario	Mensual	-	0.5	2	1	NO	M. Predictivo	
FAJA OVERLAND	Eléctrico	Variador	Monitoreo Termográfico del variador *Programar reacondicionamiento de variador	Mensual	Medidor Termográfico	0.5	2	1	NO	M. Predictivo
			Inspección de componentes del variador. *Reacondicionar si es necesario.	Semanal	-	0.5	2	1	SI	M. Predictivo
	Transporte	Faja	Monitorear desgaste de faja con ultrasonido. *Programar reacondicionamiento de tramo de faja o reparación de faja.	3 meses	Medidor de Ultrasonido	3	2	6	SI	M. Predictivo
			Inspección visual de faja; presencia de cortes y/o desgaste excesivo. *Reacondicionar si es necesario	Semanal	-	1.5	2	3	NO	M. Predictivo
			Inspección visual de desalineamiento de faja. *Alinear si es necesario	Mensual	-	0.5	2	1	NO	M. Predictivo
			Inspección visual de tensado de faja transportadora *Tensar si es necesario	Mensual	-	0.5	2	1	NO	M. Predictivo
	Chute de carga	Elemento de desgaste	Monitoreo de ultrasonido de elementos de desgaste *Programar reacondicionamiento de elementos de desgaste	Mensual	Medidor de Ultrasonido	1	2	2	SI	M. Predictivo
			Inspección visual: -Elementos de desgaste -Pernos de sujeción. *Cambio de elementos de desgaste (liners) si es necesario	Quincenal	-	0.5	2	1	SI	M. Predictivo
Transporte	Polín/ Bastidor	Inspección visual -Desgaste de polines. -Desgaste de bastidores. *Cambio de polines si se requiere	Semanal	-	1	2	2	NO	M. Predictivo	
		Limpieza de polines de faja	Quincenal	-	1	2	2	SI	M. Mecánico	

PLAN DE RE-INGENIERIA

EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE	PLAN DE RE-INGENIERIA	PRIORIDAD	ESPECIALIDAD
CHANCADOR PRIMARIA	Instrumentación	Sensor de nivel	Diseñar protección contra golpes de material para el sensor de nivel dentro de la cámara de compensación	Inmediata	M. Eléctrico M. Mecánico

Fuente: Elaboración Propia

4.7 Revisión y Agrupación

Este paso tiene como objetivo definir los medios eficientes y efectivos para asegurar que la política de mantenimiento este alineada con los objetivos tanto de mantenimiento como de producción

Para lo cual las tareas de mantenimiento propuestas que se requieren para los equipos de Chancado Primario se implementen en el cronograma de mantenimiento anual del área de Chancado Primario para aprovechar el tiempo de parada y realizar actividades propuestas para mejorar la confiabilidad de los equipos como se muestran en la tabla N° 29

Cabe señalar que los cronogramas de mantenimiento anual son para realizar paradas de Overhall y para tareas preventivas relevantes.

