



Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Industrial

Tesis

“Aplicación de la Metodología RCM para incrementar el OEE de la chancadora de quijadas en una empresa minera en el 2020”

Autor: Campoverde Requejo, Félix Armando.

Para optar por el Título Profesional de Ingeniero Industrial

Asesor: Ing. Jaime W. Pilco Sánchez

LIMA-PERU

2022

Aplicación de la Metodología RCM para incrementar el OEE de la chancadora de quijadas en una empresa minera en el 2020

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	documents.mx Fuente de Internet	1%
5	idoc.pub Fuente de Internet	1%
6	www.ci.lewiston.me.us Fuente de Internet	<1%
7	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Tecnológica del Peru Trabajo del estudiante	<1%

INDICE

INDICE DE TABLAS.....	iv
INDICE DE FIGURAS.....	vi
INDICE DE ANEXOS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
CAPÍTULO 1: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	12
1.1 Planteamiento del problema.....	12
1.2 Formulación del problema.....	13
1.2.1 Problema general.....	13
1.2.2 Problemas específicos.....	13
1.3 Objetivos.....	14
1.3.1 Objetivo general.....	14
1.3.2 Objetivos específicos.....	14
1.4 Justificación e importancia.....	14
1.4.1 Justificación.....	14
1.4.2 Importancia.....	17
1.5 Limitaciones del proyecto.....	17
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 Antecedentes de la investigación.....	19
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	19
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	23
2.2 Bases teóricas.....	28
2.2.1 Gestión de Mantenimiento.....	28
2.2.2 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).....	30
2.2.3 Análisis de Modos de Fallos y Efectos (AMFE).....	33
2.2.4 Mantenimiento Correctivo.....	37
2.2.5 Mantenimiento Preventivo.....	38
2.2.6 OEE.....	39
2.2.7 Niveles del OEE.....	39
2.2.8 Criticidad.....	40
2.2.9 Chancado o Trituración.....	40
2.2.10 Mantenimiento Productivo Total.....	43
2.2.11 Objetivos del TPM.....	43
2.2.12 Lean Maintenance.....	44
2.3 Definición de términos.....	45
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO.....	49
3.1 Variables.....	49
3.1.1 Definición conceptual de las variables.....	49
3.2 Metodología.....	52
3.2.1 Tipo de estudio.....	52
3.2.2 Diseño de investigación.....	53
3.2.3 Método de investigación.....	54
3.2.4 Población y muestra.....	55
3.2.5 Instrumentos de recolección de datos.....	58
3.2.6 Técnicas de investigación.....	58
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	59

4.1 Análisis situacional	59
4.1.1 Ubicación geográfica.....	59
4.1.2 Historia de la empresa	59
4.1.3 Organigrama de la empresa minera.....	60
4.2 Alternativas de solución.....	91
4.3 Solución del problema	99
4.3.1 Definición del equipo RCM	100
4.3.2 Identificación de la Función de la Chancadora y Elementos Funcionales	100
4.3.3 Identificación de fallos y modo de fallos funcionales	111
4.3.4 Análisis de modo de fallo para obtener la causa raíz	113
4.3.5 Análisis de componentes por criticidad.....	117
4.3.6 Programa de mantenimiento propuesto	128
4.3.7 Costos de la implementación.....	135
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	141
5.1 Resultados	141
5.1.1 Cálculo de confiabilidad y mantenibilidad post implementación.	141
5.1.2 Cálculo del OEE post implementación.	142
5.2 Resumen de Inversión y recuperación	146
5.3 Flujo de caja.....	147
5.4 VAN/TIR	150
5.5 Beneficio - Costo	150
5.6 Período de recuperación (PRI).....	150
CONCLUSIONES.....	152
RECOMENDACIONES	154
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	155
ANEXOS.....	163

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Fases de Implementación de RCM.....</i>	33
Tabla 2. <i>Documento para determinar los modos de falla en niveles de detalle.</i>	36
Tabla 3 <i>Fases de Implementación de RCM.....</i>	38
Tabla 4 <i>Niveles del OEE.</i>	40
Tabla 5 <i>Pérdidas en equipos de producción.</i>	43
Tabla 6 <i>Equipos en el proceso de chancado primario.....</i>	77
Tabla 7 <i>Cantidad de paradas por tipo de máquina en el proceso de chancado primario - 2019.</i>	78
Tabla 8 <i>Cantidad de horas de paradas por tipo de máquina en el proceso de chancado primario - 2019.</i>	79
Tabla 9 <i>Cálculo de horas netas para producir – Proceso de chancado primario.</i>	80
Tabla 10 <i>Cálculo de la confiabilidad del proceso de chancado primario.....</i>	81
Tabla 11 <i>Cálculo de la mantenibilidad del proceso de chancado primario.....</i>	82
Tabla 12 <i>Tiempo de ralentización en el proceso de chancado primario - 2019.....</i>	83
Tabla 13 <i>Cálculo de disponibilidad del proceso de chancado primario.</i>	84
Tabla 14 <i>Cálculo del rendimiento del proceso de chancado primario.....</i>	85
Tabla 15 <i>Cálculo de la calidad del proceso de chancado primario.</i>	86
Tabla 16 <i>Cálculo del OEE del proceso de chancado primario 2019.</i>	87
Tabla 17 <i>Resumen Indicadores - 2019.....</i>	89
Tabla 18 <i>Cálculo del OEE 2019 – Chancadora de quijadas -2019 / antes de la mejora.....</i>	91
Tabla 19 <i>Calificación de juicio de expertos para determinación criterios relevantes que afectan al problema en investigación.</i>	92
Tabla 20 <i>Ventaja principal por metodología propuesta como solución.....</i>	95
Tabla 21 <i>Criterios de evaluación.....</i>	95
Tabla 22 <i>Descripción de escala numérica del AHP para calificar criterios.....</i>	96
Tabla 23 <i>Cálculo del ratio de consistencia.....</i>	97
Tabla 24 <i>Componentes funcionales de la chancadora de quijadas.....</i>	105
Tabla 25 <i>FMEA: Detección de fallo y modo de fallo de la chancadora de quijadas.</i>	112
Tabla 26 <i>Análisis modo de falla para obtener causa raíz – Parte 1.</i>	114
Tabla 27 <i>Análisis modo de falla para obtener causa raíz – Parte 2.</i>	115
Tabla 28 <i>Análisis modo de falla para obtener causa raíz – Parte 3.</i>	116
Tabla 29 <i>Formato para análisis de criticidad.</i>	117
Tabla 30 <i>Niveles de criticidad.</i>	118
Tabla 31 <i>Descripción de los niveles de criticidad.</i>	118
Tabla 32 <i>Análisis de criticidad del sistema drive</i>	119
Tabla 33 <i>Análisis de criticidad del conjunto eje tensor y placa de Toggle.</i>	120
Tabla 34 <i>Análisis de criticidad del sistema de ajuste de Setting.</i>	121
Tabla 35 <i>Análisis de criticidad del forro de quijada fija o estacionaria.</i>	122
Tabla 36 <i>Análisis de criticidad del forro de quijada móvil u oscilante.</i>	123
Tabla 37 <i>Análisis de decisión del RCM por causa raíz en función a los elementos funcionales de criticidad B y C – Parte 1.</i>	125
Tabla 38 <i>Análisis de decisión del RCM por causa raíz en función a los elementos funcionales de criticidad B y C – Parte 2.</i>	126
Tabla 39 <i>Análisis de decisión del RCM por causa raíz en función a los elementos funcionales de criticidad B y C – Parte 3.</i>	127

Tabla 40 Programa de mantenimiento para el Sistema drive.- Eje excéntrico del Pitman no gira o merma su giro normal.	129
Tabla 41 Programa de mantenimiento para el Conjunto eje tensor y placa.- Mandíbula móvil no mantiene su posición.	130
Tabla 42 Programa de mantenimiento para el Sistema de Ajuste de Setting.	131
Tabla 43 Programa de mantenimiento para el Forro de quijada fija o estacionaria.- El forro de quijada fija no sostiene correctamente el impacto, aumenta más la abrasión que el impacto.	132
Tabla 44 Programa de mantenimiento para el Forro de quijada fija o estacionaria.- El Forro fijo no protege al bastidor de la mandíbula, su estructura sufre abolladura.....	133
Tabla 45 Programa de mantenimiento para el Forro de quijada móvil u oscilante.- El forro de quijada móvil no sostiene correctamente el impulso de compresión, aumenta más la abrasión que el impacto.	133
Tabla 46 Programa de mantenimiento para el Forro de quijada móvil u oscilante. - El Forro móvil no protege al bastidor de la mandíbula, su estructura sufre abolladura.	134
Tabla 47 Resumen horas hombre requerido por tipo de técnico.	135
Tabla 48 Costos de consultoría para realizar la mejora.	135
Tabla 49 Costos de horas de personal técnico para realizar las mejoras.....	136
Tabla 50 Sueldo por tipo de técnico del área de mantenimiento.	136
Tabla 51 Costo de horas por tarea propuesta 1.	137
Tabla 52 Costo de horas por tarea propuesta 2.	138
Tabla 53 Costo de horas por tarea propuesta 3.	139
Tabla 54 Costos de operativo de aplicación del RCM - 2021.	140
Tabla 55 Resumen de costos	140
Tabla 56 Paradas de máquina por Chancadora de quijadas – Post aplicación del RCM - 2021.	141
Tabla 57 Cálculo de la confiabilidad – Post aplicación del RCM - 2021.	142
Tabla 58 Cálculo de la mantenibilidad – Post aplicación del RCM - 2021.	142
Tabla 59 Cálculo de la disponibilidad – Post aplicación del RCM - 2021.	143
Tabla 60 Cálculo del Rendimiento del motor de la Chancadora P. – Post aplicación del RCM - 2021.	143
Tabla 61 Cálculo de la calidad – Post aplicación del RCM – 2021.....	144
Tabla 62 Cálculo del OEE – Post aplicación del RCM - 2021.....	144
Tabla 63 Cálculo del OEE – Post aplicación del RCM.....	146
Tabla 64 Resultados según objetivos del proyecto	146
Tabla 65 Recuperación de la propuesta.....	147
Tabla 66 Flujo de caja.	149
Tabla 67 Cálculo del VAN/TIR	150

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas del Proceso de Implantación de Mejoras en Mantenimiento.....	30
Figura 2. Fundamentos y Secuencia de la Aplicación de RCM.....	32
Figura 3. Modelo de matriz AMFE.....	35
Figura 4. Diagrama de Proceso de Mantenimiento Correctivo.....	37
Figura 5. Representación gráfica del cálculo del OEE.	39
Figura 6. Chancadora de quijadas o mandíbulas.....	42
Figura 7. Esquema de método de investigación utilizado para aplicar la propuesta.....	54
Figura 8. Identificación de la muestra dentro de los 8 equipos que conforman la población en investigación.	57
Figura 9. Mapa de referencia de ubicación geográfica de la unidad minera.....	59
Figura 10. Organigrama unidad minera	61
Figura 11. Mapa de procesos de valor- Unidad Minera.....	63
Figura 12. Organigrama de Ubicación del Área de Mantenimiento.	66
Figura 13. Organigrama del área de mantenimiento.....	67
Figura 14. Organigrama de la empresa contratista.	68
Figura 15. Procesos de mantenimiento.	69
Figura 16. Proceso de Chancado.....	70
Figura 17. Proceso de separación Ore-Sorting.....	72
Figura 18. Equipo Sorter.....	72
Figura 19. Zaranda Metso modelo CBS	73
Figura 20. Vista de módulo de chancado.....	74
Figura 21. Vista pruebas módulo de chancado, sistema compacto.....	75
Figura 22. Paradas de máquina en el área de Chancado 2018-2019.....	76
Figura 23. Paradas de máquina por tipo de chancado: primario – secundario 2019.....	77
Figura 24. Indicadores de Confiabilidad y Mantenibilidad en proceso de Chancado primario 2019.....	82
Figura 25. Indicadores de Disponibilidad, Rendimiento y Calidad del proceso de Chancado primario 2019.....	86
Figura 26. Diagrama de Pareto – Equipos con mayor cantidad de paradas en el proceso de Chancado primario 2019.....	88
Figura 27. Confiabilidad y mantenibilidad de la chancadora de quijadas - 2019.....	89
Figura 28. Disponibilidad, eficacia y calidad de la chancadora de quijadas - 2019.....	90
Figura 29. Diagrama de Pareto – Definición de criterios para determinar la Metodología a implementar	93
Figura 30. Matriz de comparación de criterios.	96
Figura 31. Matriz de ponderación de metodologías por criterio determinado.....	98
Figura 32. Matriz resultado de metodología AHP	99
Figura 33. Diseño solución propuesto para la aplicación RCM.	99
Figura 34. Equipo de trabajo RCM.....	100
Figura 35. Chancadora de quijadas.....	103
Figura 36. Partes de la Chancadora de quijadas.....	104
Figura 37. Chancadora de quijadas – Partes que conforman el sistema Drive	105
Figura 38. Partes del conjunto Pitman con eje y masa excéntrica	106
Figura 39. Conjunto Tensor y Placa Toggle.	107
Figura 40. Cilindros hidráulicos de regulación de Setting.....	107
Figura 41. Unidad hidráulica del sistema de Ajuste de Setting	108

Figura 42. Mandíbula y forro fijo.	108
Figura 43. Mandíbula y forro móvil.	109
Figura 44. Tablero eléctrico fuerza y control del módulo de chancado.....	110
Figura 45. Tablero eléctrico fuerza de Chancadora de Quijadas.	110
Figura 46. OEE Antes (2019) y posterior (2021) a la aplicación de RCM.....	145

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Formato para recopilar paradas por tipo de máquina en el proceso de chancado primario.....	164
Anexo 2. FMEA.....	165
Anexo 3. Formato para análisis modo de falla para obtener causa raíz.....	166
Anexo 4. Formato para análisis de decisión del RCM por causa raíz en función a los elementos funcionales de criticidad.	167
Anexo 5. Matriz de operacionalización de variables.	168
Anexo 6. Tiempo promedio ponderado por tipo de parada de máquina.....	169
Anexo 7. Tabulación de equipos por cantidad de paradas 2019.....	170
Anexo 8. Confiabilidad de la chancadora de quijadas / antes de la mejora.....	171
Anexo 9. Mantenibilidad de la chancadora de quijadas / antes de la mejora	171
Anexo 10. Horas de ralentización.	172
Anexo 11. Disponibilidad de la chancadora de quijadas / antes de la mejora	172
Anexo 12. Calidad del proceso trabajado sólo con la chancadora de quijadas / antes de la mejora	173
Anexo 13. Rendimiento del motor de la chancadora de quijadas / antes de la mejora.....	173
Anexo 14. Procedimiento de ajuste de Setting de chancadora de quijadas.	174
Anexo 15. Diagrama de decisión RCM.	178
Anexo 16. Explicación del diagrama de decisión RCM.	179
Anexo 17. Utilización de forros fijos y móviles antes y después de aplicar RCM.....	184
Anexo 18. Horas de parada de máquina por correctivos: Antes y después de aplicar RMC.....	185

RESUMEN

El presente estudio tiene por finalidad la aplicación de la Metodología RCM en el proceso de chancado primario con el objetivo de incrementar el OEE de la chancadora de quijadas en una empresa minera.

Para el logro del objetivo, se aplicó un estudio cuantitativo, aplicada y de campo, mediante la recolección de datos, los cuales fueron permitieron analizar la problemática y situación actual mediante la aplicación de herramientas de ingeniería, tales como: Juicio de expertos, Diagrama de Pareto, Proceso jerárquico analítico (AHP), Matriz AMFE, se analizó indicadores de confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, rendimiento, calidad y el OEE.

La aplicación de la Metodología RCM permitió mejorar el OEE en 15.08%, la disponibilidad en 5.59%, el rendimiento en 8.85%, la calidad en 5.13%, la confiabilidad en 2.66% y la mantenibilidad en 5.88%; con ello se logró una disminución de horas de parada de la chancadora de quijadas, antes de la mejora se tuvo 333.18 horas/año, después de la mejora se logró reducir a 17.84 horas/año. Además, se logra una recuperación de costo de mantenimiento correctivo anual de \$ 68,801.41, mejora obtenida con una inversión de \$ 49,249.78 en un año, un VAN de \$ 70,762.03 y TIR de 55.03% que corroboran que el proyecto es viable y rentable.

Palabras clave: metodología RCM, OEE, disponibilidad, rendimiento, calidad, confiabilidad, mantenibilidad.

ABSTRACT

The purpose of this study is the application of the RCM Methodology in the primary crushing process with the aim of increasing the OEE of the jaw crusher in a mining company.

To achieve the objective, a quantitative, applied and field study was applied, through the collection of data, which allowed the analysis of the problem and current situation through the application of engineering tools, such as: Expert judgment, Diagram of Pareto, Analytical Hierarchical Process (AHP), AMFE Matrix, indicators of reliability, maintainability, availability, performance, quality and OEE were analyzed.

The application of the RCM Methodology allowed to improve the OEE in 13.85%, the availability in 5.59%, the performance in 8.85%, the quality in 5.13%, the reliability in 2.66% and the maintainability in 5.88%; With this, a decrease in the number of hours of jaw crusher downtime was achieved, before the improvement, there were 333.18 hours/year; after the improvement, it was reduced to 17.84 hours/year; In addition, an annual corrective maintenance cost recovery of \$ 68,801.41 is achieved, an improvement obtained with an investment of \$ 49,249.78, a VAN of \$ 70,762.03 and TIR of 55.03%, which confirm that the project is viable and profitable..

Keywords: RCM methodology, OEE, availability, performance, quality, reliability, maintainability.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en una unidad minera de ubicada en el departamento de Puno, en el proceso de chancado de una Planta de Pre-Concentrado, aquí el investigador pudo aplicar conocimientos y metodologías aprendidas en la carrera de Ingeniería Industrial. El objetivo de la investigación fue demostrar como la metodología RCM permitir mejorar el indicador OEE a través de la mejora de disponibilidad, rendimiento y calidad.

El estudio se dividido en 5 capítulos, en el primer capítulo se describe el problema en investigación a través del planteamiento del problema, la formulación del mismo, planteamiento de objetivos, justificación y limitaciones del proyecto.

En el segundo capítulo se describe los antecedentes que sustentan el presente proyecto, las bases teóricas que respaldan la aplicación de la metodología RCM y las técnicas de ingeniería utilizadas en el presente proyecto, así como se define los términos utilizados durante el desarrollo del presente trabajo.

En el tercer capítulo se describe el marco metodológico a través de la identificación de las variables en estudio, la metodología utilizada y se hace referencia al diseño de la investigación, sustentado con referencias que lo respaldan.

En el cuarto capítulo se describe la metodología utilizada en la solución del problema a través de un análisis situacional, seguidamente se presentan las alternativas de solución, seguido de la solución del problema mediante la aplicación de la metodología RCM y herramientas de ingeniería industrial; este capítulo termina con la identificación de costos de la implementación.

En el quinto capítulo se presenta el análisis y descripción de resultados obtenidos, así como se analiza el comparativo respecto a los indicadores iniciales, este capítulo finaliza con la presentación del beneficio del presente proyecto.

CAPÍTULO 1: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

A nivel internacional existe una necesidad por mejorar la eficiencia operativa en empresas mineras, es así que la consultora Matriz Consulting de Chile, realizó estudios de productividad en una empresa minera de cobre en el año 2017, el cual estableció características comparativas y aplicó las mejores prácticas (Benchmark de indicadores de productividad) (Matrix Consulting, 2017). Realizado mediante visitas a 5 países: EE. UU, Canadá, Perú, Australia y Suecia, entrevistando a un total de 450 personas entre trabajadores y ejecutivos, finalmente concluyó que para medir la productividad en la gran minería de cobre chilena fue necesario tomar en cuenta los indicadores de Productividad de Capital (OEE % efectividad en el uso de los activos) y los indicadores de productividad laboral (Kton de material movido, procesado, finos producidos, todo ello comparado con el FTE, por sus siglas en inglés Full Time Equivalente). Es así como la empresa consultora determinó que la efectividad en el uso de los activos OEE en plantas concentradoras chilenas, específicamente para chancado y molienda SAG, el promedio de OEE es de 88.3% y el promedio de eficiencia de activos solo para chancado primario de 69.9%, el cual se encuentra por debajo del valor referente internacional de OEE de 73.7% (Matrix Consulting, 2017).

En el Perú, la minería de estaño de San Rafael perteneciente a Minsur S.A. tuvo como prioridad mejorar la productividad y reducir los costos, con la finalidad de mitigar el impacto de la reducción de los precios de los metales, aun cuando la Unidad Minera San Rafael controlaba su producción con otros tipos de indicadores; sin embargo, se consideró necesario lograr una cultura de excelencia, por ello la minera puso énfasis en mejorar la productividad (Memoria Anual 2019, Minsur S.A.).

En la empresa minera en estudio, específicamente en la Planta de Pre-Concentrado, se observa que existen mantenimientos correctivos no programados que afectan la confiabilidad,

el cual se encuentra en 93.84%, sin embargo existe ausencia de control del desgaste de los forros de las mandíbulas de la chancadora, obteniendo menores ratios de toneladas por hora, afectando al rendimiento del equipo, el cual se encuentra en 89.40%; por otro lado, se ha detectado que cuando el mineral triturado está por encima del tamaño estándar de funcionamiento afecta a la calidad del chancado, el cual se encuentra en 92.75%, debido a la ausencia de control de desgaste de los forros de las mandíbulas de la chancadora, ocasionando que exista problemas de calidad, lo cual a su vez afecta a la disponibilidad el cual se encuentra en 86.58%; además este desgaste de forros genera que se ralentice el proceso de chancado secundario observando mayor recirculación en este circuito afectando al OEE, el cual se encuentra en 72.08%. Por ello se propone aplicar la Metodología RCM para incrementar el OEE de la chancadora de quijadas en la empresa minera en estudio.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿En qué medida la aplicación de la Metodología RCM permitirá incrementar el OEE en la chancadora de quijadas del proceso de Chancado Primario de una empresa minera en el 2020?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿En qué medida la confiabilidad del RCM permitirá mejorar la disponibilidad de la chancadora de quijadas en el proceso de Chancado Primario en una empresa minera?
- ¿En qué medida la mantenibilidad del RCM permitirá mejorar el rendimiento de la chancadora de quijadas en el proceso de Chancado Primario en una empresa minera?

- ¿En qué medida la confiabilidad del RCM reduce frecuencia de fallas en el sistema de regulación de tamaño de partícula de la chancadora de quijadas y asegura la calidad del proceso de chancado primario?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Demostrar en qué medida la Metodología RCM incrementa el OEE en la chancadora de quijadas del proceso de Chancado Primario de una empresa minera en el 2020.

1.3.2 Objetivos específicos

- Describir cómo se mejora la disponibilidad de la chancadora de quijadas en el proceso de Chancado Primario en una empresa minera mediante la aplicación de la confiabilidad del RCM.
- Demostrar cómo se mejora el rendimiento de la chancadora de quijadas en el en el proceso de Chancado Primario en una empresa minera mediante la aplicación de la mantenibilidad del RCM.
- Demostrar cómo se mejora la calidad en el proceso de Chancado Primario en una empresa minera mediante la aplicación de la confiabilidad del RCM.

1.4 Justificación e importancia

1.4.1 Justificación

La justificación de la investigación se presenta en 3 puntos:

Justificación económica

Al aplicar la metodología del RCM, la cual ha sido validada por diferentes investigadores y expertos, demuestra que se puede obtener resultados económicos favorables,

como en el caso de la chancadora, donde mediante tareas específicas del RCM se lograría mejorar el rendimiento, aumentando las toneladas hora y acercarnos a la capacidad nominal de 220 Tn/h. Así mismo al mejorar el OEE de la chancadora de quijadas se obtiene menor tiempo muerto por paradas de máquina por averías y el producto triturado resultante, tiene menos defecto de tamaño de mineral, ello permitiría a la tecnología ore Sorting realizar oportunamente la función de eliminar material que no tiene valor y evitar transportarlo innecesariamente a la planta de beneficio, ahorrando costos de transporte, costos de energías por chancado (llega el mineral de menor tamaño a la planta concentradora) y consumos de reactivos al tratar menores proporciones de material estéril.

Al intentar mejorar la mantenibilidad de la chancadora aplicando la metodología RCM se tendrá mayor tiempo disponible para producir, entonces aportaría en la mejora de la ley de cabeza de la Planta Concentradora ya que al tener mayores volúmenes de producción se los usará en el blending metalúrgico, que consiste en mezclar minerales que se extraen de mina con el pre-concentrado, resultará entonces una ley homogénea de valor promedio de acuerdo al diseño de la planta concentradora dando como resultado concentrados de estaño con leyes que tendrán mayor valor económico en el mercado.

Justificación Técnica

Técnicamente el presente trabajo se justifica porque pretende comprobar como la aplicación de la metodología del RCM permite mejorar el OEE de la chancadora de quijadas en el proceso de Chancado Primario. Al mejorar la confiabilidad con el RCM disminuye las paradas intempestivas y los mantenimientos correctivos no programados, logrando mayor tiempo disponible para producir (mejora de la disponibilidad); al mejorar la mantenibilidad con la aplicación del RCM los tiempos de los mantenimientos preventivos y correctivos

programados son más cortos, los efectos de las fallas tendrán menor impacto al aplicar tareas del RCM oportunas y con antelación.

Al pretender mejorar el OEE nos estamos enfocando a cumplir los planes de producción en el momento que se requiere, con el tamaño de partícula fijado de acuerdo al estándar de funcionamiento de la chancadora y hacer uso de este equipo aprovechando su capacidad nominal; al pretender lograr todo ello podemos establecer que la chancadora esté disponible cuando se la necesite, que produzca con la calidad deseada y trabaje con el rendimiento esperado o aceptable, en este punto estaríamos haciendo uso eficiente de este activo con el objetivo de incrementar su efectividad global.

Justificación Ambiental

El desarrollo de la investigación describe como se generan impactos ambientales positivos a través del ahorro de energía eléctrica de la chancadora, al mejorar el rendimiento aumentaría las toneladas por hora cumpliendo en menor tiempo las cuotas de producción, el consumo de energía eléctrica disminuirá y a la vez el agotamiento de recursos energéticos, ello equivale a reducir el consumo de combustibles para la generación de electricidad como son el gas natural, petróleo, carbón, los cuales utiliza la empresa ENGIE en sus centrales de generación. Al reducir la quema de combustibles también se evita la emisión de gases que contaminan la atmósfera. Al pretender el incremento de la disponibilidad de la chancadora de quijadas, la planta Pre-Concentrado tiene la posibilidad de aumentar la tasa de consumo de los depósitos de desmonte ubicados en las canchas para tal fin, disminuyendo los impactos negativos como la generación de aguas ácidas productos de las lluvias atmosféricas ocasionando percolación y arrastre iones, que a pesar de la estabilidad física y geoquímicas presentes como neutralización de aguas, canalizaciones, sistemas de bombeo estará siempre latente las filtraciones hacia lagunas naturales periféricas.

1.4.2 Importancia

El desarrollo de la presente investigación es importante porque mediante el conocimiento adquirido en la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica del Perú, se propone resolver problemas reales que existen en una organización y que a través de las habilidades para evaluar sistemas industriales permite seleccionar el tipo de metodología, técnicas o estrategias a aplicar y hacer crecer a una organización. Para el presente trabajo de investigación se detectó que el tiempo disponible para producir se puede incrementar, además se puede mejorar el rendimiento en referencia a la capacidad nominal del equipo y se puede mantener un rango de tamaño de trituración que se encuentre dentro de los parámetros de calidad. Para lograr lo descrito se aplica la metodología RCM con la finalidad de incrementar la efectividad global de la chancadora, además permite medir el logro de resultados, con lo cual se habrá generado nuevos conocimientos, los cuales servirán para mejoras en equipos o sistemas productivos similares en la empresa minera u otras empresas del mismo rubro.

1.5 Limitaciones del proyecto

Las limitaciones del presente trabajo de investigación fueron:

Limitaciones de tiempo:

Uno de los problemas que se presenta para el desarrollo de la investigación, es el corto periodo de tiempo asignado, al cual se suma las actividades laborales (horas de viaje, horario laboral, aislamientos por enfermedad Covid-19) que acortan la disponibilidad del tiempo para la investigación.

Limitaciones geográficas:

La Planta Pre-Concentrado se encuentra ubicada en el departamento de Puno a 4500 m.s.n.m., con acceso 21 días al mes, si por algún motivo se requiere profundizar en algún tema

se tendría que esperar 7 días para volver a ingresar a la planta, debido a que la residencia del investigador se encuentra en Lima.

Limitaciones de información:

Se tiene acceso limitado a la información financiera, debido a que esta información es considerada como reservada por la empresa minera en estudio, motivo por el cual, solo se obtuvo información parcial.

Es así que, en algunas consultas a supervisores o jefes de Planta, no se obtuvo información, dado que se considera como estándar trabajar con indicadores ya existentes y entregar información sería comprometedor para otros indicadores, se observó que existe algo de resistencia al cambio, sin embargo, ello se ve superado al plantear los objetivos de la investigación, evidenciando que estos son independientes y aportan a la mejora continua.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Zavala (2018), en su tesis, tuvo por problema la asignación de recursos en el mantenimiento correctivo de la máquina CHANCADORA FULLER, el cual originaba descensos en los niveles de producción e incremento de los costos. El autor propuso aplicar RCM al plan de mantenimiento, para reducir costos y optimizar recursos, con lo cual eliminaría las paradas no programadas, aumentando la confiabilidad. El autor logró: (a) Realizó la estructuración completa de la chancadora bajo las matrices AMFE y criticidad; (b) logró un beneficio económico de US\$ 200,000 con aplicación de mantenimiento preventivo. Concluyó que a través de RCM se lo logró incrementar la disponibilidad y confiabilidad, para lograr un impacto positivo, (b) la base fundamental del RCM fue el diagnóstico y análisis iniciales. La apreciación al trabajo es positiva, porque ha seguido con rigurosidad los principios de la metodología propuesta.

Rojas (2017), realizó una tesis sobre una Planta de Cobre de Minera Los Pelambres, Coquimbo-Chile, donde identificó como problema la pérdida de capacidad productiva, deficiencias en la mantenibilidad y paradas de producción. Planteó propuestas que lograron cambios significativos en los índices de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, así como en la gestión de costos y administración de los recursos. Los resultados obtenidos fueron: (a) estableció indicadores KPI; (b) determinó la matriz de criticidad, incluido los repuestos; (c) elaboró el plan de mantenimiento preventivo. Las principales conclusiones del autor fueron: (a) la importancia de elaborar presupuestos; (b) la importancia de aplicar los ocho (8) pasos de la gestión de cambio; (c) la aplicación de KPI, como soporte a la gestión. La opinión sobre la propuesta es positiva, por el alcance y relevancia en industrias intensivas en capital.

Gonzales (2015), desarrolló la metodología RCM en una planta de producción de acero, la cual tenía baja capacidad en una guillotina de corte comercial, motivo por el cual tuvo por objetivo mejorar la disponibilidad y confiabilidad del equipo. El autor implementó la metodología RCM, la elaboración de las matrices de análisis de modos de fallos y efectos, y de criticidad; lo cual le permitió conocer en detalle los componentes de la máquina. Tuvo por resultado la reducción de costos de no producción del 74.16%. Entre los principales resultados a los que llegó el autor se tiene: (a) la metodología RCM permitió una revisión detallada de los elementos de la máquina, lo cual facilitó las mejoras; (b) Se dieron cuenta que no bastaba obtener un buen resultado, sino que se debía inspeccionar, verificar y controlar las mejoras impulsadas para proponer otras nuevas. La opinión respecto al trabajo revisado es muy favorable, porque la mejora en los costos de no producción fue significativa.

Cárcamo (2019), identificó como problema de investigación a la baja disponibilidad de los camiones 797, ocasionado por fugas de aceite, daños en los componentes e ineficiencia en la administración de repuestos, motivo por el cual propuso la elaboración de un plan de mantenimiento dirigido a la prevención, al incremento de la disponibilidad, con un enfoque en la gestión de los repuestos. Obtuvo por resultado una importante reducción de los costos de mantenimiento, de US\$ 2'306,949.69 a US\$ 832,548.40. Concluyó lo siguiente: (a) el RCM y mantenimiento preventivo fueron eficientes para impulsar mejoras; (b) el manejo de indicadores de gestión KPI, facilitó la toma de decisiones respecto a maquinarias de alto capital. La opinión es favorable por los resultados obtenidos, y por correcta aplicación de la metodología RCM.

Campos, Tolentino y Toledo (2019), propusieron implementar RCM aumentada, tuvo por finalidad aumentar los beneficios económicos, a través: (a) uso eficiente de base de datos OREDA, (b) taxonomía de los equipos, (c) definición de prioridades y jerarquizaron las fallas. Los resultados obtenidos fueron: (a) se logró mayor conocimiento de los activos y equipos, (b)

dirigieron los recursos de mantenimiento hacia las prioridades, (c) se implantaron el mantenimiento predictivo. Las principales conclusiones de los autores fueron: (a) Aplicaron un RCM ampliado, facilitó el análisis, porque recopilaron información más detallada; (b) brindaron mayor conocimiento en la aplicación de normas SAE JAE 1011 y SAE JAE 1012. La opinión es muy favorable, porque el trabajo combina conocimientos técnicos y tecnología de información, para mejorar la toma de decisiones.

Maya (2018) tuvo por problema principal la deficiente gestión integral de mantenimiento, que ocasionaba: (a) altos costos de mantenimiento, (b) baja eficiencia en la administración de los recursos, (c) baja disponibilidad de las maquinarias e instalaciones. El autor propuso por solución aplicar RCM, para implementar la metodología TPM y el mantenimiento predictivo, en el área de mantenimiento de la empresa, se enfocó en diagnosticar y analizar los procedimientos actuales, con lo cual buscó detectar los orígenes de los problemas descritos. Obtuvo por resultado el incremento de la disponibilidad de las maquinarias e instalaciones, de 85% registrada en el año 2010 a 95% en el año 2017. Las conclusiones a las que llegó el autor fueron: (a) la importancia del control de la gestión de mantenimiento a través de indicadores claves de rendimiento (KPI), (b) La aplicación de RCM e implementación de TPM, facilitó la mejora integral del área de mantenimiento. La opinión sobre el trabajo es favorable, porque impulsa a la empresa a certificar y estandarizar sus procesos productivos.

Uscátegui (2014), identificó como problema de investigación la baja confiabilidad y disponibilidad de las maquinarias, encontrando los siguientes problemas: (a) incumplimiento de planes de mantenimiento, (b) existía presencia de fallas y deterioros de maquinaria, (c) alto número de horas al mantenimiento correctivo. Por ello propuso implementar un proceso de mejoramiento de los planes de mantenimiento, con base en el incremento de la confiabilidad y disponibilidad. Obtuvo por resultado mejoras considerables, entre las cuales se tuvo: (a) la meta

de confiabilidad de 95% y logró un resultado de 98.76%, (b) la meta de disponibilidad fue 95% y logró un resultado de 98.65%. Las conclusiones a las que llegó el autor fueron: (a) dio importancia al enfocarse en la reducción o eliminación de las fallas y las causas que lo originan, (b) encontró como positivo el manejo documentario con base en las normas ISO 14224, (c) la gestión de mantenimiento mejoró con la implementación de KPI. La opinión del estudio, es que las industrias intensas en capital, deben dirigir sus recursos para lograr el mayor retorno sobre el capital invertido, para hacer sostenible la organización.

Barbera, Crespo, Kristjanpoller, Stegmaier y Viveros (2012) realizaron una investigación, donde identificaron como problema la deficiente gestión de mantenimiento en las organizaciones, las causaban baja rentabilidad, pérdida de valor de los activos e incumplimiento de programas de producción. Por ello, propusieron el diseño de un modelo de gestión de mantenimiento, para lo cual definieron herramientas de apoyo, para diagnosticar, analizar e implementar. Llegaron a los siguientes resultados: (a) diseñaron un modelo de gestión de mantenimiento, desde la situación actual, hasta la evaluación y control de la ejecución de mantenimiento, (b) emplearon RCM como herramienta principal, (c) impulsaron el uso de herramientas de Software avanzado. Llegaron a las siguientes conclusiones: (a) lograron alinear las estrategias de mantenimiento con los planes de negocio, (b) optimizaron la gestión de mantenimiento, se enfocaron en los costos y gestión de recursos. La opinión sobre el trabajo citado es favorable, resalta la aplicación del RCM, el uso intenso de herramientas informáticas avanzadas, indicadores de gestión y capacitación y entrenamiento a los colaboradores.

Castillo, Prieto y Zambrano (2015), propusieron investigar la gestión de mantenimiento de las instituciones públicas de educación superior, para ello establecieron los principales indicadores de mantenimiento, asociados a la metodología RCM, Así mismo investigaron, a través de un estudio de campo, las condiciones actuales. Obtuvieron por resultado que dentro

de una escala de 1.00 a 5.00: (a) la calidad de servicio obtuvo un puntaje de 3.23, (b) disponibilidad registró 3.68, (c) confiabilidad alcanzó 3.41, (d) mantenibilidad se evaluó con 3.10, (e) la gestión de costos registró un puntaje de 3.33. Llegaron a las siguientes conclusiones: (a) importancia de indicadores KPI en la medición de la gestión de mantenimiento, (b) control los indicadores de confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y costos, fueron esenciales para el cumplimiento de objetivos. La apreciación es positiva, por la forma como se ha llevado a cabo la investigación, haciendo énfasis en los principios de la metodología RCM y estudio de costos.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Cardenas (2018), El autor propuso la evaluación de la influencia de la metodología RCM en la disponibilidad mecánica de equipos SCALER, con la finalidad de eliminar paradas no programadas y sobrecostos de producción, debido a la baja disponibilidad de equipos SCALER, ocasionado por paradas en el desatado de rocas y por exceso de mantenimiento correctivo e incumplimiento de los programas de producción. Los resultados a los que llegó el autor fueron: (a) logró incrementar la disponibilidad de 70.21% a 80.25% con la aplicación del RCM, (b) logró incrementar la utilización de 33.17% a 37.33%; (c) logró reducir las horas promedio de paradas del sistema hidráulico de 164 a 27. Entre las principales conclusiones que llegó el autor se tiene: (a) los datos confirmaron que la metodología RCM influyó positivamente en la disponibilidad de los equipos críticos; (b) estableció planes de mantenimiento preventivo y predictivo. La opinión del trabajo es favorable, por la manera práctica y clara que ha sido expuesta.

Li y Mescua (2016) identificó como problema de investigación un ineficiente plan de mantenimiento aplicado a la flota de camiones, el cual ocasionaba bajos niveles de disponibilidad, confiabilidad, productividad, sobrecostos de mantenimiento y excesos de

paradas de equipos. Ante ello, los autores propusieron implementar la metodología RCM, para mejorar los indicadores, costos y beneficios económicos. Llegaron a los siguientes resultados: (a) lograron incrementar la disponibilidad de 85% a 92%, (b) lograron incrementar la confiabilidad de 50% a 62%, (c) lograron mejorar el tiempo medio entre fallas (MTBF) de 35 a 50 horas; (d) obtuvieron un VAN de proyecto de US\$ 302,956. Las principales conclusiones a las que llegaron los autores fueron: (a) alcanzaron una mejora sustancial por la aplicación de RCM; (b) trabajar en equipo fue fundamental en la implementación de mejoras. La opinión es ampliamente favorable, por la buena sustentación, tanto a nivel estadístico, como financiero.

Rojas L. (2016) identificó como problema la pérdida de rentabilidad e incumplimiento de metas de procesamiento, ocasionado por no cumplir con programas de mantenimiento. Evaluó el impacto económico sobre la rentabilidad la implementación de un sistema de mantenimiento predictivo en la compañía minera. Obtuvo los siguientes resultados: (a) la disponibilidad de chancadora incrementó de 93.92% a 96.42%, logró incrementar la molienda de 94.16% a 96.46%; (b) logró mejorar el cumplimiento del programa de mantenimiento de 81% a 92%; (c) el VAN para financiar el proyecto registró US\$ 873,143. Las principales conclusiones del autor fueron: (a) la implementación del sistema de mantenimiento predictivo fue ampliamente beneficioso; (b) encontró como primordial la capacitación y entrenamiento de los trabajadores. La opinión es muy favorable, por los resultados presentados y por la oportunidad de mejora continua.

Torres (2017) tuvo por problema el bajo nivel de disponibilidad de la máquina Chancadora, ocasionado por desconocimiento de los componentes críticos, no se elaboraba la matriz de análisis de modos y efectos de fallos y los programas se preparaban sin sustento técnico. Por ello implementó un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la chancadora. Los resultados obtenidos fueron: (a) logró incrementar la disponibilidad de 88.77% a 92.45%, (b) logró mejorar el TMEF de 240 a 350

horas, (c) logró reducir el TMDR de 35 a 32 horas en promedio. Las principales conclusiones a las que llegó el autor fueron: (a) Logró una correcta implementación de RCM, con el cual logró mejorar la disponibilidad de la máquina chancadora, (b) Resaltó la importancia de una adecuada preparación de la matriz AMEF para lograr los resultados obtenidos, (c) logró detectar y eliminar fallas inaceptables en los componentes. La opinión es muy favorable, por la rigurosidad del análisis.

Cormilluni (2019) tuvo por problema de investigación a la deficiente gestión de mantenimiento de maquinarias y equipos, las cuales interrumpían el proceso de producción y extendido de asfalto, los cuales ocasionaban incumplimientos de compromisos. Antes ese problema, el autor implementó la metodología RCM, con el cual logró mejorar el proceso de producción y extendido de asfalto, debido a que pudo identificar las causas de los problemas que originaban la falla. El autor llegó a los siguientes resultados (a) logró incrementar el OEE en 1.22%, (b) logró beneficios económicos durante cinco años, los cuales fueron incrementando año a año: S/. 157.48, S/. 176.64, S/. 198.05, S/. 217.95 y S/. 238.85; (c) logró un VAN positivo de proyecto de S/. 195,059.31. el autor llegó a las siguientes conclusiones: (a) implementar le permitió alcanzar los objetivos planteados, (b) logró mejorar los principales indicadores de mantenimiento. La opinión es muy favorable, por la calidad de información y uso de herramientas de ingeniería, estadísticas y económicas financieras.

Soto (2016) realizó una investigación para dar solución al problema de baja disponibilidad de los volquetes FAW, el cual afectaba el cumplimiento de compromisos y ocasionaba atrasos en trabajos de obras civiles. Ante ello, aplicó mantenimiento basado en la confiabilidad, el cual le permitió incremento de la disponibilidad mecánica de los volquetes FAW, eliminó las paradas imprevistas, logró disminuir costos de mantenimiento y de repuestos, así como logro minimizar pérdidas económicas. Logró como resultado el incremento de la disponibilidad de 90.14% a 92.034%. el autor concluyó que: (a) el componente causante

de los problemas fue el regulador de corriente del alternador; (b) implementó revisiones diarias a los componentes críticos. La opinión del trabajo es favorable, por presentas sustentos técnicos suficientes para validar su hipótesis de investigación.

Belli (2018) en su investigación identificó como problema cortes de energía y paradas no programadas, que afectaban el funcionamiento de un centro minero, ocasionado por deficiencias en los programas de mantenimiento preventivo. Aplicó RCM con el fin de optimizar la gestión de mantenimiento, empleó técnicas y herramientas asociadas. Llegó a los siguientes resultados: a) el valor presente neto obtenido fue US\$ 141,156.21, sustentó así la factibilidad de su proyecto; (b) obtuvo una tasa interna de retorno de 44%, lo cual sustentó la viabilidad de la implementación; (c) obtuvo una relación beneficio costo de 1.24. Las principales del autor fueron: (a) Reconocieron la importancia del análisis estadístico de datos; (b) logró resaltar la aplicación de las matrices de riesgos y criticidad mediante el AMEF; (c) logró establecer mejoras en la gestión de compras y abastecimiento de repuestos críticos. La apreciación es favorable, por la variada aplicación de herramientas y técnicas.

Cano (2014) propuso aplicar RCM para minimizar el alto número de paradas de máquina en la línea de producción, ocasionado por falta de mantenimiento de maquinaria antigua, además de baja disponibilidad de repuestos y equipos de reemplazo. Con la aplicación de RCM logró incrementar el nivel de confiabilidad, disminuir el tiempo de parada de máquinas por averías imprevistas. Los resultados más relevantes obtenidos por el autor fueron: a) Ahorro en líneas PET por US\$ 11'715,214.29, (b) obtuvo un valor presente neto del proyecto de mejoramiento de US\$ 1'054,793.90. Las principales conclusiones del autor fueron: (a) con la aplicación de la metodología RCM pudo incluir el mantenimiento autónomo para complementar su eficacia, (b) Estableció auditorías de proceso para asegurar que los cambios perduren en el tiempo. Se demostró que la aplicación de RCM es favorable para una empresa,

dado que permite mejorar la disponibilidad y confiabilidad de que los equipos operen en mejores condiciones.

Barrientos (2017) propuso aplicar RCM para mejorar la disponibilidad de operación de la maquinaria pesada, la propuesta se enfocó en la aplicación de la metodología AMEF, dado que permitía mejorar procedimientos, las cuales a su le permitió identificar las paradas y fallos de máquinas. El autor llegó a los siguientes resultados: (a) registró TMEF de 147 en el 2017 mientras que solo 97 en el 2016; (b) los costos de mantenimiento correctivo de los años 2017 versus 2016 se redujeron a US\$ 204,349.90 de US\$ 631,420.60; (c) el mantenimiento preventivo redujo a US\$ 31,422.90 de US\$ 48,100.80; (d) logró mejorar los indicadores de disponibilidad operativa entre los años 2017 y 2016, obteniendo 94% y 85% respectivamente; (e) el ahorro obtenido con la aplicación de la mejora fue de US\$ 206,097. Las principales conclusiones a las que llegó el autor fueron: (a) la correcta aplicación de la metodología AMEF, ofreció resultados positivos en los indicadores; (b) recomendó involucrar a todos los colaboradores para extender los procedimientos de mejora continua. La opinión sobre esta investigación es favorable por los buenos resultados alcanzados.

Núñez (2016) propuso aplicar RCM para incrementar la disponibilidad mecánica de los tractores D8T, debido a que presentaba frecuentes paradas inesperadas debido al deficiente control y ejecución de los programas de mantenimiento. En ese sentido enfocó su propuesta en implementar la metodología RCM en la gestión de mantenimiento, para lo cual aplicó la herramienta AMEF. Obtuvo por resultado que la disponibilidad mecánica se incrementara de 84% a 94%. Concluyó que: (a) Con el RCM se determinaron fallas críticas y mejoró el estudio de la criticidad de los equipos; (b) logró disminuir las paradas imprevistas de los tractores mediante el análisis modal de fallos y efectos. La opinión es favorable por la correcta aplicación de los conceptos de ingeniería.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Gestión de Mantenimiento

La gestión de mantenimiento tiene como objetivo principal, lograr la continuidad del negocio de manera eficiente y efectiva, eliminando las actividades innecesarias y desperdicios, obteniendo los costos asociados a mantenimiento en el mínimo posible, brindando a la cadena de valor, la calidad de producto requerida, el costo menor establecido, el tiempo de entrega acordado, el nivel de seguridad personal exigido por las normas laborales. El amplio cumplimiento de estos objetivos, demanda la correcta aplicación de metodologías, herramientas y técnicas de ingeniería, dirigidas y llevadas a cabo por ejecutivos, mandos medios y colaboradores que incluye técnicos, mecánicos, electricistas, entre otras especialidades que son necesarias. Entre las principales tenemos: (a) mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), (b) mantenimiento preventivo y predictivo, (c) mantenimiento autónomo, (d) análisis de modo y efectos de fallos (AMEF). Entre otras herramientas que es posible aplicar para optimizar (Socconini, 2019).