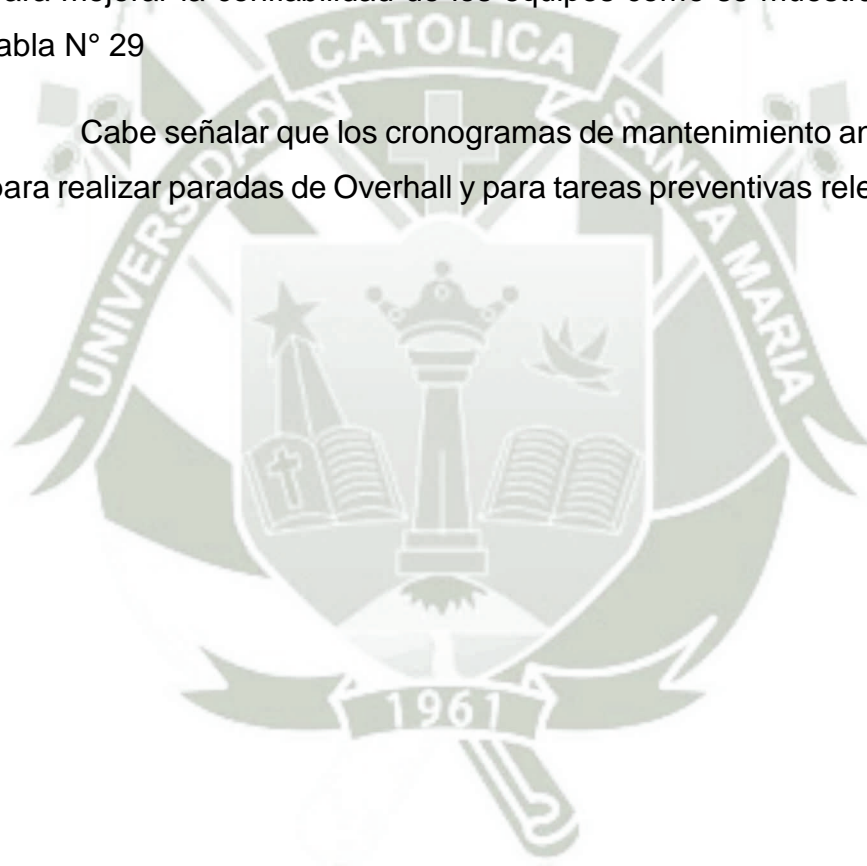


TABLA N° 29: Programa de Mantenimiento Anual de Chancado Primario

ENERO				FEBRERO			
Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
06 de Enero 06 hrs - Limpieza de sensor de nivel - Limpieza de polines de faja Overland -Inspección de Variador -Monitoreo de ultrasonido de bandejas de Apron Feeder	13 de Enero 06 hrs -Inspección visual de liners de Feeder, Faja Sacrificio y Overland -Inspección de Variador -Monitoreo de ultrasonido de desgaste de correa de Faja Sacrificio y Overland	20 de Enero 06 hrs - Limpieza de sensor de nivel - Limpieza de polines de faja Overland -Inspección de Variador	Parada por Refrigerio de mina 01 hr -Inspección de Variador	03 de Febrero 06 hrs -Inspección visual de liners de Feeder, Faja Sacrificio y Overland -Inspección de Variador	10 de Febrero 06 hrs - Limpieza de sensor de nivel - Limpieza de polines de faja Overland -Inspección de Variador	17 de Febrero 06 hrs -Inspección visual de liners de Feeder, Faja Sacrificio y Overland -Inspección de Variador	Parada por Refrigerio de mina 01 hr -Inspección de Variador
MARZO				ABRIL			
Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
03 de Marzo 06 hrs - Limpieza de sensor de nivel - Limpieza de polines de faja Overland -Inspección de Variador	10 de Marzo 06 hrs -Inspección visual de liners de Feeder, Faja Sacrificio y Overland -Inspección de Variador	PARADA MAYOR 25 Marzo 96 hrs - Limpieza de sensor de nivel - Limpieza de polines de faja Overland -Inspección de Variador	Parada por Refrigerio de mina 01 hr -Inspección de Variador	7 Abril 06 hrs -Inspección visual de liners de Feeder, Faja Sacrificio y Overland -Inspección de Variador -Monitoreo de ultrasonido de bandejas de Apron Feeder	14 de Abril 06 hrs - Limpieza de sensor de nivel - Limpieza de polines de faja Overland -Inspección de Variador -Monitoreo de ultrasonido de desgaste de correa de Faja Sacrificio y Overland	21 de Abril 06 hrs -Inspección visual de liners de Feeder, Faja Sacrificio y Overland -Inspección de Variador	Parada por Refrigerio de mina 01 hr -Inspección de Variador
MAYO				JUNIO			
Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
5 de Mayo 06 hrs - Limpieza de sensor de nivel - Limpieza de polines de faja Overland -Inspección de Variador	12 de Mayo 06 hrs -Inspección visual de liners de Feeder, Faja Sacrificio y Overland -Inspección de Variador	19 de Mayo 06 hrs - Limpieza de sensor de nivel - Limpieza de polines de faja Overland -Inspección de Variador	Parada por Refrigerio de mina 01 hr -Inspección de Variador	2 de Junio 06 hrs -Inspección visual de liners de Feeder, Faja Sacrificio y Overland -Inspección de Variador	9 de Junio 06 hrs - Limpieza de sensor de nivel - Limpieza de polines de faja Overland -Inspección de Variador	16 de Junio 06 hrs -Inspección visual de liners de Feeder, Faja Sacrificio y Overland -Inspección de Variador	Parada por Refrigerio de mina 01 hr -Inspección de Variador
JULIO				AGOSTO			
Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
7 de Julio 06 hrs - Limpieza de sensor de nivel - Limpieza de polines de faja Overland -Inspección de Variador -Monitoreo de ultrasonido de bandejas de Apron Feeder	14 de Julio 06 hrs -Inspección visual de liners de Feeder, Faja Sacrificio y Overland -Inspección de Variador -Monitoreo de ultrasonido de desgaste de correa de Faja Sacrificio y Overland	21 de Julio 06 hrs - Limpieza de sensor de nivel - Limpieza de polines de faja Overland -Inspección de Variador	Parada por Refrigerio de mina 01 hr -Inspección de Variador	4 de Agosto 06 hrs -Inspección visual de liners de Feeder, Faja Sacrificio y Overland -Inspección de Variador	11 de Agosto 06 hrs - Limpieza de sensor de nivel - Limpieza de polines de faja Overland -Inspección de Variador	18 de Agosto 06 hrs -Inspección visual de liners de Feeder, Faja Sacrificio y Overland -Inspección de Variador	Parada por Refrigerio de mina 01 hr -Inspección de Variador
SEPTIEMBRE				OCTUBRE			
Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
1 de Setiembre 06 hrs - Limpieza de sensor de nivel - Limpieza de polines de faja Overland -Inspección de Variador	8 de Setiembre 06 hrs -Inspección visual de liners de Feeder, Faja Sacrificio y Overland -Inspección de Variador	PARADA MAYOR 17 de Setiembre 96 hrs - Limpieza de sensor de nivel - Limpieza de polines de faja Overland -Inspección de Variador	Parada por Refrigerio de mina 01 hr -Inspección de Variador	6 de Octubre 06 hrs -Inspección visual de liners de Feeder, Faja Sacrificio y Overland -Inspección de Variador -Monitoreo de ultrasonido de bandejas de Apron Feeder	13 de Octubre 06 hrs - Limpieza de sensor de nivel - Limpieza de polines de faja Overland -Inspección de Variador -Monitoreo de ultrasonido de desgaste de correa de Faja Sacrificio y Overland	20 de Octubre 06 hrs -Inspección visual de liners de Feeder, Faja Sacrificio y Overland -Inspección de Variador	Parada por Refrigerio de mina 01 hr -Inspección de Variador
NOVIEMBRE				DICIEMBRE			
Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
3 de Noviembre 06 hrs - Limpieza de sensor de nivel - Limpieza de polines de faja Overland -Inspección de Variador	10 de Noviembre 06 hrs -Inspección visual de liners de Feeder, Faja Sacrificio y Overland -Inspección de Variador	17 de Noviembre 06 hrs - Limpieza de sensor de nivel - Limpieza de polines de faja Overland -Inspección de Variador	Parada por Refrigerio de mina 01 hr -Inspección de Variador	1 de Diciembre 06 hrs -Inspección visual de liners de Feeder, Faja Sacrificio y Overland -Inspección de Variador	8 de Diciembre 06 hrs - Limpieza de sensor de nivel - Limpieza de polines de faja Overland -Inspección de Variador	15 de Diciembre 06 hrs -Inspección visual de liners de Feeder, Faja Sacrificio y Overland -Inspección de Variador	Parada por Refrigerio de mina 01 hr -Inspección de Variador

Fuente: Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

CAPITULO V: ANALISIS DE VIABILIDAD TECNICA Y ECONÓMICA

En este capítulo tiene objetivo de analizar los costos de mantenimiento propuesto en relación con los costos de mantenimiento y producción actuales, para garantizar la viabilidad de la reducción de costos aplicando la metodología de Optimización del Mantenimiento Planificado (PMO)

Asimismo se realizara un análisis económico de los equipos de medición de mantenimiento que se propuso en el capítulo anterior para Optimizar los costos de mantenimiento.

5.1 Análisis técnica de los equipos de medición de Mantenimiento

El análisis económico y especificaciones técnicas se realizaran a los equipos propuestos en el análisis PMO los cuales son los siguientes:

- Equipo de medición de espesores por Ultrasonido UT
- Equipo de medición Termográfico (Cámara termografía)

5.1.1 Equipo de medición de espesores por Ultrasonido UT

El equipo que cumple con las características para realizar las tareas mencionadas en el capítulo anterior es el siguiente:

“Equipo de medición de espesores por ultrasonido 38DL PLUS”

El 38DL PLUS es un medidor de espesor por ultrasonidos de avanzada. Utiliza un palpador dual para la inspección de superficies internas corroídas. También utiliza palpadores de un elemento para medir con precisión los espesores de materiales finos, muy espesos o de múltiples capas.

Características principales

- Compatibilidad con palpadores monocristales y duales.
- Gran alcance de medición del espesor: 0,08 mm (0,003 pulg.) a 635 mm (25 pulg.) según el material y el palpador.
- Medición del espesor de la corrosión con palpadores duales.
- Herramienta software opcional para la medición de capas de óxido y depósitos de magnetita adheridos al interior del tubo.
- Todos los palpadores cuentan con una resolución estándar de 0,01 mm ó 0,001 pulg.
- La herramienta software opcional de alta resolución aumenta hasta 0,001 mm ó 0,0001 pulg. la resolución de palpadores monocristales de 2,25 MHz a 30 MHz.
- La herramienta software opcional de medición de varias capas es útil para calcular el espesor de hasta cuatro capas simultáneamente.
- La herramienta software opcional de gran penetración es eficaz para medir materiales atenuantes, como la fibra de vidrio, el caucho y fundiciones.
- Medición del espesor, de la velocidad de propagación y del tiempo de vuelo.

***Precio promedio es de \$ 6,500 dólares**

FIGURA N° 34: Equipo de Ultrasonido



Fuente: Olympus IMS

5.1.2 Equipo de medición Termográfico

El equipo que cumple con las características para realizar las tareas mencionadas en el capítulo anterior es el siguiente:

“Cámara de medición Termografica Exx FLIR”

Una cámara térmica o cámara infrarroja es un dispositivo que, a partir de las emisiones de infrarrojos medios del espectro electromagnético de los cuerpos detectados, forma imágenes luminosas visibles por el ojo humano

Características principales:

- Lámpara LED y puntero láser para iluminar entornos oscuros y marcar ubicaciones en fotografías visuales.
- El intervalo de temperatura superior (hasta 650° C o 1.202° F) ayuda a medir de forma más precisa equipos activos más calientes para comprobar si están funcionando con seguridad

dentro de las especificaciones indicadas; el aumento de la sensibilidad ayuda a detectar patrones de temperatura más sutiles que pueden marcar la diferencia.

- La sensibilidad térmica superior a $<0,045^{\circ}$ C ayuda a detectar diferencias de temperatura y patrones de calor más sutiles que facilitan la búsqueda de introducción de humedad, plagas parasitarias, etc.

***Precio promedio es de \$ 12,000 dólares**

FIGURA N° 35: Equipo de Cámara Termográfica



Fuente: Flir Instruments

5.2 Análisis de Disponibilidad de la implementación del Plan de Mantenimiento

Para el análisis de disponibilidad se comparara la disponibilidad real de los últimos tres años con la disponibilidad eliminando el tiempo de fallas críticas.

Como se mostró en el capítulo 2, la disponibilidad del área de chancado en los últimos tres años se muestra en el tabla N°30,

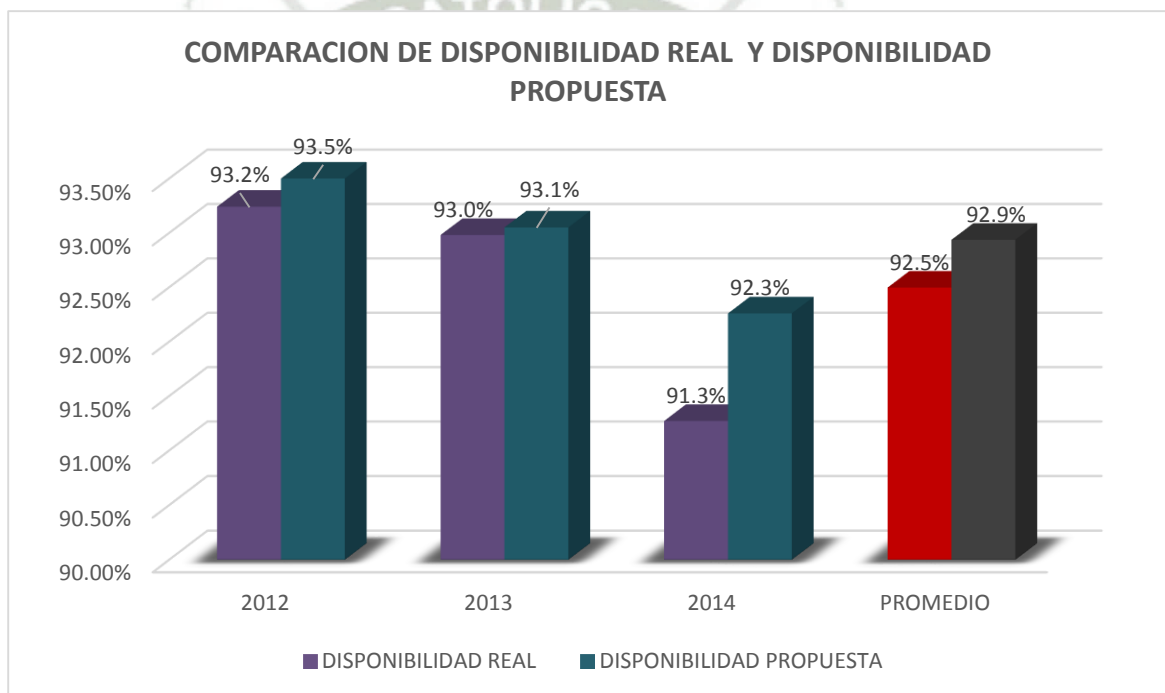
comparándolo con la disponibilidad propuesta al implementar el plan de mantenimiento propuesto

TABLA N° 30: Comparación Disponibilidad real y Disponibilidad Propuesta

AÑO	DISPONIBILIDAD REAL	DISPONIBILIDAD PROPUESTA
2012	93.24%	93.50%
2013	92.98%	93.05%
2014	91.27%	92.26%
PROMEDIO	92.50%	92.94%

Fuente: Elaboración Propia

FIGURA N° 36: Comparación de Disponibilidad Real y Disponibilidad Propuesta



Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la figura N°39 y cuadro N° 30 se tiene un aumento de disponibilidad de un 0.44%. Se determina el aumento de disponibilidad por la eliminación de las fallas críticas identificadas que equivalen a una pérdida de producción como se muestra en la tabla N° 31, donde se cuantifica el costo de pérdidas de producción en un tiempo de 115.34 horas (tiempo total de fallas críticas).

TABLA N° 31: Pérdida de Producción por fallas Críticas

EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE	CAUSA FALLA CRITICA	TIEMPO TOTAL DE FALLAS	COSTO DE PERDIDA DE PRODUCCION
Chancadora Primaria	Instrumentación	Sensor de nivel	Sensor de nivel dañado	20.63	\$137,189.50
Apron Feeder	Transporte	Bandeja	Bandeja rotura o fisura	9.03	\$60,049.50
	Estructura	Elemento de desgaste	Elemento de desgaste rotura o Fisura	9.43	\$62,709.50
	Estructura	Elemento de desgaste	Elemento de desgaste caída 1ra fila	9.03	\$60,049.50
Faja de Sacrificio	Chute de carga	Elemento de desgaste	Elemento de desgaste caída	6.28	\$41,762.00
	Transporte	Faja	Faja dañada	21.98	\$146,167.00
Faja Overland	Eléctrico	Variador	Variador dañada	13.12	\$87,248.00
	Transporte	Faja	Faja dañada	7.2	\$47,880.00
	Chute de carga	Elemento de desgaste	Elemento de desgaste caída	11.62	\$77,273.00
	Transporte	Polín/ Bastidor	Polines / bastidor dañado	7.02	\$46,683.00
COSTO TOTAL				115.34	\$767,011.00

*Costo de pérdida de producción es de \$6,650/hora

Fuente: Elaboración Propia

Por lo que podemos decir que al mejorar la disponibilidad eliminando las fallas críticas tenemos una ganancia de producción de \$767,011 dólares. Del cual sacamos como conclusión que por cada 1% de disponibilidad mejorada se gana en producción un valor \$1, 743,206.8 dólares.

Para el cálculo de la perdida de producción se consideran los siguientes parámetros.

La producción bruta promedio de la planta es de 120,00 toneladas/día, la cual cuenta con un concentrado de cobre del 0.5% a 0.7% (ley de cobre) y su recuperación del cobre es de un 80% a 90% en flotación lo cual indica que esa es la cantidad de cobre real que se procesa diariamente.

Para la determinación del costo la producción se considera en libras el cual su valor promedio es 1.98 \$/lb, así mismo influyen los costos de mantenimiento que es de un 30% y el costo de tiempo perdido por detención de la Chancadora Primaria que es de un 25% (el área de chancado primario cuenta con un stock pile el cual tiene una reserva de 18 hrs aproximadamente).

Costo de Produccion

$$= \frac{\text{Produccion bruta} \times \% \text{ c. de cobre} \times \% \text{ Recup. de Cobre} \times 1000\text{kg} \times 2.2 \text{ lb} \times \$1.98 \times \% \text{ C. Mantto}}{24 \text{ horas}}$$

5.3 Análisis económico de la implementación del Plan de Mantenimiento

El análisis económico se realizara en base al área de mantenimiento en relación a las fallas críticas y al plan de mantenimiento propuesto.