Los costos de mantenimiento representan aproximadamente entre 15% y 40% de los costos totales, dependiendo del sector donde se desarrolla una empresa, encontrándose que las reparaciones de emergencias ocasionan costos tres veces mayores que si fueran programadas (Socconini, 2019). En los sectores industriales, el 58% del costo de mantenimiento es ocasionado por deficiencia en la ejecución de la operación, mientras que el 17% por mala lubricación, así mismo, de 300 problemas menores, se generan 30 problemas medios, de estos, ocasiona un problema mayor (Socconini, 2019). Los problemas ocasionados por mantenimiento inadecuado, que causan importantes pérdidas son: (a) tiempos muertos por paradas inesperadas, (b) tiempos muertos por cambio de productos, (c) reducciones de velocidad, (e) defectos por arranque y cambios de productos, (f) defectos en el proceso. Entre otras dificultades observadas en el proceso (Socconini, 2019).

Las herramientas y técnicas de ingeniería que se apliquen, deben sustentarse a través de indicadores clave de gestión de mantenimiento (KPI Maintenance), que es posible determinarlos como: (a) indicadores a nivel de negocio, que se enfoca en los costos de mantenimiento, su distribución en sus componentes; (b) indicadores a nivel de cadena de valor, sustentado por $OEE = \text{disponibilidad} \times \text{rendimiento} \times \text{calidad}$, que fundamenta su cálculo en los índices de disponibilidad, rendimiento y calidad; (c) indicadores a nivel de proceso de mantenimiento, enfocados en el tiempo medio entre errores (MTBF), tiempo medio entre reparaciones (MTTR). Para implantar las medidas de mejora en la gestión de mantenimiento, se requiere establecer etapas que lo permitan: (a) la etapa planificación, que establece el diseño del sistema y procesos, definiendo los indicadores a seguir; (b) la etapa hacer, que impulsa la implementación del sistema y procesos, midiendo los desempeños; (c) la etapa estudiar, que analiza el desempeño, comparándolo con las mejoras prácticas y oportunidades generadas; (d) la etapa actuar, que establece acciones correctivas y preventivas, impulsando las mejoras e innovación. En la Figura 1, se muestra las etapas del proceso de implementación de las mejoras al sistema de mantenimiento (Socconini, 2019).

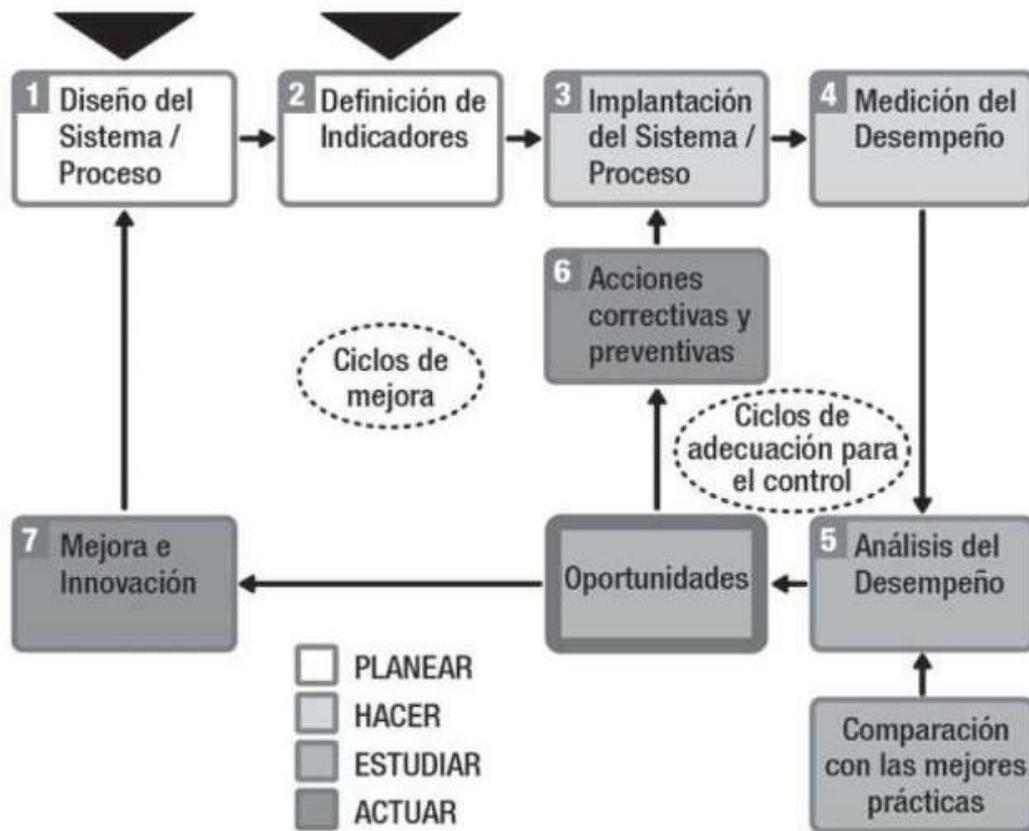


Figura 1. Etapas del Proceso de Implantación de Mejoras en Mantenimiento.
 Nota: Fuente: (Socconini, 2019).

Los beneficios que se espera con una eficiente gestión de mantenimiento, se establecen en diferentes aspectos: (a) lograr el máximo potencial de las instalaciones y del equipo; (b) mejorar la calidad de los productos y servicios; (c) reducir los costos asociados con reparaciones, tiempos muertos; (c) eliminar las grandes pérdidas ocasionadas por mantenimiento inadecuado; (d) disminución del consumo energético; (e) asegurar la integridad de los colaboradores y reducir los riesgos, (f) maximizar la efectividad de los equipos e incrementar su vida útil (Socconini, 2019).

2.2.2 *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)*

La metodología RCM es un proceso de análisis ordenado y sistemático, que tiene por finalidad establecer los fundamentos técnicos sobre el cual, sea posible planificar las

actividades de mantenimiento en instalaciones industriales, alcanzando en el proceso, un alto nivel de confiabilidad en el funcionamiento integral de la maquinaria, equipos e instalaciones industrial. Como consecuencia de implantar adecuadamente la metodología RCM, deben cumplirse los siguientes objetivos: (a) disminuir los tiempos de parada por averías e interrupciones no previstas, (b) reducir los costos de mantenimiento respecto a costos de fabricación, (c) cumplir los planes de producción en cuota, calidad y costo; (d) incrementar la disponibilidad de la maquinaria y equipos; (e) analizar las fallas y averías de maquinarias y equipos para planificar el mantenimiento preventivo. Para lograr una eficiente implementación, se requiere tener información, materiales y conocimiento, y realizar lo siguiente: (a) capacitar y entrenar a los colaboradores en tecnificación y uso de instrumentos; (b) mejorar los programas de abastecimiento de repuestos y equipos; (c) implementar tecnologías de información, para hacer más eficiente la administración automatizada de datos; (d) planificar el mantenimiento preventivo y predictivo en base en la información obtenida en los pasos anteriores (García S. , 2013).

Las ideas fuerza que fundamentan la aplicación y estableciendo de la metodología, están referidas (a) mantener la funcionalidad del sistema, que alcance niveles óptimos, incluye las instalaciones, maquinarias y equipos; (b) distinguir los elementos críticos y no críticos, siendo estos los que mantienen las restricciones más importantes; (c) actuar sobre los componentes críticos, enfocándose en las reparaciones o averías recurrentes; (d) identificar las causas de las fallas, a través de diagramas, estudios y análisis de las fallas; (e) estructurar las selección de las tareas, determinando la distribución óptima de la mano de obra calificada, de manera que se genere el mayor valor al proceso; (f) implantar sistemas de seguimiento y control, a través de medios automatizados de información, que permita tomar decisiones inmediatas respecto a las actividades de mantenimiento; (g) controlar los procesos operativos

de los equipos, estableciendo líneas de comunicación en tiempo real, enfocándose en el monitoreo constante de los equipos y maquinarias (Diaz, Gonzales, & Medrano, 2017).

En la Figura 2, se presenta la secuencia que se debe tener en cuenta, durante la aplicación de la metodología RCM.

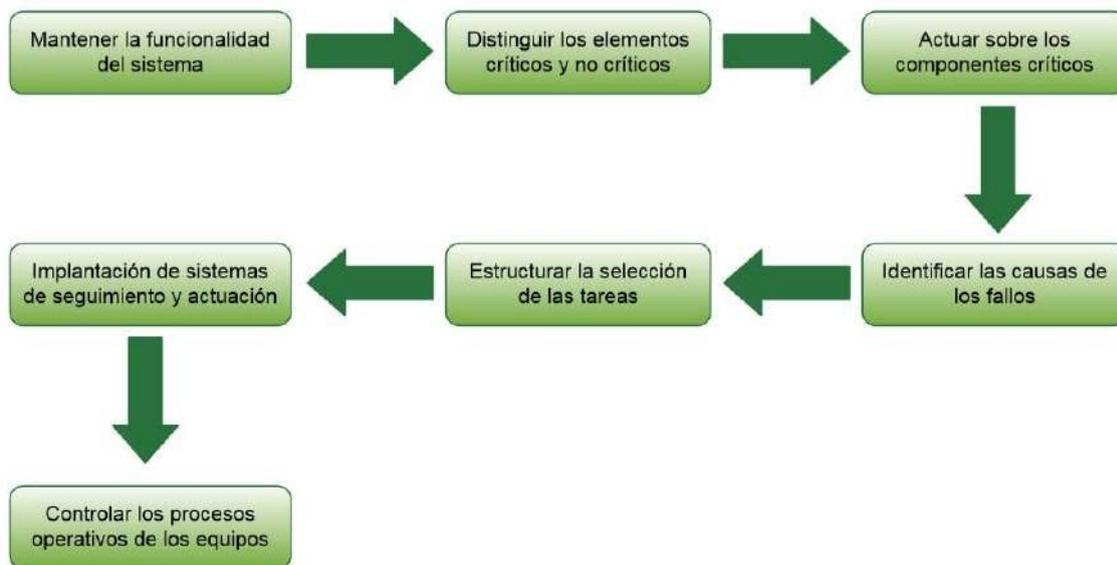


Figura 2. Fundamentos y Secuencia de la Aplicación de RCM.
Fuente: (García S. , 2013).

De acuerdo a los procedimientos establecidos por la metodología RCM se presentan a continuación el análisis de fallas potenciales que se debe realizar en una instalación industrial:

- (a) mejorar el entendimiento de la maquinaria y equipos, su funcionamiento y la atención que debe tener cada uno de sus componentes;
- (b) estudiar las posibilidades de fallas, estructurando mecanismos para evitarlos o prevenirlos e incrementar, como consecuencia, acciones que aseguren una alta disponibilidad;
- (c) determinar inventarios de seguridad de repuestos críticos, que eliminen la posibilidad de parada por ausencia de materiales de cambio;
- (d) establecer procedimientos operativos para las áreas de mantenimiento, sumado a planes de formación y

capacitación en asuntos de optimización en la gestión. Para lo cual es necesario establecer el cumplimiento de diez fases para la implantación de RCM, la misma que incluye al personal ejecutivo, mandos medios y colaboradores de planta, recibiendo el soporte de tecnología de información y base de datos de la empresa (García S. , 2013).

En la Tabla 1, se muestra las fases que se deberán cumplir durante el proceso de implementación.

Tabla 1.
Fases de Implementación de RCM.

Fases	Descripción	Responsabilidad
1	Definición clara de lo que se pretende implantando RCM, determinando indicadores, antes de iniciar el proceso.	Gerente de Mantenimiento
2	Determinación de las fallas funcionales y técnicas	Personal Técnico
3	Determinación de los modos de fallas o causas de cada uno, encontradas en la fase anterior.	Personal Técnico
4	Estudio de las consecuencias de cada modo de fallos, su clasificación de fallas: críticas, significativas, tolerables.	Equipo RCM
5	Determinación de medidas que evitan o disminuyen los efectos de fallas.	Equipo RCM
6	Agrupación de medidas preventivas en sus diferentes categorías: Plan de mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación y procedimientos.	Equipo RCM
7	Puesta en marcha de las medidas preventivas.	Equipo RCM
8	Evaluación de las medidas adoptadas.	Equipo RCM

Nota. XXX Fuente: (García S. , 2013).

2.2.3 Análisis de Modos de Fallos y Efectos (AMFE)

Es una herramienta que emplea un procedimiento analítico, a través del cual consolida información específica de los equipos, maquinaria o instalaciones, teniendo como principal finalidad, el de identificar las causas de las fallas que aún no se han producido, evaluando su criticidad, teniendo en cuenta su frecuencia de aparición y su gravedad. Permite prevenir las averías, reparaciones, paradas de los equipos industriales, sobre la base de determinar políticas

de mantenimiento y abastecimiento de repuestos, de estructurar el área de mantenimiento con un enfoque preventivo y predictivo, impulsado la conformación de equipos multidisciplinarios, que generan conocimiento y alternativas de solución a los problemas planteados. Para conseguirlo se debe establecer algunas definiciones de las etapas involucradas: (a) análisis de las funciones, a través del cual se describen las especificaciones y características del equipo o activo fijo de la empresa, se explican las expectativas de desempeño, como calidad del producto, cumplimiento de normas, integridad estructural; (b) descripción del fallo funcional, que se define como la incapacidad de satisfacer un nivel de performance esperado; (c) modo de fallo, especifica si se trata de un aflojamiento, atascamiento, fuga, agarrotamiento, entre otros modos, es la forma en que el sistema deja de funcionar; (d) causa raíz, que se define como una anomalía primaria, que facilita condiciones para la ocurrencia de fallas, pudiendo ser la suciedad, falta de lubricación, ausencia de calibración, algunos ejemplos podemos ver en la figura 3, (e) consecuencias o efectos, que ocurren sobre el producto, la producción, la salud del trabajador, directamente sobre la maquinaria y equipos (Díaz, Gonzales, & Medrano, 2017). Es así como en la Figura 4 se presenta un modelo de matriz AMFE.

Cuanto detalle se debe realizar para encontrar la causa raíz de la falla

En la práctica, puede resultar difícil encontrar un nivel de detalle adecuado. sin embargo, es importante hacerlo, porque el nivel de detalle afecta profundamente la validez del AMFE y la cantidad de tiempo necesario para hacerlo. muy pocos datos y / o demasiados detalles hacen que todos los procesos de RCM demoren mucho más de lo necesario dos o incluso tres veces más de lo necesario (un fenómeno conocido como parálisis de análisis), las causas o mecanismos de cualquier estado fallido se pueden definir con casi cualquier nivel de detalle. diferentes niveles son apropiados en diferentes situaciones. En un extremo, a veces es suficiente resumir las causas de una falla funcional en una declaración, como "falla la máquina", en el otro, es posible que necesitemos considerar que es lo que falla a nivel molecular o explorar los rincones más remotos de la psique de los operadores y mantenedores en un intento por definir la llamada causa raíz de la falla, en la Tabla 2 se presenta un modelo de tabla con niveles con la finalidad de explicar el detalle de las causas hasta llegar a la causa raíz (Marius Basson, 2018).

Tabla 2.

Documento para determinar los modos de falla en niveles de detalle.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Nivel 7
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Fuente: Adaptado (Marius Basson, 2018).

2.2.4 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo representa un conjunto de actividades orientadas a corregir y reparar fallas, averías, desconexiones, paradas intempestivas de la maquinaria, equipos e instalaciones de fábrica, cuando éstas han perdido operatividad, conocido como mantenimiento básico. Para una correcta aplicación del proceso de mantenimiento correctivo, se deben seguir algunas etapas específicas, la primera etapa corresponde a la planificación y el listado de los órdenes de trabajo, que incluye comunicación y coordinación con los equipos de trabajo. Una siguiente etapa corresponde al ordenamiento de los materiales y herramientas, puesta en marcha de los equipos y ejecución de órdenes de trabajo (Diaz, Gonzales, & Medrano, 2017).

Las siguientes etapas registran los resultados y el informe de trabajo realizado, adicionalmente, las observaciones y recomendaciones que permitan prevenir de alguna forma, la ocurrencia de fallas y averías. (Diaz, Gonzales, & Medrano, 2017).

En la Figura 4 se muestra el diagrama de proceso de mantenimiento correctivo, en el que se detalla paso a paso las tareas que se deberán cumplir.

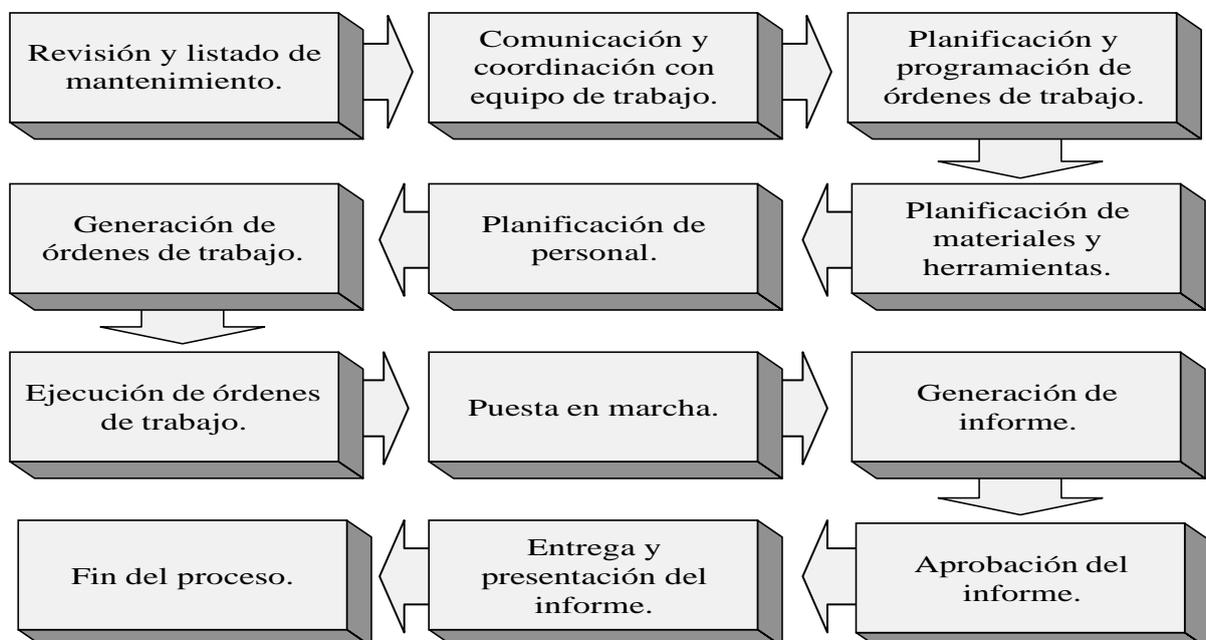


Figura 4. Diagrama de Proceso de Mantenimiento Correctivo.
Fuente: (Diaz, Gonzales, & Medrano, 2017).

2.2.5 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo tiene por finalidad, reducir la probabilidad de ocurrencia de averías y fallos en las maquinarias, equipos e instalaciones, antes que se produzcan, está compuesta por un conjunto de actividades programadas, reuniendo una serie de técnicas enfocadas en el cumplimiento del objetivo. La base del mantenimiento preventivo: (a) la inspección periódica de los equipos, maquinaria e instalaciones, para determinar las condiciones y nivel de criticidad; (b) el abastecimiento de repuestos y materiales, que permitan hacer los cambios antes de la ocurrencia de los fallos; (c) priorización de las tareas de mantenimiento, enfocado en optimizar los costos de producción y de calidad, en la criticidad que genera en la cadena de valor. Las ventajas del mantenimiento preventivo, se muestra en la Tabla 3 se muestra las ventajas del mantenimiento preventivo (Diaz, Gonzales, & Medrano, 2017).

Tabla 3
Fases de Implementación de RCM.

Número	Ventajas del Mantenimiento Preventivo
1	Disminuye el tiempo ocioso.
2	Disminuye los pagos por tiempos extras de trabajo.
3	Disminuye costos operacionales.
4	Minimiza la cantidad de productos rechazados.
5	Existe mayor seguridad en los operadores en el uso de la máquina.
6	Los equipos pueden trabajar sólo en horas programadas.
7	Cumplimiento de metas.
8	Conocimientos anticipados de presupuestos de mantenimiento.
9	Conocer índices de productividad.
10	Trabajo coordinado en servicio de mantenimiento.

Fuente: (Diaz, Gonzales, & Medrano, 2017).

2.2.6 OEE

Proviene de las siglas “Overall Equipment Effectiveness”, en castellano viene a ser la efectividad global de los equipos, y tiene la capacidad de medir la disponibilidad de los equipos cuando realmente se requiere, y este a su vez se encuentre trabajando a una velocidad ideal, permitiendo producir la salida esperada y dentro de los especificado por el área de calidad (Kenneth, 2017). Es conocido como un indicador cuya función es medir la eficacia de equipos (Touron, 2016). Una gran ventaja del resultado de este indicador es que permite mantener en control el rendimiento del proceso en análisis, generalmente este proceso es producción (Touron, 2016).

El OEE se obtiene a través de la multiplicación de otros 3 indicadores: Disponibilidad, rendimiento y calidad, donde la disponibilidad está dado por la división entre el tiempo productivo total entre el tiempo disponible; el rendimiento está dado por la división entre la producción real y la capacidad productiva y la calidad está dado por la división entre las piezas buenas en calidad y la producción real; en la siguiente figura se presenta la representación gráfica del OEE.

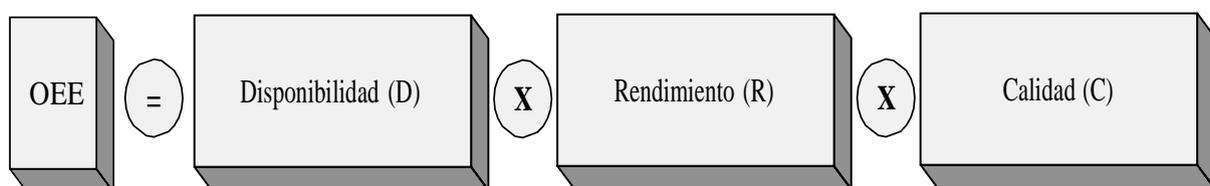


Figura 5. Representación gráfica del cálculo del OEE.
Fuente: Adaptado de Touron, 2016.

2.2.7 Niveles del OEE

Los niveles del OEE permiten determinar cómo se encuentra el proceso que se está midiendo, para ello es importante conocer los niveles o rangos que se presentan en la siguiente Tabla 4.

Tabla 4
Niveles del OEE.

Resultado	NIVEL	Situación	Competitividad
> 65%	Malo	Inaceptable	Muy Baja
> 65% y <75%	Regular	Aceptable solo	Baja
>75% y <85%	Buena	Aceptable	Ligeramente Baja o Media
>85% y <95%	Muy Buena	Aceptable	Buena
>95%	World Class	Excelencia	Excelente

Fuente: (González, 2012).

2.2.8 Criticidad.

Se define como el conjunto de factores, que, activados simultáneamente, crean condiciones para que las probabilidades de ocurrencia de fallas, paradas de máquina, accidentes laborales, se eleven considerablemente. La criticidad puede precipitar por la falta de calificación de la mano de obra, las condiciones medio ambientales, el deficiente mantenimiento de las instalaciones e infraestructura. Se expresa en rangos de baja criticidad, mediana y alta (Socconini, Lean Maintenance, más allá de la Manufactura, 2019).

2.2.9 Chancado o Trituración.

Operación metalúrgica con la que se inicia la preparación mecánica en el proceso de conminución en el cual se disminuye el tamaño de rocas mineralizadas de 1.5 m. aproximadamente en fragmentos pequeños del orden de 6.35mm a 9,5 mm, cuyo objetivo es iniciar con la liberación de metales económicamente valiosos por medio de fuerzas de compresión. El chancado principalmente se ejecuta por compresión del mineral entre

superficies rígidas, también intervienen fuerzas de impacto contra estas superficies rígidas, este proceso normalmente se realiza en seco y su conminución con el nivel determinado sirve de alimento al proceso de molienda donde se demanda también mucha energía. (Nataniel Linares, 2010).

Etapas de chancado.

De acuerdo al tamaño de trozos de mena las etapas de trituración son: chancado primario, chancado secundario, chancado terciario e incluso chancado cuaternario según requiera; las etapas están definidas por la razón de reducción de las chancadoras “Rr” obteniendo la proporción entre la abertura de alimentación “A” y la abertura de descarga del chancador en posición cerrada “S₀”.

$$R_R = \frac{A}{S_0}$$

En la práctica se utiliza la reducción del 80% , donde $R_r = F_{80} / P_{80}$. Donde F80 es la abertura de la malla que deja pasar el 80% de la alimentación y P80 es la abertura de la malla que deja pasar el 80% del producto.

El valor $R_r = F_{80} / P_{80}$ se puede variar en diferentes etapas de operación, normalmente es de 2 a 3 para chancadora de mandíbula y de 3 a 4 para chancadoras giratorias y de cono. (Nataniel Linares, 2010).

Chancado Primario

Etapas del proceso de trituración gruesa, en esta operación se fragmenta el mineral de mina en chancadoras de quijadas generalmente para la pequeña o mediana minería y en trituradoras giratorias en la gran minería. (Nataniel Linares, 2010).

Para la planta en estudio, el chancado primario trata mineral hasta de 700 mm. para fragmentarlo de 58mm a 6.5mm.

Chancado Secundario

Constituye la segunda etapa de conminución que comprende la reducción de tamaños de mineral de una alimentación proveniente de la descarga de la chancadora primaria, hasta productos que alimentarán las etapas de molienda para ciertos casos y en otras situaciones al chancado terciario. El tamaño de reducción va desde 9" o 6" a 2" o $\frac{3}{4}$ ", esta operación se realiza en chancadoras tipo cónicas. (Nataniel Linares, 2010).

Chancadora de quijadas o mandíbulas

Es un tipo de chancadora que produce la fragmentación del mineral por compresión mediante dos mandíbulas, una con muela fija y otra con muela móvil, las mandíbulas están dispuestas divergentemente en un ángulo de 26° aproximadamente; la mandíbula móvil se acerca a la mandíbula fija fracturando el mineral contenido en ella, luego la mandíbula móvil nuevamente se aleja de la fija permitiendo el avance del mineral triturado hacia la zona inferior que es la más estrecha y repite este ciclo hasta que el mineral abandona la chancadora por la abertura de descarga, ver Figura 6 con el modelo de una chancadora de quijadas (Nataniel Linares, 2010).

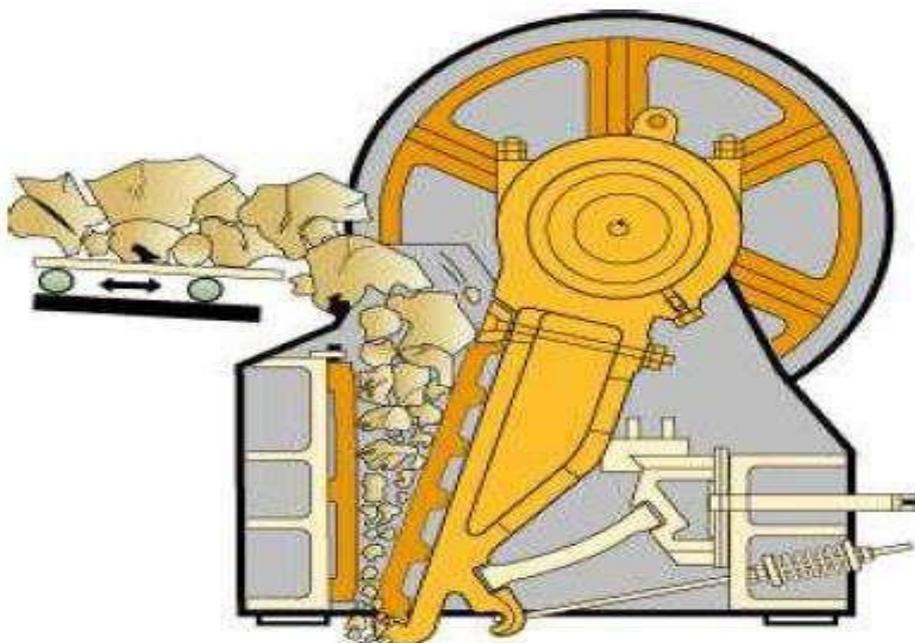


Figura 6. Chancadora de quijadas o mandíbulas.
Fuente: (Nataniel Linares, 2010).

2.2.10 *Mantenimiento Productivo Total*

Mantenimiento Productivo Total (TPM, por sus siglas en inglés) Metodología de trabajo en plantas de producción aplicable al mantenimiento industrial, sin embargo están involucrados todo el personal desde la alta dirección hasta los operarios de planta, la característica más saltante de ello es que existe una cultura de participación con motivación, que hacen de la gestión de mantenimiento un pilar para alcanzar la eficiencia total de los sistemas productivos, tomando en cuenta la selección, el diseño, hasta la corrección y prevención. (Luis Cuatrecasas, 2003).

2.2.11 *Objetivos del TPM*

El TPM tiene por objetivo incrementar la eficacia de los equipos en un sistema productivo por medio de la aplicación de un mantenimiento productivo, durante la vida útil del activo, desde el diseño, mejora de la mantenibilidad e incluye adaptaciones o mejora de las instalaciones. La metodología TPM involucra la motivación para el logro de los objetivos en todos los departamentos que planifican, seleccionan, diseñan, utilizan o mantienen equipos. y por medio de este esfuerzo, las empresas de producción podrán eliminar las seis grandes pérdidas que se muestran en la siguiente Tabla 5. (Hernández, 2013).

Tabla 5
Pérdidas en equipos de producción.

Tipo	Pérdida
Tiempo muerto.	1. Averías debidas a fallos en equipos. 2. Preparación y ajustes.
Pérdidas de velocidad.	3. Tiempo en vacío y paradas cortas. 4. Velocidad reducida.
Defectos.	5. Defectos en proceso y repetición de trabajos. 6. Menor rendimiento entre la puesta en marcha de máquinas y producción estable.

Fuente: (Hernández, 2013).

2.2.12 Lean Maintenance

El lean maintenance proporciona una metodología de gestión que se basa en el mantenimiento productivo total y con enfoque en la eliminación de todos los desperdicios, sobrecargas y desviaciones continuas para mantener los costos de mantenimiento en el mínimo necesario y la fiabilidad de las empresas en un alto nivel. El Lean Manufacturing busca integrar todos los procesos del negocio, incluyendo el mantenimiento, enfocado al servicio que recibe el cliente final, Lean elimina lo que no deberíamos estar haciendo ya que no aporta valor al cliente y elimina esas sobrecargas innecesarias. (socconini, 2019).

¿Que es el lean Maintenance?

Es la adquisición, aplicación y desarrollo de las mejores prácticas en los procesos de mantenimiento con el objetivo de dar continuidad sistémica a todas sus actividades del área de mantenimiento y generar valor a los productos y/o servicios del Mantenimiento Industrial que serán entregados al nuestro cliente final con la mejor calidad, costo, tiempo y seguridad (socconini, 2019).

Causas que disminuyen la productividad en el mantenimiento identificadas por “Lean Maintenance” :

Sobreactividades: Ejecutar mantenimientos muy frecuentemente cuando no se requiere, cambiar repuestos innecesariamente, demasiadas reuniones poco productivas.

Esperas y búsquedas: Esperas por entregas de ordenes de trabajo, esperas por entregas de materiales, herramientas, instrumentos, documentos, firmas y de equipos objeto de mantenimiento

Traslados y movimientos: Traslado de repuestos, Traslado de herramientas, transporte de personal.

Procesos innecesarios: Muchos reportes redundantes, Instructivos sin comprenderse o poco exactos, pedido de repuestos que no se necesita, reparaciones de equipos que no se requiere.

Exceso de recursos / inventarios: Demasidos de repuestos o herramientas, exceso de personal en la ejecución del mantenimiento, demasiada información con posibilidades de confundir al personal técnico.

Errores / defectos: Errores al ejecutar los mantenimientos, errores en la operación del equipo, reparar y descomponer otras cosas, dañar los equipos por desconocimiento o falta de destreza.

Sub utilización de personas: Personal especializado solo en algún tipo de equipos, desbalance en la delegación de tareas, personal con falta de entrenamiento, expertos que no comparten conocimiento, no escuchar las ideas de mejoras que diga el personal.

Sobrecarga: Demasiada carga de trabajo, desperdiciar el tiempo, horas extras para terminar el mantenimiento, asumir muchos riesgos en mantenimientos de equipos.

Variabilidad: Costo de mantenimiento con picos altos en las tendencias, variabilidad en los tiempos de ejecución de los mantenimientos, la calidad del servicio de mantenimiento es inestable. (socconini, 2019).

2.3 Definición de términos:

Indicadores.

Se define como la medida cuantitativa del comportamiento de un proceso, denominados también indicadores claves de desempeño (KPI). Existiendo niveles en su presentación:

(a) estratégicos, a nivel gerencial,

(b) tácticos, a nivel ejecutivo, aplicado a los procesos en áreas específicas;

(c) operativos, a nivel mandos medios, aplicado a los sub-procesos de actividades específicas.

Todos ellos deben estar alineados con el objetivo general de la empresa (D'Alessio, 2015).

Blending.

Es una estrategia de procesamiento metalúrgico para minerales de difícil tratamiento para maximizar la recuperación de yacimientos. Consiste en la mezcla de un mineral de baja ley con otro de fácil recuperación con leyes medias o altas en una proporción másica determinada y el fin es obtener una ley uniforme para alimento a las plantas de beneficio. (Informe de memoria, Danilo Soto, 2017).

Planta de Beneficio de Mineral

Planta de procesamiento cuyo objetivo es extraer y concentrar el metal con valor económico de una roca mineralizada obtenida de un yacimiento, las plantas de beneficio también pueden incluir la purificación, fundición o refinación de metales, mediante procesos físicos, químicos y/o físico-químico. Por tanto, podemos plantear que una planta de beneficio de mineral comprende la preparación mecánica, metalúrgica o refinación. (Ley General de minería 2020; Osinerming). En el presente trabajo de investigación se utiliza en forma indistinta el término “Planta de beneficio” o “Planta Concentradora”.

Planta Concentradora

Una Planta Concentradora es una unidad metalúrgica conformada por una serie de equipos donde el mineral que es alimentado es procesado hasta obtener uno o más productos valiosos denominados “concentrados” y un producto de desecho denominado “relave”. (Nataniel Linares, Procesamiento de Minerales, Mineralurgia I, 2010).

Conminución.

Se denomina así al proceso por el cual se produce una reducción de volumen y tamaño, en el sector minero este inicia en el proceso denominado chancado y tiene por proceso final a la molienda (Hernández C. , 2019).

Setting de Chancadora de Quijadas.

Distancia más cercana entre las superficies de las caras de mandíbulas estacionaria y oscilatoria, medida en el fondo o parte más baja de la cámara de chancado, la medición se hace pico a pico entre los forros fijo y móvil que tienen geometría ondulada. (Manual, Jaw Crusher CT3042, 2016).

Forros de Chancadora de Quijadas

Son las placas fija y móvil de desgaste para triturar y sacrificio para proteger, van instalados sobre los bastidores de las mandíbulas de una chancadora de quijadas, hechos de aleaciones al manganeso y que deben ser cambiadas al final de su desgaste por uso operativo. (TRIO Copyright, 2013).

Ley de Mineral

Término que expresa el contenido del elemento explotable de una mena, se expresa en términos de porcentajes como en el caso de cobre, plomo, estaño o en términos de gramos por tonelada en casos de plata y oro. (Leyes de mineral, Pérez Cárdenas, Johana Giorget, 2019).

Ley de cabeza.

Denominado así a la relación expresado en porcentaje (%) de la cantidad de contenido de mineral fino que ingresa a un proceso denominado concentración (Kasmaeeyazdi, Tinti, & Bruno, 2018).

Ley de Cut-Off.

También llamada “Ley de corte”, es grado de ley mínima que se requiere para que la extracción de un mineral sea rentable. El mineral que se encuentre por encima de este grado de ley se considera como mineral de valor económico condicionado al precio del metal en el mercado, a métodos y tipos de tecnologías de extracción y procesamiento. mientras que el mineral por debajo de este grado de ley se considera escombros (José Gregorio Freites, 2017).

Ore-Sorting

Tecnología de separación de partículas de mineral que se basa en las propiedades físicas como color, brillo, transparencia, conductividad, densidad atómica de rayos-X, volumen 3-D, forma de proyección 2-D y lo clasifica en “producto” y “residuo” (Mintek Metallurgical Innovation, 2015).

La empresa donde se realizó el trabajo de investigación utiliza la tecnología con densidad atómica de rayos X y emplea sensores de transmisión de rayos-X que unido a un gran procesador de datos identifican inclusiones de estaño y lo separan con toberas neumáticas en “pre-concentrado” y “desmonte”, generando incrementos de ley. (Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, 2016).

Sorter

Equipo provisto de tecnología Ore-Sorting que posee además alimentador vibratorio, faja transportadora, cámaras de separación de mineral, procesadores de datos, computador, sistemas de seguridad ore-Sorting, tablero eléctrico fuerza-control y panel de operador. Su función es realizar clasificación de mineral mediante la tecnología Ore-Sorting.

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Variables

Según su función en una relación causal donde las variables se clasifican en independientes y dependientes (Fidias G. Arias, 2012).

3.1.1 Definición conceptual de las variables

Variable independiente:

De acuerdo con Baena (2017) la variable independiente es aquella que tiene la característica de actuar como causa del comportamiento de aquello que estamos estudiando, de acuerdo a ello la variable independiente es la metodología RCM ya que esta actuaría como causa de los resultados del indicador OEE.

Las dimensiones de la variable independiente son: confiabilidad y mantenibilidad, las cuales se describen a continuación:

Dimensión Confiabilidad

Índice que mide que un equipo no falle bajo condiciones definidas en un tiempo determinado (Asociación Española para la Calidad, 2018), representado mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Confiabilidad} = \frac{TMEF}{(TMEF + TMPR)}$$

Donde:

TMEF = Tiempo medio entre fallas

TMPR = Tiempo medio para reparar

Dimensión Mantenibilidad

Índice que mide la rapidez de reparación de equipos cuando existen fallos (Asociación Española para la Calidad, 2018), representado mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Mantenibilidad} = \frac{TTRD}{TTD}$$

Donde:

TTRD = Tiempo total real disponible

TTD = Tiempo total disponible

Variable dependiente:

De acuerdo con Salgado (2018) la variable dependiente son el efecto o consecuencia de la manipulación de la variable independiente, la cual se espera que tenga un efecto positivo sobre aquello que queremos medir, de acuerdo con ello la variable dependiente es el indicador OEE el cual pretendemos mejorar manipulando la variable independiente que es el RCM aplicado en cierto grado.

Las dimensiones de la variable dependiente son: Disponibilidad, rendimiento y calidad, las cuales se describen a continuación:

Dimensión Disponibilidad

Se define como el tiempo en que un activo, equipo o maquinaria, se encuentra en disposición de la planta para producir. Dicho tiempo se excluye de afectaciones propias del proceso productivo que existan en la planta, que impidan o no permitan que el activo se encuentre operativo (Diaz, Gonzales, & Medrano, 2017). Se representa mediante la siguiente fórmula:

$$D = \frac{TTD - TPM}{TTD}$$

Donde:

D: Disponibilidad.

TTD: Tiempo total disponible.

TPM: Tiempo de parada por mantenimiento.

Dimensión Rendimiento

Referido a la óptima utilización de la capacidad de una máquina o equipo durante el tiempo que se encontraba en funcionamiento operativo, es decir en proceso productivo, en ese sentido (D'Alessio, 2015), en la planta de proceso de chancado se tiene que:

Tasa de rendimiento en energía: Es el resultado de consumo de energía eléctrica por tonelada de mineral procesado al tener ciertas condiciones de desgaste de forros de quijadas y estado de componentes de transmisión mecánica al Pitman.

Para este trabajo se considera como rendimiento, al rendimiento del motor, es así que se presenta la siguiente fórmula:

$$R = \frac{E_{Trans}}{P_{No}}$$

Donde:

R: Rendimiento.

E_{Trans}: Potencia Real Transmitida (94% de Eficiencia de transmisión)

P: Potencia nominal.

Dimensión Calidad

Se define como el cumplimiento de las especificaciones solicitadas por el cliente, tanto externo como interno dentro de la empresa, aplicado a los productos terminados y en proceso.

La calidad de un producto lo define, la menor calidad de uno de sus componentes, lo que determina la funcionalidad del producto, su durabilidad y vida útil esperada.

Se calcula determinando la relación entre el número de productos que si cumplen las especificaciones y el total de productos. Se expresa en porcentajes (Socconini, Lean Company: Más allá de la manufactura, 2019), la fórmula de cálculo es la siguiente:

$$C = \frac{PR}{PTC}$$

Donde:

C: Calidad.

PR: Producción real.

PTC: Producción teórica calculada.

3.2 Metodología

3.2.1 Tipo de estudio

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que según Gallardo (2017) la investigación cuantitativa es aquella en la que se recogen y analizan valores o datos numéricos y se centra en el estudio de las relaciones entre variables cuantificadas. En este sentido el presente estudio trabaja con datos numéricos los cuales sustentan el problema, permite calcular y medir resultados para finalmente esperar que la aplicación de la metodología RCM influya positivamente en el resultado del indicador OEE.

De acuerdo con Salgado (2018), la investigación aplicada se enfoca a la resolución de problemas prácticos con un margen de generalización limitado, su objetivo de realizar aportes al conocimiento científico no es prioritario. En este sentido la investigación que se va a realizar es también del tipo aplicada porque busca resolver el problema planteado en la chancadora

primaria mediante la utilización de la metodología RCM y herramientas propias de la Ingeniería Industrial aprendidas a lo largo de los estudios universitarios.

Según Baena (2018) la investigación aplicada concentra su atención en las posibilidades concretas de llevar a la práctica teorías generales, y destina sus esfuerzos a resolver necesidades que se plantean. Para nuestro caso pretendemos llevar a la práctica las teorías de la metodología RCM para resolver la necesidad de mejora del OEE en la chancadora primaria.

3.2.2 Diseño de investigación

Fidias G. Arias (2012) plantea que la investigación de campo recolecta datos en forma directa de los objetos investigados o del lugar donde ocurren los hechos, ellos son datos primarios. El investigador colecta información de primera mano y no altera las condiciones existentes, se coincide con el autor ya que en la investigación se recolecta datos primarios de la planta donde ocurren los hechos, para más adelante analizarlos y concebir el estado actual de la problemática.

La autora Guillermina Baena (2017) sostiene que los objetos de estudio de la investigación de campo son todos los datos recolectados, registrados y ordenados y a partir de allí existe un potencial de obtener instrumentos para controlar fenómenos

Según este planteamiento, el registro de datos recolectados y ordenados se convertirán en materia de estudio para que el RCM pretenda controlar el resultado de forma positiva del OEE.

3.2.3 Método de investigación

A continuación, se presenta la siguiente figura con el esquema que sintetiza el método de investigación utilizado en el presente trabajo a través de 5 pasos.

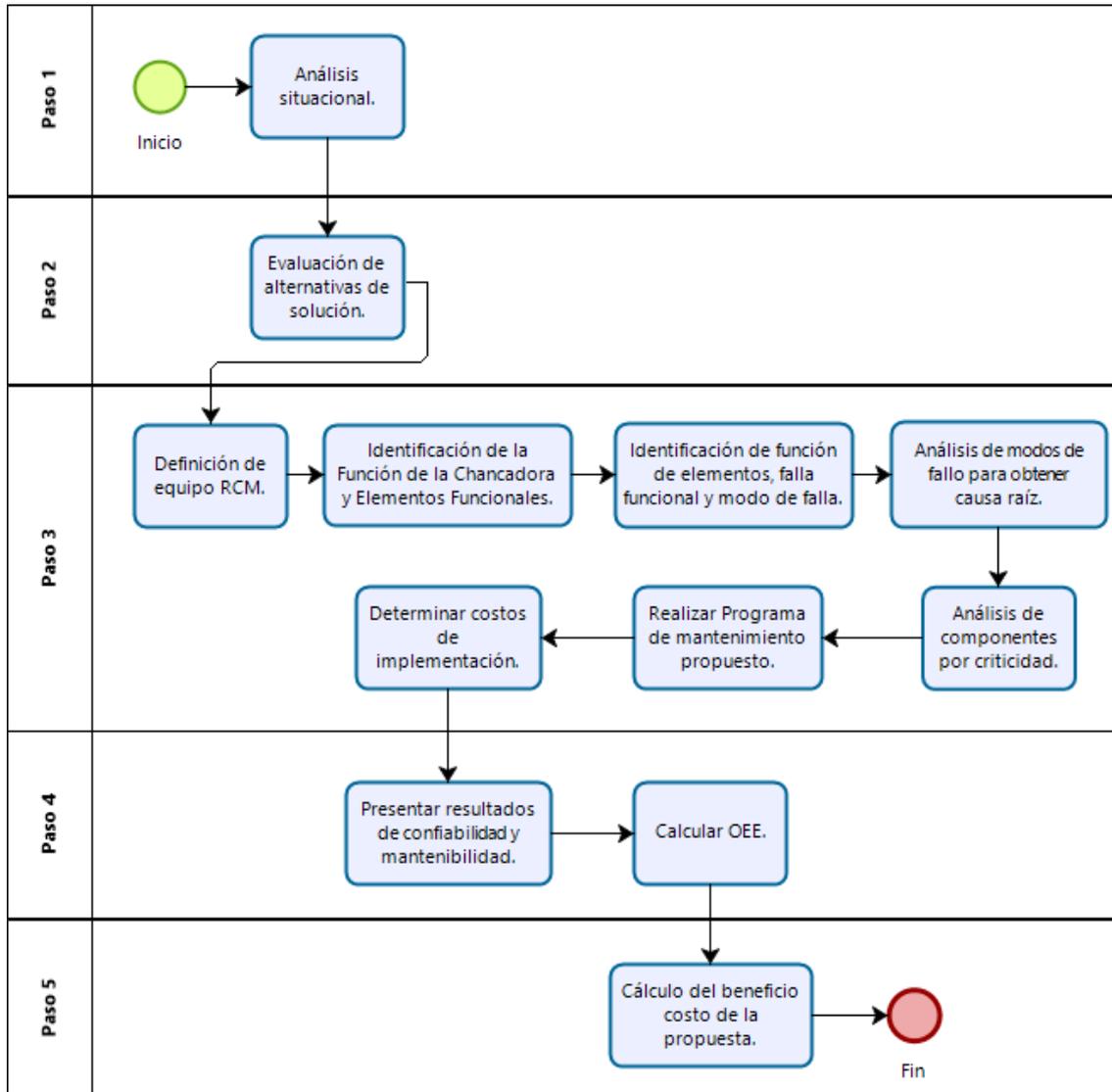


Figura 7. Esquema de método de investigación utilizado para aplicar la propuesta.
Fuente: Elaboración propia.

Paso 1: Se realizó el análisis situacional de la empresa, identificando que el problema que genera el bajo índice de OEE es la chancadora de quijadas, en esta etapa se calcula la confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, rendimiento, calidad y finalmente el OEE bajo la situación actual, es decir antes de aplicar la mejora.

Paso 2: Con la finalidad de elegir la metodología más adecuada que permita la mejor solución al problema, se utiliza la Metodología de proceso jerárquico analítico (AHP) mediante el cual se analiza una terna de metodologías en base a tres criterios, eligiendo así a la metodología RCM.

Paso 3: Primero se procede a definir al equipo que formara parte y será el responsable de aplicar el RCM en la empresa en estudio, luego se procede a identificar la funcionabilidad de la chancadora de quijadas, con la finalidad de identificar los fallos y modos de fallos funcionales, para luego analizarlos y así obtener la causa raíz, luego se procede a analizar los componentes de criticidad, seguidamente se procede a realizar el programa de mantenimiento preventivo, finalmente se procede a determinar los costos de implementación.

Paso 4: Se procede a presentar los resultados post mejora: Confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, rendimiento, calidad y finalmente el OEE.

Paso 5: Finalmente, se procede a calcular el beneficio costo de la propuesta.

3.2.4 Población y muestra

Población:

La población en estudio se encuentra constituida por 8 equipos que realizan el procesamiento del mineral en el proceso de chancado primario, conformado por los siguientes:

- Chancadora de quijadas.
- Zaranda tipo Scalper
- Faja transportadora 1
- Electroimán 2
- Alimentador mineral marginal
- Parrilla
- Electroimán 1

- Tolva alimentación

Los motivos por lo que se eligió a esta población son los siguientes:

- Todos estos equipos transportan el mineral de chancado primario.
- Todos estos equipos se encuentran sometidos a los impactos y abrasiones que genera la carga de mineral de chancado primario.
- Todos estos equipos poseen mecanismos para arrastre de mineral u oscilatorios que intervienen en el proceso de chancado.
- Además, estos equipos se encuentran sometidos a atascamientos por cargas del mismo tipo de mineral.

De acuerdo con Salgado (2018) se considera como población al conjunto de personas, cosas u objetos, entre otros que se quiera someter a estudio, con la particularidad que todos tienen características en común.

Muestra:

La muestra se encuentra formada por un solo equipo del proceso de chancado primario: La chancadora primaria del tipo quijadas, que es uno de los elementos del sistema de chancado y que representa el 12.5% de la población; sin embargo, representa el 44.44% de las paradas de máquina en el proceso de chancado primario.

Ver la Figura 8 con la identificación del equipo considerado como la muestra en investigación.

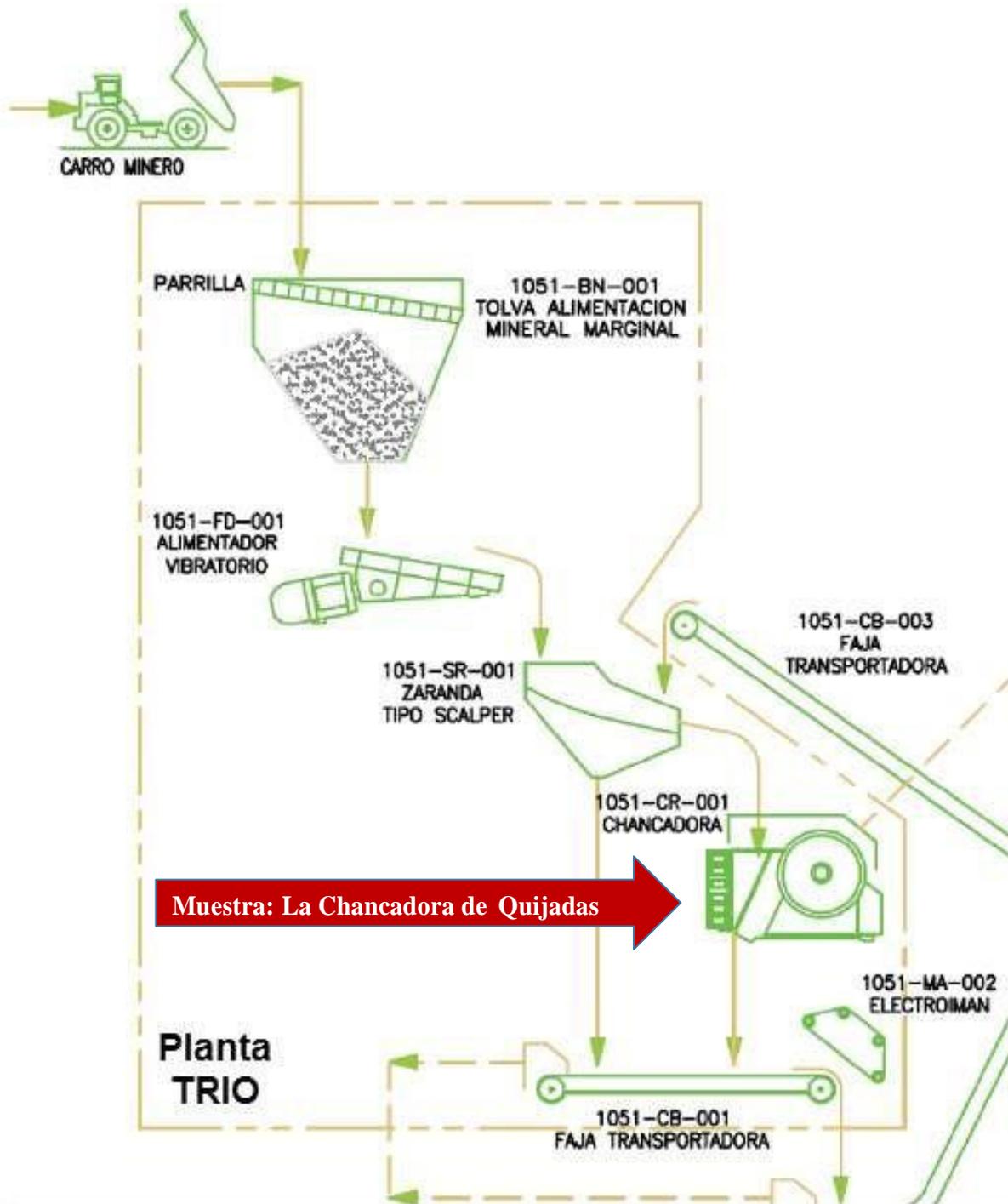


Figura 8. Identificación de la muestra dentro de los 8 equipos que conforman la población en investigación.

Fuente: Empresa en estudio.

Según Salgado (2018) la muestra está constituida por una parte representativa de la población, la cual será sometida a prueba para efectos de corroborar si se logra o no dar solución

a la problemática; siendo a su vez este tipo de muestra no probabilística, dado que es elegida por necesidad de estudio a criterio del investigador (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

3.2.5 Instrumentos de recolección de datos

De acuerdo con Salgado (2018), los instrumentos son los medios por los cuales se logra recopilar datos, información necesaria con el fin de corroborar los resultados respecto a los objetivos planteados en la investigación.

Los instrumentos de recolección de datos fueron:

- Formato para recopilar paradas por tipo de máquina en el proceso de chancado primario. – Ver Anexo 1.
- La matriz FMEA. – Ver Anexo 2.
- Matriz para el análisis modo de falla para obtener causa raíz. – Ver Anexo 3.
- Matriz para el análisis de decisión del RCM por causa raíz en función a los elementos funcionales de criticidad. – Ver Anexo 4.
- Formato para análisis de criticidad. – Ver Tabla 29.

3.2.6 Técnicas de investigación

Para la presente investigación se utilizó:

La observación en el análisis de campo de la situación actual y para la aplicación del RCM, dado que se debía analizar los modos de fallos en la misma planta procesadora de chancado primario.

El análisis documental, a través de la revisión de reportes de producción y de paradas de equipos con la finalidad de analizar el OEE.

En el Anexo 5 se presenta la matriz de operacionalización de las variables en estudio.

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

4.1 Análisis situacional

4.1.1 Ubicación geográfica

La Unidad Minera está ubicada en el departamento de Puno, provincia de Melgar en el nevado de Quenamari de la cordillera Carabaya parte de la cordillera oriental a una altitud de 4500 m.s.n.m. En la figura 9 se muestra su ubicación y referencia de trayectoria desde la ciudad de Juliaca hacia la unidad minera.

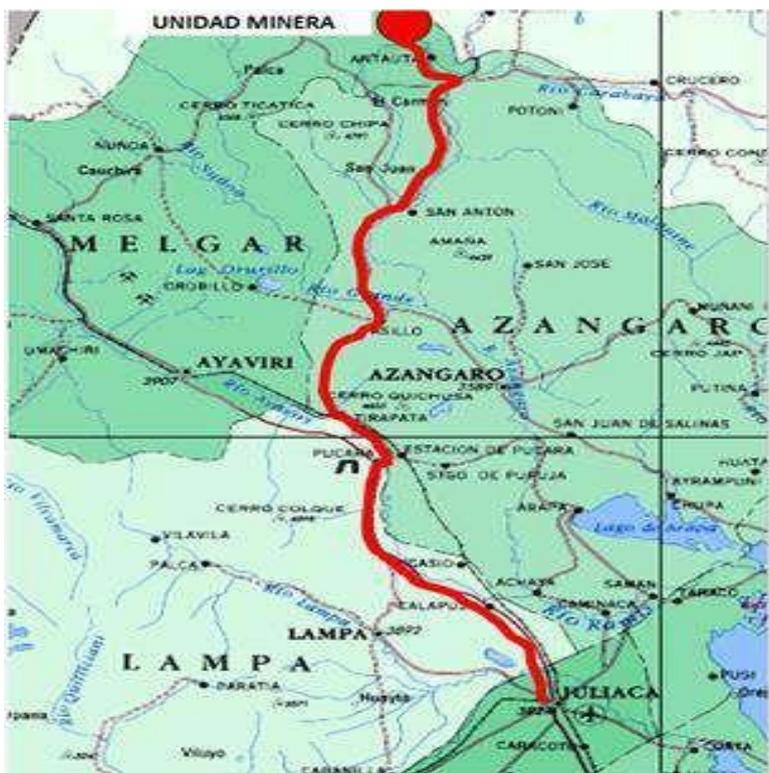


Figura 9. Mapa de referencia de ubicación geográfica de la unidad minera.
Nota: Mapa de referencia de ubicación geográfica de la unidad minera.

4.1.2 Historia de la empresa

La empresa minera fue adquirida por sus actuales accionistas en el año 1977, en sus inicios producía cobre y estaño como subproductos, en el año 1992 el estaño se tornó en el único metal de producción; el tipo de operación que realiza la empresa es subterránea, la

explotación de tajos en mina son mediante sistemas mecanizados, su planta de beneficio utiliza los procesos de concentración gravimétrica y flotación; las certificaciones que ha logrado la empresa son: ISO 14001, ISO 9001, OHSAS 18001, la unidad minera cuenta con el proceso innovador ore-Sorting, tecnología alemana que mediante el uso de rayos X, analiza la composición de las rocas e identifica aquellas que tienen inclusiones de estaño.

El proceso de ore-Sorting se encuentra en la Planta de Pre-Concentrado que cuenta con procesos de chancado primario y secundario, procesos de clasificación por tamaño de partículas mediante de zarandas vibratorias y los equipos Sorters que son los que poseen la tecnología ore-Sorting, en esta planta se ha observado que existen mantenimientos correctivos no programados, el cual afecta la confiabilidad, así mismo se hace que los forros de las mandíbulas de la chancadora se desgasten al máximo, obteniendo menores ratios de toneladas por hora, afectando la eficiencia del equipo, también se ha detectado que cuando el mineral triturado está por encima del tamaño estándar de funcionamiento afecta a la calidad del chancado, tomando en cuenta la calidad al tamaño de partícula y a la vez genera que se ralentice el proceso de chancado secundario, observando mayor recirculación en ese circuito y verificado a través de variaciones menores de producción de pre-concentrado.

4.1.3 Organigrama de la empresa minera

Con el fin dimensionar y conocer el área de competencia del problema, se presenta el organigrama de la empresa, donde se busca identificar el área de mantenimiento mecánico, área responsable del mantenimiento del proceso de chancado, es así que se presenta la Figura 10 con el organigrama general de la unidad minera en estudio, donde se resalta el área correspondiente al área de la gerencia de operaciones, área donde se ubica al área de mantenimiento mecánico.

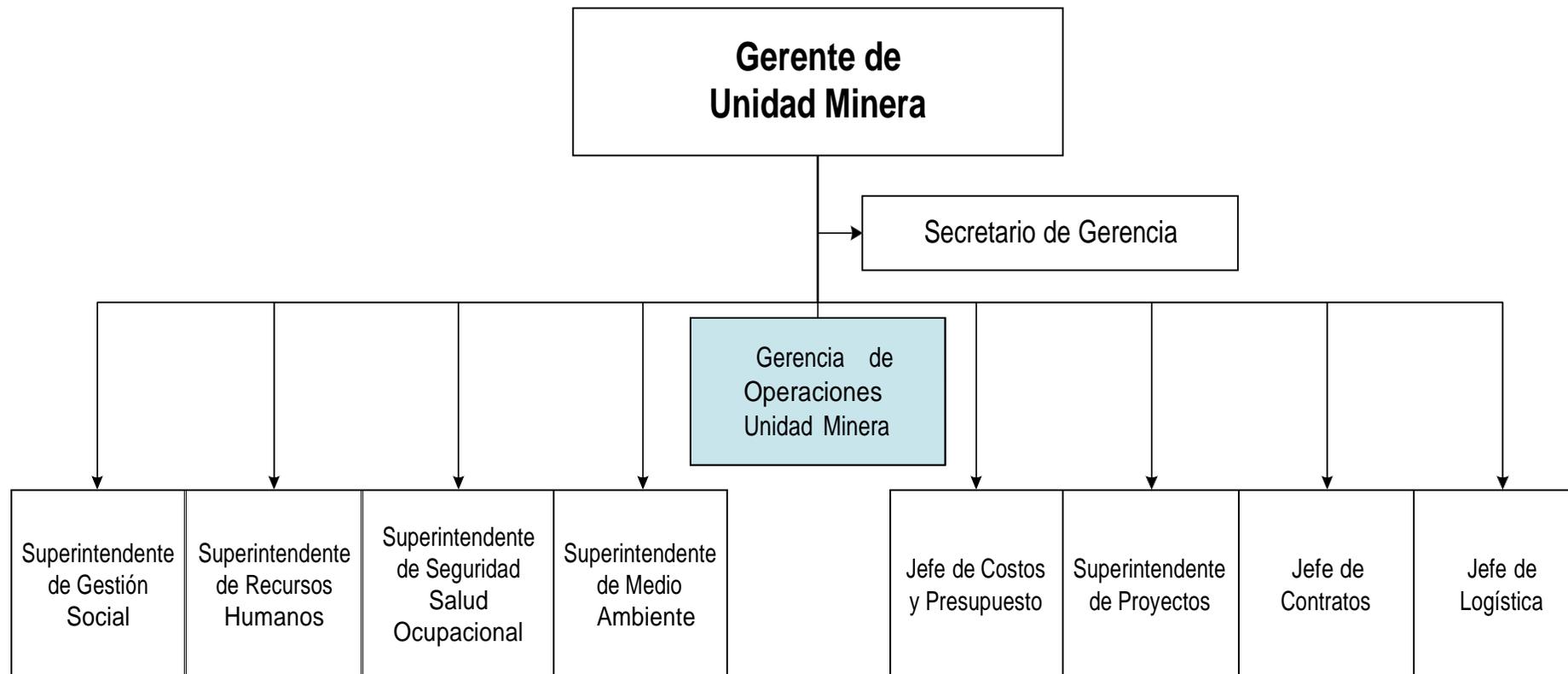


Figura 10. Organigrama unidad minera.
 Fuente: Empresa en estudio.

4.1.3.1 Mapa de procesos de empresa minera

A continuación, se presentan el mapa de procesos de la empresa minera, es así que se tiene la Figura 11, en la cual se presenta el mapa de procesos de valor de la empresa minera, en el cual se presentan los procesos estratégicos, operacionales y de soporte, donde:

Los procesos estratégicos se encuentran representados por la alta dirección, las relaciones comunitarias y la gestión del SIG; como parte de los procesos operativos se considera a la exploración geológica, al planeamiento operativo de mina, a la explotación de producción mina, la planta de pre concentración, al proceso de beneficio mineral que viene a ser la planta concentradora, al proceso de mantenimiento y al proceso de aseguramiento y control de calidad. Luego, se tiene como procesos de soporte a los procesos de proyectos, logística, recursos humanos, tecnología de información, seguridad y salud ocupacional, contratos, costos y presupuestos y medio ambiente. Finalmente, se tiene también como parte de los procesos de soporte a los procesos corporativos de Lima con las áreas de compras, transporte y el área legal.

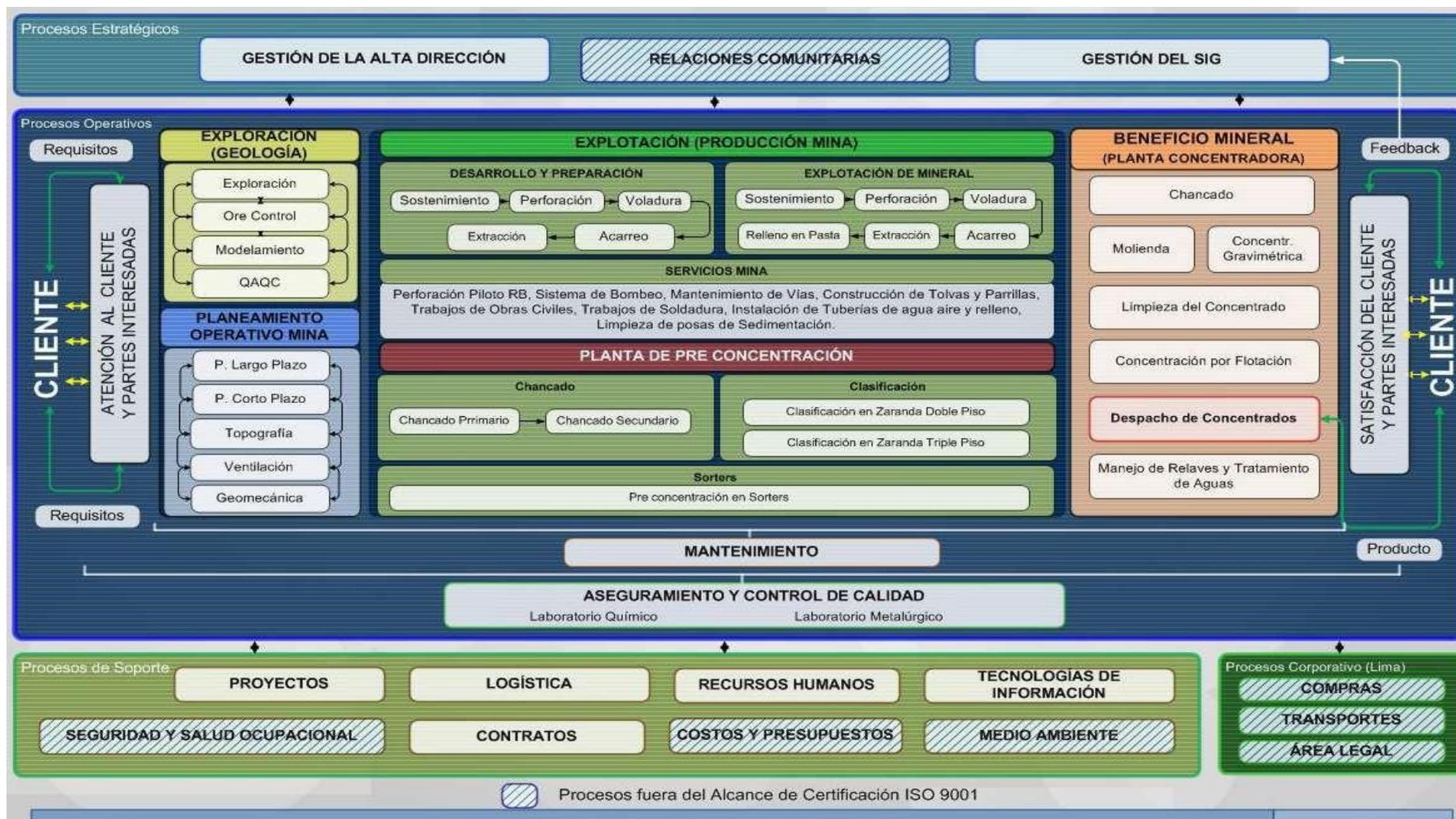


Figura 11. Mapa de procesos de valor- Unidad Minera.
Fuente: Empresa en estudio.

4.1.3.2 Área de estudio dentro de la empresa minera

La investigación se enfocará en el área de mantenimiento donde se han identificado los principales problemas en la Planta de Pre-Concentrado. A continuación, se describirán los principales características y procesos de esta área.

4.1.3.3 Datos del área de trabajo: Área de mantenimiento

El área de mantenimiento de la unidad minera está a cargo de la Superintendencia de Mantenimiento, encargado de organizar y liderar al equipo de mantenimiento alineado a las políticas y estándares de la empresa minera, elabora y planificar el presupuesto del área; es el responsable de definir y controlar los planes de mantenimiento para garantizar la funcionalidad de los equipos de producción en mina y superficie, asegurar una disponibilidad que permita cumplir con los planes de producción e incentiva el desarrollo e implementación de nuevas técnicas de mantenimiento que se enfoquen en la confiabilidad de equipos e incrementen el nivel de gestión.

La Superintendencia para cumplir con sus objetivos tiene a su cargo el área de Planeamiento y las áreas de mantenimiento Mecánico Planta, Eléctrico Planta y Mantenimiento Mina. Planeamiento es el área que se encarga de la planificación del mantenimiento de planta concentradora y mina, realiza las siguientes funciones:

Planeamiento: Determinar las estrategias de mantenimiento a utilizar junto con la Superintendencia, establece el plan de mantenimiento que incluye tipos y frecuencias de mantenimiento, determinan los indicadores de mantenimiento.

Organización: Delegar las funciones al personal y realizar la distribución de recursos.

Programación: Determinar cuándo realizar el mantenimiento, quien y donde se ejecutará.

Control: Revisar y analizar indicadores para tomar acciones correctivas y mejora

El área de mantenimiento mecánico planta, donde labora el investigador está formada por un equipo de 29 personas, las cuales prestan servicio de mantenimiento a la Planta concentradora en las áreas de molienda, gravimetría, flotación y filtrado. El mantenimiento del área de Chancado se encuentra tercerizado, la ejecución del mantenimiento se realiza por medio de una empresa contratista. La Planta Pre-Concentrado es la planta objeto de estudio de investigación, el cual también se encuentra a cargo de terceros, sin embargo, las empresas contratistas son supervisadas por un personal del área de mantenimiento propio de la empresa minera. El mantenimiento de todos los equipos y maquinarias para la explotación mecanizada lo realiza el área de Mantenimiento Mina.

Respecto al almacén, la empresa en estudio tiene inventarios de suministros y repuestos para atender a los 1014 equipos que se utilizan directamente en la producción, de los cuales 820 equipos se encuentran en la planta y 194 equipos se encuentran en la mina.

Respecto a los proveedores, se tiene 13 proveedores aproximadamente, los cuales son considerados como estratégicos, debido a que son los que aseguran los repuestos y suministros que requiere el área de mantenimiento.

4.1.3.4 Organigrama de área mantenimiento dentro de empresa minera

La Figura 12 muestra donde se ubica jerárquicamente el área de mantenimiento “Superintendencia de Mantenimiento” como representación de mayor cargo, quien reporta a la Gerencia de Operaciones. Es la Gerencia de Operaciones encargada de liderar, planificar y gestionar los procesos, programas y proyectos de la unidad minera.

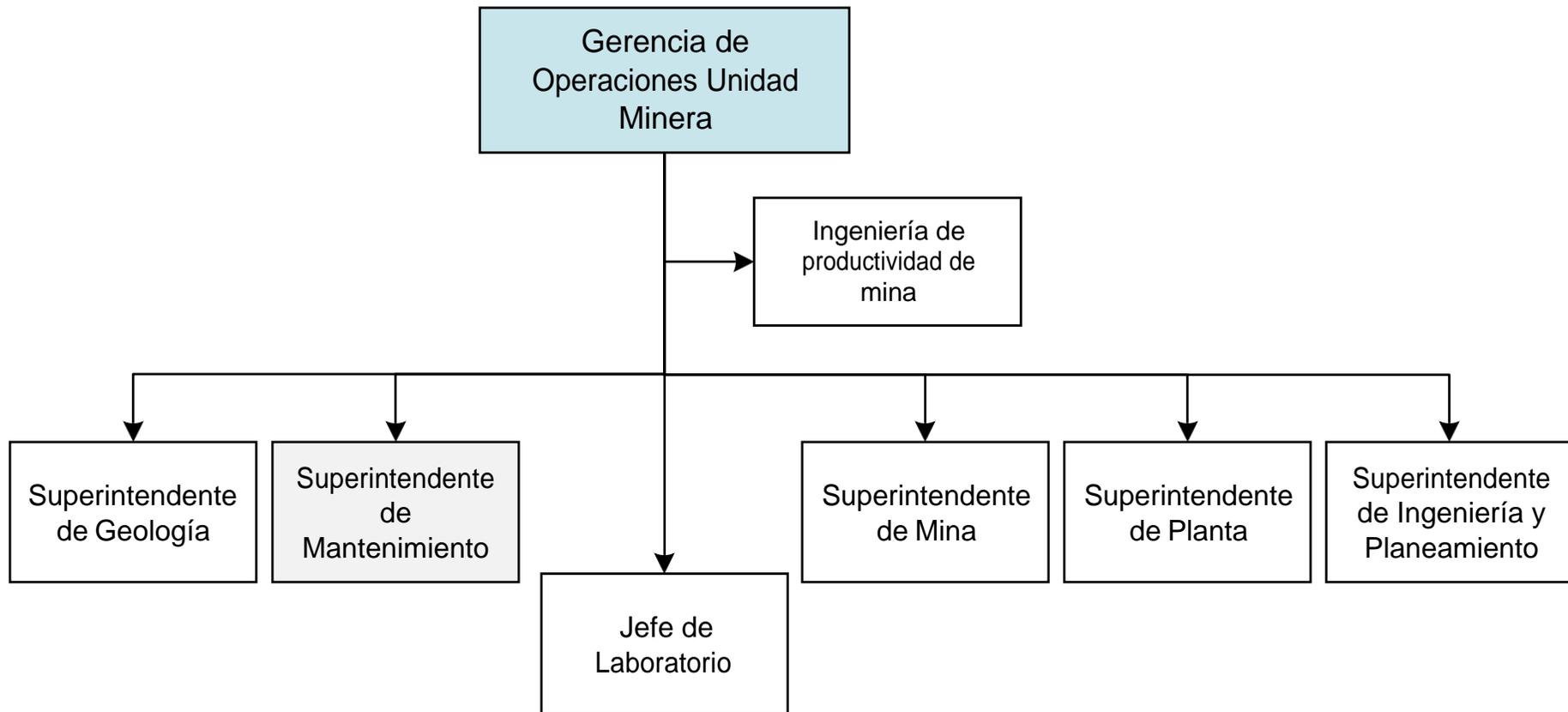


Figura 12. Organigrama de Ubicación del Área de Mantenimiento.
Fuente: Empresa en estudio.

Finalmente, se presenta la Figura 13 con el organigrama del área de mantenimiento, el cual consta de 4 secciones, la Jefatura de Planeamiento, la Jefatura de Mantenimiento Mecánico, la Jefatura de Mantenimiento Electricidad y la Jefatura de Mantenimiento Mina.

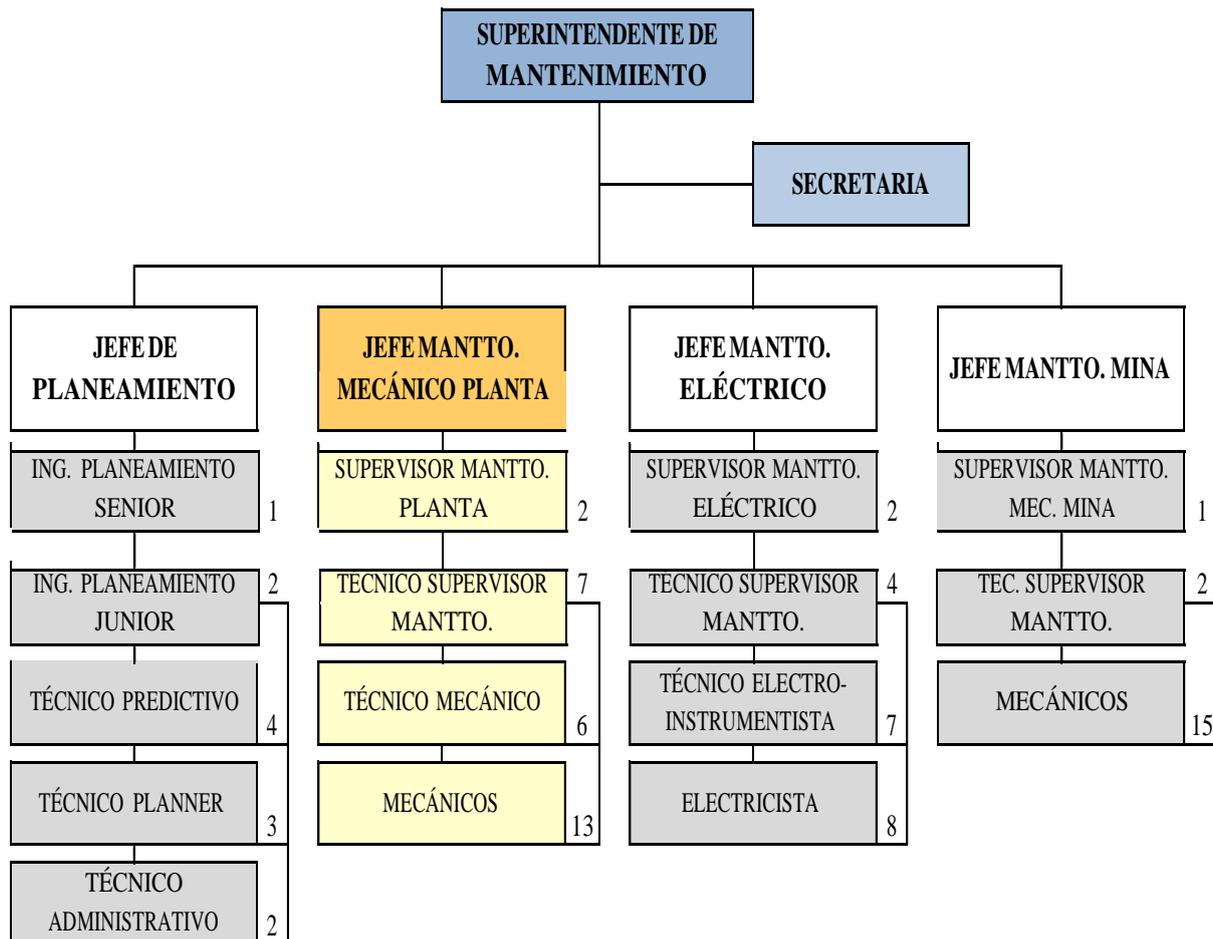


Figura 13. Organigrama del área de mantenimiento.
Fuente: Empresa en estudio.

4.1.3.5 Organigrama de trabajo de la empresa contratista

En la siguiente Figura 14 se presenta el organigrama del área de mantenimiento, el cual está íntegramente formado por la empresa contratista quien ejecuta el mantenimiento en la Planta Pre-Concentrado y supervisada por el anfitrión (Empresa Minara).

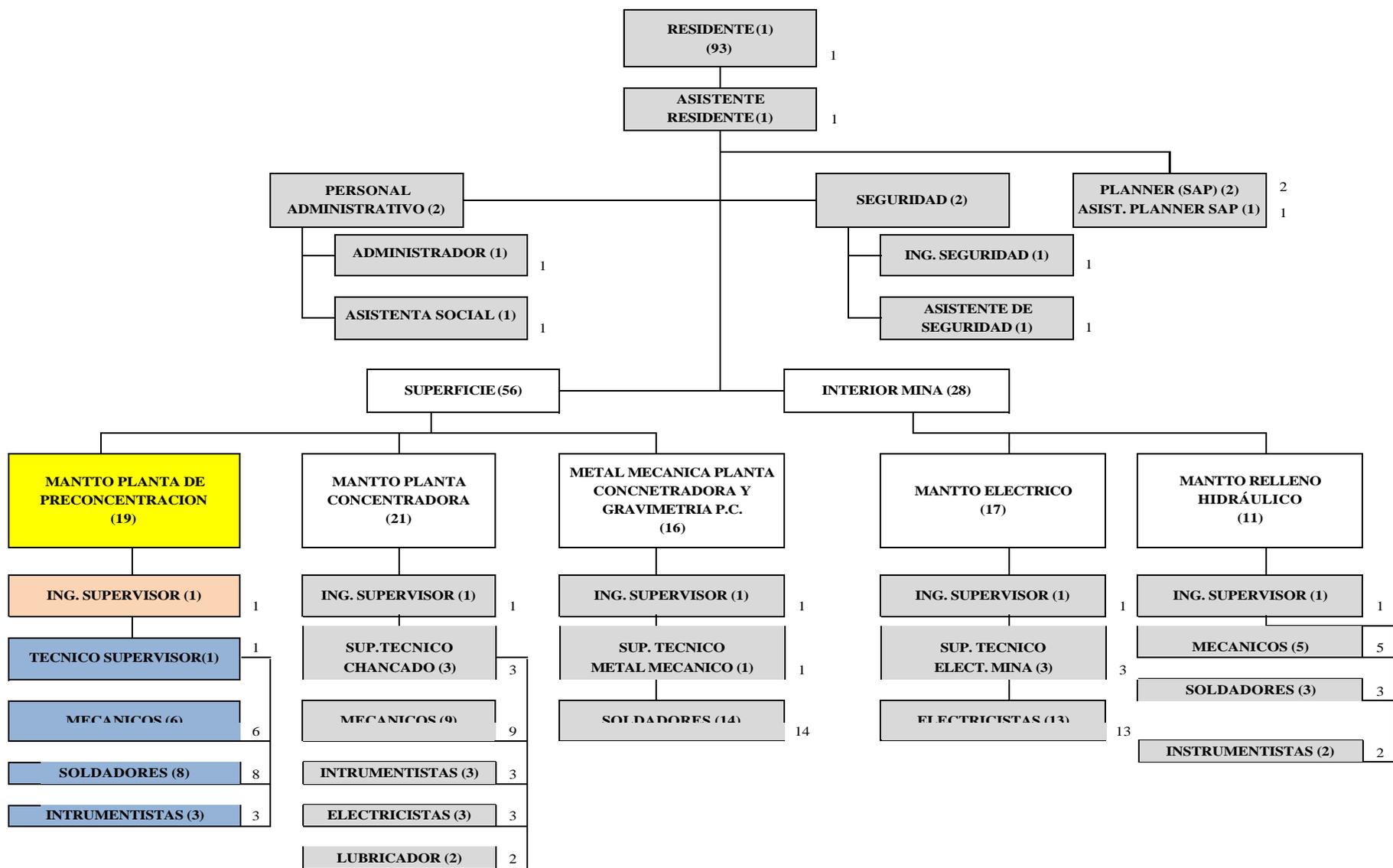


Figura 14. Organigrama de la empresa contratista.
Fuente: Empresa en estudio.

4.1.3.6 Los procesos que maneja el área de mantenimiento son:

El área de mantenimiento tiene bajo su cargo los procesos de mantenimiento preventivo, monitoreo de condición, correctivo, instalaciones y otros como seguridad, herramientas, apoyo y accidentes operacionales, en la Figura 15 se describen de forma resumida cada uno de los procesos que maneja el área de mantenimiento.

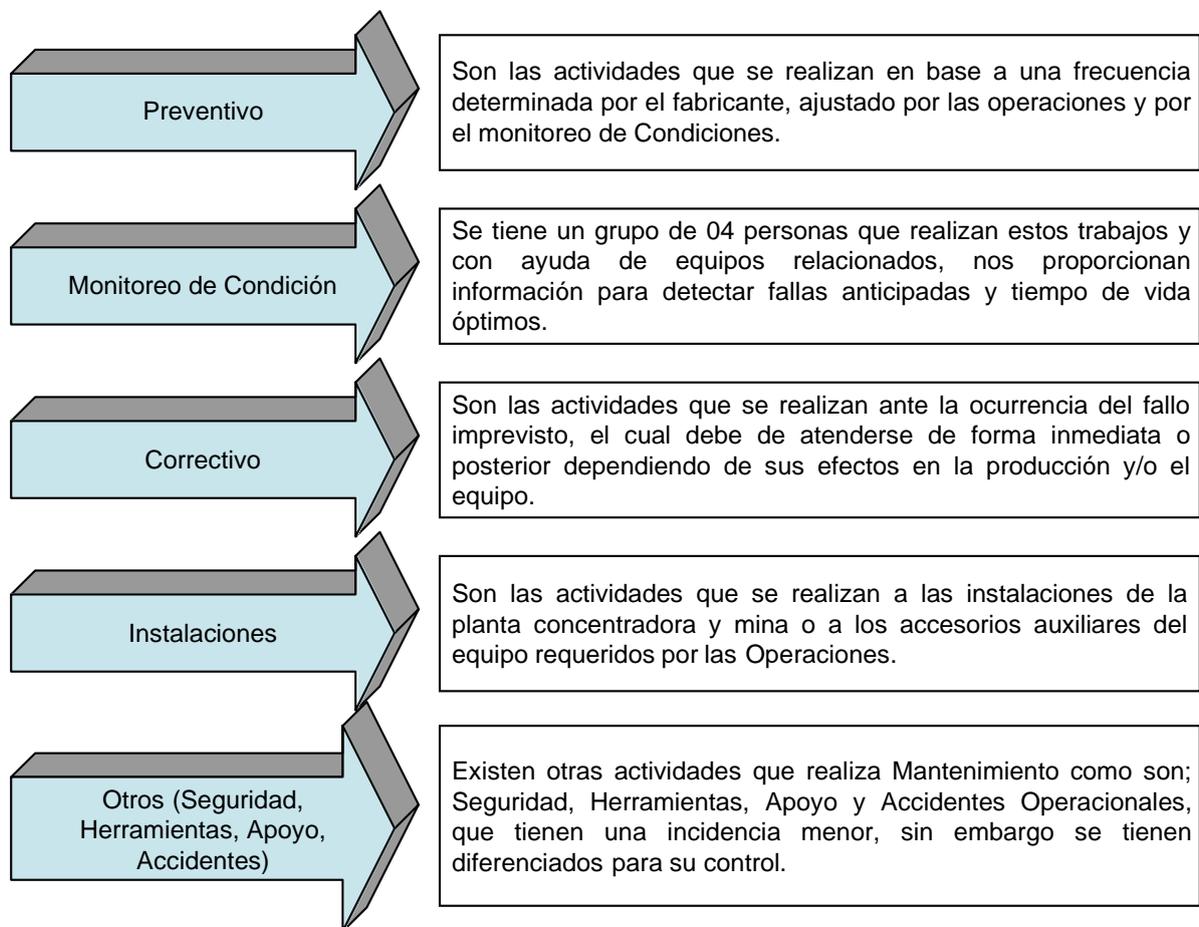


Figura 15. Procesos de mantenimiento.
Fuente: Empresa en estudio.

4.1.3.7 El flujo de proceso de chancado de la planta objeto de estudio

En la Figura 16 se presenta la planta de pre-concentrado de la empresa en estudio, en la cual se ha resaltado en color rojo, a los equipos que conforman el proceso de chancado primario y en azul los equipos que conforman el proceso de chancado secundario.

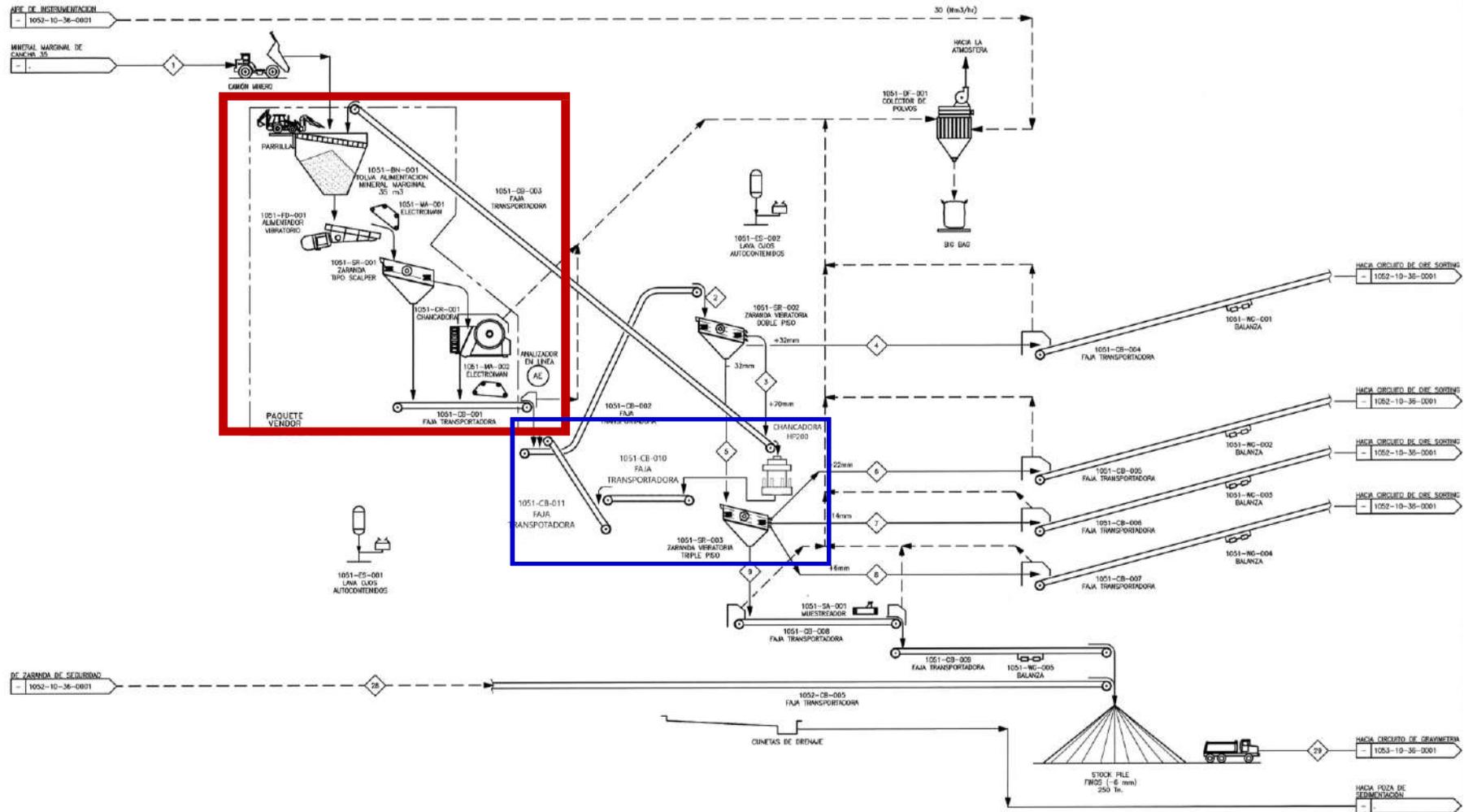


Figura 16. Proceso de Chancado.
Fuente: Empresa en estudio.

4.1.3.8 Presentación de la Planta Pre-Concentrado y el Proceso Ore-Sorting

La planta Pre-Concentrado procesa minerales de baja ley, sus principales fuentes de alimentación son los depósitos de desmonte acumulado, proveniente de labores mineras que en su momento fue considerado de bajo valor económico, el otro flujo de alimentación es el mineral de baja ley proveniente directamente de la mina. Entonces todo este mineral que procesa leyes se encuentra por debajo del cut-off; sin embargo, el producto que genera aporta significativamente en mantener la ley de cabeza de la Planta Concentradora y permite incrementar la producción de la misma.

La Planta Pre-Concentrado utiliza la tecnología “Ore-Sorting”, el cual es un sistema de clasificación por rayos X, que incorporan sensores unidos a un potente procesador de datos que identifican inclusiones de estaño y los separa con eyectores neumáticos generando el “pre concentrado” con incrementos de ley promedio de 0.6% a 2.75%

Los equipos que poseen esta tecnología se denominan “Sorters”, cada Sorter trata un tamaño de mineral distinto para que la clasificación sea más eficiente y cada uno esta regulados con una receta distinta en su Software, para separar el mineral con mayor porcentaje de inclusión de estaño de lo demás que se consideran lastre o estéril, logrando una recuperación de 90.4% y reducción del producto a 25% en peso. En la Figura 17 se presenta el esquema del proceso de separación Ore-Sorting.

Figura 17. Proceso de separación Ore-Sorting.
Fuente: Empresa en estudio.

Y en la Figura 18, se presenta un equipo Sorter.

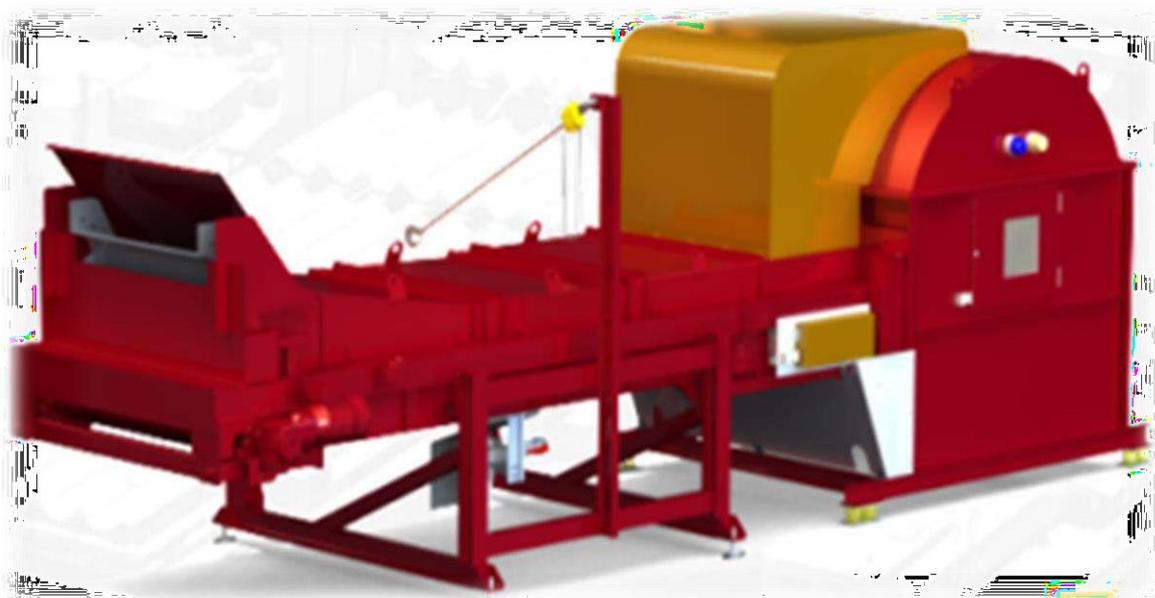


Figura 18. Equipo Sorter.
Fuente: Empresa en estudio.

Para lograr que por cada sorter pase un tamaño de mineral diferente se necesita un proceso de chancado (primario y secundario) y un proceso de clasificación.

El proceso de clasificación está conformado principalmente por dos zarandas vibratorias, los demás equipos son básicamente fajas transportadoras. Las zarandas mencionadas son de doble y triple piso marca Metso, modelos CBS 6' x 16' DD y CBS 6' x 16' TD, ver Figura 19. Para separar físicamente por tamaños que en promedio son de diámetros 3", 1.5", 0.5" y 0.15" para el sorter 1, sorter 2, sorter 3 y sorter 4 respectivamente.



Figura 19. Zaranda Metso modelo CBS.
Fuente: Empresa en estudio.

El Proceso de Chancado primario es la etapa donde se reciben toda la carga de camiones de acarreo y se tritura el mineral para que este sea alimentado al edificio de zarandas, pero hay un tamaño de mineral que no pasa a través de las mallas de la primera zaranda (doble piso), este mineral en sobre tamaño, mayor a 3.5" de diámetro, tiene que pasar al chancado secundario

y la descarga de este mineral mediante fajas transportadoras, se une con la descarga el chancado primario, logrando en el tiempo que todo el mineral sea conminuido al tamaño requerido para la etapa de clasificación.