Con respecto al análisis de los costos por fallas críticas se considera el costo promedio de mano de obra de \$16/hora, asimismo los costos unitarios por repuestos son los siguientes:

TABLA N° 32: Costo unitario de cambio de repuestos

ITEM	EQUIPO	REPUESTOS	COSTO UNITARIO PROMEDIO
1	Apron Feeder y Faja de Sacrificio	Cambio de Elemento de desgaste	\$150.00
3	Apron Feeder	Cambio de Bandeja	\$274.00
4	Faja de Sacrificio	Cambio de Polín	\$105.00
5	Faja Sacrificio y Faja Overland	Reparación de faja por metro	\$806.00
6	Variador	Kit de repuestos de variador	\$750.00
7	Chancadora Primaria	Sensor de nivel	\$5,000.00

Fuente: Elaboración Propia

El costo total de fallas críticas de los tres años de análisis se muestra en la siguiente tabla

TABLA N° 33: Costo total de Mantenimiento Correctivo de fallas críticas

EQUIPO	CAUSA FALLA CRITICA	TIEMPO TOTAL DE FALLAS	N° FALLAS	N° DE PERSONAL	H-H	COSTO H-H	COSTO PROMEDIO DE REPUESTO	N° VECES QUE OCURRE CAMBIO DE REPUESTO	COSTO PROMEDIO DE MATERIALES, HERRAMIENTAS, CONSUMIBLES	COSTO TOTAL
Chancadora Primaria	Sensor de nivel dañado	20.63	21	2	41.26	\$660.16	\$5,000.00	8	\$25.00	\$54,388.36
Apron Feeder	Bandeja rotura o fisura	9.03	10	2	18.06	\$288.96	\$274.00	10	\$65.00	\$6,279.60
	Elemento de desgaste rotura o Fisura	9.43	17	2	18.86	\$301.76	\$150.00	17	\$6.00	\$7,781.92
	Elemento de desgaste caída 1ra fila	9.03	11	2	18.06	\$288.96	\$150.00	11	\$6.00	\$4,894.56
Faja de Sacrificio	Elemento de desgaste caída	6.28	4	2	12.56	\$200.96	\$150.00	4	\$6.00	\$1,427.84
	Faja dañada	21.98	13	3	65.94	\$1,055.04	\$806.00	5	\$250.00	\$20,995.52
Faja Overland	Variador dañada	13.12	5	2	26.24	\$419.84	\$750.00	3	\$6.00	\$4,379.20
	Faja dañada	7.2	5	3	21.6	\$345.60	\$806.00	3	\$250.00	\$5,396.00
	Elemento de desgaste caída	11.62	11	2	23.24	\$371.84	\$150.00	11	\$6.00	\$5,806.24
	Polines / bastidor dañado	7.02	10	2	14.04	\$224.64	\$105.00	10	\$3.00	\$3,326.40
COSTO TOTAL				115.34	107					\$114,675.64

* Costo de mano de obra es de \$16/hora

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en el cuadro anterior se tiene un costo por las 10 fallas críticas identificadas por el análisis es de \$114,675.64 dólares.

Para tener el cálculo del costo total de mantenimiento y producción de las fallas críticas se debe adicionar el costo de mantenimiento preventivo que se realizaron en los 3 años, como se muestra a continuación en la tabla N° 34:

En la tabla se considera el costo del personal como los repuestos y herramientas que se utilizan en el mantenimiento preventivo existente, en el cual se considera un costo promedio por el número de elementos de desgaste que se utilizan



TABLA N° 34: Costo total de Mantenimiento Preventivo existente de fallas críticas

EQUIPO	PLAN DE MANTENIMIENTO EXISTENTE	RESPONSABLE	FRECUENCIA	DURACION (Horas)	PERSONAL	N° VECES DURANTE 3 AÑOS	COSTO PROMEDIO DE REPUESTO Y MATERIALES	COSTO TOTAL
Chancadora Primaria	No se encontró ninguna tarea planificada	Instrumentación	No	No	No	-	-	-
Apron Feeder	Inspección visual de soldadura de pernos y fuga de material de bandeja	Mecánico	30 días	0.5	1	36	-	\$288.00
	Cambio de liners/ elemento de desgaste del Apron Feeder	Mecánico	75 días	8	8	14	\$1,505.00	\$35,406.00
	Cambio de liners/ elemento de desgaste del Apron Feeder	Mecánico	75 días	8	8	14	\$1,505.00	\$35,406.00
Faja de Sacrificio	Inspección visual de pernos y liners	Mecánico	15 días	0.5	1	72	-	\$576.00
	Inspección visual de buen estado de faja	Mecánico	15 días	1	1	72	-	\$1,152.00
Faja Overland	No se encontró ninguna tarea planificada	Eléctrico	No	No	No	-	-	-
	Inspección visual de buen estado de faja	Mecánico	15 días	1	1	72	-	\$1,152.00
	Inspección visual de pernos y liners	Mecánico	15 días	0.5	1	72	-	\$576.00
	No se encontró ninguna tarea planificada	Mecánico	No	No	No	-	-	-
COSTO TOTAL								\$74,556.00

* Costo de mano de obra es de \$16/hora

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo los costos de mantenimiento correctivo con el costo de perdida de producción y los costos de mantenimiento preventivo existente aplicado a las fallas críticas identificadas se tiene un costo total de \$189,231.64 dólares como se muestra en la tabla N°35:

TABLA N° 35: Costo total de fallas críticas

COSTO TOTAL POR MANTENIMIENTO DE FALLAS	
COSTO MANTENIMIENTO CORRECTIVO	\$114,675.64
COSTO MANTENIMIENTO PREVENTIVO	\$74,556.00
COSTO TOTAL	\$189,231.64

Fuente: Elaboración Propia

Al tener el costo total de las fallas críticas se podrá comparar con los costos de Mantenimiento Planificado propuesto para determinar el ahorro que se tendría al implementar dicho plan, en la tabla N°36 se muestra el costo total del Mantenimiento Planificado propuesto, cabe señalar que se está considerando el costo de mano de obra el siguiente:

- Mecánico = \$16/ hora
- Eléctrico = \$ 16/ hora
- Especialista en Predictivo = \$19/ hora