La etapa de chancado primario consta de un sistema llamado “Módulo de Chancado”, ver Figura 20, este módulo de chancado primario es compacto y ensamblado sistemáticamente en una sola estructura de soporte y consta de los siguientes equipos:

- Parilla
- Tolva de alimentación de gruesos
- Electroimán 1, de limpieza manual
- Alimentador vibratorio de mineral marginal
- Zaranda tipo Scalper
- Chancadora de quijadas
- Electroimán 2, de limpieza automática
- Faja transportadora (Descarga de chancado)



Figura 20. Vista de módulo de chancado.
Fuente: Empresa en estudio.

En la Figura 21 se presenta la vista pruebas módulo de chancado del sistema compacto, donde se puede visualizar la tolva, alimentador, zaranda Scalper, chancadora de quijadas y la faja descarga de chancado.



Figura 21. Vista pruebas módulo de chancado, sistema compacto.
Fuente: Empresa en estudio.

Es importante indicar que la planta de Pre-Concentrado pertenece al área de Planta, la cual se encuentra a cargo de las operaciones y el área de Mantenimiento está a cargo de mantener la función de los equipos, de la conservación de vida útil de los equipos y de la gestión de activos en sintonía con Operaciones Planta.

El Mantenimiento de esta planta se ejecuta a través de una empresa contratista, con supervisión de personal de la empresa minera en estudio.

4.1.3.9 Paradas de equipos del área de Chancado

La empresa en estudio es una empresa minera en el cual el proceso de chancado es un área importante dentro del proceso de explotación de mineral, dado que depende de este proceso la carga de trabajo para el subsiguiente proceso. En los últimos tres años se ha evidenciado un incremento de paradas de máquina en 22 veces en el año 2019 respecto al año 2018, lo cual representa un incremento del 28.21%, las cuales se evidencian en la Figura 22.

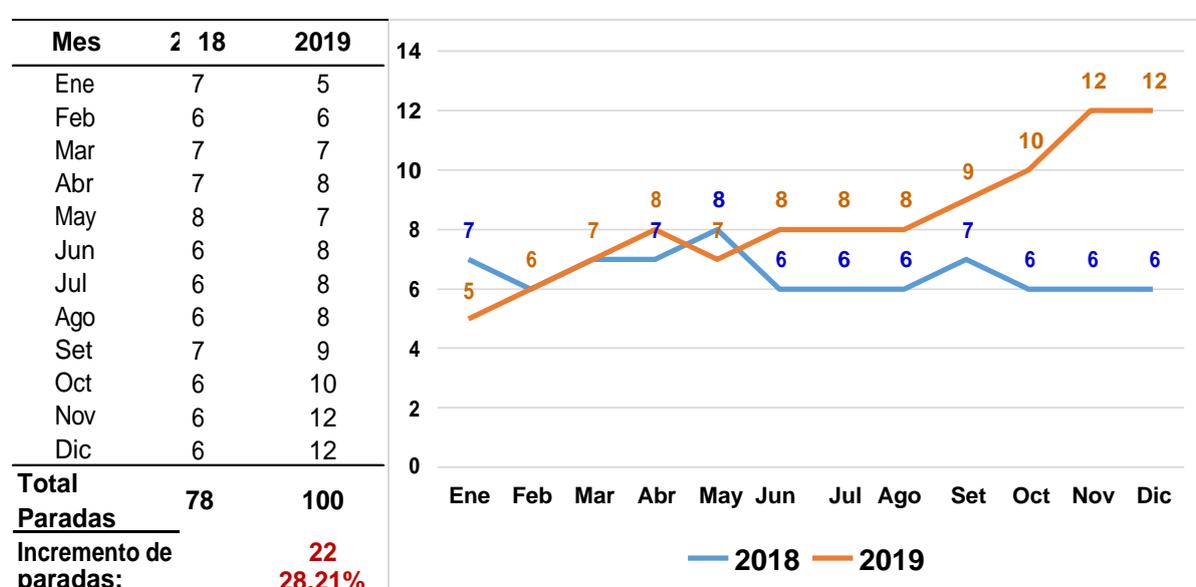


Figura 22. Paradas de máquina en el área de Chancado 2018-2019.

Fuente: Empresa en estudio, elaboración propia.

El área de chancado consta de dos sub procesos continuos: chancado primario y secundario, entonces se ve conveniente analizar cual es el área que tiene mayor cantidad de paradas de máquina, con la finalidad de enfocar el estudio en el área que ocasiona mayor cantidad de paradas de máquina, obteniendo así la Figura 23 con información de paradas de máquina del año 2019; donde se evidencia que el chancado primario representa el 81% de las paradas con 81 paradas al año de 100 paradas de acuerdo al obtenido en la Figura 22 respecto al año 2019, mientras que el chancado secundario representa el 19% de las paradas con 19 paradas al año.

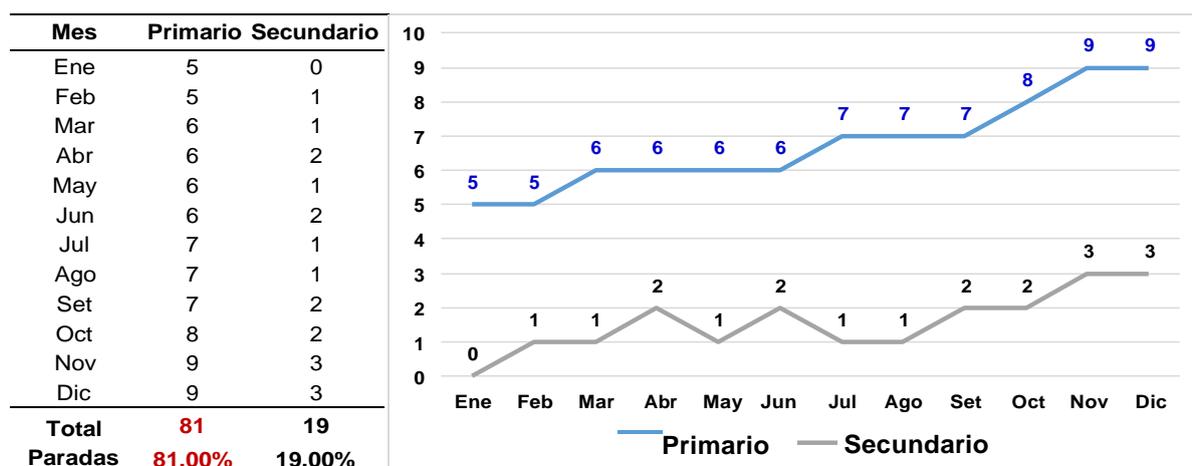


Figura 23. Paradas de máquina por tipo de chancado: primario – secundario 2019.
Fuente: Empresa en estudio, elaboración propia.

Los equipos que operan en el proceso de chancado primario de la empresa en estudio son 8 y se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6

Equipos en el proceso de chancado primario.

Máquina/Equipo
1 Parrilla
2 Tolva alimentación
3 Electroimán 1
4 Alimentador mineral marginal
5 Zaranda tipo Scalper
6 Chancadora de quijadas
7 Electroimán 2
8 Faja transportadora 1

Fuente: Empresa en estudio.

Con la finalidad de conocer la cantidad de parada por equipo en el proceso de chancado primero, el cual representa el 81% de las paradas de acuerdo a la Figura 23, se presenta la Tabla 7 con el detalle de cantidad de paradas ocurridas en el año 2019 de acuerdo a cada uno de los 8 equipos descritos en la Tabla 6. Mientras que en la Tabla 8 se presenta la cantidad total de horas de paradas de máquina por tipo de equipo, con un total de 412.83 Horas de parada de máquina y en Anexo 6 se presenta el tiempo por parada de máquina de acuerdo al tipo de máquina determinado a través de un muestro realizado durante 6 meses.

Tabla 7*Cantidad de paradas por tipo de máquina en el proceso de chancado primario - 2019.*

Mes	Parrilla	Tolva Alimentación	Electroimán 1	Alimentador Mineral Marginal	Zaranda Tipo Scalper	Chancadora	Electroimán 2	Faja Transportadora 1	Total (a)
Ene	0	0	0	0	1	2	0	0	3
Feb	0	1	1	0	0	1	0	1	4
Mar	0	0	0	0	0	1	1	0	2
Abr	0	0	0	1	1	2	0	0	4
May	1	0	0	0	2	3	0	0	6
Jun	0	0	0	1	1	2	1	0	5
Jul	0	0	0	0	1	3	1	1	6
Ago	0	0	0	1	1	4	1	0	7
Set	1	0	0	1	1	3	0	1	7
Oct	0	0	0	1	2	5	1	2	11
Nov	1	0	0	1	2	5	1	1	11
Dic	1	0	1	2	3	5	1	2	15
Total Paradas	4	1	2	8	15	36	7	8	81

Fuente: Empresa en estudio, elaboración propia.

Tabla 8*Cantidad de horas de paradas por tipo de máquina en el proceso de chancado primario - 2019.*

Mes	Parrilla	Tolva Alimentación	Electroimán 1	Alimentador Mineral Marginal	Zaranda Tipo Scalper	Chancadora	Electroimán 2	Faja Transportadora 1	Total (b)
Ene	0.00 H	0.00 H	0.00 H	0.00 H	5.66 H	10.01 H	0.00 H	0.00 H	15.67 H
Feb	0.00 H	4.87 H	2.75 H	0.00 H	0.00 H	5.01 H	0.00 H	4.76 H	17.39 H
Mar	0.00 H	0.00 H	0.00 H	0.00 H	0.00 H	5.01 H	4.78 H	0.00 H	9.78 H
Abr	0.00 H	0.00 H	0.00 H	5.86 H	5.66 H	10.01 H	0.00 H	0.00 H	21.53 H
May	4.75 H	0.00 H	0.00 H	0.00 H	11.31 H	15.02 H	0.00 H	0.00 H	31.08 H
Jun	0.00 H	0.00 H	0.00 H	5.86 H	5.66 H	10.01 H	4.78 H	0.00 H	26.30 H
Jul	0.00 H	0.00 H	0.00 H	0.00 H	5.66 H	15.02 H	4.78 H	4.76 H	30.21 H
Ago	0.00 H	0.00 H	0.00 H	5.86 H	5.66 H	20.03 H	4.78 H	0.00 H	36.32 H
Set	4.75 H	0.00 H	0.00 H	5.86 H	5.66 H	15.02 H	0.00 H	4.76 H	36.04 H
Oct	0.00 H	0.00 H	0.00 H	5.86 H	11.31 H	25.03 H	4.78 H	9.53 H	56.51 H
Nov	4.75 H	0.00 H	0.00 H	5.86 H	11.31 H	25.03 H	4.78 H	4.76 H	56.49 H
Dic	4.75 H	0.00 H	2.75 H	11.72 H	16.97 H	25.03 H	4.78 H	9.53 H	75.52 H
Total Paradas	18.98 H	4.87 H	5.50 H	46.87 H	84.84 H	180.24 H	33.43 H	38.11 H	412.83 H

Fuente: Empresa en estudio, elaboración propia.

Con la finalidad de verificar en que magnitud afecta las paradas de máquina del proceso de chancado primario en los indicadores de Confiabilidad y Mantenibilidad se presenta la Figura 24, indicadores obtenidos mediante la aplicación de las siguientes fórmulas:

$$\text{Confiabilidad} = \frac{TMEF}{(TMEF + TMPR)}$$

Donde:

TMEF = Tiempo medio entre fallas

TMPR = Tiempo medio para reparar

$$\text{Mantenibilidad} = \frac{TTRD}{TTD}$$

Donde:

TTRD = Tiempo total real disponible

TTD = Tiempo total disponible

Con la finalidad de calcular la confiabilidad se procede a presentar la Tabla 9 con las horas programadas por la empresa minera de forma mensual, así como la totalidad de horas de paradas de planta y las horas netas para producir, esta última obtenida después de restar las horas de parada de planta a las horas mes, es decir: $Z = X - Y$.

Tabla 9

Cálculo de horas netas para producir – Proceso de chancado primario.

Mes	Horas Mes (X)	Horas Parada Planta (Y)	Horas Netas Para Producir (Z)
Ene	558.00 H	31.00 H	527.00 H
Feb	504.00 H	11.20 H	492.80 H
Mar	558.00 H	15.50 H	542.50 H
Abr	540.00 H	13.20 H	526.80 H
May	558.00 H	31.00 H	527.00 H
Jun	540.00 H	14.40 H	525.60 H
Jul	558.00 H	46.50 H	511.50 H
Ago	558.00 H	46.50 H	511.50 H
Set	540.00 H	30.00 H	510.00 H
Oct	558.00 H	46.50 H	511.50 H
Nov	540.00 H	45.00 H	495.00 H
Dic	558.00 H	34.10 H	523.90 H
Total	6570.00 H	364.90 H	6205.10 H

Fuente: Empresa en estudio, elaboración propia.

Teniendo en cuenta que TMEF es igual al tiempo medio entre fallas, es decir (Z de la Tabla 9: Horas netas para producir) entre (Total (a) de la Tabla 7: Total de paradas por mes) y teniendo en cuenta que TMPR es igual al Tiempo medio para reparar, es decir (Total (b) de la Tabla 8: Total de horas de paradas mensual) entre (Total (a): de la Tabla 7: Total de paradas por mes) se presenta la Tabla 10 con el cálculo de la confiabilidad, donde se observa que este ha venido disminuyendo mes a mes del año 2019, cerrando con un promedio de 93.84%.

Tabla 10
Cálculo de la confiabilidad del proceso de chancado primario.

Mes	TMEF	TMPR	Confiabilidad
Ene	175.67	5.2231	97.11%
Feb	123.20	4.3468	96.59%
Mar	271.25	4.8908	98.23%
Abr	131.70	5.3819	96.07%
May	87.83	5.1796	94.43%
Jun	105.12	5.2605	95.23%
Jul	85.25	5.0358	94.42%
Ago	73.07	5.1880	93.37%
Set	72.86	5.1491	93.40%
Oct	46.50	5.1369	90.05%
Nov	45.00	5.1353	89.76%
Dic	34.93	5.0344	87.40%
Promedio			93.84%

Fuente: Empresa en estudio, elaboración propia.

En la Tabla 11 se presenta el cálculo de la mantenibilidad, para lo cual se tiene que TTRD es igual a horas netas para producir (Z) de la Tabla 9 y TTD es igual al tiempo total disponible (X) también de la tabla 9, aplicando la fórmula de cálculo de la mantenibilidad se tiene que la mantenibilidad durante el año 2019 ha venido decayendo llegando a un promedio de 88.22%.

Tabla 11*Cálculo de la mantenibilidad del proceso de chancado primario.*

Mes	TTRD	TTD	Mantenibilidad
Ene	511.33 H	558.00	91.64%
Feb	475.41 H	504.00	94.33%
Mar	532.72 H	558.00	95.47%
Abr	505.27 H	540.00	93.57%
May	495.92 H	558.00	88.87%
Jun	499.30 H	540.00	92.46%
Jul	481.29 H	558.00	86.25%
Ago	475.18 H	558.00	85.16%
Set	473.96 H	540.00	87.77%
Oct	454.99 H	558.00	81.54%
Nov	438.51 H	540.00	81.21%
Dic	448.38 H	558.00	80.36%
Total	5792.27 H		88.22%

Fuente: Empresa en estudio, elaboración propia.

Finalmente se presenta la Figura 24 con la representación gráfica de los cálculos de la Confiabilidad y mantenibilidad calculados en las Tablas 10 y 11, la cual evidencia el descenso de los índices de confiabilidad y mantenibilidad.

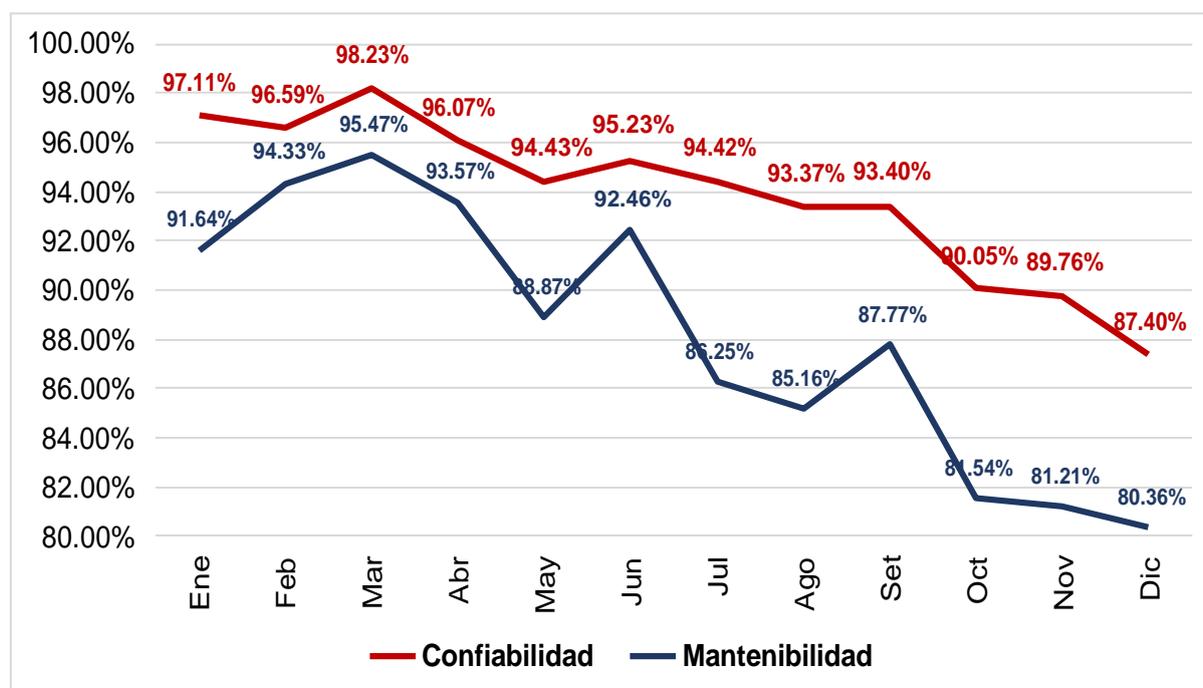


Figura 24. Indicadores de Confiabilidad y Mantenibilidad en proceso de Chancado primario 2019.

Fuente: Empresa en estudio, elaboración propia.

Adicionalmente se calculó la disponibilidad (D), rendimiento (R) y calidad del proceso (C) del año 2019, de acuerdo a las fórmulas definidas en el ítem 2.6 de la presente investigación, los cuales se presentan a continuación, donde: Para calcular la disponibilidad se presenta la Tabla 12 con el tiempo total de ralentización, los cuales ocurren por alguno de los siguientes dos motivos: Primero, el tiempo que transcurre desde que ocurre la falla, hasta que mantenimiento interviene; y segundo, cuando ocurre la falla y esta falla ocasiona atoros de mineral, haciendo que el personal de planta invierta tiempo en desatorar la máquina. Es importante indicar que estos tiempos representan la totalidad de demora en el área de chancado y fue proporcionado por la empresa en estudio.

Tabla 12
Tiempo de ralentización en el proceso de chancado primario - 2019.

Mes	Tiempo de ralentización (TR)
Ene	13.76 H
Feb	17.75 H
Mar	11.38 H
Abr	20.03 H
May	33.41 H
Jun	25.26 H
Jul	32.63 H
Ago	38.42 H
Set	43.53 H
Oct	70.82 H
Nov	72.03 H
Dic	92.82 H
Total	471.83 H

Fuente: Empresa en estudio, elaboración propia.

Teniendo en cuenta la fórmula de la disponibilidad:

$$D = \frac{TTD - TPM}{TTD} = 86.58\%$$

Se tiene TTD, explicado y presentado en la Tabla 11; por otro lado, se tiene que TPM es igual a tiempo de parada por mantenimiento (TR de la Tabla 12) más Total (a) de la Tabla

7 (total de horas de paradas 2019), entonces aplicando la fórmula de disponibilidad se presenta la Tabla 13, con un promedio de 86.58% de disponibilidad.

Tabla 13

Cálculo de disponibilidad del proceso de chancado primario.

Mes	TTD	TPM	Disponibilidad
Ene	558.00 H	29.43 H	94.73%
Feb	504.00 H	35.14 H	93.03%
Mar	558.00 H	21.16 H	96.21%
Abr	540.00 H	41.56 H	92.30%
May	558.00 H	64.49 H	88.44%
Jun	540.00 H	51.56 H	90.45%
Jul	558.00 H	62.84 H	88.74%
Ago	558.00 H	74.73 H	86.61%
Set	540.00 H	79.57 H	85.26%
Oct	558.00 H	127.32 H	77.18%
Nov	540.00 H	128.52 H	76.20%
Dic	558.00 H	168.34 H	69.83%
Promedio			86.58%

Fuente: Empresa en estudio, elaboración propia.

Seguidamente se procede a calcular el rendimiento, teniendo en cuenta los siguientes parámetros proporcionados por la empresa minera en estudio: La capacidad teórica del proceso de chancado es 220 TN/H para un Setting de 2 a ¾”, el cual trabaja con una potencia de 150 HP (PM = Potencia del motor), con un consumo nominal de 0.51 KW-H/Tn y una pérdida de transmisión estándar de máquina de 6%. Con esta información se procede a calcular el rendimiento, donde:

TN/Hora representa las toneladas por hora producidas mensual, KW-H/Tn representa la energía específica, KW expresa la potencia operacional promedio del mes y su equivalente en HP, luego se tiene la potencia real consumida (Etrans) expresado en HP, finalmente se tiene el rendimiento (R) se refiere al rendimiento del motor, el cual se calcula dividiendo la potencia

real consumida en HP (Etrans)) entre la potencia de los motores del proceso de chancado primario (226.09 HP) (PNo) y representado por la siguiente fórmula, donde se tiene que el rendimiento del motor es 89.40%

$$R = \frac{Etrans}{PNo} = 89.40\%$$

El consumo mensual del rendimiento del año 2019 se presenta se presenta en la siguiente tabla, en el cual se tiene un rendimiento promedio anual ed 89.40%.

Tabla 14
Cálculo del rendimiento del proceso de chancado primario.

Mes	TMH/H	Energía Específica (KW-H/Tn)	Potencia operacional (KW)	Potencia operacional (HP)	Potencia real consumida (HP) (Etrans)	Rendimiento del Proceso de Chancado (R)
Ene	173.55	0.97	133.05	178.35	189.74	83.92%
Feb	184.25	0.92	141.25	189.35	201.43	89.10%
Mar	186.09	0.91	142.66	191.24	203.44	89.98%
Abr	143.97	1.17	110.37	147.95	157.40	69.62%
May	201.10	0.84	154.17	206.66	219.85	97.24%
Jun	213.87	0.79	163.96	219.78	233.81	103.42%
Jul	216.64	0.78	166.08	222.63	236.84	104.76%
Ago	197.12	0.86	151.12	202.57	215.50	95.32%
Set	175.80	0.96	134.78	180.67	192.20	85.01%
Oct	173.77	0.97	133.22	178.57	189.97	84.03%
Nov	173.29	0.97	132.85	178.08	189.45	83.79%
Dic	179.11	0.94	137.31	184.06	195.81	86.61%
Promedio	184.88	0.92	141.74	189.99	202.12	89.40%

Fuente: Empresa en estudio, elaboración propia.

Luego, se procede a calcular la calidad teniendo en cuenta que este es producto de la división de Producción real (PR) entre Producción teórica calculada (PTC), valores medidos en TM proporcionado por la empresa en estudio, entonces aplicando la fórmula de la calidad, se tiene que durante el año 2019 se llegó a un promedio de 92.75%.

$$C = \frac{PR}{PTC} = 92.75\%$$

Ver Tabla 15 con el cálculo de la calidad.

Tabla 15
Cálculo de la calidad del proceso de chancado primario.

Mes	PR	PTC	Calidad
Ene	86353.82	92511.64	93.34%
Feb	84323.93	88173.93	95.63%
Mar	97016.02	106068.83	91.47%
Abr	69811.40	84396.20	82.72%
May	93012.08	100980.24	92.11%
Jun	101380.34	107270.99	94.51%
Jul	97196.31	100168.35	97.03%
Ago	86096.24	91092.82	94.51%
Set	75455.80	80404.66	93.85%
Oct	66756.60	70710.56	94.41%
Nov	63507.20	69706.81	91.11%
Dic	63684.28	68947.12	92.37%
Promedio	984594.01	1060432.14	92.75%

Fuente: Empresa en estudio, elaboración propia.

Finalmente se presenta la Figura 25 con la representación gráfica de los cálculos de la Disponibilidad, rendimiento y la calidad del proceso de chancado primario, calculados en las Tablas 13, 14 y 15 respectivamente, la cual evidencia el descenso de estos índices a diciembre 2019.

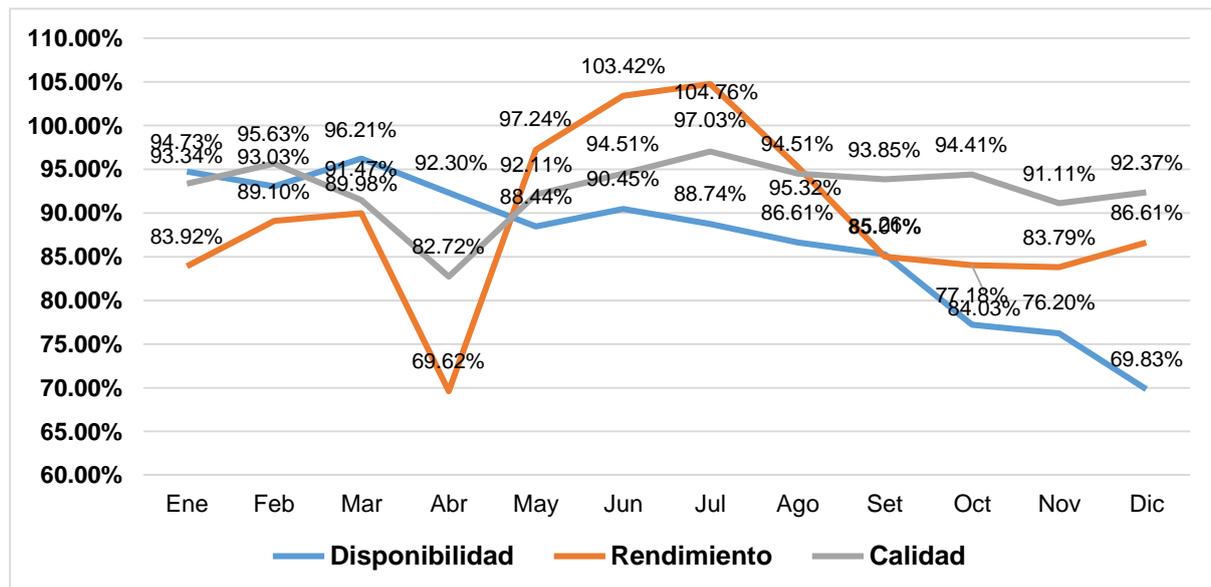


Figura 25. Indicadores de Disponibilidad, Rendimiento y Calidad del proceso de Chancado primario 2019.

Fuente: Empresa en estudio, elaboración propia.

Obtenido los valores de disponibilidad, rendimiento y calidad, se procede a calcular el OEE de acuerdo a la fórmula del OEE definido y descrito en la Figura 5, donde se tiene que el

OEE = Disponibilidad x rendimiento x Calidad, ver Tabla 16 con el cálculo del OEE, el cual evidencia que el OEE promedio del año 2019 se encuentra en 72.08%.

Tabla 16
Cálculo del OEE del proceso de chancado primario 2019.

Mes	Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	OEE
Ene	94.73%	83.92%	93.34%	74.20%
Feb	93.03%	89.10%	95.63%	79.26%
Mar	96.21%	89.98%	91.47%	79.18%
Abr	92.30%	69.62%	82.72%	53.15%
May	88.44%	97.24%	92.11%	79.22%
Jun	90.45%	103.42%	94.51%	88.41%
Jul	88.74%	104.76%	97.03%	90.20%
Ago	86.61%	95.32%	94.51%	78.03%
Set	85.26%	85.01%	93.85%	68.02%
Oct	77.18%	84.03%	94.41%	61.23%
Nov	76.20%	83.79%	91.11%	58.17%
Dic	69.83%	86.61%	92.37%	55.86%
Prom	86.58%	89.40%	92.75%	72.08%

Fuente: Empresa en estudio.

De acuerdo a los niveles teóricos del OEE, descrito en la Tabla 4, se observa que el OEE de la empresa minera en estudio se encuentra entre 65% y 75%, definido como un nivel “Regular”, bajo una situación “Aceptable” con un nivel de “Baja competitividad”. Con lo cual, queda evidenciado el problema, lo cual motiva el desarrollo del presente trabajo de tesis.

En la Figura 26 se presenta el Diagrama de Pareto, donde se evidencia los equipos que generan el 82.72% de paradas en el proceso de Chancado primario de la Planta Pre-Concentrado, de acuerdo a la cantidad de paradas obtenidas en el año 2019, evidenciado en la Tabla 7 y tabulado en el Anexo 7.

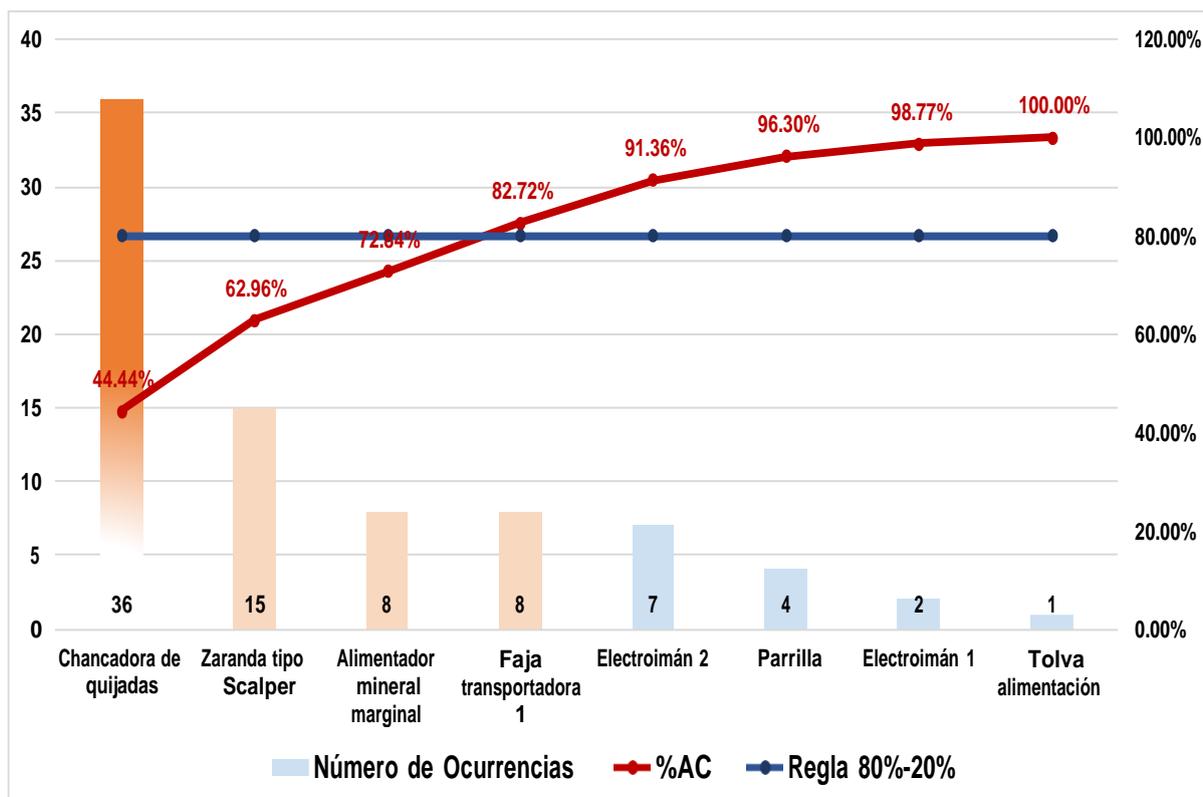


Figura 26. Diagrama de Pareto – Equipos con mayor cantidad de paradas en el proceso de Chancado primario 2019.

Fuente: Empresa en estudio, elaboración propia.

De la Figura 26 se obtiene que los 4 equipos que sustentan el 82.72% de paradas, sin embargo sólo se considera como parte del estudio a la chancadora de quijadas, considerado como muestra de estudio por ser el equipo que representa el 44.44% de las paradas.

Entonces, se procede a calcular los nuevos indicadores de confiabilidad, mantenibilidad con los datos obtenidos en las Tablas 7, 8 y 9 considerando sólo la información de la chancadora de quijadas, ver Anexo 8 y 9 con el detalle de cálculo de la confiabilidad y mantenibilidad.

Así mismo se procede a calcular la disponibilidad, rendimiento, calidad y OEE para sólo la chancadora de quijadas, ver Anexo 11, 12 y 13 con el detalle de estos cálculos.

Ver en la Tabla 17 el resumen de los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, rendimiento, calidad y OEE, calculos sólo en base al proceso de chancado primario y sólo a la chancadora de quijadas, donde se observa que existe un incremento en la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

Tabla 17
Resumen Indicadores - 2019.

Indicador	Total equipos de chancado primario	Chancadora de quijadas	Diferencia
Confiabilidad	93.84%	97.18%	3.34%
Mantenibilidad	88.22%	91.75%	3.53%
Disponibilidad	86.58%	94.11%	7.53%
Rendimiento	89.40%	65.30%	-24.10%
Calidad	92.75%	92.75%	0.00%
OEE	72.08%	57.28%	-14.80%

Fuente: Empresa en estudio.

Seguidamente, se presenta de forma gráfica la confiabilidad y mantenibilidad considerando sólo la chancadora de quijadas, donde se puede observar que el promedio de confiabilidad es de 97.18% y de la mantenibilidad de 91.75%, sin embargo mantiene la tendencia de disminución. Ver Figura 27.

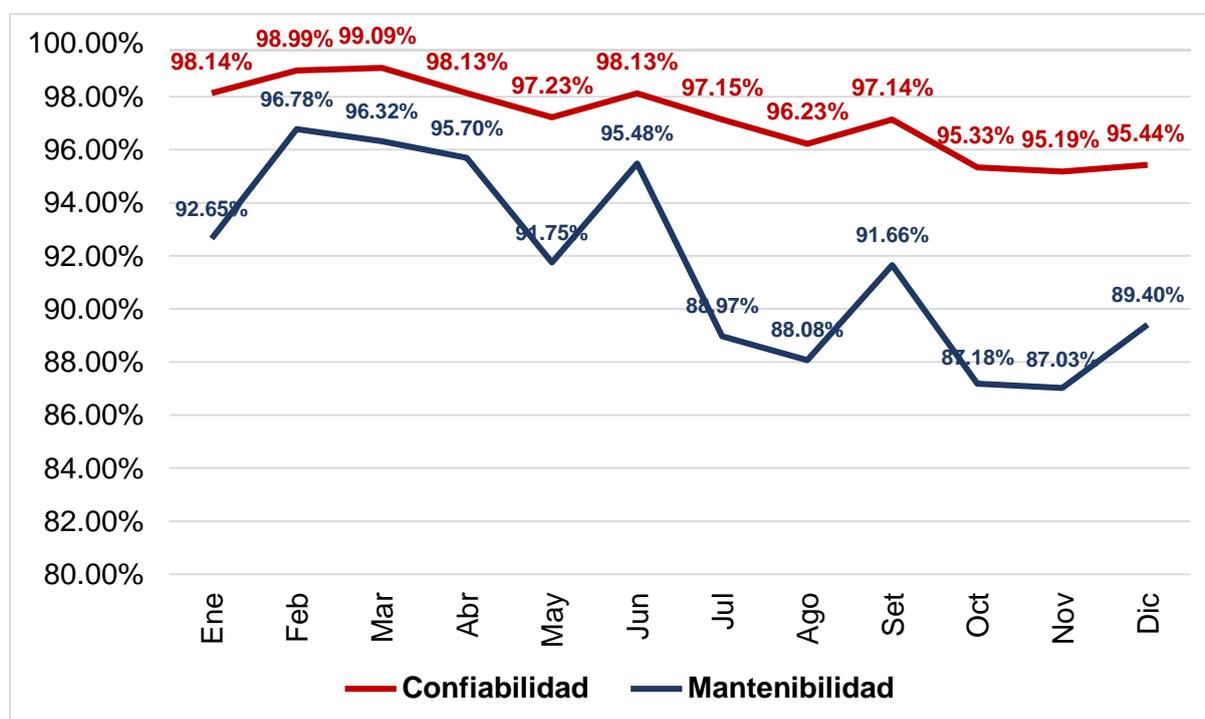


Figura 27. Confiabilidad y mantenibilidad de la chancadora de quijadas - 2019.
Fuente: Empresa en estudio, elaboración propia.

Así mismo, se tiene una disponibilidad de 94.11%, rendimiento de 65.30% y calidad de 92.75%. es importante indicar que para los cálculos se consideró lo siguiente:

- La disponibilidad se obtuvo de los reportes diarios del área de mantenimiento
- Calidad: Se mide por medio de los tamaños triturados, los cuales no deben exceder de 2-1/4”, cuando excede se relentiza el chancado secundario y se cuantifica con menor producción comparada con el teórico entregado por el área de operaciones.
- Rendimiento: Se obtuvo dividiendo la potencia consumida entre la potencia del motor.

Ver Figura 28 con la representación gráfica del comportamiento de la disponibilidad, rendimiento y calidad, observando que los 3 indicadores tienen tendencia a la baja.

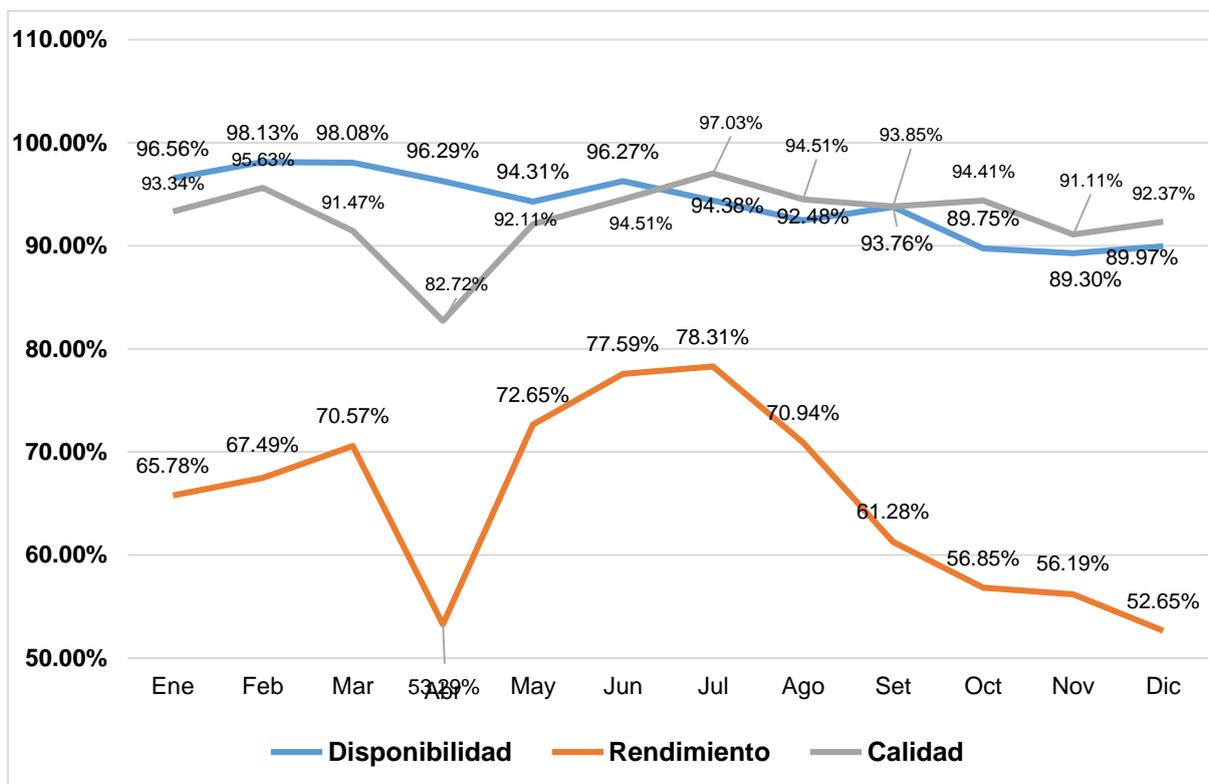


Figura 28. Disponibilidad, eficacia y calidad de la chancadora de quijadas - 2019.
Fuente: Empresa en estudio, elaboración propia.

Bajo este contexto se presenta al OEE en la Tabla 18, el cual es de 57.28%, comparando este resultado con los niveles de OEE descritos en la Tabla 4, se observa que el OEE de la empresa minera en estudio se encuentra por debajo de 65%, definido como un nivel “Malo”,

bajo una situación “Inaceptable” con un nivel de “Muy baja competitividad”. Con lo cual, queda evidenciado el problema que analizando sólo la chancadora de quijadas el OEE se encuentra en un nivel malo, lo cual motiva el desarrollo del presente trabajo de tesis de aplicar la Metodología RCM para minimizar la cantidad de paradas de máquina en la chancadora de quijadas.

Tabla 18
Cálculo del OEE 2019 – Chancadora de quijadas -2019 / antes de la mejora

Mes	Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	OEE
Ene	96.56%	65.78%	93.34%	59.29%
Feb	98.13%	67.49%	95.63%	63.33%
Mar	98.08%	70.57%	91.47%	63.31%
Abr	96.29%	53.29%	82.72%	42.45%
May	94.31%	72.65%	92.11%	63.11%
Jun	96.27%	77.59%	94.51%	70.59%
Jul	94.38%	78.31%	97.03%	71.72%
Ago	92.48%	70.94%	94.51%	62.00%
Set	93.76%	61.28%	93.85%	53.92%
Oct	89.75%	56.85%	94.41%	48.17%
Nov	89.30%	56.19%	91.11%	45.72%
Dic	89.97%	52.65%	92.37%	43.75%
Promedio	94.11%	65.30%	92.75%	57.28%

Fuente: Empresa en estudio.

4.2 Alternativas de solución

Con el fin de analizar la mejor alternativa de solución a los problemas en estudio, se procedió a realizar una tormenta de ideas a través de juicio de expertos, contando con la participación de Ingenieros, supervisores de la empresa en estudio expertos conocedores de la problemática en estudio y conocedores de la funcionabilidad de equipos del proceso de chancado, ingenieros que viene a ser el equivalente de un jefe de producción en una empresa manufacturera. Los criterios que se obtuvieron estuvieron orientados a mejorar el problema en estudio, criterios que se presentan a continuación:

- Identificar el modo de fallo.
- Reducir de mantenimiento reactivo.
- Mejorar de la disponibilidad.
- Mida la confiabilidad.
- Mida la mantenibilidad.
- Plan de mantenimiento.

En la Tabla 19 se presenta las calificaciones obtenidas por criterio propuesto por los expertos, calificación que estuvo dada por un rango de 0 a 10, donde cero indica que no es relevante o necesario, mientras que cuanto más se aproxime a 10 significa que es importante solucionar porque impacta en el problema. Obteniendo así que, de los 6 criterios analizados, sólo 3 obtuvieron el máximo puntaje:

- Identificar el modo de fallo.
- Reducir de mantenimiento reactivo.
- Mejorar de la disponibilidad.

Tabla 19
Calificación de juicio de expertos para determinación criterios relevantes que afectan al problema en investigación.

Criterio	Ing. Supervisor Eléctrico de Mina	Ing. Supervisor Metalmecánica de Planta	Ing. Supervisor de Planta de Chancado	Total
- Identificar el modo de fallo	10	10	10	30
- Reducir de mantenimiento reactivo	10	10	10	30
- Mejorar de la disponibilidad	10	10	10	30
- Mida la confiabilidad	4	3	5	12
- Mida la mantenibilidad	3	2	3	8
- Plan de mantenimiento	2	1	1	4
Total				114

Fuente: Empresa en estudio.

Con la finalidad de validar de forma técnica los criterios a considerar para determinar la metodología a utilizar que dará solución al problema en estudio, se procedió a realizar un Análisis de Pareto, obteniendo así la Figura 29, confirmando que los criterios a tomar en cuenta para elegir la metodología que dé solución al problema deben ser: Identificar el modo de fallo, reducir de mantenimiento reactivo y mejorar de la disponibilidad.

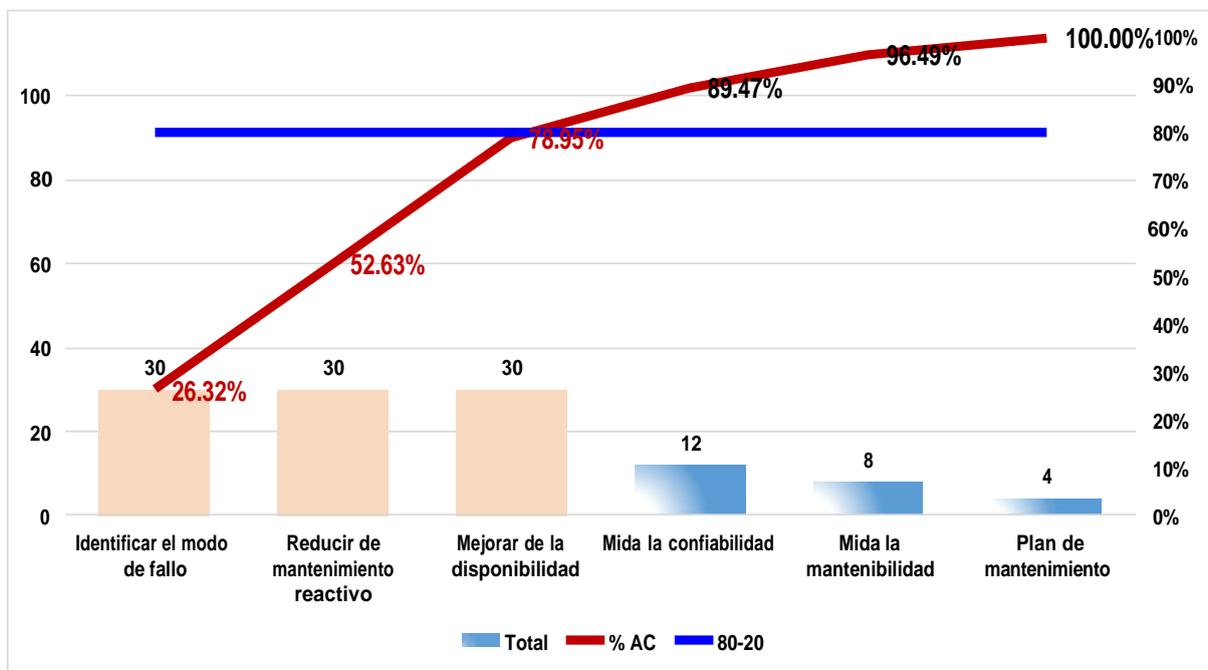


Figura 29. Diagrama de Pareto – Definición de criterios para determinar la Metodología a implementar.

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la mejor metodología que ayude a solucionar el problema en estudio, en base a los 3 criterios definidos por juicio de expertos: Se procedió a utilizar la Metodología de proceso jerárquico analítico (AHP - Iniciales descritas en inglés), AHP permite determinar la metodología de ingeniería correcta a aplicar para dar solución al problema.

El uso de los criterios determinado por juicio de expertos se justifica de la siguiente manera:

- Modo de fallo, por el medio del cual se minimiza la probabilidad de falla y con ello se logra mayor confiabilidad, disponibilidad de equipos y rendimiento de la planta.

- La reducción del mantenimiento reactivo y la mejora de ejecución del procedimiento de ajuste de Setting de la chancadora de quijadas.
- Mejora de la disponibilidad de planta para producir.