TABLA N° 36: Costo total de Mantenimiento Planificado Propuesto

EQUIPO	COMPONENTE	PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO	FRECUENCIA	DURACION (H)	PERSONAL	H-H	RESPONSABLE	N° VECES (3 AÑOS)	COSTO H-H	COSTO TOTAL
CHANCADOR PRIMARIA	Sensor de nivel	Limpieza de sensor de nivel. Verificar estado	Quincenal	0.5	2	1	M. Eléctrico	72	\$16.00	\$1,152.00
APRON FEEDER	Bandeja	Monitoreo de ultrasonido en bandejas. <i>*Programar reacondicionamiento de bandejas</i>	3 meses	2	2	4	M. Predictivo	12	\$19.00	\$912.00
		Inspección visual: -Desgaste de bandejas. -Pernos de sujeción. <i>*Cambio de bandejas/pernos si es necesario</i>	Quincenal	0.5	2	1	M. Predictivo	72	\$19.00	\$1,368.00
	Elemento de desgaste	Monitoreo de ultrasonido de elementos de desgaste <i>*Programar reacondicionamiento de elementos de desgaste</i>	Mensual	1	2	2	M. Predictivo	36	\$19.00	\$1,368.00
		Inspección visual: -Elementos de desgaste -Pernos de sujeción. <i>*Cambio de elementos de desgaste (liners) si es necesario</i>	Quincenal	0.5	2	1	M. Predictivo	72	\$19.00	\$1,368.00
FAJA DE SACRIFICIO	Elemento de desgaste	Monitoreo de ultrasonido de elementos de desgaste <i>*Programar reacondicionamiento de elementos de desgaste</i>	Mensual	1	2	2	M. Predictivo	36	\$19.00	\$1,368.00
		Inspección visual: -Elementos de desgaste -Pernos de sujeción. <i>*Cambio de elementos de desgaste (liners) si es necesario</i>	Quincenal	0.5	2	1	M. Predictivo	72	\$19.00	\$1,368.00
	Faja	Monitorear desgaste de faja con ultrasonido. <i>*Programar reacondicionamiento de tramo de faja o reparación de faja</i>	3 meses	2	2	4	M. Predictivo	12	\$19.00	\$912.00
		Inspección visual de faja; presencia de cortes y/o desgaste excesivo. <i>*Reacondicionar si es necesario</i>	Semanal	1	2	2	M. Predictivo	156	\$19.00	\$5,928.00
		Inspección visual de desalineamiento de faja. <i>* Alinear si es necesario</i>	Mensual	0.5	2	1	M. Predictivo	36	\$19.00	\$684.00
	Inspección visual de tensado de faja transportadora <i>*Tensar si es necesario</i>	Mensual	0.5	2	1	M. Predictivo	36	\$19.00	\$684.00	
FAJA OVERLAND	Variador	Monitoreo Termográfico del variador <i>*Programar reacondicionamiento de variador</i>	Mensual	0.5	2	1	M. Predictivo	36	\$19.00	\$684.00
		Inspección de componentes del variador. <i>*Reacondicionar si es necesario.</i>	Semanal	0.5	2	1	M. Predictivo	156	\$19.00	\$2,964.00
	Faja	Monitorear desgaste de faja con ultrasonido. <i>*Programar reacondicionamiento de tramo de faja o reparación de faja.</i>	3 meses	2	2	4	M. Predictivo	12	\$19.00	\$912.00
		Inspección visual de faja; presencia de cortes y/o desgaste excesivo. <i>*Reacondicionar si es necesario</i>	Semanal	1.5	2	3	M. Predictivo	156	\$19.00	\$8,892.00
		Inspección visual de desalineamiento de faja. <i>* Alinear si es necesario</i>	Mensual	0.5	2	1	M. Predictivo	36	\$19.00	\$684.00
		Inspección visual de tensado de faja transportadora <i>*Tensar si es necesario</i>	Mensual	0.5	2	1	M. Predictivo	36	\$19.00	\$684.00
	Elemento de desgaste	Monitoreo de ultrasonido de elementos de desgaste <i>*Programar reacondicionamiento de elementos de desgaste</i>	Mensual	1	2	2	M. Predictivo	36	\$19.00	\$1,368.00
		Inspección visual: -Elementos de desgaste -Pernos de sujeción. <i>*Cambio de elementos de desgaste (liners) si es necesario</i>	Quincenal	0.5	2	1	M. Predictivo	72	\$19.00	\$1,368.00
	Polín/ Bastidor	Inspección visual -Desgaste de polines. -Desgaste de bastidores. <i>*Cambio de polines si se requiere</i>	Semanal	1	2	2	M. Predictivo	156	\$19.00	\$5,928.00
		Limpieza de polines de faja	Quincenal	1	4	4	M. Mecánico	72	\$16.00	\$4,608.00
COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA										\$45,204.00
COSTO TOTAL DE INVERSION DE EQUIPOS DE MEDICION										\$18,500.00
Costo Equipo de medición de espesores Ultrasonido (01 und)										\$6,500.00
Costo Equipo de medición Termografico (01 und)										\$12,000.00
COSTO TOTAL DE PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO										\$63,704.00

Fuente: Elaboración Propia

El costo total de plan de mantenimiento propuesto es de \$63,704 dólares al comparándolo con el costo total de fallas tenemos un ahorro de \$125,527.64 dólares como se muestra en el tabla N°37.

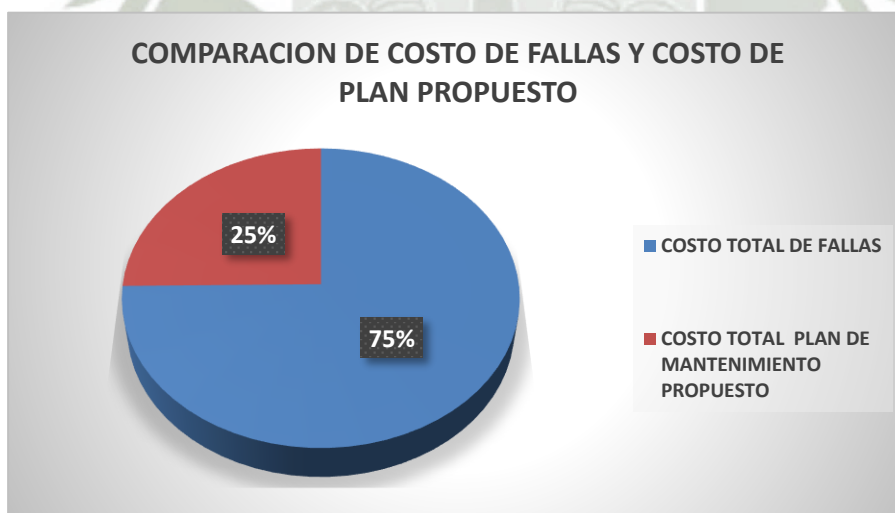
TABLA N° 37: Ahorro por implementación de Plan de Mantenimiento mejorado

AHORRO POR IMPLEMENTACION DE PLAN DE MANTENIMIENTO MEJORADO	
COSTO TOTAL DE FALLAS	\$189,231.64
-Costo mantenimiento correctivo	\$114,675.64
-Costo mantenimiento preventivo (plan existente)	\$74,556.00
COSTO TOTAL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO	\$63,704.00
AHORRO TOTAL	\$125,527.64

Fuente: Elaboración Propia

Con el análisis de costos podemos determinar que el costo del plan propuesto es menor en un 54% al costo total de fallas (costo por mantenimiento correctivo y costo de planes de mantenimiento existentes para las fallas críticas)

FIGURA N° 37: Comparación de Costo de fallas y Costo del Plan Propuesto



Fuente: Elaboración Propia

5.4 Análisis del Beneficio / Costo

Para el análisis del beneficio costos se determinó en flujo de caja de la propuesta del Plan de Mantenimiento, así como también se calculó el VAN, TIR, su periodo de recuperación y por último el indicador del Beneficio/ Costo como se muestra en la siguiente tabla N°38

TABLA N° 38: Análisis del Flujo de caja

TASA	9.9%			
PERIODO	0	1	2	3
INGRESO	\$0.00	\$43,918.55	\$43,918.55	\$43,918.55
GASTO	\$18,500.00	\$15,068.00	\$15,068.00	\$15,068.00
BENEFICIO NETO	-\$18,500.00	\$28,850.55	\$28,850.55	\$28,850.55
FLUJO ACUMULADO	-\$18,500.00	\$10,350.55	\$39,201.09	\$68,051.64
VAN	\$53,373.54			
TIR	145%			
PR	0.64			
BC	\$1.95			

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede ver en la tabla anterior se tiene un Beneficio/Costo del \$1.95 dólares por lo que podemos decir que por cada dólar se tiene un ingreso del \$1.95, asimismo podemos decir que la propuesta es rentable dado que su VAN es positivo y su TIR es mayor al WACC (9.9%) de la empresa, además que su periodo de recuperación es en menos de un año (0.6 años).