Luego, se procedió a determinar las alternativas de Metodologías que podrían solucionar el problema, metodologías que serán evaluadas por medio de AHP. Teniendo en cuenta que para mejorar el indicador OEE se requiere de alguna metodología, técnica o herramienta basado en mantenimiento de equipos, los mismos expertos que evaluaron los criterios determinan las siguientes tres metodologías por estar más ligadas a la proactividad y a mejorar la disponibilidad de los equipos:

- Mantenimiento productivo total. – TPM, por ser una metodología que permite mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos y se fundamenta sobre pilares como el mantenimiento autónomo, de calidad, el planificado, la seguridad y el medio ambiente (Diaz, Gonzales, & Medrano, 2017).
- Lean Maintenance, por ser una metodología enfocada también en eliminar desperdicios, tiene sus bases en la eliminación de despilfarros, en función de ello permite trabajar con técnicas como 5S, trabajo estandarizado, SMED, Kaizen, TPM y RCM (López, 2017).
- RCM, metodología que permite analizar los modos de efecto y de fallos, de tal forma que permite encontrar la causa raíz del problema del fallo, identificar el nivel de criticidad y realizar el plan de acción para mantener en monitoreo los puntos críticos y así evitar una parada de equipo (Diaz, Gonzales, & Medrano, 2017).

Entonces, en la Tabla 20 se presenta la ventaja principal que ofrece cada metodología posible de dar solución al problema en estudio:

Tabla 20*Ventaja principal por metodología propuesta como solución.*

Alternativas	Ventajas
TPM	- Involucra al operador, involucra al mantenimiento autónomo, mejora la confiabilidad y disponibilidad.
Lean Maintenance	- Mejora procesos a través de la eliminación de despilfarros de mantenimiento y agrega valor.
RCM	- Mejora específicamente las condiciones de equipos para mejorar la confiabilidad y la disponibilidad.

Fuente: (Socconini, Lean Company: Más allá de la manufactura, 2019).

De acuerdo al resultado obtenido de la Figura 29, se tiene que los criterios a considerar para determinar la metodología que dará solución al problema en estudio son:

Tabla 21*Criterios de evaluación.*

Criterios	Abreviación
Identificar el modo de fallo	MF
Reducir de mantenimiento reactivo	RM
Mejorar de la disponibilidad	MD

Fuente: Elaboración propia.

Entonces, se procede a analizar mediante la Matriz AHP, que metodología de las 3 propuestas en la Tabla 20 es la más adecuada para aplicar y dar solución a la mejora del Indicador OEE caso de estudio. Para lo cual, teniendo en cuenta los criterios de la Tabla 21, se procede a describir el significado de la escala numérica que se utiliza para dar la calificación por cada criterio que exige analizar de acuerdo a esta matriz AHP, ver Tabla 22.

Tabla 22*Descripción de escala numérica del AHP para calificar criterios.*

ESCALA NUMERICA	RESUMEN DE IMPORTANCIA	ESCALA VERBAL	EXPLICACION
1	Igual	Igualmente importante	Dos elementos contribuyen en igual medida al objetivo.
3	Leve	Moderadamente importante	Preferencia leve en un elemento sobre otro.
5	Fuerte	Fuertemente importante	Preferencia fuerte de un elemento sobre otro.
7	Muy fuerte	Importancia muy fuerte o demostrada	Mucha más preferencia de un elemento sobre otro. Predominancia demostrada.
9	Extremadamente fuerte	Importancia extremadamente fuerte	Preferencia clara y absoluta de un elemento sobre otro.

Fuente: (Mendoza, Solano, Palencia, & García, 2018).

Entonces, teniendo en cuenta la escala numérica presentada en la Tabla 22, se procede a realizar el resultado de análisis de comparación de criterios definidos en la Tabla 21 de acuerdo a la matriz AHP, ver Figura 30:

Criterios	Comparación Criterios (CC)			Matriz Normalizada				
	MF	RM	MD	MF	RM	MD	Ponderación de pesos (PP)	
MF	1	7	5	1	7	5	0.74 0.64 0.79	0.72
RM	1/7	1	1/3	0.11	0.09	0.05		0.08
MD	1/5	3	1	0.15	0.27	0.16		0.19
Total:				1.34	11.00	6.33		

Figura 30. Matriz de comparación de criterios.

Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente se procede a calcular el ratio de consistencia (CR), el cual debe ser < 0.1 , en caso contrario se consideraría como errado el análisis de la ponderación de criterios establecida. Para lo cual se debe calcular:

- La multiplicación producto de la matriz de comparación de criterios (CC) con los resultados de la ponderación de pesos (PP) de la Figura 30, el cual da como resultado 3.11.
- Luego se debe calcular el índice de consistencia (CI), el cual se calcula: $(n_{\max}-n)/(n-1)$, donde n es el número de criterios (n=3), obteniendo así CI = 0.06.
- Se procede a calcular el índice aleatorio (RI), el cual se calcula: $1.98 \times (n-2)/n$, obteniendo un RI = 0.66.
- Finalmente se determina el CR, el cual es igual a CI dividido entre RI, obteniendo así un CR = 0.08, cómo este valor es menor a 0.1 se considera que la ponderación de criterios es válida.

Ver cálculos en la Tabla 23.

Tabla 23
Cálculo del ratio de consistencia.

(CC) x (PP)	Cálculo de CR: CR<0.1		
2.27	$CI=(n_{\max}-n)/(n-1)$	=	0.06
0.25	$RI=1.98*(n-2)/n$	=	0.66
0.59	CR=CI/RI	=	0.08
3.11			

Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente se procede a realizar la la matriz de ponderación de metodologías por criterio determinado, teniendo en cuenta la escala numérica definida en la Figura 31:

Criterio: Identificar el modo de fallo:

				Comparación Pares			Matriz Normalizada			
Alternativas	TPM	LM	RCM	TPM	LM	RCM	TPM	LM	RCM	Vector Promedio
TPM	1	1	1	1	1/3	1/7	0.09	0.04	0.11	0.08
Lean Maintenance	3	1	1	3	1	1/7	0.27	0.12	0.11	0.17
RCM	7	7	1	7	7	1	0.64	0.84	0.78	0.75
Total:				11.00	8.33	1.29				

Criterio: Reducir de mantenimiento reactivo:

				Comparación Pares			Matriz Normalizada			
Alternativas	TPM	LM	RCM	TPM	LM	RCM	TPM	LM	RCM	Vector Promedio
TPM	1	3	1	1	3	1/5	0.16	0.27	0.15	0.19
Lean Maintenance	1	1	1	1/3	1	1/7	0.05	0.09	0.11	0.08
RCM	5	7	1	5	7	1	0.79	0.64	0.74	0.72
Total:				6.33	11.00	1.34				

Criterio: Mejorar de la disponibilidad:

				Comparación Pares			Matriz Normalizada			
Alternativas	TPM	LM	RCM	TPM	LM	RCM	TPM	LM	RCM	Vector Promedio
TPM	1	1	1	1	1/5	1/7	0.08	0.03	0.11	0.07
Lean Maintenance	5	1	1	5	1	1/5	0.38	0.16	0.15	0.23
RCM	7	5	1	7	5	1	0.54	0.81	0.74	0.70
Total:				13.00	6.20	1.34				

Figura 31. Matriz de ponderación de metodologías por criterio determinado.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la columna vector promedio por criterio de la Figura 31 se procede a elaborar la Matriz de la Figura 32, donde por columna criterio se coloca el resultado obtenido en la columna PP de la Figura 30, obteniendo así la columna denominada priorización, la cual se calcula en función de la suma producto de cada fila como alternativa de metodología a aplicar con la fila ponderación, obteniendo así que la metodología que se debe aplicar es el RCM, el cual obtuvo el mayor puntaje de priorización de 0.74.

Por otro lado, analizando los resultados de la ponderación se tiene que el orden en que se debe realizar la mejora es:

- 1° Identificar el modo de fallo.
- 2° Buscar reducir el mantenimiento reactivo y
- 3° Mejorar la disponibilidad del proceso de Chancado Primario.

Alternativa	Criterio			Priorización
	MF	RM	MD	
TPM	0.08	0.19	0.07	0.09
Lean Maintenance	0.17	0.08	0.23	0.17
RCM	0.75	0.72	0.70	0.74
Ponderación	0.72	0.08	0.19	
Orden	1 °	3 °	2 °	

Figura 32. Matriz resultado de metodología AHP.
Fuente: Elaboración propia.

4.3 Solución del problema

En la siguiente figura se presenta el diseño de la solución de la aplicación RCM, realizado en el año 2020.

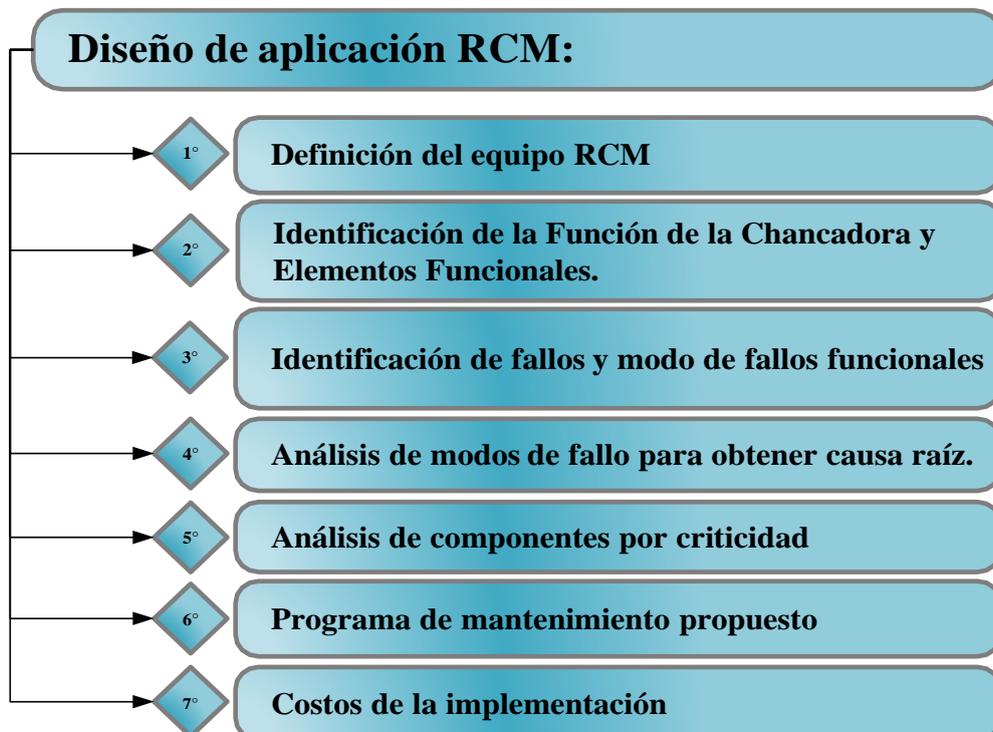


Figura 33. Diseño solución propuesto para la aplicación RCM.
Fuente: Elaboración propia.

4.3.1 Definición del equipo RCM

Como parte inicial del RCM se presenta la conformación del equipo RCM, el cual se encuentra formado por el Jefe de mantenimiento, supervisor y 3 técnicos, ver Figura 34.

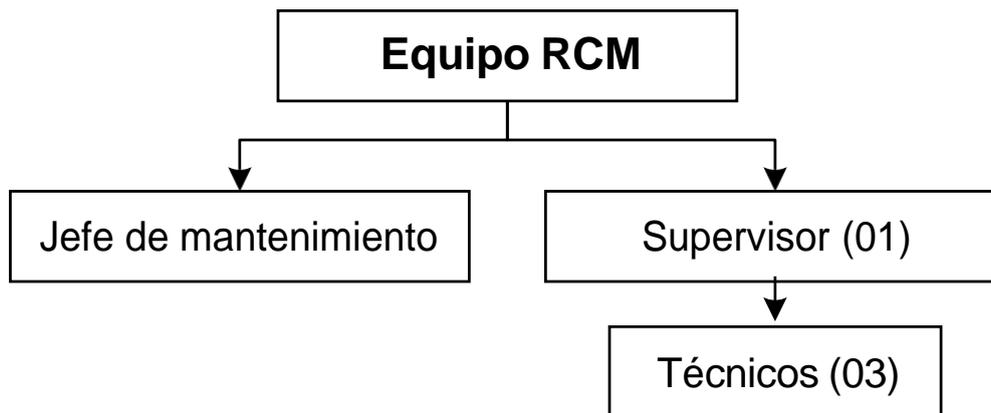


Figura 34. Equipo de trabajo RCM.
Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente, se presenta la solución al problema para incrementar el OEE a través de la aplicación de la metodología RCM para la chancadora de quiјadas, de acuerdo al diagrama de Pareto determinado en la Figura 26, donde se identifica que la chancadora de quiјadas es el equipo que ocasiona el problema.

4.3.2 Identificación de la Función de la Chancadora y Elementos Funcionales

A continuación, se describe algunas características principales de la chancadora de quiјadas:

Función de la Chancadora de quiјadas: la función principal es el de triturar trozos de mineral con diámetros menores a 700mm, reducirlos en fragmentos pequeños de 2-3/4" de diámetro aproximadamente, a través de fuerzas de compresión.

Filosofía de funcionamiento: Las fuerzas de compresión lo genera el sistema drive, formado por un motor eléctrico de 150 HP y a través de correas de transmisión que impulsa a

la polea conducida de 64” de diámetro, esta polea trasmite la energía mecánica para impulsar al sistema Pitman, el cual a su vez consiste en un eje y una masa excéntrica para generar el movimiento oscilatorio de vaivén de la mandíbula móvil.

El mineral que es alimentado a la chancadora por medio de una zaranda Scalper, el cual lleva el mineral hasta la cámara 30’x42’, lugar o espacio donde se aglomera el mineral a ser triturado, este espacio se va haciendo más angosto o reducido en las zonas inferiores o el descenso.

El espacio de la cámara de chancado se encuentra limitado principalmente por las superficies de las placas o forros fijo y móvil, justo en la parte más baja, que coincide con la descarga de mineral triturado, lugar donde existe una abertura o distancia entre el forro fijo y móvil la cual se llama “Setting”, ello ocurre cuando la mandíbula móvil se acerca lo máximo posible a la mandíbula fija.

Por otro lado, la distancia “Setting” es regulable y cuando esta se fija, se mantiene gracias al conjunto eje tensor y a la placa Toggle con sus asientos respectivos, que dan la fijación para mantener el Setting, permitiendo que el movimiento oscilatorio sea firme sin soltura de componentes. Adicionalmente la placa Toggle resiste esfuerzos determinados que ante esfuerzos de compresión que superen la capacidad de las mandíbulas, esta placa Toggle se romperá comportándose como protección al sistema.

El ajuste del Setting se logra manipulando la posición entre dos cuñas por medio de dos cilindros hidráulicos, todo ello forma parte del sistema de ajuste de Setting, entonces la mandíbula móvil se acercará o alejará según requiera respecto a la posición de la mandíbula fija, una vez fijada la distancia Setting se procederá a ajustar las tuercas del conjunto eje tensor. En el Anexo 14 se presenta el procedimiento de ajuste de Setting de la chancadora de quijadas.

Las placas o forros fijo y móvil son de forma ondulada y se desgastan con mayor intensidad en la zona inferior, después de aproximadamente 15 días, estos son invertidos para

que el desgaste sea completo en toda el área de los forros, luego de otros 15 días termina el ciclo de vida útil de los forros.

Los forros fijo y móvil van montados sobre sus respectivos asientos y fijados con sus respectivas cuñas, por medio de tuercas que permiten garantizar la trituración que se consigue aumentando y disminuyendo en forma alternativa la luz entre ambos forros, La chancadora tiene una capacidad de 200 – 460 TPH según el rango al cual esté ajustado en Setting.

Para una mejor comprensión se presenta a continuación esquemas de las partes de una chancadora de quijadas, ver Figura 35 con la estructura de la chancadora de quijadas y Figura 36 con las partes de la chancadora de quijadas.

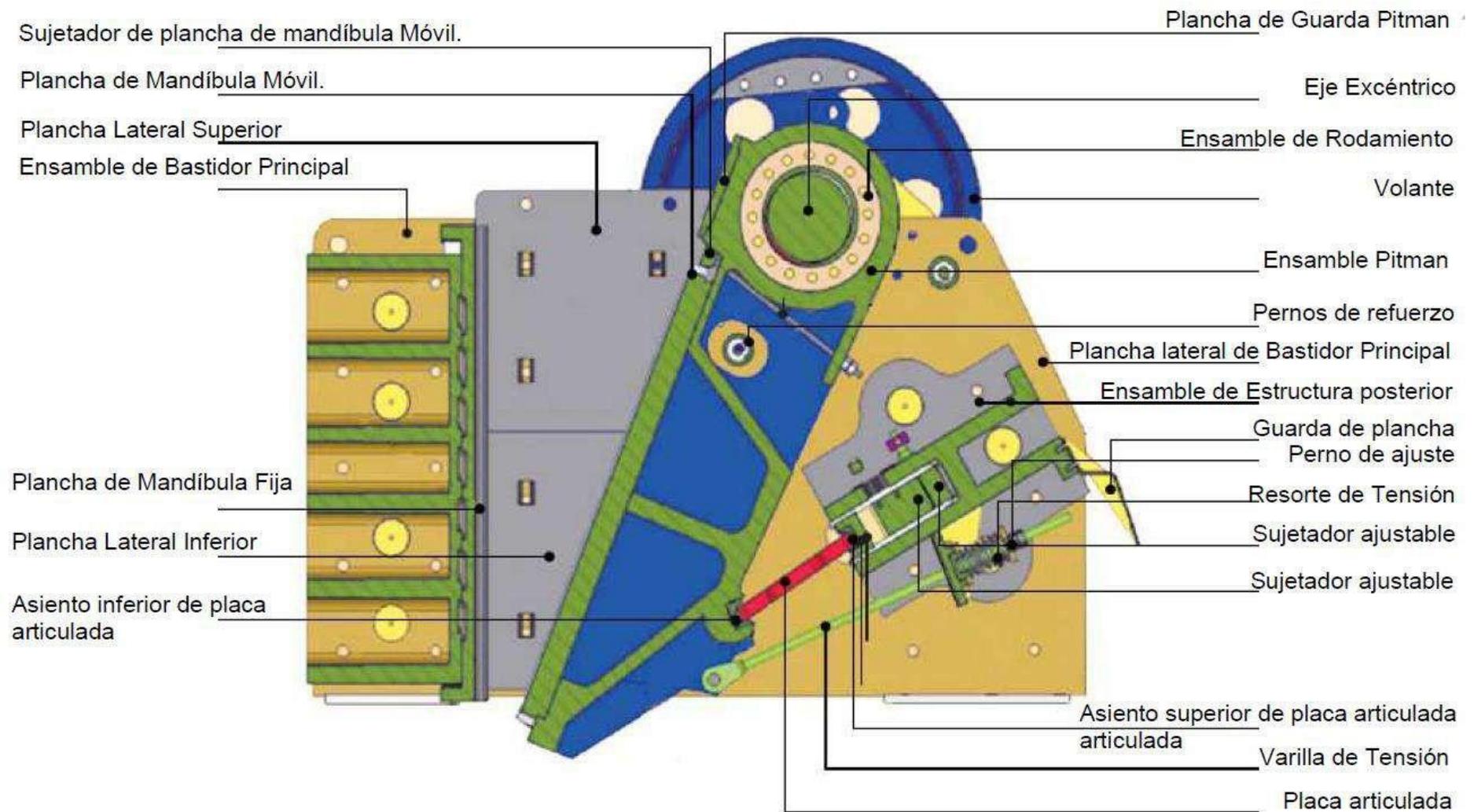


Figura 35. Chancadora de quijetas.
Fuente: Empresa en estudio.

Leyenda:

- 1.- Volante (Polea Impulsada)
- 2.- Pitman
- 3.- Rodamientos del Pitman
- 4.- Rodamiento Carcasa
- 5.- Eje excéntrico
- 6.- Cilindro hidráulicos de regulación
- 7.- Cuñas de regulación para Setting
- 8.- Perno-barra tensor
- 9.- Resortes tensores
- 10.- Asiento superior de placa Toggle
- 11.- Placa Toggle (fusible)
- 12.- Asiento inferior de placa Toggle
- 13.- Forro de mandíbula fija
- 14.- Bastidor estructural (Quijada fija)
- 15.- Placa laterales anti desgaste
- 16.- Forro de mandíbula móvil
- 17.- Cuñas de forro de mandíbula móvil
- 18.- Guarda del Pitman
- 19.- Estructura quijada móvil

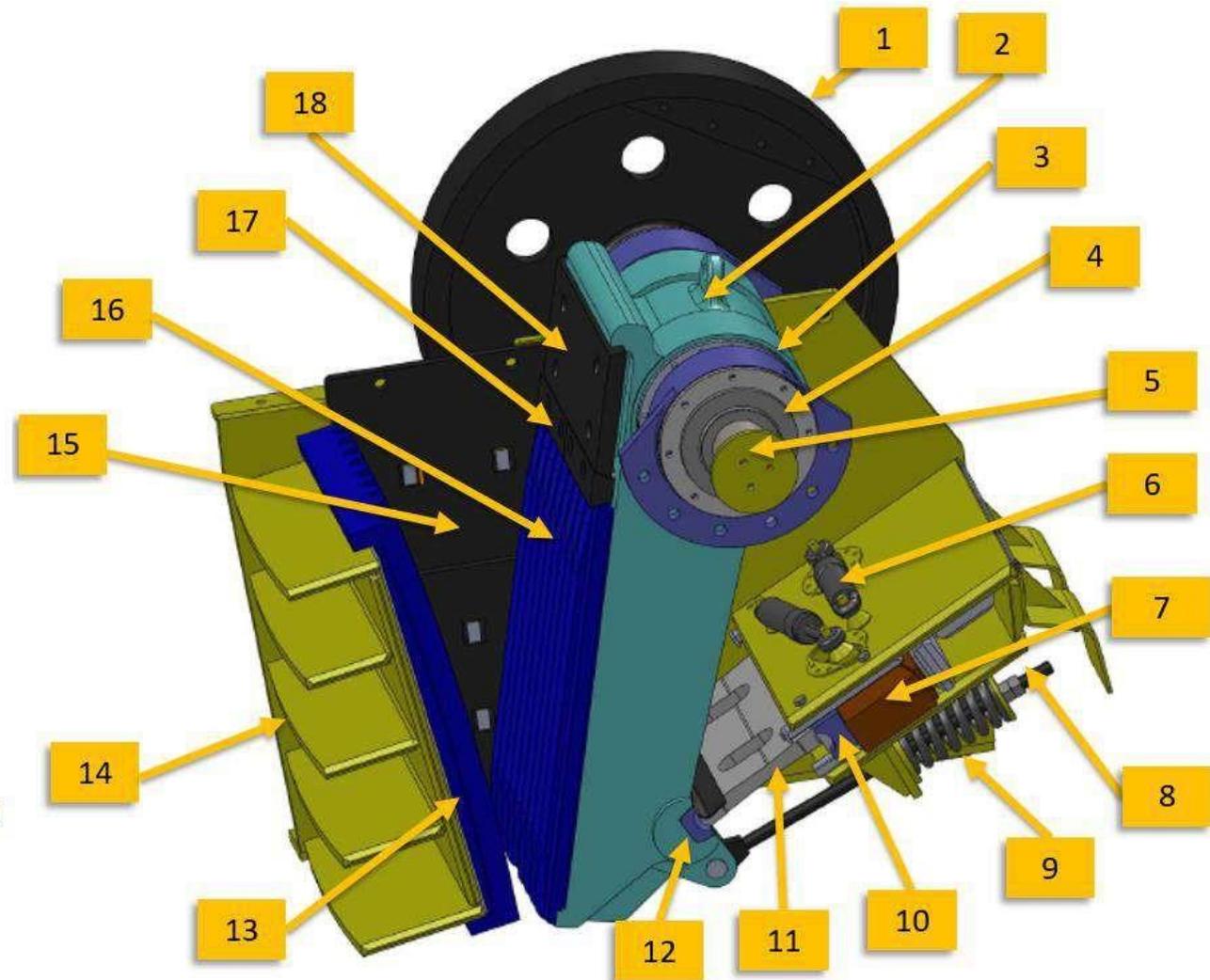


Figura 36. Partes de la Chancadora de quijadas.
Fuente: Empresa en estudio.

Para el desarrollo de la metodología RCM fue necesario identificar los elementos funcionales de la chancadora que son en sí la división en sistemas desde el punto de vista funcional, que permitirán fácilmente determinar las fallas funcionales, los modos y efecto de las fallas. En la Tabla 24 se presenta los 5 sistemas funcionales que para nuestro desarrollo del RCM lo nombraremos como elementos funcionales.

Tabla 24
Componentes funcionales de la chancadora de quijadas.

Función Chancadora de Quijadas	Elemento Funcional
Chancadora de quijadas	1 Sistema Drive
	2 Conjunto eje tensor y Placa de Toggle (Placa Seguridad)
	3 Sistema de Ajuste de Setting
	4 Forro de quijada fija
	5 Forro de quijada móvil

Fuente: Elaboración propia.

1.- Sistema Drive: En la figura 36 se muestran los componentes que conforman este sistema.

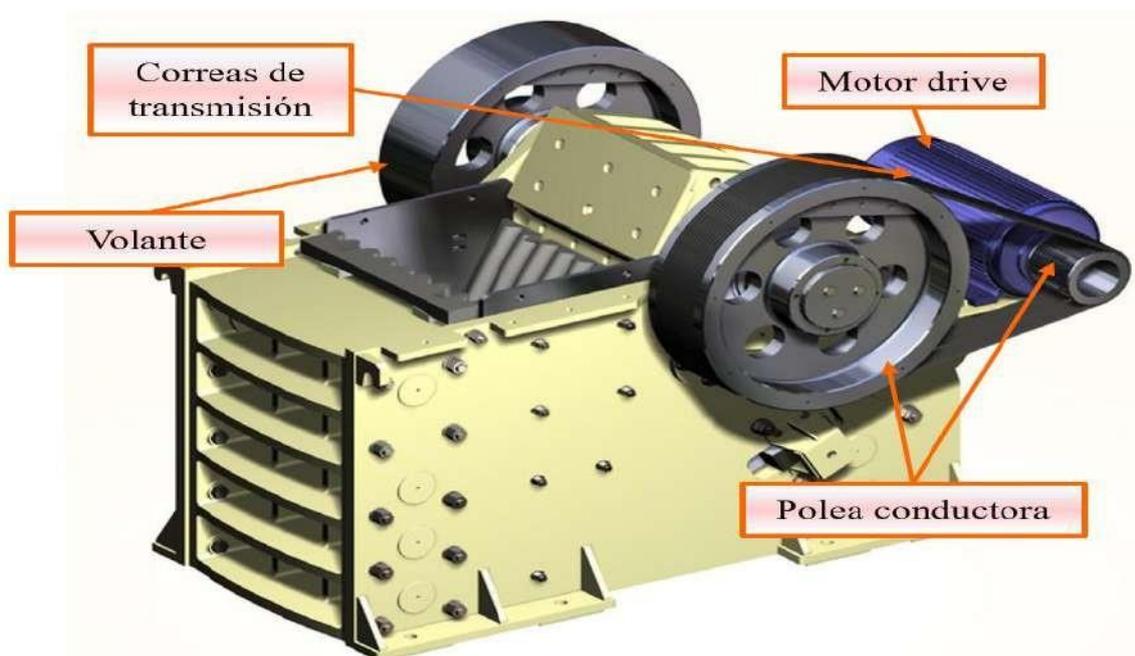


Figura 37. Chancadora de quijadas – Partes que conforman el sistema Drive.
Fuente: Empresa en estudio.

Las fallas funcionales del sistema drive tienen causa directa con el conjunto Pitman, el cual se presenta en la figura 38.

Leyenda:

- 1.- Pitman
- 2.- Alojamiento rodamiento carcasa excéntrica
- 3.- Rodamiento Carcasa
- 4.- Sello laberíntico exterior de la carcasa
- 5.- Sello rodamiento carcasa
- 6.- Manguito
- 7.- Sello laberíntico interior de la carcasa
- 8.- Sello laberíntico del Pitman
- 9.- Eje excéntrico
- 10.- Aro retenedor de grasa
- 11.- Rodamiento del Pitman

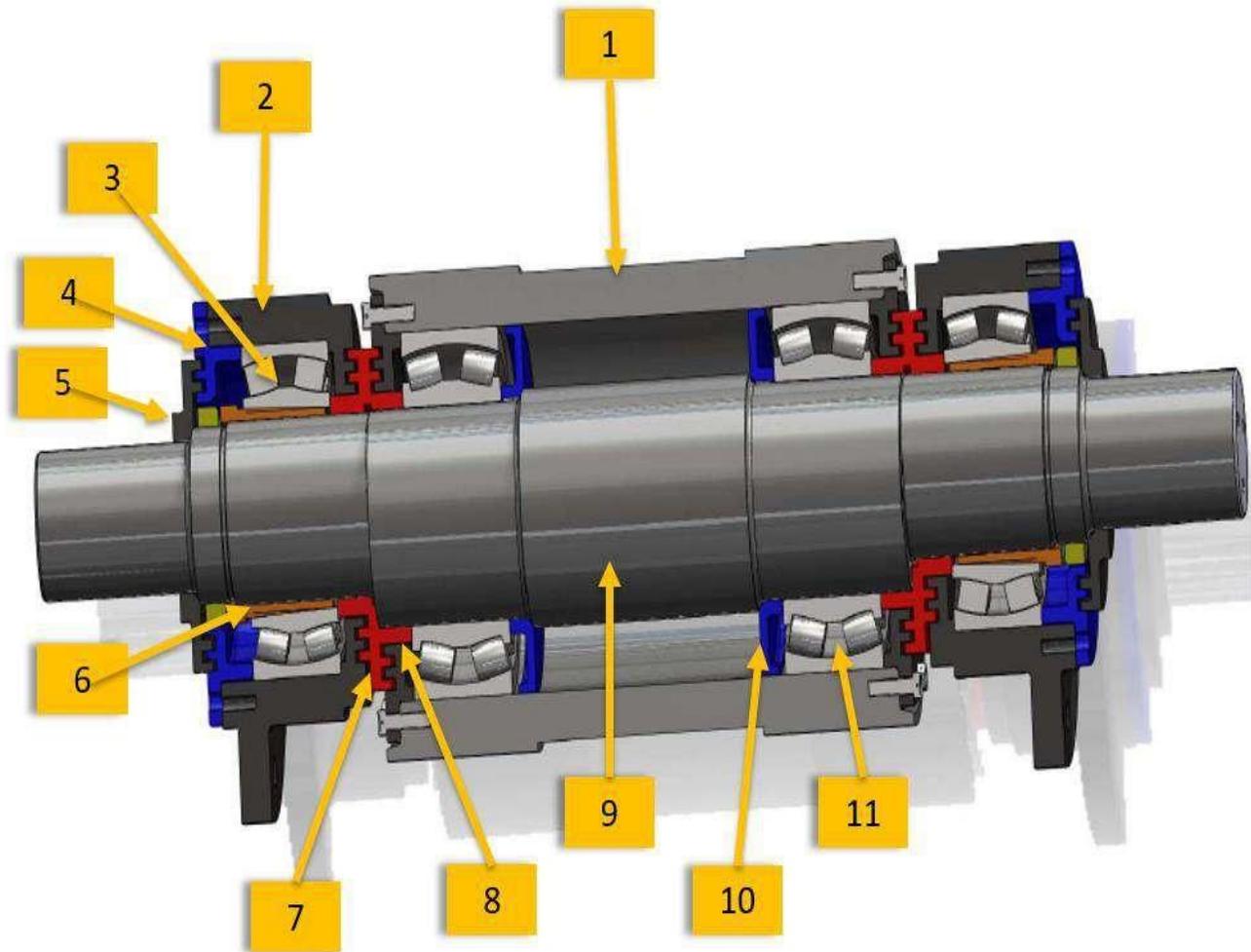


Figura 38. Partes del conjunto Pitman con eje y masa excéntrica.
Fuente: Empresa en estudio.

2.- Conjunto eje tensor y Placa Toggle: En la figura 39 se muestra el conjunto eje tensor.

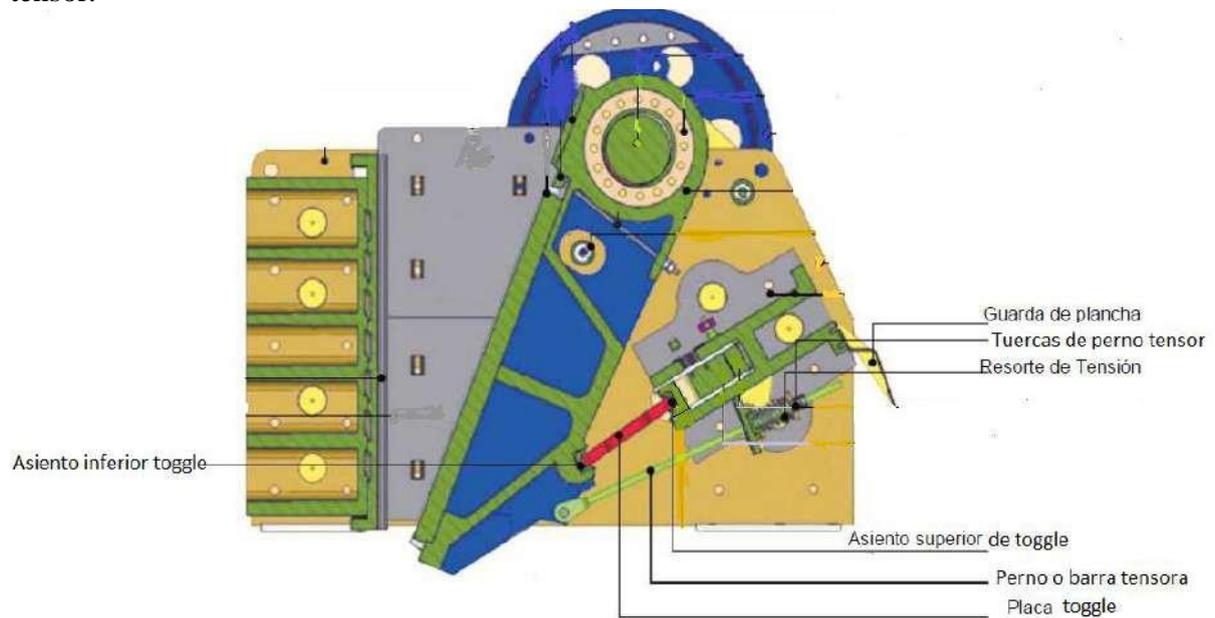


Figura 39. Conjunto Tensor y Placa Toggle.
Fuente: Empresa en estudio.

3- Sistema de Ajuste de Setting En la figura 40 y figura 41 se muestra el sistema de ajuste de Setting.

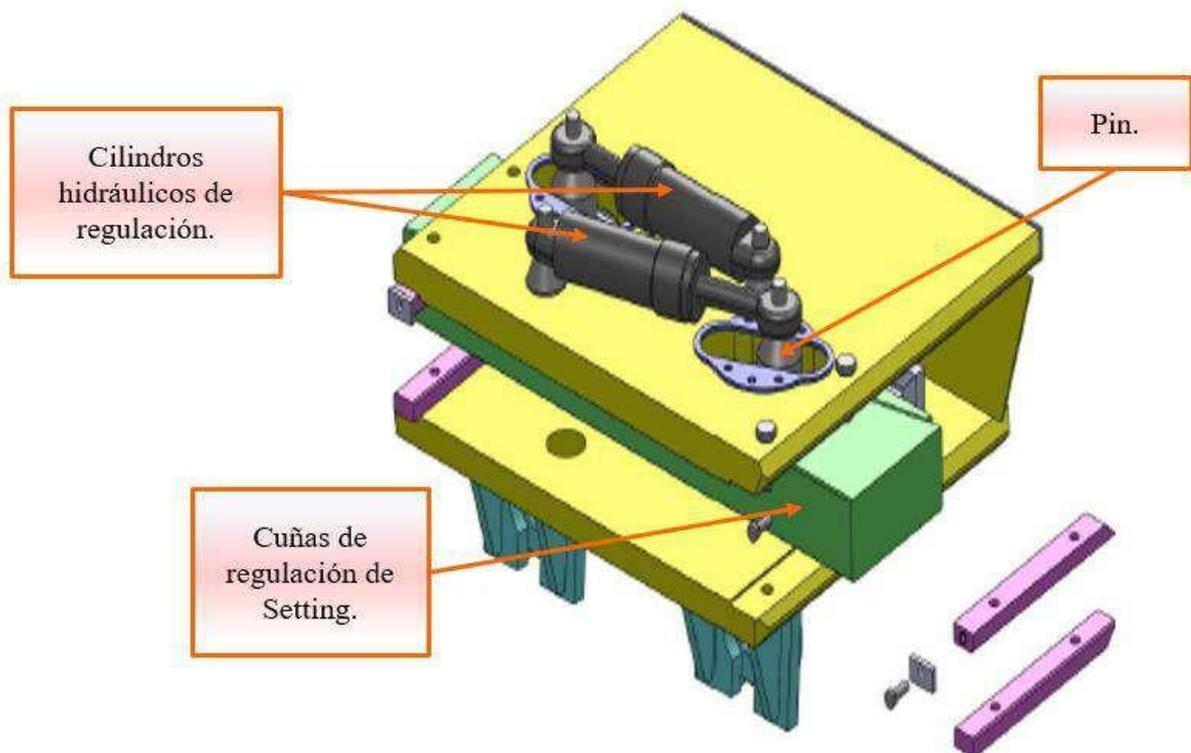


Figura 40. Cilindros hidráulicos de regulación de Setting.
Fuente: Empresa en estudio.

Leyenda:

1. Respirador de tanque de aceite.
2. Filtro de aceite.
3. Indicador de nivel de aceite.
4. Drenaje de tanque de aceite.
5. Motor eléctrico acoplado de bomba hidráulica

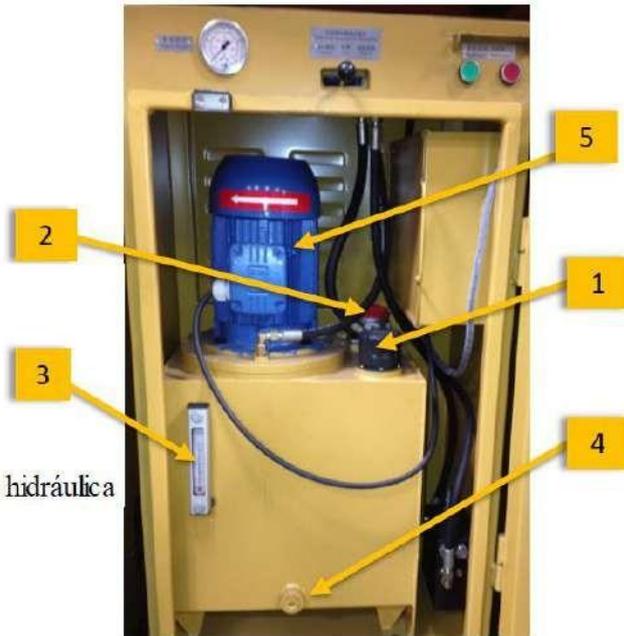


Figura 41. Unidad hidráulica del sistema de Ajuste de Setting.
Fuente: Empresa en estudio.

4- Forro Quijada Fija: En la figura 42 se muestra la mandíbula fija, la geometría del bastidor que posee, que es el lugar donde asienta el forro fijo de superficie ondulada, las cuñas de fijación del forro fijo con sus respectivas tuercas y el forro fijo que es de una aleación al 18% de manganeso.

Figura 42. Mandíbula y forro fijo.
Fuente: Empresa en estudio.

5- Forro Quijada Móvil: En la Figura 43 se muestra lo siguiente: La quijada móvil, la geometría del bastidor que posee que es el asiento del forro móvil, las cuñas del forro móvil con sus respectivos pernos de fijación y el forro móvil de superficie ondulada que es de una aleación al 18% de manganeso.

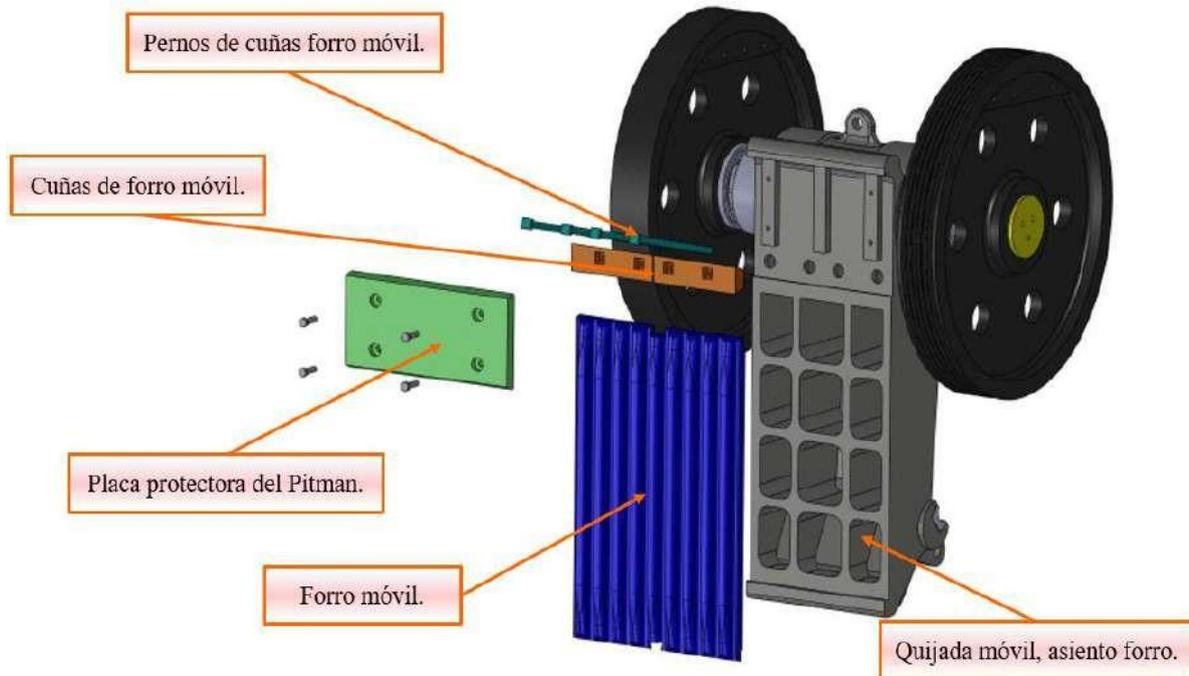


Figura 43. Mandíbula y forro móvil.
Fuente: Empresa en estudio.

En la Figura 44 se muestra el tablero de fuerza y control del módulo de chancado al cual pertenece la chancadora de quijadas y en la figura 45 se muestra el arrancador del motor eléctrico de la chancadora de quijadas.



Figura 44. Tablero eléctrico fuerza y control del módulo de chancado.
Fuente: Empresa en estudio.

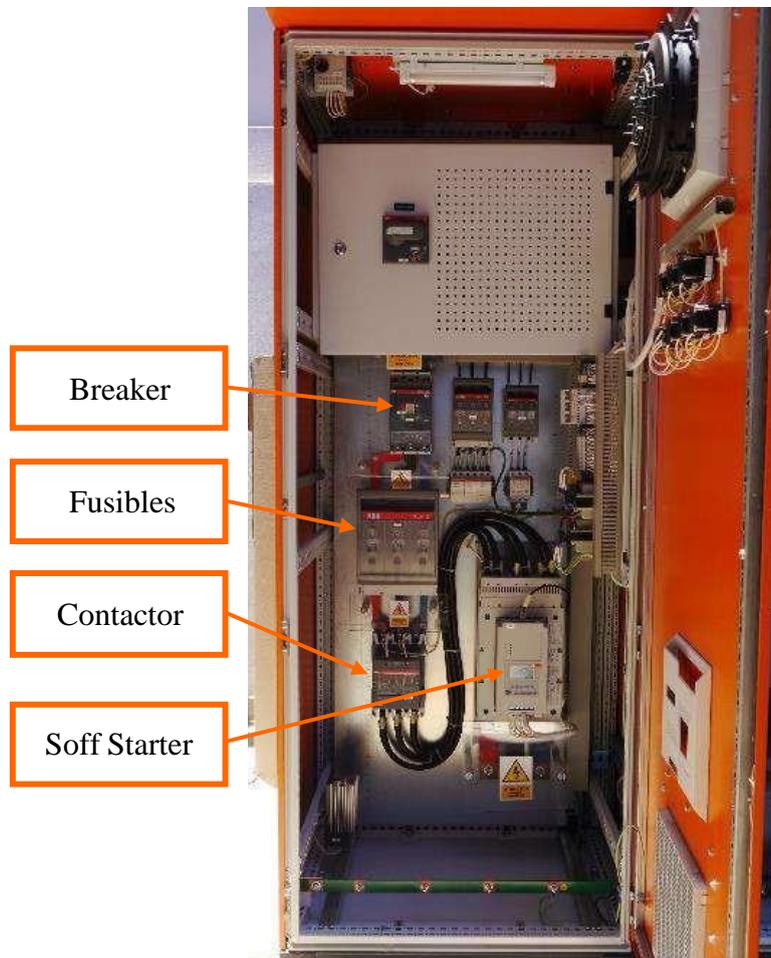


Figura 45. Tablero eléctrico fuerza de Chancadora de Quijadas.
Fuente: Empresa en estudio.

4.3.3 Identificación de fallos y modo de fallos funcionales

En la Tabla 25 se presenta la funcionalidad, falla funcional y modo de falla de cada uno de los componentes funcionales identificados en la Tabla 24:

- Sistema Drive.
- Conjunto eje tensor y Placa de Toggle (Placa Seguridad).
- Sistema de Ajuste de Setting.
- Forro de quijada fija.
- Forro de quijada móvil.

Tabla 25

FMEA: Detección de fallo y modo de fallo de la chancadora de quijadas.

FMEA HOJA DE INFORMACIÓN RCM					Descripción		Hecho por		Fecha
					CHANCADORA QUIJADAS		F.CAMPOVERDE		Fecha
					TAG		Revisado por		Fecha
					1051-CR-001				
Función Chancadora de Quijadas		Elemento Funcional	Función de Elementos	Falla Funcional (FF)	FMG	Modo de falla (FM)		Efecto de la Falla (Qué sucede cuando ocurre la falla)	
E	Triturar trozos de mineral con diámetros menores a 700mm y reducirlos en fragmentos pequeños de 2-3/4" de diámetro aprox. utilizando las fuerzas de compresión que se generan entre las mandíbulas. Con un consumo específico de energía óptimo de 0.339 Kw-h/Tmh	1 Sistema Drive	Generar movimiento al eje excéntrico del Pitman	A Eje excéntrico del Pitman no gira o merma su giro normal.	A1	A.1.1- Rotura de correas de transmisión. A.1.2- Falla en rodamientos de carcasa excéntrica. A.1.3- Falla en rodamientos del Pitman. A.1.4- Falla en davanados del motor eléctrico, eje no gira. A.1.5 - Fallas en rodamientos del motor eléctrico. A.1.6- Falla en el Soft starter del motor eléctrico. A.1.7- Contactor no transmite energía eléctrica al Soft Starter. A.1.8- Falla en tablero de fuerza y control. A.1.9- Parámetros eléctricos fuera de rango.		Local: Se deja de triturar y se atora la chancadora según cantidad de carga en la cámara Global: Se deja de alimentar mineral a la faja de descarga 1051-CB-001 Final: Si la parada se extiende más de 20 Minutos, se para el proceso de ore-Sorting	
			2 Transmitir el Mayor Torque según demanda de chancado del motor eléctrico al Pitman	B Motor eléctrico no transmite correctamente el torque al Pitman	B2	B.2.1- Correas con tensión insuficiente B.2.2- No se logra la tensión suficiente de correas B.2.3- Deslizamiento de correas B.2.4- Correas se vuelcan		Local: Disminuye en cierto grado las Toneladas métricas procesadas por hora Global: Se ralentiza en cierto grado la transferencia de carga. En toda la Planta Final: Disminuye en cierto grado la producción total del turno de trabajo	
		2 Conjunto eje tensor y Placa de Toggle (Placa Seguridad-fusible)	3 Fijar la posición de la mandíbula móvil después de haber fijado la abertura o el Setting de la chancadora	C Mandíbula móvil no mantiene su posición de Setting.	C3	C.3.1- Resortes mal ajustados, mayor a de 240mm de la cota establecida C.3.2- Resortes rotos C.3.3- Perno tensor roto o rosca deteriorada. C.3.4- Perno tensor caído C.3.5- Placa Toggle rajada o rota		Local: Se deja de triturar y se atora la chancadora según cantidad de carga en la cámara Global: Se deja de alimentar mineral a la faja de descarga 1051-CB-001 Final: Si la parada se extiende más de 20 Minutos, se para el proceso de ore-Sorting	
			4 Proteger al conjunto por sobre esfuerzos de chancado	D Placa Toggle no protege al conjunto tensor y bastidores de mandíbulas	D4	D.4.1- Toggle con fisuras o rajaduras soldada D.4.2- Presión de fijación en Toggle insuficiente		Local: Se deja de triturar por atoro en la chancadora, tiempo de atoro según cantidad de carga en la cámara Global: Se deja de alimentar mineral a la faja de descarga 1051-CB-001 Final: Si la parada se extiende más de 20 Minutos, se para el proceso de ore-Sorting	
		3 Sistema de Ajuste de Setting	5 Ajustar la abertura a 106 mm, entre las superficies de mandíbulas estacionaria y la oscilatoria para que la comunición de mineral se dé a 2-3/4"	E Conminución fuera de rango, fragmentos triturados mayor a 2-3/4", afecta la calidad	E5	E.5.1- Sistema hidráulico no regula la posición de la mandíbula móvil E.5.2- Sistema hidráulico si regula la posición pero no llega a la cota deseada E.5.3. La mandíbula móvil no está en la posición de descanso al inicio de ajuste de Setting. E.5.4- No se detecta a tiempo el requerimiento de ajuste de Setting.		Local: Se entrega más carga de trabajo a chancado secundario Global: La carga re circulante en el circuito de chancado secundario aumenta Final: Disminuye en cierto grado la producción total del turno de trabajo	
5		4 Forro de quijada fija o estacionaria	6 Sostener el impacto de trituración al girar el Pitman durante su tiempo de vida útil posicionada correctamente y con área de impacto suficiente	F El forro de quijada fija no sostiene correctamente el impacto, aumenta más la abrasión que el impacto	F6	F.6.1- Forro no asienta correctamente en el bastidor de quijada fija F.6.2- Cuñas de fijación del forro fijo flojas o desgastadas F.6.3- Forro fijo con desgaste de dientes mayor al 80%		Local: Disminuye el ratio de Tn/h que procesa la chancadora Global: Aumenta el consumo específico de energía por tonelada producida (KWH/Tn) Final: Disminuye en cierto grado la producción total del turno de trabajo	
			7 Protección de sacrificio para el bastidor de mandíbula fija o estacionaria	G El Forro fijo no protege al bastidor de la mandíbula, su estructura sufre abolladura	G7	G.7.1- Forro fijo desgastado excesivamente G.7.2- Forro fijo con cuñas mal ajustadas, forro no asienta correctamente y golpea el asiento en bastidor		Local: Disminuye la mantenibilidad de la chancadora durante el cambio de forros por reparaciones adicionales del bastidor Global: Disminuye la disponibilidad de la Planta en el turno de trabajo Final: Disminuye el tiempo de vida útil del Frame de la chancadora de quijadas	
		5 Forro de quijada móvil u oscilante	8 Sostener los impulsos de compresión al girar el Pitman, durante su tiempo de vida útil posicionada correctamente.	H El forro de quijada móvil no sostiene correctamente el impulso de compresión, aumenta más la abrasión que el impacto	H8	H.8.1- Cuñas de forro móvil con pernos flojos o rotos		Local: Disminuye el ratio de Tn/h que procesa la chancadora Global: Aumenta el consumo específico de energía por tonelada producida (KWH/Tn) Final: Disminuye en cierto grado la producción total del turno de trabajo	
0			9 Protección de sacrificio para el bastidor mandíbula móvil u oscilante	I El Forro móvil no protege al bastidor de la mandíbula, su estructura sufre abolladura	I9	I.9.1- Forro móvil con pernos de cuñas mal ajustados o rotos, forro no asienta correctamente y golpea el asiento en bastidor		Local: Disminuye la mantenibilidad de la chancadora durante cambio de forros por reparaciones adicionales del bastidor Global: Disminuye la disponibilidad de la Planta en el turno de trabajo Final: Disminuye el tiempo de vida útil del Frame de la chancadora de quijadas	

Fuente: Elaboración propia.

4.3.4 Análisis de modo de fallo para obtener la causa raíz

En las Tablas 26, 27 y 28 se presenta el análisis de modo de falla y la causa raíz (color rosa) para cada uno de los componentes determinados como falla funcional en la Tabla 24:

1. Eje excéntrico del Pitman no gira o merma su giro normal.
2. Motor eléctrico no transmite correctamente el torque al Pitman
3. Mandíbula móvil no mantiene su posición de Setting.
4. Placa Toggle no protege al conjunto tensor y bastidores de mandíbulas
5. Conminución fuera de rango, fragmentos triturados mayor a 2-3/4", afecta la calidad
6. El forro de quijada fija no sostiene correctamente el impacto, aumenta más la abrasión que el impacto.
7. El Forro fijo no protege al bastidor de la mandíbula, su estructura sufre abolladura.
8. El forro de quijada móvil no sostiene correctamente el impulso de compresión, aumenta más la abrasión que el impacto.
9. El Forro móvil no protege al bastidor de la mandíbula, su estructura sufre abolladura.

Tabla 26

Análisis modo de falla para obtener causa raíz – Parte 1.

ANÁLISIS MODO DE FALLA CON DIFERENTES NIVELES				Descripción: TAG:	CHANCADORA QUIJADAS 1051-CR-001					
FE	FF	FMG	Falla Funcional (FF)	Modo de falla (FM)	DETALLE	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
1	A	A1	Eje excéntrico del Pitman no gira o merma su giro normal.	A.1.1- Rotura de correas de transmisión.	A.1.1.1	Impulsos de cargas consecutivas en arranques.	Intentos de arranque con carga por atoros.	No se libera total o parcialmente la cámara de carga de mineral.	No se siguen los procedimientos de desatoro o liberación de carga.	
					A.1.1.2	Cargas de Choque por inchancables.	Inchancables metálicos ingresan a cámara.	Electroimán no atrapa cargas muy pesadas.	Falta de procedimientos de cribado canchas de mineral.	
					A.1.1.3	Atascamientos en correas en guarda y poleas.	Mineral o metales atrapados en transmisión.	Guarda de transmisión mal colocada o falta encapsular.		
					A.1.1.4	Tensión excesiva de correas.	Procedimiento de tensión incorrecto.			
				A.1.2- Falla en rodamientos de carcasa excéntrica.	A.1.2.1	Desgaste normal por uso.	Falta de monitoreo por condición.	No se aplica la estrategia por condición.		
					A.1.2.2	Falta de lubricación.	Mala planificación / no se lubrica rodamientos o juntas laberínticas.			
				A.1.3- Falla en rodamientos del Pitman.	A.1.3.1	Desgaste normal por uso.	Falta de monitoreo por condición.	No se aplica la estrategia por condición.		
					A.1.3.2	Falta de lubricación.	Mala planificación / no se lubrica rodamientos o juntas laberínticas.			
				A.1.4- Falla en davanados del motor eléctrico, eje no gira.	A.1.4.1	Cortocircuitos entre espiras de devanados o devanados a tierra.	Deterioro de aislamientos.	Fatigas de aislamientos.	Sobrecargas continuas en motor eléctrico.	Falta mejorar sistemas de protección de sobrecargas continuas.
				A.1.5- Fallas en rodamientos del motor eléctrico.	A.1.5.1	Desgaste normal por uso.	Falta de monitoreo por condición.	No se aplica la estrategia por condición.		
					A.1.5.2	Montaje inadecuado de rodamientos.	No se sigue el procedimiento de montaje.			
					A.1.5.3	Motor desalineado.	No se sigue el procedimiento de alineamiento.			
				A.1.6- Falla en el Soft starter del motor eléctrico.	A.1.6.1	Disipador de calor muy caliente después de varios intentos de arranque con carga en cámara.	No se espera el enfriamiento del disipador de calor en forma natural o forzado.			
					A.1.6.2	Cortocircuito en los tiristores o falla en tarjeta de control.	Soft starter con mucho polvo.	Tablero falta hermetizar, falta limpieza.		
						Soft starter con conexiones calientes.	Falta ajustes de conexiones.			
				A.1.7- Contactor no transmite energía eléctrica al Soft Starter.	A.1.7.1	Falla en contactos salida PLC.	Contacto de PLC desgastado. Electrónica de salida averiada.			
					A.1.7.2	Fallas en los relés de control.	Contactos desgastado, conexiones flojas.			
					A.1.7.3	Contactos desgastados-chisporroteados en contactor.	Desgaste por tiempos de uso.			
				A.1.8- Falla en tablero de fuerza y control.	A.1.8.1	Dispositivos con falsos contactos o recalentados.	Falta de ajuste y limpieza.			
					A.1.8.2	Temperatura en tablero elevada.	Ventiladores averiados.			
						Filtros de polvo saturados.				
				A.1.9- Parámetros eléctricos fuera de rango.	A.1.9.1	Soft Starter en estado de alarma por pérdida de fase.	Fusibles aperturados o alimentación con pérdida de fase.			
					A.1.9.2	Soft Starter en estado alarma por sobre intensidad.	Atoro en cámara de chancado, sobre esfuerzo en partes mecánicas.			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27

Análisis modo de falla para obtener causa raíz – Parte 2.

ANÁLISIS MODO DE FALLA CON DIFERENTES NIVELES						Descripción: TAG:	CHANCADORA QUIJADAS 1051-CR-001				
FE	FF	FMG	Falla Funcional (FF)	Modo de falla (FM)	DETALLE	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	
2	B	B2	Motor eléctrico no transmite correctamente el torque al Pitman	B.2.1- Correas con tensión insuficiente.	B.2.1.1	Correas estiradas.	Estiramiento de correas por uso.	Falta de inspección por ajuste.			
				B.2.2 - No se logra la tensión suficiente de correas.	B.2.2.1	Correas han perdido flexibilidad.	Correas, agrietadas, resecas, cristalizadas.	No se cambia correas a tiempo.			
					B.2.2.2	Poleas de transmisión demasiado gastadas.	Desgaste por fricción en superficie de canales.	No se mide desgaste de poleas.			
				B.2.3- Deslizamiento de correas.	B.2.3.1	Correas demasiado sueltas.	Falta de ajuste o no se cambia tiempo.				
				B.2.4- Correas se vuelcan.	B.2.4.1	Cargas de impulso.	Se arranca motor con carga o trava mecánica.				
					B.2.4.2	Desalineación.	Poleas transmisión desalineadas.				
					B.2.4.3	Desgaste en poleas transmisión.	Ranuras de la polea desgastadas.				
B.2.4.4	Vibración excesiva.	Pernos de anclaje de chancadora flojos.									
3	C	C3	Mandíbula móvil no mantiene su posición de Setting.	C.3.1- Resortes mal ajustados, mayor a de 240.mm de la cota establecida.	C.3.1.1	Falla en el procedimiento de ajuste de Setting.					
				C.3.2- Resortes rotos.	C.3.2.1	Fatiga de resortes.					
				C.3.3- Perno tensor roto o rosca deteriorada.	.C3.3.1	Fatiga de pernos tensores.					
				C.3.4- Perno tensor caído.	.C3.4.1	Pin y pasador salidos.	Mal montaje o rotos por fatiga.				
				C.3.5- Placa Toggle rajada o rota.	C.3.5.1	Se activó la protección a sobre esfuerzos partiéndose la placa Toggle.					
4	D	D4	Placa Toggle no protege al conjunto tensor y bastidores de mandíbulas	D.4.1- Toggle con fisuras o rajaduras soldadas.	D.4.1.1	Procedimientos inadecuados, debe cambiarse Toggle nuevo.					
				D.4.2- Presión de fijación en Toggle insuficiente.	D.4.2.1	No se ajusta la presión adecuada a los resortes según procedimiento.					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28

Análisis modo de falla para obtener causa raíz – Parte 3.

ANÁLISIS MODO DE FALLA CON DIFERENTES NIVELES						Descripción: TAG:	CHANCADORA QUIJADAS 1051-CR-001				
F E	F F	FMG	Falla Funcional (FF)	Modo de falla (FM)	DETALLE	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	
5	E	E5	Conminución fuera de rango, fragmentos triturados mayor a 2-3/4", afecta la calidad	E.5.1- Sistema hidráulico no regula la posición de la mandíbula móvil.	E.5.1.1	Pin o pines para mover cuñas de regulación están rotos.	Sobre esfuerzos por no liberar tensión en resortes durante ajustes de Setting.				
					E.5.1.2	Mangueras hidráulicas de cilindros rota o con fugas de aceite.	Mangueras con superficies desgastadas por fricción.	No se protege las mangueras ante la fricción de máquina vibrante.			
					E.5.1.3	Fugas de aceites en conexiones de mangueras.	Alma metálica de las mangueras conducen corrientes a tierra y perforan.	No se protegen mangueras durante trabajos de soldaduras.			
					E.5.1.4	Falla en los cilindros hidráulicos.	Falta de ajuste de conexiones.				
					E.5.1.5	Falla en motor eléctrico.	Sellos desgastados.				
					E.5.1.6	Bomba hidráulica no logra transportar fluido de aceite.	Pernos en horquillas de cilindros están flojos o rotos.				
							Falla en rodamientos, devanados o conexiones.				
							Falla en el arrancador del motor.	Falta de mantenimiento preventivo.			
							Avería en componentes internos de bomba.				
							Filtro de aceite hidráulico obstruido.	No se cambia filtro de aceite después de 250 horas.			
		Bajo nivel de aceite en tanque hidráulico.									
		E.5.2- Sistema hidráulico si regula la posición pero no llega a la cota deseada.	E.5.2.1	Asientos del Toggle demasiado desgastados.							
		E.5.3. La mandíbula móvil no está en la posición de descanso al inicio de ajuste de Setting.	E.5.3.1	falla en el procedimiento de ajuste de Setting.							
		E.5.4- No se detecta a tiempo el requerimiento de ajuste de Setting.	E.5.4.1	Falta de inspección visual según lecturas de analizador de partículas.							
6	F	F6	El forro de quijada fija no sostiene correctamente el impacto, aumenta más la abrasión que el impacto.	F.6.1- Forro no asienta correctamente en el bastidor de quijada fija.	F.6.1.1	Montaje de forro fijo inadecuado, no asienta completamente.	No se verifica el correcto montaje durante cambio de forro.				
				F.6.2- Cuñas de fijación del forro fijo flojas o desgastadas.	F.6.2.1	Cuñas mal ajustadas se salen de su posición y forro desliza hacia adentro de la cámara.	No se aplica retorque después de 4 horas de funcionamiento después de cambio de forros.				
					F.6.2.2	Cuñas desgastadas no se cambia a tiempo.					
				F.6.3- Forro fijo con desgaste de dientes mayor al 80%.	F.6.3.1	Se permite que el forro se desgaste al máximo.					
7	G	G7	El Forro fijo no protege al bastidor de la mandíbula, su estructura sufre abolladura.	G.7.1- Forro fijo desgastado excesivamente.	G.7.1.1	Forro se adelgazada en zonas inferiores de mayor impacto y deterioran al frame del bastidor.	no existe un estándar de cambio de forro fijo de acuerdo al desgaste.				
				G.7.2- Forro fijo con cuñas mal ajustadas, forro no asienta correctamente y golpea el asiento en bastidor.	G.7.2.1	No se aplica retorque después de 4 horas de funcionamiento después de cambio de forro fijo.					
8	H	H8	El forro de quijada móvil no sostiene correctamente el impulso de compresión, aumenta más la abrasión que el impacto.	H.G.8.1- Cuñas de forro móvil con pernos flojos o rotos.	H.8.1.1	No se aplica retorque después de 4 horas de funcionamiento después de cambio de forro móvil.					
					H.8.1.2	Movimiento de forro inestable rompe los pernos.					
9	I	I9	El Forro móvil no protege al bastidor de la mandíbula, su estructura sufre abolladura.	I.9.1- Forro móvil con pernos de cuñas mal ajustados o rotos, forro no asienta correctamente y golpea el asiento en bastidor.	I.9.1.1	Cuñas y pernos roto no ejercen la presión suficiente y en cada impacto de compresión golpea al bastidor.					

Fuente: Elaboración propia.

4.3.5 Análisis de componentes por criticidad

A continuación, se presenta el formato utilizado de análisis de criticidad, el cual es utilizado para determinar el nivel de criticidad de fallo de cada componente identificado en la matriz FMEA de la Tabla 24. Ver Tabla 29. En la Tabla 30 se presenta los niveles de criticidad de acuerdo al cual se determina la criticidad final, mientras que en la Tabla 31 se presenta la descripción de los niveles de criticidad.

Finalmente, en las Tablas 34 al 38 se presenta el resultado del análisis de criticidad de acuerdo a los resultados obtenidos aplicando el formato de la Tabla 21 y niveles de la Tabla 29.

Tabla 29
Formato para análisis de criticidad.

Variable	Concepto	Valor	Descripción del valor	CALIFICACIÓN
Relación con el servicio que ofrece:				
	Detiene el proceso	2		
	Reduce el proceso	1		
	No detiene el proceso	0		
Valor económico de la reparación:				
Considerando costos de: Adquisición, operación y mantenimiento.	Alto	3	Mayor a \$ 10,000	
	Intermedio	2	Entre \$ 1,001 y \$ 9,999	
	Aceptable	1	Menor a \$ 1,000	
La falla afecta al:				
a) Al equipo.	Sí	1	Puede dañar otros componentes.	
	No	0		
b) A la línea de producción	Sí	1	Puede dañar a otros equipos.	
	No	0		
c) A los operadores.	Sí	1	El operador corre riesgo de accidentarse.	
	No	0		
d) Al área en general.	Sí	1	Otras personas o equipos que operan en la línea de producción pueden verse afectados.	
	No	0		
e) A la Calidad	Si /no	1/0	Puede afectar la calidad del producto / no afecta	
Confiability de la falla:				
	Alto	1	Asegura que el equipo no va fallar siempre y cuando se respete el programa de mantenimiento preventivo.	
	Bajo	0		
Tipo de mantenimiento:				
	Por terceros	1	Mantenimiento realizado por terceros.	
	Propio.	0	Mantenimiento realizado con personal propio.	
La compra de repuestos requiere ser:				
	Importada.	1		
	Local	0		
Nivel de criticidad:				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30
Niveles de criticidad.

Nivel de Criticidad	Rango
Baja (A)	De 0 a 4
Media (B)	De 5 a 8
Muy Alta (C)	De 9 a 12

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31
Descripción de los niveles de criticidad.

Criticidad	Descripción de la criticidad
Baja	Fácil detección de falla.
	De fácil solución por el maquinista.
	No interviene en la disminución de producción, ni en la calidad final.
Media	Provoca paradas cortas.
	Su identificación es de mediana complejidad.
	Interviene en la disminución de la producción.
Alta	Implica parada de la producción
	Compleja identificación.
	Contribuye a la disminución de disponibilidad del equipo.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32
Análisis de criticidad del sistema drive.

Variable	Concepto	Valor	Descripción del valor	CALIFICACIÓN													
				1. Eje excéntrico del Pitman no gira o merma su giro normal.									2. Motor eléctrico no transmite correctamente el torque al pitman.				
				A.1.1- Rotura de correas de transmisión.	A.1.2- Falla en rodamientos de carcasa excéntrica.	A.1.3- Falla en rodamientos del pitman.	A.1.4- Falla en davanados del motor eléctrico, eje no gira.	A.1.5- Fallos en rodamientos del motor eléctrico.	A.1.6- Falla en el soft starter del motor eléctrico.	A.1.7- Contactor no transmite energía eléctrica al Soft Starter.	A.1.8- Falla en tablero de fuerza y control.	A.1.9- Parámetros eléctricos fuera de rango.	B.2.1- Correas con tensión insuficiente.	B.2.2- No se logra la tensión suficiente de correas.	B.2.3- Deslizamiento de correas.	B.2.4- Correas se vuelcan.	
Relación con el servicio que ofrece:																	
Impacto al proceso	Detiene el proceso	2		2	2	2	2	2	2	2	2						
	Reduce el proceso	1										1	1	1	1		
	No detiene el proceso	0															
Valor económico de la reparación:																	
Considerando costos de: Adquisición, operación y mantenimiento.	Alto	3	Mayor a \$ 10,000		3	3	3	3									
	Intermedio	2	Entre \$ 1,001 y \$ 9,999						2	2	2		2	2	2		
	Aceptable	1	Menor a \$ 1,000						1			1					
La falla afecta al:																	
a) Al equipo.	Sí	1	Puede dañar otros componentes.		1	1	1	1				1					
	No	0			0				0	0	0		0	0	0	0	0
b) A la línea de producción	Sí	1	Puede dañar a otros equipos.				1					1					
	No	0			0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
c) A los operadores.	Sí	1	El operador corre riesgo de accidentarse.				1										
	No	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d) Al área en general.	Sí	1	Otras personas o equipos que operan en la línea de producción pueden verse afectados.														
	No	0			0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
e) A la Calidad	Sí	1	Puede afectar a la calidad del producto														
	No	0			0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
Confiabilidad de la falla:																	
	Alto	1	Asegura que el equipo no va fallar siempre y cuando se respete el programa de mantenimiento preventivo.		1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
	Bajo	0			0				0								
Tipo de mantenimiento:																	
	Por terceros	1	Mantenimiento realizado por terceros.		1	1											
	Propio.	0	Mantenimiento realizado con personal propio.	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La compra de repuestos requiere ser:																	
	Importada.	1			1	1											
	Local	0		0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nivel de criticidad:				2	9	9	9	7	4	4	5	7	3	4	4	4	4
				A	C	C	C	B	A	A	B	B	A	A	A	A	A

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 32 se tiene que de 13 funciones de elementos 3 tienen una criticidad muy alta y 3 de criticidad media.

Tabla 33

Análisis de criticidad del conjunto eje tensor y placa de Toggle.

Variable	Concepto	Valor	Descripción del valor	CALIFICACIÓN							
				3. Mandíbula móvil no mantiene su posición de Setting.						4. Placa Toggle no protege al conjunto tensor y bastidores de mandíbulas	
				C.3.1- Resortes mal ajustados, mayor a de 240mm de la cota establecida.	C.3.2. Resortes rotos.	C.3.3- Perno tensor roto o rosca deteriorada.	C.3.4- Perno tensor caído.	C.3.5- Placa Toggle rajada o rota.	D.4.1- Toggle con fisuras o rajaduras soldadas.	D.4.2- Presión de fijación en Toggle insuficiente.	
Relación con el servicio que ofrece:											
Impacto al proceso	Detiene el proceso	2			2	2	2	2			
	Reduce el proceso	1		1					1	1	
	No detiene el proceso	0									
Valor económico de la reparación:											
Considerando costos de: Adquisición operación y mantenimiento.	Alto	3	Mayor a \$ 10,000								
	Intermedio	2	Entre \$ 1,001 y \$ 9,999		2	2	2	2			
	Aceptable	1	Menor a \$ 1,000	1					1	1	
La falla afecta al:											
a) Al equipo.	Sí	1	Puede dañar otros componentes.	1	1	1	1	1	1	1	1
	No	0									
b) A la línea de producción	Sí	1	Puede dañar a otros equipos.								
	No	0		0	0	0	0	0	0	0	0
c) A los operadores.	Sí	1	El operador corre riesgo de accidentarse.								
	No	0		0	0	0	0	0	0	0	0
d) Al área en general.	Sí	1	Otras personas o equipos que operan en la línea de producción pueden verse afectados.								
	No	0		0	0	0	0	0	0	0	0
e) A la Calidad	Sí	1	Puede afectar a la calidad del producto	1							
	No	0		0	0	0	0	0	0	0	0
Confiabilidad de la falla:											
	Alto	1	Asegura que el equipo no va fallar siempre y cuando se respete el programa de mantenimiento preventivo.	1		1	1				1
	Bajo	0			0		0	0			
Tipo de mantenimiento:											
	Por terceros	1	Mantenimiento realizado por terceros.								
	Propio.	0	Mantenimiento realizado con personal propio.	0	0	0	0	0	0	0	0
La compra de repuestos requiere ser:											
	Importada.	1									
	Local	0		0	0	0	0	0	0	0	0
Nivel de criticidad:				5	5	6	6	5	3	4	
				B	B	B	B	B	A	A	

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 33 se tiene que, de 7 funciones de elementos, 2 tienen una criticidad media y 5 de ellos tienen criticidad baja.

Tabla 34
Análisis de criticidad del sistema de ajuste de Setting.

Variable	Concepto	Valor	Descripción del valor	CALIFICACIÓN			
				5. Comminución fuera de rango, fragmentos triturados mayor a 2-3/4", afecta la calidad			
				E.5.1- Sistema hidráulico no regula la posición de la mandíbula móvil.	E.5.2- Sistema hidráulico si regula la posición pero no llega a la cota deseada.	E.5.3. La mandíbula móvil no está en la posición de descanso al inicio de ajuste de Setting.	E.5.4- No se detecta a tiempo el requerimiento de ajuste de Setting.
Relación con el servicio que ofrece:							
Impacto al proceso	Detiene el proceso	2					
	Reduce el proceso	1		1	1	1	
	No detiene el proceso	0					1
Valor económico de la reparación:							
Considerando costos de: Adquisición operación y mantenimiento.	Alto	3	Mayor a \$ 10,000				
	Intermedio	2	Entre \$ 1,001 y \$ 9,999	2	2	2	2
	Aceptable	1	Menor a \$ 1,000				
La falla afecta al:							
a) Al equipo.	Sí	1	Puede dañar otros componentes.	0	0	1	0
	No	0					
b) A la línea de producción	Sí	1	Puede dañar a otros equipos.				
	No	0		0	0	0	0
c) A los operadores.	Sí	1	El operador corre riesgo de accidentarse.				
	No	0		0	0	0	0
d) Al área en general.	Sí	1	Otras personas o equipos que operan en la línea de producción pueden verse afectados.				
	No	0		0	0	0	0
e) A la Calidad	Sí	1	Puede afectar a la calidad del producto	1	1	1	1
	No	0		0	0	0	0
Confiabilidad de la falla:							
	Alto	1	Asegura que el equipo no va fallar siempre y cuando se respete el programa de mantenimiento preventivo.	1	1	1	1
	Bajo	0					
Tipo de mantenimiento:							
	Por terceros	1	Mantenimiento realizado por terceros.				
	Propio.	0	Mantenimiento realizado con personal propio.	0	0	0	0
La compra de repuestos requiere ser:							
	Importada.	1					
	Local	0		0	0	0	0
Nivel de criticidad:				5	5	6	5
				B	B	B	B

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 34 se tiene que, las funciones de elementos tienen criticidad media.

Tabla 35

Análisis de criticidad del forro de quijada fija o estacionaria.

Variable	Concepto	Valor	Descripción del valor	CALIFICACIÓN				
				6. El forro de quijada fija no sostiene correctamente el impacto, aumenta más la abrasión que el impacto.			7. El Forro fijo no protege al bastidor de la mandíbula, su estructura sufre abolladura.	
				F.6.1- Forro no asienta correctamente en el bastidor de quijada fija.	F.6.2- Cuiñas de fijación del forro fijo flojas o desgastadas.	F.6.3- Forro fijo con desgaste de dientes mayor al 80%.	G.7.1- Forro fijo desgastado excesivamente.	G.7.2- Forro fijo con cuiñas mal ajustadas, forro no asienta correctamente y golpea el asiento en
Relación con el servicio que ofrece:								
Impacto al proceso	Detiene el proceso	2						
	Reduce el proceso	1		1	1	1	1	1
	No detiene el proceso	0						
Valor económico de la reparación:								
Considerando costos de: Adquisición operación y mantenimiento.	Alto	3	Mayor a \$ 10,000	3		3	3	3
	Intermedio	2	Entre \$ 1,001 y \$ 9,999		2			
	Aceptable	1	Menor a \$ 1,000					
La falla afecta al:								
a) Al equipo.	Sí	1	Puede dañar otros componentes.	1	1	0	1	1
	No	0						
b) A la línea de producción	Sí	1	Puede dañar a otros equipos.					
	No	0		0	0	0	0	0
c) A los operadores.	Sí	1	El operador corre riesgo de accidentarse.					
	No	0		0	0	0	0	0
d) Al área en general.	Sí	1	Otras personas o equipos que operan en la línea de producción pueden verse afectados.					
	No	0		0	0	0	0	0
e) A la Calidad	Sí	1	Puede afectar a la calidad del producto					
	No	0		0	0	0	0	0
Confiabilidad de la falla:								
	Alto	1	Asegura que el equipo no va fallar siempre y cuando se respete el programa de mantenimiento preventivo.	1	1	1	1	1
	Bajo	0						
Tipo de mantenimiento:								
	Por terceros	1	Mantenimiento realizado por terceros.					
	Propio.	0	Mantenimiento realizado con personal propio.	0	0	0	0	0
La compra de repuestos requiere ser:								
	Importada.	1						
	Local	0		0	0	0	0	0
Nivel de criticidad:				6	5	5	6	6
				B	B	B	B	B

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 35 se tiene que, las 5 funciones de elementos, tienen una criticidad media.

Tabla 36

Análisis de criticidad del forro de quijada móvil u oscilante.

Variable	Concepto	Valor	Descripción del valor	CALIFICACIÓN	
				8. El forro de quijada móvil no sostiene correctamente el impulso de compresión, aumenta más la abrasión que el impacto.	9. El Forro móvil no protege al bastidor de la mandíbula, su estructura sufre abolladura.
				H.8.1.- Cuiñas de forro móvil con pernos flojos o rotos.	H.9.1.- Forro móvil con pernos de cuiñas mal ajustados o rotos, forro no asienta correctamente y golpea el asiento en bastidor.
Relación con el servicio que ofrece:					
Impacto al proceso	Detiene el proceso	2			
	Reduce el proceso	1		1	1
	No detiene el proceso	0			
Valor económico de la reparación:					
Considerando costos de: Adquisición operación y mantenimiento.	Alto	3	Mayor a \$ 10,000		3
	Intermedio	2	Entre \$ 1,001 y \$ 9,999	2	
	Aceptable	1	Menor a \$ 1,000		
La falla afecta al:					
a) Al equipo.	Sí	1	Puede dañar otros componentes.	1	1
	No	0			
b) A la línea de producción	Sí	1	Puede dañar a otros equipos.		
	No	0		0	0
c) A los operadores.	Sí	1	El operador corre riesgo de accidentarse.		
	No	0		0	0
d) Al área en general.	Sí	1	Otras personas o equipos que operan en la línea de producción pueden verse afectados.		
	No	0		0	0
e) A la Calidad	Sí	1	Puede afectar a la calidad del producto		
	No	0		0	0
Confiabilidad de la falla:					
	Alto	1	Asegura que el equipo no va fallar siempre y cuando se respete el programa de mantenimiento preventivo.	1	1
	Bajo	0			
Tipo de mantenimiento:					
	Por terceros	1	Mantenimiento realizado por terceros.		
	Propio.	0	Mantenimiento realizado con personal propio.	0	0
La compra de repuestos requiere ser:					
	Importada.	1			
	Local	0		0	0
Nivel de criticidad:				5	6
				B	B

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 36 se tiene que, las 2 funciones de elementos, tienen una criticidad media.

De acuerdo a los modos de fallas de nivel de criticidad bajo (A), medio (B) y muy alto (C) identificados en las Tablas 32 al 38, se tiene que el 29% tiene criticidad baja, el 61.23% tiene criticidad media y el 9.68% criticidad alta. Seguidamente se presenta al análisis de decisión del RCM por modo de falla para los niveles de criticidad B y C, en el cual se responde con Sí (S) o No (N) a las consecuencias de:

- Fallo oculto (H).
- Seguridad (S).
- Medio ambiente (E) y
- Operacionales (O).

Y se describe la tarea propuesta, si requiere o no parar el equipo, las horas que se requieren para realizar el mantenimiento, el responsable de realizar el mantenimiento y la frecuencia de acuerdo al diagrama de decisión RCM presentado en el Anexo 15 y ver Anexo 16 donde se presenta la explicación de aplicación del RCM. Ver Tablas 37, 38 y 39, donde:

- Tareas a condición (TC)
- Tareas de reacondicionamiento (TR)
- Tareas de Sustitución cíclica (SC)

Tabla 37

Análisis de decisión del RCM por causa raíz en función a los elementos funcionales de criticidad B y C – Parte 1.

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				TC			TR			SC			Acción a falta de	DETALLE	Causa raíz	Nivel de criticidad	Tarea propuesta	Requiere para el equipo		Tarea (Hrs)	REALIZADO POR	FRECUENCIA
							H1	H2	H3	S1	S2	S3	O1	O2	O3						H4	H5			
FE	FF	FMG	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4													
1	A	A1	N	N	N	S	S									A.1.2.1	No se aplica la estrategia por condición	C	Realizar monitoreo por condición de estado de rodamientos. Realizar análisis vibracional		X	0.25	Tec. Predictivo	Mensual	
			N	N	N	S	N	S								A.1.2.2	Mala planificación / no se lubricar rodamientos y juntas laberínticas	C	Lubricar rodamientos de carcasa excéntrica y junta laberíntica cada 8 horas. Grasa GADUS S2 V220 (SHELL), 70 g.		X	0.2	Mecánico	* Cada 8 horas	
			N	N	N	S	S									A.1.3.1	No se aplica la estrategia por condición	C	Realizar monitoreo por condición de estado de rodamientos. Realizar análisis vibracional		X	0.25	Tec. Predictivo	* Semanal Mensual	
			N	N	N	S	N	S								A.1.3.2	Mala planificación / no se lubrica rodamientos o juntas laberínticas en el Pitman	C	Lubricar rodamientos del Pitman excéntrica (cada 8 horas), junta laberíntica (semanal). Grasa GADUS S2 V220 (SHELL).		X	0.2	Mecánico	* Cada 8 horas	
			S	N	N	S	S									A.1.4.1	Falta mejorar sistemas de protección de sobrecargas continuas	C	Realizar monitoreos de condición de estado de aislamiento en devanados, aplicar mediciones de resistencia de aislamientos entre fases, fase-tierra con equipo megohmetro. Aplicar mejora continua en instalación de relé integral de motores eléctricos, la protección del Soft starter no es suficiente en sobrecargas continuas.		X	0.5	Electricista	* Semanal Anual	
			N	N	N	S	S									A.1.5.1	No se aplica la estrategia por condición	B	Realizar monitoreo por condición de estado de rodamientos, aplicar análisis vibracional		X	0.25	Tec. Predictivo	Mensual	
			N	N	N	S	S									A.1.5.2	No se sigue el procedimiento de montaje	B	Realizar monitoreo por condición de estado de rodamientos para detectar montajes inadecuados		X	0.25	Tec. Predictivo	Mensual	
			N	N	N	S	S									A.1.5.3	No se sigue el procedimiento de alineamiento	B	Verificar condición de alineamiento periódicamente	X		0.45	Tec. Predictivo	Trimestral	
			N	N	N	S	N	S								A.1.8.1	Falta de ajuste y limpieza en tablero de fuerza y control	B	Realizar mantenimientos periódicos de limpieza ajuste, cambio de dispositivos eléctricos recalentados o con falla en tablero chancadora	X		1	Electricista	Mensual	
			N	N	N	S	N	N	S							A.1.8.2	Ventiladores averiados en tablero de fuerza y control	B	Cambiar periódicamente los ventiladores del tablero eléctrico de la chancadora	X		0.5	Electricista	Bi-Anual	
			N	N	N	S	N	S								A.1.8.3	Filtros de polvo saturados en tablero eléctrico	B	Cambiar periódicamente los filtros del tablero eléctrico de la chancadora			0.2	Electricista	Mensual	
			S	N	N	S	N	N	N	S							A.1.9.1	Fusibles aperturados o alimentación con pérdida de fase	B	Detectar pérdida de fases en fusible, interruptor y contactor; reparar y realizar reset de alarma	X		0.5	Electricista	Mensual
			S	N	N	S	N	N	N	S							A.1.9.2	Atoro en cámara de chancado, sobre esfuerzo en partes mecánicas	B	Determinar sobrecarga (Mecánica o de mineral), liberar de sobrecarga mecánica o de mineral, aplicar reset alarma en Soft starter	X		0.5	Mecánico	Quincenal

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38

Análisis de decisión del RCM por causa raíz en función a los elementos funcionales de criticidad B y C – Parte 2.

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				TC			TR			SC			Acción a falta de			DETALLE	Causa raíz	Nivel de criticidad	Tarea propuesta	Requiere parar el equipo		Tarea (Hrs)	REALIZADO POR	FRECUENCIA
							H1	S1	O1	H2	S2	O2	H3	S3	O3								H4	H5			
FE	FF	FMG	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4															
3	C	C3	S	N	N	S	N	N	S				C.3.2.1	Fatiga de resortes	B	Cambiar resortes periódicamente	X		0.5	Mecánico	Anual						
			S	N	N	S	N	N	S				C.3.3.1	Fatiga de pernos tensores o rosca dañadas	B	Cambio de pernos tensores periódicamente	X		0.5	Mecánico	Bi-Anual						
			S	N	N	S	N	N	S				C.3.4.1	Mal montaje de pasadores o pines o rotos por fatiga	B	Cambiar periódicamente los pasadores	X		0.2	Mecánico	Semestral						
			S	N	N	S	S					C.3.5.1	Se activó la protección a sobre-esfuerzos partiéndose la placa Toggle	B	Inspeccionar visualmente y líquidos penetrantes, rajaduras en placa Toggle, programar cambios anticipados cuando esté rajado	X		0.25	Mecánico	Mensual							
5	E	ES	N	N	N	S	N	N	N	S			E.5.3.1	Falla en el procedimiento de ajuste de Setting	B	Verificar visualmente recirculación excesiva de carga en chancado secundario. De sospechar solicitar nuevo ajuste de Setting y constatar con el técnico mecánico que mandíbula móvil esté en la posición de descanso al inicio de ajuste de Setting.	X		0.5	Operador	Diario						
6	F	F6	N	N	N	S	N	N	N	S			F.6.1.1	No se verifica el correcto montaje del forro fijo durante cambio del mismo	B	Durante cambio de forros asegurar que el forro asiente correctamente en el bastidor, detectar desviaciones y corregir	X		0.1	Mecánico	Quincenal						
			N	N	N	S	N	S				F.6.2.1	No se aplica retorque después de 4 horas de funcionamiento después de cambio de forro fijo	B	Después de cambio de forro fijo, realizar el retorque en cuñas pasada 4 horas de trabajo.	X		0.5	Mecánico	Quincenal							
			N	N	N	S	N	N	S				F.6.2.2	Cuñas desgastadas no se cambia a tiempo	B	Cambiar cuñas de forro fijo periódicamente	X		1	Mecánico	Trimestral						
			N	N	N	S	S						F.6.3.1	Se permite que el forro fijo se desgaste al máximo	B	Realizar mediciones periódicas de desgaste de forro fijo en encala a milímetros con vernier, programar cambio al 80% de desgaste	X		0.2	Mecánico	Semanal						
7	G	G7	N	N	N	S	S					G.7.1.1	no existe un estándar de cambio de forro fijo de acuerdo al desgaste	B	Realizar mediciones periódicas de desgaste de forro fijo, programar cambio al 80% de desgaste (Ver Anexo 17 con la frecuencia de cambio de forro: Antes y después de aplicar RCM).	X		1.2	Mecánico	Semanal							
			N	N	N	S	N	S					G.7.2.1	No se aplica retorque después de 4 horas de funcionamiento después de cambio de forro fijo	B	Después de cambio de forro fijo, realizar el retorque en cuñas (tuerca y contratuerca) pasada 4 horas de trabajo, y luego a las 8 horas de trabajo	X		0.5	Mecánico	Quincenal						
8	H	H8	N	N	N	S	N	S					H.8.1.1	No se aplica retorque después de 4 horas de funcionamiento después de cambio de forro móvil	B	Después de cambio de forro móvil, realizar el retorque en pernos, tuerca y contratuerca que ajustan las cuñas pasada 4 horas de trabajo y luego a las 8 horas de trabajo (Ver Anexo 17 con la frecuencia de cambio de forro: Antes y después de aplicar RCM).	X		0.5	Mecánico	Quincenal						
			N	N	N	S	N	S					H.8.1.2	Movimiento de forro inestable rompe los pernos de fijación de cuñas	B	Inspeccionar periódicamente el estado de perno (desgaste en vástago y rosca) que fijan las cuñas y retorque de tuercas y contratuerca de pernos según requiera	X		0.5	Mecánico	Quincenal						
9	I	9	N	N	N	S	N	S				I.9.1.1	Cuñas y pernos roto no ejercen la presión suficiente y en cada impacto de compresión golpea al bastidor	B	Inspeccionar periódicamente el estado de perno de cuñas y retorque de tuercas de pernos según requiera	X		0.5	Mecánico	Quincenal							

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39

Análisis de decisión del RCM por causa raíz en función a los elementos funcionales de criticidad B y C – Parte 3.

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				T C			Acción a falta de			DETALLE				Causa Raíz			Nivel de Criticidad	tarea Propuesta	Requiere parar el equipo			REALIZADO POR	FRECUENCIA
							H1	H2	H3													S1	S2	S3		
F E	F F	FM G	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4							S	N	Tar ca (hrs)					
3	C	C3	S	N	N	S	N	N	N	S				C.3.1.1	Falla en el procedimiento de ajuste de setting, resortes flojos	B	Seguir estrictamente el procedimiento escrito de trabajo seguro de ajuste de setting	X		0.33	Mecánico	Mensual				
			S	N	N	S	N	N	S					C.3.2.1	Fatiga de resortes.	B	Cambiar resortes periódicamente	X		0.50	Mecánico	Annual				
			S	N	N	S	N	N	S						C.3.3.1	Fatiga de pernos tensores o roscas dañadas.	B	Cambio de pernos tensores periódicamente	X		0.50	Mecánico	Bi-Annual			
			S	N	N	S	N	N	S						C.3.4.1	Mal montaje de pasadores o pines o rotos por fatiga	B	Cambiar periódicamente los pasadores	X		0.20	Mecánico	Semestral			
			S	N	N	S	N	N	S						C.3.5.1	Se activó la protección a sobre-esfuerzos partiéndose la placa toggle.	B	Inspeccionar visualmente y con líquidos penetrantes, rajaduras en placa Toggle, programar cambios anticipados cuando esté rajado	X		0.25	Mecánico	Mensual			
5	E	E5	N	N	N	S	N	N	N	S				E.5.1.1	Sobre esfuerzos por no liberar tensión en resortes durante ajustes de setting	B	Seguir estrictamente el procedimiento escrito de trabajo seguro de ajuste de setting	X		0.33	Macánico	Diario				
			N	N	S	S	S							E.5.1.2	No se protege las mangueras hidráulicas ante la fricción de máquina vibrante	B	Inspeccionar la protección las mangueras contra la fricción de máquina vibrante	X		0.17	Macánico	Diario				
			N	N	S	S	S							E.5.1.3	Alma metálica expuesta de las mangueras hidráulicas, conducen corrientes a tierra y perforan las mangueras durante trabajos de soldadura	B	Inspeccionar estado de mangueras, proteger las mangueras sometidas a fricción	X		0.17	Macánico	Diario				
			N	N	S	S	N	S						E.5.1.4	Fugas de aceites en conexiones de mangueras por falta de ajuste en conexiones	B	Realizar ajuste periódico de conexiones hidráulicas en mangueras	X		0.25	Macánico	Quincenal				
			N	N	S	S	N	N	S					E.5.1.5	Sellos desgastados	B	Cambio de sellos hidráulicos de cilindros (cada 3 años)	X		2.00	Macánico	Triannual				
			N	N	N	S	S							E.5.1.6	Pernos en acoples de vástago de cilindros están flojos o rotos	B	Inspección de los pernos en acoples del vástago que esté limpio sin acumulaciones de carga, verificar que no estén flojos ni rotos,	X		0.25	Macánico	Quincenal				
			N	N	N	S	N	S						E.5.1.7	Falla en rodamientos, devanados o conexiones motor bomba hidráulica	B	Overhaul de motor cada 3 años	X		5.00	Electricista / Mecánico	Triannual				
			N	N	N	S	N	S						E.5.1.8	Falta de mantenimiento preventivo en arrancador motor bomba hidráulica	B	Realizar mantenimiento preventivo en tablero de arrancador bomba hidráulica, limpieza ajuste, cambio dispositivos recalentados	X		0.42	Electricista	Semestral				
			N	N	N	S	N	N	S					E.5.1.9	Avería en componentes internos de bomba	B	Cambiar bomba hidráulica cada 3 años	X		1.50	Mecánico	Triannual				
			N	N	N	S	N	N	S					E.5.1.10	No se cambia filtro de aceite después de 250 horas	B	Cambiar filtros cada 250 horas de trabajo	X	X	0.13	Mecánico	Triannual				
			N	N	N	S	S	S						E.5.1.11	Bajo nivel de aceite en tanque hidráulico	B	Inspeccionar nivel del tanque de aceite hidráulico	X	X	0.10	Mecánico	Trimestral				
N	N	N	S	S							E.5.2.1	Asientos del toggle demasiado desgastados	B	Inspeccionar desgaste de asientos de toggle, cambiar asientos antes que afecte regulación de setting	X		0.17	Macánico	Mensual							
S	N	N	S	N	N	N	S				5.4.1	Falla en el procedimiento de ajuste de setting, la mandíbula móvil no está en la posición de descanso al inicio de ajuste de setting.	B	Verificar visualmente recirculación excesiva de carga en chancado secundario. De sospechar solicitar nuevo ajuste de Setting y constatar con el tecnico mecánico que mandíbula móvil esté en la posición de descanso al inicio de ajuste de setting.	X		0.33	Operador	Mensual							

Fuente: Elaboración propia.

4.3.6 Programa de mantenimiento propuesto

A continuación, se presenta el programa de mantenimiento preventivo propuesto para cada componente funcional de la chancadora de quijadas de acuerdo a los criterios definidos en las matrices:

- Análisis de criticidad (Tablas del 32 al 36), en las cuales se define el nivel de criticidad bajo, medio y alto.
- Análisis de decisión de RCM de causa raíz (tablas 37, 38 y 39), en las cuales se define las horas necesarias, la frecuencia y personal técnico que debe realizar el mantenimiento preventivo.

Ver Tablas 40 al 46.

Tabla 40

Programa de mantenimiento para el Sistema drive.- Eje excéntrico del Pitman no gira o merma su giro normal.