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Luego de la implementación de la optimización del mantenimiento área de Chancado Primario de una de una Planta Concentradora de Cobre, se obtuvieron las siguientes conclusiones

- La implementación del mantenimiento por la metodología del PMO en el área de Chancado Primario, mejoro la disponibilidad en un 0.44% con una reducción de costos del \$125,527.64
- Para lograr la optimización del plan de mantenimiento se aplicó la metodología del PMO con los principios del RCM además de un análisis de confiabilidad de los equipos.
- Para la adecuada implementación del plan de mantenimiento se adicioneo al cronograma anual del mantenimiento del área de Chancado Primario optimizando tiempo de perdida de producción.
- Una de las ventanas de mantenimiento necesaria para mantener la integridad de los equipos es el implementar las tareas basadas en la condición para evitar fallas funcionales que pueda afectar al equipo, dado que el 86% de las fallas no se benefician con un mantenimiento basado en el tiempo.
- El costo de implementación del plan de mantenimiento propuesto es rentable dado que tiene un indicador del beneficio/ costo del \$1.95, es decir que por cada dólar se tiene un ingreso de \$1.95.

5.2 Recomendaciones

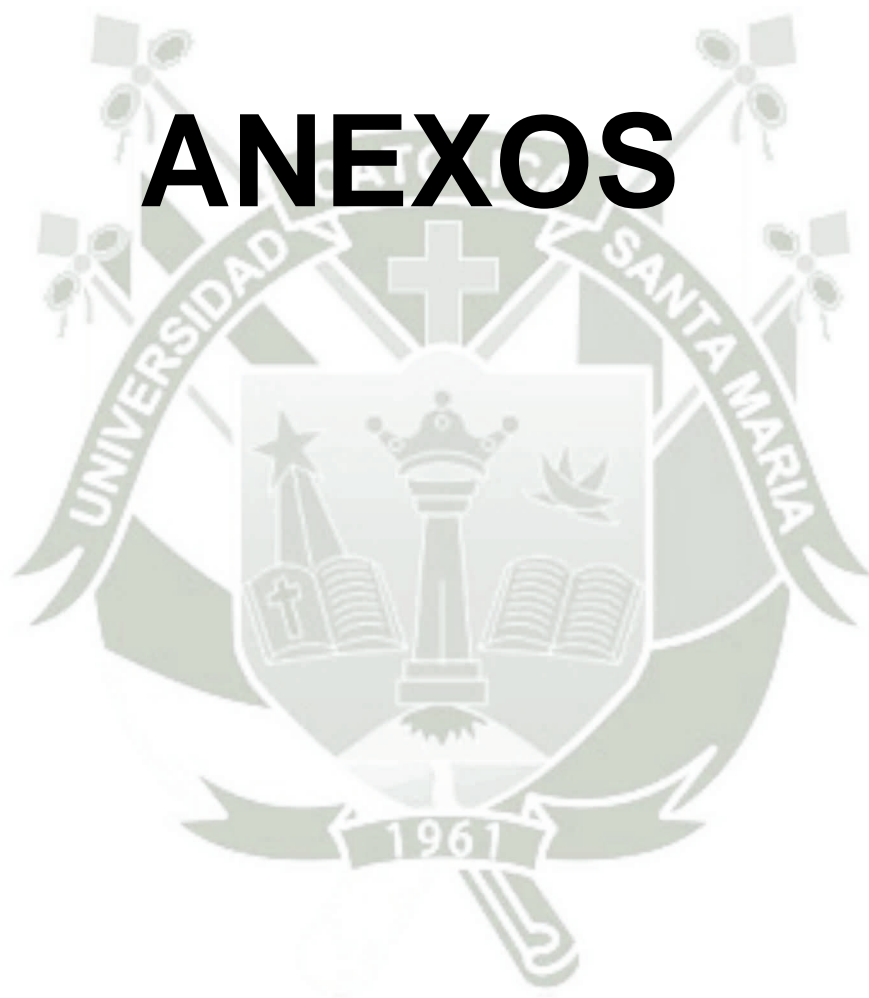
De acuerdo a las conclusiones obtenidas podemos emitir las siguientes recomendaciones:

- Mediante la aplicación de metodologías del PMO para la optimización se establece como prioridad la eliminación de las fallas inaceptables (las cuales nos pone en riesgo la continuidad de la operación); así mismo esta metodología propone la estrategia para lograr controlar las fallas de reducción deseable mediante un plan de mantenimiento proactivo y otras herramientas de predicción o monitoreo.
- Establecer la adquisición de los repuestos en cantidad y tiempo óptimos de los componentes críticos; efectuando un estudio de stocks mínimos y máximos considerando la criticidad de los repuestos y de la reposición automática de los mismos. Como por ejemplo de acuerdo a los niveles de consumo de los elementos de desgaste se puede establecer la cantidad mensual de adquisición de estos componentes y el correcto nivel de stock que nos permita manejar un correcto mantenimiento sin pérdida de producción
- Evaluar y supervisar los procedimientos de mantenimiento mayor del área de chancado primario; así como analizar las características de inspección, para evitar las fallas que desencadenen un estado prematuro de desgaste de la vida útil de los componentes, realizar un procedimiento de control de calidad o de mejora de procesos de mantenimiento pudiéndose lograr mediante control estadístico. Esto se puede hacer mediante el desarrollo de planillas de control de tolerancias y ajustes para cada uno de los sistemas reparables; al mismo tiempo poder llevar el control de cambio de piezas generando la base de datos para determinar más adelante los periodos óptimos de recambio de partes.