Detalle	Tarea propuesta	Causa Raíz	Criticidad	Frecuencia	Duración	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Realizado por	Cant Personas	Horas Hombre
A.1.2.1	Análisis vibracional rodamientos carcasa	No se aplica la estrategia por condición.	C	Mensual	0.25 Horas	0.25 Hrs	Tec. Predictivo	2	6											
A.1.2.2	Lubricar rodamientos carcasa	Mala planificación / no se lubrica rodamientos o juntas laberínticas	C	Diario	0.20 Horas	6.20 Hrs	5.60 Hrs	6.20 Hrs	6.00 Hrs	6.20 Hrs	6.00 Hrs	6.20 Hrs	6.20 Hrs	6.00 Hrs	6.20 Hrs	6.00 Hrs	6.20 Hrs	Mecánico		0
A.1.3.1	Análisis vibracional rod. Pitman	No se aplica la estrategia por condición.	C	Mensual	0.25 Horas	0.25 Hrs	Tec. Predictivo	2	6											
A.1.3.2	Lubricar rodamientos pitman	Mala planificación / no se lubrica rodamientos o juntas laberínticas	C	Diario	0.20 Horas	6.20 Hrs	5.60 Hrs	6.20 Hrs	6.00 Hrs	6.20 Hrs	6.00 Hrs	6.20 Hrs	6.20 Hrs	6.00 Hrs	6.20 Hrs	6.00 Hrs	6.20 Hrs	Mecánico	1	73
A.1.4.1	Medir resistencia de aislamiento entre fases y fase-tierra	Falta mejorar sistemas de protección de sobrecargas continuas	C	Anual	0.50 Horas	0.50 Hrs												Electricista	2	1
A.1.5.1	Análisis vibracional rodamientos. Motor eléctrico	No se aplica la estrategia por condición.	B	Mensual	0.25 Horas	0.25 Hrs	Tec. Predictivo	2	6											
A.1.5.2	Análisis vibracional estado rodamientos motor	No se sigue el procedimiento de montaje rodamientos	B	Mensual	0.25 Horas	0.25 Hrs	Tec. Predictivo	2	6											
A.1.5.3	Verificar condición alineamiento	No se sigue el procedimiento de alineamiento	B	Trimestral	0.45 Horas	0.45 Hrs			Tec. Predictivo	2	3.6									
A.1.8.1	Realizar mantenimientos periódicos de limpieza ajuste, cambio de dispositivos eléctricos recalentados o con falla en tablero chancadora	Falla de ajuste y limpieza en tablero de fuerza y control	B	Mensual	1.00 Horas	1.00 Hrs	Electricista	2	24											
A.1.8.2	Cambio de ventiladores tablero	Ventiladores de tableros averiados	B	Bi-Anual	0.50 Horas	0.50 Hrs												Electricista	1	0.5
A.1.8.3	Cambiar filtros de polvo en tablero	Filtros de polvo saturados en tablero eléctrico.	B	Mensual	0.20 Horas	0.20 Hrs	Electricista	1	2.4											
A.1.9.1	Limpieza y ajuste en Soft Starter y arrancador	Fusibles aperturados o alimentación con pérdida de fase	B	Mensual	0.50 Horas	0.50 Hrs	Electricista	1	6											
A.1.9.2	Determinar sobrecarga (Mecánica o de mineral), liberar de sobrecarga mecánica o de mineral, aplicar reset alarma en Soft starter	Aforo en cámara de chancado, sobre esfuerzo en partes mecánicas	B	Quincenal	0.50 Horas	1.00 Hrs	Mecánico	2	24											
Total horas requeridas						17.55 Hrs	14.90 Hrs	16.10 Hrs	16.15 Hrs	16.10 Hrs	15.70 Hrs	16.55 Hrs	16.10 Hrs	15.70 Hrs	16.55 Hrs	15.70 Hrs	16.10 Hrs			231.5
Personal requerido						2														

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41

Programa de mantenimiento para el Conjunto eje tensor y placa.- Mandíbula móvil no mantiene su posición.

Detalle	Tarea propuesta	Causa Raíz	Criticidad	Frecuencia	Duración	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Realizado por	Cant Personas	Horas Hombre
C.3.1.1	Seguir estrictamente el procedimiento escrito de trabajo seguro de ajuste de Setting	Falla en el procedimiento de ajuste de Setting, resortes flojos	B	Mensual	0.33 Horas	0.33 Horas	0.33 Horas	0.33 Horas	0.33 Horas	0.33 Horas	0.33 Horas	0.33 Horas	0.33 Horas	0.33 Horas	0.33 Horas	0.33 Horas	0.33 Horas	Mecánico	2	8
C.3.2.1	Cambiar resortes periódicamente	Fatiga de resortes.	B	Anual	0.50 Horas	0.50 Hrs												Mecánico	2	1
C.3.3.1	Cambio de pernos tensores periódicamente	Fatiga de pernos tensores o roscas dañadas.	B	Bi-Anual	0.50 Horas	0.50 Hrs												Mecánico	2	1
C.3.4.1	Cambiar periódicamente los pasadores	Mal montaje de pasadores o pines o rotos por fatiga	B	Semestral	0.20 Horas	0.20 Hrs						0.20 Hrs						Mecánico	2	0.8
C.3.5.1	Inspeccionar visualmente y líquidos penetrantes, rajaduras en placa Toggle, programar cambios anticipados cuando esté rajado	Se activó la protección a sobre-esfuerzos partiéndose la placa Toggle.	B	Mensual	0.25 Horas	0.25 Hrs	Mecánico	2	6											
Total horas requeridas						1.78 Hrs	0.58 Hrs	0.78 Hrs	0.58 Hrs			16.8								
Personal requerido																				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43

Programa de mantenimiento para el Forro de quijada fija o estacionaria.- El forro de quijada fija no sostiene correctamente el impacto, aumenta más la abrasión que el impacto.

Detalle	Tarea propuesta	Causa Raiz	Criticidad	Frecuencia	Duración	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Realizado por	Cant Personas	Horas Hombre
F.6.1.1	Durante cambio de forros asegurar que el forro asiente correctamente en el bastidor, detectar desviaciones y corregir	No se verifica el correcto montaje del forro fijo durante cambio del mismo	B	Quincenal	0.10 Horas	0.20 Hrs	Mecánico	1	2.40											
F.6.2.1	Después de cambio de forro fijo, realizar el retorque en cuñas pasada 4 horas de trabajo	No se aplica retorque en las tuercas de cuñas después de 4 horas de funcionamiento cuando se cambió forro fijo	B	Quincenal	0.50 Horas	1.00 Hrs	Mecánico	2	24.00											
F.6.2.2	Cambiar cuñas de forro fijo periódicamente	Cuñas desgastadas no se cambia a tiempo.	B	Trimestral	1.00 Horas	1.00 Hrs			Mecánico	2	8.00									
F.6.3.1	Realizar mediciones periódicas de desgaste de forro fijo en encala a milímetros con vernier, programar cambio al 80% de desgaste	Se permite que el forro se desgaste al máximo.	B	Semanal	0.20 Horas	0.80 Hrs	Mecánico	1	9.60											
Total horas requeridas						3.00 Hrs	2.00 Hrs	2.00 Hrs	3.00 Hrs	2.00 Hrs	2.00 Hrs	3.00 Hrs	2.00 Hrs	2.00 Hrs	3.00 Hrs	2.00 Hrs	2.00 Hrs			44
Personal requerido																				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44

Programa de mantenimiento para el Forro de quijada fija o estacionaria.- El Forro fijo no protege al bastidor de la mandíbula, su estructura sufre abolladura.

Detalle	Tarea propuesta	Causa Raíz	Criticidad	Frecuencia	Duración	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Realizado por	Cant Personas	Horas Hombre
G.7.1.1	Realizar mediciones periódicas de desgaste de forro fijo, programar cambio al 80% de desgaste	no existe un estándar de cambio de forro fijo de acuerdo al desgaste	B	Semanal	1.20 Horas	4.80 Hrs	Mecánico	2	115.20											
G.7.2.1	Después de cambio de forro fijo, realizar el retorque en cuñas (tuerca y contratuerca) pasada 4 horas de trabajo, y luego a las 8 horas de trabajo	No se aplica retorque después de 4 horas de funcionamiento después de cambio de forro fijo.	B	Quincenal	0.50 Horas	1.00 Hrs	Mecánico	2	24.00											
Total horas requeridas						5.80 Hrs			139.2											
Personal requerido																				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45

Programa de mantenimiento para el Forro de quijada móvil u oscilante.- El forro de quijada móvil no sostiene correctamente el impulso de compresión, aumenta más la abrasión que el impacto.

Detalle	Tarea propuesta	Causa Raíz	Criticidad	Frecuencia	Duración	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Realizado por	Cant Personas	Horas Hombre
H.8.1.1	Después de cambio de forro móvil, realizar el retorque en pernos, tuerca y contratuerca que ajustan las cuñas pasada 4 horas de trabajo y luego a las 8 horas de trabajo	No se aplica retorque después de 4 horas de funcionamiento después de cambio de forro móvil.	B	Quincenal	0.50 Horas	1.00 Hrs	Mecánico	2	24											
H.8.1.2	Inspeccionar periódicamente el estado de perno (desgaste en vástago y rosca) que fijan las cuñas y retorque de tuercas y contratuerca de pernos según requiera	Movimiento de forro inestable rompe los pernos de fijación de cuñas.	B	Quincenal	0.50 Horas	1.00 Hrs	Mecánico	1	12.00											
Total horas requeridas						2.00 Hrs			36											
Personal requerido																				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46

Programa de mantenimiento para el Forro de quijada móvil u oscilante. - El Forro móvil no protege al bastidor de la mandíbula, su estructura sufre abolladura.

Detalle	Tarea propuesta	Causa Raíz	Criticidad	Frecuencia	Duración	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Realizado por	Cant Personas	Horas Hombre
I.9.1.1.	Inspeccionar periódicamente el estado de perno de cuñas y retorque de tuercas de pernos según requiera	Cuñas y pernos roto no ejercen la presión suficiente y en cada impacto de compresión golpea al bastidor.	B	Quincenal	0.50 Horas	1.00 Hrs	Mecánico	2	24											
Total horas requeridas						1.00 Hrs														
Personal requerido																		24		

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se presenta el resumen de horas hombre requerido por tipo de técnico, donde se observa que para llevar a cabo el mantenimiento preventivo basado en RCM se requiere 688.20 horas hombre de personal técnico mecánico, equivalente al 91.21%

Tabla 47
Resumen horas hombre requerido por tipo de técnico.

Especialista técnico	Horas Hombre	%
Mecánico	688.20	91.21%
Operador	2.33	0.31%
Electricista	36.40	4.82%
Tec. Predictivo	27.60	3.66%
Total	754.53	100.00%

Fuente: Elaboración propia.

4.3.7 Costos de la implementación

A continuación, se presentan las Tablas 48 con los costos de consultoría requerido para realizar la mejora y los costos de horas requeridas por el personal técnico para realizar las mejoras, basado en información proporcionado por la empresa en estudio, donde el promedio de costo por hora de consultoría para realizar mejoras se encuentra en S/ 300.00 el día, multiplicado por la cantidad de días se obtiene la columna costo, a excepción de la capacitación, donde el costo promedio por capacitación en de S/ 80.00 la hora por persona.

Tabla 48
Costos de consultoría para realizar la mejora.

Descripción	Tiempo	Costo
- Identificación de elementos funcionales	15 días	S/ 4,500.00
- Identificación de fallos y modo de fallos funcionales	15 días	S/ 4,500.00
- Análisis de modo y efecto de fallo	17 días	S/ 5,100.00
- Análisis de componentes por criticidad	13 días	S/ 3,900.00
- Programa de mantenimiento propuesto	5 días	S/ 1,500.00
- Capacitación (12 personas)	5 días	S/ 4,800.00
Sub total 1		S/ 24,300.00

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 49 se presenta el costo por participación del personal técnico de la empresa en estudio en realizar la aplicación de RCM, considerando para ello el costo/hora en base al sueldo promedio del personal de la empresa en estudio (información proporcionada por el área de contabilidad).

Tabla 49
Costos de horas de personal técnico para realizar las mejoras.

Descripción	Personas	Sueldo	Costo-Hora	Tiempo Requeridos	Costo
Ingeniero	1	S/ 3,500.00	S/ 21.88	60 días	S/ 39,375.00
Personal técnico	10	S/ 2,500.00	S/ 15.63	90 horas	S/ 14,062.50
Sub total 2					S/ 53,437.50

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 50 se presenta la cantidad de técnicos requerido y el sueldo de personal de mantenimiento para cálculo de costo de mantenimiento por tarea propuesta que se calcula posteriormente en las Tablas 51 y 52.

Tabla 50
Sueldo por tipo de técnico del área de mantenimiento.

Equipo Técnico	Cantidad de técnicos	Sueldo
- Electricista	2	S/. 2500
- Mecánico	2	S/. 2500
- Técnico Predictivo	2	S/. 3500
- Operador	1	S/. 1500

Fuente: Elaboración propia.

En las tablas 51, 52 y 53 se presenta el costo requerido de horas por tarea propuesta para llevar a cabo el RCM.

Tabla 51

Costo de horas por tarea propuesta 1.

DETALLE	Causa raíz	Nivel de criticidad	Tarea propuesta	Tarea (Hrs)	REALIZADO POR	FRECUENCIA	COSTO
A.1.2.1	No se aplica la estrategia por condición	C	Realizar monitoreo por condición de estado de rodamientos. Realizar análisis vibracional	0.25	Tec. Predictivo	Mensual	S/ 7.29
A.1.2.2	Mala planificación / no se lubrica rodamientos y juntas laberínticas	C	Lubricar rodamientos de carcasa excéntrica (cada 8 horas) junta laberíntica (semanal). Grasa GADUS S2 V220 (SHELL).	0.2	Mecánico	* Cada 8 horas	S/ 4.17
A.1.3.1	No se aplica la estrategia por condición	C	Realizar monitoreo por condición de estado de rodamientos. Realizar análisis vibracional	0.25	Tec. Predictivo	Mensual	S/ 7.29
A.1.3.2	Mala planificación / no se lubrica rodamientos o juntas laberínticas en el Pitman	C	Lubricar rodamientos del Pitman excéntrica (cada 8 horas) junta laberíntica (semanal). Grasa GADUS S2 V220 (SHELL).	0.2	Mecánico	* Cada 8 horas	S/ 4.17
A.1.4.1	Falta mejorar sistemas de protección de sobrecargas continuas	C	Realizar monitoreos de condición de estado de aislamiento en devanados, aplicar mediciones de resistencia de aislamientos entre fases, fase-tierra con equipo megóhmetro. Aplicar mejora continua en instalación de relé integral de motores eléctricos, la protección del Soft starter no es suficiente en sobrecargas continuas.	0.5	Electricista	* semanal Anual	S/ 10.42
A.1.5.1	No se aplica la estrategia por condición	B	Realizar monitoreo por condición de estado de rodamientos, aplicar análisis vibracional	0.25	Tec. Predictivo	Mensual	S/ 7.29
A.1.5.2	No se sigue el procedimiento de montaje	B	Realizar monitoreo por condición de estado de rodamientos para detectar montajes inadecuados	0.25	Tec. Predictivo	Mensual	S/ 7.29
A.1.5.3	No se sigue el procedimiento de alineamiento	B	Verificar condición de alineamiento periódicamente	0.45	Tec. Predictivo	Trimestral	S/ 13.13
A.1.8.1	Falta de ajuste y limpieza en tablero de fuerza y control	B	Realizar mantenimientos periódicos de limpieza ajuste, cambio de dispositivos eléctricos recalentados o con falla en tablero chancadora	1	Electricista	Mensual	S/ 20.83
A.1.8.2	Ventiladores averiados en tablero de fuerza y control	B	Cambiar periódicamente los ventiladores del tablero eléctrico de la chancadora	0.5	Electricista	Bi-Anual	S/ 10.42
A.1.8.3	Filtros de polvo saturados en tablero eléctrico	B	Cambiar periódicamente los filtros del tablero eléctrico de la chancadora	0.2	Electricista	Mensual	S/ 4.17
A.1.9.1	Fusibles aperturados o alimentación con pérdida de fase	B	Detectar pérdida de fases en fusible, interruptor y contactor; reparar y realizar reset de alarma	0.5	Electricista	Mensual	S/ 10.42
A.1.9.2	Atoro en cámara de chancado, sobre esfuerzo en partes mecánicas	B	Determinar sobrecarga (Mecánica o de mineral), liberar de sobrecarga mecánica o de mineral, aplicar reset alarma en Soft starter	0.5	Mecánico	Quincenal	S/ 10.42

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52

Costo de horas por tarea propuesta 2.

DETALLE	Causa raíz	Nivel de criticidad	Tarea propuesta	Tarea (Hrs)	REALIZADO POR	FRECUENCIA	COSTO
C.3.2.1	Fatiga de resortes	B	Cambiar resortes periódicamente	0.5	Mecánico	Anual	S/ 10.42
C.3.3.1	Fatiga de pernos tensores o roscas dañadas	B	Cambio de pernos tensores periódicamente	0.5	Mecánico	Bi-Anual	S/ 10.42
3.4.1	Mal montaje de pasadores o pines o rotos por fatiga	B	Cambiar periódicamente los pasadores	0.2	Mecánico	Semestral	S/ 4.17
C.3.5.1	Se activó la protección a sobre-esfuerzos partiéndose la placa Toggle	B	Inspeccionar visualmente y líquidos penetrantes, rajaduras en placa Toggle, programar cambios anticipados cuando esté rajado	0.25	Mecánico	Mensual	S/ 5.21
E.5.3.1	Falla en el procedimiento de ajuste de Setting	B	Verificar visualmente recirculación excesiva de carga en chancado secundario. De sospechar solicitar nuevo ajuste de Setting y constatar con el técnico mecánico que mandíbula móvil esté en la posición de descanso al inicio de ajuste de Setting.	0.5	Operador	Diario	S/ 3.13
F.6.1.1	No se verifica el correcto montaje del forro fijo durante cambio del mismo	B	Durante cambio de forros asegurar que el forro asiente correctamente en el bastidor, detectar desviaciones y corregir	0.1	Mecánico	Quincenal	S/ 2.08
F.6.2.1	No se aplica retorque después de 4 horas de funcionamiento después de cambio de forro fijo	B	Después de cambio de forro fijo, realizar el retorque en cuñas pasada 4 horas de trabajo.	0.5	Mecánico	Quincenal	S/ 10.42
F.6.2.2	Cuñas desgastadas no se cambia a tiempo	B	Cambiar cuñas de forro fijo periódicamente	1	Mecánico	Trimestral	S/ 20.83
F.6.3.1	Se permite que el forro fijo se desgaste al máximo	B	Realizar mediciones periódicas de desgaste de forro fijo en encala a milímetros con vernier, programar cambio al 80% de desgaste	0.2	Mecánico	Semanal	S/ 4.17
G.7.1.1	no existe un estándar de cambio de forro fijo de acuerdo al desgaste	B	Realizar mediciones periódicas de desgaste de forro fijo, programar cambio al 80% de desgaste	1.2	Mecánico	Semanal	S/ 25.00
G.7.2.1	No se aplica retorque después de 4 horas de funcionamiento después de cambio de forro fijo	B	Después de cambio de forro fijo, realizar el retorque en cuñas (tuerca y contratuerca) pasada 4 horas de trabajo, y luego a las 8 horas de trabajo	0.5	Mecánico	Quincenal	S/ 10.42
H.8.1.1	No se aplica retorque después de 4 horas de funcionamiento después de cambio de forro móvil	B	Después de cambio de forro móvil, realizar el retorque en pernos, tuerca y contratuerca que ajustan las cuñas pasada 4 horas de trabajo y luego a las 8 horas de trabajo	0.5	Mecánico	Quincenal	S/ 10.42
H.8.1.2	Movimiento de forro inestable rompe los pernos de fijación de cuñas	B	Inspeccionar periódicamente el estado de perno (desgaste en vástago y rosca) que fijan las cuñas y retorque de tuercas y contratuerca de pernos según requiera	0.5	Mecánico	Quincenal	S/ 10.42
I.9.1.1	Cuñas y pernos roto no ejercen la presión suficiente y en cada impacto de compresión golpea al bastidor	B	Inspeccionar periódicamente el estado de perno de cuñas y retorque de tuercas de pernos según requiera	0.5	Mecánico	Quincenal	S/ 10.42

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 53

Costo de horas por tarea propuesta 3.

DETALLE	Causa raíz	Nivel de criticidad	Tarea propuesta	Tarea (Hrs)	REALIZADO POR	FRECUENCIA	COSTO
C.3.1.1	Falla en el procedimiento de ajuste de Setting, resortes flojos	B	Seguir estrictamente el procedimiento escrito de trabajo seguro de ajuste de Setting	0.3	Mecánico	Mensual	S/ 6.94
C.3.2.1	Fatiga de resortes.	B	Cambiar resortes periódicamente	0.5	Mecánico	Anual	S/ 10.42
C.3.3.1	Fatiga de pernos tensores o roscas dañadas.	B	Cambio de pernos tensores periódicamente	0.5	Mecánico	Bi-Anual	S/ 10.42
C.3.4.1	Mal montaje de pasadores o pines o rotos por fatiga	B	Cambiar periódicamente los pasadores	0.2	Mecánico	Semestral	S/ 4.17
C.3.5.1	Se activó la protección a sobre-esfuerzos partiéndose la placa Toggle.	B	Inspeccionar visualmente y con líquidos penetrantes, rajaduras en placa Toggle, programar cambios anticipados cuando esté rajado	0.3	Mecánico	Mensual	S/ 5.21
E.5.1.1	Sobre esfuerzos por no liberar tensión en resortes durante ajustes de Setting	B	Seguir estrictamente el procedimiento escrito de trabajo seguro de ajuste de Setting	0.3	Mecánico	Diario	S/ 6.94
E.5.1.2	No se protege las mangueras hidráulicas ante la fricción de máquina vibrante	B	Inspeccionar la protección las mangueras contra la fricción de máquina vibrante	0.2	Mecánico	Mensual	S/ 3.47
E.5.1.3	Alma metálica expuesta de las mangueras hidráulicas, conducen corrientes a tierra y perforan las mangueras durante trabajos de soldadura	B	Inspeccionar estado de mangueras, proteger las mangueras sometidas a fricción	0.2	Mecánico	Mensual	S/ 3.47
E.5.1.4	Fugas de aceites en conexiones de mangueras por falta de ajuste en conexiones	B	Realizar ajuste periódico de conexiones hidráulicas en mangueras	0.3	Mecánico	Trimestral	S/ 5.21
E.5.1.5	Sellos desgastados	B	Cambio de sellos hidráulicos de cilindros (cada 3 años)	2.0	Mecánico	Triannual	S/ 41.67
E.5.1.6	Pernos en acoples de vástago de cilindros están flojos o rotos	B	Inspección de los pernos en acoples del vástago que esté limpio sin acumulaciones de carga, verificar que no estén flojos ni rotos,	0.3	Mecánico	Mensual	S/ 5.21
E.5.1.7	Falla en rodamientos, devanados o conexionados motor bomba hidráulica	B	Overhaul de motor cada 3 años	5.0	Electricista	Triannual	S/ 104.17
E.5.1.8	Falta de mantenimiento preventivo en arrancador motor bomba hidráulica	B	Realizar mantenimiento preventivo en tablero de arrancador bomba hidráulica, limpieza ajuste, cambio dispositivos recalentados	0.4	Electricista	Bimensual	S/ 8.68
E.5.1.9	Avería en componentes internos de bomba	B	Cambiar bomba hidráulica cada 3 años	1.5	Mecánico	Triannual	S/ 31.25
E.5.1.10	No se cambia filtro de aceite después de 250 horas	B	Cambiar filtros cada 250 horas de trabajo	0.1	Mecánico	Triannual	S/ 2.78
E.5.1.11	Bajo nivel de aceite en tanque hidráulico	B	Inspeccionar nivel del tanque de aceite hidráulico	0.1	Mecánico	Mensual	S/ 2.08
E.5.2.1	Asientos del Toggle demasiado desgastados	B	Inspeccionar desgaste de asientos de Toggle, cambiar asientos antes que afecte regulación de Setting	0.2	Mecánico	Trimestral	S/ 3.47
E.5.3.1	Falla en el procedimiento de ajuste de Setting, la mandíbula móvil no está en la posición de descanso al inicio de ajuste de Setting.	B	Verificar visualmente recirculación excesiva de carga en chancado secundario. De sospechar solicitar nuevo ajuste de Setting y constatar con el técnico mecánico que mandíbula móvil esté en la posición de descanso al inicio de ajuste de Setting.	0.3	Operador	Mensual	S/ 2.08

Fuente: Elaboración propia.

Luego, se presenta la Tabla 54 con el resumen mensual de costos operativos de aplicación del RCM, de acuerdo al costo por tarea y frecuencia determinado en la Tabla 51, 52 y 53. Suma que asciende a S/. 28,554.17 al año.

Tabla 54
Costos de operativo de aplicación del RCM - 2021.

Mes	Total Horas requeridas	Total Personal requerido		Costo
Ene	30.55 Hrs	4	S/	2,591.67
Feb	24.70 Hrs	4	S/	2,226.04
Mar	25.90 Hrs	4	S/	2,363.54
Abr	27.45 Hrs	4	S/	2,408.33
May	25.90 Hrs	4	S/	2,363.54
Jun	25.50 Hrs	4	S/	2,317.71
Jul	28.55 Hrs	4	S/	2,466.67
Ago	25.90 Hrs	4	S/	2,363.54
Set	25.50 Hrs	4	S/	2,317.71
Oct	27.85 Hrs	4	S/	2,454.17
Nov	25.50 Hrs	4	S/	2,317.71
Dic	25.90 Hrs	4	S/	2,363.54
Total			S/	28,554.17

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se presenta el resumen de costos, el cual asciende a S/ 185,671.67, ver Tabla 55.

Tabla 55
Resumen de costos.

Descripción	Monto	De Tabla
Consultoría para realizar la mejora	S/ 24,300.00	Tabla 48
Horas de personal técnico para realizar las mejoras.	S/ 53,437.50	Tabla 49
Mantenimiento preventivo basado en el RCM.	S/ 28,554.17	Tabla 54
* Aumento de 2 forros fijos más al año con desgaste al 80%	S/ 45,360.00	Según Anexo 17
* Aumento de 2 forros móviles más al año con desgaste al 80%	S/ 34,020.00	Según Anexo 17
Costo total aplicar la mejora	S/ 185,671.67	

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los dos últimos ítems con asterisco (*) indican costos de forros fijos y móviles proporcionado por la empresa minera en estudio.

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Resultados

Los resultados se evaluaron de forma mensual durante el año 2021, de enero a noviembre. En la siguiente tabla se presenta la cantidad de paradas de máquina en la chancadora de quijadas posterior a la implementación del RCM. Donde se observa que después de la aplicación del RCM, sólo ha existido 4 paradas de la chancadora de quijadas, con un tiempo promedio por parada de 2.23 horas.

Tabla 56

Paradas de máquina por Chancadora de quijadas – Post aplicación del RCM - 2021.

Mes	Chancadora
Ene	1
Feb	1
Mar	1
Abr	
May	
Jun	1
Jul	
Ago	
Set	
Oct	
Nov	
Dic	
Total paradas	4

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1 Cálculo de confiabilidad y mantenibilidad post implementación.

Utilizando las mismas fórmulas con las que se evidenciaron la confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y calidad, a continuación, se presenta los resultados obtenidos post aplicación del RCM.

Es así que se presenta la confiabilidad de enero a noviembre 2021, observando que la confiabilidad promedio es igual 99.85%, ver Tabla 57.

Tabla 57*Cálculo de la confiabilidad – Post aplicación del RCM - 2021.*

Mes	TMEF	TMPR	Confiabilidad
Ene	545.60 H	2.230 H	99.59%
Feb	492.80 H	2.230 H	99.55%
Mar	545.60 H	2.230 H	99.59%
Abr	528.00 H	0.000 H	100.00%
May	545.60 H	0.000 H	100.00%
Jun	528.00 H	2.230 H	99.58%
Jul	545.60 H	0.000 H	100.00%
Ago	545.60 H	0.000 H	100.00%
Set	528.00 H	0.000 H	100.00%
Oct	545.60 H	0.000 H	100.00%
Nov	528.00 H	0.000 H	100.00%
Promedio			99.85%

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se presenta la mantenibilidad, el cual tiene un promedio de 97.63% posterior a la aplicación del RCM.

Tabla 58*Cálculo de la mantenibilidad – Post aplicación del RCM - 2021.*

Mes	TTRD	TTD	Mantenibilidad
Ene	543.37 H	558.00 H	97.38%
Feb	490.57 H	504.00 H	97.34%
Mar	543.37 H	558.00 H	97.38%
Abr	528.00 H	540.00 H	97.78%
May	545.60 H	558.00 H	97.78%
Jun	525.77 H	540.00 H	97.36%
Jul	545.60 H	558.00 H	97.78%
Ago	545.60 H	558.00 H	97.78%
Set	528.00 H	540.00 H	97.78%
Oct	545.60 H	558.00 H	97.78%
Nov	528.00 H	540.00 H	97.78%
Total	5869.48 H		97.63%

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 Cálculo del OEE post implementación.

En la siguiente tabla se presenta la disponibilidad, el cual tiene un promedio de 99.70% posterior a la aplicación del RCM.

Tabla 59*Cálculo de la disponibilidad – Post aplicación del RCM - 2021.*

Mes	TTD	TPM	Disponibilidad
Ene	558.00 H	4.79 H	99.14%
Feb	504.00 H	4.88 H	99.03%
Mar	558.00 H	4.57 H	99.18%
Abr	540.00 H	0.00 H	100.00%
May	558.00 H	0.00 H	100.00%
Jun	540.00 H	3.60 H	99.33%
Jul	558.00 H	0.00 H	100.00%
Ago	558.00 H	0.00 H	100.00%
Set	540.00 H	0.00 H	100.00%
Oct	558.00 H	0.00 H	100.00%
Nov	540.00 H	0.00 H	100.00%
Promedio			99.70%

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se presenta el rendimiento, el cual tiene un promedio de 74.15% posterior a la aplicación del RCM, (TMH/H = Toneladas Métricas Húmedas por hora, HP = Caballo Fuerza, KW=Kilowatts, R=Rendimiento, Etrans = $PRC \times 0.94$ = Potencia Real Consumida por pérdidas de transmisión de 6%).

Tabla 60*Cálculo del Rendimiento del motor de la Chancadora P. – Post aplicación del RCM - 2021.*

Mes	TMH/H	Energía Específica (KW-H/Tn)	Potencia operacional (KW)	Potencia operacional (HP)	Potencia real consumida (HP) (Etrans)	Rendimiento del motor (R)
Enero	158.60	0.71	80.67	108.14	115.04	76.69%
Febrero	149.16	0.75	75.87	101.70	108.19	72.13%
Marzo	154.83	0.72	78.75	105.57	112.31	74.87%
Abril	155.68	0.72	79.18	106.15	112.92	75.28%
Mayo	131.92	0.85	67.10	89.95	95.69	63.79%
Junio	152.86	0.73	77.75	104.23	110.88	73.92%
Julio	155.32	0.72	79.00	105.90	112.66	75.11%
Agosto	156.70	0.71	79.71	106.84	113.66	75.78%
Setiembre	157.67	0.71	80.20	107.50	114.37	76.24%
Octubre	157.43	0.71	80.08	107.34	114.19	76.13%
Noviembre	156.59	0.71	79.65	106.77	113.58	75.72%
NOMINAL	220.00	0.51			Promedio	74.15%

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se presenta la calidad, el cual tiene un promedio de 97.89% posterior a la aplicación del RCM.

Tabla 61*Cálculo de la calidad – Post aplicación del RCM – 2021.*

Mes	PR	PTR	Calidad
Ene	104477.75 TM	106232.98 TM	98.35%
Feb	91882.56 TM	93582.39 TM	98.18%
Mar	104995.45 TM	108868.73 TM	96.44%
Abr	102515.28 TM	105570.24 TM	97.11%
May	86902.30 TM	88362.26 TM	98.35%
Jun	100431.65 TM	101516.31 TM	98.93%
Jul	99307.73 TM	99307.73 TM	100.00%
Ago	100192.62 TM	100302.83 TM	99.89%
Set	100515.90 TM	104152.57 TM	96.51%
Oct	100658.09 TM	104322.04 TM	96.49%
Nov	96891.30 TM	100389.08 TM	96.52%
Dic			
Promedio	1088770.62 TMH	1112607.14 TMH	97.89%

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se presenta el cálculo del OEE, el cual tiene un promedio de 72.36% posterior a la aplicación del RCM

Tabla 62*Cálculo del OEE – Post aplicación del RCM - 2021.*

Mes	Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	OEE
Ene	99.14%	76.69%	98.35%	74.78%
Feb	99.03%	72.13%	98.18%	70.13%
Mar	99.18%	74.87%	96.44%	71.62%
Abr	100.00%	75.28%	97.11%	73.10%
May	100.00%	63.79%	98.35%	62.74%
Jun	99.33%	73.92%	98.93%	72.64%
Jul	100.00%	75.11%	100.00%	75.11%
Ago	100.00%	75.78%	99.89%	75.69%
Set	100.00%	76.24%	96.51%	73.58%
Oct	100.00%	76.13%	96.49%	73.45%
Nov	100.00%	75.72%	96.52%	73.08%
Prom	99.70%	74.15%	97.89%	72.36%

Fuente: Elaboración propia.

Con la finalidad de evaluar la mejora se presenta la siguiente figura con el resultado del OEE antes y después de aplicar el RCM, donde se observa el incremento del OEE posterior a la aplicación del RCM

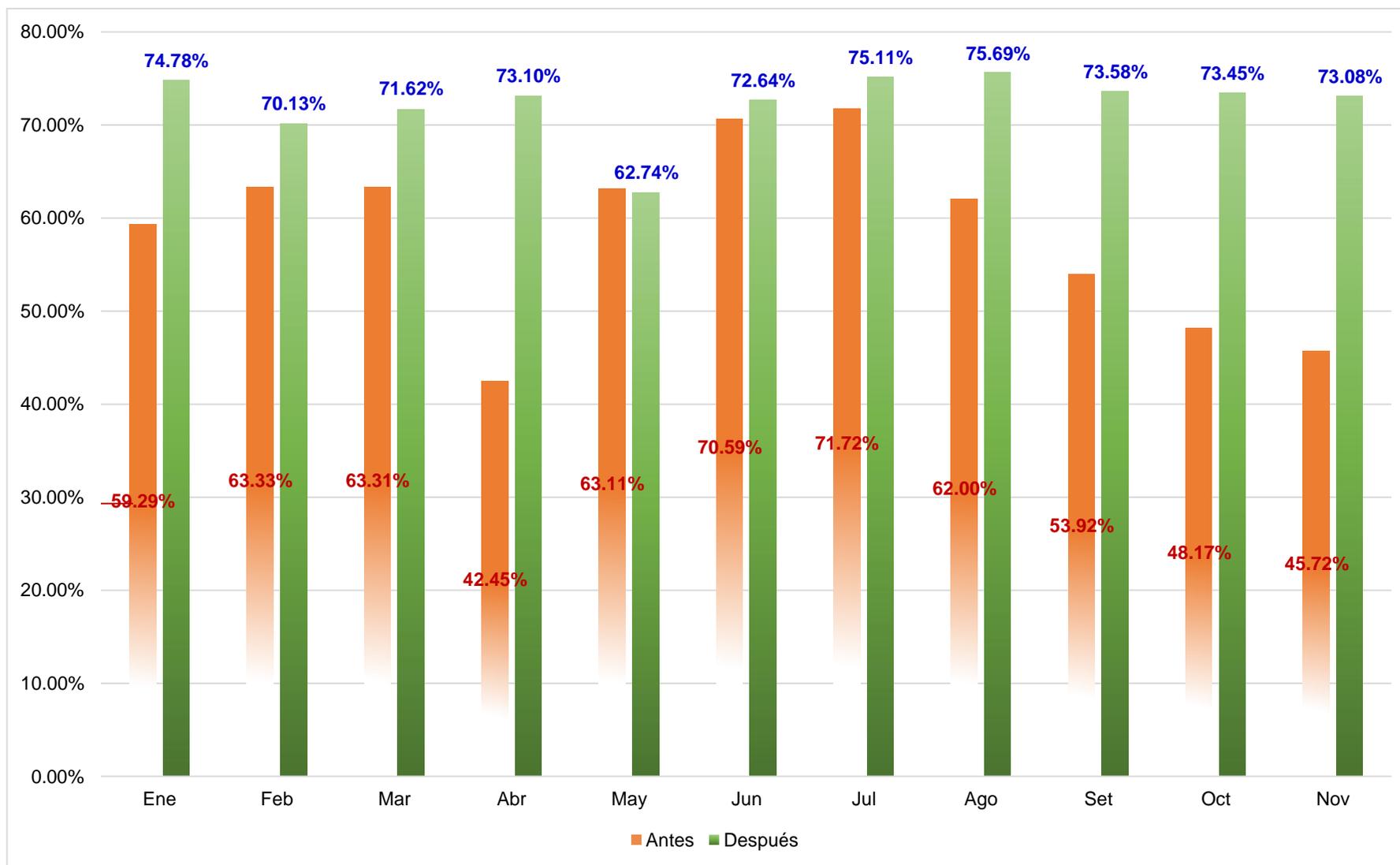


Figura 46. OEE Antes (2019) y posterior (2021) a la aplicación de RCM.
Fuente: Empresa en estudio.

Finalmente, se presenta la siguiente tabla con el resumen de los indicadores de: Confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, rendimiento, calidad y OEE, observando que para todos los casos existe una mejora, donde el OEE tiene una mejora de 15.08%, pasando de 57.28% antes de aplicar el RCM a 72.36% post aplicación del RCM. Ver Tabla 63.

Tabla 63
Cálculo del OEE – Post aplicación del RCM.

Indicador	Antes	Después	Mejora
Confiabilidad	97.18%	99.85%	2.66%
Mantenibilidad	91.75%	97.63%	5.88%
Disponibilidad	94.11%	99.70%	5.59%
Rendimiento	65.30%	74.15%	8.85%
Calidad	92.75%	97.89%	5.13%
OEE	57.28%	72.36%	15.08%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de acuerdo a los objetivos planteados en el presente proyecto:

Tabla 64
Resultados según objetivos del proyecto.

	Objetivos	Resultados mejora
Objetivo General	Demostrar en qué medida la Metodología RCM incrementa el OEE en la chancadora de quijadas del proceso de Chancado Primario de una empresa minera en el 2020.	15.08%
Objetivos específicos 1	Describir cómo se mejora la disponibilidad de la chancadora de quijadas en el proceso de Chancado Primario en una empresa minera mediante la aplicación de la confiabilidad del RCM.	5.59%
Objetivos específicos 2	Demostrar cómo se mejora el rendimiento de la chancadora de quijadas en el proceso de Chancado Primario en una empresa minera aplicando la mantenibilidad del RCM.	8.85%
Objetivos específicos 3	Demostrar en que magnitud la reducción de la frecuencia de fallas en el sistema de regulación de tamaño de partícula de la chancadora, asegura la calidad del proceso de Chancado Primario.	5.13%

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Resumen de Inversión y recuperación

Teniendo en cuenta las horas de parada de máquina y ralentización por la chancadora de quijadas antes y después aplicar RCM, se tiene una mejora de 315.341 horas, ver la tabla de

cálculo de horas de parada de máquina y ralentización en el Anexo 18. Además, teniendo en cuenta que el costo de hora de mantenimiento correctivo proporcionado por la empresa en estudio es \$ 200.00 se tiene una recuperación de costo de hora de mantenimiento por parada de máquina al año de \$ 68,801.41, ver Tabla 65.

Tabla 65
Recuperación de la propuesta.

Concepto	De	Total	
Horas de parada de máquina antes de mejora	Anexo 18	333.18 H	(a)
Horas de parada de máquina después de mejora	Anexo 18	17.84 H	(b)
Mejora		315.34 H	(a) - (b)
Costo de hora Mtto. Correctivo		\$ 200.00	
Recuperación costo de hora de Mtto por parada de Máq/Año.		\$ 68,801.41	

Nota. Información de la empresa en estudio. Elaboración propia.

5.3 Flujo de caja

Con el cálculo de la recuperación e inversión obtenida en la Tabla 65, se procede a realizar el flujo de caja por un periodo de 5 años, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Inflación anual de 6.2%, de acuerdo al reporte de BCR a febrero 2022 (BCR, 2022).
- Impuesto a la renta de 29.5% de acuerdo a lo establecido por SUNAT, vigente a la fecha.
- Costos operativos, el costo anual por aplicar el RCM, determinado en la Tabla 54 y Tabla 55 respecto a los incrementos de dos forros fijos y móviles, se tiene un total de S/. 107,934.17, expresado en dólares a S/. 3.77 de tipo de cambio, equivalente a \$ 28,629.75
- Costo promedio ponderado (WACC) proporcionado por la empresa minera de 10.04%, validado también con el trabajo de investigación de Canma, Cordero y Puma (2021)

realizado para obtener el grado de Magíster en Finanzas en la Universidad del Pacífico, en el cual determinaron el WACC en 10.04% para una empresa del sector minero.

- Inversión de S/. 185,671.67, obtenido en la Tabla 55 que, convirtiendo a dólares a un tipo de cambio de S/. 3.77, se tiene que la inversión es equivalente a \$ 49,249.78
- Finalmente, se tiene que la empresa minera asume el 100% de inversión, es decir no se requiere de financiamiento.

Bajo estos parámetros se presenta el flujo de caja de la propuesta para 5 años, ver Tabla 66.

Tabla 66*Flujo de caja.*

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Recuperación costo de Hrs de Mtto por parada de máq/Año.		\$ 68,801.41	\$ 73,067.10	\$ 77,597.26	\$ 82,408.29	\$ 87,517.61
Costos operativos (Ejecución del RCM.)		\$ -28,629.75	\$ -30,404.80	\$ -32,289.89	\$ -34,291.87	\$ -36,417.96
Utilidad Neta		\$ 40,171.66	\$ 42,662.31	\$ 45,307.37	\$ 48,116.42	\$ 51,099.64
Impuesto a la renta (29.5%)		\$ -11,850.64	\$ -12,585.38	\$ -13,365.67	\$ -14,194.35	\$ -15,074.39
Flujo de efectivo neto		\$ 28,321.02	\$ 30,076.93	\$ 31,941.69	\$ 33,922.08	\$ 36,025.25
Flujo de inversiones	\$ -49,249.78					
Flujo de efectivo libre	\$ -49,249.78	\$ 28,321.02	\$ 30,076.93	\$ 31,941.69	\$ 33,922.08	\$ 36,025.25
Flujo de efectivo Acumulado		\$ 28,321.02	\$ 58,397.95	\$ 90,339.64	\$ 124,261.72	\$ 160,286.97

Fuente: Elaboración propia.

5.4 VAN/TIR

En la siguiente tabla se presenta el cálculo del VAN/TIR, donde se observa que el VAN a 5 años de proyección es de \$ 70,762.03, siendo este mayor a CERO se considera que la propuesta es viable. Por otro lado, se tiene que el TIR es igual a 55.03%, al ser mayor al COK (WACC) (10.04%) se considera que el proyecto es rentable. Ver Tabla 67.

Tabla 67
Cálculo del VAN/TIR.

Concepto	Año 0 Inversión	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Valor presente	\$ -49,249.78	\$25,737.02	\$24,838.89	\$23,972.11	\$23,135.57	\$22,328.22
WACC	VAN	TIR				
10.04%	\$ 70,762.03	55.03%				

Fuente: Elaboración propia.

5.5 Beneficio - Costo

Por lo explicado en el punto anterior, también se tiene un Beneficio costo de la propuesta de mejora de 1.437, lo cual indica que, por cada dólar invertido en la realización de aplicación del RCM, la empresa minera gana \$ 0.437.

$$B/C = \frac{\$ 70,762.03}{\$ 49,249.78} = 1.437$$

5.6 Período de recuperación (PRI)

Teniendo en cuenta la fórmula de período de recuperación:

$$PRI = (A-1) + \left(\frac{I - FEA_{(A-1)}}{FE_A} \right)$$

Donde, del Flujo de caja de la Tabla 66 se tiene:

$A =$ Año en que se recupera la inversión = Año 2

$I =$ Inversión inicial = \$ 49,249.78

$FEA_{(A-1)}$ = Flujo de efectivo acumulado (FEA) de año inmediato anterior en el que se recupera la inversión = \$ 28,321.02 (Del año 1).

$FE_A =$ Flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión = \$ 30,076.93 (Del año 2)

Entonces, reemplazando los valores en la fórmula del PRI, se tiene que la inversión de \$ 49,249.78 se recupera en 1 año, 8 meses y 11 días.

CONCLUSIONES

- ✓ En relación al objetivo general: Se logra demostrar que aplicando la metodología RCM se logra mejorar el OEE en 15.08% pasando de 57.28% a 72.36%, teniendo en cuenta la revisión bibliográfica se puede decir que esta mejora es buena por ser mayor a 70%
- ✓ En relación al primer objetivo específico: Se logra demostrar que la confiabilidad del RCM permitió mejorar la disponibilidad de la chancadora de quijadas en 2.66%, de 97.18% a 99.85%, ello se logró gracias a que la confiabilidad otorgada por el RCM permitió disminuir la cantidad de paradas de máquina por correctivos no programados,
- ✓ En relación al segundo objetivo específico: Se logró demostrar que la mantenibilidad otorgada por el RCM mejora el rendimiento de la chancadora de quijadas en el proceso de Chancado Primario, mejora equivalente al 5.88%. ello se manifestó al cambiar de correas de transmisión a tiempo, verificar periódicamente el ajuste de las mismas y no permitir que los forros de la chancadora se desgasten al máximo (más del 80%), el equipo se hace mejor mantenible ya que los tiempos de mantenimiento disminuyeron de 10 horas a 8 horas para el cambio de forros, antes se encontraba cuñas agarrotadas y deformadas, bastidores dañados, forros atascados por deformaciones extremas, todo ello hace que se emplee más horas en mantenimiento.
- ✓ En relación al tercer objetivo específico: Se logró demostrar la confiabilidad del RCM permite disminuir la frecuencia de fallas en el sistema de regulación de tamaño de partícula de la chancadora, ya que al asignar la tarea del correcto procedimiento de ajuste de Setting y tareas de inspección del sistema hidráulico de ajuste de Setting se asegura el tamaño de trituración y por ende la calidad del proceso de Chancado, lo cual se evidencia con el 5.13 % de incremento de la calidad.

- ✓ Con el control de desgaste de forro fijo al 80% y mantener el sistema de transmisión en óptimo estado se logra mejorar el rendimiento de la chancadora, ello se evidencia en el promedio de toneladas métricas por hora de 135.04 en el año 2019 a 154.42 del año 2021.
- ✓ Finalmente, se logró demostrar que la propuesta es viable y confiable a través del cálculo del VAN (\$ 70,762.03) y el TIR (55.03%), con una recuperación de la inversión de 1 año, 8 meses y 11 días.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a las gerencias brindar el apoyo constante para el cumplimiento de los programas de capacitación y de mantenimiento.
- Se recomienda calcular el OEE a las demás áreas productivas, para tener la base de eficiencia global empresarial, con la finalidad de obtener una mejora integral por área.
- Se recomienda que el área de recursos humanos de la empresa en estudio pueda proponer planes de capacitaciones de RCM para el personal técnico que labora en el área de mantenimiento ya que estas metodologías fomentan que los equipos operen con alta confiabilidad y la confiabilidad debe ser parte de la cultura organizacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asociación Española para la Calidad. (2018). *AEC*. Obtenido de <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/mantenibilidad>
- Asociación Española para la Calidad. (2018). *AEC*. Obtenido de <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/confiabilidad>
- Baena, G. (2017). *Metodología de la Investigación* (Tercera ed.). Grupo editorial Patria.
- Barbera, L., Crespo, A., Kristjanpoller, F., Stegmaier, R., & Viveros, P. (2012). *Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo*. Recuperado el 15 de 05 de 2020, de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v21n1/art11.pdf>
- Barrientos, G. (2017). *MEJORA DE LA GESTION DE MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA PESADA CON LA METODOLOGIA AMEF*. Recuperado el 20 de 05 de 2020, de http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/3465/3/2017_Barrientos-Medina.pdf
- BCR. (2022). *Panorama actual y proyecciones macroeconómicas 2022-2023 - Marzo 2022*. Banco Central de Reserva del Perú, Lima. Obtenido de <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Reporte-Inflacion/2022/marzo/reporte-de-inflacion-marzo-2022.pdf>
- Belli, O. (2018). *Propuesta de gestión de mantenimiento RCM en plantas de energía a gas natural*. Recuperado el 20 de 05 de 2020, de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/624416/Belli_HO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Campos, O., Tolentino, G., & Toledo, M. (2019). *Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), considerando Taxonomía de Equipos, bases de datos y Criticidad de Efectos*. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería

Mecánica y Eléctrica., Ciudad de México. Recuperado el 03 de 08 de 2020, de http://www.cientifica.esimez.ipn.mx/manuscritos/V23N1_051_059.pdf

Canma, A., Cordero, C., & Puma, J. (2021). *Valorización de la Compañía Minera MINSUR*. Para optar al Grado Académico de Magíster en Finanzas, Universidad del Pacífico, Lima, Perú. Obtenido de https://repositorio.up.edu.pe/bitstream/handle/11354/3103/CanmaAbel_Tesis_maestria_2021.pdf?sequence=1

Cano, R. (2014). *Propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento mediante la aplicación de herramientas del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para línea PET de bebidas gaseosas*. Recuperado el 20 de 05 de 2020, de <http://hdl.handle.net/10757/346816>

Cárcamo, J. (2019). *Propuesta de Mejora a Plan de Mantenimiento y al Sistema de Gestión de Stock de Repuestos a Motor Diesel de Camiones de xtracción 797 Caterpillar en Compañía Minera Centinela Ubicada en la Ciudad de Antofagasta*. Universidad Técnica Federico Santa María, Repositorio Digital USM, Antofagasta - Chile. Recuperado el 03 de 08 de 2020, de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/47368/3560901064535UTFSM.pdf?sequence=1>

Cardenas, N. (2018). *Influencia del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en la Disponibilidad Mecánica de los Equipos SCALER en la Unidad Minera YAULI*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Mecánica, Huancayo - Perú. Recuperado el 03 de 08 de 2020, de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/4498/Cardenas%20L..pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Castillo, R., Prieto, A., & Zambrano, E. (2015). *Indicadores de Gestión de Mantenimiento en las Instituciones Públicas de Educación Superior del Municipio de Cabimas*. Recuperado el 20 de 05 de 2020, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5655378>
- Cormilluni, J. (2019). *Propuesta de Mejora en el Sistema de Gestión de Mantenimiento, utilizando el RCM en el Proceso de producción y Extendido de Asfalto*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas , Facultad de Ingeniería Industrial, Lima. Recuperado el 03 de 08 de 2020, de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/625583/Cormilluni_1j.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- CRU Consulting. (2018). *Caracterización y análisis de mercado internacional de minerales en el corto, mediano y largo plazo, con vigencia al año 2035*. Unidad de Planeación Minero Energetica. Recuperado el 20 de 05 de 2020, de http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Datos/mercado-inter/Producto3_Estano_FINAL_11Dic2018.pdf
- D'Alessio, F. (2015). *Administración y dirección de la producción, enfoque estratégico y de calidad*. Lima: Pearson-Prentice hall.
- Díaz, J. (2010). *Técnicas de mantenimiento industrial*. doi:ISBN 978-84-613-7747-3
- Díaz, V., Gonzales, V., & Medrano, J. (2017). *Mantenimiento: Técnicas y Aplicaciones Industriales*. México, México: Grupo Editorial Patria . Recuperado el 28 de 05 de 2020, de https://elibro.net.upc.remotexs.xyz/es/ereader/upc/40508?fs_q=mantenimiento_equipos&fs_edition_year=2020;2019;2018;2017&prev=fs&page=43

- El Peruano. (20 de 02 de 2020). Perú destaca en el Ranking Mundial Minero del año 2019. Recuperado el 20 de 05 de 2020, de <https://elperuano.pe/noticia-peru-destaca-ranking-mundial-minero-89793.aspx>
- Gallardo, E. (2017). *Metodología de la Investigación* (Primera ed.). Huancayo, Perú: Universidad Continental.
- García, O. (2014). *Gestión Integral de Mantenimiento basada en la Confiabilidad*. Recuperado el 03 de 03 de 2020, de http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700502/moodle/file.php/78/2_Curso/0040._Montaje_y_mantenimiento_de_equipos_de_refrigeracion_comercial/Capitulo_IV/Organizacion_y_gestion_del_mantenimiento_de_instalaciones_modif.pdf
- García, S. (2013). *Plan de Mantenimiento Basado en RCM*. Recuperado el 03 de 03 de 2020, de <http://ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/26-articulos-destacados/17-plan-de-mantenimiento-basado-en-rcm>
- Gonzales, R. (2015). *Desarrollo de RCM en un Equipo Crítico de Planta CAP ACERO*. Universidad Andres Bello, Facultad de Ingeniería Civil Industrial, Concepción - Chile. Recuperado el 03 de 08 de 2020, de http://repositorio.unab.cl/xmlui/bitstream/handle/ria/1038/a114449_Gonzalez_R_Desarrollo_de_RCM_en_un_equipo_2015_Tesis.pdf?sequence=1
- González, F. (06 de 11 de 2012). *Visión industrial*. Obtenido de <http://www.visionindustrial.com.mx/industria/operacion-industrial/oe-factor-de-exito>
- Guzmán, F., Palacio, B., & Torrado, L. (2015). *Optimización del Plan de Mantenimiento (PMO) al Sistema de Compresión de Gas Natural del Campo Rio Ceibas*. Recuperado el 20 de 05 de 2020, de <http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/38078/1/159999.pdf>

- Hernández, C. (2019). *Glosario de términos mineros* (Primera ed.). (R. Editores, Ed.) Valparaíso, Chile: Editorial Universidad Santo Tomás.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6° ed.). México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
Recuperado el 30 de 09 de 2018, de 1234567890 - 2356789014
- INEI. (2020). *Reporte de Producción a Marzo 2020*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Recuperado el 20 de 05 de 2020, de http://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/produccion_marzo2020.pdf
- Kasmaeeyazdi, S., Tinti, F., & Bruno, R. (02 de 2018). Characterization of metal grades in a stockpile of an iron mine (Case study - Choghart iron mine, Iran). (F. o. Publisher: University of Zagreb, Ed.) *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik*, 33(2), 51-59. doi:10.17794/rgn.2018.2.5
- Kenneth, R. (2017). *Understanding, Measuring, and Improving Overall Equipment Effectiveness*.
- Levy, R. (2020). *Instalaciones eléctricas industriales* (2018 ed.). (J. Sarmiento, Ed.) Córdoba, Argentina: Científica universitaria.
- Li, C., & Mescua, R. (2016). *Propuesta de Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, Aplicado a una Flota de Camiones, fuera de carretera, en una mina a tajo abierto*. . Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería Industrial, Lima - Perú. Recuperado el 03 de 08 de 2020, de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/619973/LI_GC.pdf?sequence=14&isAllowed=y
- Lizarzaburu, E., Chávez, M., Barriga, G., & Castro, G. (2018). *Gestión de operaciones y calidad* (Primera ed.). Lima, Perú: Pearson Educación de Perú S.A. Recuperado el 27 de 04 de 2021

- López, L. (2017). *Gestión de Mantenimiento* (Primera ed.). Babahoyo, Ecuador: Cidepro.
Recuperado el 23 de 04 de 2021
- Maya, J. (2018). *Aplicación de RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM*. Recuperado el 15 de 05 de 2020, de <http://bdigital.unal.edu.co/65668/7/98702383.2018.pdf>
- Mendoza, A., Solano, C., Palencia, D., & García, D. (18 de 07 de 2018). Aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) para la toma de decisión con juicios de expertos. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 27(3), 348-360. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052019000300348>
- Minería Pan Americana. (2020). *La Producción Mundial de Minas de Estaño se Contraerá en el año 2020*. Recuperado el 25 de 05 de 2020, de <https://www.mineria-pa.com/noticias/produccion-mundial-de-minas-de-estano-se-contraera-en-2020/>
- Núñez, C. (2016). *RCM para optimizar la disponibilidad de los tractores D8T en la empresa Aruntani SAC-Unidad Tukari*. Recuperado el 20 de 05 de 2020, de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1574/TESIS%20FINAL01.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Palacios, J., Abadías, A., Valero, A., Valero, A., & Reuter, M. (15 de 08 de 2019). The energy needed to concentrate minerals from common rocks: The case of copper ore. (P. E. Ltd, Ed.) *Energy*, 181, 494-503. doi:10.1016/j.energy.2019.05.145
- Queijo, G. (2020). *Fundamentos de tecnología eléctrica* (2020 ed.). Madrid, España: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Rojas, L. (2016). *Propuesta de un Sistema de Mantenimiento Predictivo en el Área de Procesamiento de Mineral para Incrementar la Rentabilidad de una Compañía Minera*. . Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería Industrial, Trujillo - Perú. Recuperado el 03 de 08 de 2020, de

<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/12569/Rojas%20Diaz%20Lesly%20Denisse.pdf?sequence=1>

Rojas, R. (2017). *Análisis y aplicación de modelo de gestión del cambio en la confiabilidad y mantenimiento del área de gravilla y pebbles en planta de cobre de minera Los Pelambres*. Universidad de Chile, Ingeniería Industrial, Santiago de Chile. Recuperado el 20 de 07 de 2020, de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/148395/Analisis-y-aplicacion-de-modelo-de-gestion-del-cambio-en-la-confiabilidad-y-mantenimiento-de-area-de-Gravilla-y-Pebbles-en.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Salgado, C. (2018). *Manual de investigación* (Primera ed.). Lima, Perú: Universidad Marcelino Champagnat. doi:ISBN: 978-612-4194-17-7

Socconini, L. (2019). *Lean Company: Más allá de la manufactura* (Primera ed.). Barcelona, España: Marge Books.

Socconini, L. (2019). *Lean Maintenance, más allá de la Manufactura*. Barcelona: Marge Books. Recuperado el 28 de 05 de 2020, de https://elibro.net/upc.remotexs.xyz/es/ereader/upc/117565?prev=fs&fs_q=lean_manufacturing&fs_edition_year=2019;2018;2017&page=5

Sociedad Minero Energética. (2019). *Producción Mundial de Estaño 2018*. Recuperado el 20 de 05 de 2020, de https://issuu.com/sociedadmineroenergetica/docs/diptico_esta_o_2017

Soto, J. P. (2016). *Mantenimiento Basado en la Confiabilidad para el Mejoramiento de la Disponibilidad Mecánica de los Volquetes FAW en GYM S.A.* Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Mecánica, Huancayo - Perú. Recuperado el 03 de 08 de 2020, de

<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3654/Soto%20Baltazar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Torres, A. (2017). *Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para Mejorar la Disponibilidad de la Chancadora 60"x113" de Minera Chinalco*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Mecánica, Huancayo - Perú. Recuperado el 03 de 08 de 2020, de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3681/Torres%20Raymundo.pdf?sequence=1>

Touron, J. (09 de 03 de 2016). *Sistemas OEE*. Obtenido de <https://www.sistemasoe.com/definicion-oe/>

Tourton, J. (09 de 03 de 2016). *Sistemas OEE*. Recuperado el 20 de 05 de 2020, de www.sistemasoe.com

Uscátegui, P. (2014). *Propuesta de Mejoramiento de Gestión de Mantenimiento para el Departamento de confiabilidad y Proyecto en la empresa Petrosantander Colombia*. Recuperado el 15 de 05 de 2020, de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2014/152309.pdf>

Zavala, C. (2018). *Plan de Mantenimiento Preventivo Basado en RCM para el Chancador Primario FULLER, Operación Mantoverde*. Universidad Técnica Federico Santa María, Ingeniería Mecánica, Valparaíso. Recuperado el 20 de 07 de 2020, de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/40797/3560900257693UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

Anexo 1. Formato para recopilar paradas por tipo de máquina en el proceso de chancado primario.

Mes	Parrilla	Tolva Alimentación	Electroimán 1	Alimentador Mineral Marginal	Zaranda Tipo Scalper	Chancadora	Electroimán 2	Faja Transportadora 1	Total
Ene									
Feb									
Mar									
Abr									
May									
Jun									
Jul									
Ago									
Set									
Oct									
Nov									
Dic									
Total Paradas									

Anexo 5. Matriz de operacionalización de variables.

Problema de investigación	Objetivos	Dimensiones	Indicadores	Fórmula	Escala de Medición	Metodología
Problema General: ¿En qué medida la aplicación de la Metodología RCM permitirá mejorar el resultado del indicador OEE en el proceso de Chancado Primario en una empresa minera?	Objetivo General: ¿Demostrar en qué medida la metodología RCM incrementa el OEE en la chancadora de quijadas del proceso de Chancado Primario en una empresa minera en el 2020?	Metodología RCM.				Tipo: Aplicada de enfoque cuantitativo.
		Confiabilidad (Cf)	Índice que mide que un equipo no falle bajo condiciones definidas en un tiempo determinado.	$\% Cf = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR}$ TMEF: Tiempo medio entre fallas. TMPR: Tiempo medio para reparación.	Razón	Diseño: De campo.
Problemas específicos: 1. ¿En qué medida la confiabilidad del RCM permitirá mejorar la disponibilidad de la chancadora de quijadas en el proceso de Chancado Primario en una empresa minera?	Objetivos específicos: 1. Describir cómo se mejora la disponibilidad de la chancadora de quijadas mediante la aplicación de la confiabilidad del RCM	Mantenibilidad (Mt)	Índice que mide la rapidez de reparación de equipos cuando existen fallos.	$\% Mt = \frac{TTRD}{TTD}$ TTRD: Tiempo total real disponible. TTD: Tiempo total disponible.	Razón	Técnica aplicada: La observación. Análisis documental.
		Resultado del indicador OEE.				Instrumentos de recopilación de datos: Matriz FMEA.
2. ¿En qué medida la mantenibilidad del RCM permitirá mejorar el rendimiento de la chancadora de quijadas en el proceso de chancado primario en una empresa minera?	2. Demostrar cómo se mejora el rendimiento de la chancadora de quijadas mediante la aplicación de la mantenibilidad del RCM	Disponibilidad (D)	Índice que mide el porcentaje de tiempo de la chancadora en disposición para producir.	$\% D = \frac{TTD - TPM}{TTD}$ TTD: Tiempo total disponible. TPM: Tiempo de parada por mantenimiento.	Razón	Procesamiento de información: Excel.
		Rendimiento (R)	Índice que mide el rendimiento de energía.	$\% R = \frac{ETrans}{PNo}$ ETrans: Eficiencia de transmisión. PNo: Potencia Nominal.	Razón	
3. ¿En qué medida la confiabilidad del RCM reduce la frecuencia de fallas en el sistema de regulación de tamaño de partícula y asegura la calidad de chancado?	3. Demostrar cómo se mejora la Calidad de la chancadora de quijadas mediante la aplicación de la confiabilidad del RCM	Calidad (C)	Índice que mide la producción real en relación a la producción teórica calculada.	$\% C = \frac{PR}{PTC}$ PR: Producción real. PTC: Producción teórica calculada.	Razón	

Nota: Elaboración propia.

Anexo 6. Tiempo promedio ponderado por tipo de parada de máquina.

Maquinaria	Muestra	Tpo. Prom	Tpo Prom Ponderado						
1 Chancadora	8.00	5.03 H	12.00	5.13 H	5.00	4.90 H	4.00	4.72 H	5.01 H
2 Zaranda tipo Scalper	7.00	5.78 H	21.00	5.67 H	16.00	5.58 H	5.00	5.67 H	5.66 H
3 Faja transportadora 1	3.00	4.83 H	9.00	4.72 H	3.00	4.75 H	3.00	4.85 H	4.76 H
4 Electroimán 2	3.00	4.85 H	9.00	4.75 H					4.78 H
5 Alimentador mineral marginal	14.00	5.90 H	10.00	5.80 H					5.86 H
6 Parrilla	9.00	4.70 H	3.00	4.88 H					4.75 H
7 Electroimán 1	2.00	2.75 H							2.75 H
8 Tolva alimentación	20.00	4.87 H							4.87 H
Total	66.00	337.53 H	64.00	338.41 H	24.00	128.08 H	12.00	61.75 H	5.22 H

Nota: Se realizó un muestreo durante 6 meses con la finalidad de determinar el tiempo promedio de parada de equipo de acuerdo al tipo de equipo.
 Fuente: Empresa en estudio, elaboración propia.

Anexo 7. Tabulación de equipos por cantidad de paradas 2019.

Equipo	Cantidad de paradas	%	%AC
1 Chancadora de quijadas	36	44.44%	44.44%
2 Zaranda tipo Scalper	15	18.52%	62.96%
3 Alimentador mineral marginal	8	9.88%	72.84%
4 Faja transportadora 1	8	9.88%	82.72%
5 Electroimán 2	7	8.64%	91.36%
6 Parrilla	4	4.94%	96.30%
7 Electroimán 1	2	2.47%	98.77%
8 Tolva alimentación	1	1.23%	100.00%
Total	81	100.00%	

Anexo 8. Confiabilidad de la chancadora de quijadas / antes de la mejora

Mes	TMEF	TMPR	Confiabilidad
Ene	263.50 H	5.007 H	98.14%
Feb	492.80 H	5.007 H	98.99%
Mar	542.50 H	5.007 H	99.09%
Abr	263.40 H	5.007 H	98.13%
May	175.67 H	5.007 H	97.23%
Jun	262.80 H	5.007 H	98.13%
Jul	170.50 H	5.007 H	97.15%
Ago	127.88 H	5.007 H	96.23%
Set	170.00 H	5.007 H	97.14%
Oct	102.30 H	5.007 H	95.33%
Nov	99.00 H	5.007 H	95.19%
Dic	104.78 H	5.007 H	95.44%
Promedio			97.18%

Anexo 9. Mantenibilidad de la chancadora de quijadas / antes de la mejora

Mes	TTRD	TTD	Mantenibilidad
Ene	516.99 H	558.00 H	92.65%
Feb	487.79 H	504.00 H	96.78%
Mar	537.49 H	558.00 H	96.32%
Abr	516.79 H	540.00 H	95.70%
May	511.98 H	558.00 H	91.75%
Jun	515.59 H	540.00 H	95.48%
Jul	496.48 H	558.00 H	88.97%
Ago	491.47 H	558.00 H	88.08%
Set	494.98 H	540.00 H	91.66%
Oct	486.47 H	558.00 H	87.18%
Nov	469.97 H	540.00 H	87.03%
Dic	498.87 H	558.00 H	89.40%
Total	6024.86 H		91.75%

Anexo 10. Horas de ralentización.

Mes	Tiempo al mes
Ene	9.18 H
Feb	4.44 H
Mar	5.69 H
Abr	10.02 H
May	16.70 H
Jun	10.10 H
Jul	16.31 H
Ago	21.95 H
Set	18.65 H
Oct	32.19 H
Nov	32.74 H
Dic	30.94 H
Total	208.92 H

Anexo 11. Disponibilidad de la chancadora de quijadas / antes de la mejora

Mes	TTD	TPM	Disponibilidad
Ene	558.00 H	19.19 H	96.56%
Feb	504.00 H	9.44 H	98.13%
Mar	558.00 H	10.69 H	98.08%
Abr	540.00 H	20.03 H	96.29%
May	558.00 H	31.72 H	94.31%
Jun	540.00 H	20.12 H	96.27%
Jul	558.00 H	31.33 H	94.38%
Ago	558.00 H	41.98 H	92.48%
Set	540.00 H	33.67 H	93.76%
Oct	558.00 H	57.22 H	89.75%
Nov	540.00 H	57.77 H	89.30%
Dic	558.00 H	55.97 H	89.97%
Promedio			94.11%

Anexo 12. Calidad del proceso trabajado sólo con la chancadora de quijadas / antes de la mejora

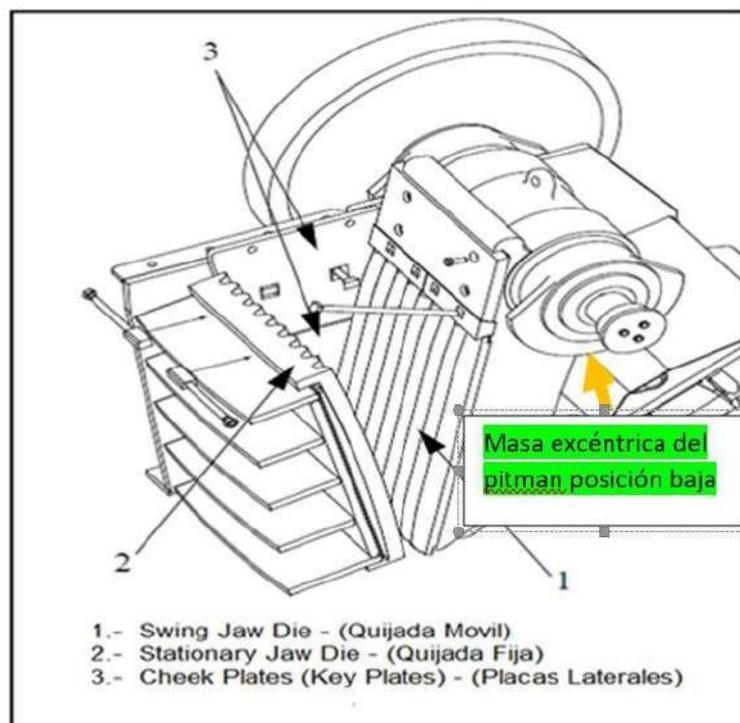
Mes	PR	PTC	Calidad
Ene	86353.82 TMH	92511.64 TMH	93.34%
Feb	84323.93 TMH	88173.93 TMH	95.63%
Mar	97016.02 TMH	106068.83 TMH	91.47%
Abr	69811.40 TMH	84396.20 TMH	82.72%
May	93012.08 TMH	100980.24 TMH	92.11%
Jun	101380.34 TMH	107270.99 TMH	94.51%
Jul	97196.31 TMH	100168.35 TMH	97.03%
Ago	86096.24 TMH	91092.82 TMH	94.51%
Set	75455.80 TMH	80404.66 TMH	93.85%
Oct	66756.60 TMH	70710.56 TMH	94.41%
Nov	63507.20 TMH	69706.81 TMH	91.11%
Dic	63684.28 TMH	68947.12 TMH	92.37%
Promedio	984594.01 TMH	1060432.14 TMH	92.75%

Anexo 13. Rendimiento del motor de la chancadora de quijadas / antes de la mejora

Mes	TMH/H	Energía Específica (KW-H/Tn)	Potencia operacional (KW)	Potencia operacional (HP)	Potencia real consumida (HP) (Etrans)	Rendimiento del motor (R)
Enero	136.04	0.82	69.20	92.76	98.68	65.78%
Febrero	139.56	0.80	70.99	95.16	101.23	67.49%
Marzo	145.94	0.77	74.23	99.51	105.86	70.57%
Abril	110.21	1.02	56.05	75.14	79.94	53.29%
Mayo	150.24	0.74	76.42	102.44	108.97	72.65%
Junio	160.45	0.70	81.61	109.40	116.38	77.59%
Julio	161.94	0.69	82.37	110.41	117.46	78.31%
Agosto	146.70	0.76	74.61	100.02	106.40	70.94%
Setiembre	126.73	0.88	64.46	86.41	91.92	61.28%
Octubre	117.56	0.95	59.80	80.16	85.27	56.85%
Noviembre	116.20	0.96	59.10	79.23	84.28	56.19%
NOMINAL	220.00	0.51			Promedio	65.30%

1. OBJETIVO

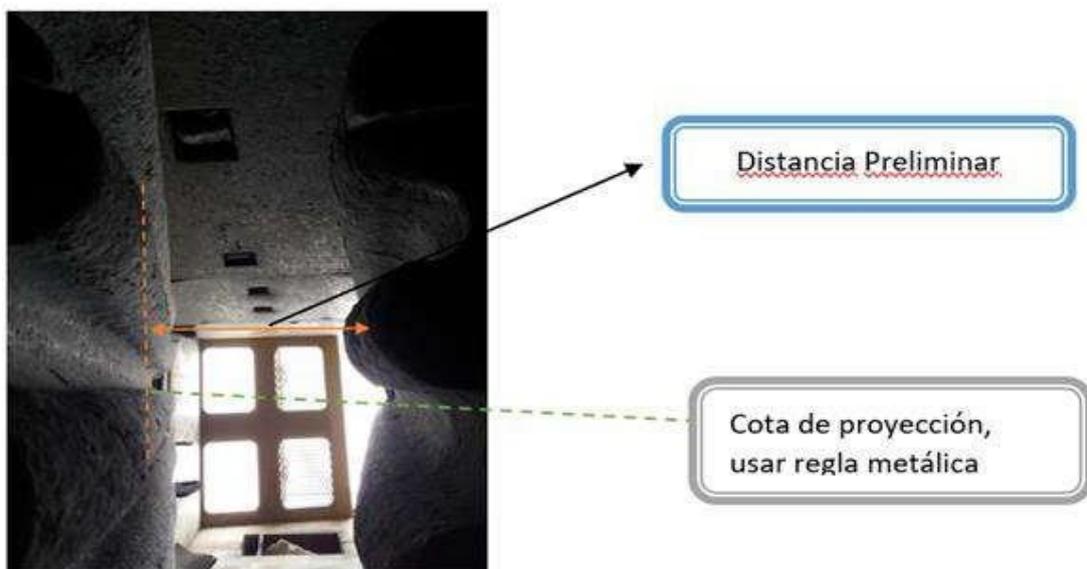
El objetivo de este procedimiento es establecer los pasos a seguir para que el personal que ejecute el AJUSTE DE “SETTING” CHANCADORA DE QUIJADAS CT3042, y se tome conocimientos requeridos. Ajustar la distancia entre las caras de forros de chancadora, pero para una condición específica llamada “Setting” que es la distancia más cercana entre las superficies de la mandíbula oscilatoria y la mandíbula estacionaria. Esta distancia ocurre cuando la chancadora estaría en funcionamiento, aun así, el ajuste del “Setting” lo realizamos con equipo detenido y cuando la contrapesa del Pitman está en la posición más baja (Posición de descanso, muchas veces el equipo se detiene en otra posición) ver figura



2. EQUIPO / HERRAMIENTA / MATERIALES DE TRABAJO

1. Herramientas de gestión (Orden de trabajo, IPERC documento de seguridad).
2. Lock Out y Tag Out. (Candado y tarjeta de identificación)

3. Mallas de señalización y cinta delimitadora de seguridad (amarilla y roja).
 4. Llave stilson de 24"
 5. Aceite penetrante o aflojatodo, trapos industriales para limpieza,
 6. Escobilla de acero
 7. Wincha métrica de 3 m.
 8. Regla metálica de 20 cm, espesor 0.7 mm
-
3. **Bloquear el suministro de energía al equipo Lock Out y Tag Out, según el procedimiento de bloqueo de la empresa minera**
 4. **La medición del "Setting"** Se realizará de Pico a Pico (Cresta de forro quijada fija y Cresta de forro de quijada móvil) tal como se muestra en la figura 3. Como las crestas no están una frente a la otra utilizamos una cota de proyección. Para desgastes dispuestos de crestas de forros se realiza mediciones en tres zonas (derecha, izquierda y centro) y se saca un promedio.

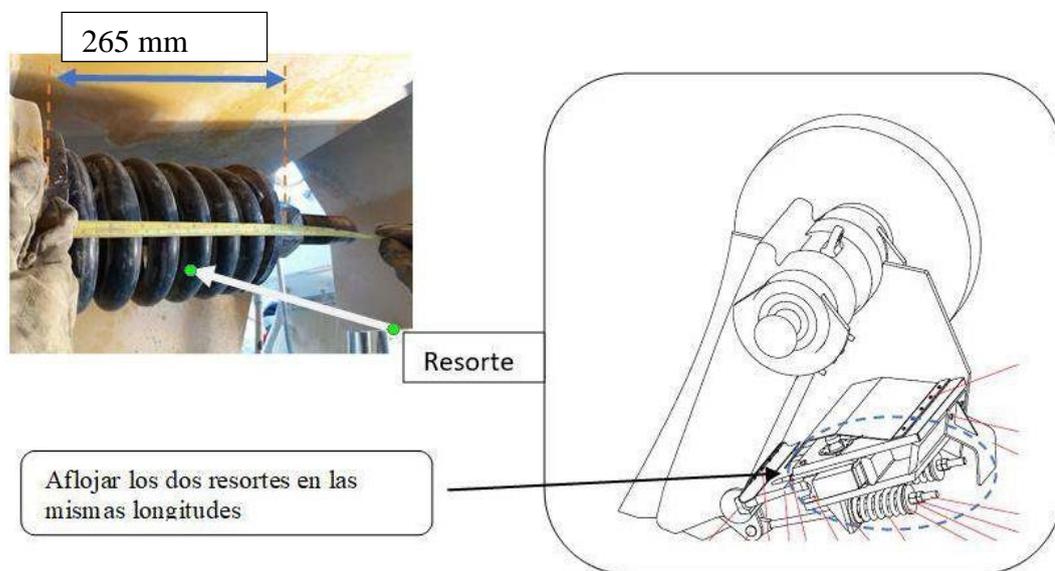


5. A la distancia preliminar se le resta el paso de avance del Pitman de la chancadora que para este caso es 36 mm.

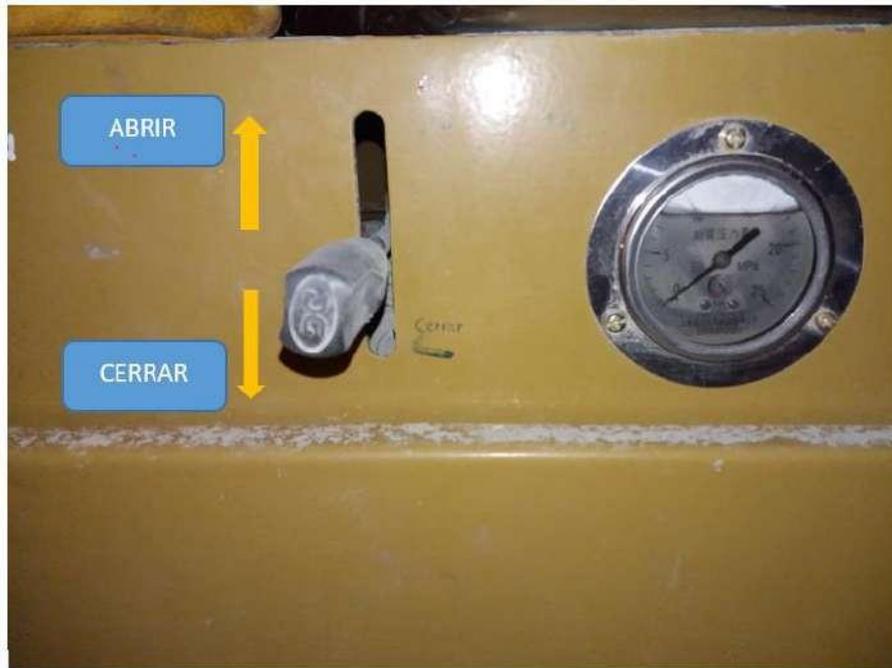
$$\text{SETTING} = \text{DISTANCIA PRELIMINAR} - 36 \text{ mm}$$

6. **Ajustar el Setting deseado**

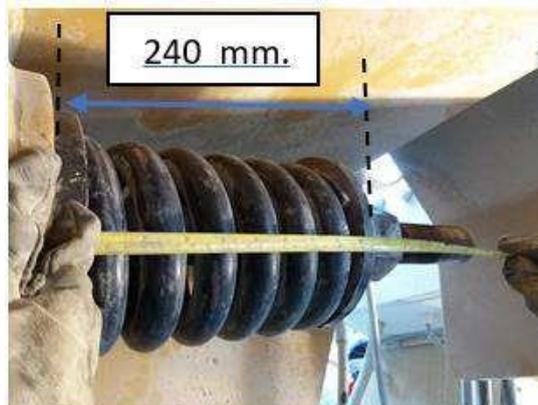
- A) Aflojar la tensión de los dos resortes que mantienen el asiento del Toggle fijo, la longitud del resorte deberá quedar mayor a 265mm, tomar como referencia de medición el alojamiento de la estructura amarilla hasta el término del plato en el extremo final ver Figura siguiente. Antes de aflojar la tuerca limpie las ranuras de las roscas con trapo limpio y aceite penetrante.



- B) La apertura o cierre lo consigue manipulando la palanca como se muestra en la figura siguiente, abrir es hacia arriba y cerrar es hacia abajo, observe que la presión del manómetro no exceda los 20Mpa.

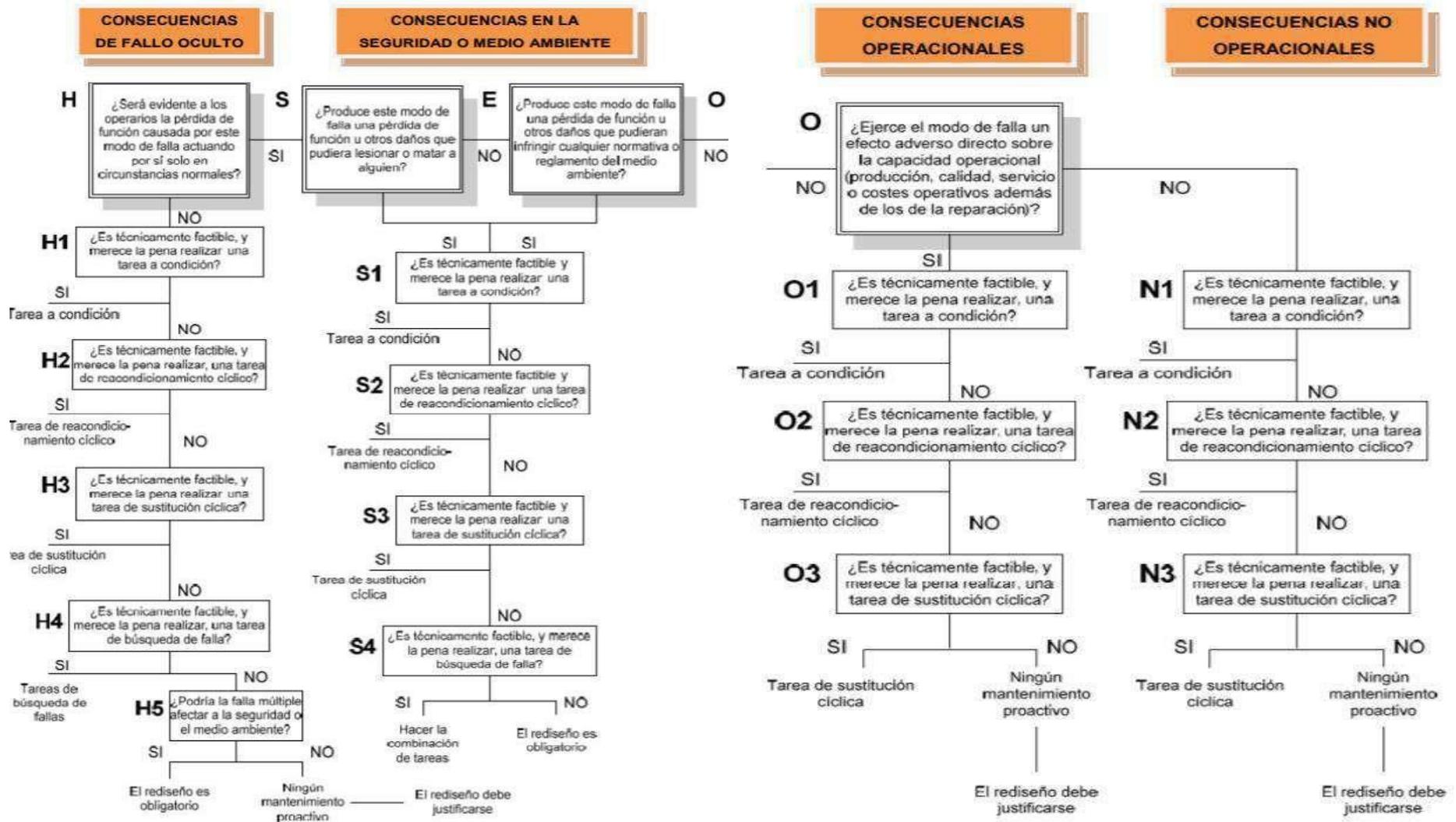


C) Luego de conseguir el “Setting” deseado ajustar la longitud de los dos resortes a 240 mm. como muestra la figura siguiente.



7. Limpieza del área de trabajo y retiro de las señalizaciones.
8. Finalmente dejar todo el sistema normalizado e informar al Ingeniero de Turno el “Setting” actual.

Anexo 15. Diagrama de decisión RCM.



Anexo 16. Explicación del diagrama de decisión RCM.

Ejemplo 1: Explica cómo se elaboró el análisis de decisión RCM, tablas 37 y 38 y se determinó la tarea Propuesta.

De tabla 37

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				Tareas Proactivas			Acción a falta de			DETALLE	Causa raíz	Nivel de criticidad	Tarea propuesta	Requiere para el equipo		Tarea (hrs)	REALIZADO POR	FRECUENCIA
							T C	T R	S C								H 1	H 2			
F E	F F	F M G	H	S	E	O	N 1	N 2	N 3	H 4	H 5	S 4									
I	A	A1	N	N	N	S	S						A.1.2.1	No se aplica la estrategia por condición	C	Realizar monitoreo por condición de estado de rodamientos. Realizar análisis vibracional		X	0.25	Tec. Predictivo	Mensual

Evaluación de las Consecuencias: H, S, E, O. Se responden con “S” (SÍ) o “N” (NO), en base a las respuestas de las siguientes preguntas:

H= ¿Será evidente a los operarios la pérdida de la función causada por este modo de falla actuando por si solos en circunstancias normales?

S= ¿Produce este modo de falla una pérdida de función u otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien?

E= ¿Produce este modo de falla una pérdida de función u otros daños que pudieran infringir cualquier normativa o reglamento del medio ambiente?

O= ¿Ejerce el modo de falla un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional (producción, calidad, servicio o costes operativos además de los de la reparación)?

H: Hidden

S: Safety

E: Environment

O: Operacional

Explicación como se determinó la "tarea propuesta" del detalle A1.2.1

Le corresponde el modo de falla "A.1.2" que es "Falla en los rodamientos de carcasa excéntrica" ocasionando la pérdida de función que el Pitman gire normalmente y genere el movimiento excéntrico

Respondiendo a las preguntas H, S, E, O

H= No es evidente a los operadores la pérdida de función que el Pitman gire correctamente causada por falla en los rodamientos, cuando trabajan a sobre temperatura mayor a 40°C, solturas en las pistas de rodamientos etc., Respuesta = "N"

S= No produce daño, lesión o que pudiera matar a alguien la pérdida de función a causa que los rodamientos de la carcasa trabajen con solturas en la pista externa, roturas de jaulas de elementos rodantes, daño de elementos rodantes, grietas o desgaste en las pistas internas, Respuesta = "N".

E= No infringe normativa o reglamento del medio ambiente la pérdida de función a causa que los rodamientos de la carcasa del Pitman que trabajen fuera de sus parámetros normales la vibración, temperatura, estado de elementos rodantes, etc. Respuesta = "N"

O= Si ejerce el modo de falla de los rodamientos del Pitman un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional ya que mermaría la eficiencia de trituración, aumentaría costes operativos al aumentar la energía consumida por tonelada procesada, además de los costos de reparación, Respuesta = "S"

Luego para las "Tareas Proactivas" se tiene tres posibilidades

TC= Tarea a Condición: Es la más adecuada para este caso, ya que nos entrega información si existe una falla potencial en desarrollo. Respuesta = "S"

TR= Tarea de reacondicionamiento cíclico: no es la más adecuada en este caso, porque una vez que los rodamientos de carcasa están instalados y ya han funcionado no se suele

acceder a ellos para alguna tarea de mantenimiento, solo es factible realizar tareas de lubricación que se hace desde el exterior.

SC= Tarea de sustitución Cíclica: No es la más adecuada para este caso ya que cambiar los rodamientos periódicamente sería muy costoso, por el tiempo de parada más de 1 semana, el costo propio del rodamiento y pérdidas de producción.

Columna titulad H1/ S1/ O1/ N1 de la tarea proactiva "TC": Se utiliza para registrar si se pudo encontrar una tarea a condición apropiada para anticipar el modo de falla a tiempo para evitar consecuencias mayores, Respuesta: "S", entonces para la "TC" estamos trabajando para con la "O1" tarea de condición para evitar un efecto adverso directo en la capacidad operacional

Tarea propuesta: Demostramos que debe ser una "TC" Tarea a Condición, para la cual seleccionamos análisis vibracional de los rodamientos de carcasa del Pitman con una frecuencia mensual y detectar así anticipadamente una falla potencial.

Ejemplo 2: Explica cómo se elaboró el análisis de decisión RCM, tabla 38 y se determinó la tarea Propuesta.

De tabla 38

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				Tareas Proactivas			Acción a falta de			DETALLE	Causa raíz	Nivel de criticidad	Tarea propuesta	Requiere para el equipo		Tarea (hrs)	REALIZADO POR	FRECUENCIA						
							T C	T R	S C								H 1	H 2				H 3	S 1	S 2	S 3	S	N
							O 1	O 2	O 3								N 1	N 2				N 3	H 4	H 5	S 4		
3	C	C3	S	N	N	S	N	N	S				C.3.2.1	Fatiga de resortes	B	Cambiar resortes periódicamente	X		0.5	Mecánico	Anual						

Evaluación de las Consecuencias: H, S, E, O. Se responden con “S” (SÍ) ó “N” (NO), en base a las respuestas de las siguientes preguntas:

H= ¿Será evidente a los operarios la pérdida de la función causada por este modo de falla actuando por si solos en circunstancias normales?

S= ¿Produce este modo de falla una pérdida de función u otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien?

E= ¿Produce este modo de falla una pérdida de función u otros daños que pudieran infringir cualquier normativa o reglamento del medio ambiente?

O= ¿Ejerce el modo de falla un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional (producción, calidad, servicio o costes operativos además de los de la reparación)?

H: Hidden

S: Safety

E: Environment

O: Operational

Explicación como se determinó la "tarea propuesta" del detalle C.3.2.1

Le corresponde el modo de falla "A.1.2" que es "Resortes rotos" ocasionando la pérdida de función de que la mandíbula móvil mantenga la posición de Setting. (tabla 17)

Respondiendo a las preguntas H,S,E,O

H= Si es evidente a los operadores la pérdida de función de mantener la posición de Setting causada por los resortes rotos, ya que se visualiza rotura de resortes y el Toggle queda flojo con sonido atípico, Respuesta = "S"

S= No produce daño, lesión o que pudiera matar a alguien la perdida de función de mantener la posición de Setting causada por resortes rotos, Respuesta = "N".

E= No infringe normativa o reglamento del medio ambiente u otros daños la pérdida de función de mantener la posición del Setting a causa de resortes rotos, Respuesta = "N"

O= Si ejerce el modo de falla de resortes rotos un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional ya que deviene en una parada de la chancadora, hay pérdidas de producción, Respuesta = "S"

Luego para las "Tareas Proactivas" se tiene tres posibilidades

TC= Tarea a Condición: No es la más adecuada ya que se requeriría un método de condición mensual para detectar la fatiga del resorte, no amerita. Respuesta = "N"

TR= Tarea de reacondicionamiento cíclico: No aplicaría porque no hay métodos para alargar la vida útil de los resortes en las condiciones de trabajo dadas. Respuesta= "N"

SC= Tarea de sustitución Cíclica: Es la más adecuada ya que se cambiarían los resortes anualmente y por datos estadísticos los resortes han durado siempre más de un año.

Columna titulad H3/ S3/ O1/ N3 de la tarea proactiva "SC": Se utiliza para registrar si se pudo encontrar una tarea de sustitución cíclica para prevenir fallas causadas por rotura de resortes, Respuesta: "S"

entonces para la "SC" estamos trabajando para con la "O1" tarea de sustitución cíclica para evitar un efecto adverso directo en la capacidad operacional, para la "H1" que es evidente a los operadores la pérdida de función a causa

de los resortes rotos aporta para la realización oportuna de la "SC"

Tarea propuesta: Demostramos que debe ser una "SC" Tarea de Sustitución Cíclica, para la cual se cambiaría los resortes anualmente y evitar la pérdida de función por este modo de falla descrito.

Anexo 17. Utilización de forros fijos y móviles antes y después de aplicar RCM.

En el año 2019 se utilizó: 12 forros fijos y 12 forros móviles.

En el año 2021 se utilizó: 14 forros fijos y 14 forros móviles, desgaste solo al 80%

	Cambio de forros	Duración	Labor		Cambio de forros	Duración	Labor
	Año 2019	días	Por desgaste		Año 2021	días	Por desgaste
1	28/12/2018	15	cambio	1	14/12/2020	14	cambio
2	13/01/2019	16	Inversión	2	27/12/2020	13	Inversión
3	31/01/2019	18	cambio	3	10/01/2021	14	cambio
4	15/02/2019	15	Inversión	4	23/01/2021	13	Inversión
5	7/03/2019	20	cambio	5	6/02/2021	14	cambio
6	25/03/2019	18	Inversión	6	19/02/2021	13	Inversión
7	11/04/2019	17	cambio	7	5/03/2021	14	cambio
8	29/04/2019	18	Inversión	8	18/03/2021	13	Inversión
9	15/05/2019	16	cambio	9	1/04/2021	14	cambio
10	25/05/2019	10	Inversión	10	14/04/2021	13	Inversión
11	5/06/2019	11	cambio	11	28/04/2021	14	cambio
12	20/06/2019	15	Inversión	12	17/05/2021	13	Inversión
13	2/07/2019	12	cambio	13	31/05/2021	14	cambio
14	15/07/2019	13	Inversión	14	13/06/2021	13	Inversión
15	26/07/2019	11	cambio	15	27/06/2021	14	cambio
16	8/08/2019	13	Inversión	16	10/07/2021	13	Inversión
17	24/08/2019	16	cambio	17	24/07/2021	14	cambio
18	5/09/2019	12	Inversión	18	6/08/2021	13	Inversión
19	23/09/2019	18	cambio	19	20/08/2021	14	cambio
20	7/10/2019	14	Inversión	20	2/09/2021	13	Inversión
21	25/11/2019	18	cambio	21	16/09/2021	14	cambio
22	8/12/2019	13	Inversión	22	29/09/2021	13	Inversión
23	26/12/2019	18	cambio	23	13/10/2021	14	cambio
24	12/01/2020	17	Inversión	24	26/10/2021	13	Inversión
				25	9/11/2021	14	cambio
				26	22/11/2021	13	Inversión
				27	6/12/2021	14	cambio
	Total días	364			Total días	365	

Anexo 18. Horas de parada de máquina por correctivos: Antes y después de aplicar RCM.

Antes de aplicar RCM			Después de aplicar RCM		
Mes	Hrs Parada	Hrs Ralentización	Mes	Hrs Parada	Hrs Ralentización
Ene	10.01 H	9.18 H	Ene	2.23 H	2.56 H
Feb	5.01 H	4.44 H	Feb	2.23 H	2.65 H
Mar	5.01 H	5.69 H	Mar	2.23 H	2.34 H
Abr	10.01 H	10.02 H	Abr	0.00 H	0.00 H
May	15.02 H	16.70 H	May	0.00 H	0.00 H
Jun	10.01 H	10.10 H	Jun	2.23 H	1.37 H
Jul	15.02 H	16.31 H	Jul	0.00 H	0.00 H
Ago	20.03 H	21.95 H	Ago	0.00 H	0.00 H
Set	15.02 H	18.65 H	Set	0.00 H	0.00 H
Oct	25.03 H	32.19 H	Oct	0.00 H	0.00 H
Nov	25.03 H	32.74 H	Nov	0.00 H	0.00 H
Total Paradas	155.20 H	177.98 H	Total Paradas	8.92 H	8.92 H
		333.18 H			17.84 H