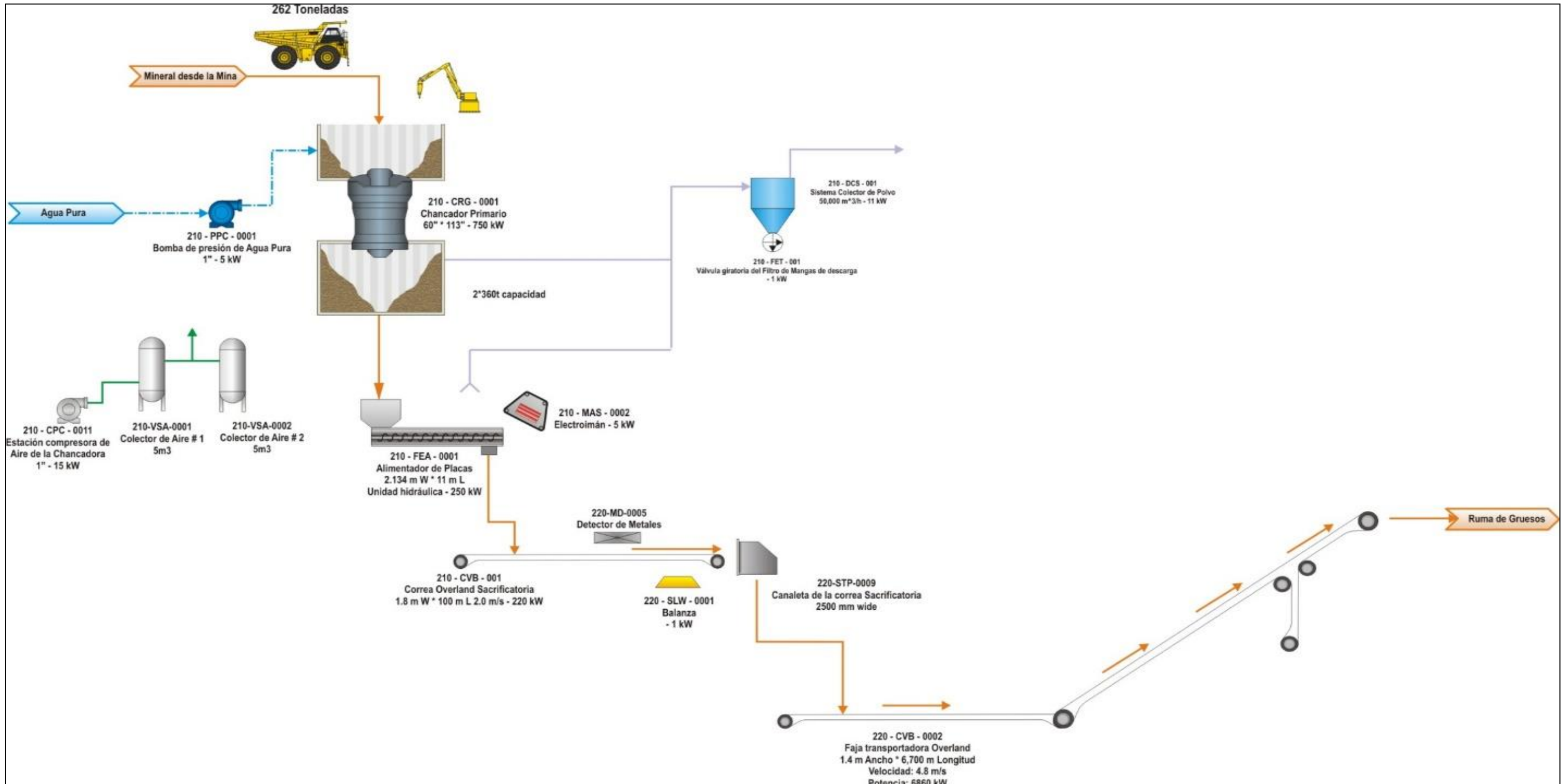
BIBLIOGRAFÍA

- ANDREW C. 1978. Instrumentos de Ensayo, de Flir Corporation, USA [en línea]
<<http://www.flir.com.mx/instruments/display/?id=56911>>
- HIROYUKI S. 1919. Instrumentos de Ensayo, de Olympus Corporation, Japón [en línea]
<<http://www.olympus-ims.com/es/38dl-plus/>>
- JACKSON C. 2010. Mantenión de Maquinaria, de Chile [en línea]
<https://es.scribd.com/doc/97017239/Analisis-de-Fallas>
- KELLY A. & HARRIS M. 1998. Gestión del Mantenimiento Industrial. Ed. Fundación Repsol Publicaciones.
- MACIÁN V., TORMOS B. & OLMEDA P. 1999. En Fundamentos de Ingeniería del Mantenimiento. Ed. Universitat Politècnica de Valencia. p. 147
- MOUBRAY, John. 2004. En RCM Reliability Centered Maintenance. Ed: Industrial Press Inc. p. 433
- NORMA ISO 14224. 2004. En Collection and Exchange of Reliability and Maintenance data for equipment -. Petroleum and Natural Gas Industries
- TURNER. S. 2002. Optimization Programs Maintenance, de OMCS [en línea]
<<Http://www.OMCSinternational.com>>

ANEXOS

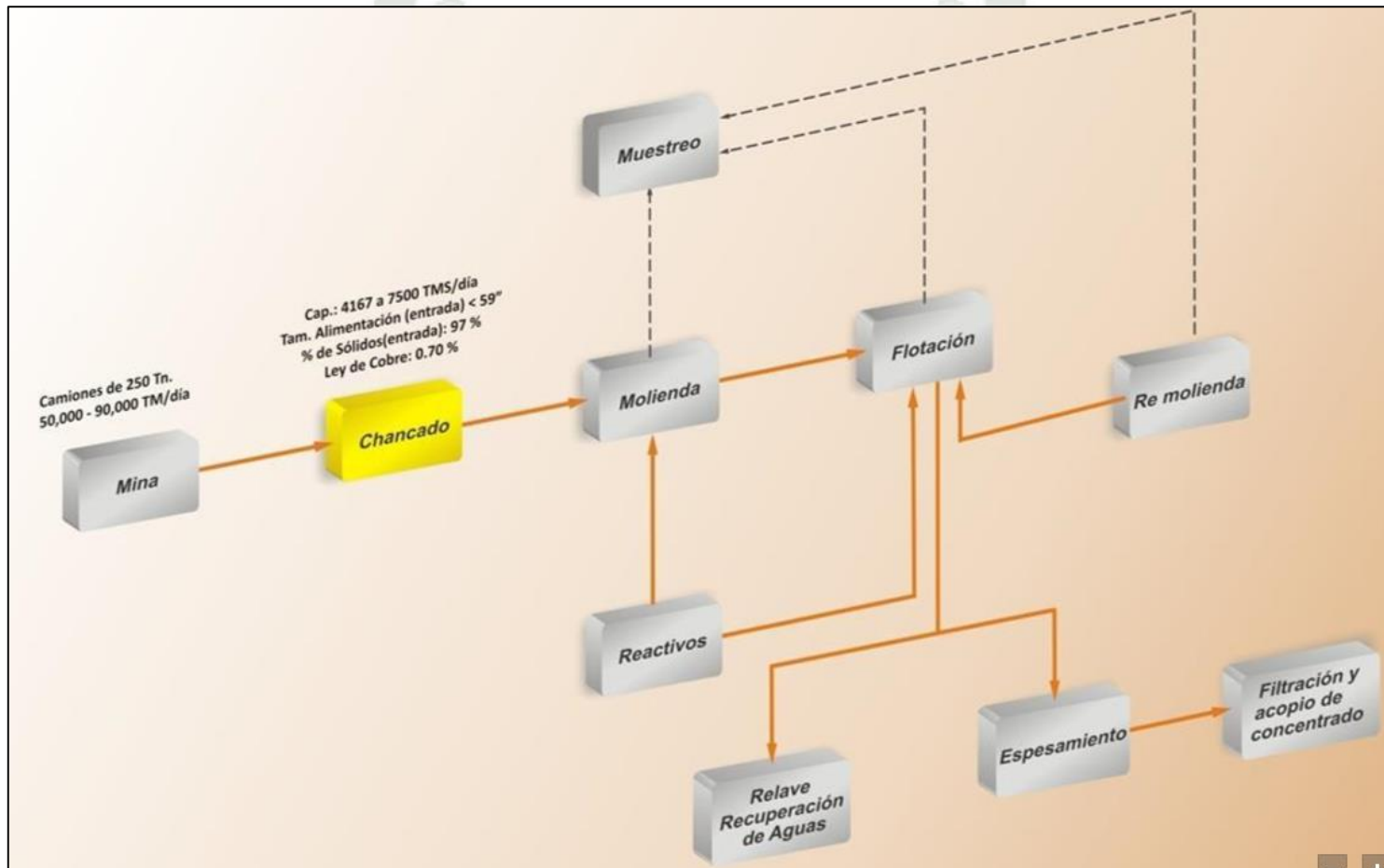


Anexo N° 1: Diagrama de flujo de circuito de Chancado Primario



Fuente: Empresa Minera de Producción de Cobre

Anexo N° 2: Diagrama de ubicación de Chancado Primario



Fuente: Empresa Minera de Producción de Cobre

Anexo N° 3: Formato de Análisis de Fallas y Efectos

HOJA DE INFORMACION RCM	ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA						
	Hoja de Informacion						
EQUIPO:		SISTEMA:		REALIZADO POR:		FECHA:	
CODIGO:		COMPONENTE:		REVISADO POR:		FECHA:	
FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO Y CONSECUENCIA DE FALLA	
1		A		1			
				2			

Fuente: RCM Realiability Centered Maintenance - Moubray



Anexo N° 4: Formato de Análisis de Fallas y Efectos

HOJA DE DECISIONES			SISTEMA:							REALIZADO POR:			FECHA:		HOJA		
			COMPONENTE:							REVISADO POR:			FECHA:				
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCIÓN A FALTA DE			TAREA PROPUESTA		INTERVALO INICIAL		A REALIZARSE POR:
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4					
							O1	O2	O3								
							N1	N2	N3								

Fuente: RCM Realiability Centered Maintenance - Moubray



Anexo N° 5: Base de datos de fallas de Chancadora Primaria

RAZON	# PARADAS	TIEMPO DE PARADAS
Excéntrica Rotura/Fisura	3	120.92
Elemento de desgaste (Manto) Caída	3	46.67
Sensor de nivel Sensor dañado	21	20.63
Contra eje Dañado	6	19.58
Reservorio de aceite Lubricación	42	16.60
Protección/medición y control Multilin E3plus Configuración	256	15.08
Elemento de desgaste (Manto) Rotura/Fisura	4	14.62
Cilindro (Ajuste hidráulico) Rotura/Fisura sello	119	13.63
Ensamble de la araña Soltura	3	11.83
Sensor de nivel Falso contacto	49	11.10
Variador/Arrancador Configuración	17	9.87
Líneas de alimentación eléctrica Corto circuito	6	6.73
Elemento auxiliares de desgaste Caída	3	4.25
Líneas de alimentación eléctrica Falla a tierra	6	4.12
Elemento de desgaste cóncavos Rotura/Fisura	1	3.72
Acople Lubricación	6	2.30
Protección/medición y control Multilin E3plus Oscilación/armónico	3	1.98
Bomba de aceite Dañado	4	1.93
Variador/Arrancador Dañado	3	1.93
Líneas y accesorios de grasa Dañado	4	1.88
Acumulador Dañado	3	1.80
Estructura Dañado	2	1.73
Contra eje Rotura/Fisura	9	1.47
Sensor de posición de eje principal Falso contacto	2	0.63
Demora entrega de PM	1	0.60
Sensor de temperatura Falso contacto	1	0.52
Tiltswitch Falso contacto	1	0.52
Sensor de flujo Falso contacto	2	0.45
Bomba de grasa Dañado	1	0.35
Motor eléctrico Rodamiento Dañado	1	0.28
Líneas y accesorios de aceite Dañado	1	0.27
Carcaza (superior/media/inferior) Soltura	1	0.22
Elemento de desgaste (Cóncavos) Caída	1	0.12
Protección/medición y control Multilin E3plus Dañado	1	0.10

Fuente: Elaboración Propia

Anexo N° 6: Base de datos de fallas de Apron Feeder

RAZON	# PARADAS	TIEMPO DE PARADAS
Elemento de desgaste Caída	17	13.10
Elemento de desgaste Rotura/Fisura	11	9.43
Bandeja Rotura/Fisura	10	9.03
Bajo nivel	3	3.05
Reparación de instrumentación/eléctrica	6	2.72
Placa /Eslabones /Piñones	5	2.23
Falsa indicación	3	1.55
Acople roto	1	1.17
Líneas y accesorios de aceite Dañado	2	1.15
Protección/medición y control Multilin E3plus Dañado	2	1.13
Bandeja Caída	1	1.05
Ruedas/ejes y chumaceras Dañado	2	1.00
Variador/Arrancador Configuración	2	0.97
Protección/medición y control Multilin E3plus Oscilación/armónico	1	0.72
Sensor de temperatura Falso contacto	1	0.65
Falla de motor	1	0.60
Sensor de nivel Falso contacto	6	0.38
Sensor de nivel Sensor dañado	2	0.28
Perdida de potencia	1	0.28
Reparación mecánica	1	0.25
Variador/Arrancador Dañado	2	0.22
Polines	1	0.12

Fuente: Elaboración Propia

Anexo N° 7: Base de datos de fallas de Faja 01 Sacrificio

RAZON	# PARADAS	TIEMPO DE PARADAS
Faja/correa dañada	13	21.98
Elemento de desgaste Caída	4	6.28
Reparación de instrumentación/eléctrica	9	4.88
Sensor diferencial de velocidad Sensor dañado	1	3.92
Sensor de faja rota Falso contacto	9	2.67
Polines y bastidores Dañado	4	2.20
Falsa indicación	6	2.08
Reparación mecánica	9	1.82
Faldera Dañado	1	1.65
Detector de metales Falso contacto	14	1.55
Sensor de nivel Falso contacto	6	0.97
Detector de metales Sensor dañado	3	0.87
Parada de emergencia Falso contacto	1	0.87
Líneas de alimentación eléctrica Corto circuito	2	0.82
Desalineamiento de faja/correa transportadora	3	0.80
Faldera Rotura/Fisura	1	0.75
Sensor de nivel Sensor dañado	2	0.63
Sensor de desalineamiento Falso contacto	3	0.60
Grapas	1	0.50
Polines y bastidores Rotura/Fisura	1	0.48
Demora entrega de PM	1	0.45
Corte de faja/correa transportadora	1	0.42
Faja Grampas	1	0.38
Sensor de faja rota Sensor dañado	1	0.37
Sensor de temperatura Falso contacto	1	0.33
Empalme faja/correa transportadora	1	0.25
Polea	1	0.22
Protección/medición y control Multilin E3plus Configuración	1	0.20
Sensor de desalineamiento Sensor dañado	1	0.17
Bota piedra Dañado	1	0.10
Líneas de alimentación eléctrica Falla a tierra	1	0.08

Fuente: Elaboración Propia

Anexo N° 8: Base de datos de fallas de Faja 02 Overland

RAZON	# PARADAS	TIEMPO DE PARADAS
Variador/Arrancador Dañado	5	13.12
Elemento de desgaste Caída	11	11.62
Faja/correa dañada	5	7.20
Polines y bastidores Dañado	10	7.02
Sensor de faja rota Falso contacto	16	6.52
Elemento de desgaste Rotura/Fisura	4	6.07
Reparación de instrumentación/eléctrica	13	4.90
Variador/Arrancador Configuración	12	4.42
Motor eléctrico Dañado	3	3.87
Sensor de faja rota Sensor dañado	6	3.32
Reparación mecánica	5	2.93
Acople Dañado	2	2.75
Corte de faja/correa transportadora	4	2.52
Líneas de alimentación eléctrica Corto circuito	3	2.43
Sensor de nivel Falso contacto	6	2.08
Faldera Dañado	4	2.07
Cordón de seguridad Sensor dañado	2	1.72
Falsa indicación	4	1.58
Control de procesos	3	1.58
Limpieza	2	1.55
Motor eléctrico Pérdida de aislamiento	4	1.37
Sensor de velocidad cero Falso contacto	5	1.25
Polines y bastidores Rotura/Fisura	4	1.13
Cordón de seguridad Falso contacto	3	0.85
Sensor de temperatura Sensor dañado	1	0.77
Motor eléctrico Rodamiento Dañado	1	0.75
Polea	1	0.57
Sensor de temperatura Falso contacto	2	0.55
Sensor diferencial de velocidad Falso contacto	2	0.50
Bota piedra Dañado	1	0.47
Sensor de desalineamiento Falso contacto	2	0.43
Bota piedra Rotura/Fisura	1	0.43
Líneas de alimentación eléctrica Falla a tierra	1	0.35
Raspador Dañado	2	0.33
Protección/medición y control Multilin E3plus Oscilación/armónico	1	0.27
Poleas/ejes y chumaceras Lubricación	1	0.27
Empalme faja/correa transportadora	2	0.23
Protección/medición y control Multilin E3plus Configuración	2	0.22

Fuente: Elaboración Propia